



**FATORES QUE INFLUENCIAM A ANÁLISE DE CONFIABILIDADE
HUMANA NA EXECUÇÃO DE TAREFAS DE MANUTENÇÃO**

GUILHERME RODRIGUES SILVA DE CARVALHO

**PROJETO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**FACTORS THAT INFLUENCE AN ANALYSIS OF HUMAN
RELIABILITY IN THE EXECUTION OF MAINTENANCE TASKS**

**FATORES QUE INFLUENCIAM A ANÁLISE DE CONFIABILIDADE
HUMANA NA EXECUÇÃO DE TAREFAS DE MANUTENÇÃO**

GUILHERME RODRIGUES SILVA DE CARVALHO

ORIENTADORA: VIVIANE V. F. GRUBISIC

**PROJETO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
DE PRODUÇÃO**

PUBLICAÇÃO: EPR-001/21

BRASÍLIA/DF: MAIO - 2021

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**FATORES QUE INFLUENCIAM A ANÁLISE DE CONFIABILIDADE
HUMANA NA EXECUÇÃO DE TAREFAS DE MANUTENÇÃO**

GUILHERME RODRIGUES SILVA DE CARVALHO

**PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO
PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHARELADO.**

APROVADA POR:

**Prof. Viviane Grubisic – EPR/Universidade de Brasília
Orientadora**

**Prof. Ari Melo Mariano – EPR/Universidade de Brasília
Membro Interno**

**Prof. João Mello da Silva – EPR/Universidade de Brasília
Membro Interno**

BRASÍLIA, 21 DE MAIO DE 2021.

FICHA CATALOGRÁFICA

CARVALHO, GUILHERME

Fatores que influenciam a análise de confiabilidade humana na execução de tarefas de manutenção [Distrito Federal] 2021.

xii, 63p., 210 x 297 mm (EPR/FT/UnB, Bacharelado, Engenharia de Produção, 2021).

Projeto de Graduação – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia de Produção

1. Manutenção

3. Identificação de fatores

I. EPR/FT/UnB

2. Confiabilidade Humana

4. TEMAC

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CARVALHO, G. (2021). Fatores que influenciam a análise de confiabilidade humana na execução de tarefas de manutenção . Projeto de Graduação em Engenharia de Produção, Publicação EPR-001/21, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 63p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Guilherme Rodrigues Silva de Carvalho

TÍTULO: Fatores que influenciam a análise de confiabilidade humana na execução de tarefas de manutenção .

GRAU: Bacharelado ANO: 2021

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta projeto de graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa projeto de graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Guilherme Rodrigues Silva de Carvalho

Departamento de Engenharia de Produção (EPR) - FT

Universidade de Brasília (UnB)

Campus Darcy Ribeiro

CEP 70919-970 - Brasília - DF - Brasil

*À memória de meu avô Walter, que
sempre incentivou minha educação
desde os primórdios da minha vida*

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, meu tio minha avó e minha irmã, que sempre proporcionaram apoio, conforto e estrutura em toda a minha caminhada acadêmica. Vocês sempre serão os pilares de todas as conquistas da minha vida.

Ao meus amigos e namorada, por estarem sempre presentes, de forma física ou virtual, durante essa longa caminhada de graduação, especialmente durante a escrita deste projeto de graduação. Os momentos de descontração com vocês proporcionam leveza para o dia-a-dia, ao passo que as conversas sérias proporcionam muitos conhecimentos que auxiliaram na elaboração deste trabalho.

À toda comunidade acadêmica da Universidade de Brasília, em especial os professores do curso de Engenharia de Produção. Formular aulas, manter alunos motivados e transmitir conteúdo de forma didática é uma tarefa hercúlea e digna de agradecimentos sempre que possível.

À banca examinadora, composta pelos professores Ari Melo Mariano e João Mello, por disponibilizarem seu precioso tempo de final de semestre para avaliarem este trabalho.

Por fim, agradeço imensamente à minha orientadora Prof^ª Viviane Grubisic, primeiramente por ter aceitado me orientar nesta etapa finalizadora da graduação e por todas as correções, sugestões e avaliações deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho apresenta os fatores que influenciam a análise de confiabilidade humana na execução de tarefas de manutenção. O objetivo é identificar e analisar os fatores que influenciam a confiabilidade humana na manutenção. Conceitos de manutenção e confiabilidade humana são apresentados de forma a embasar teoricamente o trabalho. Também realizou-se uma análise bibliométrica acerca de confiabilidade humana utilizando-se o método TEMAC, de forma a se avaliar o estado das pesquisas acerca do tema à nível mundial. A identificação dos principais dos fatores que influenciam a análise de confiabilidade humana na execução de tarefas de manutenção resultou nos seguintes elementos: (i) Nível de estresse; (ii) Complexidade; (iii) Tempo disponível para realização da tarefa; (iv) Processos de trabalho; (v) Experiência e treinamento; (vi) Procedimentos; e (vii) Ergonomia e Interface Homem-Máquina. Tais fatores visam proporcionar um instrumento de auxílio para direcionamento de quais elementos devem ser analisados dentro de um ambiente de manutenção, de forma a se diminuir o índice de erros nas atividades de manutenção, aumentando assim a confiabilidade geral do sistema.

Palavras-chave: Manutenção, Confiabilidade Humana, Identificação de fatores, TEMAC.

