



Universidade de Brasília - UnB  
Faculdade UnB Gama - FGA  
Engenharia Automotiva

## **FMEA Aplicado a Manutenção: revisão sistemática e análise crítica**

**Autor: Antônio Luís Lima Junior e Orlânia Alves Rodrigues**  
**Orientador: Prof. Me. Mário de Oliveira Andrade**

Brasília, DF  
2022



Antônio Luís Lima Junior e Orlânia Alves Rodrigues

## **FMEA Aplicado a Manutenção: revisão sistemática e análise crítica**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Automotiva da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva .

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Prof. Me. Mário de Oliveira Andrade

Brasília, DF

2022

---

Antônio Luís Lima Junior e Orlânia Alves Rodrigues  
FMEA Aplicado a Manutenção: revisão sistemática e análise crítica/ Antônio  
Luís Lima Junior e Orlânia Alves Rodrigues. – Brasília, DF, 2022-  
81 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Me. Mário de Oliveira Andrade

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília - UnB  
Faculdade UnB Gama - FGA , 2022.

1. Manutenção. 2. FMEA. I. Prof. Me. Mário de Oliveira Andrade. II.  
Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. FMEA Aplicado a  
Manutenção: revisão sistemática e análise crítica

CDU 02:141:005.6

---

Antônio Luís Lima Junior e Orlânia Alves Rodrigues

## **FMEA Aplicado a Manutenção: revisão sistemática e análise crítica**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Automotiva da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva .

Trabalho aprovado. Brasília, DF, 22 de setembro de 2022:

---

**Prof. Me. Mário de Oliveira Andrade**  
Orientador

---

**Prof. Dr. Fábio Cordeiro de Lisboa**  
Convidado 1

---

**Prof. Dr. Henrique Gomes de Moura**  
Convidado 2

Brasília, DF  
2022

*À nossas filhas, Lavínia e Laura.*

# Agradecimentos

À Deus pela vida, pela saúde, alegria, por tudo que somos, pela coragem para vencer os desafios e por nos proporcionar todas as providências necessárias para chegarmos até aqui.

Aos nossos pais, Antonio Luis e Dirce Siqueira, Maria Helena Alves e Pedro R. da Silva, que nos moldou num caráter conciliador, íntegro e ético. Eterna gratidão pelo amor e apoio incondicional, sempre nos mostrando que o impossível é possível.

Ao Antônio Júlio da Silva, pelo apoio, respeito, dedicação e por incentivar nossa carreira no curso de engenharia automotiva.

À Luana Alves da Silva, seus filhos e esposo, por tanto empenho, amor e dedicação. por nunca pouparem esforços e auxílio, sempre que foi necessário.

À Mayara Cristina por todo incentivo e por sempre acreditar no nosso crescimento.

Ao professor Mário de Oliveira Andrade por nos orientar com tanta sabedoria, honestidade, empenho e paciência. Ao professor Fábio Cordeiro de Lisboa pela dedicação, sabedoria e confiança. Obrigada por acreditarem em nosso crescimento acadêmico e por todos os importantes ensinamentos que levaremos por toda vida.

Ao professor Henrique Gomes de Moura por aceitar o convite de avaliar o nosso trabalho.

Aos grandes mestres que passaram pela nossa vida acadêmica, que foram luz e inspiração e que contribuíram, direta e indiretamente. Em especial a professora Maura Angelica M. Shzu e professora Paula Meyer Soares, por incentivarem a realização dos nossos sonhos.

Aos colaboradores da Universidade de Brasília pelo suporte e soluções. Em especial, à Míria Miranda de Souza e Francisco César B. Silva pela amizade, carinho, respeito e disposição.

Aos nossos amigos(as) que nos proporcionaram momentos de risos, descontração, conversas produtivas, apoio e incentivo. Em especial a Lucas Alves, Marcos Christian, Diego Mendonça, Luíza Araújo, William Macedo, Icoana Laís, Elizabeth Nunes e Lorrhan Lisboa que nos ajudaram de maneira respeitosa nessa árdua caminhada do curso de engenharia.

*“Seja forte e corajoso! Não fique desanimado,  
nem tenha medo, porque eu, o Senhor, seu Deus,  
estarei com você em qualquer lugar para onde você for!”*  
*(BÍBLIA, Josué, 1:9)*

# Resumo

Este trabalho tem como objetivo verificar o potencial uso da ferramenta FMEA na construção de planos de manutenção a partir de uma revisão sistemática da literatura, em artigos, dissertações e teses da área. Desenvolver planos de manutenção exclusivos, voltados para a real necessidade de cada empresa, pode gerar economia, segurança e confiabilidade nas operações e organizações. Para alcançar o objetivo foi realizada uma pesquisa exploratória, com abordagem quantitativa a partir de uma revisão sistemática da literatura, por meio do TEMAC. Realizou-se análises bibliométricas, de co-citações e acoplamento bibliográfico no software *VosViewer*. Obteve-se como resultado desta pesquisa os trinta melhores artigos, dos autores mais citados, nas revistas com maior fator de impacto do mundo, acompanhando as tendências dos estudos sobre o tema estudado, garantindo então a contribuição das melhores linhas de pesquisa e enfoques teóricos a respeito do tema. Baseado nesses resultados, verificou-se a partir de uma análise crítica o potencial uso da ferramenta FMEA na construção de planos de manutenção, como uma das principais frente de pesquisa presente em quatorze resultados dentre os trinta melhores enfoques que tratam a linha de pesquisa apresentada.

**Palavras-chaves:** FMEA. Manutenção. MCC. Revisão Sistemática. TEMAC.

# Abstract

*This study aims to verify the potential use of the FMEA tool in the construction of maintenance plans based on a systematic literature review of articles, dissertations and thesis in the area. Development of exclusive maintenance plans, focused on the real needs of each company, can generate savings, safety and reliability in operations and organizations. To achieve the objective, an exploratory research was conducted, with a quantitative approach from a systematic literature review, by using TEMAC. Bibliometric, co-citation and bibliographic coupling analyses were performed using the software VosViewer. The result of this research was the thirty best articles, from the most cited authors, in the journals with the highest impact factor in the world, following the tendencies of the studies on the theme, guaranteeing the contribution of the best research lines and theoretical approaches on the theme. Based on these results, it was verified from a critical analysis the potential use of the FMEA tool in the construction of maintenance plans, as one of the main research fronts present in fourteen results among the thirty best approaches that treat the line of research presented.*

**Key-words:** FMEA. Maintenance. RCM. Systematic Review. TEMAC.

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Tipos de Manutenção. . . . .	20
Figura 2 – Passos Seguidos pela Manutenção Preditiva. . . . .	22
Figura 3 – Resultados x Tipos de Manutenção. . . . .	25
Figura 4 – Gráfico Custos <i>versus</i> Nível de Manutenção. . . . .	25
Figura 5 – Gráfico Lucro <i>versus</i> Disponibilidade. . . . .	26
Figura 6 – Elementos Básicos do FMEA. . . . .	28
Figura 7 – Exemplo de Formulário do FMEA. . . . .	30
Figura 8 – Características Únicas da MCC. . . . .	33
Figura 9 – Padrões de Falha de Equipamentos . . . . .	35
Figura 10 – Técnicas de Gerenciamento de Falhas . . . . .	35
Figura 11 – Fases de uma Revisão Sistemática . . . . .	37
Figura 12 – Modelo TEMAC . . . . .	38
Figura 13 – Fluxograma Adotado para a Implementação do TEMAC . . . . .	40
Figura 14 – Panorama Geral das Áreas do Conhecimento - WoS . . . . .	41
Figura 15 – Panorama Geral das Áreas do Conhecimento - Scopus . . . . .	41
Figura 16 – Número de Publicações Ano a Ano . . . . .	43
Figura 17 – Número de Citações Ano a Ano - WoS . . . . .	44
Figura 18 – Número de Citações Ano a Ano - Scopus . . . . .	45
Figura 19 – Número de Citações Ano a Ano - GS . . . . .	45
Figura 20 – Nuvem de Palavras-chave mais Recorrentes nos Artigos da WoS . . . . .	50
Figura 21 – Nuvem de Palavras-chave mais Recorrentes nos Artigos da Scopus . . . . .	50
Figura 22 – Nuvem de Palavras-chave mais Recorrentes nos Artigos do GS . . . . .	51
Figura 23 – Diagrama de Rede Representando Co-citações . . . . .	52
Figura 24 – Mapa de Calor Representando Co-citações - WoS . . . . .	53
Figura 25 – Mapa de Calor Representando Co-citações - Scopus . . . . .	54
Figura 26 – Mapa de Calor de Acoplamento Bibliográfico - WoS . . . . .	55
Figura 27 – Mapa de Calor de Acoplamento Bibliográfico - Scopus . . . . .	55
Figura 28 – Mapa de Calor de Co-ocorrência de Palavras - WoS . . . . .	56
Figura 29 – Mapa de Calor de Co-ocorrência de Palavras - Scopus . . . . .	57
Figura 30 – Mapa de Calor de Co-ocorrência de Palavras - GS . . . . .	57
Figura 31 – Enfoques de Pesquisa Relacionados a Plano de Manutenção . . . . .	67

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Exemplo de preenchimento do FMEA ampliado. . . . .	29
Tabela 2 – Critérios de severidade. . . . .	31
Tabela 3 – Descrição da escala de ocorrência. . . . .	31
Tabela 4 – Descrição da escala de detecção. . . . .	32
Tabela 5 – Revistas mais relevantes. . . . .	42
Tabela 6 – Quantidade de publicações por país. . . . .	46
Tabela 7 – Quantidade de publicações por autor. . . . .	46
Tabela 8 – Artigos mais citados - WoS. . . . .	47
Tabela 9 – Artigos mais citados - Scopus. . . . .	48
Tabela 10 – Artigos mais citados - GS. . . . .	48
Tabela 11 – Artigos mais citados e enfoque - WoS. . . . .	58
Tabela 12 – Artigos mais citados e enfoque - Scopus. . . . .	60
Tabela 13 – Artigos mais citados e enfoque - GS. . . . .	63

# Lista de abreviaturas e siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
MCC	Manutenção Centrada na Confiabilidade
NBR	Norma Brasileira
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
LCC	<i>Life Cycle Cost</i>
ABC	<i>Activity Based Costing</i>
TOC	<i>Theory of Constraints</i>
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
EDM	Engenharia de Manutenção
PFMEA	<i>Process Failure Mode and Effect Analysis</i>
DFMEA	<i>Design Failure Mode and Effect Analysis</i>
RPN	<i>Risk Priority Number</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
EMA	Enfoque Meta Analítico
TEMAC	Teoria do Enfoque Meta Analítico
WoS	<i>Web of science</i>
GS	<i>Google Scholar</i>
ISI	<i>Institute for Scientific Information</i>
JCR	<i>Journal Citation Reports</i>
SJR	<i>SCImago Journal Rank</i>
FI	Fator de Impacto
PIB	Produto Interno Bruto

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b>	<b>15</b>
1.1.1	Objetivo Principal	15
1.1.2	Objetivos Específicos	15
<b>1.2</b>	<b>Justificativa</b>	<b>15</b>
<b>1.3</b>	<b>Estrutura do Trabalho</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>Manutenção</b>	<b>17</b>
2.1.1	Evolução Histórica	18
2.1.2	Definições e Tipos de Manutenção	20
2.1.3	Engenharia de Manutenção	24
2.1.4	Custos de Manutenção	25
2.1.5	Plano de Manutenção	26
<b>2.2</b>	<b>FMEA (Análise de Modos e Efeitos de Falha)</b>	<b>27</b>
2.2.1	Tipos de FMEA	28
2.2.2	Construção de um FMEA	30
<b>2.3</b>	<b>MCC (Manutenção Centrada na Confiabilidade)</b>	<b>32</b>
2.3.1	As Etapas da MCC	33
2.3.2	Estratégias de Manutenção na MCC	34
<b>2.4</b>	<b>Revisão Sistemática (RS)</b>	<b>36</b>
2.4.1	Teoria do Enfoque Meta Analítico Consolidado (TEMAC)	37
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>40</b>
<b>3.1</b>	<b>Preparação da Pesquisa</b>	<b>40</b>
<b>3.2</b>	<b>Inter-relação dos Dados</b>	<b>42</b>
3.2.1	Revistas mais Relevantes	42
3.2.2	Evolução do Tema Ano a Ano	43
3.2.3	Países que mais Publicam	45
3.2.4	Análise dos Autores e Artigos	46
3.2.5	Análise das Palavras Chaves	49
<b>3.3</b>	<b>Detalhamento, Modelo Integrador e Validação por Evidências</b>	<b>51</b>
3.3.1	<i>Co-citation</i>	51
3.3.2	<i>Coupling</i>	54
3.3.3	Co-ocorrência de Palavras	56
3.3.4	Enfoque de Pesquisa	58

<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> . . . . .	<b>66</b>
<b>4.1</b>	<b>Análise Crítica</b> . . . . .	<b>66</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> . . . . .	<b>69</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	<b>71</b>
	<b>APÊNDICES</b>	<b>78</b>
	<b>APÊNDICE A – CRITÉRIO DE INCLUSÃO</b> . . . . .	<b>79</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>80</b>
	<b>ANEXO A – EXEMPLO DE PLANO DE MANUTENÇÃO</b> . . . . .	<b>81</b>

# 1 Introdução

O planejamento na manutenção auxilia na redução dos custos envolvidos durante esse processo, prevenindo erros e falhas nos ativos. A ausência de problemas, por sua vez, faz com que máquinas e equipamentos desempenhem suas funções adequadamente por mais tempo. Nesse contexto, o presente trabalho propõe verificar o potencial uso da ferramenta FMEA, do inglês *Failure Mode and Effect Analysis*, na construção de planos de manutenção, resultado da pesquisa de revisão sistemática desse assunto a partir de bases científicas, considerando a integração dos conceitos dessa área, no Brasil e no mundo.

A manutenção, além de executar sua função, deve garantir a confiabilidade e disponibilidade do item físico ou instalação, atendendo ao processo com segurança, preservando o meio-ambiente e com custos adequados, sendo essa a missão da manutenção (KARDEC; NASCIF, 2001). Desta forma a escolha de um plano de manutenção é primordial para uma boa gestão de manutenção, é nesse contexto que a MCC (Manutenção Centrada na Confiabilidade) se insere. Uma metodologia que garante um plano de manutenção e reduz ao máximo possível o custo do ciclo de vida do ativo (CORDEIRO, 2022). A MCC é tida pelas empresas como um diferencial, que aumenta a competitividade dela no mercado.

Os planos de manutenção são normalmente projetados por profissionais com experiência. Segundo Pelliccione, Smith e Parker (2021), 31% das empresas subcontratam operações porque está difícil encontrar pessoas qualificadas, tornando-se primordial o profissional que atua nessa área dominar tal assunto. Logo, a pesquisa deste trabalho é justificada pela importância de compreender a integração desses temas.

Desta forma, a metodologia utilizada para compor este trabalho está embasada numa revisão sistemática Souza (2004) aplicando o modelo da Teoria do Enfoque Meta Analítico (TEMAC), conforme Mariano e Rocha (2017) e Martins e Silva (2003), pesquisa exploratória de dados secundários, utilizando a pesquisa bibliográfica a partir de bibliografias, periódicos, livros, artigos e estudos sobre o tema. Essa revisão sistemática começa com a coleta de dados a partir de um conjunto de passos definidos pelo TEMAC, que são: preparação da pesquisa e interrelação dos dados. Posteriormente, detalhar e validar essas informações coletadas para análise no *software VOSviewer*.

Ademais, foram realizadas análises bibliométricas, de co-citações e acoplamento bibliográfico, obtendo como resultado desta pesquisa os trinta melhores artigos, dos autores mais citados e relevantes, garantindo então a contribuição das melhores linhas de pesquisa e enfoques teóricos a respeito do tema.

As próximas seções tratam da revisão de literatura a respeito da manutenção, percorrendo a evolução histórica, levando em consideração os aspectos mundial e nacional.

A seguir, apresenta o método do trabalho a partir da revisão sistemática dessa literatura, aplicando o modelo TEMAC. Posteriormente, os resultados e discussões com uma análise crítica.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo Principal

O presente trabalho tem como principal objetivo verificar o potencial uso da ferramenta FMEA na construção de planos de manutenção a partir de uma revisão sistemática da literatura, em artigos, dissertações e teses da área.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos para alcançar o objetivo geral são:

- Realizar uma revisão sistemática da literatura relacionada aos conceitos de FMEA e manutenção;
- Implementar o modelo TEMAC para organizar os resultados da pesquisa;
- Comparar o potencial das bases científicas escolhidas a partir dos seus resultados;
- Identificar as vantagens entre a união da ferramenta FMEA ao assunto manutenção;
- Identificar a correlação entre os artigos encontrados.

## 1.2 Justificativa

A manutenção de sistemas complexos tornou-se mais complicada nas últimas décadas. Isso ocorre porque os sistemas são compostos de muitos componentes que são interdependentes. Um sistema pode deixar de funcionar quando um componente é removido para manutenção. Isso pode resultar em falha parcial ou completa. A falha de um componente em um sistema pode ser cara devido ao tempo de inatividade do sistema e ao desligamento não planejado de outros componentes, bem como à despesa de substituí-lo com urgência. É possível reduzir o número de falhas e aumentar a disponibilidade de sistemas complexos aplicando um bom planejamento de manutenção. Para que um sistema funcione com eficiência, a confiabilidade também deve ser considerada, pois determina a disponibilidade do sistema e, portanto, impacta na continuidade e segurança do processo (ALAMRI; MO, 2022).

Muitos estudiosos estudaram problemas de otimização de manutenção e empregaram várias abordagens para determinar o melhor plano de manutenção. Esses planos de

manutenção são normalmente projetados por engenheiros com base nas recomendações do fabricante e na experiência dos gestores e gerentes. Logo, a falta de pessoal qualificado impacta diretamente nesse planejamento. Segundo [Pelliccione, Smith e Parker \(2021\)](#), 31% das empresas subcontratam operações porque está difícil encontrar pessoas qualificadas. Diante disso, torna-se primordial o profissional que atua nessa área dominar tal assunto.

De acordo com [ABRAMAN \(2019\)](#), a média geral de custos com manutenção no Brasil gira em torno de 4%. Já em 2021, aproximadamente 5% do faturamento bruto foi gasto com manutenção. Diante desse cenário, a pesquisa deste trabalho é justificada pela importância de compreender a integração entre o uso do FMEA na construção de planos de manutenção. Pois, segundo [Palady \(2004\)](#), é com essa ferramenta de qualidade que se torna possível a criação de plano centrado na confiabilidade, mais exclusivos e otimizados, voltado para a real necessidade de cada empresa, gerando, assim, economia, aumento da disponibilidade, segurança e confiabilidade para as operações da organização, já que a busca pela lucratividade e eficiência cresceram no setor. A expectativa para os próximos anos é de crescimento e nesse ínterim a necessidade de compreender essas áreas torna-se essencial.

### 1.3 Estrutura do Trabalho

Este capítulo teve o intuito de introduzir a temática abordada, os objetivos e a justificativa de pesquisa. O próximo capítulo, que é o capítulo 2, consiste na Revisão Bibliográfica que foi dividida em quatro partes, respectivamente, sobre: Manutenção, percorrendo a Evolução Histórica no âmbito mundial, Definições e os principais Tipos: Manutenção Corretiva não Planejada, Manutenção Corretiva Planejada, Manutenção Preventiva, Manutenção Preditiva e Manutenção Detectiva, trata também sobre Engenharia, Custos e Plano de Manutenção. Em seguida, no capítulo 3, é apresentada a Metodologia empregada no trabalho, visando confirmar e aprofundar as informações levantadas no capítulo 2, por meio de uma revisão sistemática a partir da teoria do enfoque meta analítico consolidado. No capítulo 4 são apresentados os Resultados e Análise Crítica. Por fim, no capítulo 5, tem-se a Conclusão do trabalho.

## 2 Revisão Bibliográfica

O texto a seguir foi dividido e serão apresentados os principais conceitos sobre manutenção, sua evolução histórica, definições e tipos existentes. Seguidos de uma abordagem acerca da MCC e sobre a ferramenta FMEA.

### 2.1 Manutenção

De acordo com [ABNT \(1994\)](#), manutenção é a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida. Além da definição de manutenção se faz importante salientar alguns conceitos que serão abordados ao longo do texto. Ainda, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas [ABNT \(1994\)](#), através da NBR 5462/1994, traz as seguintes definições:

- **Falha:**

Término da capacidade de um item desempenhar a função requerida.

- **Defeito:**

Qualquer desvio de uma característica de um item em relação aos seus requisitos.

- **Disponibilidade:**

Capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados.

- **Confiabilidade:**

Capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo.

- **Mantenabilidade:**

Capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios prescritos.

### 2.1.1 Evolução Histórica

Segundo [Wyrelski et al. \(1997\)](#), a conservação de instrumentos e ferramentas é uma prática observada, historicamente, desde os primórdios da civilização. Mas foi somente após a invenção das primeiras máquinas têxteis a vapor, no século XVI, que a função manutenção emerge. Naquela época, aquele que projetava as máquinas, treinava as pessoas para operarem e consertarem, intervindo apenas em casos mais complexos, até então, o operador era o mantenedor - mecânico.

Até o início do século XX, a manutenção tinha importância secundária e era executada pelo mesmo efetivo da produção. Com a implantação da produção em série, instituída por Henry Ford, as fábricas passaram a estabelecer programas mínimos de produção. Em consequência, sentiram necessidade de criar equipes que pudessem efetuar reparos em máquinas operatrizes no menor tempo possível ([PILON, 2007](#)).

De acordo com [Filho \(2008\)](#), antes da Revolução Industrial a produção de bens era feita sobre encomenda e na maioria das vezes de modo artesanal. Basicamente, não havia produção em série de artigos ou produtos, com ressalva para a produção de tecidos. Os primeiros profissionais da área de manutenção surgiram após a Revolução Industrial, sendo classificados como mecânicos e lubrificadores.

