

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**JOSÉ GABRIEL ALAS MAYER**

**CRIAÇÃO DE FERRAMENTA PARA RANQUEAMENTO DE FALHAS CRÍTICAS  
DE PRODUTO EM MÁQUINAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL**

**PONTA GROSSA**

**2023**

**JOSÉ GABRIEL ALAS MAYER**

**CRIAÇÃO DE FERRAMENTA PARA RANQUEAMENTO DE FALHAS CRÍTICAS  
DE PRODUTO EM MÁQUINAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL**

***Creation of tool for the ranking of critical product failures in construction  
machines***

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientador: Prof. Dr. Aldo Braghini Junior.

**PONTA GROSSA**

**2023**



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

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



JOSE GABRIEL ALAS MAYER

**CRIAÇÃO DE FERRAMENTA PARA RANQUEAMENTO DE FALHAS  
CRÍTICAS DE PRODUTO EM MÁQUINAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Engenharia De Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Gestão Industrial.

Data de aprovação: 24 de Agosto de 2023

Dr. Aldo Braghini Junior, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Antonio Carlos De Francisco, Doutorado - Universidade

Tecnológica Federal do Paraná Dr. Joao Carlos Colmenero,

Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Marcus Vinicius Manfrin De Oliveira Filho, Doutorado - Universidade Positivo (Up)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 02/10/2023.

*Dedico este trabalho aos meus pais, **José Geraldo Mayer** e **Ana Maria Alas Mayer**, e ao meu falecido avô, **Sabino Antônio Alas**. Todos têm um papel fundamental na minha vida e no progresso da minha profissão. Minha vida nunca teria sido a mesma sem vocês.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente os meus pais **Ana Maria Alas Mayer** e **José Geraldo Mayer** por terem me dado a possibilidade e o privilégio de uma boa educação desde a minha infância. Também por sempre me estimularem a me desafiar cada vez mais por sempre acreditarem que eu era capaz de mais na minha vida. Meu pai, vindo de família muito pobre, venceu na vida com o pai dele falando que ele nunca ia poder dar nada de material ao meu pai, porém ele podia dar educação, e isso ninguém nunca ia poder tirar dele. Isso me toca profundamente até hoje e é assim que pretendo levar a minha vida até os meus últimos dias.

Agradeço também ao meu falecido avô, **Sabino Antônio Alas** que despertou em mim a vontade de me tornar engenheiro. Construindo sempre maquetes em papel, ferramentas com restos de material e fazendo desenhos de máquinas quando eu ainda era uma criança, me fez querer seguir seus passos. Mesmo ele não tendo se graduado engenheiro, sua habilidade e inteligência sempre foram de grande admiração por minha parte.

Minha esposa **Bruna Bubniack** por sempre me incentivar a seguir em frente e também me estimular a buscar o meu melhor e por me permitir sacrificar momentos que poderíamos estar juntos para me dedicar aos meus estudos. Obrigado por me fazer ser melhor a cada dia.

Agradeço imensamente ao **Prof. Dr. Aldo Braghini Jr.** por acreditar que eu poderia ser um bom aluno e contribuir com a produção científica do país me escolhendo para ser seu mestrando.

Agradeço aos **Fabricantes e aos Revendedores** que se engajaram a atingir os resultados da pesquisa. Sem seus esforços os resultados não seriam atingidos.

Ao **Prof. Dr. João Carlos Colmenero** por auxiliar no desenvolvimento desta pesquisa ministrando a disciplina de Métodos de Seleção Multicritério. Sem esta disciplina a ideia desta pesquisa não teria sido possível.

E a todos os outros que tornaram esta pesquisa possível e a minha vida da maneira que ela é hoje, o meu muito obrigado!

“Não existe triunfo sem perda, não há vitória sem sofrimento, não há liberdade sem sacrifício.”  
(J. R. R. Tolkien)

## RESUMO

Diante da crescente entrada de competidores no mercado de máquinas de construção civil e da cada vez mais acirrada concorrência, onde a qualidade dos produtos se torna cada vez mais similar, buscou-se desenvolver uma ferramenta capaz de retroalimentar o processo de engenharia de desenvolvimento. A base para a criação desta ferramenta foi um extenso banco de dados composto por mais de 18.000 falhas, coletadas de diversos fabricantes do setor. O objetivo principal dessa pesquisa foi a maximização da satisfação do cliente com a qualidade do produto, mesmo em face de recursos limitados disponíveis para a engenharia de desenvolvimento. Para alcançar essa meta, foram identificados critérios que caracterizam as falhas nos produtos, permitindo que os próprios clientes determinassem a importância relativa desses critérios por meio de uma pesquisa de opinião que empregou variáveis linguísticas. As opiniões coletadas foram transformadas em pesos para cada critério, e uma ferramenta de priorização foi criada utilizando o método multicritério *Fuzzy SAW*. Esta ferramenta foi então aplicada em falhas críticas enfrentadas por um dos fabricantes. Os resultados obtidos foram consistentes com os objetivos gerais e específicos deste trabalho, permitindo a priorização eficaz dessas falhas para posterior resolução. Essa abordagem não apenas visa aprimorar a qualidade do produto, mas também otimizar a alocação de recursos de engenharia, contribuindo significativamente para uma maior satisfação do cliente no mercado de máquinas de construção civil, que é altamente competitivo.

**Palavras-chave:** desenvolvimento de produto; garantia; qualidade; priorização; multicritério; pesquisa de opinião; satisfação do cliente

## ABSTRACT

With the increasing entry of competitors in the civil construction machinery market and the intensifying competition, where product quality is becoming increasingly similar, the development of a tool capable of providing feedback to the engineering development process was aimed. The foundation for creating this tool was an extensive database comprising over 18,000 failures collected from various industry manufacturers. The primary objective of this research was to maximize customer satisfaction with product quality, even in the face of limited resources available for engineering development. To achieve this goal, criteria characterizing product failures were identified, allowing customers themselves to determine the relative importance of these criteria through an opinion survey employing linguistic variables. The collected opinions were transformed into weights for each criterion, and a prioritization tool was created using the Fuzzy SAW multicriteria method. This tool was also applied to critical failures faced by one of the manufacturers. The results obtained were consistent with the general and specific objectives of this research, enabling the effective prioritization of these failures for subsequent resolution. This approach aims not only to enhance product quality but also to optimize the allocation of engineering resources, making a significant contribution to increased customer satisfaction in the highly competitive civil construction machinery market.

**Keywords:** product development; warranty; quality; prioritization; multicriteria; survey; customer satisfaction



## LISTA DE FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| Figura 1 – Ranking dos 15 maiores fabricantes em 2022 .....                         | 16  |
| Figura 2 - Fontes de dados para a fase “Acompanhar Produto e Processo” ....         | 20  |
| Figura 3 – Estrutura da dissertação .....   | 21  |
| Figura 4 - Interação dos times multidisciplinares no Ciclo de Vida do produto       | 26  |
| Figura 5 – Processo de desenvolvimento de produtos simplificado .....               | 28  |
| Figura 6 – O PLM e as trocas de dados na etapa de pós-venda .....                   | 30  |
| Figura 7 – Atividades da macrofase “Acompanhar produto e processo” .....            | 32  |
| Figura 8 – O suporte de pós-venda .....   | 35  |
| Figura 9 – A Curva da banheira.....   | 37  |
| Figura 10 – Fluxograma de custos de garantia .....                                  | 38  |
| Figura 11 – Representação gráfica de um número <i>Fuzzy</i> triangular .....        | 44  |
| Figura 12 – Fluxograma do método de decisão <i>Fuzzy SAW</i> .....                  | 45  |
| Figura 13 – Fluxograma do método Delphi adaptado a este estudo .....                | 47  |
| Figura 14 – Fluxograma da metodologia do estudo.....                                | 49  |
| Figura 15 – Representação gráfica da escala de números <i>fuzzy</i> triangulares .. | 52  |
| Figura 16 – Fluxograma da elaboração da pesquisa de opinião.....                    | 54  |
| Figura 17 – Fluxograma de avaliação preliminar da falha .....                       | 57  |
| Figura 18 – Divisão de critérios .....  | 59  |
| Figura 19 – Exibição dos resultados durante a validação .....                       | 60  |
| Figura 20 – Resultado da pesquisa para o critério C1 .....                          | 61  |
| Figura 21 – Resultado da pesquisa para o critério C2 .....                          | 62  |
| Figura 22 – Resultado da pesquisa para o critério C3 .....                          | 62  |
| Figura 23 – Resultado da pesquisa para o critério C4 .....                          | 62  |
| Figura 24 – Resultado da pesquisa para o critério C5 .....                          | 63  |
| Figura 25 – Resultado da pesquisa para o critério C6 .....                          | 63  |
| Figura 26 – Resultado da pesquisa para o critério C7 .....                          | 63  |
| Figura 27 – Resultado da pesquisa para o critério C8 .....                          | 64  |
| Figura 28 – Resultado da pesquisa para o critério C9 .....                          | 64  |
| Figura 29 – Resultado da pesquisa para o critério C10 .....                         | 64  |
| Figura 30 – Fases da metodologia <i>Methodi Ordinatio</i> .....                     | 86  |
| Figura 31 – Opções de resposta na plataforma <i>Google Forms</i> .....              | 100 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Gráfico 1 – Volume de vendas de equipamentos civil 2017-2026 .....</b> | <b>15</b> |
|---|-----------|

## LISTA DE QUADROS

|   |    |
|---|----|
| Quadro 1 - Classificação de produtos Segundo Back <i>et al.</i> (2008)..... | 26 |
| Quadro 2 - Classificação de produtos Segundo Crawford e Benedetto (2010) .  | 27 |
| Quadro 3 – Matriz de decisão D m x n.....                                   | 42 |
| Quadro 4 – Sumarização dos resultados da pesquisa de opinião.....           | 65 |
| Quadro 5 – Pesos normalizados para cada critério .....                      | 66 |
| Quadro 6 – Escala para julgamento da alternativa no critério C2.....        | 66 |
| Quadro 7 – Escala para julgamento da alternativa no critério C3.....        | 67 |
| Quadro 8 – Escala para julgamento da alternativa no critério C4.....        | 67 |
| Quadro 9 – Escala para julgamento da alternativa no critério C5.....        | 67 |
| Quadro 10 – Escala para julgamento da alternativa no critério C10.....      | 68 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 – Representação do setor de serviço nos Estados Unidos .....        | 33 |
| Tabela 2 – Variáveis linguísticas em números <i>fuzzy</i> triangulares ..... | 51 |
| Tabela 3 – Variáveis linguísticas em números <i>fuzzy</i> triangulares ..... | 65 |
| Tabela 4 – Julgamento das alternativas .....                                 | 69 |
| Tabela 5 – Matriz de defuzzificação .....                                    | 70 |
| Tabela 6 – Matriz de decisão $X_{ij}$ .....                                  | 71 |
| Tabela 7 – Matriz de decisão normalizada $X_{ij}$ .....                      | 71 |
| Tabela 8 – Ranqueamento <i>Fuzzy SAW</i> .....                               | 71 |
| Tabela 9 - Combinações de palavras-chave e seus resultados .....             | 87 |
| Tabela 10 - Ranqueamento dos artigos através do InOrdinatio .....            | 88 |

## LISTA DE SIGLAS

|      |   |
|------|---|
| CDC  | Código de Defesa do Consumidor                  |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| LGPD | Lei Geral de Proteção de Dados                  |
| PIB  | Produto Interno Bruto                           |
| PDP  | Processo de Desenvolvimento de Produtos         |
| P&D  | Pesquisa e Desenvolvimento                      |
| PLM  | <i>Product Lifecycle Management</i>             |
| SAW  | <i>Simple Additive Weighting</i>                |
| VoB  | <i>Voice of the Business</i>                    |
| VoC  | <i>Voice of the Customer</i>                    |

## SUMÁRIO

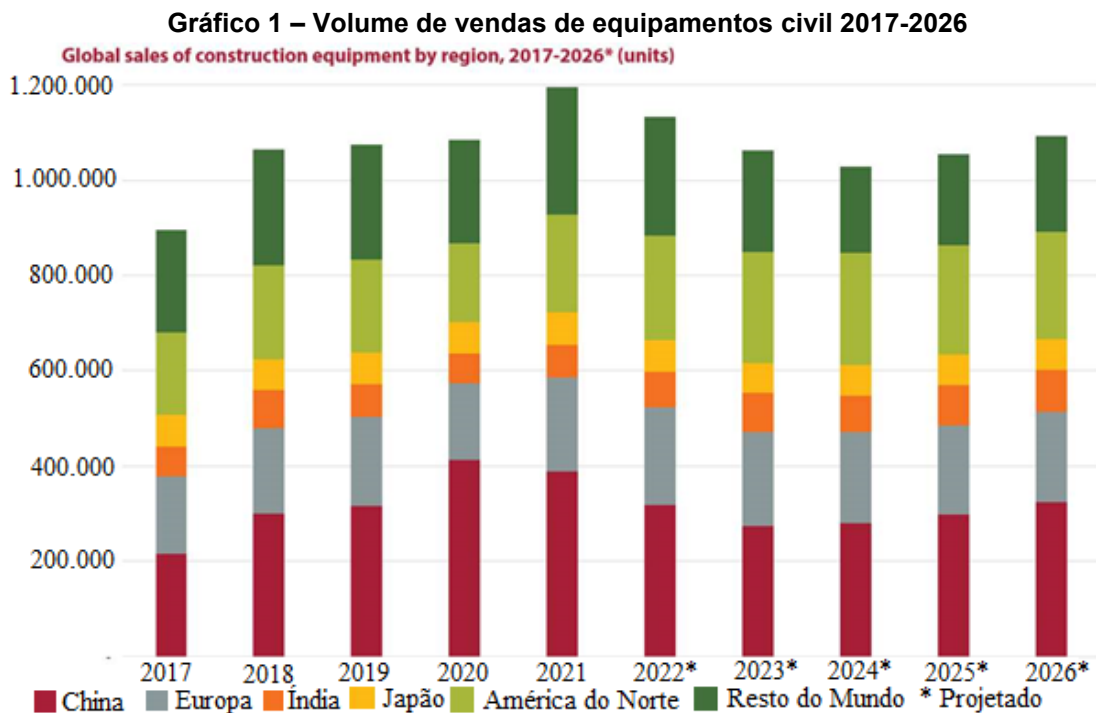
|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO</b> .....  | <b>15</b> |
| <b>1.1</b> | <b>Problema de pesquisa</b> .....                                      | <b>18</b> |
| <b>1.2</b> | <b>Objetivos</b> .....   | <b>18</b> |
| 1.2.1      | Objetivo Geral.....  | 18        |
| 1.2.2      | Objetivos Específicos .....  | 18        |
| <b>1.3</b> | <b>Justificativa</b> .....   | <b>19</b> |
| <b>1.4</b> | <b>Estrutura da dissertação</b> .....                                  | <b>20</b> |
| <b>2</b>   | <b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....                                       | <b>24</b> |
| <b>2.1</b> | <b>Processo de desenvolvimento de produtos (PDP)</b> .....             | <b>24</b> |
| 2.1.1      | Definição e conceito de Produto.....                                   | 24        |
| 2.1.2      | Novo Produto .....   | 25        |
| 2.1.3      | O Processo de Desenvolvimento de Produtos .....                        | 27        |
| 2.1.4      | Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto (PLM).....                   | 29        |
| 2.1.5      | Acompanhamento do produto .....  | 31        |
| <b>2.2</b> | <b>Serviços e pós-venda</b> .....                                      | <b>32</b> |
| 2.2.1      | Concorrência e Competitividade.....                                    | 33        |
| 2.2.2      | Pós-venda e Suporte ao Produto .....                                   | 34        |
| 2.2.3      | Garantia.....  | 35        |
| 2.2.4      | A integração de clientes no PDP e o <i>Voice of the Customer</i> ..... | 40        |
| <b>2.3</b> | <b>Métodos de seleção e ferramentas multicritério</b> .....            | <b>41</b> |
| 2.3.1      | O método SAW – Simple Additive Weighting .....                         | 42        |
| 2.3.2      | Números <i>Fuzzy</i> .....   | 43        |
| 2.3.3      | O método Fuzzy SAW .....   | 44        |
| 2.3.4      | O método Delphi.....   | 46        |
| <b>3</b>   | <b>METODOLOGIA</b> .....   | <b>48</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Metodologia para a elaboração desta pesquisa</b> .....              | <b>48</b> |
| <b>3.2</b> | <b>Metodologia para a definição dos critérios</b> .....                | <b>49</b> |
| <b>3.3</b> | <b>Escolha do método para atribuição de pesos</b> .....                | <b>51</b> |
| <b>3.4</b> | <b>Metodologia para a elaboração do questionário</b> .....             | <b>52</b> |
| <b>3.5</b> | <b>Escolha do método de priorização e aplicação</b> .....              | <b>54</b> |
| <b>4</b>   | <b>DESENVOLVIMENTO</b> .....   | <b>55</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Aplicação do Método Delphi</b> .....                                | <b>55</b> |
| <b>4.2</b> | <b>Pesquisa de opinião</b> .....                                       | <b>60</b> |

|                     |  |           |
|---------------------|--|-----------|
| 4.2.1               | Desenvolvimento da pesquisa de opinião .....                   | 60        |
| 4.2.2               | Condução da pesquisa de opinião .....                          | 61        |
| 4.2.3               | Resultados da pesquisa de opinião.....                         | 61        |
| <b>4.3</b>          | <b>Escalas para julgamento das alternativas .....</b>          | <b>66</b> |
| <b>4.4</b>          | <b>Avaliação dos problemas a serem ranqueados.....</b>         | <b>68</b> |
| <b>4.5</b>          | <b>Julgamento das alternativas e matrizes de decisão .....</b> | <b>69</b> |
| <b>4.6</b>          | <b>Avaliação dos resultados .....</b>                          | <b>72</b> |
| <b>5</b>            | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                              | <b>73</b> |
| <b>5.1</b>          | <b>Considerações sobre o estudo .....</b>                      | <b>73</b> |
| <b>5.2</b>          | <b>Recomendações para estudos futuros .....</b>                | <b>74</b> |
| <b>REFERÊNCIAS</b>  | <b>.....</b>   | <b>75</b> |
| <b>APÊNDICE A -</b> | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMATIZADA.....</b>                | <b>82</b> |
| <b>APÊNDICE B -</b> | <b>PESQUISA DE OPINIÃO.....</b>                                | <b>95</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Desde que as relações comerciais se tornaram globalizadas, a concorrência afeta qualquer empresa, grande ou pequena, de diversas formas. Os clientes têm na maioria dos produtos e serviços uma ampla gama de opções disponível no mercado e entender como eles escolhem entre tantas opções é um desafio. (KOTLER, 2007).

O mercado de máquinas de construção civil, objeto deste estudo, também conhecido como “Linha Amarela”, não é diferente. Conforme a revista *International Construction Magazine* (2021), uma das principais do segmento, este mercado apresenta vendas acima de 1.000.000 de unidades por ano desde 2018 e que até 2021 ele foi um mercado em crescimento, conforme mostra o Gráfico 1. Ainda de acordo com a revista *International Construction Magazine* (2021), o cenário de queda a partir de 2022 se dá pela alta do preço das *commodities* como o aço e o petróleo, resultado do período pós-pandemia de COVID-19 e da guerra entre Rússia e Ucrânia e também da alta da inflação e consequente aumento das taxas de juros. Apesar disso, a demanda de equipamentos de construção ainda é superior a capacidade produtiva.



Fonte: *International Construction Magazine* (2021)



A *Yellow Table 2022*, que é o ranking dos 50 maiores fabricantes de máquinas de construção civil do mundo, mostra que o volume de vendas em milhões de dólares é bastante expressivo. Pode-se ver na Figura 1 que os 15 maiores fabricantes de máquinas do mundo possuem vendas da ordem dos US\$ 4 bilhões até US\$ 32 bilhões.

**Figura 1 – Ranking dos 15 maiores fabricantes em 2022**

| 2022      | 2021       | CHANGE | COMPANY                                   | COUNTRY | CONSTRUCTION EQUIPMENT SALES (US\$ MILLION) |
|-----------|------------|--------|---|---------|---|
| <b>1</b>  | 1          | -      | <b>Caterpillar</b>                        | US      | <b>32,069</b>                               |
| <b>2</b>  | 2          | -      | <b>Komatsu</b>                            | JP      | <b>25,318</b>                               |
| <b>3</b>  | 3          | -      | <b>XCMG**</b>                             | CN      | <b>18,101</b>                               |
| <b>4</b>  | 4          | -      | <b>Sany**</b>                             | CN      | <b>16,048</b>                               |
| <b>5</b>  | 6          | +1     | <b>John Deere</b>                         | US      | <b>11,368</b>                               |
| <b>6</b>  | 7          | +1     | <b>Volvo Construction Equipment</b>       | SE      | <b>10,721</b>                               |
| <b>7</b>  | 5          | -2     | <b>Zoomlion**</b>                         | CN      | <b>10,403</b>                               |
| <b>8</b>  | 9          | +1     | <b>Liebherr</b>                           | DE      | <b>9,466</b>                                |
| <b>9</b>  | 8          | -1     | <b>Hitachi Construction Machinery*</b>    | JP      | <b>8,876</b>                                |
| <b>10</b> | 11         | +1     | <b>Sandvik Mining and Rock Technology</b> | SE      | <b>7,272</b>                                |
| <b>11</b> | 13         | +2     | <b>JCB**</b>                              | UK      | <b>6,000</b>                                |
| <b>12</b> | 12         | -      | <b>Metso Outotec</b>                      | FIN     | <b>5,320</b>                                |
| <b>13</b> | 14         | +1     | <b>Epiroc</b>                             | SE      | <b>5,317</b>                                |
| <b>14</b> | <b>NEW</b> |        | <b>Doosan Bobcat</b>                      | KR      | <b>4,615</b>                                |
| <b>15</b> | 15         | -      | <b>Liugong**</b>                          | CN      | <b>4,055</b>                                |

Fonte: *International Construction Magazine*, adaptado (2022)

O desenvolvimento de produto desempenha um papel fundamental na indústria de máquinas de construção civil, especialmente em um mercado altamente competitivo. Nesse contexto, as empresas enfrentam desafios constantes para se destacarem da concorrência e oferecerem produtos inovadores e de qualidade superior. O sucesso nesse mercado depende da capacidade de desenvolver máquinas que atendam às necessidades específicas dos clientes, sejam mais eficientes em termos de desempenho e produtividade, além de apresentarem características diferenciadas, como maior durabilidade, menor consumo de combustível e recursos tecnológicos avançados. A concorrência impulsiona as empresas a investirem em pesquisa e desenvolvimento, buscando constantemente aprimorar seus produtos e ganhar vantagem competitiva, tanto em termos de preço quanto de recursos inovadores. Além disso, a concorrência acirrada também pode

levar a parcerias estratégicas entre os fabricantes para compartilhar conhecimentos e recursos, acelerando o desenvolvimento de produtos e impulsionando a competitividade geral do mercado de máquinas de construção civil.

Para que um produto se destaque frente aos demais é necessário investimento em desenvolvimento de produto (Rozenfeld *et al*, 2006), uma vez que com o aumento da concorrência mais produtos iguais estarão no mercado, o que abre um novo nicho de produtos diferenciados, ou *premium*. Para Crawford e Benedetto (2010), empresas com uma cultura global de inovação são as que tem os programas de novos produtos mais efetivos pois ela pode melhor integrar seu conhecimento, e com isso, melhor gerenciar as tarefas associadas a pesquisa e desenvolvimento (P&D).

Diante dessa situação, e tendo em mente que não é incomum novas gerações de produtos apresentarem alguns mesmos defeitos da geração atual, é impreterível que as empresas que desejem se manter no mercado tenham diferenciais nos seus produtos, pois a concorrência pressiona por preços extremamente competitivos e qualidade gradualmente se elevando.

Faz-se, então, necessário que se utilizem ferramentas para se diferenciar a qualidade e confiabilidade dos produtos oferecidos, de modo que atendam a necessidade dos clientes e que apresentem o menor número de falhas e defeitos possíveis.

A utilização de dados de defeitos ocorridos durante o ciclo de vida de um produto pode retroalimentar o processo de desenvolvimento para que as novas gerações tenham uma melhor qualidade e conseqüente melhor satisfação do cliente. Baseando-se em opiniões coletadas dos clientes, revendedores e engenharia de desenvolvimento sobre defeitos ocorridos durante o ciclo de vida do produto, um procedimento pode contribuir para que esta retroalimentação de dados ocorra da forma mais assertiva possível.

De acordo com Rozenfeld *et al*. (2006), dentro da macrofase de pós-desenvolvimento, são nas fases “Acompanhar produto e processo” e “Descontinuar produto do mercado” que tais dados podem ser coletados e devem ser utilizados para uma melhoria da sua qualidade. Estas fases também dão ao Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) uma visão total sobre o ciclo de vida do produto.

Quintana-García e Benevides-Velasco (2008) mencionam que as organizações utilizam diferentes recursos científicos e tecnológicos através do PDP,

incorporando diferentes características e perspectivas para atender aos requisitos dos clientes.

## 1.1 Problema de pesquisa

Após a contextualização, e compreendendo que o tratamento adequado das falhas pode ajudar no processo de melhoria da qualidade e aumento de competitividade no segmento, foi feita uma Revisão Bibliográfica Sistematizada, conforme Apêndice A, para compreender qual seria a gama de estudos existentes que possuem relação com o tema proposto. Foi visto então que dentro do universo de estudos pesquisados, não havia uma ferramenta de ranqueamento de falhas para retroalimentar o desenvolvimento do produto, de modo a otimizar seus recursos, pois a quantidade disponível de tempo dos engenheiros é bastante limitada e disputada entre projetos internos. Então levando em conta a priorização, as necessidades do cliente e registros de falhas, tem-se o seguinte problema a ser respondido: **Como melhorar a qualidade de futuras gerações de produtos, utilizando as falhas mais críticas ocorridas durante o ciclo de vida de um produto para otimizar a utilização de recursos da engenharia de desenvolvimento?**

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo Geral

Para buscar a resolução do problema, pode-se estabelecer como Objetivo Geral:

- Criar uma ferramenta de ranqueamento de falhas críticas que seja capaz de retroalimentar a P&D para que as referidas falhas sejam resolvidas em uma nova geração do produto.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Na busca de atender ao Objetivo Geral desta dissertação, necessita-se dividir o trabalho em etapas que seguem abaixo em forma de Objetivos Específicos:

- a) Classificar dados de falhas de uma linha de produtos enquadrados como bens de capital inseridos no mercado da construção civil e agricultura;

- b) Estabelecer parâmetros que caracterizam as falhas a partir da classificação dos dados;
- c) Determinar grau de importância aos parâmetros de acordo com a importância apontada por clientes/fabricantes;
- d) Estruturar ferramenta utilizando os parâmetros e seus respectivos graus de importância para ranquear as falhas críticas;
- e) Aplicar ferramenta para validar a priorização de projetos de resolução de problemas de qualidade em produtos.