ABSTRACT

This work presents the factors that influence an analysis of human reliability in the execution of maintenance tasks. The objective is to identify and analyze the factors that influence human reliability. Concepts of maintenance and human reliability are presented in order to theoretically base the work. A bibliometric analysis of human reliability was also carried out using the TEMAC method, in order to assess the worldwide state of research on the topic. The identification of the factors resulted in the following elements: (i) Level of stress; (ii) Complexity; (iii) Time available to perform the task; (iv) Work processes; (v) Experience and training; (vi) Procedures; and (vii) Ergonomics and Human-Machine Interface. Such factors aim to provide an aid instrument for directing which elements should be analyzed within a maintenance environment, in order to reduce the error rate in maintenance activities, thus increasing the overall reliability of the system.

Keywords: Maintenance, Human Reliability, Factors identification, TEMAC.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVO GERAL	2
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.3	LIMITAÇÕES DE PESQUISA	3
1.4	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	3
2	MANUTENÇÃO	4
2.1	MANTENABILIDADE, CONFIABILIDADE E DISPONIBILIDADE	4
2.2	GERAÇÕES DA MANUTENÇÃO	7
2.3	MANUTENÇÃO CORRETIVA	13
2.4	MANUTENÇÃO PREVENTIVA	14
2.5	MANUTENÇÃO PREDITIVA	16
2.6	MANUTENÇÃO DETECTIVA	17
2.7	MANUTENÇÃO PRESCRITIVA	18
2.8	CONFIABILIDADE HUMANA	19
2.9	CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO	22
3	APLICAÇÃO DA TEORIA DO ENFOQUE META ANALÍTICO CONSOLIDADO	23
3.1	PREPARAÇÃO DA PESQUISA	23
3.1.1	VALIDAÇÃO DAS PALAVRAS-CHAVE	27
3.1.1.1	NUVEM DE PALAVRAS	28
3.1.1.2	ANÁLISE DE SIMILITUDE	28
3.2	APRESENTAÇÃO E INTER-RELAÇÃO DOS DADOS	30
3.2.1	ANÁLISE DE PALAVRAS-CHAVE	30
3.2.2	REVISTAS MAIS RELEVANTES E QUE MAIS PUBLICAM SOBRE O TEMA	31
3.2.3	EVOLUÇÃO DO TEMA ANO A ANO	33
3.2.4	AUTORES E ARTIGOS MAIS CITADOS	34
3.2.5	AGÊNCIAS FINANCIADORAS	37
3.3	CONFERÊNCIAS E ENCONTROS	38
3.3.1	PAÍSES QUE MAIS PUBLICAM	40
3.4	DETALHAMENTO, MODELO INTEGRADOR E VALIDAÇÃO POR EVIDÊNCIAS	41
3.4.1	CO-CITAÇÃO	41
3.4.2	<i>Coupling</i>	42
3.5	CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO	43

4	METODOLOGIA	45
4.1	LOCAL DE ESTUDO	46
4.2	INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS	47
4.3	PROCEDIMENTOS	47
4.4	RESULTADOS	48
5	CONFIABILIDADE HUMANA RELACIONADA À TAREFAS DE MA- NUTENÇÃO	49
5.1	THERP	49
5.2	CBDT	50
5.3	HEART E NARA	51
5.4	SPAR-H	52
5.5	FATORES QUE INFLUENCIAM A CONFIABILIDADE HUMANA RELACIONADA À TAREFAS DE MANUTENÇÃO	54
5.5.1	NÍVEL DE ESTRESSE	54
5.5.2	COMPLEXIDADE	55
5.5.3	TEMPO DISPONÍVEL PARA REALIZAÇÃO DA TAREFA	55
5.5.4	PROCESSOS DE TRABALHO	56
5.5.5	EXPERIÊNCIA E TREINAMENTO	56
5.5.6	PROCEDIMENTOS	56
5.5.7	ERGONOMIA E INTERFACE HOMEM-MÁQUINA	56
5.6	CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO	57
6	CONCLUSÕES	58
	REFERENCES	58

LISTA DE FIGURAS

2.1	Confiabilidade x Custos.....	5
2.2	Curva PF.....	7
2.3	Mudança de visão nos tipos de falha ao longo das gerações	8
2.4	Perfis de falha atuais	9
2.5	Evolução da Manutenção (1ª a 3ª Geração)	11
2.6	Evolução da Manutenção (4ª a 6ª Geração)	12
2.7	Efeitos da Manutenção Corretiva Não-Planejada no desempenho do equipamento	14
2.8	Custo ótimo do plano de manutenção preventiva	16
2.9	Categorização de Modelos de HRA de acordo com suas características.	21
3.1	Etapas do modelo TEMAC	23
3.2	Resultados de pesquisa de palavras-chave dentro do WoS.	25
3.3	Áreas de pesquisa	25
3.4	Áreas de pesquisa pós-filtro.....	26
3.5	Categorias com mais resultados no <i>Web of Science</i>	27
3.6	Exemplo de estruturação dos textos dentro do <i>corpus</i> textual	27
3.7	Nuvem de palavras	28
3.8	Análise de Similitude.....	29
3.9	Associação de palavras-chave.	31
3.10	Revistas que mais publicam.....	32
3.11	Fator de impacto das Revistas que mais publicam	32
3.12	Número de publicações por ano.....	33
3.13	Número de citações por ano.....	34
3.14	Mapa de calor dos principais autores e seus artigos.....	36
3.15	Mapa de calor dos países com maior número de citações	40
3.16	Mapa de calor de co-citação	41
3.17	Mapa de calor de <i>Coupling</i>	42
4.1	Categorização de Modelos de HRA de acordo com suas características.	46
4.2	Modelo Preliminar de Integração das Áreas de Pesquisa	47
5.1	Fatores que influenciam a análise de confiabilidade humana na manutenção....	54