Segundo [Kardec e Nascif \(2001\)](#), a partir de 1930, a evolução da manutenção pode ser dividida em quatro gerações:

- Primeira Geração

Abrange o período antes da primeira guerra mundial, no qual a indústria era pouco mecanizada e os equipamentos eram simples. Em reflexo à situação econômica de consumo da época, a questão da produtividade não era prioridade e consequentemente, não havia necessidade de uma manutenção sistematizada. Os serviços realizados limitavam-se a limpeza, lubrificação e reparo após quebra, não havia planejamento nem controle do processo de manutenção. A única competência que se buscava era basicamente a habilidade do executante em realizar o reparo necessário.

- Segunda Geração

Entre as décadas de 50 e 70, no período pós Segunda Guerra, a demanda por todos os tipos de produto aumentou. Aliando isso à sensível baixa no contingente de mão de obra, houve um aumento no processo de mecanização e na complexidade das instalações industriais. Tornou-se evidente a necessidade de uma maior disponibilidade e confiabilidade do maquinário empregado na produção, pois a busca por uma maior produtividade estava intimamente ligada ao bom funcionamento dos equipamentos. Nesse contexto, surge a ideia de que falhas deveriam ser evitadas e nasce o conceito de manutenção preventiva, havendo intervenções em intervalos de tempo fixos. O

custo da manutenção começou a elevar-se e para controlar tais gastos foram criados os sistemas de planejamento e controle de manutenção utilizados até hoje na manutenção moderna.

- Terceira Geração

A partir da década de 70, todo o mercado de consumo sofreu acelerada mudança, a paralisação da produção em decorrência de manutenções aumentou os custos e diminuiu a qualidade dos produtos. O crescimento da automação e da mecanização passou a indicar que a confiabilidade e a disponibilidade se tornaram pontos-chave em setores distintos como saúde, processamento de dados, telecomunicações e gerenciamento de edificações. Em contrapartida, o crescimento da automação significa que a ocorrência de falhas com uma frequência maior afetará diretamente na capacidade de manter os padrões de qualidade estabelecidos, tanto para serviços quanto para produtos.

Nessa geração:

- Surge o conceito de manutenção preditiva;
- A informática passou a ter condições de auxiliar no acompanhamento de serviços de manutenção;
- O conceito de confiabilidade passa a ser cada vez mais aplicado pela engenharia de manutenção.

- Quarta Geração

Tendo início no começo do século XXI e perdurando até os dias atuais, a quarta geração ou manutenção moderna tem como desafio a minimização das falhas; práticas como análise de falhas, manutenção preditiva e monitoramento da condição dos equipamentos e processos, passam a ser cada vez mais utilizadas, com o objetivo de intervir cada vez menos na planta, como consequência houve uma redução na aplicação da manutenção preventiva ou programada, uma vez que ela promove a paralisação dos equipamentos.

A aplicação da manutenção corretiva não planejada também diminuiu muito, fato que se torna um indicador da eficácia das novas técnicas aplicadas na manutenção moderna. A sistemática adotada pelas empresas classe mundial privilegiam a interação entre as áreas de engenharia, manutenção e operação. Dando ênfase à qualidade, à confiabilidade, no atendimento das necessidades do cliente, na higiene e segurança do trabalho, e no crescimento sustentável e efetivo.

## 2.1.2 Definições e Tipos de Manutenção

Ao longo dos anos, os autores tem definido o termo manutenção utilizando inúmeros conceitos diferentes. Segundo [Salgado \(2008\)](#), o termo manutenção refere-se a todas as atividades ou ações necessárias para restaurar ou prevenir a ocorrência ou reincidência de falhas em sistemas e componentes. [Gusmão \(2001\)](#), a conceitua como o conjunto de atividades direcionadas para garantir, ao menor custo possível, a máxima disponibilidade do equipamento para a produção, na sua máxima capacidade, prevenindo a ocorrência de falhas, e identificando e sanando as causas do desempenho deficiente dos equipamentos.

Segundo [Kardec e Nascif \(2001\)](#), o que caracteriza os vários tipos de manutenção existentes é a maneira pela qual é feita a intervenção nos equipamentos. A Figura 1 caracteriza os cinco principais tipos de manutenção considerados.

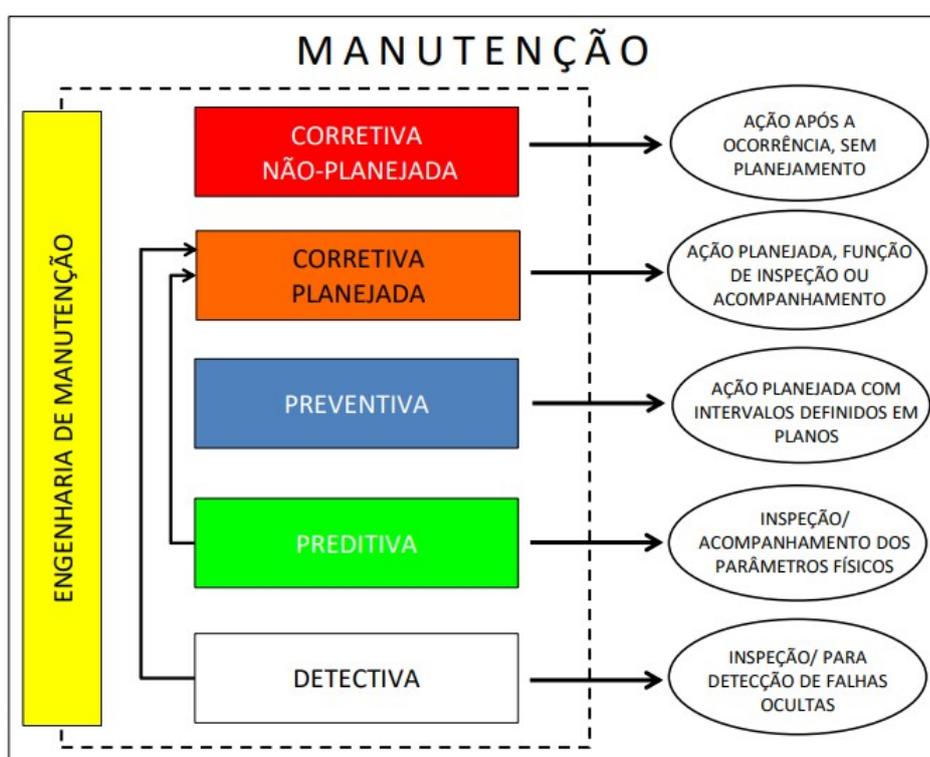


Figura 1 – Tipos de Manutenção.  
Fonte: Adaptado de [Kardec e Nascif \(2001\)](#).

### 1 - Manutenção Corretiva não Planejada

Manutenção corretiva é a atuação para correção de uma falha ou redução no desempenho esperado de um equipamento, que ocorre necessariamente após a manifestação do problema. Quando a falha ocorre de maneira inesperada, não havendo tempo para preparação do serviço de manutenção e possuindo caráter emergencial, esta é caracterizada como manutenção corretiva não planejada. Normalmente, implica em altos custos, pois a quebra inesperada pode acarretar perdas de produção, perdas da qualidade do

produto, extensão dos danos aos equipamentos e elevados custos indiretos decorrente da manutenção de caráter emergencial (KARDEC; NASCIF, 2001).

## 2 - Manutenção Corretiva Planejada

A manutenção corretiva planejada também possui o objetivo de corrigir uma falha ou redução do desempenho, na maioria das vezes levando em consideração a modificação dos parâmetros de condição observados pela manutenção preditiva. Não possui caráter emergencial e sim planejado mesmo que a decisão gerencial seja deixar o equipamento trabalhar até a quebra.

A adoção desta técnica advém de vários fatores a serem considerados: aspectos relacionados à segurança, quando a falha não provoca qualquer situação de risco pessoal ou material; existência de sobressalentes, equipamentos e ferramentas, entre outros (KARDEC; NASCIF, 2001).

## 3 - Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva atua de forma a evitar a falha ou a redução do desempenho do equipamento através de intervenções programadas onde são realizadas atividades de manutenção como troca de peças, lubrificantes, filtros entre outros. As intervenções obedecem intervalos definidos de tempo baseados na análise macroscópica de uma população, ou seja, o intervalo de tempo adotado vem de um estudo feito sobre o tempo de falha de várias unidades do mesmo componente.

De acordo com Kardec e Nascif (2001), a manutenção preventiva será tanto mais conveniente quanto mais altos forem os custos de falhas; quanto mais as falhas prejudicarem a produção e quanto maior forem os impactos das falhas na segurança pessoal e operacional.

## 4 - Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva tem o objetivo de monitorar as reais condições do equipamento, auxiliando na tomada de decisões com relação à realização de uma ação corretiva planejada. O monitoramento é feito a partir de técnicas preditivas modernas que utilizam equipamentos específicos para detectar alterações no funcionamento da máquina. Esse tipo de manutenção possibilita a máxima disponibilidade do equipamento e a redução dos custos indiretos de manutenção, já que as ações corretivas são planejadas e ocorrem somente quando são realmente necessárias.

De acordo com [Gregório e Silveira \(2018\)](#), esse tipo de manutenção aplica de forma sistemática técnicas de análise e monitoramento, podendo detectar fenômenos como alteração no nível de vibração de equipamentos rotativos, contaminação de óleos lubrificantes, alteração nos níveis de pressão, trincas em vasos de pressão, entre outros.

Segundo [Almeida \(2018\)](#), essa análise permite a observação das reais condições do equipamento e o acompanhamento da evolução de um defeito, possibilitando o planejamento em curto prazo para uma intervenção de manutenção para troca de peças e a eliminação de tal defeito.

Permite, também, indicar o tempo de vida útil dos componentes das máquinas e equipamentos através de estimativas matemáticas e modelos de degradação que segundo [Oliveira et al. \(2010\)](#), são ferramentas que utilizam a medida de degradação de alguma característica de qualidade do produto de interesse, tomada ao longo do tempo, que esteja diretamente relacionada à falha, para obter a distribuição do tempo de falha de produtos.

De acordo com [Aléxia \(2018\)](#), os passos seguidos pela manutenção preditiva estão descritos na Figura 2.

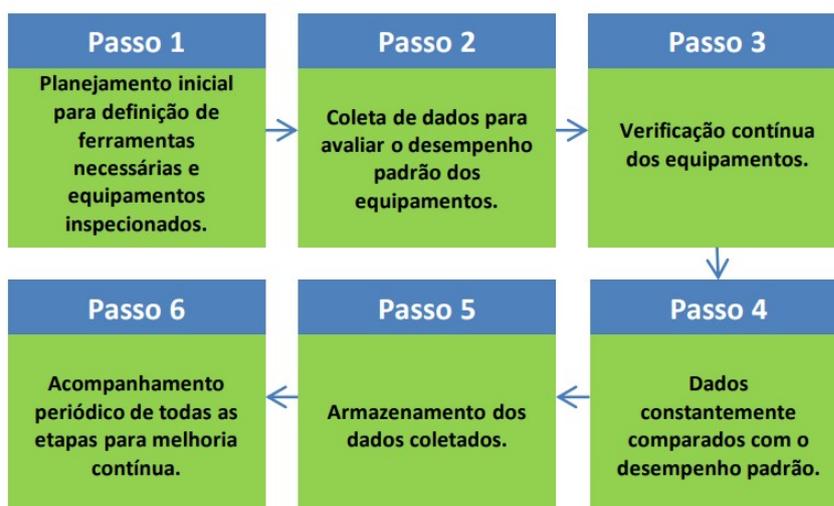


Figura 2 – Passos Seguidos pela Manutenção Preditiva.

Fonte: Adaptado de [Aléxia \(2018\)](#).

Como já dito anteriormente, a manutenção preditiva auxilia na tomada de decisões de acordo com o estado do equipamento, segundo [Otani e Machado \(2008\)](#), o monitoramento ou acompanhamento desses parâmetros pode ser feito de três formas diferentes:

- **Monitoração subjetiva.**

A monitoração subjetiva é aquela baseada na sensação e nos sentimentos do operador ou agente de manutenção. São inspeções realizadas no equipamento utilizando os sentidos humanos: tato, olfato, audição e visão. Os resultados desse monitoramento têm sua confiabilidade centrada na experiência dos profissionais da manutenção.

Por isso, ela não deve ser adotada como fator de decisão, pois apresentam um teor extremamente subjetivo, já que as percepções sensoriais variam de indivíduo para indivíduo.

- **Monitoração objetiva.**

A monitoração objetiva é aquela baseada em medições utilizando instrumentos. Por ser objetiva, fornece um valor do parâmetro que está sendo acompanhado, independente do operador que está realizando a medição. Para que a confiabilidade no resultado se mantenha, é essencial que as medições sejam realizadas sempre nas mesmas condições. Também é necessário que o operador esteja treinado e habilitado, que os instrumentos estejam aferidos e calibrados, e que haja uma equipe capaz de interpretar os dados coletados e emitir diagnósticos.

- **Monitoração contínua.**

A monitoração contínua é um acompanhamento objetivo que ocorre de maneira contínua apresentando o estado do equipamento em tempo real. O monitoramento é realizado por sistemas automatizados geralmente associados a dispositivos que promovam a parada do equipamento uma vez atingido o valor-limite estipulado.

O desenvolvimento da eletrônica e sistemas digitais tem ampliado o leque de aplicações e diminuído o preço dos sistemas de monitoramento. Hoje, é possível até mesmo acompanhar os parâmetros monitorados à distância, enviando dados em tempo real através da internet.

## 5 - Manutenção Detectiva

Segundo [Kardec e Nascif \(2001\)](#), a manutenção detectiva é a atuação em sistemas de proteção ou comando buscando detectar falhas ocultas ao pessoal de operação e manutenção. Consiste na inspeção de falhas ocultas em intervalos regulares para verificar a existência de falhas e recondiçioná-las se for o caso.

Essa política de manutenção é relativamente nova, surgiu em meados da década de 90 e assim como a manutenção preditiva gera uma programação de correção. De acordo com [Morenghi \(2005\)](#), a manutenção detectiva é aplicada aos dispositivos que não são adequadamente atendidos pelas outras formas de manutenção. São eles os dispositivo que somente necessitam trabalhar em condições especiais e que não se consegue perceber quando estão em estado de falha, como exemplo pode-se mencionar um sistema de alarme de incêndio.

### 2.1.3 Engenharia de Manutenção

Segundo Moubrey (2001), a evolução da manutenção pode ser definida em três gerações, mas somente a partir da segunda geração, no cenário pós Segunda Guerra Mundial, é que efetivamente surge o conceito de Engenharia de Manutenção (EDM). Neste período existiram fortes pressões devido à falta de mão-de-obra e percebeu-se que as máquinas quebradas levavam a baixas demandas e redução nos lucros. Esse cenário contribuiu para o aumento da mecanização da produção e da dependência destas máquinas para se produzir. Além disso, a paralisação das máquinas para manutenção ficou evidente, surgindo a ideia de que essas paralisações poderiam ser evitadas (BRISTOT, 2012). De acordo com Tavares (1999), a Engenharia de manutenção é o suporte técnico da manutenção que está dedicado a:

- Elaborar especificações de compra de materiais e novos equipamentos;
- Analisar relatórios emitindo sugestões;
- Analisar o LCC (*Life Cycle Cost*) apresentando sugestões;
- Aplicar as técnicas do *Activity Based Costing* (ABC) para indicar os processos em que devem ser reforçados os recurso e aqueles nos quais devem ser reavaliadas suas necessidades;
- Aplicar as técnicas de Teoria das Restrições (TOC - *Theory of Constraints*) para determinar os pontos dos processos onde existem "gargalos" e sugerir recomendações para reduzir os efeitos desses "gargalos" (re-engenharia de máquinas, métodos e processos);
- Avaliar e sugerir técnicas de manutenção preditiva.

Para Lopes (2010), a engenharia de manutenção tem como filosofia deixar de fazer os consertos continuamente para procurar as causas básicas do problema. Modificar situações de constante mau desempenho, resolver problemas crônicos, melhorar padrões e sistemáticas, trabalhar conjuntamente com o projeto, desenvolver a manutenibilidade e interferir tecnicamente nas compras ligadas à função manutenção são exemplos de atividades relacionadas à engenharia de manutenção.

Segundo Kardec e Nascif (2001), a EDM é a segunda quebra de paradigma na manutenção (a primeira é a adoção da manutenção preditiva). Praticar engenharia de manutenção significa uma mudança cultural nas empresas, significa perseguir *benchmarks*, aplicar técnicas modernas e compatíveis com a manutenção classe mundial. A evolução das técnicas de manutenção colabora para o aumento dos resultados conseguidos em disponibilidade e confiabilidade conforme demonstra a Figura 3.

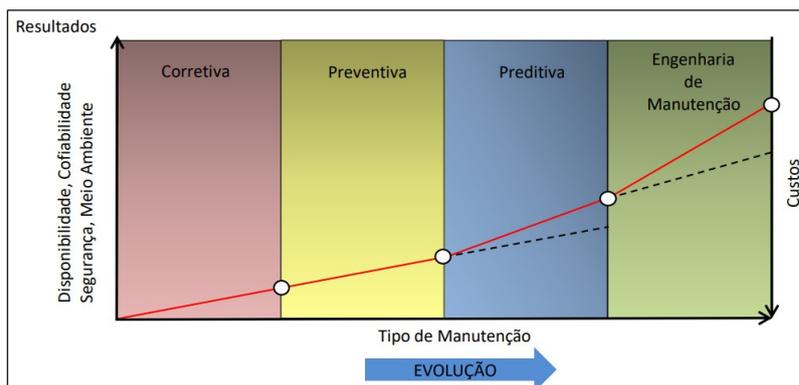


Figura 3 – Resultados x Tipos de Manutenção.

Fonte: Adaptado de [Kardec e Nascif \(2001\)](#).

### 2.1.4 Custos de Manutenção

De acordo com [Souris e Batista \(1992\)](#), a manutenção de qualquer empresa deve ser administrada de modo a proporcionar à organização um grau de funcionalidade com um custo otimizado. Segundo [Goncalves, Goncalves e Carvalho \(2017\)](#), os custos gerados pela função manutenção são apenas uma pequena parcela dos prejuízos gerados pela indisponibilidade. Essa parcela corresponde aos custos com mão-de-obra, ferramentas e instrumentos, material aplicado nos reparos, custo com subcontratação e outros referentes à instalação ocupada pela equipe de manutenção.

A maior parte do custo da indisponibilidade concentra-se naqueles decorrentes da perda de produção, da não-qualidade dos produtos, da recomposição da produção e das penalidades comerciais, com possíveis consequências sobre a imagem da empresa. [Williams, Davies e Drake \(1994\)](#) afirmam que a disponibilidade dos equipamentos depende da confiabilidade e manutenção por eles apresentadas e que a definição de uma política de manutenção adequada pode reduzir os custos de uma organização.

[Morais et al. \(2011\)](#), através da Figura 4, demonstra que investimentos com manutenção reduzem os custos derivados das falhas, e conseqüentemente, os custos de manutenção. Entretanto, o gráfico mostra também que o custo total, depois de alcançado o nível ótimo de manutenção, eleva-se com o aumento dos investimentos em manutenção.

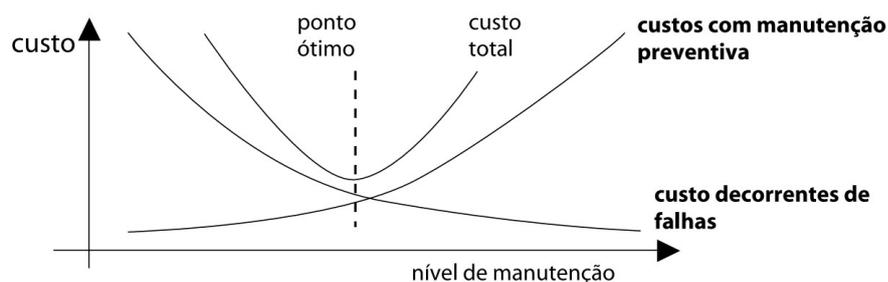


Figura 4 – Gráfico Custos *versus* Nível de Manutenção.

Fonte: [Morais et al. \(2011\)](#)

Junior, Ribeiro e Franco (2015) utilizaram o modelo matemático descrito por Murty e Naikan (1995), ilustrado pela Figura 5, para demonstrar o limite de disponibilidade. Visto que a busca constante por falhas zero reduz o lucro da empresa por requerer cada vez mais investimentos em manutenção, pois os investimentos são mais eficientes quando aplicados em recursos considerados gargalos.

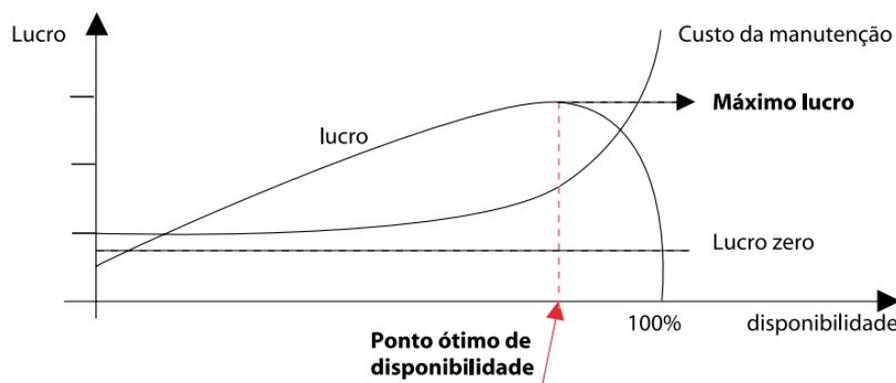


Figura 5 – Gráfico Lucro *versus* Disponibilidade.

Fonte: Junior, Ribeiro e Franco (2015)

O gráfico da Figura 5 mostra que a busca por falha zero (100% de disponibilidade) requer gastos cada vez maiores com manutenção, o que acarreta uma conseqüente redução do lucro da operação. Encontrar o ponto ótimo de disponibilidade, em que o custo da manutenção proporciona um nível de disponibilidade capaz de gerar máximo lucro à operação, é o grande desafio na gestão da manutenção, como afirma Cabrita (2002). Para ele, a manutenção deve garantir a produtividade e o lucro dos negócios da empresa com o menor custo possível.