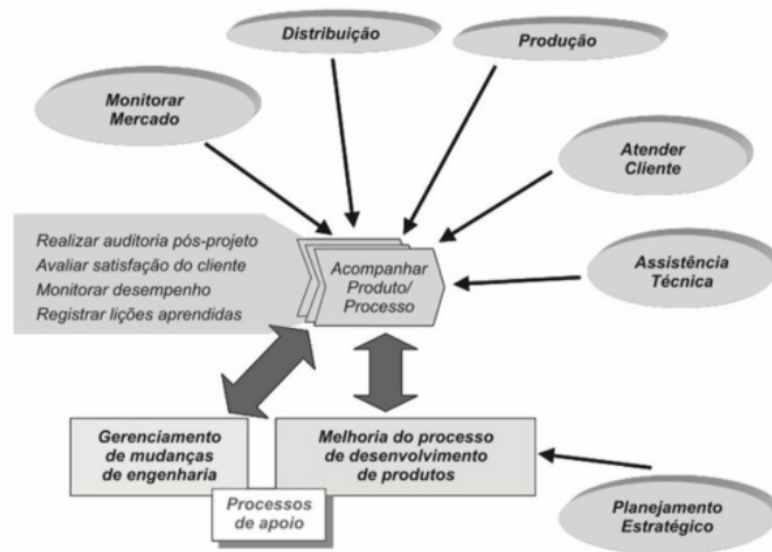
### 1.3 Justificativa

O desenvolvimento da fase “Acompanhar produto e processo” está bastante conectado com o tratamento de informações, o que acarreta a necessidade de uma sistemática bem estruturada para o gerenciamento de informações oriundas de fontes internas e externas à empresa. As informações geradas por meio desse gerenciamento devem ser incluídas na análise de desempenho do produto, realizadas no contexto da macrofase de pós-desenvolvimento (ROZENFELD *et al.*, 2006). Durante a fase de preparação para a revisão bibliográfica sistematizada, que se encontra no Apêndice A, foi percebido que não havia muitas referências sobre utilização de dados de garantia de forma estruturada para contribuir com desenvolvimento do produto.

Logo, o procedimento proposto nesta dissertação irá ajudar as empresas que buscam estar na vanguarda da tecnologia e do desenvolvimento de produto a manterem um nível de qualidade de produto elevado, levando em conta critérios estabelecidos pelos clientes (VoC) e pelo negócio (VoB), de modo a organizar o fluxo de informação oriunda de dados de falhas ocorridas durante a sua vida, otimizando os recursos de engenharia na resolução dos problemas mais importantes.

A Figura 2 mostra o grande fluxo de dados que alimenta a fase “Acompanhar produto e processo”. Rozenfeld *et al.* (2006) afirma que há dificuldades em encontrar um processo robusto para gerenciar atividades de acompanhamento pois os setores mais ligados ao desenvolvimento priorizam novos projetos, acarretando a informal transferência de controle do produto para a produção (responsabilidade interna) e para o comercial (responsabilidade externa).

**Figura 2 - Fontes de dados para a fase “Acompanhar Produto e Processo”**



Fonte: Rozenfeld (2006)

Em conversa com um dos fabricantes de máquinas de construção civil que contribuiu com esta pesquisa, foi reportado que apenas 27% dos problemas ocorridos durante o ciclo de vida de um produto são investigados, e desses, apenas 45% são resolvidos.

De posse dessas informações e dados, propõe-se neste estudo o desenvolvimento de um processo robusto de organização, priorização e retroalimentação de dados de acompanhamento do desempenho do produto para a otimização dos recursos do time de desenvolvimento de produto para resolver problemas conhecidos para as gerações futuras.

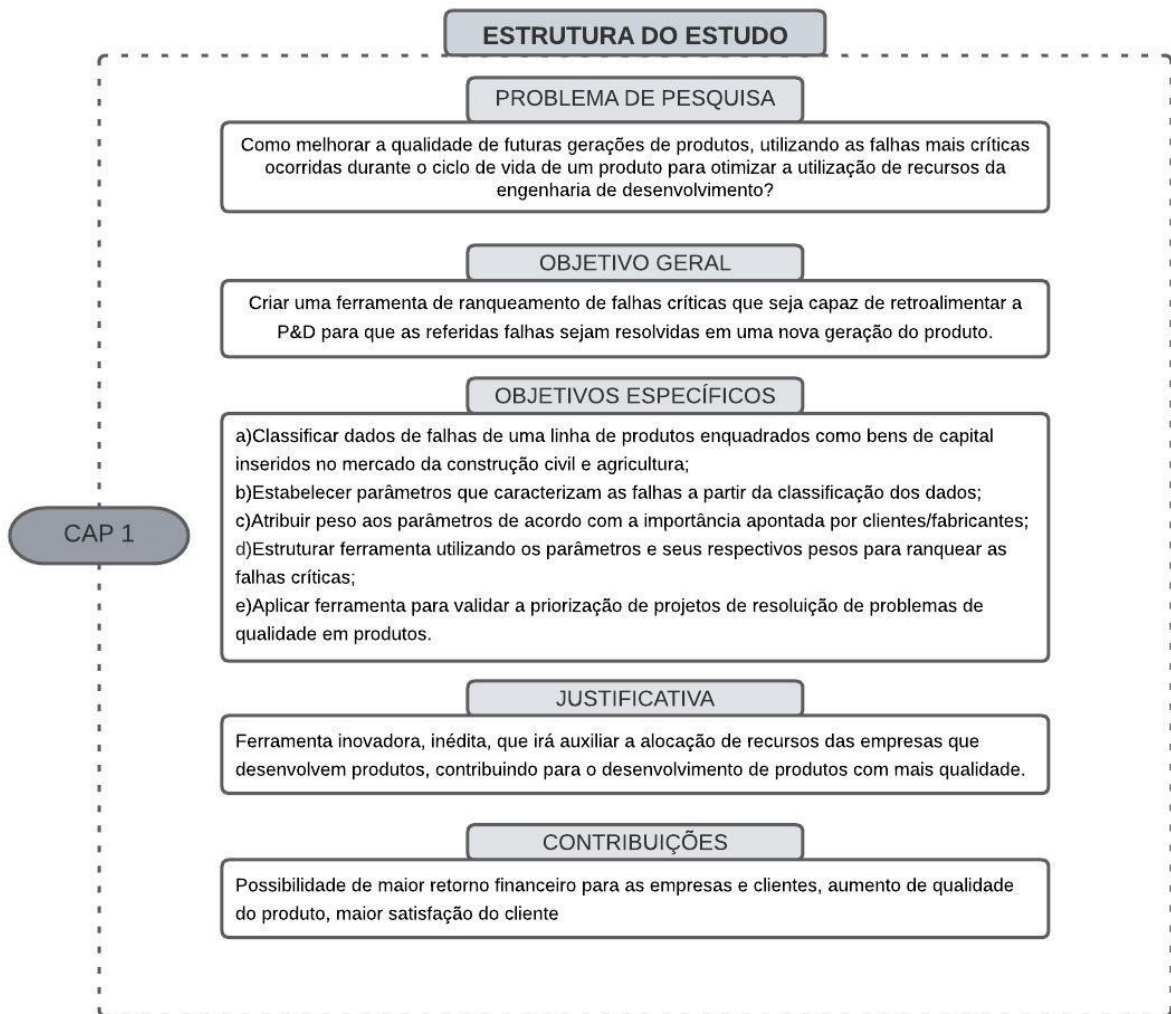
O estudo está também alinhado ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da UTFPR Ponta Grossa e o grupo de pesquisa de Desenvolvimento de Produto e Processo do Prof. Aldo Braghini Jr.

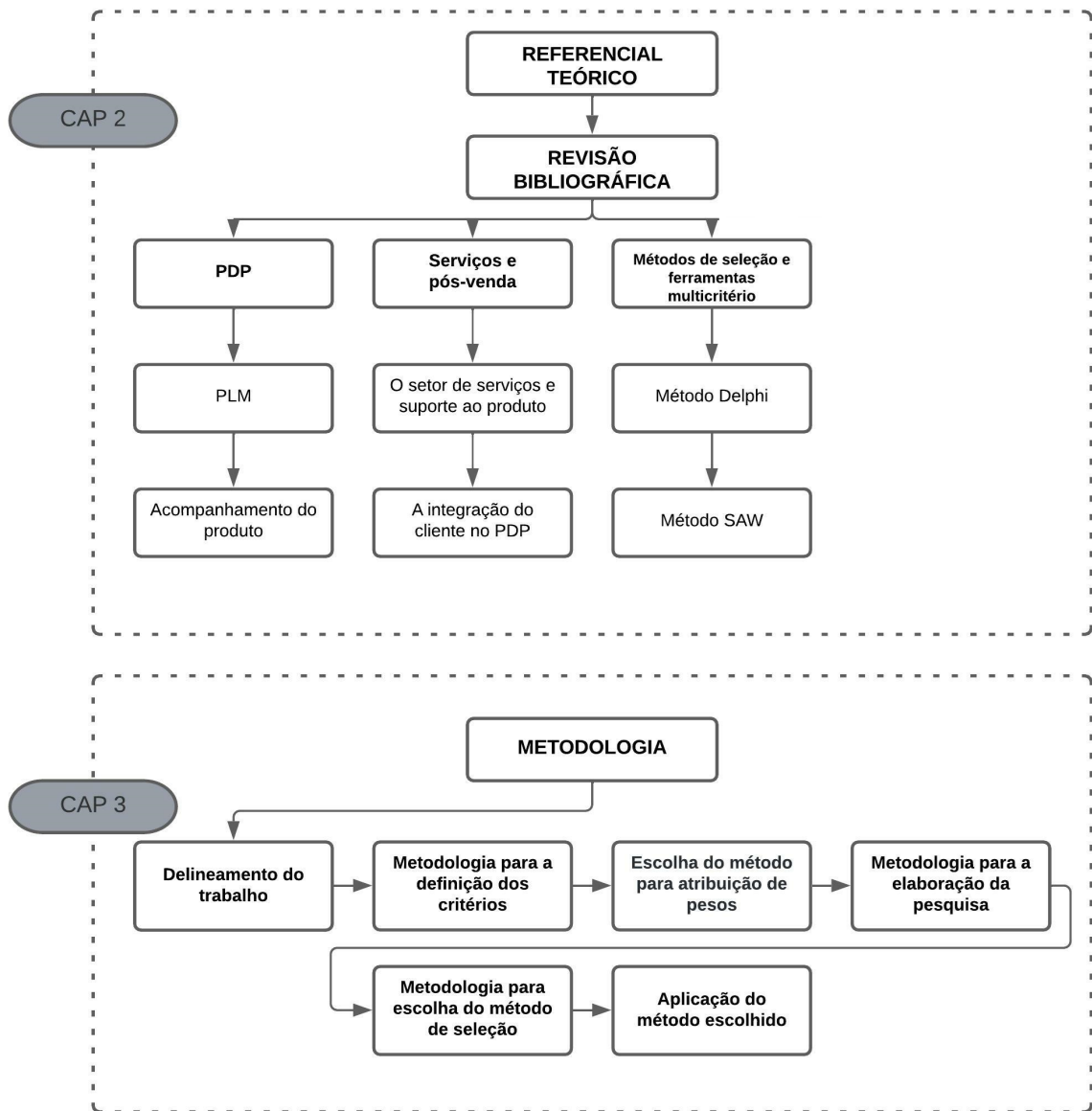
#### **1.4 Estrutura da dissertação**

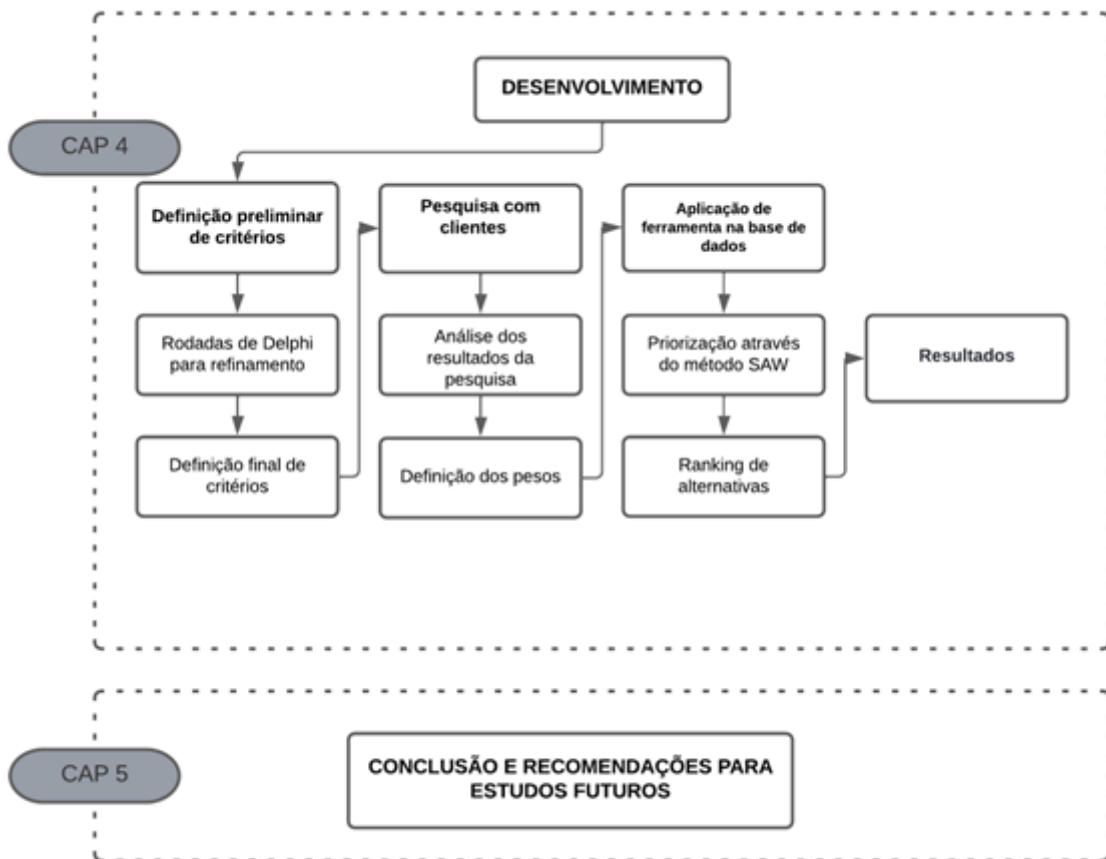
A pesquisa explorada por meio dessa dissertação será apresentada em 5 capítulos, sendo o primeiro a introdução, contextualizando a pesquisa. Também foi verificado que dentro das pesquisas selecionadas com a RBS na área de

desenvolvimento de produto e garantia, há pouca utilização de dados gerados na fase de “Acompanhar produto e processo” (Amaral, 2006), e com isso, justificando a pesquisa. No segundo capítulo será apresentado todo o referencial teórico que foi utilizado para fundamentar esta dissertação e dar entendimento aos conceitos fundamentais utilizados para que seja possível atingir os objetivos geral e específicos. O terceiro capítulo explora a metodologia utilizada para alcançar os resultados esperados na dissertação. O quarto capítulo irá demonstrar o desenvolvimento, partindo da definição dos critérios, passando pela pesquisa para definição dos pesos de cada critério e por fim, utilizar a ferramenta na base de dados coletada. O quinto capítulo apresentará conclusões e recomendações para estudos futuros. A Figura 3 mostra a estrutura desta dissertação.

**Figura 3 – Estrutura da dissertação**







Fonte: Autoria própria (2023)



## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo de referencial teórico é apresentada a fundamentação dos conceitos que nortearam esta dissertação. Ele está dividido em 3 seções, cada uma delas buscando evidenciar os conceitos explorados durante o desenvolvimento da pesquisa.

Iniciando o capítulo na seção 2.1, será explicado o conceito de produto, o processo de desenvolvimento em si, suas fases e implicações. Será dado enfoque na fase “Acompanhar produto e processo” (Rozenfeld *et al.*, 2006) pois é durante esta fase que foram extraídos os dados de garantia para que se possa criar a ferramenta proposta, a qual é tema desta dissertação. Na seção 2.2, foi explorado o conceito de pós-venda e suas implicações no ciclo de vida de um produto, relacionando também com os serviços oferecidos pela empresa detentora do projeto do produto e o monitoramento da sua performance. Também tratou de temas de marketing, como a Voz do Cliente (*Voice of Customer, VoC*), que foi essencial na composição dos critérios de priorização de resolução de problemas detectados durante o ciclo de vida do produto. A terceira sessão, 2.3, abordou os métodos matemáticos que foram utilizados para criação do processo de priorização, como métodos multicritério, lógica difusa (números *fuzzy*) e método Delphi.

### 2.1 Processo de desenvolvimento de produtos (PDP)

Nesta primeira seção será abordado o processo de desenvolvimento de produtos desde a conceituação de produto, passando pelas fases do processo de desenvolvimento de produtos e dando enfoque nos pontos mais pertinentes a essa dissertação.

#### 2.1.1 Definição e conceito de Produto

A grande maioria da população mundial diariamente tem interações com produtos, porém, não são todas as pessoas que têm contato com o desenvolvimento e a fabricação de um produto.

Para Back *et al.* (2008, p. 4):

Produto refere-se a um objeto concebido, produzido industrialmente com características e funções, comercializado e usado pelas pessoas ou

organizações, de modo a atender seus desejos e necessidades. Os produtos são constituídos de elementos que formam um conjunto de atributos básicos, tais como: aparência, forma, cor, função, imagem, material, embalagem, marca, serviços pós-venda e garantias.

Rozenfeld *et al.* (2006) afirma que a grande maioria das empresas de um determinado mercado conhece, gerencia e aprimora de forma contínua os seus processos-chave de negócio e que o Processo de Desenvolvimento de Produtos é um desses processos-chave que a permitirá competir por meio da criação de produtos e da busca da liderança tecnológica.

Crawford e Benedetto (2010) dizem que produtos podem ser bens tangíveis ou serviços e podem ser destinado ao consumidor direto, para o mercado de empresas (*Business-to-business*, ou B2B) ou ambos.

### 2.1.2 Novo Produto

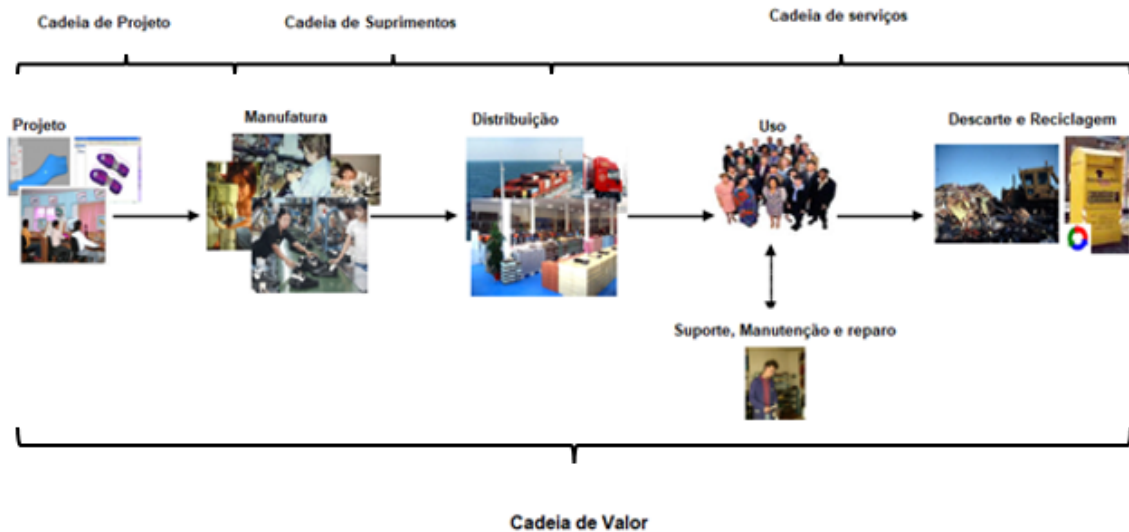
Para Rozenfeld *et al.* (2006), desenvolver produtos está relacionado a cumprir uma série de atividades pelas quais busca-se chegar às especificações de projeto de um produto

Back *et al.* (2008), destaca que novos produtos não significam, necessariamente, produtos originais. Novos produtos podem ser obtidos com melhorias e modificações de produtos existentes. Novos tamanhos e forma de um produto já existente podem representar um novo produto. Da mesma forma, um produto já existente introduzido em um novo nicho de mercado ou em um novo mercado geográfico pode ser considerado um novo produto.

Crawford e Benedetto (2010) comentam que quando se menciona “Novos Produtos” as pessoas automaticamente pensam em algo tecnológico, porém a maioria dos novos produtos são muito simples e vão desde a vanguarda da tecnologia para a versão mais recente da caneta esferográfica. Crawford e Benedetto (2010) também afirmam que o estudo do Processo de Desenvolvimento de Produto é bastante difícil e envolve a participação de centenas de indivíduos, porém, de diferentes departamentos, cada um tendo sua própria agenda a cumprir.

A Figura 4 mostra a interação entre as áreas multidisciplinares durante a vida do produto, evidenciando que a Cadeia de Projeto, a Cadeia de Suprimentos e a Cadeia de Serviços constituem a Cadeia de valor

**Figura 4 - Interação dos times multidisciplinares no Ciclo de Vida do produto**



Fonte: Adaptado de Terzi *et al.* (2010)

Todos os membros do time de novos produtos têm uma contribuição importante para o seu desenvolvimento, portanto é necessário que se abandone a visão setorial estreita. Durante este processo, que é passageiro, todos devem aprender a trabalhar com todos (CRAWFORD; BENEDETTO; 2010).

Para Back *et al.* (2008), os novos produtos podem ser classificados de três modos conforme mencionado no Quadro I:

**Quadro 1 - Classificação de produtos Segundo Back *et al.* (2008)**

| Classificação                    | Descrição  |
|----------------------------------|--|
| Variantes de produtos existentes | Incluem extensões de linha, reposicionamento de produtos em termos de seu uso e mercado, formas novas, versões modificadas e, em alguns casos, a nova embalagem de produtos existentes.  |
| Inovativos                       | São o resultado de modificações feitas em produtos existentes, gerando produtos de elevado valor agregado. Geralmente um maior grau de inovação requer um tempo mais longo ou esforço de desenvolvimento e maior custo de pesquisa.  |
| Criativos                        | São produtos normalmente com existência nova. Seu tempo de desenvolvimento é longo e os custos de pesquisa e desenvolvimento são elevados. A introdução de produtos criativos no mercado pode ser de risco elevado, mas também pode gerar novos paradigmas e potencializar novos campos industriais. |

Fonte: Back *et al.* (2008)

Já Crawford e Benedetto (2010) utilizam uma classificação mais extensa e abrangente, mencionando 6 classificações de acordo com o portfólio atual da empresa desenvolvedora/fabricante do produto, descritas no Quadro 2.

**Quadro 2 - Classificação de produtos Segundo Crawford e Benedetto (2010)**

| <b>Classificação</b>                                      | <b>Descrição</b>  |
|---|---|
| Produtos realmente novos /<br>Produtos novos para o mundo | Estes produtos são invenções que criam um mercado totalmente novo.  |
| Nova linha de produtos /<br>Produtos novos para a empresa | Produtos que levam a empresa a uma nova categoria. Os produtos não são novos para o mundo, porém são novos para a empresa.                          |
| Adição a linhas de produto existentes                     | Estes são extensões da linha atual, desenhados para dar corpo à linha de produtos oferecida ao mercado atual da empresa.                            |
| Melhorias e revisões de produtos existentes               | Produtos correntes melhorados.  |
| Reposicionamentos   | Produtos que são redirecionados para um novo uso ou aplicação.  |
| Reduções de custo   | Novos produtos que simplesmente substituem produtos da linha existente, proporcionando ao cliente performance similar, porém a um custo mais baixo. |

**Fonte: Crawford e Benedetto (2010)**

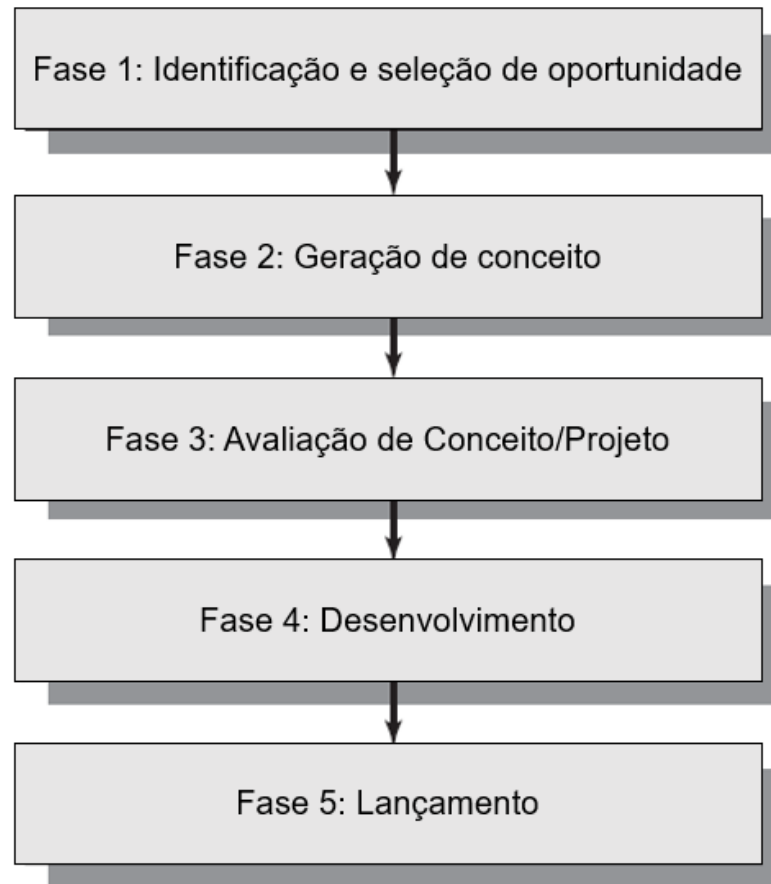
Crawford e Benedetto (2010) mostram que cada uma das categorias do Quadro 2 está separada pelo seu nível de risco e devem ser gerenciadas de modo diferente. Geralmente, se um produto é novo para o mundo ou novo para a empresa (primeiras duas categorias do Quadro 2), os riscos e incertezas para a empresa são maiores, assim como os custos associados para o seu desenvolvimento e lançamento. Vale também notar que nem todas as categorias de novos produtos do Quadro 2 são necessariamente inovações.