LISTA DE QUADROS

3.1	10 artigos mais citados	35
3.2	Agências financiadoras.....	37
3.3	Conferências e Encontros	39
5.1	Forças e fraquezas da THERP.	50
5.2	Forças e fraquezas da CBDT	51
5.3	Forças e fraquezas do modelo HEART.....	52
5.4	Forças e fraquezas do SPAR-H.....	53

LISTA DE ACRÔNIMOS E ABREVIACÕES

ABEPRO	Associação Brasileira de Engenharia de Produção. 26
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. 38
CBDT	<i>Cause-Based Decision Tree</i> . 49–51
CNPQ	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. 38
CREAM	<i>Cognitive Reliability and Error Analysis Method</i> . 40, 42
HEART	<i>Human Error Assessment and Reduction Technique</i> . 49, 51, 52
HRA	<i>Human Reliability Analysis</i> . 20, 21, 36
IoT	<i>Internet of Things</i> . 43
IraMuTeQ	<i>Interface de R pour les Analyses Multidimensionnelles de Textes et de Questionnaires</i> . 27, 45
NARA	<i>Nuclear Action Reliability Assessment</i> . 49, 52
ROA	Retorno sobre os Ativos. 10
ROI	Retorno sobre os Investimentos. 10
SPAR-H	<i>Standardized Plant Analysis Risk-Human Reliability Analysis</i> . 49, 52, 53, 55
TEMAC	Teoria do Enfoque Meta Analítico Consolidado. i, x, 2, 3, 23, 30, 41, 43, 45, 47, 58
THERP	<i>Technique for Human Error Rate Prediction</i> . 40, 49–51
WoS	<i>Web of Science</i> . x, 24–27, 30, 31, 47

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo será introduzido uma contextualização sobre o o tema proposto no presente trabalho, objetivo e estrutura do trabalho

Confiabilidade, disponibilidade e custos associados a manutenção sempre foram pontos focais dentro do estudo da manutenção (MOUBRAY, 1999; DHILLON, 2002). Porém, mais recentemente, o impacto do fator humano vem se tornando um dos objetos de estudo, motivado pelas alta estatística de falhas e acidentes provenientes de erros humanos dentro de indústrias nucleares, petroquímicas, de aviação, marítimas, entre outras (FRENCH et al., 2011).

De acordo com Okoh e Haugen (2014), após uma revisão de uma gama de 183 acidentes químicos, chegou-se a conclusão que 80 destes (44%) são relacionados a atividades de manutenção. Hale et al. (1998), concluíram que de 30% a 40% dos acidentes graves em indústrias químicas são relacionados a manutenção e, dentro deste espectro, 76% são ocasionados durante o processo de manutenção em si, demonstrando a relação intrínseca entre atividades de manutenção e segurança no contexto industrial.

Dentro do contexto de manutenção, Dhillon (2014) apresenta uma gama de erros, tais quais instalações de componentes de maneira errada, uso incorreto ou falta de uso de lubrificantes, fluídos e graxas em equipamentos que necessitam destes, entre outros, que são provenientes diretamente da ação humana.

Por se tratar de uma parte inerente de qualquer operação, a atividade humana pode ser analisada como um componente do processo e com isto sua confiabilidade pode ser aferida (FRENCH et al., 2011).

O impacto do fator humano recebe o nome de análise da confiabilidade humana, possuindo como objetivo a identificação, análise e mitigação ou prevenção dos erros humanos dentro de um sistema (KIRWAN, 2017).

Os primeiros estudos de análise da confiabilidade humana datam do início dos anos 50, com aplicações para se avaliar quantitativamente a influência dos erros humanos em sistemas militares complexos (SWAIN, 1990).

Dentro do contexto de manutenção, levantamentos como o de Kim et al. (2009), que conclui que cerca 63% das falhas em plantas nucleares estão ligadas diretamente a confiabilidade humana na manutenção, demonstrando que o componente humano é um fator cada vez mais importante ao se analisar o sistema como um todo.

Outro ponto a ser ressaltado é o levantado por Reiman (2011), que afirma que, ao longo dos anos, várias investigações de acidentes apontaram manutenção inadequada ou defeituosa

como um dos principais contribuintes para acidentes, gerando uma gama de prejuízos desde puramente financeiros até ambientais, como no caso da explosão da plataforma petrolífera *Piper Alpha*, que gerou poluição e contaminação em alto mar.

Para a análise da confiabilidade humana diversos modelos foram criados, diferindo no escopo, tipos e níveis de decomposição das tarefas, e nos fatores considerados para afetar a probabilidade de erro (MKRTCHYAN; PODOFILLINI; DANG, 2015).

Cerca de quinze modelos amplamente utilizados para análise de confiabilidade humana foram catalogados por Spurgin (2009). Também, levantamento como o de Tao et al. (2020), demonstra que nos últimos 10 anos a quantidade de estudos acerca de confiabilidade humana vem crescendo, resultando na constante criação e revisão de modelos de análise de confiabilidade humana.

Para Dhillon (2002) erros humanos de manutenção, ocorrem, em geral, por conta de reparos incorretos ou falta de ações preventivas ou de monitoramento, porém (HOBBS ALAN; REASON, 2009) cita uma série de fatores que poderiam ocasionar o erro humano na manutenção, desde condições do ambiente de trabalho até procedimentos de troca de turno.