É muito importante observar, na busca do ponto ótimo, que a política de manutenção a ser adotada deve levar em consideração aspectos como a importância do equipamento para o processo, o custo do equipamento e de sua reposição, as conseqüências da falha do equipamento no processo, o ritmo de produção e outros fatores que indicam que a política de manutenção não pode ser a mesma para todos os equipamentos, mas deve ser diferenciada para cada um deles, na busca do ponto ótimo entre disponibilidade e custo (MARCORIN; LIMA, 2003).

### 2.1.5 Plano de Manutenção

De acordo com Filho (2008), o plano de manutenção dos equipamentos e instalações é o documento que contém um conjunto coordenado de ações e tarefas de manutenção que por meio da proposição e implementação da melhor alternativa de manutenção possível, contribui com o aumento da competitividade da empresa. Um exemplo de plano de manutenção pode ser visto no Anexo A.

Para desenvolver o plano de manutenção é necessário identificar as funções do equipamento ou sistema e como este equipamento pode vir a falhar para, então, indicar um conjunto de atividades de manutenção aplicáveis e eficazes, sempre levando em consideração a segurança e economia do sistema. Para melhorar os resultados do plano de manutenção faz-se necessário a otimização do planejamento e programação de manutenção (MÁRQUEZ et al., 2009).

## 2.2 FMEA (Análise de Modos e Efeitos de Falha)

O FMEA, de acordo com Stamatis (2003), pode ser entendido como uma metodologia sistemática que permite identificar potenciais falhas de um sistema, projeto e/ou processo, com o objetivo de eliminar ou minimizar os riscos associados, antes que tais falhas aconteçam. O objetivo é eliminar os modos de falha ou reduzir os riscos associados.

Criado pelo exército americano nos anos 50, a ferramenta destinava-se às análises de falhas em sistemas e equipamentos, onde era avaliada a sua eficiência baseando-se no impacto sobre uma missão ou no sucesso de defesa pessoal de cada soldado. Na década de 60, foi aprimorado e desenvolvido pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), quando foi tomando espaço nos setores aeronáuticos. Porém, desde 1976 vem sendo usada no ramo automobilístico e atualmente constitui uma ferramenta imprescindível para as empresas fornecedoras deste segmento (BASTOS, 2006).

Stamatis (2003) define em sua obra os principais benefícios que o FMEA traz para o processo ao qual é aplicado. Selecionando alguns e trazendo para o contexto deste trabalho, são eles:

- Identificação das características críticas ou significativas;
- Ajuda a identificar e eliminar os problemas potenciais de segurança;
- Estabelece uma prioridade de ações corretivas;
- Redução significativa dos custos;
- Melhoria da qualidade;
- Ajuda a alcançar e superar as expectativas dos clientes;
- Melhora a imagem da empresa;
- Ajuda a identificar antecipadamente as falhas.

De acordo com Palady (2004), o FMEA possui cinco elementos básicos, vistos na Figura 6, que devem ser obedecidos para o sucesso da ferramenta.



Figura 6 – Elementos Básicos do FMEA.

Fonte: Adaptado de [Patricio \(2013\)](#).

O planejamento do FMEA envolve selecionar o projeto de FMEA com o maior potencial de retorno de qualidade e confiabilidade para a organização e seus clientes. O segundo elemento constitui listar os modos de falha, causa e efeito: encontrar respostas para os seguintes questionamentos “como pode falhar?”, “por que falha?” e “o que acontece quando falha?”.

Depois, é necessário quantificar e classificar cada uma das três categorias, ocorrência, severidade e detecção. Para avaliar-se a criticidade das causas de uma possível falha, é utilizado o RPN (*Risk Priority Number*), sendo composto pelo produto dos três fatores (ocorrência, severidade e detecção). Tendo obtido o RPN, as causas das falhas são ranqueadas, direcionando a atuação do gestor.

O quarto elemento é o de interpretação, que deve priorizar ou selecionar os modos de falhas potenciais que serão tratados em primeiro lugar. O último elemento é o acompanhamento das ações necessárias, geralmente associados a outros métodos que possam dar suporte à qualidade e a confiabilidade.

### 2.2.1 Tipos de FMEA

Além dos quatro tipos principais de FMEA, descritos a seguir por [Stamatis \(2003\)](#). Existe também o FMEA aplicado ao MCC.

1. FMEA de sistema (*System FMEA*): usado para analisar sistemas e subsistemas no início do desenvolvimento do conceito e do projeto, foca nos modos de falhas potenciais, causados por deficiências do sistema e das funções do sistema;
2. FMEA de produto (*Design FMEA – DFMEA*): usado para analisar produtos antes de sua liberação para a fabricação. Um DFMEA foca em modos de falha causados por deficiências de projeto do produto;
3. FMEA de processo (*Process FMEA – PFMEA*): usado para analisar processos de fabricação e montagem;

4. FMEA de serviço (*Service FMEA*): usado para analisar serviços antes de eles chegarem ao consumidor, foca em modos de falha (tarefas, erros, enganos) causados por deficiências do sistema ou do processo;
5. FMEA aplicado a MCC: este tipo de FMEA estabelece as atividades de manutenção pertinente. Para tanto, é interessante o uso de uma planilha ampliada, que contenha em conjunto tanto as preocupações do estudo dos modos de falha como os detalhes das atividades de manutenção Fogliato e Ribeiro (2009).

A planilha ampliada, citada na Tabela 1 e descrita na literatura de Fogliato e Ribeiro (2009), é uma extensão do convencional FMEA, criando assim uma versão voltada para aplicação junto a programas de MCC. O FMEA convencional aborda os seguintes campos já conhecidos: Sistema; Subsistema; Conjunto; Componente; Função; Modo de falha; Efeito; Causa da falha; Probabilidade de ocorrência; Severidade; Probabilidade de detecção e Risco. A extensão propõe a abordagem de nove novos campos, destacados e exemplificados na Tabela 1.

Tabela 1 – Exemplo de preenchimento do FMEA ampliado.

Fonte: Adaptado de Fogliato e Ribeiro (2009).

Nº	Campo da planilha	Exemplo de preenchimento
1	Sistema	Linha de produção 1
2	Subsistema	Subsistema de tração
3	Conjunto	Motor de tracionamento
4	Componente	Bobina
5	Função	Acionar os cilindros
6	Padrão de desempenho	Controle suave de velocidade no intervalo de 0 a 100rpm
7	Modo de falha	Queima da da bobina
8	Efeito: o que é observado	Desarma o disjuntor e não é possível religar
9	Tempo médio de parada	1 hora
10	Danos pessoais/materiais/ambientais	Nenhum, apenas operacional
11	Causa da falha	Falha de isolamento entre as espiras da bobina
12	O que pode ser feito para evitar a falha	Verificações periódicas
13	Classificação da consequência da falha	Operacional (crítica)
14	Probabilidade de ocorrência	5
15	Severidade	7
16	Probabilidade de detecção	7
17	Risco	245
18	Tarefa indicada	Preditiva - substituição baseada na condição
19	Detalhe da tarefa	Inspeção termográfica
20	Responsável pela tarefa	Equipe mecânica da linha 1
21	Intervalos entre tarefas	6 semanas
22	Probabilidade de ocorrência	2
23	Severidade	7
24	Probabilidade de detecção	2
25	Risco	28

A clareza, a simplicidade e a capacidade adaptativa do FMEA, aliada aos novos campos abordados tornam essa variação mais apropriada para aplicação neste estudo de caso. Pois auxiliam na escolha das atividades de manutenção pertinentes à cada modo de falha, servindo de base para a criação de um plano de manutenção mais eficiente.

Segundo Dailey (2004), pode-se ainda personalizar o FMEA utilizando critérios particulares, esta personalização é um adicional importante ao FMEA, por considerar atributos exclusivos de cada projeto, e evitar o uso de material com direitos autorais.

## 2.2.2 Construção de um FMEA

Há vários formatos ou versões de formulário para o FMEA. A organização tem que selecionar ou projetar o formulário que melhor se adapte a sua realidade e esteja de acordo com os seus critérios. Entretanto, os elementos básicos são sempre os mesmos: cabeçalho, funções, modos de falha, efeitos, severidade, causas, ocorrência, controles, detecção e ações recomendadas Palady (2004). Um exemplo pode ser visto na Figura 7.

FMEA para Plano de Manutenção										
N° FMEA: _____		Revisão N°: _____		Data de Início: _____		Responsável: _____				
Processo: _____		Área: _____		Sistema: _____		Revisado por: _____				
Equipe: _____										
Ponto da Falha			Análise da Falha			Avaliação de Risco			Ação Preventiva Recomendada	
Subsistema	Função do Subsistema	Componente	Modos de Falha	Efeitos de Falha	Causa da Falha	Ocorrência	Severidade	Deteção		RPN

Figura 7 – Exemplo de Formulário do FMEA.

Fonte: Adaptado de Teles (2017).

Ainda na Figura 7, a função é a principal aplicação do componente ou subsistema em resumo. Um modo de falha é a maneira pela qual um processo pode falhar potencialmente em atender aos requisitos de produto ou processo descritos na coluna função. Os efeitos da falha são os efeitos do modo de falha, como percebidos pelos clientes internos ou externos. As causas da falha são indicações de fraquezas do projeto ou do processo, em consequência da qual ocorre o modo de falha. Já os campos severidade, ocorrência e detecção devem ser preenchidos da seguinte maneira, de acordo com Patricio (2013):

- A severidade é o grau de seriedade/importância de cada efeito da falha potencial, normalmente medida em uma escala de 1 a 10, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Critérios de severidade.  
 Fonte: Adaptada de [Patricio \(2013\)](#).

<b>Nota</b>	<b>Critérios de Severidade</b>
<b>1</b>	Sem efeito identificado
<b>2</b>	Itens de ajuste, acabamento/chiado e barulho não conformes. Defeito evidenciado por clientes acurados (menos de 25%)
<b>3</b>	Itens de ajuste, acabamento/chiado e barulho não conformes. Defeito evidenciado por 50% dos clientes
<b>4</b>	Itens de ajuste, acabamento/chiado e barulho não conformes. Defeito notado pela maioria dos clientes (mais de 75%)
<b>5</b>	Equipamentos operáveis, mas com itens de conforto/conveniência com níveis de desempenho reduzidos
<b>6</b>	Equipamentos operáveis, mas com itens de conforto/conveniência inoperáveis. Cliente insatisfeito
<b>7</b>	Equipamentos operável mas com níveis de desempenho reduzidos. Cliente muito insatisfeito
<b>8</b>	Equipamento inoperável (perda das funções primárias)
<b>9</b>	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do equipamento com aviso prévio
<b>10</b>	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do equipamento sem aviso prévio

- A ocorrência define qual a probabilidade que a causa da falha potencial tem de ocorrer, normalmente medida em uma escala de 1 a 10 apresentando o respectivo percentual, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Descrição da escala de ocorrência.  
 Fonte: Adaptada de [Patricio \(2013\)](#).

<b>Nota</b>	<b>Critérios de Ocorrência</b>	<b>Probabilidade %</b>
<b>1</b>	Extremamente remoto e altamente improvável	Menos de 0,01
<b>2</b>	Remoto, improvável	0,011 - 0,20
<b>3</b>	Pequena chance de ocorrência	0,210 - 0,60
<b>4</b>	Pequeno número de ocorrências	0,610 - 2,00
<b>5</b>	Espera-se um número ocasional de falhas	2,001 - 5,00
<b>6</b>	Ocorrência moderada	5,001 - 10,00
<b>7</b>	Ocorrência frequente	10,001 - 15,00
<b>8</b>	Ocorrência elevada	15,001 - 20,00
<b>9</b>	Ocorrência muito elevada	20,001 - 25,00
<b>10</b>	Ocorrência certa	Mais de 25

- A detecção constitui a probabilidade da causa da falha potencial ser identificada antes da falha chegar ao cliente, normalmente medida em uma escala de 1 a 10 conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Descrição da escala de detecção.  
Fonte: Adaptada de [Patricio \(2013\)](#).

Nota	Critério de Detecção
1	É quase certo que será detectado
2	Probabilidade muito alta de detecção
3	Alta probabilidade de detecção
4	Chance moderada de detecção
5	Chance média de detecção
6	Alguma probabilidade de detecção
7	Baixa probabilidade de detecção
8	Muito baixa probabilidade de detecção
9	Probabilidade remota de detecção
10	Detecção quase impossível

As ações preventivas recomendadas são as ações para evitar a ocorrência da falha antes da concepção do produto/processo. Essa é uma das principais colunas do FMEA e deve ser preenchida para assegurar que serão tomadas providências para evitar a ocorrência da falha potencial. Essa coluna, da Figura 7, indica que houve a análise sobre os riscos identificados.

## 2.3 MCC (Manutenção Centrada na Confiabilidade)

De acordo com [Gregório, Santos e Prata \(2018\)](#), na visão tradicional de manutenção, todas as falhas são consideradas ruins, portanto todas devem ser prevenidas. Essa filosofia não é realista por dois motivos: porque, tecnicamente, é impossível prever todas as falhas, sendo portanto, impossível evitar todas elas; e porque atuar sobre todas as falhas pode não ser viável do ponto de vista financeiro.

Assim, percebe-se a necessidade de priorizar os esforços e a atuação da equipe de manutenção. Inevitavelmente, surgem questões como: quais falhas devem ser priorizadas? quais são as ações de manutenção mais adequadas? A manutenção centrada na confiabilidade (MCC) é um método que contribui para a priorização de esforços com o objetivo de permitir que os ativos possam desempenhar as funções necessárias, considerando o ambiente e o processo no qual os mesmos estão inseridos.

A MCC pode ser definida como uma abordagem sistemática para: a funcionalidade do sistema; as falhas desta funcionalidade; as causas e efeitos das falhas e a infraestrutura afetada pelas falhas. Para [Agudelo \(2017\)](#), a MCC pode ser descrita pelas quatro características apresentadas na Figura 8.

Segundo [Lafraia \(2001\)](#), o ganho maior da MCC é quando existe um excesso de manutenções preventivas ou grande histórico de manutenção corretiva, uma vez que a ferramenta contribui com a redução de manutenções preventivas desnecessárias e/ou para reduzir manutenções corretivas indesejáveis.

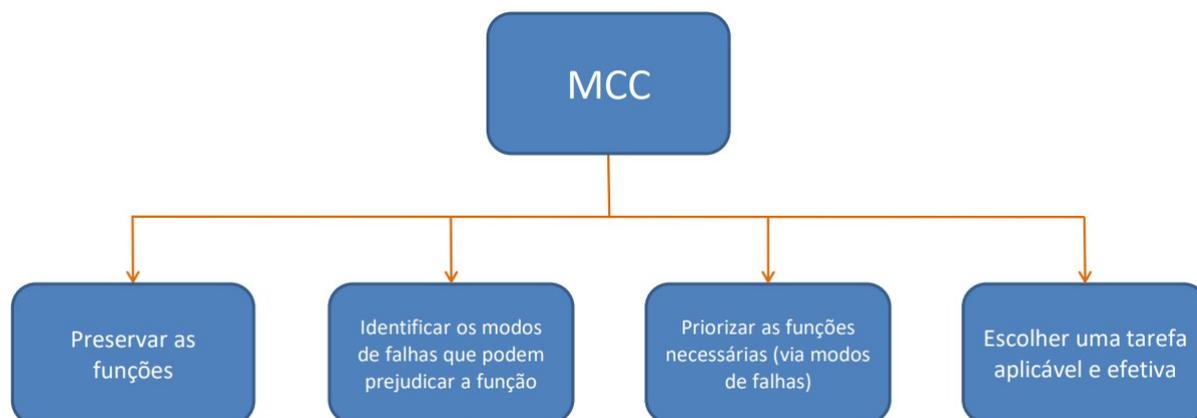


Figura 8 – Características Únicas da MCC.

Fonte: Adaptado de [Agudelo \(2017\)](#).

### 2.3.1 As Etapas da MCC

Segundo [Moubray \(2001\)](#), a MCC pode ser sintetizada em sete questionamentos sobre o equipamento ou sistema:

1. Quais são as funções e padrões de desempenho do item no seu contexto operacional atual?
2. De que forma ele falha em cumprir suas funções?
3. O que causa cada falha operacional?
4. O que acontece quando ocorre cada falha?
5. De que forma cada falha tem importância?
6. O que pode ser feito para prevenir cada falha?
7. O que deve ser feito se não for encontrada uma tarefa preventiva?

O primeiro passo a ser dado é determinar quais as funções de cada item ou equipamento no seu contexto operacional, juntamente com o padrão de desempenho desejado.

A segunda etapa da sistemática da MCC consiste em relacionar as falhas funcionais de cada item ou equipamento. Falha funcional pode ser definida como a incapacidade de um ativo encontrar um padrão de desempenho desejado ([RAPOSO, 2004](#)).

O terceiro passo é identificar todos os modos de falha prováveis de causar perda de função, considerando as falhas já ocorridas no próprio equipamento ou em similares no mesmo contexto operacional. Modo de falha é a descrição da maneira pela qual um item falha em cumprir com a sua função ([LAFRAIA, 2001](#)).

O quarto passo a ser realizado é listar os efeitos provocados por cada modo de falha, as seguintes informações são fundamentais para a avaliação das consequências da falha:

- Evidências da ocorrência da falha;
- O que é afetado pela ocorrência (segurança, meio ambiente, produção, operação, lucratividade);
- Tipo de reparo necessário.

Após a descrição dos efeitos de cada modo de falha, será necessário avaliar suas consequências. Essas consequências, ponto chave da MCC, são muito mais importantes que suas características técnicas. Deve-se conhecer como o modo de falha afeta a organização ou quais tipos de consequências resultam de cada modo de falha. São quatro grupos de consequências:

- Falhas ocultas, não evidentes para o pessoal de operação com possibilidade de falhas múltiplas;
- Consequências para segurança e meio ambiente;
- Consequências operacionais, afetam entrega, qualidade, clientes, prazos, etc;
- Sem consequências operacionais: envolve somente o custo de reparo.

Após a identificação das falhas funcionais, dos modos de falha, dos efeitos e dos tipos de consequências é feita uma avaliação sobre a estratégia de manutenção a ser adotada para cada modo de falha, a fim de eliminá-lo ou reduzir suas consequências. Por fim, acontece a etapa que trata do que deve ser feito para compor o plano de manutenção.

### 2.3.2 Estratégias de Manutenção na MCC

Segundo [Raposo \(2004\)](#), para seleção da estratégia adequada em cada modo de falha é necessário entender os tipos de padrão de falha existentes. A [Figura 9](#) mostra os seis padrões de falha mais comuns, as curvas representam a variação da probabilidade condicional de falha em função da idade do equipamento ou componente.

A evolução do conhecimento dos padrões de falha, mostrou ser falsa a crença de que sempre existe uma relação entre confiabilidade e idade operacional, conseqüentemente a ideia de que revisões periódicas em um equipamento tornam menos provável sua falha só é verdade se existir um modo de falha dominante relacionado à idade ([MOUBRAY, 2001](#)).

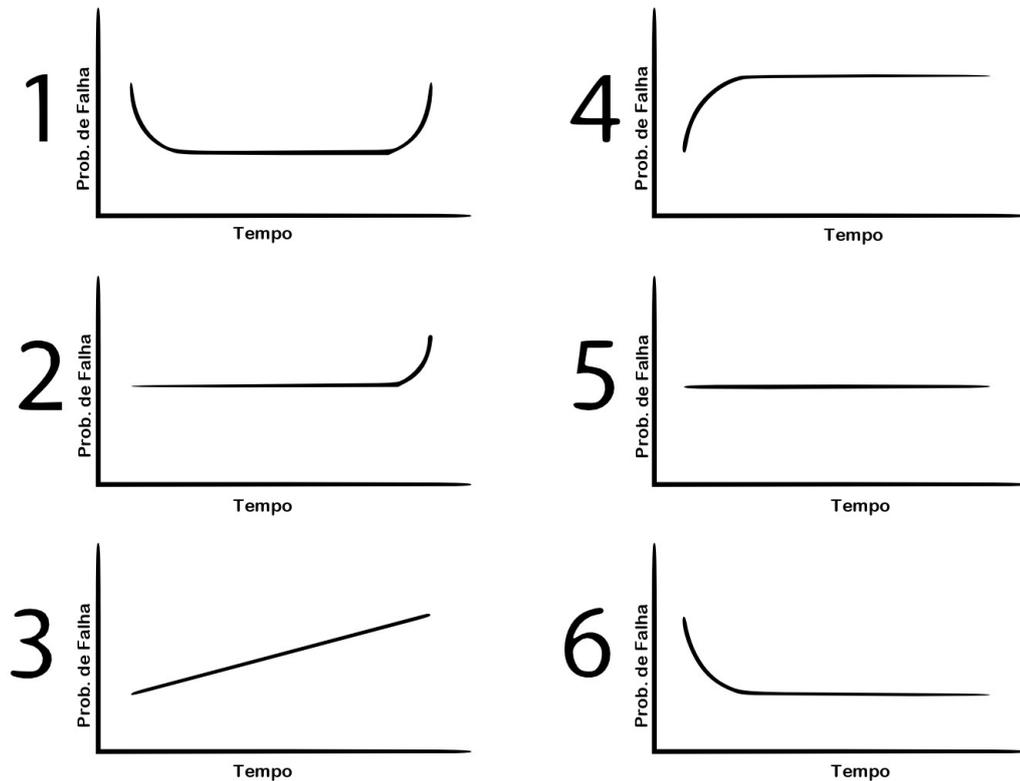


Figura 9 – Padrões de Falha de Equipamentos

Fonte: Adaptado de Raposo (2004).

Após a avaliação dos modos e das consequências das falhas, é necessário estabelecer quais as ações serão tomadas, a fim de eliminá-las ou reduzir suas consequências. É o que Moub Bray (2001) denomina de gerenciamento das falhas e não apenas a prevenção indiscriminada de todas elas. A Figura 10 descreve como a MCC divide as técnicas de gerenciamento de falhas.