### 2.1.3 O Processo de Desenvolvimento de Produtos

Segundo Ulrich e Eppinger (2000), um processo é uma sequência de passos que transforma uma série de entradas em uma série de saídas, ou resultados, portanto o processo de desenvolvimento de novos produtos é uma cadeia de passos ou atividades que uma empresa segue para concepção, projeto e comercialização de um produto.

Crawford e Benedetto (2010) resumem o processo de desenvolvimento de produto como o caminho que leva um produto desde a sua concepção até seu lançamento. A Figura 5 mostra o processo de desenvolvimento de produto em sua forma mais simplificada.

**Figura 5 – Processo de desenvolvimento de produtos simplificado**



**Fonte: Adaptado de Crawford e Benedetto (2010)**

Wu e Wang (2010) definem o Processo de Desenvolvimento de Produtos como uma série de atividades desde encontrar oportunidades de mercado até a manufatura, venda e transporte do produto.

Com a necessidade de aumento de qualidade, customização e otimização de custos de produção, novas formas de desenvolver produtos são criadas (SZEJKA *et al.*, 2017).

O PDP em suas várias metodologias e formas tem em comum e como fator crítico de sucesso a troca de informações entre departamentos durante todas as etapas sejam elas quais forem, conforme visto em várias literaturas como Wu e Wang (2010), Rozenfeld *et al.* (2006), Crawford e Benedetto (2010), Back *et al.* (2008), Szejka *et al.* (2017), Terzi *et al.* (2010). Partindo desta constatação, este estudo tem um enfoque na troca de informações entre etapas do PDP. O modelo de PDP a ser utilizado é o PLM, detalhado na seção 2.1.4.

#### 2.1.4 Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto (PLM)

O conceito de ciclo de vida de produto foi proposto por Dean (1950) e o termo Gerenciamento de Ciclo de Vida do Produto (*Product Lifecycle Management*, ou PLM) como um conceito surgiu no final dos anos 1980 como uma abordagem integrada para construir um sistema de gerenciamento de desenvolvimento para as indústrias automotiva e aeroespacial (KONSTANTINOV, 1988). Amann (2002) o define como “Uma abordagem de negócios estratégica para o efetivo gerenciamento e uso de capital intelectual corporativo.”

O PLM inicialmente se referia ao processo de aceitação do produto pelo mercado até o seu descarte (TAO *et al*, 2017). Com o advento da engenharia concorrente (ou simultânea), o ciclo de vida do produto foi estendido para o campo da engenharia e foi redefinido para cobrir o processo como um todo, desde a análise de demanda, passando por projeto, fabricação, venda, até pós-venda e descarte. Ele é um dos maiores desafios no desenvolvimento e manufatura de um produto, e sua aplicação permite reduções de custo e melhorias de produto significantes (KARASEV; SUKHANOV; 2016).

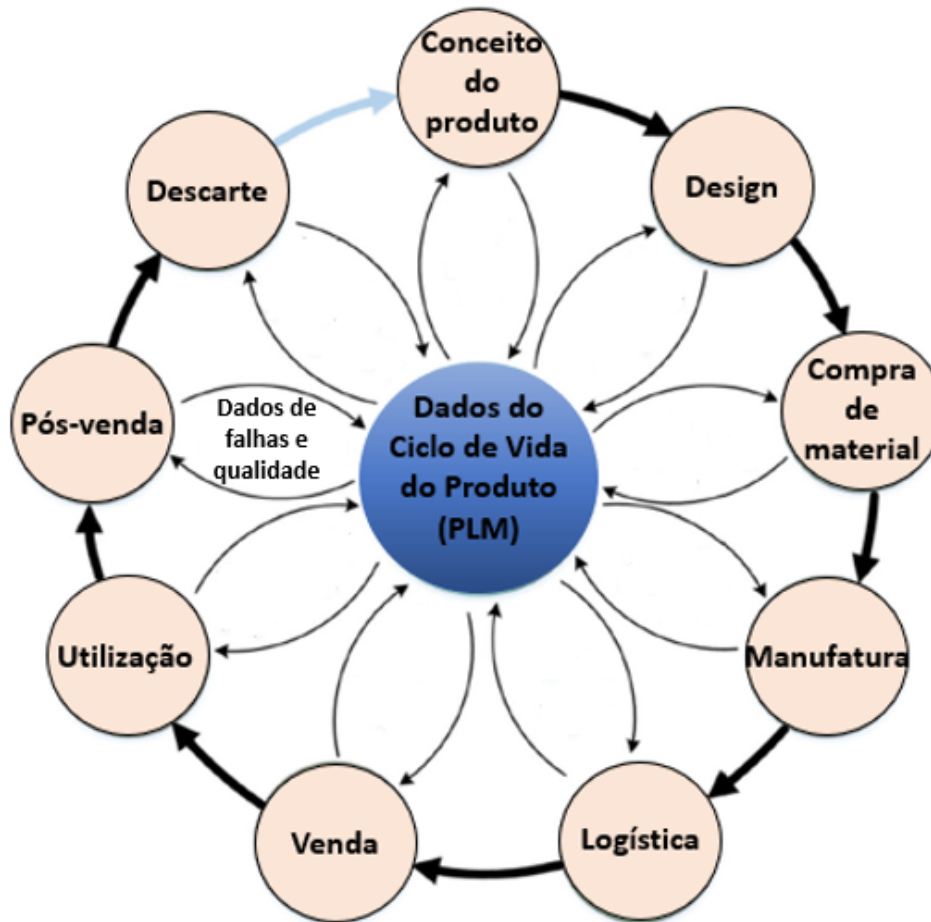
Cao e Folan (2012) descrevem o PLM contendo 9 etapas conforme Figura 6, correlacionando-as a um banco de dados que se alimenta e retroalimenta cada uma delas.

1. Conceito do produto: Nesta etapa a concepção do produto é trabalhada levando em conta dados como demandas dos clientes (*Voice of the Customer*, ou VoC), informações de mercado, planos de investimento, entre outros. O conceito do novo produto ou as melhorias a serem implementadas são definidos, assim como a sua estética e as suas funções principais.

2. Design: O time de desenvolvimento de produto completa o trabalho de design colaborativamente por meio de troca de informações. Neste ponto, as falhas e dados de garantia devem ser utilizados para um design mais confiável.

3. Compra de material: Neste estágio, planos de busca de material para manufatura são desenhados pelo time de compras. Cotações, substitutos, fornecedores e peças de mercado são algumas das atividades.

Figura 6 – O PLM e as trocas de dados na etapa de pós-venda



Fonte: Adaptado de Tao *et al.* (2012).

4. **Manufatura:** Seguindo especificações de design, os materiais e componentes são processados e/ou montados nos produtos. Então, os produtos são inspecionados de acordo com critérios de qualidade estabelecidos.

5. **Logística:** Após o final da manufatura, os produtos necessitam ser transportados até o ponto de venda de acordo com as demandas de mercados e pedidos feitos. Para um transporte mais preciso e num menor tempo, os processos logísticos precisam ser otimizados baseados no inventário, dados dos pedidos, localização etc.

6. **Venda:** Nesta etapa, o lançamento do produto é feito, disponibilizando-o para o mercado.

7. **Utilização:** Baseado na informação do manual do usuário, o cliente pode utilizar o produto normalmente. Durante esta fase, uma grande quantidade de dados é gerada e pode ser usada para manutenção, reparo e também para melhorias de produto.

8. Pós-venda: Esta etapa, foco deste estudo, envolve manutenção, reparo e serviço. As informações provenientes de reclamações de garantia são retornadas para o fabricante para melhorias de produto e predição de vida. Esta etapa é o foco deste estudo.

9. Descarte: Por fim, quando um produto chega ao fim de sua vida útil, é feito o descarte. Determinar como, quando, o que e onde serão descartados ou reciclados são responsabilidades da engenharia de desenvolvimento e é de extrema importância atender todas as leis ambientais vigentes.

Este estudo leva em consideração as interações e trocas de dados entre as etapas 2 e 8 do PLM para a utilização dos dados de garantia para retroalimentar o design, buscando uma melhora da qualidade do produto e consequente melhora na satisfação do cliente.

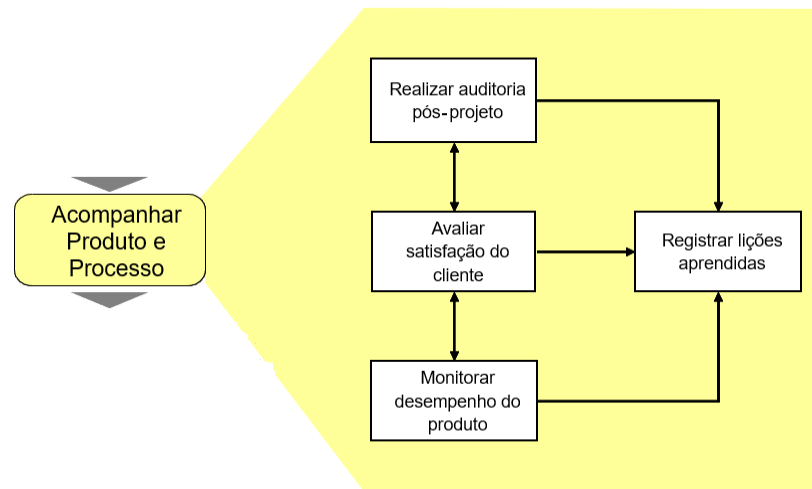
#### 2.1.5 Acompanhamento do produto

Rozenfeld *et al.* (2006) caracteriza a macrofase de “Acompanhar produto e processo” como a fase do PDP onde o objetivo é garantir o acompanhamento do desempenho do produto na produção e no mercado, monitorando-se o desempenho do produto em termos técnicos e econômicos. Esta macrofase, em conjunto com “Descontinuar produto do mercado” garantem ao PDP a compreensão de todo o ciclo de vida do produto.

Rozenfeld *et al.* (2006) ainda detalham esta macrofase como contendo quatro principais atividades, descritas na Figura 7. As três atividades “Realizar auditoria pós-projeto”, “Avaliar satisfação do cliente” e “Monitorar desempenho do produto” possuem um momento específico para realização e são inter-relacionadas. A atividade “Registrar lições aprendidas” tem uma relação de dependência com as demais. Esta pesquisa tem como foco a atividade de monitorar desempenho do produto”, criando um procedimento para retroalimentar os dados de falhas para o desenvolvimento do produto.



**Figura 7 – Atividades da macrofase “Acompanhar produto e processo”**



Fonte: Rozenfeld et al. (2006), adaptado.

Esta fase se assemelha a fase 8 do PLM “Pós-venda” que, conforme mencionado no item 2.1.4, será o foco deste estudo. Sugestões de melhoria feitas pelos clientes que não estejam relacionadas a falhas estão fora do escopo desta dissertação pois estão relacionadas à fase 7 do PLM “Utilização”.

## 2.2 Serviços e pós-venda

Kotler (2007) define serviços como uma forma de produto que consiste em atividades, prestações ou satisfações oferecidas para a venda, que são especialmente intangíveis e que não há propriedade de fato e também é caracterizado pelo seu consumo imediato. Alguns exemplos de serviços são o serviço bancário, hotelaria, viagens, manutenção e reparos. Kotler (2007) ainda diz que os serviços possuem 4 características fundamentais:

1- Intangibilidade: Significa que os serviços não se podem ver, provar, sentir ou cheirar antes de serem adquiridos.

2- Inseparabilidade: Significa que o serviço não pode ser separado dos seus prestadores. Se o serviço é prestado por um empregado então o empregado se torna parte do serviço, portanto a interação entre prestador e cliente se constitui em uma parte fundamental da prestação.

3- Variabilidade: A qualidade dos serviços depende de quem, quando, onde e como foram prestados.

4- Perecibilidade: Não se pode armazenar um serviço para sua venda ou utilização posterior.

De acordo com dados da última Pesquisa Anual de Serviços do IBGE, o setor de serviços no Brasil em 2020 totalizou R\$ 1,8 trilhão em receita líquida e ocupou 13 milhões de pessoas. Dados de 2020 do Banco Mundial mostrados na Tabela 1, evidenciam que o setor de serviços nos Estados Unidos emprega 78,7% da população e representa 77,3% do seu PIB, representando assim o setor de maior significância na sua economia.

**Tabela 1 – Representação do setor de serviço nos Estados Unidos**

| Divisão da atividade econômica por setor  | Agricultura | Indústria | Serviços |
|---|-------------|-----------|----------|
| Emprego por setor (em % do emprego total) | 1,4         | 19,9      | 78,7     |
| Valor agregado (em % do PIB)              | 0,9         | 18,2      | 77,3     |
| Valor agregado (crescimento anual em %)   | 5,4         | 2,3       | 2,2      |

**Fonte: Banco Mundial (2020)**

Esta seção irá abordar os conceitos de concorrência, suporte ao produto e garantia, uma vez que este estudo foca em dados de garantia provenientes de serviços de manutenção e reparos, assim como abordará a integração dos clientes no PDP.

### 2.2.1 Concorrência e Competitividade

Para Kotler (2007) concorrência são outras empresas que oferecem produtos ou serviços similares aos mesmos clientes e a preços similares. Em uma segunda definição, Kotler (2007) diz que concorrência são as empresas que fabricam produtos que proporcionam o mesmo serviço, ou também, empresas que competem por obterem dinheiro dos mesmos consumidores. Kotler (2007) menciona que a concorrência é capaz de copiar em pouco tempo a empresa operacionalmente eficaz mediante a utilização de *benchmark* e outras ferramentas, minimizando, assim, a vantagem da eficácia operacional. Porter (1996) define estratégia como a criação de uma posição única e valiosa que envolve um diferente conjunto de atividades. Uma organização pode alegar que possui uma estratégia quando realiza atividades diferentes das de suas rivais ou realiza atividades similares de modos diferentes.

Banbury e Mitchell (1995) mostraram que o desenvolvimento efetivo de produtos incrementais e a rápida introdução de produtos são criticamente importantes para o desempenho dos negócios. Stanko *et al.* (2012) mostram que a velocidade no mercado por produtos inovadores leva a maior qualidade e menores custos.

Para Rozenfeld *et al.* (2006) o desenvolvimento de produto está diretamente ligado com possuir vantagens competitivas no mercado, principalmente com o cenário internacionalizado e globalizado que se vive hoje, o aumento da diversidade e variedade de produtos e sua redução de ciclo de vida (Obsolescência programada). Com o aperfeiçoamento do PDP a empresa pode criar produtos mais competitivos e em menos tempo para atender à constante evolução do mercado e da tecnologia.

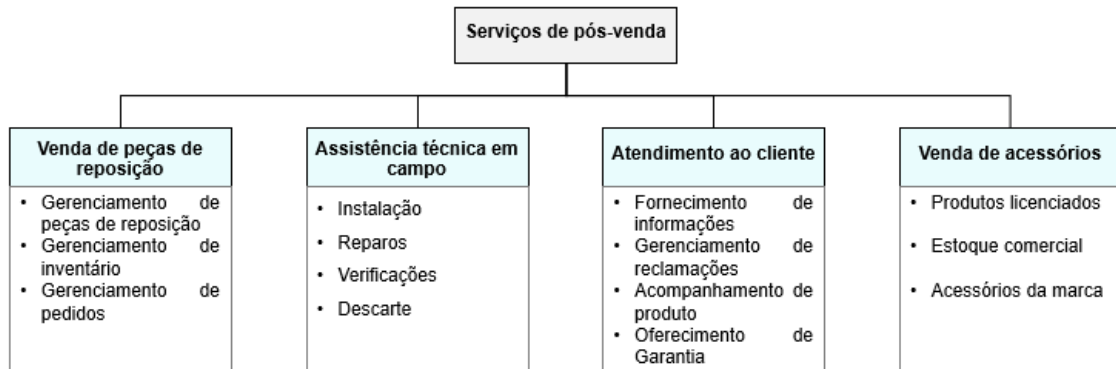
### 2.2.2 Pós-venda e Suporte ao Produto

Desde os anos 1990 as empresas têm aumentado significativamente seu faturamento após a venda do produto (pós-venda) por meio de peças, tecnologias e serviços (DURUGBO, 2019). Holmstrom (2011) mostra que o setor de pós-venda contribui com cerca de 25% do faturamento e entre 40-50% do lucro de empresas de manufatura, indústria a qual as empresas deste estudo estão inseridas.

Em sua essência, pós-venda é o período durante o qual o vendedor ou o fabricante de um produto garante ao comprador assistência, manutenção ou reparos do bem adquirido (DIAZ; MARQUEZ; 2014). Segundo Rahman *et al.* (2015) e Diaz e Marquez (2014), o propósito do pós-venda é suportar opções de garantia estendida que assegurem a confiabilidade do produto e minimizar custos de serviços em adição a garantia padrão que corrige defeitos e falhas de produto.

Como mostrado na Figura 8, segundo Durugbo (2019), as principais atividades do pós-venda são “Venda de peças de reposição”, “Assistência técnica em campo”, “Atendimento ao cliente” e “Venda de acessórios”. Este estudo foca nas duas atividades “Assistência técnica em campo” e “Atendimento ao cliente”, principalmente nos itens de reparos, gerenciamento de reclamações, acompanhamento do produto e oferecimento de garantia, sendo este último o grande recurso de obtenção de dados para desenvolvimento da ferramenta proposta.

**Figura 8 – O suporte de pós-venda**



**Fonte: Adaptado de Durugbo 2020.**

O item 2.2.3 irá explorar com detalhes o conceito de garantia e os seus impactos na percepção de qualidade dos clientes e como ela afeta a competitividade de um produto no mercado.

### 2.2.3 Garantia

Na legislação brasileira, o Código de Defesa do Consumidor, criado pela Lei Nº 8.078, de 11 de setembro de 1990, prevê no artigo 18 que os fornecedores de produtos de consumo duráveis ou não duráveis respondem solidariamente pelos vícios de qualidade ou quantidade que os tornem impróprios ou inadequados ao consumo a que se destinam ou lhes diminuam o valor. Já o artigo 26 diz que o consumidor tem direito de reclamar por vícios aparentes ou de fácil constatação em 30 dias em caso de bens não duráveis, e 90 dias em caso de bens duráveis. Segundo Li, Zhao e He (2018) esta responsabilidade da empresa ou fabricante em assegurar a qualidade do produto por este período é conhecida como “Garantia” e é, portanto, uma obrigação legal. O produto objeto deste estudo se encaixa na categoria de bens duráveis e, portanto, será tratado como tal.

Ainda segundo Li, Zhao e He (2018) os fabricantes e vendedores podem possuir uma política de garantia própria para reparar e substituir produtos defeituosos e isso pode ser benéfico para os clientes uma vez que a garantia legal (90 dias de acordo com o CDC) pode ser insatisfatória.

Zhou *et al.* (2017) definem reclamações de garantia como um pedido do cliente por reparo ou compensação para um produto, baseado na política de garantia do fabricante e nas leis vigentes. Dados mostram que companhias automotivas dos

Estados Unidos pagaram cerca de US\$ 15,6 bilhões em garantias ao redor do mundo, o que representa cerca de 1,7% a 1,8% do faturamento dos seus produtos (ZHOU *et al.*, 2017)

Huang, Liu e Murthy (2007) afirmam que com a crescente complexidade dos produtos desenvolvidos os clientes se veem duvidosos quanto à sua performance, sendo o seu convencimento da qualidade do produto fator crucial na hora da compra. Para Murthy e Djamaludin (2002) essa dúvida quanto a performance do produto, se ele vai mesmo cumprir o que promete, ou até mesmo o desempenho em relação a produtos concorrentes pode levar o cliente a escolher o fabricante que oferece as melhores condições de garantia. Neste contexto, garantia padrão e garantia estendida são elementos importantes de pós-venda e a manufatura necessita ver isso como parte da estratégia de serviços e pós-venda (MURTHY; DJAMALUDIN; 2002).

Para Murthy (2007) do ponto de vista do cliente, a maior função da garantia nestas operações é de proteção em caso de mau funcionamento. Uma segunda função é de informação, uma vez que a maioria dos clientes acreditam que um produto com um período de garantia mais longo é mais confiável que um produto similar com um período de garantia inferior.

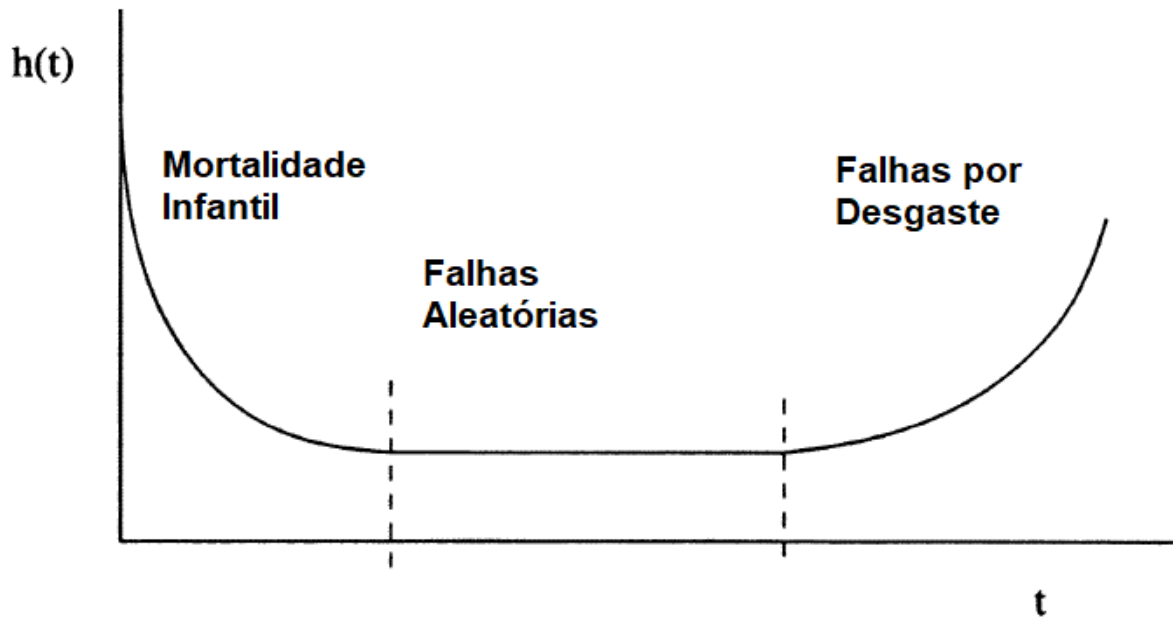
De acordo com Zhou *et al.* (2017) as reclamações de garantia ao longo do tempo e dados históricos observados durante a vida do produto são cruciais para propor modelos que busquem a melhoria de produto. Uma das formas de enxergar esta distribuição de falhas ao longo do ciclo de vida de um produto é por meio da “Curva da banheira” (*Bathtub curve*). Klutke *et al.* (2003) mencionam que as origens da Curva da banheira são desconhecidas, porém há evidências de sua utilização desde o século XVII. Ela representa a ideia de que a operação de uma população de produtos pode ser vista como a taxa de falhas ( $h(t)$ ) ao longo do tempo ( $t$ ) e é composta de 3 períodos distintos, como mostra a figura 9 (KLUTKE *et al.*, 2003):

- 1- O período logo após o início do funcionamento do equipamento, chamado de Mortalidade Infantil. Neste período  $h(t)$  é alto, porém decresce rapidamente. Nessa fase os defeitos de instalação, fabricação e componentes inadequados aparecem com maior frequência.

- 2- O período de Falhas Aleatórias é onde  $h(t)$  se mantém constante. Neste período falhas aleatórias e problemas crônicos de projeto aparecem com maior frequência.

3- O período de Falhas por Desgaste é o período o qual, como o próprio nome sugere, ocorrem os problemas relacionados ao uso do produto, causando um desgaste natural. Neste período  $h(t)$  aumenta ao longo do tempo.

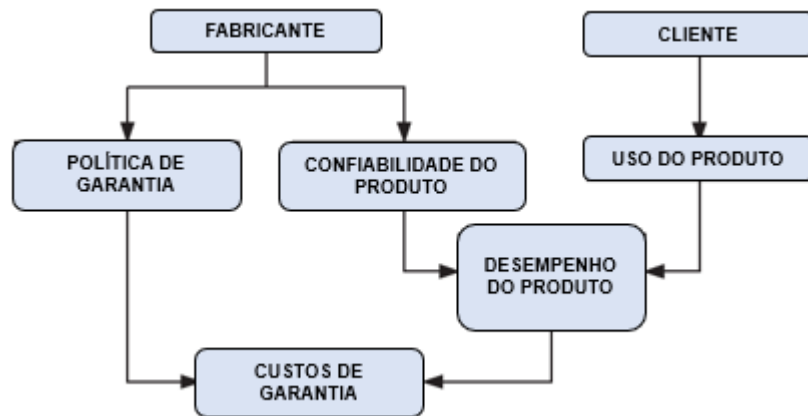
Figura 9 – A Curva da banheira



Fonte: Adaptado de Klutke *et al.* (2003)

Muitos estudos buscam um valor ótimo para que o custo de garantia seja incorporado ao produto, como em Huang, Liu e Murthy (2007), Fang (2020) e Zhao *et al.* (2020) pois oferecer garantia envolve custos adicionais ao fabricante e isto impacta diretamente em seus lucros e resultados. Murthy (2007) afirma que os custos de garantia dependem diretamente da confiabilidade do produto e seu uso. A Figura 10 ilustra um fluxograma de custos de garantia. Portanto, a intenção deste estudo de melhorar a qualidade do produto através da utilização dos dados de garantia por meio da otimização dos recursos de engenharia é bastante alinhada com a literatura disponível.

Figura 10 – Fluxograma de custos de garantia



Fonte: Adaptado de Murthy (2007).

Murthy (2007) menciona que a garantia base é integral à venda e é rateado no preço de venda dos produtos. Já a garantia estendida é opcional e vendida aos clientes durante o período de pós-venda. Ela pode ser oferecida pelo fabricante, revendedores ou agentes independentes, como companhias de seguro (MURTHY, 2007).

Alkahtani *et al.* (2019) destacam que dados de garantia e de performance de campo proporcionam informações cruciais relacionadas a qualidade e robustez do produto sob uma perspectiva dos clientes. Analisar dados de performance pode oferecer *insights* quanto a possíveis alterações de projeto para melhorar a confiabilidade do produto.

Murthy (2007) menciona que existem inúmeros tipos de indicadores de custo de garantia e cita os 3 principais como:

- I. Custo de garantia por unidade;
- II. Custo de garantia em um intervalo de tempo;
- III. Custo de garantia por unidade de tempo (Taxa de garantia).

Uma das empresas estudadas que disponibilizou o banco de dados de falhas utiliza dois indicadores de custo de garantia:

- a) Custo de garantia por unidade;
- b) Custo de garantia anual.