Sendo assim, a proposta do presente trabalho é mapear os fatores que influenciam a análise de confiabilidade humana no contexto de atividades de manutenção, motivado pelo constante crescimento da importância da área e adição de novos modelos de confiabilidade humana desde a categorização de Spurgin (2009).

1.1 OBJETIVO GERAL

Mapear os fatores que influenciam a análise da confiabilidade humana em atividades de manutenção.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar os principais conceitos acerca da manutenção;
- Delimitar conceitos fundamentais sobre confiabilidade humana;
- Realizar uma busca bibliométrica, por meio da aplicação do TEMAC, sobre confiabilidade humana, em particular no contexto da manutenção;
- Identificar e analisar os fatores que influenciam a confiabilidade humana na manutenção.

1.3 LIMITAÇÕES DE PESQUISA

Uma vez que o estudo da confiabilidade humana pode ser explorado por diversas abordagens, desde a análise da atividade física do indivíduo até o processo mental dentro da execução da atividade, o mapeamento dos fatores a serem considerados está pautado apenas nas tarefas no contexto da manutenção. Assim, acredita-se que os resultados serão mais direcionados para o contexto explorado neste trabalho, fornecendo embasamento para futuras pesquisas mais aprofundadas nesta área.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O **Capítulo 2** apresenta uma revisão bibliográfica sobre manutenção, apresentando sua definição e principais conceitos associados, histórico dividido em gerações, evidenciando as principais evoluções ao longo do tempo e tipos de manutenção. Ao final do capítulo conceitos específicos acerca da confiabilidade humana são apresentados.

O **Capítulo 3** apresenta uma revisão bibliométrica utilizando a Teoria do Enfoque Meta Analítico Consolidado (TEMAC). A utilização desta ferramenta permite a análise de diversos fatores, tais como a evolução do tema ao longo dos anos, publicações e autores mais relevantes dentro da área.

O **Capítulo 4** explica brevemente a metodologia utilizada na formulação do trabalho, demonstrando claramente em quais tipos de linhas de pesquisa o presente trabalho se encontra.

O **Capítulo 5** apresenta os principais fatores que influenciam a confiabilidade humana a partir de modelos de confiabilidade humana relacionados à tarefa já existentes.

Por fim o **Capítulo 6** encerra o trabalho, apresentando as considerações finais e sugestões para trabalhos posteriores.

2 MANUTENÇÃO

Neste capítulo será apresentado a revisão bibliográfica do presente trabalho, apresentando definições e conceitos associados a manutenção e confiabilidade

A manutenção vem se tornando uma área funcional crítica na maioria das organizações e sistemas, como os ramos de construção, fabricação e transporte. além de, mais recentemente, ser considerada como parte essencial da cadeia de suprimentos à nível global (AL-TURKI, 2011).

A manutenção é definida como 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 (NBR 5462, 1994).

Alguns conceitos se mostram essenciais dentro da manutenção, dentre eles destacam-se: confiabilidade, disponibilidade, manutenibilidade, e os tipos de manutenção existentes.

Um entendimento destes conceitos e um planejamento correto da manutenção é vital não só para manter o equipamento operando como também para reduzir os altos custos inerentes do processo, Dhillon (2002) apresenta alguns exemplos do valor e impacto financeiro destes custos.

- Anualmente, o Departamento de Defesa dos EUA gasta cerca de \$12 bilhões para manutenção de depósitos de armamento e equipamentos: Marinha (59%), Força Aérea (27%), Exército (13%) e outros (1%).
- Anualmente, 11% do custo operacional total de um jato militar é gasto em atividades de manutenção.

2.1 MANTENABILIDADE, CONFIABILIDADE E DISPONIBILIDADE

A **confiabilidade**, foco de estudo, data do início dos anos 30, quando conceitos de probabilidade foram aplicados a problemas de geração de energia elétrica e, logo após, durante a Segunda Guerra Mundial, quando alemães usaram conceitos básicos de confiabilidade para melhorar seus mísseis. Porém, foi só a partir da década de 50, com a publicação do primeiro livro comercial acerca de confiabilidade que seu estudo passou a ter um rigor científico (DHILLON, 2002).

No contexto atual **confiabilidade** é definida, conforme a NBR 5462 (1994), como a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas,

durante um dado intervalo de tempo. A mesma norma define **item** como qualquer parte, componente, dispositivo, subsistema, unidade funcional, equipamento ou sistema que possa ser considerado individualmente. Sendo assim a confiabilidade é a probabilidade de um elemento em específico não falhar durante um certo intervalo de tempo.

Kardec e Nascif (2019) argumentam que o aumento na confiabilidade gera uma melhora nos resultados para o cliente ou usuário, porém isso gera maior custo de manutenção, pois demanda um excesso de paradas para manutenção, utilização de maquinário especializado e caro e substituição de componentes de forma desnecessária. A Figura 2.1 demonstra os custos de manutenção e produção frente à porcentagem de confiabilidade de um item.