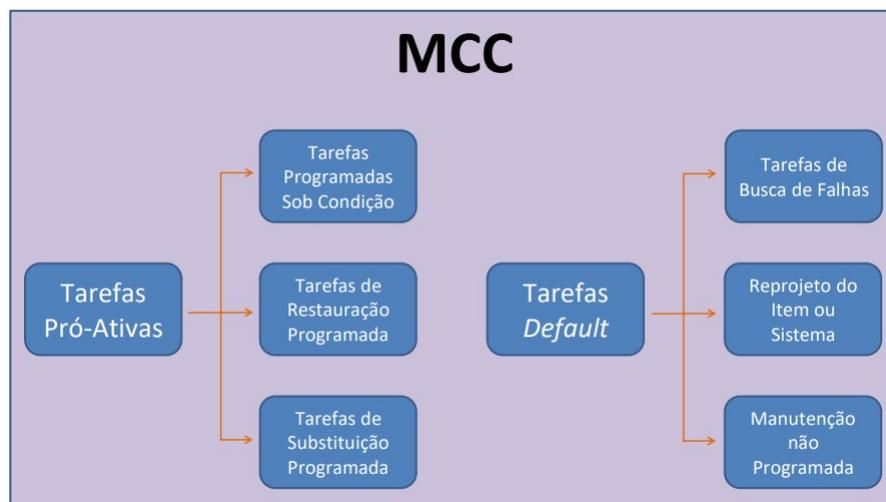


Figura 10 – Técnicas de Gerenciamento de Falhas

Fonte: Adaptado de Raposo (2004).

De acordo com Raposo (2004), as tarefas de restauração ou substituição programada estão relacionadas com uma idade limite ou com base no tempo. Embora de pouca influencia na confiabilidade de equipamentos complexos, pode ser válida para itens mais simples. São tarefas conhecidas como manutenção preventiva baseada no tempo.

As tarefas sob condição baseiam-se no fato que a maioria dos tipos de falhas apresentam alguma indicação que ela está para ocorrer, ou seja, apresentam algumas condições físicas que indicam que a falha funcional está na eminência de ocorrer. O objetivo deste tipo de tarefa é evitar que a falha potencial possa se transformar em uma falha funcional.

Uma ação *default* pode ser entendida como uma ação padrão que é desempenhada sob estado de falha. A busca de falhas consiste em verificar periodicamente a existência de falhas ocultas nos sistemas de intertravamento, proteção ou emergência. Devem ser realizados testes para detectar falhas não evidentes ao pessoal de operação e manutenção.

O reprojeto de um item ou sistema é o conjunto de modificações que podem ser efetuadas para restabelecer ou melhorar a confiabilidade e reduzir riscos em um sistema. As manutenções não programadas significam a ausência de qualquer forma de manutenção preventiva ou preditiva. Não há ação em prevenir ou antecipar os modos de falha, apenas após a ocorrência da falha é que são realizados os reparos necessários.

## 2.4 Revisão Sistemática (RS)

De acordo com Souza (2004), uma RS é a pesquisa planejada por meio de ações que permitem diminuir o viés da pesquisa combinando os estudos mais relevantes, por isso, possui alta rigorosidade. O principal propósito é resumir evidência concernente a um problema específico. Tendo um escopo limitado para uma pesquisa quantitativa de metodologia similar concluindo com uma análise narrativa ou estatística.

Uma RS tem como objetivo identificar, analisar e interpretar as evidências disponíveis relacionadas com um particular tópico de pesquisa ou fenômeno de interesse. O processo de RS é detalhado, assim como suas fases, atividades e os recursos necessários para a sua execução (MARTINS; SILVA, 2003). A Figura 11 apresenta uma RS é conduzida por meio de um processo que envolve três fases principais Biolchini et al. (2005): planejamento, condução e publicação dos resultados. Essas fases, bem como as respectivas atividades podem ser conduzidas de modo iterativo.

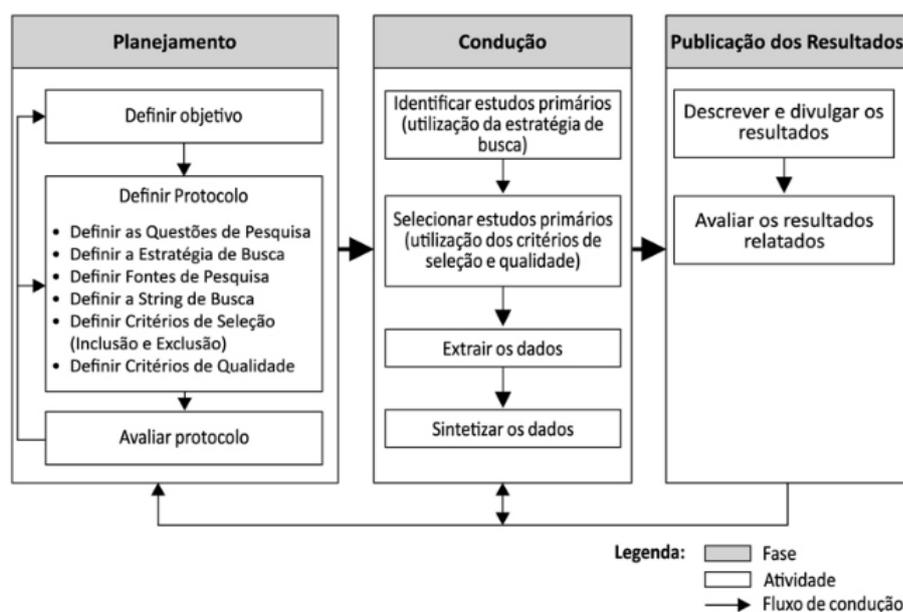


Figura 11 – Fases de uma Revisão Sistemática

Fonte: Nakagawa (2017)

A condução de uma revisão com base em uma abordagem sistemática resulta em um processo controlado e rigoroso, garantindo que a mesma seja passível de auditoria, repetível e imparcial aos interesses dos envolvidos (NAKAGAWA, 2017).

Uma RS bem-planejada evita vieses na sumarização dos estudos primários. O viés de publicação é uma ameaça importante a validade de uma análise, pois pode conduzir a conclusões falsas (NAKAGAWA, 2017). Visto isso, o tipo de revisão apresentada neste trabalho será conduzida como um procedimento rigoroso de seleção de estudos na literatura, para reduzir o risco desse viés. Para aumentar a proteção contra esse viés e assegurar que o máximo possível de estudos relevantes seja incluído na revisão é importante usar uma variedade de fontes para identificá-los, através dessa abordagem sistemática.

#### 2.4.1 Teoria do Enfoque Meta Analítico Consolidado (TEMAC)

A revisão de literatura com Enfoque Meta Analítico (EMA) tem como definição utilizar abordagens de revisão qualitativa, integrativa e RS, podendo em algumas análises mais profundas utilizar o meta análises como uma análise final. O TEMAC se trata de um modelo de revisão sistemática e tem como propósito mapear a literatura sobre um tema oferecido (MARIANO; MAGALDI; SANTOS, 2017). Já o modelo de Teoria do Enfoque Meta Analítico Consolidado (TEMAC) é um modelo unificado sugerido a partir de diferentes abordagens de EMA.

Ainda de acordo com Mariano e Rocha (2017) a primeira mudança, notável no modelo unificado TEMAC, foi ampliar o raio de atuação, permitindo a inserção de quan-

tas bases de dados sejam necessárias para o pesquisador. Adicionar análises de conteúdo de maneira pessoal e via programas informáticos e maior quantidade de índices bibliométricos, foram incorporados para garantir a precisão do método. Quanto a robustez, as análises em múltiplas bases de dados garantem cobrir o universo de pesquisa que o investigador decidir e, de posse destes trabalhos, realizar uma comparação real dos aportes de cada documento, pois cada base de dados possui entrada por meio de revistas diferentes.

É notável que o modelo TEMAC consegue integrar as exigências atuais da literatura a respeito de trabalhos científicos como precisão, robustez, validade, funcionalidade, tempo e custos (MARIANO, 2017). Este modelo consiste em três etapas principais: a preparação da pesquisa; a apresentação e inter-relação dos dados; detalhamento, modelo integrador e validação por evidências, que pode ser observado na Figura 12

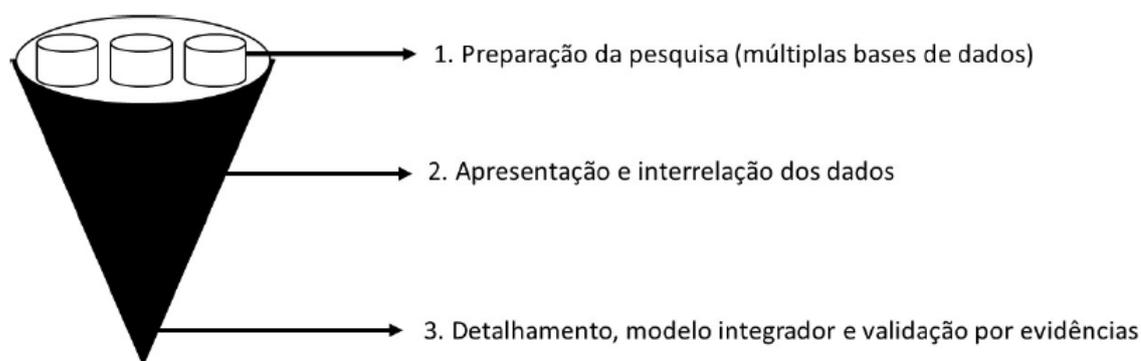


Figura 12 – Modelo TEMAC

Fonte: [Mariano e Rocha \(2017\)](#)

As primeira etapa do TEMAC ocorre a preparação da pesquisa, onde o autor responde às perguntas iniciais para direcionar sua busca como: qual o descritor, string ou palavra-chave da pesquisa? Qual o campo espaço-tempo da pesquisa? Quais as bases de dados serão utilizadas? E quais áreas de conhecimento serão utilizadas? (MARIANO; ROCHA, 2017). Esta etapa prévia é importante pois a definição correta da palavra de busca é um fator que pode alterar os resultados.

A etapa dois é constituída da apresentação e inter-relação dos dados, onde se utilizam das leis da bibliometria para realizar análise de relação entre os registros encontrados.

Na etapa três, apresenta o detalhamento, modelo integrador e validação por evidências, onde se realizam análises com novos índices bibliométricos para detectar os colégios invisíveis (Co-citação, *Coupling*, Co-autoria). De acordo com [Mariano e Rocha \(2017\)](#), para alcançar esta etapa são necessários esses índices que identificam as relações entre autores, referências e países na literatura, seja por colaboração ou citação. Finalmente, cumprir a Lei de Zipf, (co-ocorrência e frequência de palavras-chave), que estabelece as principais linhas de pesquisa por meio do aparecimento de palavras-chaves.

É importante ressaltar que a medida que o pesquisador vai encontrando cada um dos resultados ele ganha argumentos para inter-relacionar os dados e criar filtros, isso facilita a análise de dados. Outra forma eficiente de análise de dados é com uso de softwares.

## 3 Metodologia

A pesquisa apresentada neste trabalho é do tipo exploratória com abordagem quantitativa por meio do TEMAC, de [Mariano e Rocha \(2017\)](#). Foram então aplicadas as três etapas do método, conforme descrito no decorrer deste capítulo. As buscas em bases de dados se deram no dia 13 de agosto de 2022. O fluxograma da Figura 13 mostra com detalhes como foi realizada essa pesquisa. Na primeira etapa ocorreu a preparação, respondendo as quatro perguntas principais, na segunda a apresentação e inter-relação dos dados e na terceira o detalhamento, modelo integrador e validação por evidências.

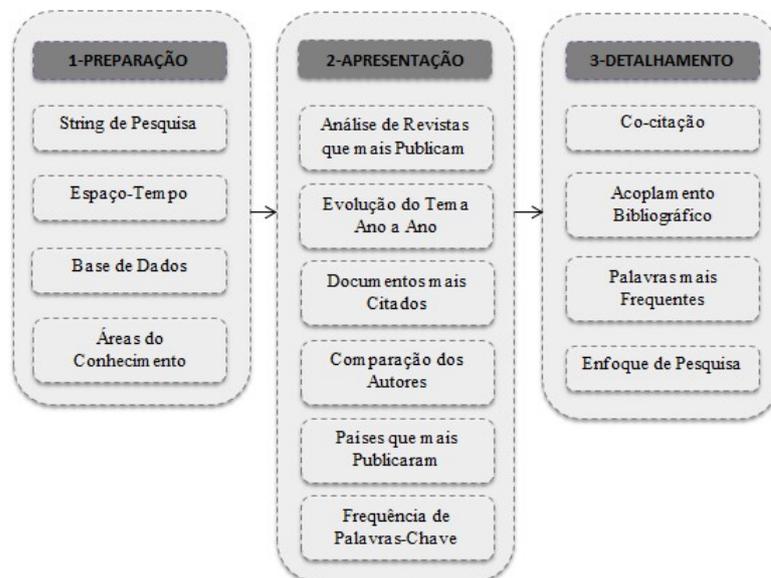


Figura 13 – Fluxograma Adotado para a Implementação do TEMAC

Fonte: Autor.

### 3.1 Preparação da Pesquisa

Nesta etapa definiu-se como *string*, palavra chave de pesquisa, o termo “*Maintenance*” e “*FMEA*”. As bases de dados bibliográficos mais relevantes atualmente são: Web of Science (WoS), Scopus (Elsevier), Google Scholar (GS) e Medline (NLM) ([COBO et al., 2012](#)). Para esta pesquisa foram utilizadas: WoS, Scopus e o GS, com raio de busca de 2018 a 2022, últimos cinco anos.

A Figura 14 apresenta a quantidade de publicações por cada área de conhecimento. Para refinar a pesquisa foram selecionadas sete categorias na base WoS, são elas: "Engineering Industrial", "Engineering Manufacturing", "Engineering Mechanical", "Engineering Multidisciplinary", "Management", "Transportation" e "Transportation Science".

Technology". Abrangendo principalmente a área de engenharia que representa 87.4% de 102 artigos, todos em idioma inglês.



Figura 14 – Panorama Geral das Áreas do Conhecimento - WoS

Fonte: Adaptado de Web of Science

A segunda parte da preparação da pesquisa foi realizada na base de dados Scopus com o mesmo descritor palavra chave, "Maintenance" e "FMEA", também para os últimos cinco anos. A Pesquisa abrangeu somente a área de engenharia, que é a área mais ativa. Pois, como mostrado no gráfico da Figura 15, 45% dos trabalhos estão nessa área.

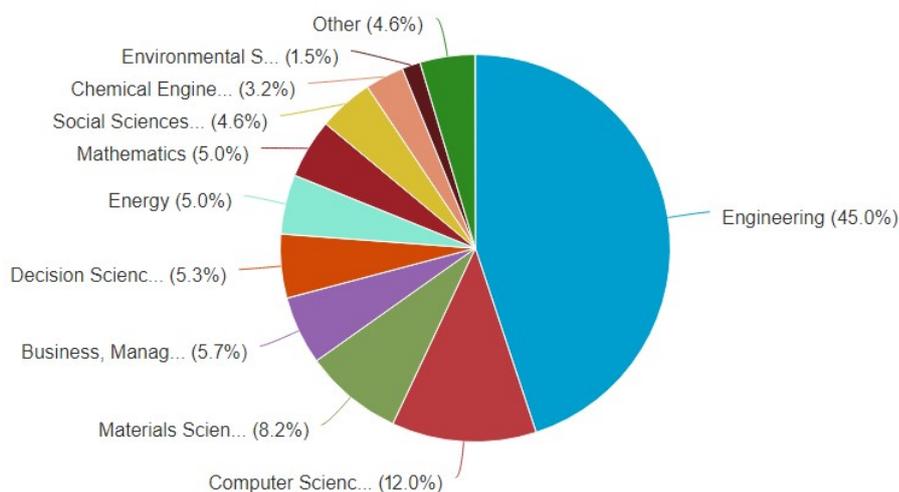


Figura 15 – Panorama Geral das Áreas do Conhecimento - Scopus

Fonte: Scopus

O resultado após o refinamento foi de 102 trabalhos encontrados na base de dados WoS, 234 na Scopus e 962 no GS. Os artigos encontrados foram utilizados para realizar as análises que serão apresentadas nas próximas seções.

A preparação da pesquisa no GS foi realizada a partir do software *Publish or Perish* com descritor palavras chave em português, "Manutenção" e "FMEA", e não se

pode realizar o refinamento por áreas. Logo o refinamento foi realizado manualmente, considerando a relevância dos trabalho encontrados.

## 3.2 Inter-relação dos Dados

Nesta segunda etapa foram realizadas as inter-relações entre os dados dos registros encontrados, aplicando leis da bibliometria como: a Lei de Brandford, que mensura a relevância de um periódico em determinada área de conhecimento, a Lei de Lokta, que explica o grau de relevância dos autores, e a Lei de Zipf que permitem estimar as frequências de ocorrência das palavras de um determinado texto.

### 3.2.1 Revistas mais Relevantes

Fator de Impacto (FI) é um método usado para qualificar as revistas científicas com base nas citações que ela recebe. O cálculo é feito somando-se as citações dos artigos recebidas no ano do cálculo do fator de impacto e dividindo esse número pela quantidade de artigos publicados nos dois anos antecedentes a esse cálculo (GUEDES; BORSCHIVER, 2005).

Para definir as revistas com maior FI na área pesquisada utiliza-se uma variável denominada Fator de Impacto ISI (*Institute for Scientific Information*). Ele é atualizado anualmente pela base de dados *Web of Science*, contemplando os artigos e revistas acadêmicas de maior impacto (CRUZ; CORREA, 2004). Os resultados referentes às revistas são encontrados na seção JCR (*Journal Citation Reports*), possibilitando identificar as revistas com maior relevância na área determinada. A base Scopus também tem o próprio sistema de JCR, o SJR (*SCImago Journal Rank*). Deste modo, o primeiro passo foi identificar essas revistas dentro da área *Engineering*, apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Revistas mais relevantes.

Fonte: Adaptado de Web of Science e Scopus.

N°	WoS			Scopus		
	Revista	JIF	Total Refs.	Revista	SJR	Total Refs.
1	Journal of Public Transportation	37,667	1056	Nature Biotechnology	20,12	8202
2	Progress in Energy and Combustion Science	35,339	17682	IEEE Communications Surveys and Tutorials	13,519	16396
3	Academy of Management Annals	19,241	8244	Nature Materials	12,229	11394
4	Advances in Applied Mechanics	17,4	1696	Nature Nanotechnology	11,698	9453
5	Journal of Strategic Information Systems	14,682	3271	Advanced Materials	8,663	142326
6	Analytic Methods in Accident Research	14,556	2203	Nature Electronics	8,302	5248
7	Academy of Management Review	13,865	47651	Science Robotics	6,569	5334
8	eTransportation	13,661	938	Materials Science and Engineering: R: Reports	6,443	11743
9	IEEE Vehicular Technology Magazine	13,609	2803	IEEE Journal on Selected Areas in Communications	6,32	12221
10	Journal of Management	13,508	36651	Materials Today	6,3	27564

Entre as revistas que mais publicaram sobre manutenção e FMEA no último ano, 2021, na base Wos, está a *Journal of Management* e a *IEEE Vehicular Technology Magazine*, com 87 e 46 publicações respectivamente. Na Scopus as que mais publicaram foram a *Advanced Materials* e a *Nature Biotechnology*, com 1598 e 356 publicações respectivamente. Embora sejam as revistas que mais publicam sobre o tema, as mesmas não estão entre as principais quanto ao fator de impacto, como mostrado na Tabela 5, demonstrando que apesar de ser um tema relevante, as principais revistas ainda não possuem uma presença marcante sobre este tópico.

Não foi possível identificar as revistas mais relevantes na base GS. Pois, os metadados coletados estavam desorganizados e incompatíveis com o software *VOSviewer*.

### 3.2.2 Evolução do Tema Ano a Ano

Após identificar as revistas de maior relevância a respeito das expressões “*Maintenance*” e “*FMEA*”, faz-se necessário também analisar a quantidade de publicações em cada base de dados anualmente a respeito desse tema, com o objetivo de apresentar a evolução do tema e fazer um comparativo entre elas. A Figura 16 apresenta essa evolução nas três bases, ao longo dos últimos cinco anos.

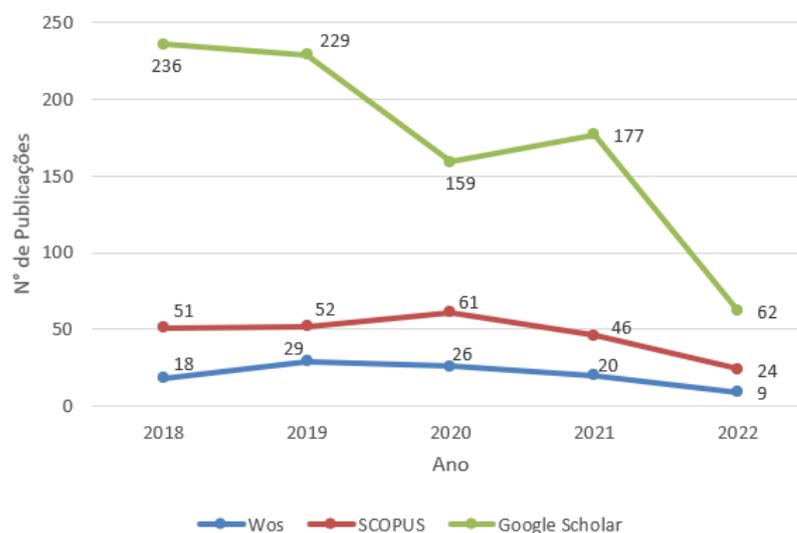


Figura 16 – Número de Publicações Ano a Ano

Fonte: Adaptado de Web of Science, Scopus e GS.

Analisando o gráfico da Figura 16 pode-se perceber que o número de publicações anuais segue uma rota de descensão, apresentando variação considerável entre o número de publicações nos últimos cinco anos. A quantidade de publicação a respeito do tema tem-se mantido em um valor mínimo de nove publicações por ano. Ainda na Figura 16, a curva representada na cor verde mostra esse forte declínio na quantidade de publicação

sobre o tema na base GS. De acordo com Leta (2011), mais de 60% da produção e pesquisa mundial ainda está concentrada na China e nos Estados Unidos.