Desta forma é possível acompanhar indicadores econômicos que se relacionam diretamente com a qualidade e confiabilidade do produto.

Murthy e Djameludin (2002) enfatizam que os custos de garantia dependem diretamente da confiabilidade do produto, sendo ela influenciada pelas decisões tomadas durante os estágios de projeto e manufatura. Melhorando a confiabilidade do produto o custo de garantia decresce. A confiabilidade do produto pode ser melhorada durante a fase de projeto através do desenvolvimento.

Murthy e Djameludin (2002) adicionam ainda que há duas formas de melhorar a confiabilidade do produto através do projeto:

1. Utilizando redundâncias;
2. Aumento de confiabilidade através de um programa de desenvolvimento.

Utilizar uma redundância significa que um ou mais componentes são replicados para melhorar a confiabilidade do produto. Blischke e Murthy (2000) explicam que a redundância adiciona custos ao produto e dependendo do tipo de redundância, mais complexidade ao sistema. A redundância é bastante utilizada na indústria aeronáutica para garantir a segurança de todas as pessoas a bordo. Em caso de falha de um componente ou sistema, outro reserva é ativado até que a aeronave possa pousar em segurança.

A segunda forma é através do aumento da confiabilidade (*Reliability Growth*), que envolve esforços de P&D. O produto é submetido a um processo iterativo de testes, análises e ciclos de correção. Baseado nos resultados dos testes e no modo de falha, mudanças no projeto são feitas para melhoria da confiabilidade. (BLISCHKE; MURTHY; 2000).

Murthy e Djameludin (2002) mencionam a existência de estudos empíricos que mostram que produtos com melhores termos de garantia possuem um impacto significativo na escolha dos clientes em pagar mais pelo *premium*.

Para este estudo, campanhas de *recall* também serão consideradas como dados de garantia. Murthy e Djameludin (2002) identificam uma campanha de *recall* como um chamado proativo para resolução de um problema conhecido pelo fabricante em lotes de fabricação específicos. Campanhas de *recall* em toda a população de produtos são mais raras e são geralmente decorrentes de especificações de produto ruins.



#### 2.2.4 A integração de clientes no PDP e o *Voice of the Customer*

Melander (2020) afirma que o desenvolvimento concomitante e colaborativo cresce na proporção que os produtos incluem novas tecnologias e são esperadas introduções mais rápidas no mercado. As empresas utilizam um número significativo de colaboradores, não apenas internos, para obter entradas para ideias inovadoras e acesso a novas tecnologias pois nenhuma empresa possui todo o conhecimento do mundo dentro da sua própria casa.

Abdolmaleki e Ahmadian (2016) mencionam que o principal objetivo das organizações é a criação de valor e a sua sobrevivência depende consequentemente da sua habilidade de criar valor, portanto, um gerenciamento efetivo é necessário, com integração e consistência, onde uma criação de valor estável e balanceada é o foco. Hoje, contando com a alavancagem da concorrência tradicional, incluindo maior qualidade e custo reduzido e distinção em produtos e serviços, não é mais suficiente no campo da concorrência. Alguns conceitos como velocidade e flexibilidade são aumentados e a tendência à apresentação de novos serviços e produtos é a razão justificada desta mudança de abordagem (SAEEDA ARDAKANI, 2011). Abdolmaleki e Ahmadian (2016) mencionam que para iniciar essa diferente abordagem, a participação dos clientes como parceiros no processo é fundamental. Os clientes podem colaborar ativamente na criação de valor.

Freeman (1984) cita que a Teoria dos *Stakeholders* serve como base para gerenciar relações com uma ampla gama de pessoas atuantes em um ambiente cada vez mais complexo. Driessen e Hillebrand (2013) dizem que ela descreve e defende atenção simultânea para legitimar os interesses de todos os *stakeholders*. Freeman (1984) define *stakeholders* como qualquer grupo ou indivíduo que pode afetar ou é afetado pelo funcionamento da organização. Driessen e Hillebrand (2013) afirmam que os clientes são *stakeholders* e são parte crucial no processo de desenvolvimento de produto.

### 2.3 Métodos de seleção e ferramentas multicritério

A Tomada de Decisão Multicritério (*Multiple Criteria Decision Making*, ou MCDM) é um conjunto de métodos que avaliam um conjunto de alternativas por meio de critérios de decisão (TRIANANTAPHYLLOU, 2000). O objetivo de uma ferramenta de decisão multicritério é prover uma escolha por meio de uma ordem de alternativas da mais preferida a menos preferida (ROY, 1996); (ZAVADSKAS; TURSKIS; KILDIENE; 2014). Há 3 estágios que as ferramentas multicritério comumente seguem (TRIANANTAPHYLLOU, 2000):

1. Determinar critérios e alternativas relevantes;
2. Atribuir valores numéricos para a importância relativa dos critérios e para os impactos da alternativa nesses critérios;
3. Processar os valores numéricos para determinar o ranking de cada alternativa.

Em Chiavenato (1983), são identificados seis elementos comuns a toda decisão:

- a) decisor;
- b) objetivo;
- c) preferências;
- d) estratégia (metodologia utilizada para a tomada de decisão);
- e) situação (aspectos ambientais, recursos e restrições);
- f) resultado (consequências do processo de decisão).

O MCDM pode ser dividido em duas categorias de acordo com a natureza das alternativas, MADM (*Multi Attribute Decision Making*) e MODM (*Multi Objective Decision Making*). A categoria MADM define a melhor alternativa entre um conjunto de alternativas pré-determinadas e é mais utilizado para problemas de seleção e classificação de alternativas. Os métodos mais comuns são SAW, AHP, ELECTRE, TOPSIS, entre outros. A categoria MODM define a melhor solução considerando o conjunto de restrições do problema e é mais utilizado para problemas de planejamento/*design*. Os métodos mais comuns são a programação multiobjetivo, programação por metas, entre outros (ZAVADSKAS; TURSKIS; KILDIENE; 2014); (TRIANANTAPHYLLOU, 2000).

### 2.3.1 O método SAW – Simple Additive Weighting

O método SAW, formulado por Churchman e Ackoff, (1954), parte de uma matriz de decisão D mostrada no Quadro 3, a qual  $A_i$  representa as  $i$  alternativas de 1 até  $m$ ,  $C_j$  representa os  $j$  critérios de 1 até  $n$  e  $a_{ij}$  representa o desempenho da alternativa  $i$  em relação ao critério  $j$ . Nesta matriz também são mostrados os pesos dos critérios  $w_j$  os quais a soma deve ser igual a 1.

**Quadro 3 – Matriz de decisão D m x n**

| Alternativas<br>( $A_i$ ) | Critérios ( $C_j$ ) |          |          |          |
|---------------------------|---------------------|----------|----------|----------|
|                           | $C_1$               | $C_2$    | ...      | $C_n$    |
|                           | $w_1$               | $w_2$    | ...      | $w_j$    |
| $A_1$                     | $a_{11}$            | $a_{12}$ | ...      | $a_{1n}$ |
| $A_2$                     | $a_{21}$            | $a_{22}$ | ...      | $a_{2n}$ |
| $\vdots$                  | $\vdots$            | $\vdots$ | $\ddots$ | $\vdots$ |
| $A_m$                     | $a_{m1}$            | $a_{m2}$ | ...      | $a_{mn}$ |

Fonte: Triantaphyllou 2000 (adaptado)

O método SAW é comumente utilizado em priorizações em problemas unidimensionais, onde todas as unidades são as mesmas. Para  $M$  alternativas e  $n$  critérios, a melhor alternativa é a que satisfaz (para casos de maximização) a expressão abaixo (FISHBURN, 1967):

$$A_{WSM-score}^* = \max (\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j) \quad \text{para } i = 1, 2, 3, \dots, m. \quad (1)$$

onde:  $A_{WSM-score}^*$  é a pontuação da melhor alternativa,  $n$  é o número de critérios de decisão,  $a_{ij}$  é o valor real da  $i$ -ésima alternativa em termos do  $j$ -ésimo critério,  $w_j$  é o peso do  $j$ -ésimo critério. A premissa que rege este modelo é que o valor total de cada alternativa é igual à soma de todos os produtos conforme equação 1 (TRIANANTAPHYLLOU, 2000).

Como este método envolve a medida dos benefícios de cada alternativa, todos os critérios de minimização (custo, por exemplo) devem ser transformados em critérios de maximização (benefícios) antes da normalização (MULLINER; MALYS; MALIENE; 2016).

Karni (1990) mostra que as principais vantagens do método SAW são:

1. Os rankings são baseados em medidas quantitativas, portanto um único ranking é obtido;
2. A qualidade de cada alternativa é dada pela mesma medida cardinal;
3. O método é de fácil execução e entendimento.

O método *Fuzzy SAW* foi escolhido para este estudo pois, além dos 3 pontos anteriormente descritos por Karni (1990), é utilizado em pesquisas de desenvolvimento de produto, como em Ying *et al* (2018) e Barkaoui *et al* (2022).

### 2.3.2 Números *Fuzzy*

Os números *Fuzzy*, nasceram da necessidade de se quantificar a imprecisão inerente a problemas de tomada de decisão (TRANTAPHYLLOU, 2000). Para Kiani (2019), os números *Fuzzy* representam uma abordagem analítica que organiza diversos membros de diferentes conjuntos em vários níveis do mesmo conjunto.

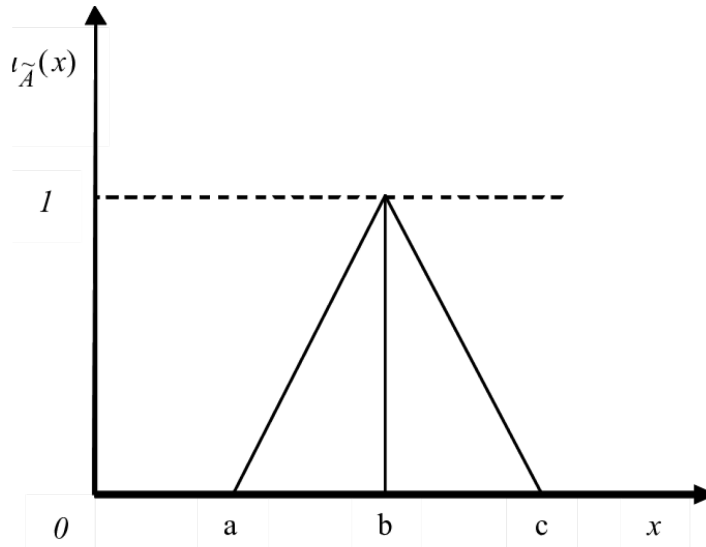
Eles foram propostos primeiramente por Zadeh (1965), como um método para converter variáveis linguísticas em numéricas para o processo de tomada de decisão. Para Triantaphyllou (2000) a parte mais crítica no processo de utilização de lógica *Fuzzy* em problemas de tomada de decisão é estimar corretamente os intervalos de dados. A grande vantagem de utilizar uma abordagem *Fuzzy* é expressar as importâncias relativas dos critérios e das alternativas com variáveis linguísticas ao invés de números absolutos (*crisp*).

Para este estudo, baseando-se em Yao e Wu (2000), foram utilizados os números *fuzzy* triangulares que, de acordo com Zadeh (1965) e Didier e Henri (1980), são expressos por uma ordem tripla  $\tilde{A} = (a, b, c)$ , de tal modo que  $a \leq b \leq c$ , obedecendo a função:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (2)$$

onde  $a$  e  $c$ , respectivamente, representam os limites inferior e superior de  $\tilde{A}$  e  $b$  é o seu valor modal. Eles foram utilizados neste estudo pois são de mais simples compreensão e utilização em ferramentas de decisão multicritério (TRANTAPHYLLOU, 2000). A representação gráfica de um número *fuzzy* triangular é mostrada na Figura 11.

Figura 11 – Representação gráfica de um número *Fuzzy* triangular



Fonte: Adaptado de Wang, 2021

A defuzzificação é o ato de transformar um número *fuzzy* em um número absoluto (crisp) e, para este estudo, será utilizada a abordagem *Signed Distance* de Yao e Wu (2000), que utilizam a equação 3:

$$d(\tilde{A}_j) = \frac{1}{4}(a_j + 2b_j + c_j) \quad (3)$$

onde  $d(\tilde{w}_j)$  é a *Signed Distance* do número *fuzzy* triangular  $\tilde{A}_j = (a_j + b_j + c_j)$ .

Para que os dados mostrem consistência, é preciso que seja feita uma normalização dos números defuzzificados, ou seja, é necessário que eles sejam colocados em uma mesma escala de valores adimensionais em que a sua somatória final seja igual a 1 (ABDELLI; MOKDAD; HAMMAL; 2020). Nesta pesquisa será utilizada a normalização para números *fuzzy* triangulares utilizada por Puska *et al* (2023) que é feita através da equação 4:

$$X_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_i a_{ij}} \quad (4)$$

onde  $\sum_i a_{ij}$  é a soma dos valores das alternativas para um certo critério que possua atributo de maximização.

### 2.3.3 O método Fuzzy SAW

O método *Fuzzy SAW* é um método híbrido que mistura números *Fuzzy* com o método de decisão SAW, descrito anteriormente. Ele parte de variáveis linguísticas atribuídas para os pesos e as alternativas, transformando-as em números absolutos

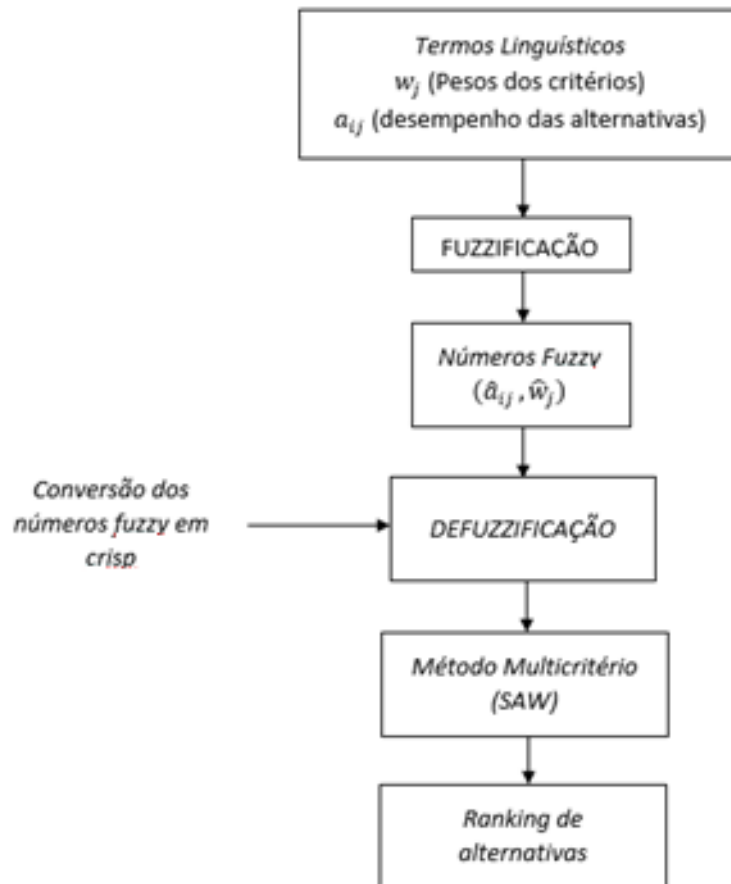
(*crisp*) para só então aplicar o método SAW para a priorização das alternativas (KIANI, 2019).

Segundo Triantaphyllou (2000), o valor da performance da  $i$ -ésima alternativa em termos do  $j$ -ésimo critério é um número *Fuzzy* com o formato  $\hat{a}_{ij} = (a_{ija}, a_{ijb}, a_{ijc})$ . Da mesma forma, assume-se que o decisor utilizará variáveis linguísticas para expressar o grau de importância dos critérios. Após isto, elas serão transformadas em números *Fuzzy*, expressos como  $\hat{w}_j = (w_{ja}, w_{jb}, w_{jc})$ . Assim como no método SAW, a soma dos pesos deve ser igual a 1. De forma análoga, a melhor alternativa  $\hat{P}_{F-WSM-score}^*$  é descrita pela relação mostrada na Equação 6:

$$\hat{P}_{F-WSM-score}^* = \max (\sum_{j=1}^n \hat{a}_{ij} \hat{w}_j) \quad \text{para } i = 1, 2, 3, \dots, m. \quad (6)$$

De tal modo, espera-se obter os resultados utilizando esta ferramenta conforme exibido no fluxograma contido na Figura 12. Os pesos  $\hat{w}_j$  serão atribuídos por meio de pesquisa de opinião dos clientes detalhada no capítulo 3.

**Figura 12 – Fluxograma do método de decisão *Fuzzy* SAW**



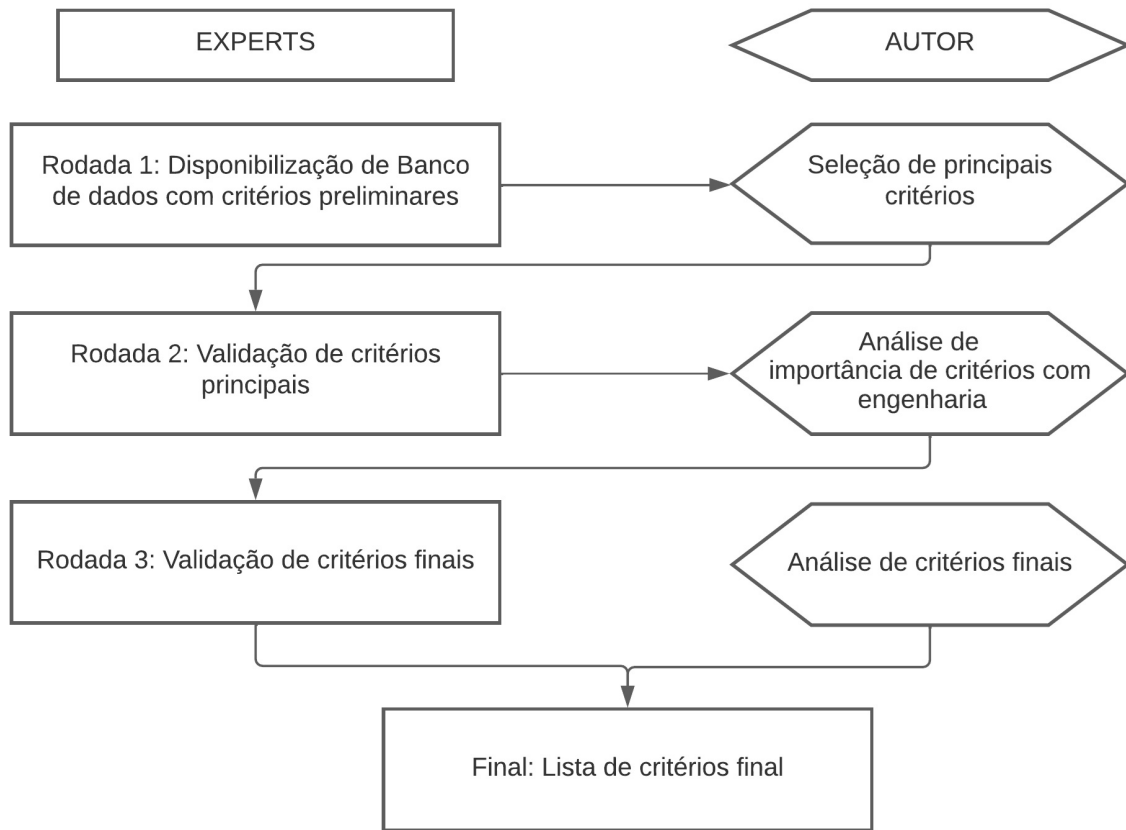
Além das pesquisas de desenvolvimento de produto de Ying *et al* (2018) e Barkaoui *et al.* (2022) já citadas, Abdullah *et al.* (2019) e Awasthi (2015) utilizam o método SAW, porém juntamente com abordagens em conjunto com números *fuzzy* para a transformação de variáveis linguísticas em números absolutos (*crisp*).

#### 2.3.4 O método Delphi

Turoff (2002) define o método Delphi como um método para estruturar um processo de comunicação em grupo de forma que o processo seja eficaz para permitir que um grupo de indivíduos, como um todo, lidem com um problema complexo.

Bastante utilizado nas pesquisas que buscam atingir um consenso sobre determinado assunto, ele busca a perspectiva de *experts* e profissionais no assunto até convergir a opinião baseado na questão inicial levantada para um estudo (NEGASH; HASSAN, 2020). Basicamente o método coleta opiniões e históricos de um grupo de *experts* no assunto e se desenvolve até atingir um consenso sobre o assunto (KIANI, 2019).

O método é bastante abrangente e adaptável, vistos os vários estudos citados em Turoff, 2002. A abordagem de Ashfari (2012) será utilizada e é mostrada na Figura 13, já adaptada para este estudo.

**Figura 13 – Fluxograma do método Delphi adaptado a este estudo**

**Fonte: Adaptado de Ashfari (2012)**



### **3 METODOLOGIA**

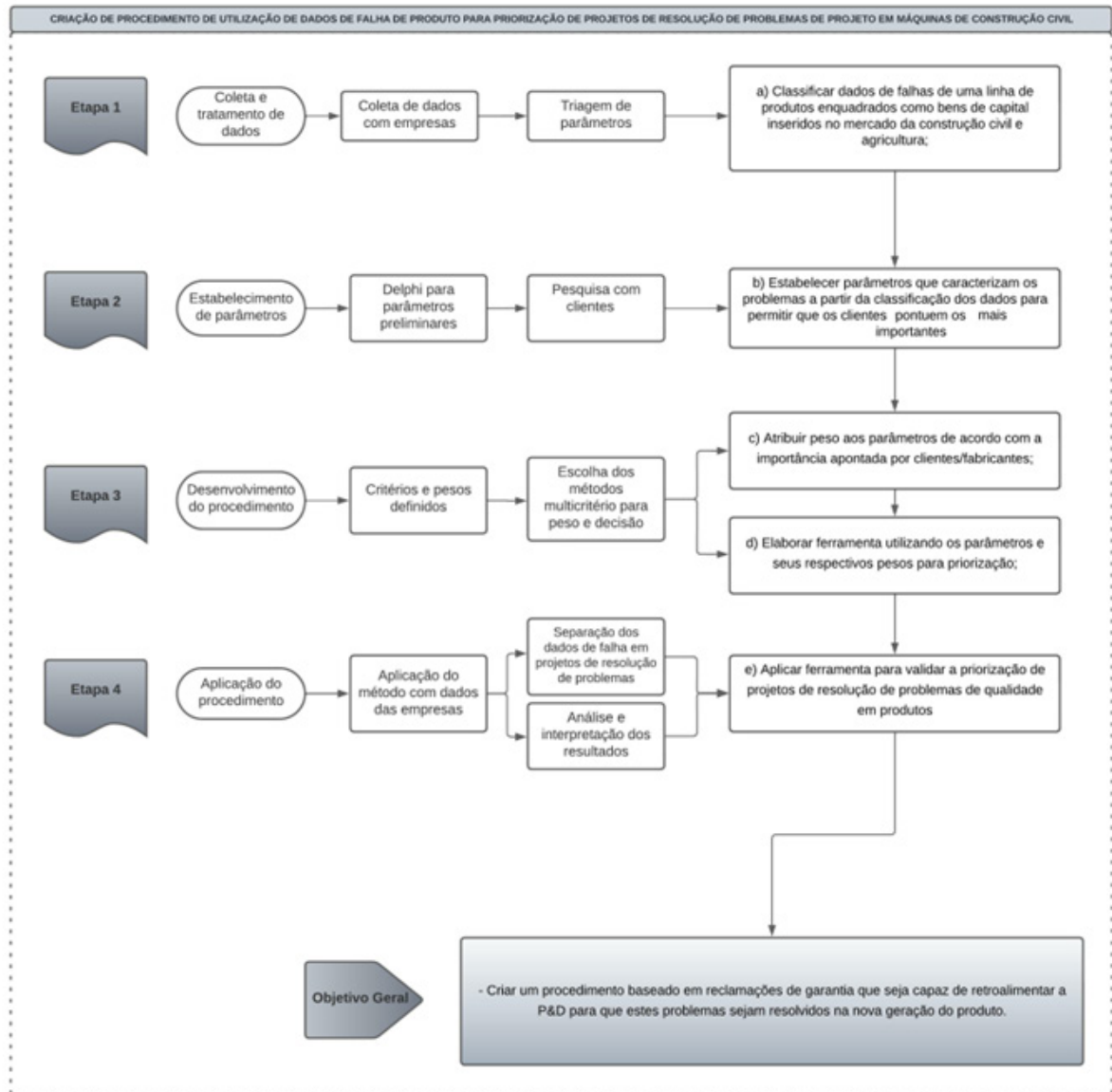
Este capítulo aborda as classificações da pesquisa que foram adotadas neste trabalho. Apresenta-se brevemente a metodologia utilizada para elaboração da pesquisa que contribuiu na construção do referencial teórico. Foi seguida a estrutura descrita na Figura 2, que é o delineamento do estudo, a metodologia para a definição dos critérios, a escolha dos métodos para a atribuição dos pesos, a metodologia para a elaboração da pesquisa/entrevista com os clientes, a metodologia para a escolha do método de seleção e a estruturação para a aplicação do método.

Este estudo usa como referência a família de equipamentos de carregadeiras de rodas de pequeno porte, que variam aproximadamente entre 10.000 kg e 19.000 kg de peso operacional e 150 a 200 hp de potência do motor. A família de produto estudada pertence a dois fabricantes da lista dos 15 maiores do mundo que se dispuseram a colaborar com este estudo, corroborando para uma grande acuracidade dos dados e abrangência global dos dados de entrada e resultados.

#### **3.1 Metodologia para a elaboração desta pesquisa**

A Figura 14 mostra de forma sintetizada as etapas desta pesquisa. Elas estão divididas em 4: Coleta e tratamento de dados, estabelecimento de parâmetros, desenvolvimento do procedimento e aplicação do procedimento. Todas as etapas estão conectadas com os objetivos específicos desta pesquisa e por fim se conectam com o objetivo geral.

Figura 14 – Fluxograma da metodologia do estudo



Fonte: Autoria própria (2023)

### 3.2 Metodologia para a definição dos critérios

Esta dissertação tem como referência um banco de dados de falhas coletado com 2 principais fabricantes de máquinas de construção civil, um norte-americano e um europeu, sendo identificados respectivamente como Fabricante A e Fabricante B. O banco de dados do Fabricante A soma mais de 18.500 entradas de falhas entre 2014 e 2021, entre garantia, garantia política (*goodwill*), garantia estendida e atendimentos ao equipamento feitos pelo revendedor após o período de garantia. O Fabricante B possui uma lista de pouco mais de 5.000 falhas, cobrindo apenas dados

de garantia. Cada banco de dados será tratado separadamente, pois trata-se de produtos de fabricantes diferentes e com problemas de projeto diferentes.