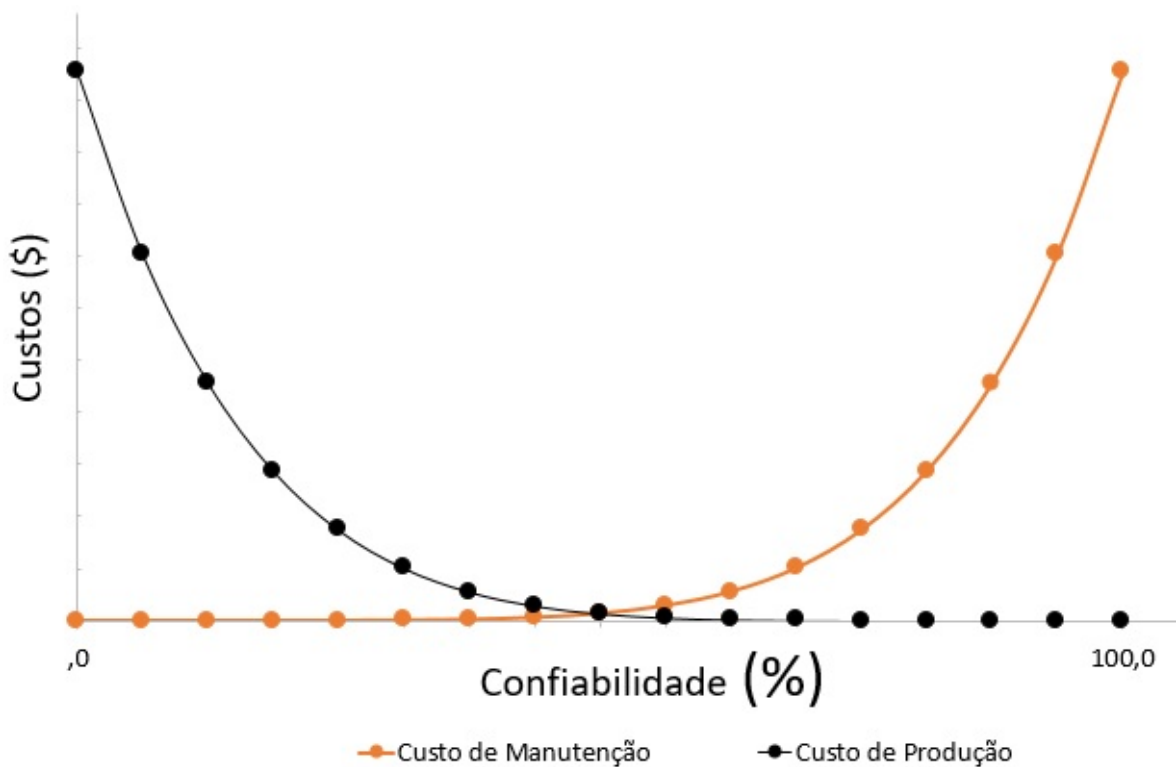


Figura 2.1 – Confiabilidade x Custos

Fonte: Adaptado de: Kardec e Nascif (2019)

A NBR 5462 (1994) define **manutenibilidade** como a 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.

Para Dhillon (2002) o principal objetivo da manutenibilidade é maximizar a disponibilidade de equipamentos ou de instalações. Esses são fatores primordiais dentro do contexto da manutenção, uma vez que a baixa disponibilidade acarreta em várias horas de manutenção e alto custo associado. O autor demonstra ao exemplificar que em 1950 um terço do efetivo da Aeronáutica americana se mantinha ocupado com atividades de manutenção e estas

representavam um terço dos custos operacionais.

Por sua vez, **disponibilidade** é a 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 confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados (NBR 5462, 1994). Usualmente é dada de forma percentual e pode ser descrita pela equação (2.1).

$$Disponibilidade = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100\% \quad (2.1)$$

Onde:

- **MTBF - Tempo Médio entre Falhas**, ou seja, a média dos tempos entre o fim de uma falha e o início da outra e;
- **MTTR - Tempo Médio Para Reparos**, expresso pela média aritmética dos tempos de reparo de um equipamento..

O **MTBF** e **MTTR** podem ser descritos em função do ciclo de produção do ativo, sendo o primeiro a quantidade de tempo em que um ativo está em funcionamento e o segundo o tempo em que o ativo não produz, uma vez que se encontra parado.

Algo a ser evidenciado é que todos os três conceitos apresentados, confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade tem a falha como ponto focal de suas definições, sendo assim é necessário delimitar que tipo de evento uma falha representa. A NBR 5462 (1994) define falha como o término da capacidade de um item desempenhar a função requerida. Porém, Moubray (1999) argumenta que este tipo de definição é simplista pois não determina se a falha apenas comprometeu o funcionamento do equipamento ou cessou seu funcionamento, sendo assim se propõe dois conceitos ligados a falha: **falha potencial** e **falha funcional**.

- Falha potencial: É o momento que indica que uma falha funcional está em vias de ocorrer ou está ocorrendo, gerando uma perda de desempenho.
- Falha funcional: É o momento onde o item perde completamente sua função.

Kardec e Nascif (2019) apresentam um gráfico, denominado como **Curva PF**, mostrado na Figura 2.2, que apresenta a condição de um item qualquer ao longo do tempo. O **Ponto P** se refere ao momento onde ocorre a falha potencial, o **Ponto F** o momento onde ocorre a falha funcional e o intervalo entre P e F representa a queda de desempenho do item. Ressalta-se que quanto mais tempo se leva para intervir no período entre P e F, maiores serão os custos associados à manutenção do item.