A descensão no número de publicações nos últimos dois anos, no Brasil, como mostra o gráfico da Figura 19, poderia gerar dúvidas sobre a relevância do tema. Porém, o tema comprova-se relevante cientificamente ao analisar a evolução do número de citações mundiais anuais sobre o assunto nos gráficos das Figuras 17 e 18.

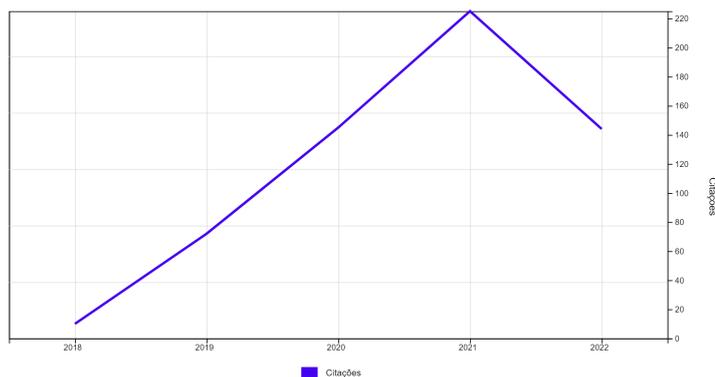


Figura 17 – Número de Citações Ano a Ano - WoS

Fonte: Web of Science

Como é possível notar, no gráfico da Figura 17 mostra o número de citações anuais em ascensão. Cabe relatar que a pesquisa na base WoS retornou uma média de aproximadamente 20,4 publicações por ano, a média de citação foi de 119,4 por ano, o que indicaria um total de 597 citações no decorrer desses cinco anos. Além disso, nota-se que esse gráfico teve seu maior pico em 2021, mantendo-se em uma curva crescente comparado aos anos anteriores. Espera-se então que ao final do ano de 2022 apresente um número ainda maior de citações.

O gráfico da Figura 18 mostra o número de citações anuais também em ascensão. O resultado da pesquisa na base Scopus retornou uma média de aproximadamente 46,8 publicações por ano, a média de citação foi de 202,6 por ano, o que indicaria um total de 1013 citações no decorrer desses cinco anos. Além disso, nota-se que esse gráfico teve seu maior pico em 2021. Logo, também se espera que ao final do ano de 2022 apresente um número ainda maior de citações.

Já o resultado da pesquisa na base GS, contemplando o tema na ciência do Brasil, retornou 962 trabalhos com uma média de aproximadamente 192,4 publicações por ano, a média de citação foi de 115,6 por ano, o que indicaria um total de 578 citações no decorrer desses cinco anos. Além disso, nota-se que esse gráfico teve seu maior pico em 2019. Logo, percebe-se o forte decréscimo nacional no número de publicações e citações a respeito desse tema.

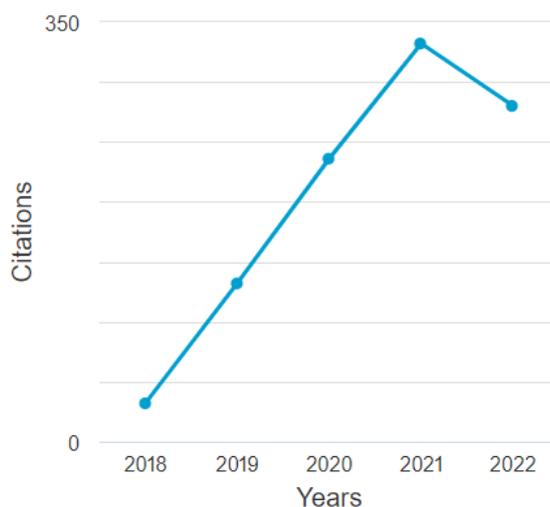


Figura 18 – Número de Citações Ano a Ano - Scopus

Fonte: Scopus

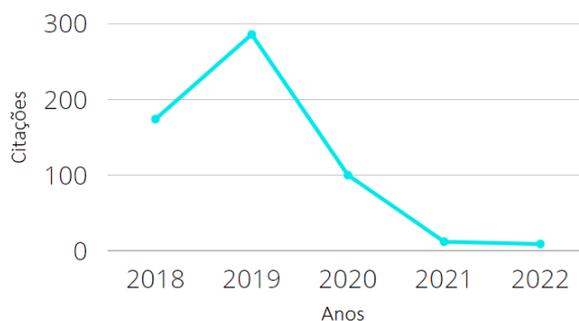


Figura 19 – Número de Citações Ano a Ano - GS

Fonte: Autor

### 3.2.3 Países que mais Publicam

Do total de 336 artigos publicados nas duas bases, entre 2018 até o momento, sobre *maintenance* e FMEA, Índia, Indonésia e China juntos são responsáveis por quase 50% das publicações sobre o tema tanto na plataforma WoS como na Scopus, como mostrado na Tabela 6. Ou seja, mais da metade das publicações são dessas regiões.

Todos os 102 artigos selecionados na *WoS* estão no idioma inglês. Já Scopus o resultado da pesquisa retornou 215 artigos em inglês, 9 em chinês, 3 em coreano, 2 em alemão, 1 em africâner, 1 em tcheco, 1 em italiano, 1 em português e 1 em espanhol. Não foi possível avaliar o idioma dos 962 artigos da base GS, pois o software utilizado para coletar os dados, *publish or perish*, não organiza essa informação.

Tabela 6 – Quantidade de publicações por país.

Fonte: Autor.

Posição	Web of Science			Scopus		
	Países	Qtd.	% de 102	Países	Qtd.	% de 234
1	Índia	19	18,6	China	44	18,8
2	Indonésia	13	12,7	Indonésia	32	13,7
3	China	13	12,7	Índia	29	12,4
4	Irã	9	8,8	USA	17	7,3
5	Inglaterra	6	5,9	Canadá	11	4,7
6	Polônia	6	5,9	Portugal	11	4,7
7	Nigéria	5	4,9	Inglaterra	10	4,3
8	Portugal	5	4,9	Alemanha	9	3,8
9	Tailândia	4	3,9	Itália	8	3,4
10	Canadá	3	2,9	Tailândia	8	3,4
11	Eslováquia	3	2,9	Irã	7	3,0
12	Turquia	3	2,9	Polônia	7	3,0
13	USA	3	2,9	Austrália	5	2,1
14	Brasil	2	2,0	Brasil	4	1,7

### 3.2.4 Análise dos Autores e Artigos

Prosseguindo com a análise, após verificar o países que mais publicam, identificou-se os autores e artigos de maior influência, como mostrado na Tabela 7, tendo por indicador o número de publicações destes. Segundo [Mariano e Rocha \(2017\)](#), a finalidade desta etapa é saber quais autores lideram em termos quantitativos as pesquisas sobre o tema.

A Lei de Lotka considera que alguns pesquisadores, supostamente de maior prestígio em uma determinada área do conhecimento, produzem muito e muitos pesquisadores, supostamente de menor prestígio, produzem pouco, ([GUEDES; BORSCHIVER, 2005](#)). Visto isso, é possível estimar que os autores Panchal D., Srivastava P. e Cavaignac A.L. possuem alto grau de relevância na área do conhecimento dessa pesquisa. Pois, como mostra a Tabela 7, são os que mais publicam e estão entre os mais citados.

Tabela 7 – Quantidade de publicações por autor.

Fonte: Autor.

Posição	Web of Science		Scopus		Google Scholar	
	Autores	Qtd.	Autores	Qtd	Autores	Qtd
1	Panchal D	4	Srivastava P	6	Cavaignac AL de O	5
2	Shahin A	3	Amrina E	4	Oliveira MA de	4
3	Soltanali H	3	Huang G	3	Galdamez EVC	4
4	Zhang GB	3	Khanduja D	3	Rodrigues AL	4
5	Emovon I	2	Rohani A	3	Junior AB	3
6	Farinha JT	2	Shafiee M	3	Luz MLS	3
7	Gopal N	2	Soltanali H	3	Nascimento SP	3
8	Huang GQ	2	Xiao L	3	Berger S	2
9	Jahanyan S	2	Zhang G	3	Bianchini SS	2
10	Khojastehpour M	2	Aditya N G	2	Lima AFC	2

As Tabelas 8, 9 e 10 trazem então os dez artigos mais citados em cada base de dados, o título da publicação, seus autores, anos de publicação e a quantidade de citações de cada um, respectivamente.

Percebe-se que dos dez artigos mais citados, na Tabela 8, quatro foram publicados em 2018 e seis em 2019. Vale ressaltar que nessa lista aparece dois artigos do mesmo autor, Panchal, um artigo publicado em 2018 e o outro em 2019. Isso demonstra a consistência e relevância dos autores que mais publicam neste campo de pesquisa.

Tabela 8 – Artigos mais citados - WoS.

Nº	Título	Autor(es)	Ano	Qtd.
1	Improving failure analysis efficiency by combining FTA and FMEA in a recursive manner	Peeters, J. F. W.; Basten, R. J. I.; Tinga, T.	2018	102
2	A novel failure mode and effect analysis model for machine tool risk analysis	Lo, Huai-Wei; Liou, James J. H.; Huang, Chun-Nen; Chuang, Y-C	2019	82
3	Failure modes, mechanisms and effect analysis on temperature redundant sensor stage	Catelani, M.; Ciani, L.; Venzi, M.	2018	38
4	An Integrated FTA-FMEA Model for Risk Analysis of Engineering Systems: A Case Study of Subsea Blowout Preventers	Shafiee, Mahmood; Enjema, Evenye; Kolios, Athanasios	2019	37
5	Risk analysis for occupational safety and health in the textile industry: Integration of FMEA, FTA, and BIFPET methods	Mutlu, Nazli Gulum; Altuntas, Serkan	2019	27
6	The model of maintenance planning and production scheduling for maximising robustness	Paprocka, Iwona	2019	22
7	Risk analysis for clean and sustainable production in a urea fertilizer industry	Panchal, Dilbagh; Mangla, Sachin Kumar; Tyagi, Mohit; Ram, Mangey	2018	22
8	Fuzzy based risk prioritisation in an auto LPG dispensing station	Kumar, A. Maniram; Rajakurunakaran, S.; Pitchipoo, P.; Vimalesan, R.	2018	21
9	Developing a two-phase QFD for improving FMEA: an integrative approach	Shaker, Fatemeh; Shahin, Arash; Jahanyan, Saeed	2019	19
10	Qualitative analysis of CNG dispensing system using fuzzy FMEA-GRA integrated approach	Panchal, Dilbagh; Srivastava, Priyank	2019	15

Dos dez artigos mais citados, como mostra a Tabela 9, cinco foram publicados em 2018 quatro em 2019 e um em 2020. Vale ressaltar que nessa lista aparece um artigo do autor Panchal, autor presente entre os mais citados na base WoS, abordando uma nova metodologia fuzzy baseada em análise de risco.

Tabela 9 – Artigos mais citados - Scopus.

Nº	Título	Autor(es)	Ano	Qtd.
1	Improving failure analysis efficiency by combining FTA and FMEA in a recursive manner	Peeters J.F.W., Basten R.J.I., Tinga T.,	2018	125
2	Predicting ship machinery system condition through analytical reliability tools and artificial neural networks	Lazakis I., Raptodimos Y., Varelas T.,	2018	54
3	Failure mode and effects analysis using two-dimensional uncertain linguistic variables and alternative queuing method	Liu H.-C., Hu Y.-P., Wang J.-J., Sun M.,	2019	49
4	Failure modes, mechanisms and effect analysis on temperature redundant sensor stage	Catelani M., Ciani L., Venzi M.,	2018	49
5	Reliability prediction of an offshore wind turbine gearbox	Bhardwaj U., Teixeira A.P., Soares C.G.,	2019	45
6	A practical solution for HVAC prognostics: Failure mode and effects analysis in building maintenance	Yang C., Shen W., Chen Q., Gunay B.,	2018	44
7	An integrated FTA-FMEA model for risk analysis of engineering systems: A case study of subsea blowout preventers	Shafiee M., Enjema E., Kolios A.,	2019	43
8	A new fuzzy methodology-based structured framework for RAM and risk analysis	Panchal D., Singh A.K., Chatterjee P., Zavadskas E.K., Keshavarz-Ghorabae M.,	2019	37
9	A novel hybrid multi-criteria group decision making approach for failure mode and effect analysis: An essential requirement for sustainable manufacturing	Boral S., Howard I., Chaturvedi S.K., McKee K., Naikan V.N.A.,	2020	34
10	Application of failure mode and effects analysis in ecology in Russia	Borkovskaya V., Passmore D.,	2018	32

Já na Tabela 10, dos dez artigos selecionados cinco foram publicados em 2018, um em 2019, três em 2020 e um em 2022. Nessa lista aparecem dois autores que estão na lista de autores mais citados e com maior número de publicações, Oliveira, OJ e Cavaignac, AL de O.

Tabela 10 – Artigos mais citados - GS.

Nº	Título	Autor(es)	Ano	Qtd.
1	Gestão da qualidade	Lobo, RN	2019	160
2	OntoProg: An ontology-based model for implementing Prognostics Health Management in mechanical machines	Núñez, DL; Borsato, M	2018	47

3	Curso básico de gestão da qualidade	Oliveira, OJ	2020	35
4	Inspeção predial total	Gomide, TLF; Neto, JCPF; Gullo, MA; Della Flora, SM	2020	14
5	Failure mode and effect analysis (FMEA) in mechanized harvest of sugarcane billets	Voltarelli, MA; Paixão, CSS; Zerbato, C; Silva, RP da; Gazzola, J	2018	13
6	Planejamento avançado da qualidade: sistemas de Gestão, técnicas e ferramentas	Albertin, M; Guertzenstein, V	2018	12
7	Implantação do programa 5S através da metodologia DMAIC	Souza, BC de; Pinto, GA; Paula, PP; Lobo, RJ; Souza, FVP	2018	11
8	A case study on FMEA-based improvement for managing new product development risk	Moreira, AC; Ferreira, LMDF; Silva, P	2020	10
9	E-REX: eixo propulsor auxiliar elétrico com recuperação de energia em frenagens	Barbosa, AO; Freitas, C da L; Rodrigues, CHS; Ferrari, JA; Chechi, JT; Aguiar, P; Silva, RBB da	2022	9
10	Utilização do FMEA para priorização de risco ocupacional: uma nova abordagem direcionada a construção civil	Cavaignac, AL de O; Forte, LLN	2018	7

Comparando os dados dos vinte e sete autores que mais publicam com os dados dos autores mais citados, encontra-se apenas nove dos vinte e sete autores que mais publicam cotados entre os mais citados. São eles: Panchal D, Shahin A, Huang GQ, Jahanyan S, Srivastava P, Shafiee M, Cavaignac AL, Oliveira MA de e Rodrigues AL. Estes autores são responsáveis por 42 publicações das 1298 encontradas nas três bases, ou seja, 3,23% das publicações. Esse fato ressalta que quantidade e qualidade nem sempre são diretamente proporcionais quando se tratando de pesquisa científica.

### 3.2.5 Análise das Palavras Chaves

Após análises dos autores e artigos mais citados sobre o tema, identificaram-se as principais palavras-chave que apareceram nesses artigos, selecionados nas três bases, com o intuito de analisar quais as linhas de pesquisa estão em destaque sobre o tema nesses últimos cinco anos. O conjunto de palavras encontradas nas bases WoS, Scopus e GS estão representadas nas Figuras 20, 21 e 22, respectivamente.

Para encontrar o conjunto de palavras foi feita uma *word cloud*, representada na Figura 20, utilizando a ferramenta online de análise de conteúdo *TagCrowd*. Foram inseridas na ferramenta todas as palavras chave dos 102 documentos encontrados na busca

da base *Web of Science*. Esse software online cria um diagrama que representa as cinquenta palavras chave com maior número de repetições, sendo que a escala de tamanho da fonte das palavras exibidas no diagrama é proporcional ao número de citações de cada palavra, permitindo assim a realização de diagnósticos sobre as principais correntes de pesquisa.

As seis palavras-chave mais citadas, Figura 20, sendo essas com maior número de citações, foram: “fmea” com 173 citações, "analysis" com 147, "failure" com 128, “maintenance” com 123, "mode" com 95 e "Fuzzy" com 72. Com isso, pode verificar que a principal temática de pesquisa, no que tange o tema FMEA aplicado a manutenção, contempla as cinco palavras-chave com maior número de citações.

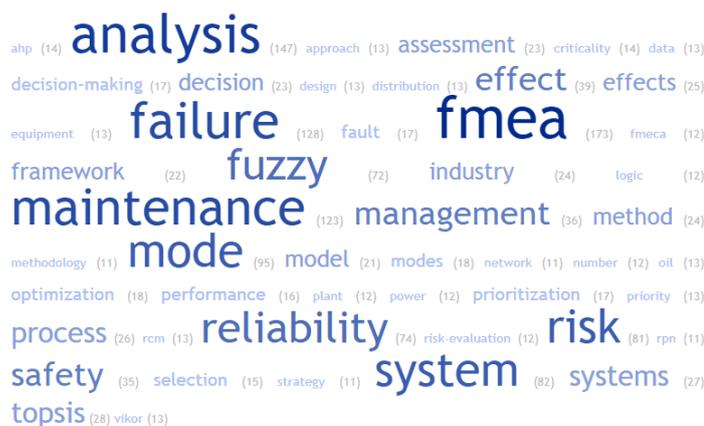


Figura 20 – Nuvem de Palavras-chave mais Recorrentes nos Artigos da WoS

Fonte: *Web os Science e TagCrowd*

Analisando a Figura 21, que apresenta as cinquenta palavras-chave mais citadas da base Scopus, pode-se verificar que a temática dessa pesquisa "Análise do FMEA e Manutenção, contempla as seis palavras-chave com maior número de citações, “fmea” com 94 citações, “maintenance” com 79, "analysis" com 77, “failure” com 59, "risk" com 55 e "reliability" com 50 citações.

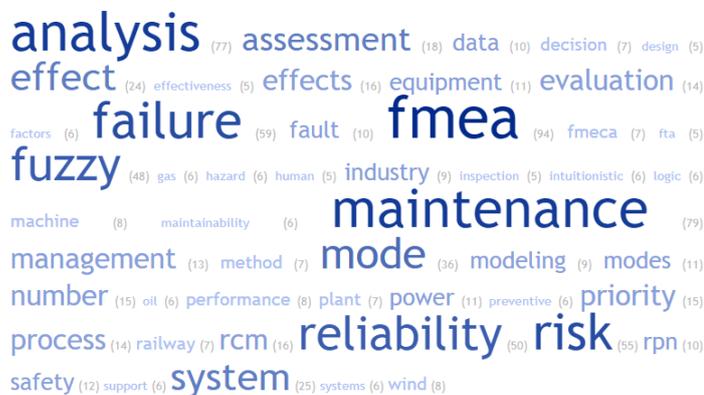


Figura 21 – Nuvem de Palavras-chave mais Recorrentes nos Artigos da Scopus

Fonte: *Scopus e TagCrowd*

A terceira análise de palavras-chave foi realizada para os termos "manutenção" e "FMEA", em português, como mostra a nuvem de palavras na Figura 22. Ela apresenta as cinquenta palavras-chave mais citadas nos documentos selecionados da base GS. Pode-se observar que as seis palavras-chave com maior número de citações, "manutenção" com 307 citações, "análise" com 212, "gestão" com 153, "aplicação" com 146, "estudo" com 122 e "fmea" e "empresa", ambas com 108 citações. Todas essas palavras-chave contemplam a temática dessa pesquisa.



Figura 22 – Nuvem de Palavras-chave mais Recorrentes nos Artigos do GS

Fonte: GS e TagCrowd

### 3.3 Detalhamento, Modelo Integrador e Validação por Evidências

Neste item serão detalhados outros conceitos relacionados à Bibliometria, como estudos baseados na análise de citações. Serão apresentadas também as principais abordagens, linhas de pesquisa, validação por evidências e um modelo integrador por meio da comparação dos resultados das três diferentes bases.

#### 3.3.1 Co-citation

Co-citação mede o grau de ligação de dois ou mais artigos, pelo número de documentos onde esses artigos são citados, simultaneamente (MARSHAKOVA, 1981). Conforme Guedes e Borschiver (2005), citação é um indicador válido de influência de um determinado trabalho sobre outro(s), evidenciando conexões intelectuais.

Visto isso, foi utilizado o software gratuito *VOSViewer* versão 1.6.18 para realizar as análises de co-citação de todos os trabalhos selecionados nas três bases, para os últimos cinco anos. A principal finalidade dessa análise é criar *clusters*, conjuntos de aproximação dos dados bibliográficos, conjuntos de abordagens.

Quando artigos estão sendo citados juntos se criam núcleos de abordagens do passado. Nesta primeira análise foram identificados quatro *Clusters*. Eles estão representados no diagrama de rede, Figura 23, na cor vermelha, amarela, verde e azul.

A análise foi realizada considerando os autores que publicaram 10 ou mais vezes, obtendo os 34 trabalhos principais divididos nesses quatro *clusters*.