Ambos os fabricantes possuem políticas de garantia similares, que é uma garantia de 12 meses a partir da entrega do equipamento, sem limite de uso (neste caso, registrado em horas). O fabricante A possui indicadores bastante relevantes para o controle das falhas e que estão relacionados com a Curva da Banheira:

- 1- O indicador de número de falhas ocorridas até 2 meses de uso (2MdU), relacionado com a qualidade do equipamento. Para o fabricante A, falhas ocorridas até os 2 meses são mais relacionadas a problemas de montagem, fornecimento e outros problemas de mão-de-obra.
- 2- O indicador de número de falhas ocorridas até 12 meses de uso (12MdU), relacionado com a confiabilidade do equipamento. Para o mesmo fabricante A, falhas ocorridas até os 12 meses são mais relacionadas a problemas de projeto de engenharia.

Nesta primeira etapa, conforme Figura 14, foi feita uma triagem de parâmetros que identificam as falhas, como descrição, data da ocorrência e data do reparo. Estes parâmetros foram correlacionados com critérios que apontem algum tipo de incômodo, como os parâmetros de data da ocorrência e data do reparo, que determinam o prazo para reparo, que pode ser um dos critérios que o cliente julgue mais importante para que um problema seja resolvido pelo fabricante antes que outro, pois usuários de máquinas de construção civil utilizam as máquinas em seus negócios e dependem delas para ganhar dinheiro.

Como complemento, com ajuda da Revisão Bibliográfica Sistematizada (RBS) disponível no **APÊNDICE A** – Revisão Bibliográfica Sistematizada, foram selecionados critérios na literatura que possam estar fora dos bancos de dados fornecidos pelos fabricantes para que não sejam ignorados no decorrer do desenvolvimento do procedimento.

Após esta triagem, foram conduzidas 3 rodadas do método Delphi para o refinamento e validação dos critérios, que pode ser visto na Figura 13, onde foram buscados 4 *experts*, 2 de cada fabricante, para validá-los e refiná-los. Os membros escolhidos foram: 1 da engenharia de suporte ao produto/serviços e 1 membro da engenharia de desenvolvimento, que estejam relacionados com a gestão de recursos e indicadores. Após as 3 rodadas e com os critérios validados e refinados, foram

atribuídos pesos a estes critérios de acordo com a opinião dos fabricantes e dos clientes conforme seu grau de importância.

### 3.3 Escolha do método para atribuição de pesos

Como há uma grande dificuldade em quantificar a importância de cada critério numericamente, foram utilizadas variáveis linguísticas para avaliá-los. Cada variável linguística foi atrelada a um número *fuzzy* triangular, conforme representado na tabela 3 para que se possa quantificar esta importância e para que seja posteriormente executado um método para a quantificação dessa importância (defuzzificação) como utilizado em Chen (2000).

**Tabela 2 – Variáveis linguísticas em números *fuzzy* triangulares**

| Termos Linguísticos | Código | Número <i>Fuzzy</i> Triangular |     |     |
|---------------------|--------|--------------------------------|-----|-----|
|                     |        | a                              | b   | c   |
| <i>Very low</i>     | VL     | 0                              | 0   | 0,1 |
| <i>Low</i>          | L      | 0                              | 0,1 | 0,3 |
| <i>Medium low</i>   | ML     | 0,1                            | 0,3 | 0,5 |
| <i>Medium</i>       | M      | 0,3                            | 0,5 | 0,7 |
| <i>Medium high</i>  | MH     | 0,5                            | 0,7 | 0,9 |
| <i>High</i>         | H      | 0,7                            | 0,9 | 1   |
| <i>Very high</i>    | VH     | 0,9                            | 1   | 1   |

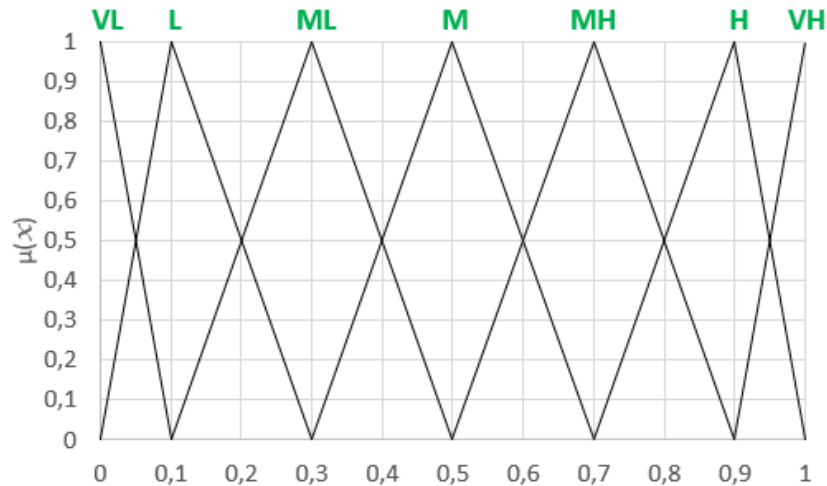
**Fonte: Chen (2000)**

Os termos linguísticos indicam o grau de importância de cada critério, levando em conta a sua criticidade e impacto para os negócios do ponto de vista do fabricante e do cliente, focando no objetivo desta dissertação, que é a priorização da resolução de problemas de engenharia para uma nova geração de produtos.

A Tabela 2 utiliza uma escala de 0 a 1, com intervalos variados. A Figura 15 mostra a representação gráfica utilizada. A representação dos termos linguísticos considerará todos os critérios como critérios de benefício, ou seja, critérios como “Custo de garantia” e “Tempo de reparo”, quando avaliados, devem obedecer que, quanto mais importantes ou críticos eles sejam no negócio do cliente ou do fabricante, melhor será a alternativa. Uma alternativa que tenha o critério “Custo de garantia” classificado como “VH” significa que o custo de garantia é extremamente importante e terá mais peso no momento da priorização dos problemas a serem resolvidos no momento da execução do procedimento. Toda a construção das tabelas e os cálculos

dos pesos foram feitos utilizando-se o programa *Microsoft Excel*. Este programa foi escolhido pela sua disponibilidade e facilidade de organização dos dados.

**Figura 15 – Representação gráfica da escala de números *fuzzy* triangulares**



Fonte: Adaptado de Yao e Wu (2000)

### 3.4 Metodologia para a elaboração do questionário

Para levar em conta a opinião dos clientes, foi encaminhado um questionário a eles solicitando a avaliação de importância de cada critério validado na seção 4.1 por meio das variáveis linguísticas mencionadas na seção 3.4. O questionário foi confeccionado por meio da ferramenta *Google Forms*, que é uma ferramenta aberta, simples e que compila os resultados de forma clara, conforme sugerido por Taherdoost (2016). Foi pedido que cada entrevistado avaliasse a importância de cada critério individualmente.

O questionário foi desenvolvido através da plataforma *Google Forms* por ser uma ferramenta livre, de fácil utilização, que apresenta resultados de modo fácil e que possui soluções de segurança de dados confiáveis (GOOGLE, 2022), além de prover ferramentas que cumpram com as designações da Lei nº 13.709/2018, intitulada Lei Geral de Proteção de dados, ou LGPD (BRASIL, 2018).

Todo o cumprimento da segurança da informação e adequação à LGPD estão explicados na descrição da pesquisa na ferramenta *Google Forms*. Também foram seguidas as seguintes diretrizes para a elaboração da pesquisa de opinião (SOMEKH; LEWIN; 2011):

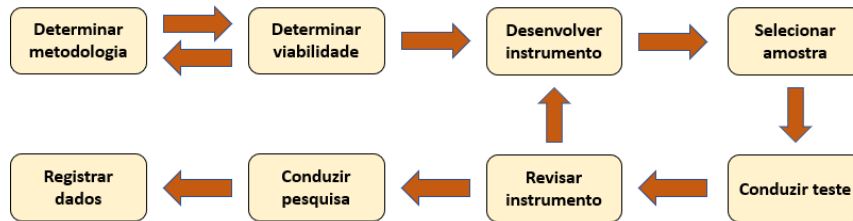
- Seja claro e inequívoco e não use linguagem técnica ou linguagem que seja inapropriada para os entrevistados;

- Não conduzir os entrevistados a respostas tendenciosas;
- Seja simples em vez de complexo;
- Evite perguntas de dupla resposta, por exemplo: Você possui um telefone celular ou fixo? Se os entrevistados responderem que sim, como você sabe se eles possuem apenas um celular, apenas um telefone fixo ou ambos);
- Evitar o uso de negativas e duplas negativas;
- Certifique-se de que em questões de múltipla escolha e escalas de avaliação todas as categorias sejam mutuamente exclusivas (se uma única resposta for necessária);
- Evite perguntas que possam antagonizar ou irritar os respondentes ou que possam ser percebidas como ameaçador.
- As instruções sobre como preencher o questionário devem ser explícitas, claras e educadas.

Cada questão conteve, além do critério, uma breve explicação de como ele deve ser avaliado, como por exemplo “Garantia total paga”. Neste caso, foi mostrado ao cliente que para ele o custo será zero e que o fabricante arcará com todos os custos.

A construção da pesquisa de opinião se deu de acordo com os passos definidos em Taherdoost (2016) conforme Figura 16. A metodologia e a viabilidade foram exploradas nos capítulos 1, 2 e 3, quando da confecção do problema de pesquisa e das justificativas do estudo. O instrumento a ser utilizado foi o *Google Forms* como mencionado anteriormente. Foi considerada uma população total de 100 clientes-chave que foram mapeados juntamente com os revendedores de cada fabricante que estão dispostos a participar da pesquisa. Estas populações foram estratificadas para melhores resultados conforme considerado por Glenn (1992) e, portanto, não representam o número total de clientes envolvidos. Utilizara-se as tabelas de Taherdoost (2017) e consideraram-se como aceitáveis os valores de 95% de grau de confiança e +/- 5% de margem de erro. Esta população corresponde a amostra de 79 clientes que necessitam responder à pesquisa para atingir o nível de confiança desejado. Os testes, condução da pesquisa e resultados são mostrados no capítulo 4.

**Figura 16 – Fluxograma da elaboração da pesquisa de opinião**



Fonte: Adaptado de Taherdoost (2016)

### 3.5 Escolha do método de priorização e aplicação

O método escolhido para a priorização e seleção dos problemas de engenharia a serem resolvidos é o método *Fuzzy SAW*, descrito na seção 2.3.3.

Com o método definido e de posse dos bancos de dados de falhas dos fabricantes A e B, foi decidido aplicar a ferramenta no banco de dados do fabricante A pois ele contém uma gama superior de falhas e as informações estão mais bem organizadas. O primeiro passo da aplicação foi a organização das falhas em grupos para que se criem projetos de resolução de problemas. Cada grupo foi caracterizado pela mesma descrição da falha ou sintoma similar e que tenha uma mesma peça envolvida. Falhas com mesmos sintomas, porém com peças causadoras diferentes foram classificadas em grupos diferentes.

Após esta organização, foram separados 5 projetos para a aplicação da ferramenta, especificando o valor cada critério e seus respectivos pesos. Neste caso, também foram utilizadas variáveis linguísticas para avaliação como por exemplo no critério “Impacto comercial” que mostra se a falha está concentrada em um cliente chave ou aplicação específica e isso está causando danos a reputação do fabricante e conseqüentemente impactará em vendas futuras. Este critério não é facilmente medido por meio de números absolutos, e se difere de critérios como “Garantia total paga” e “Tempo de reparo”, que podem ser expressos em números absolutos. Após a aplicação do método, foi feita uma análise sobre cada alternativa (projeto) para verificar se a ferramenta está cumprindo corretamente com o que foi proposto. Esta análise será apresentada no capítulo 5. Toda a construção das tabelas e os cálculos dos rankings foram feitos utilizando-se o programa *Microsoft Excel*.

## 4 DESENVOLVIMENTO

Inicialmente, o desenvolvimento da ferramenta se deu por meio da disponibilização de dados de falhas coletados e controlados pelos fabricantes para análise inicial. De posse dessa informação, puderam ser delineadas sessões do Método Delphi conforme mostrado na Figura 12.

### 4.1 Aplicação do Método Delphi

A base de dados disponibilizada pelo fabricante 1 contém uma grande quantidade de informações. São 18.539 entradas de falhas registradas no período de novembro de 2013 até outubro de 2020 de 3 modelos de uma mesma plataforma de carregadeiras de rodas que compartilham cerca de 65% componentes entre si. Os defeitos são registrados em um sistema do fabricante que controla todas as intervenções realizadas pelos revendedores em cada equipamento. Qualquer reparo ou revisão realizado fora da estrutura de revendedores oficiais não constará.

Os dados são classificados em 27 parâmetros que estão divididos em colunas, uma coluna para cada parâmetro registrado. Os principais dados contidos são:

1. Identificação única do registro da falha
2. Número de série do equipamento envolvido
3. Modelo
4. Horas de uso do equipamento
5. Data de fabricação
6. Data de entrada do equipamento na oficina
7. Data de saída do equipamento da oficina
8. Identificação da peça falhada
9. Garantia paga
10. Descrições da falha
11. Revendedor que realizou o reparo.



A partir destes dados é possível fazer uma definição preliminar de parâmetros antes da primeira reunião com os *experts*, que seguem abaixo:

- a) Quantidade de defeitos repetidos – Este parâmetro representa a quantidade de defeitos envolvendo a mesma peça e o mesmo modo de falha;
- b) Tempo de reparo – Representa o tempo que o equipamento passou na oficina até ser completamente reparado. Este parâmetro está diretamente relacionado com a complexidade da falha ocorrida e suas consequências para o equipamento.
- c) Garantia total paga – Representa o custo de garantia para o fabricante corrigir a falha ocorrida no equipamento. Para que o valor deste parâmetro seja encontrado é necessário realizar um tratamento e análise dos dados, agrupando os defeitos similares ocorridos. A garantia é 100% custeada pelo fabricante, sem ônus para o cliente.
- d) Severidade da falha – Representa a consequência gerada no equipamento. Este parâmetro não é estipulado diretamente pela base de dados disponibilizada. É necessário fazer investigação adicional juntamente com os revendedores e clientes.

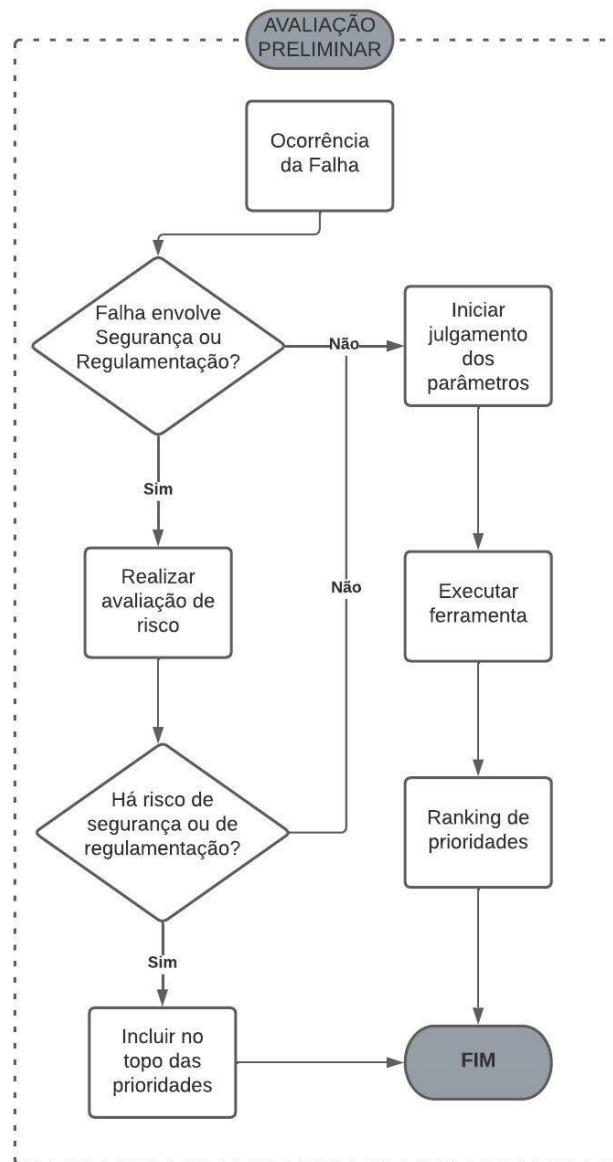
Após essa definição preliminar de parâmetros, foi marcada a primeira reunião com os *experts* (Método Delphi) para um primeiro alinhamento de expectativas e compartilhamento dos critérios preliminares. Nesta primeira rodada, ambos os fabricantes pontuaram que os parâmetros Segurança e Regulamentação devem ser observados anteriormente a qualquer investigação do problema. Estes parâmetros devem ser avaliados tanto quanto ou até previamente durante um processo de desenvolvimento de produto conforme mencionam Stolt e André (2022).

O parâmetro Segurança está relacionado se a falha representa algum risco para o operador ou para pessoas no entorno da sua operação, como por exemplo uma falha no sistema de freios ou de direção que faça o operador perder o controle do equipamento. O parâmetro Regulamentação está relacionado a consequência de a falha acarretar um descumprimento de uma lei, norma ou regulamentação da região na qual ela está operando, como por exemplo uma falha no motor que comprometa as emissões e viole os limites estabelecidos na regulamentação brasileira MAR-I.

A Figura 17 mostra o fluxograma do processo de avaliação preliminar para verificação da existência de problemas de Segurança ou Regulamentação. Neste

caso, se houver o diagnóstico que a falha possa acarretar algum impacto na Segurança ou uma violação de Regulamentação, deve ser conduzida uma avaliação de risco, podendo-se adaptar as abordagens de Ano (2017), Shimizu *et al.* (2010), Santos *et al.* (2019), utilizar a ISO 31000:2018 como base, utilizar a ferramenta FMEA (2019), desenvolver um método próprio ou encontrar um outro método já existente. Este estudo não irá focar na avaliação de riscos envolvendo estes 2 parâmetros e, portanto, este método ficará a critério de quem utilizar a ferramenta.

**Figura 17 – Fluxograma de avaliação preliminar da falha**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

Após estabelecer esta avaliação preliminar e refinar os primeiros 5 parâmetros em conjunto com os *experts*, foram sugeridos mais três parâmetros, a Garantia por falha, o Custo para resolução e a Idade do equipamento.

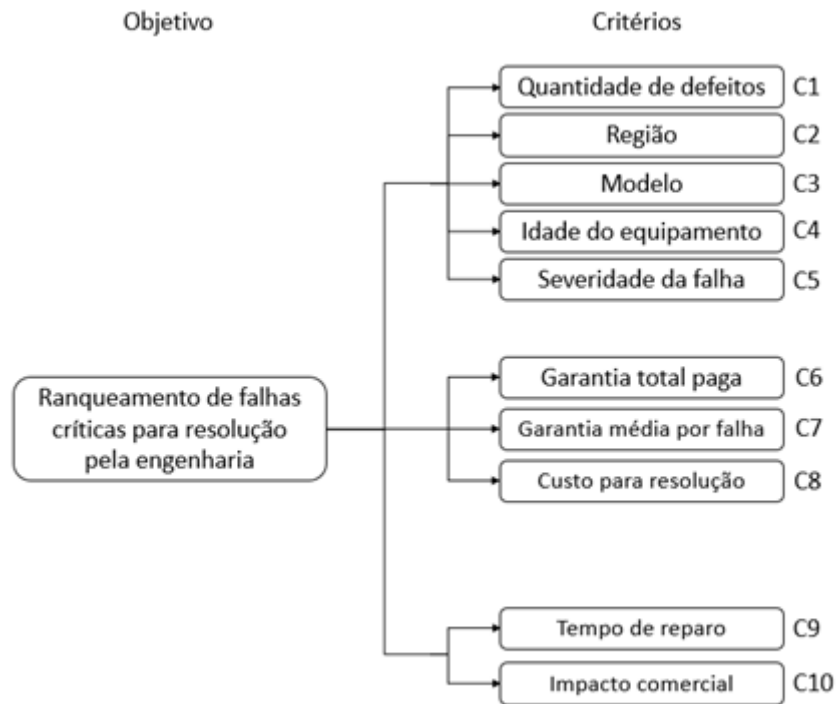
- e) Garantia média por falha – Representa o valor médio de garantia pago por falha. Este parâmetro se difere do “Garantia paga total” por ser o custo médio de uma única falha e não de todas as falhas envolvidas em ocorrências similares.
- f) Custo para resolução – Representa o custo necessário para resolver o problema definitivamente. Este parâmetro foi estabelecido para considerar o impacto de falhas que tem uma grande ocorrência, com um custo de garantia baixo, mas custam muito dinheiro para serem corrigidas.
- g) Idade do equipamento na falha – Representa o tempo desde o início do funcionamento do equipamento (entrega técnica) até a falha.

Em uma segunda rodada do Método Delphi duas semanas após a primeira, foram discutidos aspectos comerciais. Surgiram então três parâmetros

- h) Região – Representa se a falha está causando impacto em uma região específica, no mundo todo ou se não há relação com a região.
- i) Impacto comercial – Representa se a falha está causando algum impacto nos negócios da companhia, como redução de reputação, possibilidade de perda de negócios ou impactos nas relações com clientes chave.
- j) Modelo – Representa se a falha está ocorrendo em um modelo específico ou em mais modelos da gama de produtos.

A terceira e última rodada do Método Delphi, ocorrida após uma semana da rodada anterior, consolidou os critérios e permitiu a criação da Figura 18, que mostra de maneira sumarizada os critérios resultantes.

**Figura 18 – Divisão de critérios**



**Fonte: Autoria própria (2023)**

Houve também uma deliberação sobre quais destes parâmetros poderiam apresentar resposta incoerente por parte do cliente. Fatores como custo, garantia, modelo e região possuem pouco ou nenhum impacto nas operações dos clientes e, portanto, sua relevância na pesquisa poderia gerar resultados discrepantes quando comparado a sua importância para fabricante. Um exemplo disso é o custo de garantia, que não é pago pelo cliente e, portanto, isso não teria nenhuma relevância para ele. Para minimizar qualquer discrepância de julgamento, a pesquisa especificou que a opinião deve considerar não só o próprio negócio do cliente, mas também a sua relação de negócios e parceria com os fabricantes de equipamentos.

Com os parâmetros selecionados e devidamente estratificados, o próximo passo é confeccionar a pesquisa de opinião a ser aplicada com os clientes e fabricantes para verificar o quão importante é cada parâmetro para cada grupo envolvido.

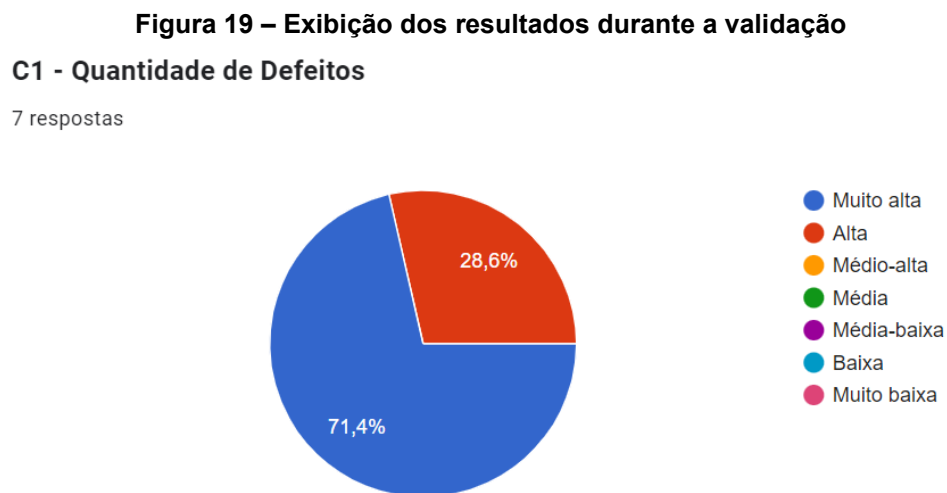
## 4.2 Pesquisa de opinião

Conforme descrito no capítulo 3, a pesquisa de opinião foi conduzida com 2 fabricantes de equipamentos de construção civil e clientes de sua carteira que se dispuseram a participar do estudo. Utilizando a plataforma *Google Forms* seguiu-se da forma descrita nos tópicos a seguir.

### 4.2.1 Desenvolvimento da pesquisa de opinião

A partir dos 10 subcritérios mostrados na figura 18 e da metodologia descrita no capítulo 3, a pesquisa foi transcrita na referida plataforma. Seu conteúdo na íntegra é mostrado no **APÊNDICE B**.

Após a transcrição da pesquisa para a plataforma, foram conduzidos testes para validar o seu funcionamento. Foi gerado um link para acesso ao questionário e posteriormente enviado a 7 pessoas sem relação com o estudo para testar a consistência da coleta de dados e organização dos resultados. A validação da coleta dos dados foi feita e o modo como os resultados de cada pergunta é mostrado aparecem na Figura 19.



**Fonte: Autoria própria (2023)**

Uma vez que a plataforma *Google Forms* foi validada pois apresentou resultados consistentes, prosseguiu-se com a divulgação do questionário para os clientes.

#### 4.2.2 Condução da pesquisa de opinião

Seguindo o fluxo definido na figura 15, foi então gerado um novo link para o público selecionado para responder a pesquisa. O link utilizado foi <[https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLScSgJ3GzLkf2eTQpalOWiL1VBj1ihK9LZmWkmd\\_ZDbybN4bUw/viewform?usp=sf\\_link](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLScSgJ3GzLkf2eTQpalOWiL1VBj1ihK9LZmWkmd_ZDbybN4bUw/viewform?usp=sf_link)>, publicado em dezembro de 2022.

De posse do link foi possível então contatar os revendedores mencionados no capítulo 3 para que eles distribuíssem a pesquisa aos clientes previamente mapeados. Nota-se que os revendedores fizeram essa distribuição por vontade própria pois a sua carteira de clientes é valiosa e confidencial, tendo em vista que revendedores de fabricantes diferentes participaram deste estudo.

A pesquisa durou até que atingisse a amostragem mínima de 79 respostas conforme seção 3.5.