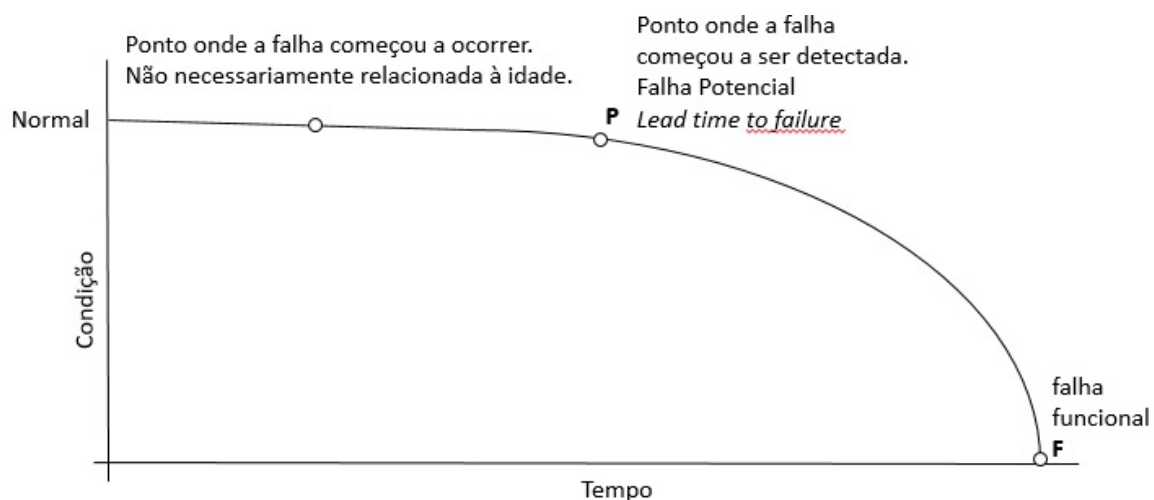


Figura 2.2 – Curva PF

Adaptado de: Kardec e Nascif (2019)

2.2 GERAÇÕES DA MANUTENÇÃO

Por se tratar de um ramo intrinsecamente relacionado a indústria, a manutenção acompanha o desenvolvimento técnico industrial da humanidade (TAVARES, 1998). Kardec e Nascif (2019) dividem a manutenção em seis gerações, datando de 1930 até os dias atuais.

A **primeira geração** abrange o período antes da Segunda Guerra Mundial até os anos 50, sendo caracterizada pela manutenção ser reduzida apenas à atividades como limpeza, lubrificação e reparo após a quebra. Isto ocorria em face à baixa mecanização da indústria, o que tornava o tempo de disponibilidade do maquinário um fator irrelevante, a simplicidade dos equipamentos e ao fato de que, devido ao aspecto econômico da época, a questão de produtividade não era prioritária.

O período pós Segunda Grande Guerra foi o catalisador para a mudança de paradigma dentro da manutenção, trazendo à tona a **segunda geração** da manutenção. O período de guerra trouxe uma diminuição considerável no contingente de mão-de-obra, forçando um aumento drástico na mecanização da indústria, ao passo que ocorria um aumento na demanda produtiva, tornando a disponibilidade do maquinário um fator relevante dentro da indústria. Essa percepção somada à uma busca pelo aumento de vida útil dos itens físicos levou ao entendimento de que falhas poderiam e deveriam ser prevenidas, o que gerou o conceito de manutenção preventiva (MOUBRAY, 1999).

Na **terceira geração** confiabilidade e disponibilidade passam a se tornar pontos-chave dentro da manutenção, uma vez que a utilização do sistema *just-in-time* passou a ser uma tendência mundial e pausas não-planejadas dentro da cadeia produtiva poderiam causar sé-

rios atrasos na fábrica. Nesta geração também surge o conceito de manutenção preditiva, pois o avanço da computação permite a utilização de computação e *softwares* específicos para planejamento, controle e acompanhamento da manutenção. Kardec e Nascif (2019) argumentam que neste período ocorreu uma maior preocupação quanto a inserção da confiabilidade como fator importante dentro de um projeto, porém uma falta de interação entre as áreas de engenharia, manutenção e operação impede que os resultados sejam melhores, resultando em um alto índice de falhas prematuras (mortalidade infantil).

Enquanto na **primeira geração** acreditava-se que as falhas em equipamento apenas surgiam no fim de sua vida útil e na **segunda geração** acreditava-se que o perfil de falha seguia um padrão de maior probabilidade de falha no início e no fim da vida do equipamento (Curva da Banheira), a **terceira geração** mostrou que existiam seis tipos de falhas diferentes (MOUBRAY, 1999). A Figura 2.3 demonstra a evolução deste pensamento e a Figura 2.4 apresenta uma ampliação dos 6 perfis de falha reconhecidos atualmente, com as características específicas de cada um sendo detalhada a seguir.