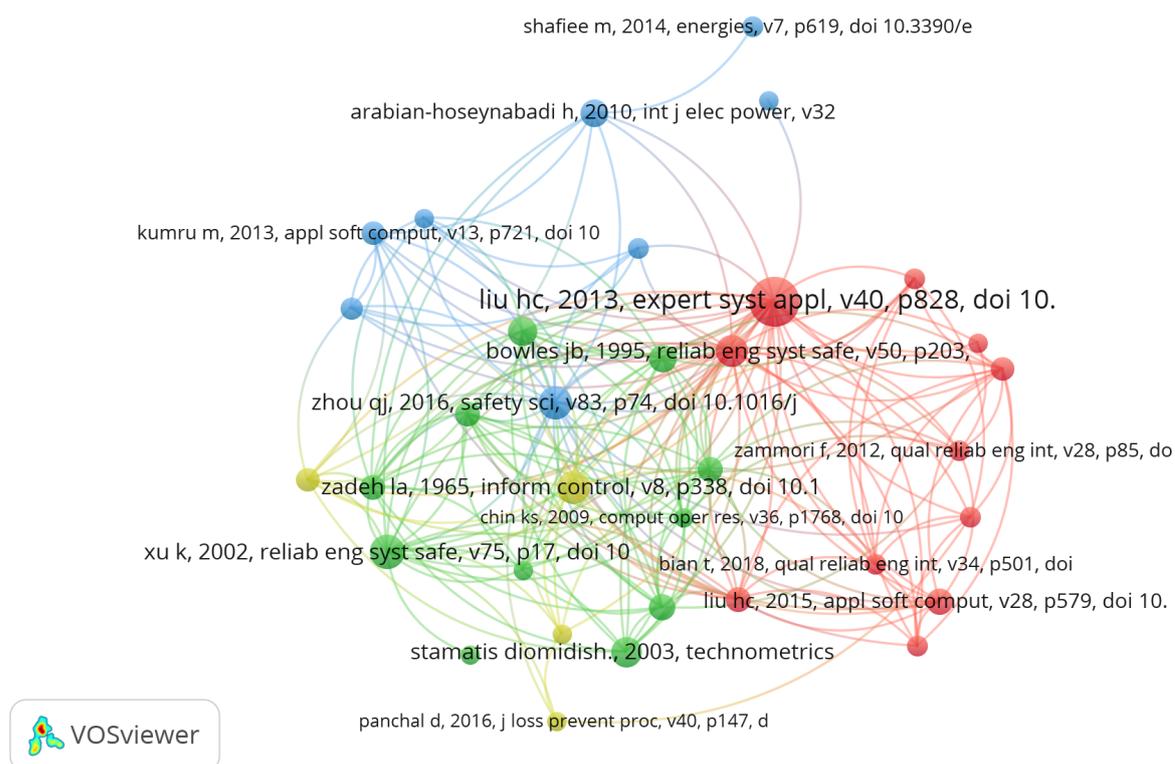


Figura 23 – Diagrama de Rede Representando Co-citações

Fonte: Autor

O resultado dessa primeira análise de co-citação para os 102 artigos selecionados na WoS retornou 34 trabalhos, divididos em 4 *clusters*, como mostra a Figura 23. O *cluster* 1, com 11 artigos, liderado pelo autor Liu HC 2013, aborda a prioridade de risco para priorização de FMEA com base em raciocínio probatório fuzzy. O *cluster* 2, também com 11 itens, liderado pelo Xu k 2002, aborda lógica fuzzy para FMEA. O *cluster* 3, com 8 artigos, liderado por Zhou Q 2016, com a mesma abordagem de lógica fuzzy em FMEA para a previsão de falhas de equipamentos petroleiros e o *cluster* 4, com 4 artigos, liderado por Zadeh LA 1965, retrata em sua abordagem as principais contribuições para o desenvolvimento da teoria dos conjuntos fuzzy e da lógica fuzzy no mundo.

Com a visualização da mesma informação no formato de mapa de calor, Figura 24, é possível notar onde há uma maior concentração de autores, o cluster com maior peso. Nesse caso, existem as quatro frentes principais de co-citação, representadas pelos polos vermelhos no mapa. A liderada por Liu HC é a mais densa, também é a que apresenta

maior número de artigos, sendo o autor com maior número de citações. O documento dele é do ano 2013 e a pesquisa foi delimitada de 2018 a 2022. Isso mostra que muitos trabalho que foram selecionados para essa análise estão citando Liu HC.

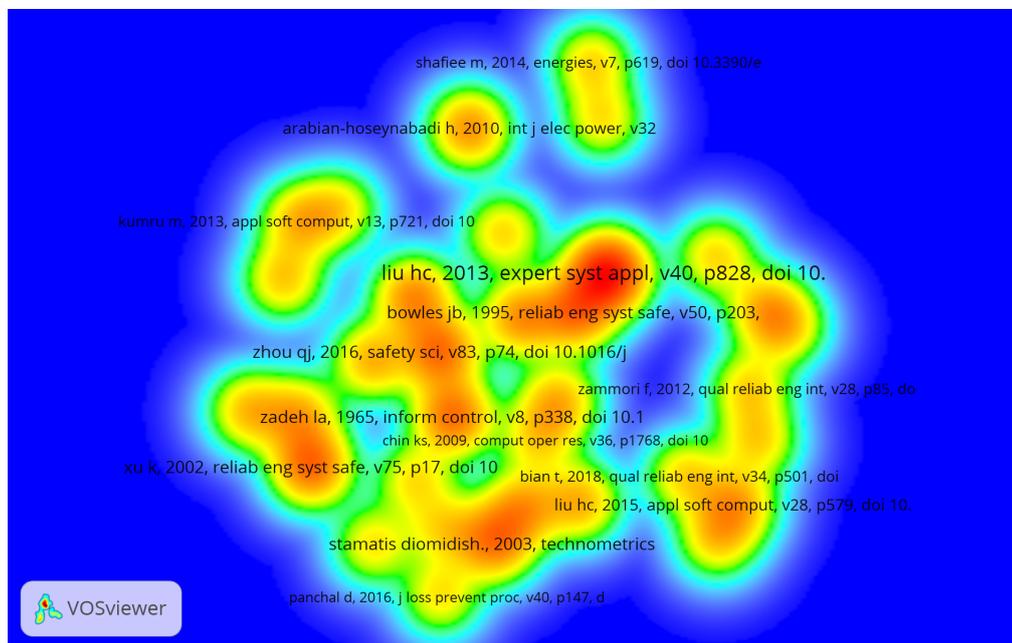


Figura 24 – Mapa de Calor Representando Co-citações - WoS

Fonte: Autor

A mesma análise foi realizada para os 234 trabalhos selecionados na base Scopus, considerando os artigos com 2 citações ou mais. Sendo assim, o software retornou 140 trabalhos que foram divididos em 11 *clusters* diferentes, como mostrado na Figura 25. Os dois principais *clusters* são o *cluster* 3, com 31 trabalhos, liderado pelo autor Kutlu AC 2012, utilizando como abordagem fuzzy TOPSIS e aplicabilidade do modelo em FMEA em ambiente fuzzy. O segundo *cluster* mais importante é o *cluster* 4, com 18 trabalhos, liderada por Panchal D, ambos com 4 citações. A abordagem de pesquisa dele está voltada para aplicação de metodologia fuzzy em análise de falhas de sistema de transmissão.

Não foi possível realizar co-citação para os trabalhos selecionados na base GS. O tipo de documento, RIS ou EndNote armazenado, não foi compatível para essa análise no *software VOSviewer*.

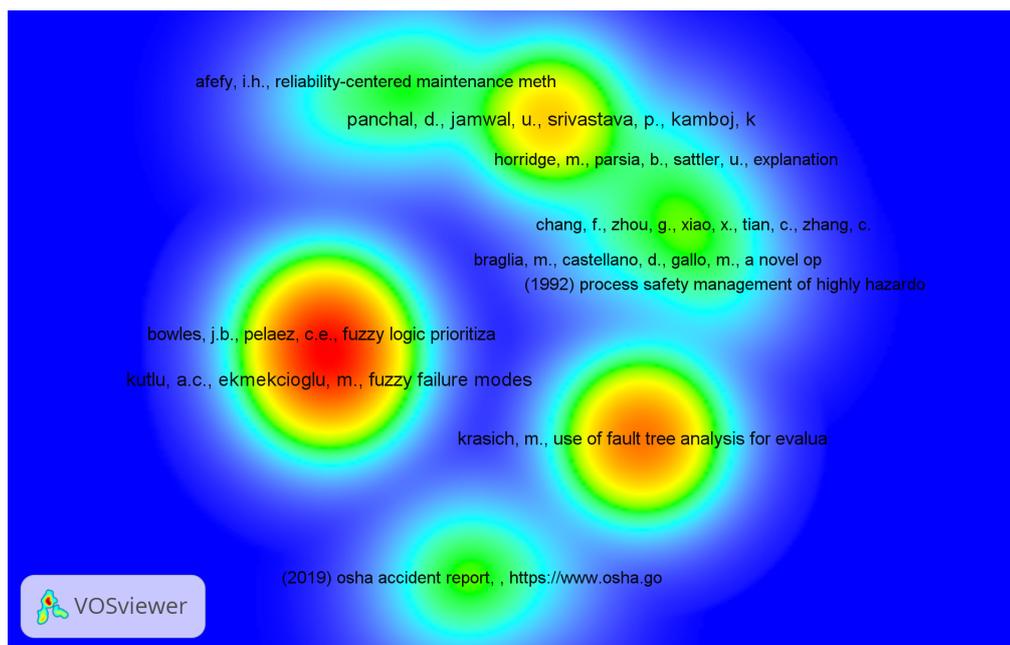


Figura 25 – Mapa de Calor Representando Co-citações - Scopus

Fonte: Autor

### 3.3.2 Coupling

Nesta seção foi elaborado mapas de calor para apresentar a interação de documentos a partir de acoplamento bibliográfico. A partir disso, pode-se determinar quais são os artigos que possuem literaturas base semelhante.

O acoplamento bibliográfico, do inglês *bibliographic coupling*, consiste na união de artigos, citando o(s) mesmo(s) documento(s). Esse acoplamento mede o grau de ligação entre dois ou mais artigos, segundo o número de documentos idênticos citados por esses artigos (GUEDES; BORSCHIVER, 2005). A análise de *coupling* apresenta os principais *fronts* de pesquisa. Essa abordagem é a que está conduzindo as linhas que virão adiante, mostrando quem estão citando em comum (VOGEL; GÜTTEL, 2013).

É interessante fazer o *coupling* dos dados dos três últimos anos de pesquisa, considerando zero número de citação, pois existe documento que é muito novo e não teve tempo de ser citado (COBO et al., 2012).

A Figura 26 apresenta o mapa de acoplamento bibliográfico dos artigos selecionados na base WoS. Nesse mapa é possível identificar um autor principal destacado no núcleo de cor vermelha, Ghouschi (2019), que trabalha em uma abordagem de FMEA estendida baseada no Z-MOORA e BWM fuzzy para priorização de falhas. Prosseguindo com a análise da Figura 26, pode-se identificar um segundo grupo, com dois autores, destacados também em núcleo vermelho, no quadrante direito. Este é liderado por Bharwaj (2019), que testa em sua pesquisa a confiabilidade de uma caixa de engrenagens de turbina eólica offshore e Shafiee (2019) que aborda um modelo integrado de FTA-FMEA para análise de



### 3.3.3 Co-ocorrência de Palavras

Concluídas as análises de co-citação e *coupling*, foi realizada uma análise com as palavras-chave e resumos, de todos os artigos das três bases, a fim de elaborar o mapa de calor apresentados nas Figuras 28, 29 e 30

Pela lei de Zipf, co-ocorrência e frequência de palavras-chave, é possível estabelecer as principais linhas de pesquisa por meio do aparecimento de palavras-chaves (GUEDES; BORSCHIVER, 2005). A partir dessa lei é possível estimar as frequências de ocorrência das palavras de um determinado texto científico e a região de concentração dos termos de indexação.

Os polos vermelhos no mapa representam as tendências de pesquisa. A intensidade que elas se relacionam e o número de vezes que aparecem é realçado pela escala de cores da imagem, sendo a cor vermelha o local com maior número de ocorrências. Nota-se na Figura 28 que as palavras-chave mais citadas é o tema central da pesquisa, "fmea", e "reliability".

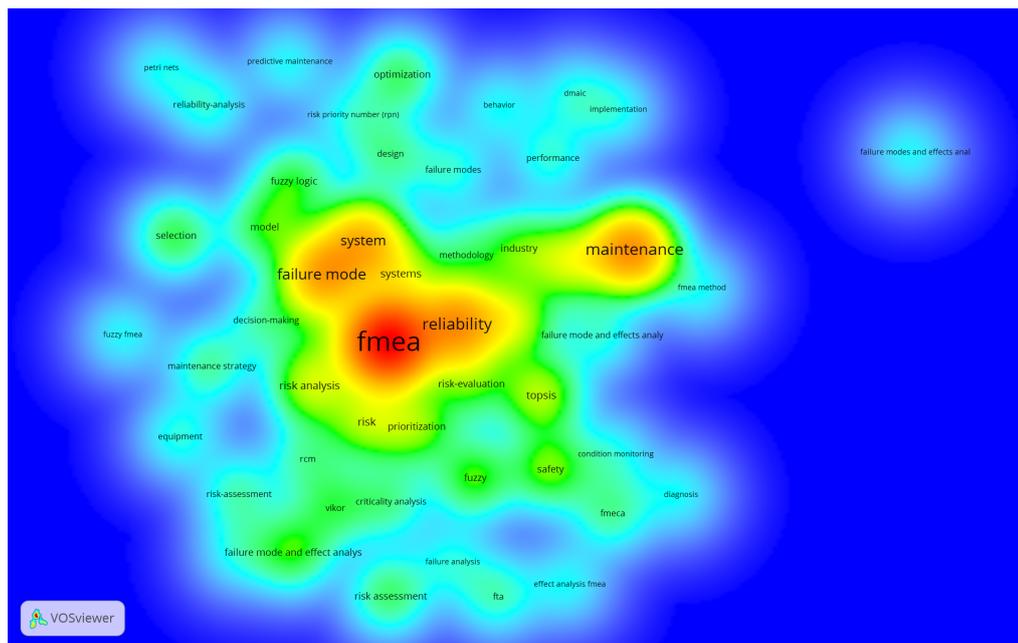


Figura 28 – Mapa de Calor de Co-ocorrência de Palavras - WoS

Fonte: Autor



Após essas análises pode-se concluir que o estudo sobre FMEA aplicado a manutenção gira em torno de assuntos relacionados a sistemas de engenharia, manutenção centrada, análises, gestão, confiabilidade, melhoria de processos e análises de risco. Tal questão há de ser o foco principal deste trabalho, tendo em vista que o objetivo principal é de verificar o potencial uso dessa ferramenta.

### 3.3.4 Enfoque de Pesquisa

Após os estudos realizados anteriormente, decidiu-se utilizar os resultados de artigos mais citados para fazer parte da base teórica deste estudo. Entretanto, ficou evidente que parte dos artigos mais citados não eram relevantes ao tema da pesquisa. Então foi criado um critério de inclusão com o objetivo de selecionar os 10 artigos mais relevantes para a pesquisa, dentro dos trabalhos mais citados de cada base. O critério está descrito no fluxograma do apêndice A.

Os enfoques dos artigos selecionados nas bases WoS, Scopus e GS, estão disponíveis nas Tabelas 11,12,13 respectivamente.

Tabela 11 – Artigos mais citados e enfoque - WoS.

Nº	Título	Enfoque
1	Improving failure analysis efficiency by combining FTA and FMEA in a recursive manner	Para realizar um plano de manutenção para um bem de capital é fundamental entender com precisão seus modos de falha. FMEA e FTA são métodos comumente usados para análise de falhas, porém são demorados quando aplicados completamente. <a href="#">Peeters, Basten e Tinga (2018)</a> , propõe um método em que ambos são usados de forma recursiva a fim de economizar tempo sem perder a qualidade da análise.
2	A novel failure mode and effect analysis model for machine tool risk analysis	O FMEA depende da experiência de especialistas para determinar os principais modos de falha e detectar os fatores mais críticos. Para aumentar a confiabilidade das máquinas e reduzir possíveis riscos, <a href="#">Lo et al. (2019)</a> propõe um método eficaz capaz de integrar as várias opiniões de especialistas, um modelo de FMEA baseado na tomada de decisão em grupo multicritério.
3	Failure modes, mechanisms and effect analysis on temperature redundant sensor stage	Neste trabalho, <a href="#">Catelani, Ciani e Venzi (2018)</a> utilizam as técnicas FMECA e FMMEA para otimizar os benefícios de ambos e superar suas desvantagens. Essa abordagem foi aplicado em uma arquitetura redundante baseada em sensores de temperatura aplicados em sistemas de condução de óleo e gás.

4	An integrated FTA-FMEA model for risk analysis of engineering systems: a case study of subsea blowout preventers	Neste documento, <a href="#">Shafiee, Enjema e Kolios (2019)</a> propõe um modelo composto de FTA integrado e FMEA para análise de risco de sistemas críticos de segurança. O modelo proposto é aplicado a um sistema Blowout Preventer (BOP) operando sob condições extremas em um campo submarino de petróleo e gás. Diferenças significativas são reveladas nas classificações de risco quando os resultados da abordagem híbrida são comparados com os obtidos pelos métodos clássicos de análise de risco.
5	Risk analysis for clean and sustainable production in a urea fertilizer industry	<a href="#">Panchal et al. (2018)</a> utilizou um FMEA para analisar as causas de falha nos diferentes subsistemas considerados dentro de uma indústria de fertilizantes na Índia. Para contornar as desvantagens do FMEA convencional foram aplicadas as metodologias de <i>fuzzy FMEA</i> e <i>grey relation analysis</i> (GRA), ajudando assim na tomada de decisões pela equipe de manutenção.
6	Fuzzy based risk prioritisation in an auto LPG dispensing station	<a href="#">Kumar et al. (2018)</a> desenvolve uma análise FMEA aplicando lógica fuzzy e abordagem GRA para calcular o risco dos modos de falha em uma estação de abastecimento de GLP.
7	Developing a two-phase QFD for improving FMEA: an integrative approach	Buscando avaliar melhor os riscos dos diversos modos de falha no alto-forno de uma indústria siderúrgica, <a href="#">Shaker, Shahin e Jahanyan (2019)</a> aplicam uma abordagem integrativa entre FMEA e <i>quality function deployment</i> (QFD) a fim de apoiar uma melhor integração entre os setores de fabricação, que priorizam os efeitos e modos de falhas e os setores de manutenção que estão lidando principalmente com as causas das falhas.
8	Improved failure mode and effect analysis with interval-valued intuitionistic fuzzy rough number theory	Devido à informação dispersa e imprecisa que frequentemente existe nas avaliações de risco de um FMEA convencional, numerosos métodos FMEA modificados baseados na teoria <i>fuzzy</i> vem sendo utilizados para melhorar o FMEA clássico. No entanto, as abordagens FMEA com base <i>fuzzy</i> ainda têm alguns inconvenientes. Assim, <a href="#">Huang, Xiao e Zhang (2020)</a> desenvolvem um novo conceito de número aproximado de intuição de valor intervalado (IVIFRN), apresentando um novo modelo FMEA baseado no IVIFRN.
9	Qualitative analysis of CNG dispensing system using fuzzy FMEA-GRA integrated approach	Neste trabalho é realizada a identificação e priorização do risco de um sistema de distribuição de gás natural comprimido através da abordagem integrada do <i>fuzzy FMEA</i> e <i>fuzzy grey relational analysis</i> (GRA). O resultado funcionará como sistema de apoio à decisão para que o analista de sistemas e o engenheiro de manutenção identifiquem e deem prioridade ao risco, ajudando-os posteriormente a um melhor planejamento de manutenção ( <a href="#">PANCHAL; SRIVASTAVA, 2019</a> ).

---

10	Optimization of condition-based maintenance strategy-prediction for aging automotive industrial equipment using FMEA	Este documento apresenta uma abordagem adotada para prevenir paradas não planejadas na produção em decorrência da falha de componentes nas linhas de montagem automotiva. Uma política de manutenção otimizada baseada na condição para prever o estado de cada componente e linha de montagem foi desenvolvido utilizando o FMEA. A previsão do nível de desempenho baseado no estado é concebida para ajudar na formulação de programações e estratégias de manutenção que eliminem tempos de parada não planejados (RAMERE; LASEINDE, 2021).
----	--	---

---

Tabela 12 – Artigos mais citados e enfoque - Scopus.

N°	Título	Enfoque
1	Predicting ship machinery system condition through analytical reliability tools and artificial neural networks	Este documento visa fornecer uma abordagem sistemática para a identificação de sistemas/componentes críticos de maquinaria naval para a análise dos seus parâmetros físicos relevantes a serem monitorizados. Estes foram identificados através da combinação da Análise de Árvore de Falhas (FTA) e da Análise de Modo e Efeitos de Falha (FMEA). Segundo Lazakis, Raptodimos e Varelis (2018) a metodologia híbrida proposta apresenta com sucesso uma abordagem sistemática para inicialmente identificar sistemas/componentes críticos através de modelização e ferramentas de fiabilidade e subsequentemente monitorizar os seus parâmetros.
2	Failure mode and effects analysis using two-dimensional uncertain linguistic variables and alternative queuing method	Este estudo desenvolve um método melhorado de modo de falha e análise de efeitos (FMEA) utilizando variáveis linguísticas bidimensionais incertas (2DULV) e método alternativo de enfileiramento (AQM). A manutenção de uma estação de tratamento de água é apresentada como um exemplo para demonstrar a aplicabilidade e eficácia do método FMEA proposto. De acordo com Liu et al. (2018) ao comparar o seu desempenho com o de outros métodos existentes, a FMEA proposta mostra-se mais vantajosa na classificação do risco dos modos de falha.