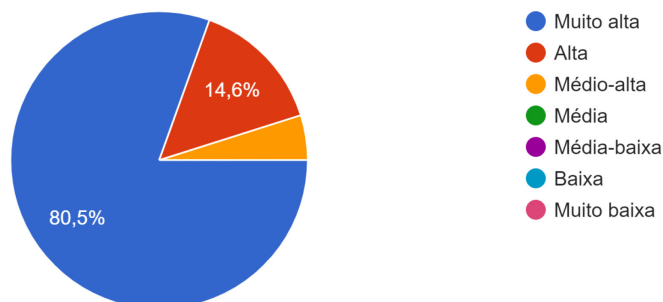
#### 4.2.3 Resultados da pesquisa de opinião

Com um total de 82 respostas, a pesquisa de opinião atingiu sua amostragem mínima, garantindo um grau de confiabilidade mínimo de 95% conforme mencionado na sessão 3.5. Os resultados coletados da plataforma *Google Forms* seguem nas figuras 20 a 29 e foram sumarizados no quadro 4.

**Figura 20 – Resultado da pesquisa para o critério C1**

C1 - Quantidade de Defeitos

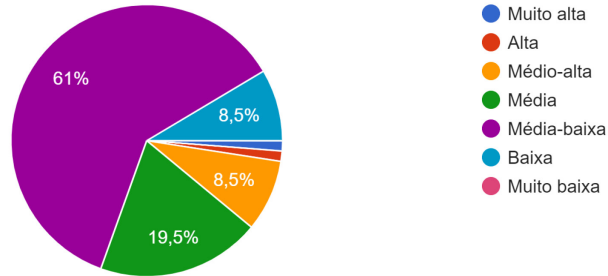
82 respostas



**Fonte: Autoria própria (2023)**

**Figura 21 – Resultado da pesquisa para o critério C2**

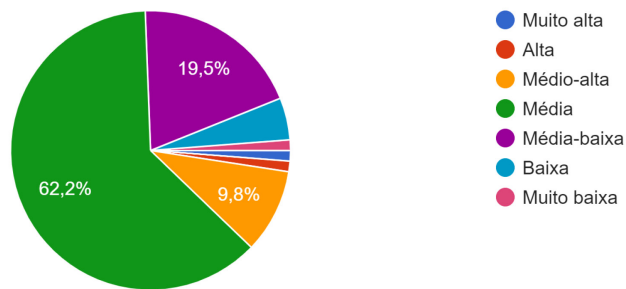
C2 - Região  
82 respostas



Fonte: Autoria própria (2023)

**Figura 22 – Resultado da pesquisa para o critério C3**

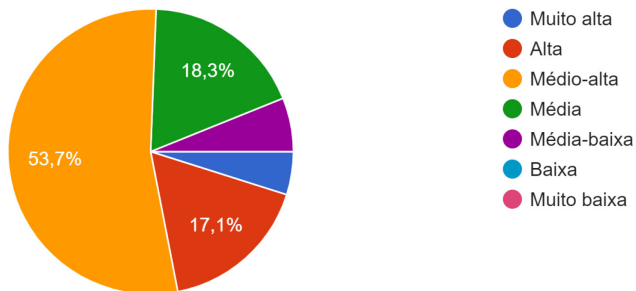
C3 - Modelo  
82 respostas



Fonte: Autoria própria (2023)

**Figura 23 – Resultado da pesquisa para o critério C4**

C4 - Idade do equipamento  
82 respostas

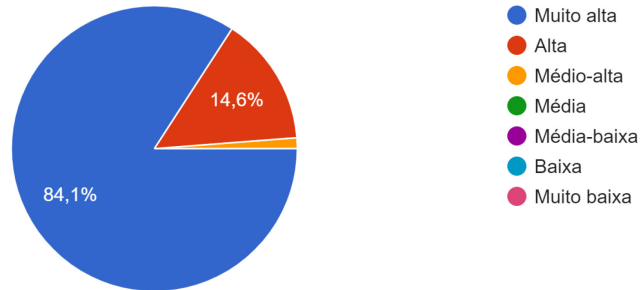


Fonte: Autoria própria (2023)

**Figura 24 – Resultado da pesquisa para o critério C5**

C5 - Severidade da falha

82 respostas

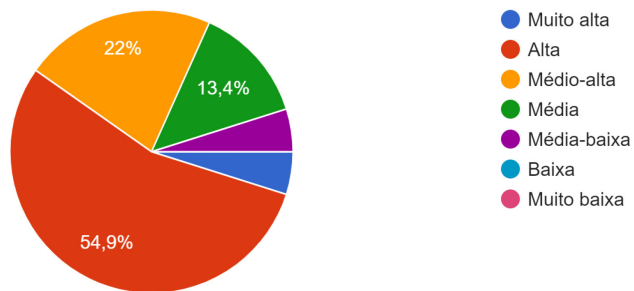


Fonte: Autoria própria (2023)

**Figura 25 – Resultado da pesquisa para o critério C6**

C6 - Garantia Total Paga

82 respostas

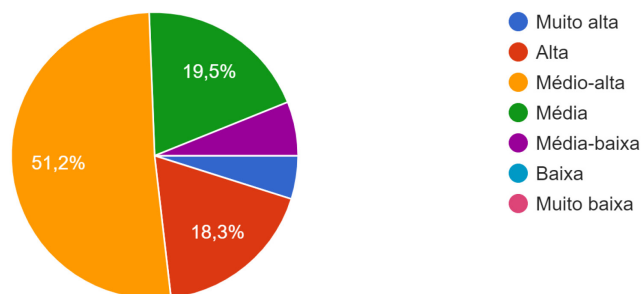


Fonte: Autoria própria (2023)

**Figura 26 – Resultado da pesquisa para o critério C7**

C7 - Garantia média por falha

82 respostas

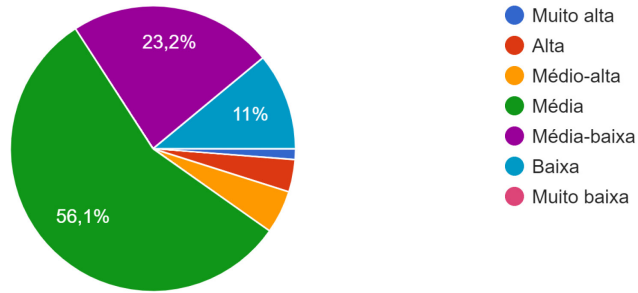


Fonte: Autoria própria (2023)



**Figura 27 – Resultado da pesquisa para o critério C8**

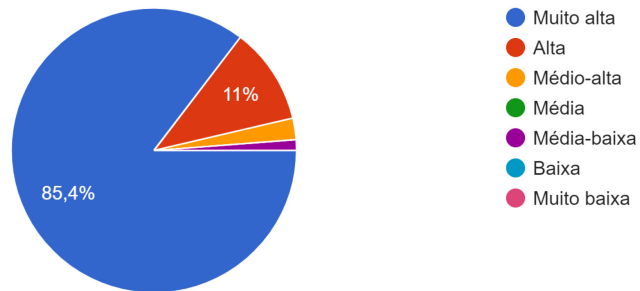
C8 - Custo para resolução  
82 respostas



Fonte: Autoria própria (2023)

**Figura 28 – Resultado da pesquisa para o critério C9**

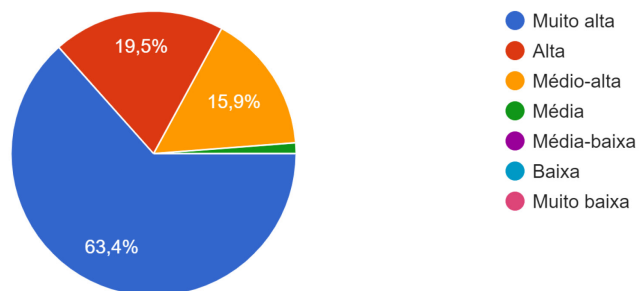
C9 - Tempo de reparo  
82 respostas



Fonte: Autoria própria (2023)

**Figura 29 – Resultado da pesquisa para o critério C10**

C10 - Impacto comercial  
82 respostas



Fonte: Autoria própria (2023)

**Quadro 4 – Sumarização dos resultados da pesquisa de opinião**

| Critério | Resultado |
|----------|-----------|
| C1       | VH        |
| C2       | ML        |
| C3       | M         |
| C4       | MH        |
| C5       | VH        |
| C6       | H         |
| C7       | MH        |
| C8       | M         |
| C9       | VH        |
| C10      | VH        |

Fonte: Autoria própria (2023)

As respostas dos clientes permitiram atribuir as variáveis linguísticas aos seus respectivos números *fuzzy* e calcular os pesos normalizados para cada critério. A tabela 3 mostra os respectivos números *fuzzy* e sua defuzzificação utilizando a equação 3.

**Tabela 3 – Variáveis linguísticas em números *fuzzy* triangulares**

| Critério | Código | Número <i>Fuzzy</i> |          |          | Valor defuzzificado |
|----------|--------|---------------------|----------|----------|---------------------|
|          |        | <i>a</i>            | <i>b</i> | <i>c</i> |                     |
| C1       | VH     | 0,9                 | 1        | 1        | 0,975               |
| C2       | ML     | 0,1                 | 0,3      | 0,5      | 0,300               |
| C3       | M      | 0,3                 | 0,5      | 0,7      | 0,500               |
| C4       | MH     | 0,5                 | 0,7      | 0,9      | 0,700               |
| C5       | VH     | 0,9                 | 1        | 1        | 0,975               |
| C6       | H      | 0,7                 | 0,9      | 1        | 0,875               |
| C7       | MH     | 0,5                 | 0,7      | 0,9      | 0,700               |
| C8       | M      | 0,3                 | 0,5      | 0,7      | 0,500               |
| C9       | VH     | 0,9                 | 1        | 1        | 0,975               |
| C10      | VH     | 0,9                 | 1        | 1        | 0,975               |

Fonte: Autoria própria (2023)

Com os números defuzzificados, foi possível então atribuir os pesos inerentes a cada critério. Utilizando a normalização do tipo 2 (N2) aplicando-se a equação 4 conforme o quadro 5. Prosseguiu-se então para a seleção dos 5 problemas de qualidade (alternativas) a serem ranqueados para posterior desenvolvimento da ferramenta.

**Quadro 5 – Pesos normalizados para cada critério**

| Critério | Peso Normalizado |
|----------|------------------|
| C1       | 0,130            |
| C2       | 0,040            |
| C3       | 0,067            |
| C4       | 0,094            |
| C5       | 0,130            |
| C6       | 0,117            |
| C7       | 0,094            |
| C8       | 0,067            |
| C9       | 0,130            |
| C10      | 0,130            |

Fonte: Autoria própria (2023)

### 4.3 Escalas para julgamento das alternativas

Os critérios “Quantidade de defeitos”, “Garantia total paga”, “Garantia média por falha”, “Custo para resolução” e “Tempo de reparo” podem ser representados já em seus valores absolutos. O Critério “Custo para resolução” é o único critério de minimização, ou seja, quanto menor o valor, melhor ele será ranqueado. Já os critérios “Região”, “Modelo”, “Idade do equipamento”, “Severidade da falha” e “Impacto comercial” necessitam de escalas particulares que são mostradas nos quadros 6 a 10.

O quadro 6 mostra como as regiões devem ser avaliadas. As divisões foram feitas em escalas percentuais a partir da segunda região pois dependendo do fabricante o número de regiões atendidas pode ser pequeno para ser exprimido em números absolutos. Quanto mais regiões afetadas, maior a criticidade e antes ele deve ser resolvido.

**Quadro 6 – Escala para julgamento da alternativa no critério C2**

| C2 - Região | Descrição                      |
|-------------|--------------------------------|
| VH          | 100% das regiões               |
| H           | > 80% e < 100% das regiões     |
| MH          | > 60% e ≤ 80% das regiões      |
| M           | < 30% e ≤ 60% das regiões      |
| ML          | > 1 região e ≤ 30% das regiões |
| L           | Uma região específica          |
| VL          | Falhas isoladas                |

Fonte: Autoria própria (2023)

O quadro 7 mostra o critério “Modelos” em termos de modelos, famílias e o portfólio de produtos total. Quanto mais modelos e famílias afetadas, mais crítica é a falha, e antes ela deve ser resolvida, subindo no ranking.

**Quadro 7 – Escala para julgamento da alternativa no critério C3**

| <b>C3 - Modelo</b> | <b>Descrição</b>                |
|--------------------|---------------------------------|
| VH                 | Todos os produtos do portfólio  |
| H                  | Mais de uma família de produtos |
| MH                 | Uma família de produtos         |
| M                  | Modelos de famílias diferentes  |
| ML                 | 2 modelos de uma mesma família  |
| L                  | 1 modelo específico             |
| VL                 | Não há padrão de modelos        |

**Fonte: Autoria própria (2023)**

O quadro 8 mostra em termos de idade do equipamento. Antes dos dois meses de uso a falha é considerada prematura e bastante crítica. Este é inclusive um dos indicadores de qualidade do fabricante A. Quanto mais cedo a falha acontece em relação à idade do equipamento, mais crítica ela é e conseqüentemente antes ela deve ser resolvida.

**Quadro 8 – Escala para julgamento da alternativa no critério C4**

| <b>C4 - Idade do equipamento</b> | <b>Descrição</b>        |
|----------------------------------|-------------------------|
| VH                               | ≤ 2 meses               |
| H                                | > 2 meses e ≤ 3 meses   |
| MH                               | > 3 meses e ≤ 6 meses   |
| M                                | > 6 meses e ≤ 12 meses  |
| ML                               | > 12 meses e ≤ 18 meses |
| L                                | > 18 meses e ≤ 24 meses |
| VL                               | Acima de 24 meses       |

**Fonte: Autoria própria (2023)**

O quadro 9 mostra a escala do critério “Severidade da falha” em termos de perda de funções do equipamento. Se há perda de função primária, que é a função a qual o equipamento foi desenhado para executar primariamente (nesse caso, deslocar-se e realizar carregamentos) a falha é mais crítica. Se há agravantes, como a falha afetar outros subsistemas da máquina, ela é ainda mais crítica, e por conseqüência deve ser resolvida prioritariamente.

**Quadro 9 – Escala para julgamento da alternativa no critério C5**

| <b>C5 - Severidade da falha</b> | <b>Descrição</b>                              |
|---------------------------------|---|
| VH                              | Perda total de função primária com agravantes |
| H                               | Perda total de função primária                |
| MH                              | Perda parcial de função primária              |
| M                               | Perda total de função secundária              |
| ML                              | Perda parcial de função secundária            |
| L                               | Impacto visual                                |
| VL                              | Sem impacto                                   |

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Por fim, o quadro 10 mostra o impacto comercial em termos de os clientes deixarem de realizar negócios com o fabricante por conta da falha. Este é o critério mais subjetivo e deve levar em conta as reclamações dos clientes e informações do time comercial. Quanto maior o impacto, maior a criticidade e, conseqüentemente, antes o problema deve ser resolvido.

**Quadro 10 – Escala para julgamento da alternativa no critério C10**

| <b>C10 - Impacto comercial</b> | <b>Descrição</b>                                   |
|--------------------------------|--|
| VH                             | Clientes deixariam de fazer negócios imediatamente |
| H                              | Grande impacto nos negócios                        |
| MH                             | Impacto relevante nos negócios                     |
| M                              | Impacto médio nos negócios                         |
| ML                             | Impacto pequeno nos negócios                       |
| L                              | Insatisfação pequena                               |
| VL                             | Sem impacto  |

**Fonte: Autoria própria (2023)**

#### **4.4 Avaliação dos problemas a serem ranqueados**

Utilizando o banco de dados mencionado na seção 3.3, foram selecionados 5 problemas de qualidade avaliados conforme cada critério de C1 a C10. A escala utilizada é a da tabela 2.

O primeiro problema se refere a uma falha de trinca nas rodas de uma carregadeira em uma configuração e aplicação específica, porém muito lucrativa para o fabricante. O problema possui 40 falhas registradas, aproximadamente US\$ 129.000,00 pagos em garantia. Impacta apenas um modelo de máquina, em uma região específica. A falha causa uma perda parcial da função primária do equipamento pois o vazamento de ar através da trinca faz o pneu murchar completamente, impedindo seu deslocamento. Esta falha será chamada de A1.

A falha representada como A2 é uma falha em uma válvula responsável pela movimentação dos implementos da máquina. Ela possui apenas 18 falhas registradas, porém a garantia paga é de aproximadamente US\$ 90.000,00. Ela impacta somente um modelo de máquina sem região específica e causa perda de função primária, pois desabilita totalmente o funcionamento do implemento do equipamento.

Em A3 tem-se uma falha na válvula solenoide de uma bomba hidráulica. Há 287 falhas registradas com aproximadamente US\$ 89.000,00 pagos de garantia. Esta falha está concentrada em todas as regiões Brasil e parte da América Latina, que utilizam o componente fabricado localmente em seus equipamentos e abrange toda

uma família da linha de carregadeiras de rodas. A falha gera problemas no funcionamento do implemento (perda parcial de função primária), tornando mais difícil o seu comando.

A4 refere-se a uma falha de trinca no braço de levantamento. Há 8 registros com aproximadamente US\$ 33.000,00 pagos em garantia. Esta é uma falha sem característica de região, causa perda de função primária com agravantes, pois pode causar danos aos cilindros do equipamento como consequência da trinca do braço. Este problema afeta apenas um modelo de equipamento.

Por fim, A5 é um problema no sensor de temperatura do ar-condicionado. Há 41 registros com aproximadamente US\$ 2.650,00 pagos de garantia. Esta falha se concentra no Brasil, porém com falhas dispersas no restante do mundo. Ela se estende a toda uma família de equipamentos e gera uma ineficiência no sistema de ar-condicionado, levando mais tempo para atingir a temperatura configurada no painel.

#### 4.5 Julgamento das alternativas e matrizes de decisão

Com as 5 falhas selecionadas, foram coletadas as outras informações necessárias para dar início ao julgamento das alternativas de acordo com cada critério para então iniciar o processo de ranqueamento. As alternativas que possuem valores absolutos conforme mencionado na seção 4.3 os utilizarão. O julgamento feito pode ser visto na tabela 4.

**Tabela 4 – Julgamento das alternativas**

|    | C1  | C2 | C3 | C4 | C5 | C6        | C7      | C8        | C9 | C10 |
|----|-----|----|----|----|----|-----------|---------|-----------|----|-----|
| A1 | 40  | L  | L  | M  | MH | 129000,00 | 3225,00 | 35000,00  | 42 | VH  |
| A2 | 18  | VL | L  | M  | H  | 90000,00  | 5000,00 | 150000,00 | 20 | M   |
| A3 | 287 | ML | MH | ML | MH | 89000,00  | 310,10  | 15000,00  | 10 | MH  |
| A4 | 8   | VL | L  | M  | VH | 33000,00  | 4125,00 | 90000,00  | 60 | L   |
| A5 | 41  | M  | MH | ML | ML | 2650,00   | 64,63   | 5000,00   | 17 | VL  |

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Com todas as alternativas julgadas de acordo com seus critérios, foi montada a Tabela 5, uma matriz para a defuzzificação dos valores da Tabela 4. Esta matriz foi montada já considerando que há critérios que possuem valores absolutos e, portanto, serão já normalizados. A matriz então contendo as 5 alternativas relacionadas com seus 10 critérios e seus respectivos números, *fuzzy* ou absolutos, foi montada. Utilizando-se das Equações 3 para defuzzificação, 4 para normalização de critérios de maximização e 5 para critérios de minimização juntamente com as tabelas 2 e 3.

Tabela 5 – Matriz de defuzzificação

| Critério | Alternativa | Julgamento | Fuzzy Number |     |     | Valor defuzzificado |
|----------|-------------|------------|--------------|-----|-----|---------------------|
|          |             |            | a            | b   | c   |                     |
| C1       | A1          | 40         |              |     |     | 0,102               |
|          | A2          | 18         |              |     |     | 0,046               |
|          | A3          | 287        |              |     |     | 0,728               |
|          | A4          | 8          |              |     |     | 0,020               |
|          | A5          | 41         |              |     |     | 0,104               |
| C2       | A1          | L          | 0            | 0,1 | 0,3 | 0,125               |
|          | A2          | VL         | 0            | 0   | 0,1 | 0,025               |
|          | A3          | ML         | 0,1          | 0,3 | 0,5 | 0,300               |
|          | A4          | VL         | 0            | 0   | 0,1 | 0,025               |
|          | A5          | M          | 0,3          | 0,5 | 0,7 | 0,500               |
| C3       | A1          | L          | 0            | 0,1 | 0,3 | 0,125               |
|          | A2          | L          | 0            | 0,1 | 0,3 | 0,125               |
|          | A3          | MH         | 0,5          | 0,7 | 0,9 | 0,700               |
|          | A4          | L          | 0            | 0,1 | 0,3 | 0,125               |
|          | A5          | MH         | 0,5          | 0,7 | 0,9 | 0,700               |
| C4       | A1          | M          | 0,3          | 0,5 | 0,7 | 0,500               |
|          | A2          | M          | 0,3          | 0,5 | 0,7 | 0,500               |
|          | A3          | ML         | 0,1          | 0,3 | 0,5 | 0,300               |
|          | A4          | M          | 0,3          | 0,5 | 0,7 | 0,500               |
|          | A5          | ML         | 0,1          | 0,3 | 0,5 | 0,300               |
| C5       | A1          | MH         | 0,5          | 0,7 | 0,9 | 0,700               |
|          | A2          | H          | 0,7          | 0,9 | 1   | 0,875               |
|          | A3          | MH         | 0,5          | 0,7 | 0,9 | 0,700               |
|          | A4          | VH         | 0,9          | 1   | 1   | 0,975               |
|          | A5          | ML         | 0,1          | 0,3 | 0,5 | 0,300               |
| C6       | A1          | 129000,00  |              |     |     | 0,375               |
|          | A2          | 90000,00   |              |     |     | 0,262               |
|          | A3          | 89000,00   |              |     |     | 0,259               |
|          | A4          | 33000,00   |              |     |     | 0,096               |
|          | A5          | 2650,00    |              |     |     | 0,008               |
| C7       | A1          | 3225,00    |              |     |     | 0,253               |
|          | A2          | 5000,00    |              |     |     | 0,393               |
|          | A3          | 310,10     |              |     |     | 0,024               |
|          | A4          | 4125,00    |              |     |     | 0,324               |
|          | A5          | 64,63      |              |     |     | 0,005               |
| C8 (-)   | A1          | 35000,00   |              |     |     | 0,881               |
|          | A2          | 150000,00  |              |     |     | 0,492               |
|          | A3          | 15000,00   |              |     |     | 0,949               |
|          | A4          | 90000,00   |              |     |     | 0,695               |
|          | A5          | 5000,00    |              |     |     | 0,983               |
| C9       | A1          | 42         |              |     |     | 0,282               |
|          | A2          | 20         |              |     |     | 0,134               |
|          | A3          | 10         |              |     |     | 0,067               |
|          | A4          | 60         |              |     |     | 0,403               |
|          | A5          | 17         |              |     |     | 0,114               |
| C10      | A1          | VH         | 0,9          | 1   | 1   | 0,975               |
|          | A2          | M          | 0,3          | 0,5 | 0,7 | 0,500               |
|          | A3          | MH         | 0,5          | 0,7 | 0,9 | 0,700               |
|          | A4          | L          | 0            | 0,1 | 0,3 | 0,125               |
|          | A5          | VL         | 0            | 0   | 0,1 | 0,025               |

Fonte: Autoria própria (2023)

Após a defuzzificação mostrada na tabela 5, foi possível montar a matriz de decisão. A Tabela 6 se refere a esta matriz.

**Tabela 6 – Matriz de decisão  $X_{ij}$**

| Alternativas | C1    | C2    | C3    | C4    | C5    | C6    | C7    | C8    | C9    | C10   |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| A1           | 0,102 | 0,125 | 0,125 | 0,500 | 0,700 | 0,375 | 0,253 | 0,881 | 0,282 | 0,975 |
| A2           | 0,046 | 0,025 | 0,125 | 0,500 | 0,875 | 0,262 | 0,393 | 0,492 | 0,134 | 0,500 |
| A3           | 0,728 | 0,300 | 0,700 | 0,300 | 0,700 | 0,259 | 0,024 | 0,949 | 0,067 | 0,700 |
| A4           | 0,020 | 0,025 | 0,125 | 0,500 | 0,975 | 0,096 | 0,324 | 0,695 | 0,403 | 0,125 |
| A5           | 0,104 | 0,500 | 0,700 | 0,300 | 0,300 | 0,008 | 0,005 | 0,983 | 0,114 | 0,025 |

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Ainda foi necessário normalizar os valores resultantes da defuzzificação da tabela 5. A Tabela 7 contém todos os valores normalizados.

**Tabela 7 – Matriz de decisão normalizada  $X_{ij}$**

| Alternativas | C1    | C2    | C3    | C4    | C5    | C6    | C7    | C8    | C9    | C10   |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| A1           | 0,102 | 0,128 | 0,070 | 0,238 | 0,197 | 0,375 | 0,253 | 0,220 | 0,282 | 0,419 |
| A2           | 0,046 | 0,026 | 0,070 | 0,238 | 0,246 | 0,262 | 0,393 | 0,123 | 0,134 | 0,215 |
| A3           | 0,728 | 0,308 | 0,394 | 0,143 | 0,197 | 0,259 | 0,024 | 0,237 | 0,067 | 0,301 |
| A4           | 0,020 | 0,026 | 0,070 | 0,238 | 0,275 | 0,096 | 0,324 | 0,174 | 0,403 | 0,054 |
| A5           | 0,104 | 0,513 | 0,394 | 0,143 | 0,085 | 0,008 | 0,005 | 0,246 | 0,114 | 0,011 |

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Por fim, utilizando a Equação 6 e considerando os pesos calculados mostrados no Quadro 5, foi possível chegar nos resultados mostrados na Tabela 8.

**Tabela 8 – Ranqueamento Fuzzy SAW**

| Alternativas | SAW   | Rank |
|--------------|-------|------|
| A1           | 0,245 | 1    |
| A2           | 0,097 | 3    |
| A3           | 0,203 | 2    |
| A4           | 0,078 | 5    |
| A5           | 0,086 | 4    |

**Fonte: Autoria própria (2023)**

Portanto, através da ferramenta desenvolvida, foi possível chegar no ranqueamento das alternativas, significando que os recursos da engenharia devem ser alocados prioritariamente na resolução do problema A1, seguido de A3, A2, A5 e A4. Esta amostra de problemas ranqueados pela ferramenta não representa todos os problemas do banco de dados do fabricante. Recomenda-se que ele a utilize conforme sua necessidade para que possa otimizar seus recursos.



#### 4.6 Avaliação dos resultados

Com os resultados da ferramenta foi possível avaliar que as alternativas julgadas com maior criticidade nos critérios mais relevantes na opinião dos clientes foram realmente as que ficaram no topo do ranking.

A ferramenta é consistente e de fácil utilização. O *Software Microsoft Excel* dispõe de várias funções de automatização e de referências a outras células. Com isso, as únicas informações necessárias para o ranqueamento das alternativas são as informações da Tabela 4 uma vez que os pesos não devem ser alterados pois foram obtidos através de pesquisa de opinião devidamente conduzida. Todas as outras tabelas serão preenchidas automaticamente após o seu preenchimento prévio, resultando no ranking de alternativas.