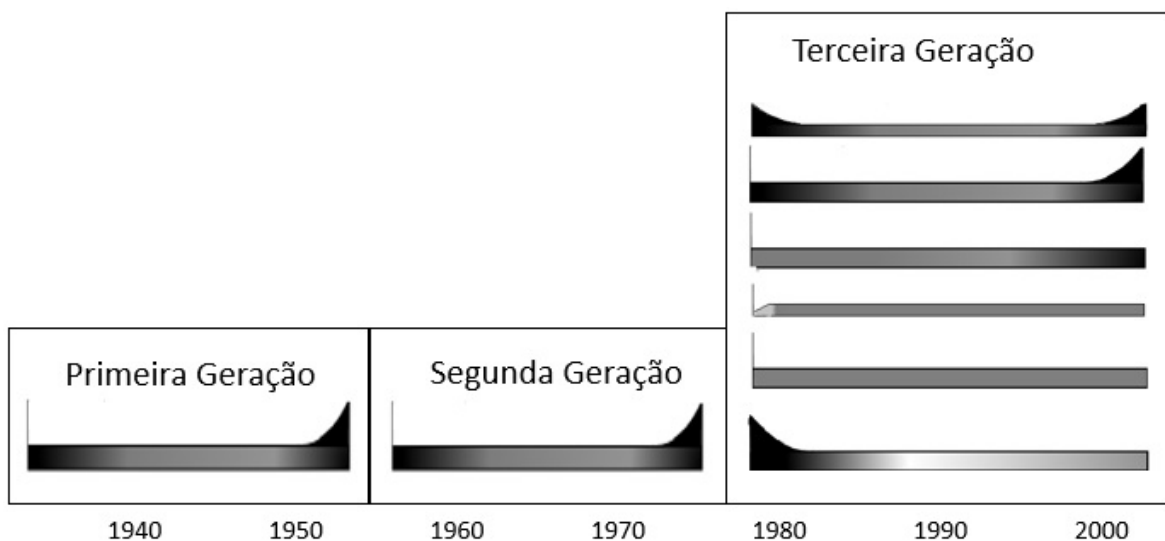


Figura 2.3 – Mudança de visão nos tipos de falha ao longo das gerações

Fonte: Adaptado de Moubray (1999)

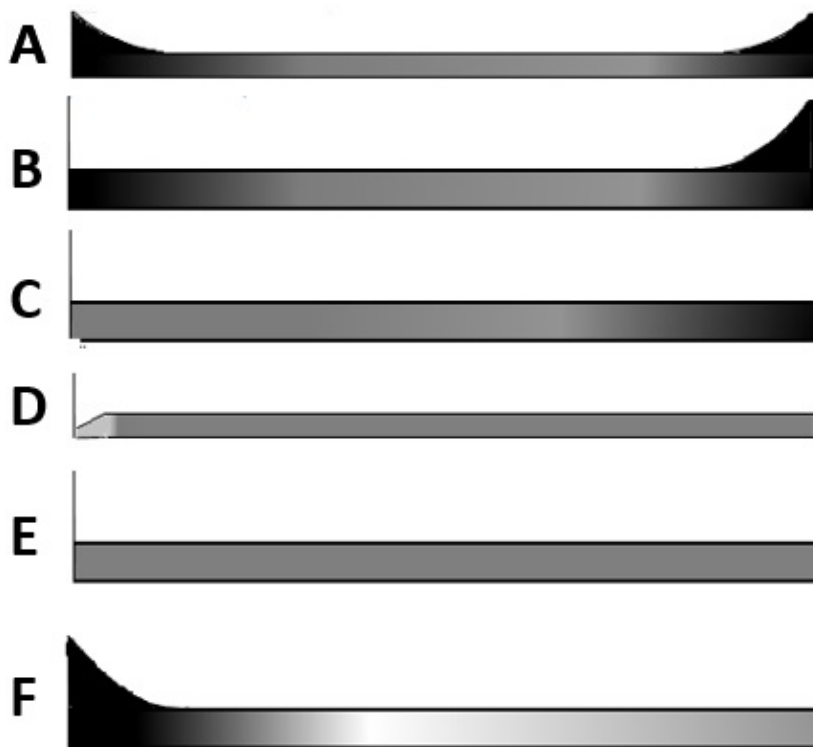


Figura 2.4 – Perfis de falha atuais

Fonte: Adaptado de Moubray (1999)

- Perfil de Falha A: É a Curva da Banheira, já citada anteriormente.
- Perfil de Falha B: Probabilidade constante ou de crescimento lento ao longo do ciclo de vida do equipamento, até chegar num período de degradação ao fim de seu ciclo.
- Perfil de Falha C: Crescimento lento da probabilidade de falha ao longo do ciclo de vida, porém não é possível se identificar o período de degradação.
- Perfil de Falha D: Probabilidade de falha muito baixa durante o começo da vida, porém rapidamente essa probabilidade cresce e se mantém constante ao longo do ciclo de vida do equipamento.
- Perfil de Falha E: Probabilidade constante em todo o ciclo de vida do equipamento, sendo assim é a falha acontece de maneira randômica.
- Perfil de Falha F: Probabilidade alta no início do ciclo de vida, sendo que esta cai para níveis constantes ou de crescimento lento logo após.

A mudança nas gerações tem sido acelerada, enquanto em gerações anteriores alongavam-se por até 20 anos, as gerações mais modernas tem sido divididas em espaços mais curtos de tempo, com Kardec e Nascif (2019) apresentando 3 novas gerações do período do fim da **terceira geração** em 2000 até o período atual.

A **quarta geração** visa utilizar todo o conhecimento adquirido na **terceira geração** para aumentar a disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos. Há também uma maior utilização de manutenção preditiva e monitoramento dos equipamentos em detrimento de manutenções preventivas e corretivas não-planejadas, uma vez que estas promovem a paralisação dos equipamentos e sistemas, impactando negativamente a produção (KARDEC; NASCIF, 2019). A integração entre engenharia, manutenção e operação também ocorre nessa geração, trazendo maior confiabilidade, disponibilidade e menor custo do ciclo de vida à novos projetos.

A **quinta geração** torna relevante o conceito de Gestão de Ativos, diferenciando-o do Gerenciamento de Ativos, pois o primeiro visa uma visão global dos ativos da Organização, focando no valor que estes podem trazer para empresa, enquanto o segundo apenas foca no conceito interno de o que a empresa faz para tornar seus ativos funcionais (KARDEC; NASCIF, 2019). Nesta geração o conceito econômico de Retorno sobre os Ativos (ROA) e Retorno sobre os Investimentos (ROI), tratando a manutenção como uma área vital para gerar lucro dentro da organização.