---

<p>3</p> <p>Performance-based reliability-centered maintenance planning for hospital facilities</p>	<p>Este documento propõe uma abordagem de manutenção centrada na confiabilidade (RCM) que é combinada com uma otimização evolutiva para desenvolver planos de manutenção para as instalações hospitalares usando FMEA para determinar a estratégia de manutenção ótima para vários componentes dentro destes sistemas. De acordo com <a href="#">Salah, Osman e Hosny (2018)</a> os resultados demonstram que, utilizando a RCM e a abordagem de otimização, é possível realizar economias que vão de 6 a 16% nos custos de manutenção, em comparação com as abordagens tradicionais de manutenção preventiva empreendidas pelos contratos de manutenção existentes.</p>
<p>4</p> <p>Identification and prioritization of risk factors in an electrical generator based on the hybrid FMEA framework</p>	<p>No presente estudo, foi proposto um quadro híbrido de avaliação do risco para preencher as lacunas deixadas pelo FMEA convencional, sua base é a combinação de técnicas FMEA de linguísticas modificadas (LFMEA), Processo de Rede Analítica (ANP), e Técnicas de Laboratório de Avaliação e Julgamento de Decisão (DEMATEL). A estrutura híbrida de FMEA foi conduzida em uma unidade de produção de energia de uma central de petróleo e gás localizada no Iémen (<a href="#">ALRIFAEY et al., 2019</a>).</p>
<p>5</p> <p>Classical failure modes and effects analysis in the context of smart grid cyber-physical systems</p>	<p>Este documento propõe uma abordagem de confiabilidade que faz uso dos modos de falha de energia e dos componentes principais da ciber-rede para avaliar a análise de risco em sistemas de distribuição eléctrica. A fim de estabelecer o impacto dos diferentes modos de falha no desempenho das redes de distribuição foi aplicado um FMEA que auxiliou na decisão das tarefas de manutenção preventiva. Propostas e sistematizadas para minimizar o impacto de falhas de alto risco e aumentar a confiabilidade (<a href="#">ZÚÑIGA et al., 2020</a>).</p>
<p>6</p> <p>Failure modes and effects analysis (FMEA) of computerized numerical control (CNC) turning center</p>	<p>Neste documento, a metodologia FMEA é utilizada para analisar o risco envolvido no funcionamento dos centros de torneamento CNC. O objectivo da análise era identificar os modos, componentes e subsistemas críticos de falha. Os resultados da análise FMEA são úteis para melhorar a confiabilidade do sistema e otimizar a manutenção. <a href="#">Patil e Kothavale (2018)</a> compararam ainda os resultados do FMEA com as taxas de falhas obtidas a partir dos dados de falhas de campo e constataram que os componentes eléctricos e eletrônicos têm taxas de avarias mais elevadas em comparação com os componentes mecânicos.</p>

---

7	A reliability-centered maintenance study for an individual section-forming machine	<p>Este estudo investigou a tendência de avarias numa produção automatizada de garrafas de vidro, com o objectivo de recomendar a aplicação de manutenção centrada na confiabilidade para melhorar a produtividade através de um novo programa de manutenção preventiva. A utilização do FMEA como ferramenta para elaborar um programa de manutenção ótimo e eficiente utilizando os dados de confiabilidade dos componentes funcionais do equipamento resultou em uma melhoria na disponibilidade, segurança e eficácia de custos da máquina e resultará num aumento da margem de lucro da empresa (OKWUOBI et al., 2018).</p>
8	Fuzzy methodology application for risk analysis of mechanical system in process industry	<p>Este trabalho de investigação expõe a aplicação da metodologia <i>fuzzy</i> baseada numa abordagem integrada para a análise de risco do sistema de moagem em uma fábrica de açúcar. Para desenvolver a investigação, foi utilizada a abordagem convencional FMEA para a priorização de componentes críticos com base no número de prioridade de risco (RPN). A fim de remover limitações do FMEA convencional, foram utilizados sistemas de apoio à decisão <i>fuzzy</i> e análise da relação cinzenta <i>fuzzy</i> para estimar as pontuações RPN. Estas pontuações foram comparadas com as pontuações RPN convencionais para uma priorização realista na tomada de decisão (SRIVASTAVA; KHANDUJA; GANESAN, 2020).</p>
9	Failure analysis of diesel engine piston in transport utility vehicles	<p>O presente trabalho trata da análise de falhas de um pistão de motor a diesel utilizado em veículos utilitários de transporte. O método de análise de modo e efeito de falha (FMEA) é utilizado para identificar o componente do motor com uma contribuição significativa em caso de falha e nesta investigação são apresentadas medidas corretivas, para além da manutenção periódica do motor e da substituição da junta desgastada para evitar falhas no pistão (DEULGAONKAR et al., 2021).</p>
10	Intelligent assisted maintenance plan generation for corrective maintenance	<p>De acordo com Yopez, Alsayyed e Ahmad (2019), a manutenção é uma das áreas com um baixo progresso no sentido da automatização em comparação com outras áreas da indústria. O procedimento de manutenção corretiva depende do conhecimento humano e da decisão, a fim de localizar o componente danificado, repará-lo e reduzir o tempo de parada. O presente trabalho busca desenvolver um sistema baseado no conhecimento disponível que irá integrar um gráfico de precedência de desmontagem com dados de um FMEA de produto para gerar um procedimento de manutenção assistida que guiará os operadores não experientes.</p>

---

Tabela 13 – Artigos mais citados e enfoque - GS.

Nº	Título	Enfoque
1	Aplicação da ferramenta FMEA no processo de manutenção	Este documento abordou a questão da manutenção preventiva em uma empresa distribuidora de energia elétrica com o uso da ferramenta FMEA. Segundo <a href="#">Vieira et al. (2022)</a> , o resultado da aplicação da ferramenta nos processos de manutenção da empresa contribuiu para alimentar e melhorar o plano de manutenção, principalmente no que diz respeito ao plano de manutenção preventiva.
2	Implantação da ferramenta da qualidade FMEA no processo de manutenção de empilhadeiras de 7 toneladas em uma empresa de agenciamento marítimos	Este estudo propõe a Implantação do FMEA no processo de manutenção de empilhadeiras de sete toneladas utilizadas no agenciamento de cargas marítimas internacionais. O objetivo dessa análise será a diminuição das falhas do processo, o aumento da confiabilidade dos equipamentos, o desenvolvimento de ações de manutenção para minimizar a ocorrência e consequência das falhas além de garantir uma maior qualidade dos serviços ( <a href="#">MALHEIRO et al., 2019</a> ).
3	Aplicação de plano de manutenção preventiva em caldeira mista com auxílio da ferramenta FMEA	Este trabalho visou a implementação de um plano de manutenção preventiva, auxiliado pela ferramenta FMEA no setor de caldeiras e secagem de madeira de uma indústria madeireira. A distribuição de Weibull foi utilizada para a análise das falhas ocorridas e criação do cronograma de atividades preventivas. Após seis meses de aplicação do plano de manutenção, foi possível identificar a eficácia da manutenção preventiva com respeito à melhoria na condição dos componentes com o aumento do tempo de disponibilidade ( <a href="#">CASTRO et al., 2022</a> ).
4	Proposta de gerenciamento de manutenção preventiva para instalações de águas pluviais utilizando o FMEA	Este artigo propõe um plano de manutenção preventiva em instalações de águas pluviais de estruturas prediais, tendo como metodologia a utilização da ferramenta FMEA, visando a proteção de equipamentos e itens que estejam contidos no local em questão. Esse artigo aborda a utilização da ferramenta FMEA em um sistema de águas pluviais, de forma a determinar falhas de grandes potenciais, com o objetivo de determinar um plano de tratativas a serem realizadas, sejam elas ações planejadas ou corretivas ( <a href="#">OLIVEIRA, 2019</a> ).
5	Diagnóstico do grau de maturidade do sistema de gestão orientado para a manutenção 4.0	O presente trabalho apresenta uma análise dos métodos para avaliação do grau de maturidade do sistema de gestão da manutenção orientado à manutenção 4.0. O modelo proposto foi construído com base na revisão da literatura sobre o tema, na análise de seus resultados e comparação de modelos de avaliação atualmente aplicados à manutenção industrial. A respeito do FMEA foi constatado que essa ferramenta é utilizada pela manutenção centrada na confiabilidade em sua fase inicial de análise ( <a href="#">GRESSLER et al., 2020</a> ).

<p>6</p> <p>Avaliação do sistema de gestão de qualidade utilizando o MCC-manutenção centrada na confiabilidade na análise de falhas da construção civil</p>	<p>O presente trabalho baseou-se no estudo de ferramentas de gestão da qualidade voltadas a manutenção predial como a manutenção centrada na confiabilidade e FMEA. Assim, foram aplicadas metodologias de análise de falhas para as avarias comuns na construção civil como forma de estudos de caso. <a href="#">Fernandes, Matsuoka e Costa (2018)</a> identificou, que as falhas representam riscos que podem ser quantificados de forma a tornar o tratamento e controle de falhas mais assertivo, contribuindo com a incorporação de técnicas eficientes de manutenção e gestão predial.</p>
<p>7</p> <p>Proposta de aplicação da manutenção centrada na confiabilidade no desenvolvimento do plano estratégico da manutenção: um estudo de caso</p>	<p>O presente artigo realizou um estudo de caso numa Indústria de Rejuntas e Argamassas localizada no município de Teresina –PI, buscando aplicar a metodologia de manutenção centrada na confiabilidade. O uso do FMEA como ferramenta de análise de risco demonstrou que o MCC contribui para o planejamento da gestão estratégica da manutenção de operações e auxilia no processo de tomada de decisão (<a href="#">MOREIRA et al., 2019</a>).</p>
<p>8</p> <p>Gestão da manutenção: metodologias e ferramentas para análises de falhas</p>	<p>Este artigo tem por objetivo apresentar as principais metodologias e ferramentas de resolução participativa e os principais conceitos aplicado a gestão da manutenção por meio de revisão bibliográfica. <a href="#">Figueiredo (2019)</a> apresentou algumas metodologias e ferramentas para que a gestão da manutenção possa melhorar o processo preventivo, a partir do conhecimento das causas de uma falha e posteriormente adotar medidas para reduzir ou evitar o seu aparecimento.</p>
<p>9</p> <p>Aplicação do failure mode and effect analysis na identificação de falhas e quebras de um misturador de reagentes</p>	<p>Este trabalho teve como objetivo identificar os modos de falhas potenciais do misturador de reagentes químicos, bem como suas causas e efeitos. Para isso, foi apresentada toda a metodologia de aplicação do Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), pontuando os potenciais modos de falhas do misturador de reagentes químicos, propondo, assim, soluções de melhoria para este equipamento (<a href="#">FERREIRA; PINEYRUA, 2020</a>).</p>
<p>10</p> <p>Aplicação do FMEA na confiabilidade do processo de manutenção de compressores semi herméticos aplicados a contêineres frigoríficos.</p>	<p>Este trabalho apresenta um estudo da vida útil de compressores em contêineres frigoríficos e sua confiabilidade. O método utilizado para os estudos é o FMEA com uma abordagem sistemática, identificando para onde as ações de manutenção precisam ser direcionadas a fim de reduzir o risco de erros e garantir que as causas de falha sejam corrigidas antecipadamente, além disso aumentar a confiabilidade dos equipamentos, diminuindo gradativamente o numero de manutenções corretivas e aumentando a vida útil dos mesmos (<a href="#">CAMPOS; PEREIRA, 2021</a>).</p>

Após concluir a fase do TEMAC, conforme [Mariano e Rocha \(2017\)](#), tem-se a certeza que esta pesquisa retornou os melhores artigos, dos autores mais citados, nas revistas com maior fator de impacto do mundo, acompanhando as tendências dos estudos sobre o tema estudado, garantindo então a contribuição das melhores linhas de pesquisa e enfoques teóricos a respeito do tema.

## 4 Resultados e Discussão

Após os estudos realizados anteriormente e após aplicar o critério de inclusão, utilizou-se os artigos dos enfoques de pesquisa para realizar a análise crítica. Nesta segunda etapa foram realizadas as inter-relação entre esses trabalhos, onde ficou perceptível nos resultados a mesma tendência ao aplicar FMEA à manutenção, aparecimento de novas abordagens. Serão apresentadas também algumas limitações que ocorreram durante a pesquisa, em relação as bases e metadados selecionados.

### 4.1 Análise Crítica

A base *Web of Science* embora tenha sido a que menos contribuiu em número de artigos para a pesquisa, foi a fonte de melhor aproveitamento. A pesquisa nessa base retornou ótimos resultados que em sua maioria foram aprovados pelo critério de inclusão. Essa base aceita somente trabalhos no idioma inglês, isso contribuiu para a organização e o entendimento dos resultados. Outro ponto positivo foi que todos os trabalhos que foram selecionados para fazer parte do enfoque estavam disponíveis para leitura na íntegra.

Além disso, dentro da pesquisa na WoS em meio aos trabalhos relevantes ao tema foram encontrados também trabalhos interessantes onde o FMEA foi usado na análise e priorização de riscos acerca da segurança ocupacional, por exemplo. Provando ser uma ferramenta versátil que pode ser facilmente aplicada com sucesso nas mais diversas áreas do conhecimento.

A base Scopus seguiu o mesmo caminho da anterior, retornou bons resultados embora com moderada dispersão. O fato da base aceitar outros idiomas além do inglês trouxe trabalhos de diversas origens e alguns deles não puderam ser acessados na íntegra.

É interessante salientar que algumas obras estão entre os artigos mais citados de ambas as bases, como mostra a Figura 31, sendo Peeters, Basten e Tinga (2018) o artigo mais citado em ambas, ou seja, há uma co-relação entre os resultados das pesquisas mostrando que existe um alinhamento semelhante em relação ao tema. O mesmo acontece com alguns autores, os mesmos nomes também aparecem entre as obras mais citadas nas duas bases.

Com relação aos enfoques de pesquisa, ficou perceptível nos resultados, tanto na WoS como na Scopus, a mesma tendência em apresentar o FMEA aplicado ao tema manutenção, mostrado na Figura 31. Em quase todos os artigos essa tendência vem acompanhada de novas abordagens, como: lógica *fuzzy*, *gray relational analysis* (GRA), *fault tree analysis* (FTA) e *quality function deployment* (QFT). O objetivo dessa aplicação in-

tegrada é contornar as desvantagens do FMEA convencional, entre elas: dependente da experiência dos membros da equipe nomeada, dependente da existência de dados para serem analisados e o cálculo do coeficiente da prioridade de risco pode mascarar algumas falhas grandes ou valorizar falhas pequenas devido à forma como é feito esse cálculo.

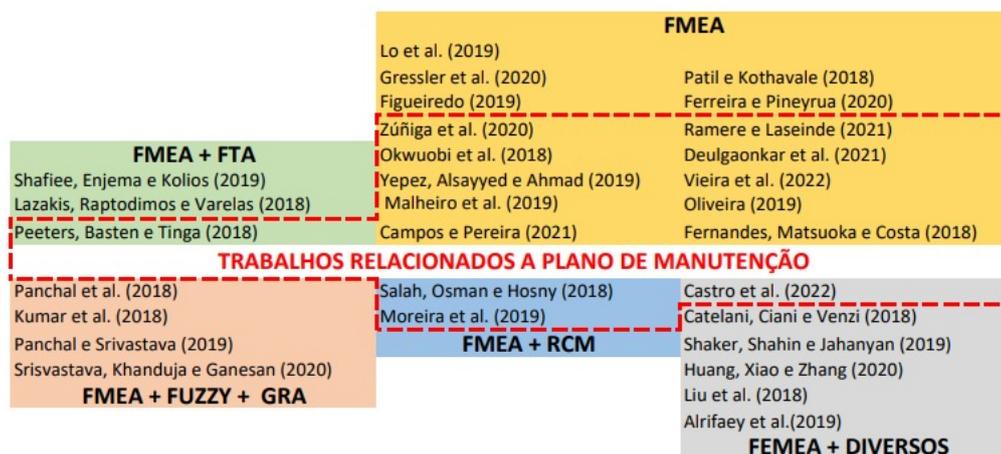


Figura 31 – Enfoques de Pesquisa Relacionados a Plano de Manutenção

Fonte: Autor

Essa tendência demonstra que o estado da arte entre as obras internacionais analisadas nas duas bases está em níveis bem avançados onde a simples aplicação do FMEA convencional não atende as expectativas dos pesquisadores atuais para priorização dos riscos de falha.

Dentre as três bases selecionadas a que mais apresentou dificuldades sem dúvida foi a *Google Scholar*. O fato do acervo da base ser composto pelos mais variados tipos de documentos tornou complicada a seleção de obras relevantes. Ao contrário das duas anteriores, que apresentaram apenas artigos de revistas científicas ou conferências de peso, o GS apresentou, dentre os trabalhos mais citados, livros e muitos trabalhos de conclusão de curso que não foram selecionados para participar do enfoque da pesquisa.

Embora a base GS tenha trazido a maior quantidade de artigos foi a que mais deixou a desejar em relação a qualidade dos trabalhos apresentados. Em muitos resultados as *strings* de pesquisa ("Manutenção" e "FMEA") apareciam apenas nas referências bibliográficas do trabalho, o que causou a inclusão de muitos trabalhos com temática divergente da desejada e tiveram de ser desconsiderados da pesquisa de enfoque.

O objetivo da utilização da GS foi dar espaço para a presença dos trabalhos nacionais na pesquisa deste trabalho e por isso os resultados em idiomas diferentes do português foram desconsiderados nesta base.

Com relação ao tema, o posicionamento positivo dos autores em relação a integração do FMEA com a manutenção foi unânime em todos os trabalhos analisados, como apresentado na Figura 31. Alguns autores se aprofundaram mais, utilizando outras ferramentas juntamente com o FMEA. Sendo alguns dos principais impactos, positivos, dessa combinação:

- Maior suporte e apoio para justificar a tomada de decisões de acordo com a criticidade dos modos de falha a serem atacados;
- Reúne e centraliza o conhecimento a respeito do funcionamento dos sistemas analisados;
- Redução nos custos de operação e manutenção;
- Calcular o risco de cada falha;
- Redução de falhas potenciais em serviço;
- Recomendar ações preventivas para as causas das falhas apontadas;
- Aumento nos tempos de disponibilidade e da confiabilidade.

Embora não tenha sido palavra chave da pesquisa outra *string* bastante presente nos resultados foi "RCM" *Reliability Centered Maintenance*. Isso ocorre porque inevitavelmente ao associar FMEA com manutenção surgem trabalhos voltados para a manutenção centrada na confiabilidade, pois o FMEA é a ferramenta empregada para realizar as análises iniciais durante a implementação da RCM.

## 5 Conclusão

O problema dessa pesquisa foi verificar o potencial uso da ferramenta FMEA aplicado a manutenção. Como resposta, este trabalho propôs realizar uma revisão sistemática para determinar o estado da arte sobre FMEA aplicado na manutenção, utilizando a metodologia TEMAC.

A metodologia, embora complexa, foi capaz de resumir e organizar as fontes de conhecimento mais relevantes ao tema. A partir dele foi possível desenvolver a análise crítica de trinta artigos científicos e entender melhor como o FMEA impacta na estratégia de manutenção e nos complexos sistemas relacionados a engenharia.

Analisando os resultados das pesquisas de enfoque dos artigos selecionados, pode-se perceber que a literatura nacional e a literatura internacional estão em patamares diferentes. Enquanto a vertente estrangeira já analisa alternativas que possam ser aplicadas junto ao FMEA para amenizar suas desvantagens, na vertente nacional pouco se fala de tais alternativas. A tendência é a universalização de tais alternativas entre elas: lógica *fuzzy*, GRA, FTA e QFD. Para que sejam aplicadas de forma integrada ao FMEA trazendo mais segurança no cálculo do RPN, gerando dados mais confiáveis para dar suporte na tomada de decisões por parte da equipe de manutenção responsável.

Dessa maneira, o objetivo principal desse estudo, que era verificar o potencial uso da ferramenta FMEA na construção de planos de manutenção, foi alcançado. Isso pode ser comprovado a partir das análises de *coupling* onde uma das principais frente de pesquisa é do autor Paprocka (2019), que desenvolve uma abordagem voltada para o modelo de planejamento de manutenção e programação de produção. Outro ponto que comprova o potencial uso dessa ferramenta na estratégia de manutenção é o resultado dos enfoques de pesquisa que dentre os trinta melhores artigos, dos autores mais citados, das revistas com maior fator de impacto do mundo, quatorze artigos tratam exclusivamente dessa linha de pesquisa.

Como limitações de pesquisa destacam-se a dificuldade de coletar e organizar os metadados na base de dados *Google Scholar* (GS), pois esses metadados estavam desorganizados e incompatíveis com o software de análise. Com isso, não foi possível identificar as revistas mais relevantes, realizar os gráficos de co-citação e *coupling*. Cabe destacar também que alguns artigos relevantes ao tema, não estavam disponibilizados no GS, necessitando realizar pagamentos para ter acesso ao conteúdo da literatura. Portanto, devido a essas limitações, recomenda-se evitar pesquisas no GS em análises mais sérias.

Tendo em vista o conjunto de conceitos que foram sintetizados durante essa pesquisa, uma evolução deste trabalho poderia ser um teste para verificar a viabilidade dessa

abordagem de manutenção preventiva, com plano de manutenção otimizado, em um estudo de caso real. Além do mais, esse trabalho mostrou que a aplicação do FMEA é condizente com a importância da manutenção centrada na confiabilidade. Logo, espera-se, para trabalhos futuros, a aplicação desses dois elementos em projetos na área acadêmica, de empreendedorismo ou industrial.

# Referências

- ABNT. *Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade*. Rio de Janeiro, 1994. Citado na página 17.
- ABRAMAN, A. B. de Manutenção e Gestão de A. *Situação da Manutenção no Brasil - Documento Nacional*. Rio de Janeiro - RJ, 2019. Disponível em: <<https://www.congressonacional.leg.br/materias/medidas-provisorias/-/mpv/133866>>. Citado na página 16.
- AGUDELO, M. L. *Modelo multicritério para priorização de modos de falha em plantas industriais usando manutenção centrada em confiabilidade*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Pernambuco, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.
- ALAMRI, T. O.; MO, J. Optimisation of preventive maintenance regime based on failure mode system modelling considering reliability. *Arabian Journal for Science and Engineering*, Springer, p. 1–23, 2022. Citado na página 15.
- ALMEIDA, P. S. D. *Manutenção Mecânica Industrial—Conceitos Básicos e Tecnologia Aplicada*. [S.l.]: Saraiva Educação SA, 2018. Citado na página 22.
- ALRIFAEY, M. et al. Identification and prioritization of risk factors in an electrical generator based on the hybrid fmea framework. *Energies*, MDPI, v. 12, n. 4, p. 649, 2019. Citado na página 61.
- ALÉXIA, F. *Manutenção Preditiva: o que é e como usar essa técnica industrial?* 2018. Disponível em: <<https://www.voitto.com.br/blog/artigo/manutencao-preditiva>>. Citado na página 22.
- BASTOS, A. Fmea (failure mode and effect analysis) como ferramenta de prevenção da qualidade em produtos e processos—uma avaliação da aplicação em um processo produtivo de usinagem de engrenagem. *XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção*. Fortaleza, 2006. Citado na página 27.
- BIOLCHINI, J. et al. Uma revisão sistemática sobre as iniciativas realizadas no ensino de arquitetura de software. relatório técnico. *COPPE UFRJ, RT-ES 679/05*, 2005. Disponível em: <<https://www.cos.ufrj.br/uploadfile/es67905.pdf>>. Citado na página 36.
- BRISTOT, V. M. Estudo para implementação de sistema de gestão de manutenção em indústrias de conformação de revestimentos cerâmicos. 2012. Citado na página 24.
- CABRITA, G. A manutenção na indústria automotiva. *Revista Manutenção*, p. 20–26, 2002. Citado na página 26.
- CAMPOS, A. C. D. C. S.; PEREIRA, G. S. Título: Aplicação do fmea na confiabilidade do processo de manutenção de compressores semi herméticos aplicados a contêineres frigoríficos. 2021. Citado na página 64.
- CASTRO, O. V. T. d. et al. Aplicação de plano de manutenção preventiva em caldeira mista com auxílio da ferramenta fmea. Joinville, SC, 2022. Citado na página 63.