Estes resultados permitirão que os fabricantes de equipamentos de construção possam melhorar sua alocação de recursos focando em uma maior satisfação dos clientes ao resolver problemas de qualidade que possam estar impactando negativamente na imagem da marca no mercado, cumprindo com os objetivos propostos no Capítulo 1 desta dissertação.

Para uma nova geração de produtos, esta ferramenta deve ser aplicada no banco de dados de falhas de componentes que continuarão a serem utilizados para que o defeito da geração anterior não seja recorrente, auxiliando em melhores resultados de satisfação do cliente.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 Considerações sobre o estudo

Foi possível, através da pesquisa de opinião, ver quais são os critérios mais valorizados pelos clientes na hora da resolução dos problemas. O resultado mostrou que eles enxergam o lado do fabricante na hora dos custos de garantia, mas olham mais atentamente para as perdas que uma máquina parada causa em seus negócios, uma vez que os equipamentos de construção são parte fundamental na sua geração de receita.

As falhas que realmente se mostraram mais críticas em critérios de maior peso, ou seja, mais valorizados pelos clientes, foram as que se mostraram prioritárias para a resolução. Com todos os resultados mostrados e analisados, pôde-se ver que o trabalho de desenvolvimento da ferramenta foi longo, mas o seu uso será bastante fácil e intuitivo.

Recomenda-se que os fabricantes que querem se manter na liderança do desenvolvimento de produtos de qualidade utilizem a ferramenta para que consigam colher o benefício da melhor alocação de recursos e melhoria da satisfação do cliente. Portanto, fabricantes que queiram se manter competitivos financeiramente e com produtos de qualidade, utilizar a ferramenta pode lhes auxiliar a criar esse diferencial frente a seus concorrentes.

No futuro, a ferramenta será transformada em um aplicativo para uma melhor interface do usuário, com possibilidade de integração do banco de dados de falhas diretamente com a ferramenta, criando uma grande *Business Intelligence* para os fabricantes. Não será necessária nenhuma intervenção manual na ferramenta, apenas a atualização do banco de dados, para que o fabricante já tenha o ranqueamento das falhas mais críticas que ele está enfrentando em seus produtos.

Os resultados obtidos com a aplicação da ferramenta foram satisfatórios e conseguem minimizar a subjetividade da simples interpretação dos dados em uma planilha. Foi possível ver quais problemas realmente deveriam ser priorizados, fazendo assim com que os fabricantes que utilizem a ferramenta possam melhorar sua alocação de recursos e também a qualidade dos seus produtos.

## 5.2 Recomendações para estudos futuros

Para que os resultados deste estudo sejam ainda melhores, recomenda-se que seja aumentada a amostragem de clientes para resultados mais refinados da pesquisa de opinião. Também se recomenda que seja feita uma estratificação por região para entender as diferenças de percepção de cada região do país. Isso pode ajudar também a entender como anda o relacionamento do revendedor que presta o suporte técnico com o cliente.

Também se recomenda que a pesquisa de opinião seja estendida a todas as demais regiões atendidas pelos fabricantes. Coletar as opiniões de clientes de outras regiões pode enriquecer e refinar os resultados, trazendo perspectivas mais acuradas da realidade.

O método de atribuição dos pesos também pode ser variado, porém a opinião do cliente deve ser sempre levada em conta para melhores resultados de satisfação com o produto.

O banco de dados onde a ferramenta foi aplicada pode ter uma melhor organização ou até mesmo uma automatização. Há hoje ferramentas de software bastante modernas e intuitivas para gerar uma automatização das buscas e minimizar a interface humana no *data analytics*.

A avaliação de risco preliminar pode ganhar um procedimento e ferramenta específicos para reduzir ainda mais a interface humana com os dados. Uma ferramenta robusta de avaliação de risco ajudará ainda mais na otimização dos recursos e na satisfação dos clientes por meio da preservação da sua segurança e integridade física.

Por fim, as escalas atribuídas aos critérios *fuzzy*, mostradas nos quadros 6 ao 10 podem também ser refinadas ou adaptadas à realidade de cada fabricante, porém não deve haver divergência significativa da opinião do cliente acerca daquele critério. Escalas mais refinadas podem também levar a resultados melhores e conseqüente maior satisfação do cliente com os resultados.

## REFERÊNCIAS

- ABDELLI, A.; MOKDAD, L.; HAMMAL, Y. Dealing with value constraints in decision making using MCDM methods. **Journal of Computational Science**, v. 44, p. 101154, 2020.
- ABDOLMALEKI, K.; AHMADIAN, S. The relationship between product characteristics, customer and supplier involvement and new product development. **Procedia Economics and Finance**, v. 36, p. 147-156, 2016.
- ABDULLAH, L.; ZAMRI, N.; GOH, C. M. Application of interval type 2 fuzzy SAW in flood control project. **Int. J. Advance Soft Compu. Appl**, v. 11, n. 3, 2019.
- AFSHARI, A. R.; YUSUFF, R.; DERAYATIFAR, A. R. Project manager selection by using fuzzy simple additive weighting method. ICIMTR 2012 - 2012 International Conference on Innovation, Management and Technology Research. **Anais**. 2012
- AGHAEBGUNA, O. *et al.* Sustainability in project management practice. **MATEC Web of Conferences**, v. 312, p. 02015, 2020.
- ALKAHTANI, M.; CHOUDHARY, A.; DE, A.; HARDING, J. A. A decision support system based on ontology and data mining to improve design using warranty data. **Computers & industrial engineering**, 128, 1027-1039, 2019.
- AMANN, K. **Product lifecycle management: empowering the future of business**. CIM Data, Inc., 2002.
- AMIGO, C.R; IRITANI, D. R.; ROZENFELD H.; Métodos para modelagem do processo de desenvolvimento de produtos: revisão bibliográfica sistemática. 32º Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), Bento Gonçalves, **Anais**. 2012.
- ANO, K. Risk assessment study of new product development. In: **2017 IEEE 19th Electronics Packaging Technology Conference (EPTC)**. IEEE, 2017. p. 1-5.
- AWASTHI, A. Supplier quality evaluation using a fuzzy multi criteria decision making approach. **Complex system modelling and control through intelligent soft computations**, p. 195-219, 2015.
- BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; SILVA, J. C. da. **Projeto Integrado de Produtos: planejamento, concepção e modelagem**. São Paulo: Manole, 2008.
- BANBURY, C. M.; MITCHELL, W. The effect of introducing important incremental innovations on market share and business survival, **Strategic management journal**, v. 16, n. S1, p. 161-182, 1995.
- BARKAOUI, H., BEN REJEB, H., BARKAOUI, A., & TAVARES, J. M. R. Multi-criteria decision making for medical device development. **Engineering Management Journal**, p. 1-18, 2022
- BELAY, S. *et al.* A hybrid Delphi-AHP based analysis of construction project - specific success factors in emerging markets: the case of Ethiopia. **Cogent Engineering**, v. 8, n. 1, 2021.

- BLISCHKE, W.R; MURTHY, D.N.P. **Reliability**, Wiley, New York, 2000.
- BRAMWELL-LALOR, S. *et al.* Project-based learning for environmental sustainability action. **Southern African Journal of Environmental Education**, v. 36, p. 57–72, 2020.
- BRANDENBURG, M. *et al.* Quantitative models for sustainable supply chain management: Developments and directions. **European Journal of Operational Research**, v. 233, n. 2, p. 299–312, 2014.
- BRASIL. Código Civil, Lei Nº 8.078, de 11 de setembro de 1990.
- BRASIL. Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018. Dispõe sobre a proteção de dados pessoais e altera a Lei nº 12.965, de 23 de abril de 2014 (Marco Civil da Internet). Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 155, n. 157, p. 59-64, 15 ago. 2018. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2018/lei/l13709.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13709.htm). Acesso em: 20 dez. 2022.
- CAO, H.; FOLAN, P. Product life cycle: the evolution of a paradigm and literature review from 1950–2009. **Production Planning & Control**, v. 23, n. 8, p. 641-662, 2012.
- CHEN, C. Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. **Fuzzy sets and systems**, v. 114, n. 1, p. 1-9, 2000.
- CHIAVENATO, I. **Recursos humanos: edição compacta**. Ed. Atlas, 1983.
- CHURCHMAN, C. W.; ACKOFF, R. L. An approximate measure of value. **Journal of the Operations Research Society of America**, v. 2, n. 2, p. 172-187, 1954.
- CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. 8º Congresso Brasileiro de Gestão do Desenvolvimento de Produtos (CBGDP), Porto Alegre. **Anais**. 2011.
- CRAWFORD, M.; BENEDETTO, A. di. **New products management**. 10ª ed., Boston: McGraw-Hill Irwin, 2010.
- DEAN, J. Pricing policies for new products. **Harvard business review**, v. 28, p. 45-50, 1950.
- DÍAZ, V. G.P.; MÁRQUEZ, A. C. **After-sales service of engineering industrial assets: a reference framework for warranty management**. London: Springer International Publishing, 2014.
- DUBOIS, D. J. **Fuzzy sets and systems: theory and applications**. Academic press, 1980.
- DRIESSEN, P. H.; HILLEBRAND, B. Integrating multiple stakeholder issues in new product development: an exploration. **Journal of Product Innovation Management**, v. 30, n. 2, p. 364-379, 2013.

- DUFFIELD, S. M.; WHITTY, S. J. Application of the systemic lessons learned knowledge model for organisational learning through projects. **International Journal of Project Management**, v. 34, n. 7, p. 1280–1293, 2016.
- DURUGBO, C. M. After-sales services and aftermarket support: a systematic review, theory, and future research directions. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 6, p. 1857-1892, 2020.
- FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA); Automotive industry Action Group, 1ª edição, 2019.
- FANG, C.C. Optimal price and warranty decision for durable products in a competitive duopoly market. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 203, p. 107068, 2020.
- FAROOKI, M.; KAPLINSKY, R. **The impact of China on global commodity prices: The global reshaping of the resource sector**. Routledge, 2013.
- FISHBURN, Peter C. Methods of estimating additive utilities. **Management science**, v. 13, n. 7, p. 435-453, 1967.
- FREEMAN, R. E. **Strategic management: a stakeholder approach**. Boston, MA: Pitman. 1984
- GLENN, D. I. Determining sample size. **A series of the program evaluation and organizational development**. University of Florida, 1992.
- GOOGLE SCHOLAR, World Development Indicators, 2021, Disponível em: <[https://www.google.com.br/publicdata/explore?ds=d5bncppjof8f9\\_&hl=en&dl=en#!ctype=l&strail=false&bcs=d&nselm=h&met\\_y=ny\\_gdp\\_mktp\\_kd\\_zg&scale\\_y=lin&ind\\_y=false&rdim=country&idim=country:CHN:USA&ifdim=country&tstart=-271890000000&tend=1526871600000&hl=en\\_US&dl=en&ind=false](https://www.google.com.br/publicdata/explore?ds=d5bncppjof8f9_&hl=en&dl=en#!ctype=l&strail=false&bcs=d&nselm=h&met_y=ny_gdp_mktp_kd_zg&scale_y=lin&ind_y=false&rdim=country&idim=country:CHN:USA&ifdim=country&tstart=-271890000000&tend=1526871600000&hl=en_US&dl=en&ind=false)>, acesso em 04/04/2022
- GOOGLE, Política de segurança de dados, disponível em <<https://cloud.google.com/security/compliance/lgpd?hl=pt-br>>, acesso em 20/12/2022
- GRIFFIN, A.; HAUSER, J. R. The voice of the customer. **Marketing science**, v. 12, n. 1, p. 1-27, 1993.
- HOLMSTRÖM, J.; CHEIKHROUHO, N.; FARINE, G.; FRÄMLING, K. **Product centric organization of after-sales supply chain planning and control**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. 2011.
- HUANG, H.Z.; LIU, Z. J.; MURTHY, D. N. P. Optimal reliability, warranty and price for new products. **IIE Transactions**, v. 39, n. 8, p. 819-827, 2007.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª ed., São Paulo: Atlas, 2008.
- IBGE, Pesquisa Anual de Serviços em <[https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/servicos/9028-pesquisa-anual-de-servicos.html?t=destaques&utm\\_source=landing&utm\\_medium=explica&utm\\_campaign=pib](https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/servicos/9028-pesquisa-anual-de-servicos.html?t=destaques&utm_source=landing&utm_medium=explica&utm_campaign=pib)>, acesso em 15/06/2023

INTERNATIONAL CONSTRUCTION MAGAZINE, **Record construction equipment sales in 2021**, 2021, disponível em <<https://www.international-construction.com/news/record-construction-equipment-sales-in-2021/8019012.article#>>, acesso em 30/06/2022

INTERNATIONAL CONSTRUCTION MAGAZINE, **Global Construction Guide 2022 – Yellow Table**, 2021, disponível em <<https://www.international-construction.com/magazines/global-construction-guide-2022/8016438.article>>, acesso em 30/06/2022

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, **ISO 31000:2018**, Genebra.

KARNI, R.; SANCHEZ, P.; TUMMALA, V. M. R. A comparative study of multiattribute decision making methodologies. **Theory and Decision**, v. 29, n. 3, p. 203-222, 1990.

KELLER, K. L.; KOTLER, P. **Administração de Marketing**. 14ª edição. Pearson, 2012.

KIANI, M.; BAGHERI, M.; EBRAHIMI, A.; ALIMOHAMMADLOU, M. A model for prioritizing outsourceable activities in universities through an integrated fuzzy-MCDM method. **International Journal of Construction Management**, 1-17, 2019

KLUTKE, G. A.; KIESSLER, P. C.; WORTMAN, M. A. A critical look at the bathtub curve. **IEEE Transactions on reliability**, v. 52, n. 1, p. 125-129, 2003.

KONSTANTINOV, G. Emerging standards for design management systems. In: **Proceedings. Computer Standards Conference 1988. Computer Standards Evolution: Impact and Imperatives**. IEEE, 1988. p. 16-21.

KOTLER, P.; ARMSTRONG, G. **Princípios de marketing**. Pearson Prentice Hall, 2007.

LEÃO, R. P. F.; A economia política da transição chinesa no último quartel do século XX. **Revista Tempo do Mundo**, vol. 4, nº 3, pp. 153-177, 2012.

LI, Y.; ZHAO, Q.; HE, S. Determination of the warranty service method switch time of old generation products after new generation products launched. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 35, n. 1, p. 291-311, 2018.

MEDEIROS, C. A.; CINTRA, M. R. V. “**Impacto da ascensão chinesa sobre os países latino-americanos**”. Revista de Economia Política, vol. 35, nº 1 (138), pp. 28-42, janeiro-março/2015.

MELANDER, L. Customer involvement in product development: Using Voice of the Customer for innovation and marketing. **Benchmarking: An International Journal**, v. 27, n. 1, p. 215-231, 2020.

MULLINER, E.; MALYS, N.; MALIENE, V. Comparative analysis of MCDM methods for the assessment of sustainable housing affordability. **Omega (United Kingdom)**, v. 59, p. 146–156, 2016.

MURTHY, D. N. P.; DJAMALUDIN, I. New product warranty: A literature review. **International Journal of Production Economics**, v. 79, n. 3, p. 231-260, 2002.

MURTHY, D. N. P. Product reliability and warranty: an overview and future research. **Production**, v. 17, n. 3, p. 426-434, 2007.

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, v. 105, n. 3, p. 2109–2135, 2015.

PORTER, M. E. O que é estratégia. **Harvard Business Review**, v. 74, n. 6, p. 61-78, 1996.

PUŠKA, A. et al. Application of fuzzy TRUST CRADIS method for selection of sustainable suppliers in agribusiness. **Sustainability**, v. 15, n. 3, p. 2578, 2023.

QUINTANA-GARCÍA, C.; BENAVIDES-VELASCO; C.A. “**Innovative Competence, Exploration and Exploitation: The Influence of Technological Diversification.**” *Research Policy* 37 (3): 492–507, 2008.

RAHMAN, A. et al. **Long term warranty and after sales service: concept, policies and cost models**, Springer, 2015.

ROZENFELD, H. et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos: Uma referência para melhoria de processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.

ROY, B. **Multicriteria methodology for decision aiding**. Springer Science & Business Media, 1996.

RUIZ, J. A. **Metodologia científica: guia para eficiência nos estudos**. Atlas, 1996.

SAEIDA ARDAKANI, S.; ZARE AHMADABADI, H.; TALEIFAR, R.; HATAMI NASAB, S. H. Analyzing the factors influencing the success of new product development process in small-medium enterprises of selected food and drink industries of Fars province. **Journal of Production and Operations Management**, v. 1, n. 1, p. 53-70, 2010.

SANTANDER em <[SANTOS, A. G. S.; NASCIMENTO J. G. P. do; CAVAINAC, A. L. de O. . FMEA como ferramenta de identificação dos riscos ao trabalhador da construção civil. \*\*Brazilian Journal of Production Engineering\*\*, v. 5, n. 3, p. 19-34, 2019.](https://santandertrade.com/pt/portal/analise-os-mercados/estados-unidos/economia#:~:text=A%20economia%20dos%20EUA%20%C3%A9,%2C7%25%20da%20popula%C3%A7%C3%A3o%20ativa.></a>, acesso em 04/04/2020.</p>
</div>
<div data-bbox=)

SHIMIZU, H.; OTSUKA, Y.; NOGUCHI, H. Design review based on failure mode to visualise reliability problems in the development stage of mechanical products. **International journal of vehicle design**, v. 53, n. 3, p. 149-165, 2010.

SOMEKH, B.; LEWIN, C. **Theory and Methods in Social Research**, London, SAGE, 2011.

STANKO, M.A.; MOLINA-CASTILLO, F.-J.; MUNUERA-ALEMAN, J.-L. Speed to market for innovative products: Blessing or curse? **Journal of Product Innovation Management**, v. 29, n. 5, p. 751-765, 2012.



- STOLT, R.; ANDRÉ, S. Requirements handling in multidisciplinary product development—a company study. **Transdisciplinarity and the Future of Engineering**. IOS Press, p. 115-124, 2022.
- SZEJKA, A. L. et al. Semantic interoperability for an integrated product development process: a systematic literature review. **International Journal of Production Research**, v. 55, n. 22, p. 6691-6709, 2017.
- TAHERDOOST, H. Determining sample size; how to calculate survey sample size. **International Journal of Economics and Management Systems**, v. 2, 2017.
- TAHERDOOST, H. How to design and create an effective survey/questionnaire; A step by step guide. **International Journal of Academic Research in Management (IJARM)**, v. 5, n. 4, p. 37-41, 2016.
- TAO, F. et al. Digital twin-driven product design, manufacturing, and service with big data. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 94, p. 3563-3576, 2018.
- TERZI, Sergio et al. Product lifecycle management—from its history to its new role. **International Journal of Product Lifecycle Management**, v. 4, n. 4, p. 360-389, 2010.
- TOLKIEN, J. R. R. **O senhor dos anéis: o retorno do rei**. Harper Collins, 2020.
- TRIANAPHYLLOU, E. Multi-criteria decision making methods: a comparative study. **Applied Optimization**, v. 44 Springe, n. August, p. 35–48, 2000.
- TUROFF, M.; LINSTONE, H. A. **The Delphi method-techniques and applications**. 2002.
- ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. **Product design and development**. 2<sup>a</sup> ed., New York: McGraw-Hill, 2000.
- WANG, F. Preference degree of triangular fuzzy numbers and its application to multi-attribute group decision making. **Expert Systems with Applications**, v. 178, , p. 114982, 2021.
- WORLD BANK. World development indicators, 2021. Disponível em: <<https://datatopics.worldbank.org/world-development-indicators/>>. Acesso em 21 de maio de 2021.
- WU, Y.; SUN, H.; WANG, S. Research of the product design and development process based on system theory. **2010 IEEE 11th International Conference on Computer-Aided Industrial Design & Conceptual Design 1**. IEEE, p. 470-475. 2010.
- YAO, J. S.; WU, K. Ranking fuzzy numbers based on decomposition principle and signed distance. **Fuzzy sets and Systems**, v. 116, n. 2, p. 275-288, 2000.
- YING, C. S. et al. A new product development concept selection approach based on cumulative prospect theory and hybrid-information MADM. **Computers & Industrial Engineering**, 122, 251-261. 2018

ZADEH, L. A., Fuzzy sets, **Information and Control** 8, 338-353. 1965

ZAVADSKAS, E. K.; TURSKIS, Z.; KILDIENE, S. State of art surveys of overviews on MCDM/MADM methods. **Technological and Economic Development of Economy**, v. 20, n. 1, p. 165–179, 2014.

ZHAO, D. et al. Optimal pricing strategies in a product and service supply chain with extended warranty service competition considering retailer fairness concern. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2019, 2019.

ZHOU, C. et al. Bayesian approach to hazard rate models for early detection of warranty and reliability problems using upstream supply chain information. **International Journal of Production Economics**, v. 193, p. 316-331, 2017.

## **APÊNDICE A - Revisão Bibliográfica Sistematizada**

## APLICAÇÃO DO MÉTODO *METHODI ORDINATIO*

Para Conforto *et al.* (2011), revisão bibliográfica sistemática (RBS) pode ser definida como:

“o processo de coletar, conhecer, compreender, analisar, sintetizar e avaliar um conjunto de artigos científicos com o propósito de criar um embasamento teórico-científico (estado da arte) sobre um determinado tópico ou assunto pesquisado.” (CONFORTO *et al.*, 2011)

Uma revisão sistemática possibilita que o pesquisador faça uma avaliação rigorosa e confiável das pesquisas realizadas dentro de um tema específico. (BERETON *et al.* 2005)

A metodologia de revisão bibliográfica sistemática *Methodi Ordinatio* foi desenvolvida por conta do número crescente de publicações e fontes de pesquisa pelos anos (PAGANI *et al.*, 2015). Portanto encontrar e selecionar artigos relevantes, e, não menos importante, descartar artigos pouco relevantes, é de extrema importância para, não só dar sustentação teórica para a pesquisa, mas também para otimizar o tempo do pesquisador durante a busca de dados para o seu projeto.

A metodologia *Methodi Ordinatio* foi a escolhida para esta pesquisa por proporcionar um procedimento sólido e simples não apenas para busca e seleção de fontes de informação, mas também na sua priorização. Ele tem como principal característica a classificação através de três critérios: ano de publicação, número de citações e fator de impacto (PAGANI *et al.*, 2015).

Este método se divide em 9 etapas, sendo elas (PAGANI *et al.*, 2015):

Etapa 1: Estabelecimento da intenção de pesquisa. Neste ponto é ideal que já se tenha um problema de pesquisa, porém isso não é um fator impeditivo para o início do processo.

Etapa 2: Pesquisa preliminar exploratória. Nesse ponto, deve-se começar a estabelecer as palavras-chave da pesquisa e suas relações. Então, uma busca preliminar pelas bases de dados mais relevantes para a área da pesquisa deve ser feita, considerando as combinações de palavras-chave que sejam mais relevantes e que retornem resultados próximos a intenção de pesquisa. Uma boa pesquisa exploratória preliminar já ajuda a descartar artigos que não possuem relação com o tema pesquisado.

Etapa 3: Definição e combinação das palavras-chave e bases de dados. Nesta fase o pesquisador vai definir e limitar as combinações relevantes de palavras-chave assim como as bases de dados a serem utilizadas. Neste ponto é importante reavaliar se o problema previamente estabelecido é de fato um problema relevante e que demandaria um esforço de pesquisa. Se o problema apontado anteriormente não for relevante, deve-se repensá-lo e retornar à Etapa 2.

Etapa 4: Busca definitiva nas bases de dados e coleta. Para essa etapa é importante a utilização de um software gerenciador de referências (*Mendeley, Zotero* etc.) para agrupar os artigos. Os dados devem ser exportados da base de dados para o gerenciador de referências utilizando as combinações estabelecidas na Etapa 3.

Etapa 5: Procedimentos de filtragem. Este é o ponto onde uma nova filtragem deve ocorrer, excluindo trabalhos duplicados e trabalhos que não possuem relação com a área de interesse da pesquisa. Neste ponto também são eliminados capítulos de livros e artigos publicados em congressos. O método recomenda utilizar outras formas de revisão para selecionar esse tipo de material, pois eles não possuem um fator de impacto para ser utilizado na classificação, porém não devem ser desconsiderados da pesquisa.

Etapa 6: Identificação do fator de impacto, ano de publicação e número de citações. O fator de impacto indica a relevância da revista em que o estudo foi publicado. Quanto mais alto o seu valor, maior a sua relevância. O número de citações indica o reconhecimento científico do estudo e do autor. O ano de publicação indica o quão atual o estudo é em relação à sua pesquisa.

Etapa 7: Classificação dos artigos utilizando o Index Ordinatio (InOrdinatio). A equação InOrdinatio (1) é aplicada para classificar os artigos que cumpriram com os critérios de filtragem aplicados anteriormente e é a seguinte:

$$\text{InOrdinatio} = (\text{IF}/1000) + \alpha * [10 - (\text{ResearchYear} - \text{PublishYear})] + (\sum \text{Ci})$$

A variável IF corresponde ao fator de impacto;  $\alpha$  corresponde ao fator de peso que varia entre 1 e 10 a ser atribuído pelo pesquisador; ResearchYear é o ano em que a pesquisa está sendo desenvolvida; PublishYear é o ano em que o artigo avaliado foi publicado;  $\sum \text{Ci}$  é o número de vezes que o artigo foi citado.

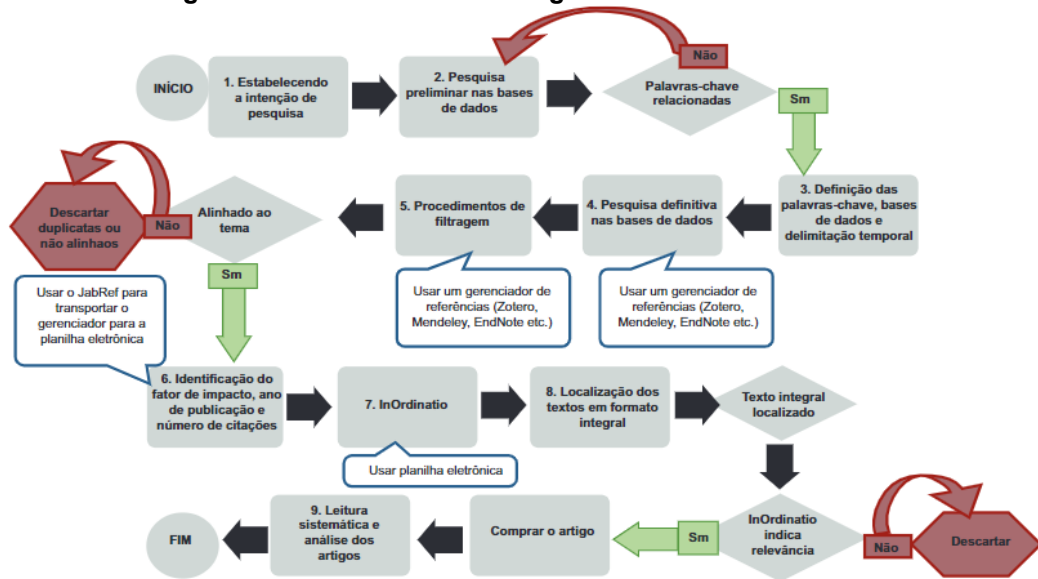
Após aplicação da equação para cada artigo e obter-se o *InOrdinatio* é possível ordenar os artigos e definir, a critério do pesquisador, o número de artigos a buscar e ler de forma integral.