- CATELANI, M.; CIANI, L.; VENZI, M. Failure modes, mechanisms and effect analysis on temperature redundant sensor stage. *Reliability Engineering & System Safety*, Elsevier, v. 180, p. 425–433, 2018. Citado na página 58.
- COBO, M. J. et al. Scimat: A new science mapping analysis software tool. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, Wiley Online Library, v. 63, n. 8, p. 1609–1630, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 54.
- CORDEIRO, E. *RCM: função estratégica na manutenção*. 2022. Disponível em: <<https://www.revistamanutencao.com.br/literatura/tecnica/confiabilidade/rcm-funcao-estrategica-na-manutencao.html>>. Citado na página 14.
- CRUZ, R. G.; CORREA, P. R. El meta análisis como instrumento de investigación en la determinación y análisis del objeto de estudio. *XVI Encuentro de Profesores Universitarios de Marketing (2004)*, p 1-16, 2004. Citado na página 42.
- DAILEY, K. W. *The FMEA Pocket Handbook: Failure Mode and Effects Analysis*. [S.l.]: DW Publishing, 2004. Citado na página 30.
- DEULGAONKAR, V. R. et al. Failure analysis of diesel engine piston in transport utility vehicles. *Engineering Failure Analysis*, Elsevier, v. 120, p. 105008, 2021. Citado na página 62.
- FERNANDES, C. E. N.; MATSUOKA, J. V.; COSTA, E. S. Avaliação do sistema de gestão de qualidade utilizando o mcc–manutenção centrada na confiabilidade na análise de falhas da construção civil. *Revista Getec*, v. 7, n. 19, 2018. Citado na página 64.
- FERREIRA, C. V. M.; PINEYRUA, D. G. F. Aplicação do failure mode and effect analysis na identificação de falhas e quebras de um misturador de reagentes químicos. *O PAPEL*, v. 81, n. 03, p. 84–89, 2020. Citado na página 64.
- FIGUEIREDO, D. L. de. *Gestão da manutenção: Metodologias e ferramentas para análises de falhas*. 2019. Citado na página 64.
- FILHO, G. B. *A Organização, o planejamento eo controle da manutenção*. [S.l.]: Ciência Moderna, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 26.
- FOGLIATO, F.; RIBEIRO, J. L. D. *Confiabilidade e manutenção industrial*. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2009. Citado na página 29.
- GONCALVES, G.; GONCALVES, L. W. N.; CARVALHO, C. P. d. Gestão da manutenção de forma estratégica em uma empresa metal-mecânica. *XXXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUCAO*, 2017. Citado na página 25.
- GREGÓRIO, G.; SANTOS, D.; PRATA, A. Engenharia de manutenção. *Porto Alegre: SAGAH*, 2018. Citado na página 32.
- GREGÓRIO, G. F. P.; SILVEIRA, A. M. da. *Manutenção Industrial*. [S.l.]: Grupo A, 2018. Citado na página 22.
- GRESSLER, F. et al. Diagnóstico do grau de maturidade do sistema de gestão orientado para a manutenção 4.0. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 3, p. 14951–14978, 2020. Citado na página 63.

- GUEDES, V. L.; BORSCHIVER, S. Bibliometria: uma ferramenta estatística para a gestão da informação e do conhecimento, em sistemas de informação, de comunicação e de avaliação científica e tecnológica. *Encontro Nacional de Ciência da Informação*, v. 6, n. 1, p. 18, 2005. Citado 5 vezes nas páginas 42, 46, 51, 54 e 56.
- GUSMÃO, C. A. de. Índices de desempenho da manutenção: Um enfoque prático. *Revista Mantener*, n. 4, p. 13–17, 2001. Citado na página 20.
- HUANG, G.; XIAO, L.; ZHANG, G. Improved failure mode and effect analysis with interval-valued intuitionistic fuzzy rough number theory. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Elsevier, v. 95, p. 103856, 2020. Citado na página 59.
- JUNIOR, J.; RIBEIRO, M. V.; FRANCO, B. C. Custo de manutenção de ativos numa óptica operacional e estratégica no ambiente industrial. *XII SEGET (Simpósio De Excelência Em Gestão E Tecnologia)*, 2015. Citado na página 26.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. *Manutenção-função estratégica*. [S.l.]: Qualitymark Editora Ltda, 2001. Citado 7 vezes nas páginas 14, 18, 20, 21, 23, 24 e 25.
- KUMAR, A. M. et al. Fuzzy based risk prioritisation in an auto lpg dispensing station. *Safety science*, Elsevier, v. 101, p. 231–247, 2018. Citado na página 59.
- LAFRAIA, J. R. B. *Manual De Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade*. [S.l.]: Qualitymark Editora Ltda, 2001. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.
- LAZAKIS, I.; RAPTODIMOS, Y.; VARELAS, T. Predicting ship machinery system condition through analytical reliability tools and artificial neural networks. *Ocean Engineering*, Elsevier, v. 152, p. 404–415, 2018. Citado na página 60.
- LETA, J. Indicadores de desempenho, ciência brasileira e a cobertura das bases informacionais. *Revista USP*, n. 89, p. 62–77, 2011. Citado na página 44.
- LIU, H.-C. et al. Failure mode and effects analysis using two-dimensional uncertain linguistic variables and alternative queuing method. *IEEE Transactions on Reliability*, IEEE, v. 68, n. 2, p. 554–565, 2018. Citado na página 60.
- LO, H.-W. et al. A novel failure mode and effect analysis model for machine tool risk analysis. *Reliability Engineering & System Safety*, Elsevier, v. 183, p. 173–183, 2019. Citado na página 58.
- LOPES, J. I. Metodologia de gerência de riscos na operação e manutenção de transformadores de potência. Universidade Federal de Minas Gerais, 2010. Citado na página 24.
- MALHEIRO, M. et al. Implantação da ferramenta da qualidade fmea no processo de manutenção de empilhadeiras de 7 toneladas em uma empresa de agenciamento marítimos. *Revista Técnico Científica do IFSC*, v. 1, n. 8, p. 50–50, 2019. Citado na página 63.
- MARCORIN, W. R.; LIMA, C. R. C. Análise dos custos de manutenção e de não-manutenção de equipamentos produtivos. *Revista de ciência & tecnologia*, v. 11, n. 22, p. 35–42, 2003. Citado na página 26.

- MARIANO, A. 10 anos de logística e transporte: Aplicação da teoria do enfoque meta analítico consolidado. CONGREPRO Brasileiro de Engenharia de Produção - Ponta Grossa, PR, 2017. Citado na página 38.
- MARIANO, A. M.; MAGALDI, B. B.; SANTOS, M. R. Gestão da cadeia de suprimentos: o que há de novo nos últimos 10 anos? Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, Ponta Grossa, PR, 2017. Citado na página 37.
- MARIANO, A. M.; ROCHA, M. S. Revisão da literatura: apresentação de uma abordagem integradora. In: *AEDEM International Conference*. [S.l.: s.n.], 2017. v. 18, p. 427–442. Citado 6 vezes nas páginas 14, 37, 38, 40, 46 e 65.
- MÁRQUEZ, A. C. et al. The maintenance management framework: A practical view to maintenance management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Emerald Group Publishing Limited, 2009. Citado na página 27.
- MARSHAKOVA, I. Citation networks in information science. *Scientometrics*, Akadémiai Kiadó, co-published with Springer Science+ Business Media BV . . . , v. 3, n. 1, p. 13–25, 1981. Citado na página 51.
- MARTINS, A. C. M.; SILVA, L. K. *Revisão sistemática da antibioticoprofilaxia em cesarianas*. Dissertação (Mestrado) — Fundação Oswaldo Cruz. Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca., Rio de Janeiro, RJ, Brasil, s.n 146p, 2003. Disponível em: <<https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/5031>>. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 36.
- MORAIS, J. M. O. et al. Análise e otimização da gestão da manutenção em uma empresa do setor de transporte urbano do interior potiguar. *Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, v. 21, 2011. Citado na página 25.
- MOREIRA, T. B. et al. Proposta de aplicação da manutenção centrada na confiabilidade no desenvolvimento do plano estratégico da manutenção: um estudo de caso. *Brazilian Journal of Business*, v. 1, n. 3, p. 842–856, 2019. Citado na página 64.
- MORENGHI, L. C. R. *Proposta de um sistema integrado de monitoramento para manutenção*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2005. Citado na página 23.
- MOUBRAY, J. *Reliability-centered maintenance*. [S.l.]: Industrial Press Inc., 2001. Citado 4 vezes nas páginas 24, 33, 34 e 35.
- MURTY, A.; NAIKAN, V. Availability and maintenance cost optimization of a production plant. *International Journal of Quality & Reliability Management*, MCB UP Ltd, 1995. Citado na página 26.
- NAKAGAWA, E. *Revisão Sistemática da Literatura em Engenharia de Software*. 5.ed, Porto Alegre: Grupo GEN, 2017. ISBN 9788595152465. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595152465/>>. Citado 2 vezes nas páginas 37 e 55.
- NASCIMENTO, J. C. R. d. Plano de manutenção baseada nos preceitos da manutenção centrada em confiabilidade em um processo de produção de refrigerantes. 2014. Citado na página 81.

- OKWUOBI, S. et al. A reliability-centered maintenance study for an individual section-forming machine. *Machines*, MDPI, v. 6, n. 4, p. 50, 2018. Citado na página 62.
- OLIVEIRA, G. B. Proposta de gerenciamento de manutenção preventiva para instalações de águas pluviais utilizando o fmea. *Boletim do Gerenciamento*, v. 10, n. 10, p. 54–61, 2019. Citado na página 63.
- OLIVEIRA, R. P. B. et al. Um modelo de degradação bayesiano com aplicações para manutenção e determinação de garantia. *Anais do XLII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, 2010. Citado na página 22.
- OTANI, M.; MACHADO, W. V. A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial. *Revista Gestão Industrial*, v. 4, n. 2, p. 1–16, 2008. Citado na página 22.
- PALADY, P. *FMEA: Análise dos Modos de Falha e Efeitos: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram*. [S.l.]: Imam, 2004. Citado 3 vezes nas páginas 16, 27 e 30.
- PANCHAL, D. et al. Risk analysis for clean and sustainable production in a urea fertilizer industry. *International Journal of Quality & Reliability Management*, Emerald Publishing Limited, 2018. Citado na página 59.
- PANCHAL, D.; SRIVASTAVA, P. Qualitative analysis of cng dispensing system using fuzzy fmea–gra integrated approach. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, Springer, v. 10, n. 1, p. 44–56, 2019. Citado na página 59.
- PATIL, R.; KOTHAVALA, B. Failure modes and effects analysis (fmea) of computerized numerical control (cnc) turning center. *Int. Rev. Mech. Eng*, v. 12, p. 78–87, 2018. Citado na página 61.
- PATRICIO, R. P. Adequação do fmea para gerenciamento de riscos em obra de infraestrutura, após a aplicação da análise preliminar de risco na execução de muro de gabião. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013. Citado 4 vezes nas páginas 28, 30, 31 e 32.
- PEETERS, J.; BASTEN, R. J.; TINGA, T. Improving failure analysis efficiency by combining fta and fmea in a recursive manner. *Reliability engineering & system safety*, Elsevier, v. 172, p. 36–44, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 58 e 66.
- PELLICCIONE, A.; SMITH, J.; PARKER, K. The maintenance function, like manufacturing itself, is a rapidly changing environment: Facilities on average outsource more than 20% of maintenance operations. *Plant Engineering*, CFE Media LLC, v. 75, n. 5, p. 7–13, 2021. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 16.
- PILON, J. A. Manutenção preventiva sistemática de pneus em uma empresa de transporte público na cidade de vitória-es. *São Paulo: XIV Simpósio de Engenharia de Produção*, 2007. Citado na página 18.
- RAMERE, M. D.; LASEINDE, O. T. Optimization of condition-based maintenance strategy prediction for aging automotive industrial equipment using fmea. *Procedia Computer Science*, Elsevier, v. 180, p. 229–238, 2021. Citado na página 60.

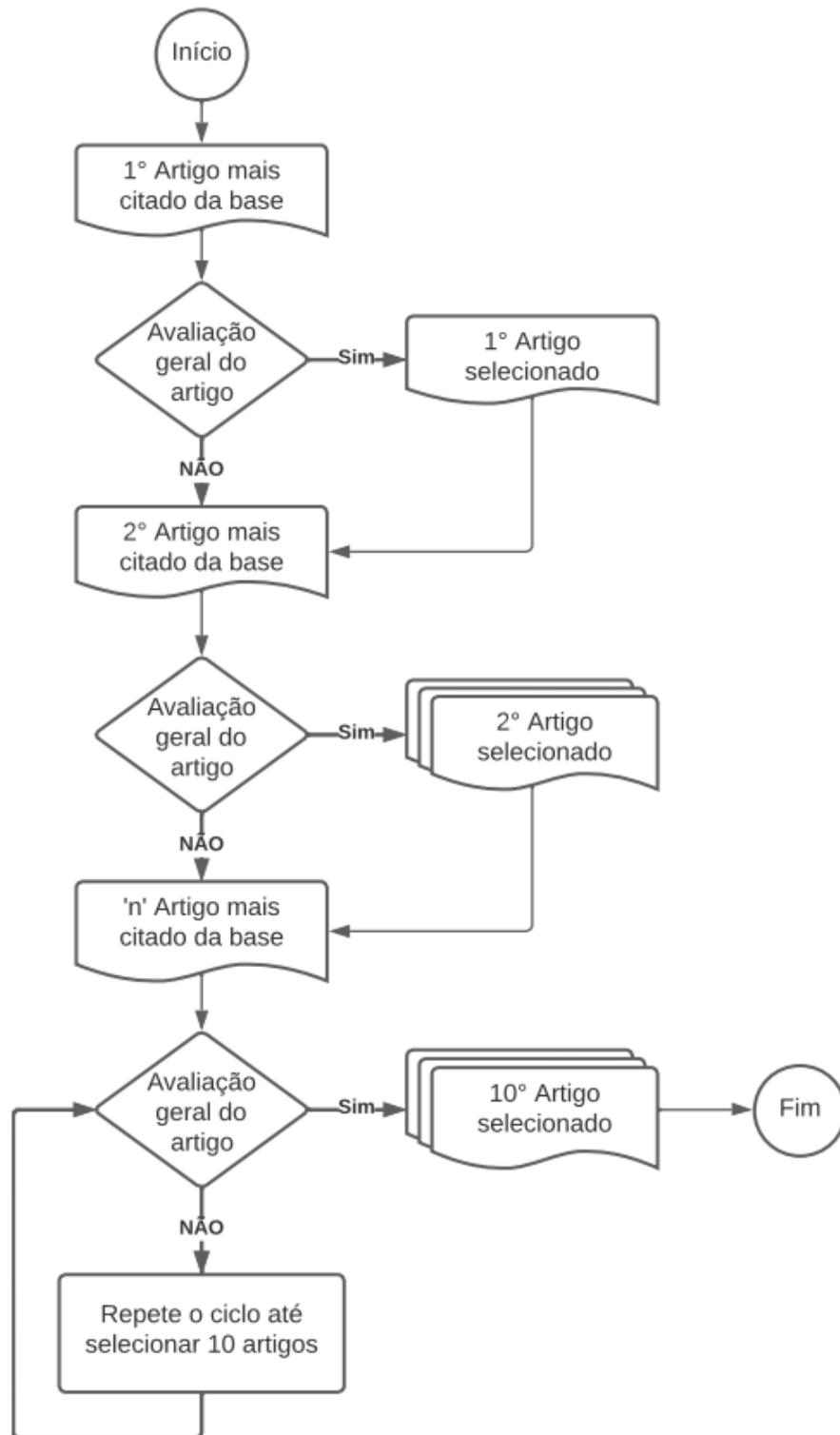
- RAPOSO, J. L. O. Manutenção centrada em confiabilidade aplicada a sistemas elétricos: uma proposta para uso de análise de risco no diagrama de decisão. *Universidade Federal da Bahia*, 2004. Citado 4 vezes nas páginas 33, 34, 35 e 36.
- SALAH, M.; OSMAN, H.; HOSNY, O. Performance-based reliability-centered maintenance planning for hospital facilities. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, American Society of Civil Engineers, v. 32, n. 1, p. 04017113, 2018. Citado na página 61.
- SALGADO, M. d. F. P. Aplicação de técnicas de otimização à engenharia de confiabilidade. Universidade Federal de Minas Gerais, 2008. Citado na página 20.
- SHAFIEE, M.; ENJEMA, E.; KOLIOS, A. An integrated fta-fmea model for risk analysis of engineering systems: a case study of subsea blowout preventers. *Applied Sciences*, MDPI, v. 9, n. 6, p. 1192, 2019. Citado na página 59.
- SHAKER, F.; SHAHIN, A.; JAHANYAN, S. Developing a two-phase qfd for improving fmea: an integrative approach. *International journal of quality & reliability management*, Emerald Publishing Limited, 2019. Citado na página 59.
- SOURIS, J.-P.; BATISTA, E. *Manutenção industrial: custo ou benefício*. [S.l.]: Lidel, 1992. Citado na página 25.
- SOUZA, L. B. d. *O Mercado Automotivo do Grande Recife: análise atual de perspectivas*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, PE, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 36.
- SRIVASTAVA, P.; KHANDUJA, D.; GANESAN, S. Fuzzy methodology application for risk analysis of mechanical system in process industry. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, Springer, v. 11, n. 2, p. 297–312, 2020. Citado na página 62.
- STAMATIS, D. H. *Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution*. [S.l.]: Quality Press, 2003. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 28.
- TAVARES, L. A. Administração moderna da manutenção. *Rio de Janeiro: Novo Polo*, 1999. Citado na página 24.
- TELES, J. *FMEA: O que é e como fazer*. [S.l.]: Engeteles, 2017. Citado na página 30.
- VIEIRA, R. C. da C. et al. Aplicação da ferramenta fmea no processo de manutenção. *Brazilian Journal of Development*, v. 8, n. 6, p. 44026–44041, 2022. Citado na página 63.
- VOGEL, R.; GÜTTEL, W. H. The dynamic capability view in strategic management: A bibliometric review. *International Journal of Management Reviews*, Wiley Online Library, v. 15, n. 4, p. 426–446, 2013. Citado na página 54.
- WILLIAMS, J. H.; DAVIES, A.; DRAKE, P. R. *Condição de manutenção e diagnóstico de máquina*. [S.l.]: Springer Science and Business Media, 1994. Citado na página 25.
- WYRELSKI, J. et al. Manutenção produtiva total-um modelo adaptado. 1997. Citado na página 18.

YEPEZ, P.; ALSAYYED, B.; AHMAD, R. Intelligent assisted maintenance plan generation for corrective maintenance. *Manufacturing Letters*, Elsevier, v. 21, p. 7–11, 2019. Citado na página 62.

ZÚÑIGA, A. A. et al. Classical failure modes and effects analysis in the context of smart grid cyber-physical systems. *Energies*, MDPI, v. 13, n. 5, p. 1215, 2020. Citado na página 61.

# Apêndices

# APÊNDICE A – Critério de Inclusão



Fonte: Autor.

# Anexos

## ANEXO A – Exemplo de Plano de Manutenção

Conjunto	Subconjunto	MODO POTENCIAL DA FALHA	R	COMO PREVENIR A FALHA	PLANO DE MANUTENÇÃO PROPOSTO				
					TIPO DE MANUTENÇÃO	TAREFA	FREQUÊNCIA	RESPONSÁVEL	AÇÃO RECOMENDADA
Rinser	Correias	Desgaste/rompimento	60	Manter o alinhamento da correia /Manter limpo ambiente/tensão adequada	Preventiva - Substituição programada	Manutenção preventiva: Troca das correias a cada 2 anos	2 anos	Téc. Manutenção mecânica	
	Cabeamento elétrico	Queima / perda de sinal / energia / Ruptura da isolamento / quebra dos condutores ou conectores	144	Garantir limpeza	Preditiva - Substituição baseada na condição	Inspeção de rota elétrica: Inspeção visual, termográfica e reaperto dos terminais	1 ano	Eletromecânico	
	Vedações	Vazamento	200	Manter a lubrificação e as pressões recomendadas	Preventiva - Substituição programada	Manutenção preventiva: Substituição a cada 2 anos	2 anos	Técnico de manutenção mecânica	
Enchedora	Roletes	Garfo não trava/garfo não abre	136,5	Nada	Preventiva - Recuperação programada	Manutenção preventiva: Verificação da condição geral e recuperação/troca se houver necessidade	1 ano	Técnico de manutenção mecânica	
	Rosca sem-fim	Desalinhamento e folga	126	Evitar contato com sanitizante, manter manutenções periódicas	Preventiva - Recuperação programada	Manutenção preventiva: Preventiva a cada 6 meses	6 meses	Técnico de manutenção mecânica	Melhoria-substituída por uma régua de transferência.
	Garfos	Garfo torto, desalinhado	120	Operação adequada	Preventiva - Recuperação programada	Manutenção preventiva: Verificação da condição geral e recuperação/troca se houver necessidade	3 anos	Técnico de manutenção mecânica	
	Vedações	Vazamento de fluidos	320	Manter lubrificado/garantir material adequado	Preventiva - Substituição programada	Manutenção preventiva: Substituição anual	1 ano	Técnico de manutenção mecânica	

Fonte: Adaptado de Nascimento (2014).