Etapa 8: Busca dos artigos na íntegra. Essa etapa é puramente para, após a classificação dos artigos, buscar as suas versões integrais. Para artigos que são relevantes a pesquisa, porém não estão disponíveis de forma livre, recomenda-se a compra.

Etapa 9: Leitura sistemática e análise dos artigos. Por fim, a leitura final dos artigos. Muitas vezes é possível que o número de artigos relevantes para o estudo seja enorme, portanto, o uso da revisão bibliográfica sistemática *Methodi Ordinatio* é crucial para o sucesso do estudo e atendimento dos prazos de pesquisa.

De forma simplificada, a Figura 30 representa o fluxo da metodologia *Methodi Ordinatio*. Conforme mencionado anteriormente, a existência de estudos relacionados a utilização de dados de garantia no desenvolvimento é bastante restrita ou até inexistente. Com esta RBS, pretendeu-se sustentar esta afirmação aplicando uma metodologia estruturada, o método *Methodi Ordinatio*, para selecionar os artigos mais relevantes dessa área de interesse.

**Figura 30 – Fases da metodologia *Methodi Ordinatio***



Fonte: Pagani et al. (2015)

O estudo seguiu as 9 etapas do processo e os resultados foram os seguintes:

#### **Etapa 1 – Estabelecimento da intenção de pesquisa:**

A intenção desta pesquisa foi “Priorização de projetos de resolução de problemas de produto com base em dados de garantia”.

#### **Etapa 2 – Pesquisa preliminar exploratória:**

Foram então testadas as palavras-chave “Product development”, “Warranty” e “Prioritization” em bases de dados conhecidas, encontrando 0 artigos. Foram adicionadas mais duas palavras-chave para dar mais abrangência ao tema, “Quality” e “Multicriteria”. Então os resultados começaram a aparecer de um modo mais consistente.

#### **Etapa 3 – Definição e combinação de palavras-chave e bases de dados:**

Nesta etapa foram formalizadas as buscas em três conhecidas bases de dados, *Scopus*, *Science Direct* e *Web of Science*, pois apresentaram maior número de resultados e maior consistência. Não houve limitação temporal em nenhuma das buscas, apenas busca pelas palavras-chave, pois o número de artigos retornado já foi bastante restrito.

#### **Etapa 4 – Busca definitiva nas bases de dados e coleta:**

A tabela 1 representa essa busca já apresentando os operadores booleanos para cada base de dados e seus resultados. Todos os retornos das buscas foram exportados para o gerenciador de referências Mendeley.

Tabela 9 - Combinações de palavras-chave e seus resultados

| Combinações de palavras-chave                              | Scopus | Science Direct | Web of Science | Total      |
|--|--------|----------------|----------------|------------|
| "Product Development" and Warranty and Prioritization      | 0      | 0              | 0              | 0          |
| "Product Development" and Warranty and Multicriteria       | 0      | 0              | 0              | 0          |
| "Product Development" and Multicriteria and Prioritization | 3      | 0              | 2              | 5          |
| "Product Development" and Quality and Prioritization       | 61     | 23             | 33             | 117        |
| "Product Development" and Multicriteria and Quality        | 23     | 1              | 13             | 37         |
| "Product Development" and Warranty and Quality             | 78     | 8              | 24             | 110        |
|  |        |                |                | <b>269</b> |

Fonte: Autoria própria (2022)

#### **Etapa 5 – Procedimentos de filtragem.**

Com todos os artigos no gerenciador de referências *Mendeley*, foi aplicado o primeiro filtro na lista de artigos total, que foi a eliminação das duplicatas, resultando num número de 208 artigos. Então, de forma ordenada e sequencial, foram excluídos da lista os capítulos de livros, artigos de conferências e artigos que as palavras-chave ou a temática não eram aderentes à proposta da pesquisa. O resultado dessa filtragem manteve 43 artigos na lista.

#### **Etapa 6 – Identificação do fator de impacto, ano de publicação e número de citações:**

Os próprios sites dos periódicos e a ferramenta Google Scholar foram utilizados para localizar essas informações. Para os fatores de impacto, foram consideradas as métricas JCR, CiteScore, SJR e SNIP. As buscas retornaram 100% de retorno da métrica SJR, que foi, portanto, a escolhida para a execução da classificação, pois dará maior assertividade para o método por não misturar métricas diferentes.

#### **Etapa 7 – Classificação dos artigos utilizando o *Index Ordinatio* (InOrdinatio):**

De posse de todas as variáveis da equação InOrdinatio, foram então calculados os índices para classificação, considerando um  $\alpha=10$  e ano de pesquisa 2021. A Tabela 5 mostra os 43 artigos classificados por ordem de importância.



**Tabela 10 - Ranqueamento dos artigos através do InOrdinatio**

| Autor  | Título  | Ano  | Periódico  | IF (SJR) | Citações | InOrdinatio | Rank |
|--|---|------|--|----------|----------|-------------|------|
| Murthy, D. and Djamaludin, I.                        | New product warranty: A literature review   | 2002 | International Journal of Production Economics        | 2,379    | 549      | 459,002379  | 1    |
| Huang, H.-Z., Liu, Z.-J. and Murthy, D.              | Optimal reliability, warranty and price for new products  | 2007 | IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers) | 1,153    | 226      | 186,001153  | 2    |
| Gokpinar, B., Hopp, W. and Iravani, S.               | The impact of misalignment of organizational structure and product architecture on quality in complex product development       | 2010 | Management Science                                   | 5,439    | 188      | 178,005439  | 3    |
| Nepal, B., Yadav, O. and Murat, A.                   | A fuzzy-AHP approach to prioritization of CS attributes in target planning for automotive product development                   | 2010 | Expert Systems with Applications                     | 1,494    | 149      | 139,001494  | 4    |
| Yan, H.-B. and Ma, T.                                | A group decision-making approach to uncertain quality function deployment based on fuzzy preference relation and fuzzy majority | 2015 | European Journal of Operational Research             | 2,364    | 89       | 129,002364  | 5    |
| Wu, S.-M., Liu, H.-C. and Wang, L.-E.                | Hesitant fuzzy integrated MCDM approach for quality function deployment: a case study in electric vehicle                       | 2017 | International journal of production research         | 1,776    | 65       | 125,001776  | 6    |
| Vinodh, S., Kamala, V. and Jayakrishna, K.           | Integration of ECQFD, TRIZ, and AHP for innovative and sustainable product development  | 2014 | Applied Mathematical Modelling                       | 0,957    | 78       | 108,000957  | 7    |
| Alkahtani, M., Choudhary, A., De, A. and Harding, J. | A decision support system based on ontology and data mining to improve design using warranty data                               | 2019 | Computers and Industrial Engineering                 | 1,469    | 27       | 107,001469  | 8    |

Tabela 5. Ranqueamento dos artigos através do InOrdinatio

| Autor  | Título  | Ano  | Periódico   | IF (SJR) | Citações | InOrdinatio | Rank |
|--|---|------|---|----------|----------|-------------|------|
| Mistarihi, M.Z., Okour, R.A. and Mumani, A.A.    | An integration of a QFD model with Fuzzy-ANP approach for determining the importance weights for engineering characteristics of the proposed wheelchair design. | 2020 | Applied Soft Computing                            | 1,29     | 16       | 106,00129   | 9    |
| Wang, L., Hu, Y.-P., Liu, H.-C. and Shi, H.      | A linguistic risk prioritization approach for failure mode and effects analysis: A case study of medical product development                                    | 2019 | Quality and Reliability Engineering International | 1,028    | 24       | 104,001028  | 10   |
| Yoon, B., Jeong, Y., Lee, K. and Lee, S.         | A systematic approach to prioritizing R&D projects based on customer-perceived value using opinion mining   | 2020 | Technovation                                      | 2,795    | 4        | 94,002795   | 11   |
| Liu, A., Hu, H., Zhang, X. and Lei, D.           | Novel Two-Phase Approach for Process Optimization of Customer Collaborative Design Based on Fuzzy-QFD and DSM   | 2017 | IEEE Transactions on Engineering Management       | 1,066    | 33       | 93,001066   | 12   |
| Ping, Y.-J., Liu, R., Lin, W. and Liu, H.-C.     | A new integrated approach for engineering characteristic prioritization in quality function deployment  | 2020 | Advanced Engineering Informatics                  | 0,946    | 3        | 93,000946   | 13   |
| Serugga, J., Kagioglou, M. and Tzortzopolous, P. | A Utilitarian Decision-Making Approach for Front End Design-A Systematic Literature Review  | 2020 | Buildings   | 0,484    | 2        | 92,000484   | 14   |

Tabela 5. Ranqueamento dos artigos através do InOrdinatio

| Autor   | Título   | Ano  | Periódico   | IF (SJR) | Citações | InOrdinatio | Rank |
|---|--|------|---|----------|----------|-------------|------|
| Ju, P., Chen, Z., Ran, Y. and Tu, S.                    | A novel QFD method considering expert's psychological behavior character under probabilistic linguistic environment    | 2020 | Harbin Gongye Daxue Xuebao/Journal of Harbin Institute of Technology                    | 0,2      | 0        | 90,0002     | 15   |
| Kleyner, A. and Sandborn, P.                            | Minimizing life cycle cost by managing product reliability via validation plan and warranty return cost                | 2008 | International Journal of Production Economics   | 2,379    | 111      | 81,002379   | 16   |
| Yuen, K.K.F.  | Fuzzy Cognitive Network Process: Comparisons with Fuzzy Analytic Hierarchy Process in New Product Development Strategy | 2014 | IEEE Transactions on Fuzzy Systems  | 3,134    | 50       | 80,003134   | 17   |
| Ramakrishnan, S., Vijaya Kumar, K. and Chandran, N.     | Design for reliability – Reliability prediction & correlation study using test results and field feedback              | 2019 | International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development | 0,202    | 0        | 80,000202   | 18   |
| Franceschini, F., Maisano, D. and Mastrogiacomo, L.     | Customer requirement prioritization on QFD: a new proposal based on the generalized Yager's algorithm                  | 2015 | Research in Engineering Design  | 0,78     | 33       | 73,00078    | 19   |
| Stosic, B., Milutinovic, R., Zakic, N. and Zivkovic, N. | Selected indicators for evaluation of eco-innovation projects  | 2016 | Innovation: The European Journal of Social Science Research                             | 0,469    | 22       | 72,000469   | 20   |
| Yadav, O.P. and Goel, P.S.                              | Customer satisfaction driven qlty imprvmnt tgt planning for prod. dvlpmnt. in automotive industry                      | 2008 | International Journal of Production Economics   | 2,379    | 94       | 64,002379   | 21   |

Tabela 5. Ranqueamento dos artigos através do InOrdinatio

| Autor   | Título  | Ano  | Periódico  | IF (SJR) | Citações | InOrdinatio | Rank |
|---|---|------|--|----------|----------|-------------|------|
| Liu, Y., Zhou, J. and Chen, Y.                                    | Using fuzzy non-linear regression to identify the degree of compensation among customer requirements in QFD   | 2014 | Neurocomputing   | 1,178    | 32       | 62,001178   | 22   |
| Liu, W., Teng, S., Jie, L. and Sun, Z.                            | System dynamics model for warranty optimization based on reliability growth   | 2017 | Jisuanji Jicheng Zhizao Xitong/Computer Integrated Manufacturing Systems, CIMS | 0,288    | 0        | 60,000288   | 23   |
| Akella, K., Venkatachalam, N., Gokul, K., Choi, K. and Tyakal, R. | Gain Customer Insights Using NLP Techniques   | 2017 | SAE International Journal of Materials and Manufacturing                       | 0,193    | 0        | 60,000193   | 24   |
| Canciglieri, O., Sant'Anna, Â. and Machado, L.                    | Multi-attribute method for prioritization of sustainable prototyping technologies   | 2015 | Clean Technologies and Environmental Policy                                    | 0,653    | 7        | 47,000653   | 25   |
| Lee, A.H.I., Kang, H.-Y. and Chang, C.-C.                         | An integrated interpretive structural modeling-fuzzy analytic network process-benefits, opportunities, costs and risks model for selecting technologies | 2011 | International Journal of Information Technology & Decision Making              | 0,533    | 35       | 35,000533   | 26   |
| Frank, A. and Echeveste, M.                                       | Knowledge transfer between NPD project teams: A method for the identification of improvement opportunities  | 2012 | International Journal of Quality & Reliability Management                      | 0,569    | 23       | 33,000569   | 27   |
| Huynh, V.-N. and Nakamori, Y.                                     | A linguistic screening evaluation model in new product development  | 2011 | IEEE Transactions on Engineering Management                                    | 1,066    | 30       | 30,001066   | 28   |
| Franka, A., Pedrinib, D., Echevestec, M. and Ribeiro, J.          | A systematic of QFD and FMEA integration for decision-making in the product development process   | 2014 | Producao   | 0,218    | 0        | 30,000218   | 29   |

Tabela 5. Ranqueamento dos artigos através do InOrdinatio

| Autor  | Título  | Ano  | Periódico  | IF (SJR) | Citações | InOrdinatio | Rank |
|--|---|------|--|----------|----------|-------------|------|
| Xu, J., Xu, X. and Xie, S.                                 | A comprehensive review on recent developments in quality function deployment  | 2010 | International Journal of Productivity and Quality Management | 0,45     | 34       | 24,00045    | 30   |
| Shahin, A. and Nikneshan, P.                               | Integration of CRM and QFD: A novel model for enhancing customer participation in design and delivery                   | 2008 | TQM Journal  | 0,658    | 48       | 18,000658   | 31   |
| Laksana, K. and Hartman, J.C.                              | Planning product design refreshes with service contract and competition considerations                                  | 2010 | International Journal Of Production Economics                | 2,379    | 7        | -2,997621   | 32   |
| Ion, R.A., Petkova, V.T., Peeters, B.H.J. and Sander, P.C. | Field reliability prediction in consumer electronics using warranty data  | 2007 | Quality And Reliability Engineering International            | 1,028    | 32       | -7,998972   | 33   |
| Noor, M. and Whitney, D.                                   | Achieving excellence in product development by resolving quality and warranty issues upstream, while reducing lead-time | 2010 | International Journal of Product Development                 | 0,238    | 1        | -8,999762   | 34   |
| Oumlil, A.   | Warranty planning and development framework: A case study of a high-tech multinational firm                             | 2008 | Journal of Business and Industrial Marketing                 | 0,685    | 11       | -18,999315  | 35   |
| Bongirwar, R.  | Innovative approach to implement complex automotive electronic systems at reduced time and cost                         | 2007 | SAE Technical Papers   | 0,3      | 0        | -39,9997    | 36   |
| Zakarian, A., Wickett, P. and Siradeghyan, Y.              | Quantitative model for evaluating the quality of an automotive business process   | 2006 | International Journal of Production Research                 | 1,776    | 8        | -41,998224  | 37   |

Tabela 5. Ranqueamento dos artigos através do InOrdinatio

| Autor  | Título  | Ano  | Periódico   | IF (SJR) | Citações | InOrdinatio | Rank |
|--|---|------|---|----------|----------|-------------|------|
| Paquin, J.,<br>Couillard, J.<br>and Ferrand, D.              | Assessing and<br>controlling the<br>quality of a<br>project end<br>product: The<br>earned quality<br>method | 2000 | HPAC Heating,<br>Piping, Air<br>Conditioning  | 0,1      | 66       | -43,9999    | 38   |
| Chen, Y.-Z.,<br>Tang, J.-F.,<br>Hou, R.-T. and<br>Ren, L.-Y. | Product<br>development<br>process based<br>on house of<br>quality   | 2002 | Computer<br>Integrated<br>Manufacturing<br>Systems, CIMS  | 0,288    | 8        | -81,999712  | 39   |
| Petkova, V.,<br>Sander, P. and<br>Brombacher, A.             | Role of the<br>service centre<br>in<br>improvement<br>processes   | 1999 | Quality and<br>Reliability<br>Engineering<br>International  | 1,028    | 36       | -83,998972  | 40   |
| Xie, M., Goh, T.<br>and Wang, H.                             | A study of the<br>sensitivity of<br>"customer<br>voice" in QFD<br>analysis                                  | 1998 | International<br>Journal of<br>Industrial<br>Engineering:<br>Theory<br>Applications<br>and Practice | 0,189    | 45       | -84,999811  | 41   |
| Patten, C.   | Calling a HALT<br>to warrantly<br>costs   | 2002 | Engineering<br>Technology   | 0,12     | 0        | -89,99988   | 42   |
| Goel, P. and<br>Singh, N.                                    | A flexible<br>approach for<br>prioritization in<br>product<br>development<br>process                        | 2001 | Global Journal<br>of Flexible<br>Systems<br>Management  | 0,861    | 0        | -99,999139  | 43   |

### **Etapa 8 – Busca dos artigos na íntegra:**

Da lista dos 43 artigos, foram selecionados para serem lidos na íntegra os 20 mais bem ranqueados. O artigo 15 está publicado em idioma chinês, e como o fator de impacto e número de citações são pequenos, ele foi também descartado e substituído pelo próximo artigo da lista (21). Todos os outros artigos foram encontrados em suas bases de dados normalmente.

### **Etapa 9 – Leitura sistemática e análise dos artigos:**

A leitura dos artigos então foi feita, identificando os artigos 1 como uma excelente fonte de referências bibliográficas e 8 como tendo maior aderência à proposta de pesquisa.

### **Considerações finais sobre a RBS**

Com a seleção e leitura dos artigos mais relevantes para o projeto de pesquisa, foi confirmado que a metodologia de RBS Methodi Ordinatio conseguiu

cumprir com o que se propôs, que foi auxiliar os pesquisadores na busca de estudos relevantes nas suas respectivas áreas de pesquisa. A execução da ferramenta é bastante simples e otimiza o tempo de busca.

Todos os artigos lidos apresentam relevância em pelo menos dois critérios buscados nas etapas anteriores. As buscas por livros e artigos de conferências serão feitas de outra forma.

**APÊNDICE B - Pesquisa de opinião**



A pesquisa de opinião foi desenvolvida conforme procedimento descrito no capítulo 3. Todas as informações abaixo foram inseridas na ferramenta *Google Forms* para uma melhor gestão do envio das perguntas e registro das respostas.

O título e as instruções de resposta da pesquisa foram apresentados inicialmente e depois cada um dos critérios ocupou uma pergunta. Para cada critério uma breve explicação foi feita para que os clientes possam entender cada um deles e seus impactos. Logo após cada critério, as opções mostradas na Tabela 3 são apresentadas como resposta. A forma que elas são mostradas na plataforma aparece na Figura 31 ao final do Apêndice B. A transcrição do texto inserido na plataforma segue abaixo:

### **Pesquisa de opinião sobre resolução de problemas de produto pelo fabricante de máquinas de construção civil**

Olá. Você foi selecionado como um colaborador importante para a pesquisa de opinião abaixo. Sua resposta ajudará muito na conclusão deste trabalho. Leia atentamente as instruções antes de prosseguir com as respostas.

Esta pesquisa é tema de dissertação de mestrado em Desenvolvimento de Produto, no departamento de Engenharia de Produção pela UTFPR, orientada pelo Professor Aldo Braghini Jr.

Ela segue todos os parâmetros descritos na Lei Geral de Proteção de dados e possui soluções de criptografia do próprio Google, o que significa que a pesquisa está parametrizada para não compartilhar nenhum tipo de informação pessoal de quem a responde, nem mesmo com o elaborador da pesquisa.

Instruções:

**É importante salientar que a pesquisa está relacionada à resolução definitiva do problema, que demanda alterações no projeto do produto e não ao reparo imediato feito pela assistência técnica logo após a falha.**

Imagine que o fabricante de máquinas de construção civil possui uma grande lista de defeitos que estão ocorrendo no momento e ele não tem recursos suficientes para resolver todos ao mesmo tempo. Ele precisa de informações que o ajudem a priorizar quais defeitos devem ser resolvidos de modo definitivo através de melhoria de produto.

Esta pesquisa de opinião ajudará a entender quais os critérios os clientes julgam mais importantes para que a alocação de recursos para resolução gere aumento da qualidade do produto e conseqüente melhora da satisfação do cliente.

Por exemplo, se for julgado que o critério "Tempo de Reparo" for mais importante do que "Custo de Garantia", uma falha que apresente um tempo de reparo maior mesmo que o custo de garantia seja alto, terá prioridade na sua resolução definitiva.

Em outras palavras, gostaríamos de saber quais os critérios que os clientes mais valorizam para que os fabricantes possam alocar melhor seus recursos para resolverem problemas de produto de modo mais eficiente. O objetivo disso é a melhoria da qualidade dos produtos em um menor tempo e utilizando os recursos de modo ótima, e conseqüente melhora da satisfação dos clientes.

Espera-se que as respostas levem em conta o negócio onde o cliente se encontra e sua relação/dependência dos produtos oferecidos pelos fabricantes.

Este questionário é composto de 10 perguntas e cada pergunta será referente a um critério levantado como importante para priorizar a resolução de um problema através da melhoria de produto. É possível classificar um ou mais critérios com a mesma importância.

Cada critério será explicado individualmente em sua própria pergunta.

### **1 - Quantidade de Defeitos**

Este critério representa a quantidade de defeitos iguais ocorridos dentro de uma população de máquinas.

Exemplo: Existem 100 máquinas trabalhando e 10 delas apresentaram um defeito específico. Neste caso, se você tem 10 máquinas, 1 delas deverá apresentar este defeito. Quanto maior a quantidade de defeitos, maior a probabilidade de seu equipamento apresentar um deles.

Na sua opinião, qual a importância deste critério para que o fabricante priorize a resolução deste problema através de melhoria de produto?

## **2 - Região**

Este critério representa se a falha está causando impacto em uma região específica.

Exemplo: Existe uma falha afetando uma região específica pois a altitude gera problemas de admissão de ar. Se a sua máquina estiver nessa região pode ser afetada pelo problema.

Na sua opinião, qual a importância deste critério para que o fabricante priorize a resolução deste problema através de melhoria de produto?

## **3 - Modelo**

Este critério representa se a falha está concentrada em um modelo de equipamento específico ou se estende para outros modelos.

Exemplo: Existe uma falha afetando uma linha de carregadeiras específica que compartilham o mesmo componente.

Na sua opinião, qual a importância deste critério para que o fabricante priorize a resolução deste problema através de melhoria de produto?

## **4 - Idade do equipamento**

Este critério representa se a falha está ocorrendo em equipamentos novos ou após muitas horas de trabalho.

Exemplo: Falhas que ocorrem em equipamentos com menos horas tendem a ser mais críticas que em equipamentos com mais idade

Na sua opinião, qual a importância deste critério para que o fabricante priorize a resolução deste problema através de melhoria de produto?

## **5 - Severidade da falha**

Este critério representa a severidade da falha, ou seja, o quanto ela impacta no funcionamento do equipamento e a criticidade das suas consequências.

Exemplo: Falhas com grande severidade tendem a comprometer mais funções e sistemas do equipamento, gerando reparos mais caros e mais longos. Uma falha de motor que cause a parada do equipamento tende a ser mais severa do que uma queda na eficiência do ar-condicionado.

Na sua opinião, qual a importância deste critério para que o fabricante priorize a resolução deste problema através de melhoria de produto?

## **6 - Garantia total paga**

Este critério representa o valor total de garantia pago para realizar os reparos de todos os equipamentos afetado com a falha em questão.

Exemplo: Falhas com valores de garantia pagos mais altos tendem a serem resolvidos antes para não prejudicar a situação financeira do fabricante. Usualmente valores de garantia mais altos também são consequência de tempos de reparo e severidade maiores.

Considere que neste critério a garantia não é paga pelo cliente, porém ela prejudica a saúde financeira do fabricante, podendo afetar suas relações de negócios e parceria. Na sua opinião, qual a importância deste critério para que o fabricante priorize a resolução deste problema através de melhoria de produto?

## **7 - Garantia média por falha**

Este critério representa o valor de garantia médio por falha, ou seja, o valor total de garantia pago dividido pelo número de falhas.

Exemplo: Valores de garantia médios por falha mais elevados representam que cada ocorrência da falha custa mais para ser totalmente reparada.

Considere que neste critério a garantia não é paga pelo cliente, porém ela prejudica a saúde financeira do fabricante, podendo afetar suas relações de negócios e parceria. Na sua opinião, qual a importância deste critério para que o fabricante priorize a resolução deste problema através de melhoria de produto?

## **8 - Custo para resolução**

Este critério representa o custo para a resolução definitiva da falha.

Exemplo: Problemas com custos de resolução menores tendem a serem resolvidos primeiro, pois demandam menos recursos e usualmente têm tempo de resolução menores. O tempo de resolução do problema está implícito neste critério.

Na sua opinião, qual a importância deste critério para que o fabricante priorize a resolução deste problema através de melhoria de produto?

### 9 - Tempo de reparo

Este critério representa o tempo médio do reparo realizado pela assistência técnica do defeito em questão.

Exemplo: Problemas com tempos de reparo maiores prejudicam a operação dos clientes pois diminuem a disponibilidade do equipamento. Quanto maior o tempo de reparo, mais tempo o cliente ficará sem o equipamento disponível para trabalhar.

Na sua opinião, qual a importância deste critério para que o fabricante priorize a resolução deste problema através de melhoria de produto?

### 10 - Impacto comercial

Este critério representa o quanto este problema está gerando de insatisfação nos clientes, impactando a realização de futuros negócios entre o cliente e o fabricante.

Exemplo: Problemas de qualidade que prejudicam os negócios do cliente tendem a causar um impacto comercial significativo.

Na sua opinião, qual a importância deste critério para que o fabricante priorize a resolução deste problema através de melhoria de produto?

**Figura 31 – Opções de resposta na plataforma *Google Forms***

- Muito alta
- Alta
- Médio-alta
- Média
- Média-baixa
- Baixa
- Muito baixa

**Fonte: Autoria própria (2023)**