Por fim, a **sexta geração** traz o conceito da Indústria 4.0 para dentro da manutenção, tornando a área de manutenção extremamente automatizada. Dentro desta geração um novo tipo de manutenção, chamada de manutenção prescritiva, passa a ser utilizada, pautando-se na utilização de sensores cada vez mais modernos, fabricados especificamente para a máquina a ser monitorada por meio de impressão 3D, a coleta ostensiva de dados e o aprendizado de máquinas (KARDEC; NASCIF, 2019).

A seguir as Figuras 2.5 e 2.6 apresentam a evolução da manutenção.

EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO											
Ano	1ª Geração			2ª Geração				3ª Geração			
	1940		1950		1960		1970		1980		1990
Aumento das expectativas em relação a Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Conserto após a falha 			<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidade crescente • Maior vida útil do equipamento 				<ul style="list-style-type: none"> • Maior confiabilidade • Maior disponibilidade • Melhor relação custo-benefício • Preservação do meio ambiente 			
Visão quanto à falha do ativo	<ul style="list-style-type: none"> • Todos os equipamentos se desgastam com a idade e, por isso, falham 			<ul style="list-style-type: none"> • Todos os equipamentos se comportam de acordo com a curva da banheira 				<ul style="list-style-type: none"> • Existência de 6 padrões de falha 			
Mudança nas técnicas de Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Habilidades voltadas para o reparo 			<ul style="list-style-type: none"> • Planejamento manual da manutenção • Computadores grandes e lentos • Manutenção Preventiva (por tempo) 				<ul style="list-style-type: none"> • Monitoramento da condição • Manutenção Preditiva • Análise de risco • Computadores pequenos e rápidos • Softwares potentes • Grupos de trabalho multidisciplinares • Projetos voltados para a confiabilidade 			

Figura 2.5 – Evolução da Manutenção (1ª a 3ª Geração)

Adaptado de: Kardec e Nascif (2019)

EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO												
	4ª Geração				5ª Geração				6ª Geração			
Ano		2000		2005		2010		2015		2020		2025
Aumento das expectativas em relação a Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Maior confiabilidade • Maior disponibilidade • Preservação do meio ambiente • Segurança • Influir nos resultados do negócio • Gerenciar os ativos • Influir nos resultados do negócio 				<ul style="list-style-type: none"> • Gerenciar os ativos • Otimizar ciclo de vida dos ativos • Influir nos resultados do negócio 				<ul style="list-style-type: none"> • Elevada Confiabilidade • Elevada Disponibilidade • Otimizar o ciclo de vida dos ativos • Influir nos resultados do negócio • Manutenção inteligente 			
Visão quanto à falha do ativo	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzir drasticamente falhas prematuras dos padrões A e F 				<ul style="list-style-type: none"> • Planejamento do ciclo de vida desde o projeto para reduzir falhas 				<ul style="list-style-type: none"> • Falhas monitoradas por sensores inteligentes e algoritmos • Aprendizado das máquinas 			
Mudança nas técnicas de Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da Manutenção Preditiva e Monitoramento da Condição • Minimização nas Manutenções Preventiva e Corretiva não-planejada • Análise de Falhas • Técnicas de confiabilidade • Manutenibilidade • Engenharia de Manutenção • Projetos voltados para a confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade • Contratação por resultados 				<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da Manutenção Preditiva e Monitoramento da Condição 'on e off-line' • Participação efetiva no projeto, aquisição, instalação, comissionamento, operação e manutenção dos ativos • Garantir que os ativos operem dentro de sua máxima eficiência • Implementar melhorias objetivando redução de falhas • Excelência em Engenharia de Manutenção • Consolidação da contratação por resultados 				<ul style="list-style-type: none"> • Adoção da Manutenção Prescritiva • Manutenção Preditiva associada à análise complexas • Monitoramento via imagens • Redução significativa nos demais tipos de manutenção • Big Data concentra todas as informações permitindo diagnóstico e atuação seletiva • Capacidade do pessoal em Tecnologia da Informação e da Comunicação 			

Figura 2.6 – Evolução da Manutenção (4ª a 6ª Geração)

Adaptado de: Kardec e Nascif (2019)

A seguir, serão apresentados os principais tipos de manutenção.

2.3 MANUTENÇÃO CORRETIVA

A manutenção corretiva é efetuada após a ocorrência de uma pane ou falha destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida (NBR 5462, 1994). Kardec e Nascif (2019) evidenciam que, ao contrário do que NBR 5462 (1994) afirma, a manutenção corretiva não é, necessariamente, uma manutenção de emergência que ocorre apenas após a falha, visto que ao atuar em um equipamento com um desempenho diferente do esperado a manutenção corretiva também ocorre. Com isto propõe-se duas classes dentro da manutenção corretiva, a **manutenção corretiva não-planejada** e **manutenção corretiva planejada**.

A **manutenção corretiva não-planejada**, também conhecida como manutenção corretiva não-programada, é a correção da falha de maneira emergencial (KARDEC; NASCIF, 2019). Para os autores a utilização constante desse tipo de manutenção demonstra que o desempenho empresarial da organização não é adequado às necessidades de competitividade modernas, gerando perda de receita ou itens de baixa qualidade.

Além disto, a manutenção corretiva não-planejada acarreta em altos custos, pois a falha inesperada do item pode acarretar em perdas de produção e de qualidade do produto e em custos adicionais de manutenção do item ao longo dos anos, visto que, após manutenção corretiva emergencial, a tendência do equipamento é falhar novamente em um menor tempo. A Figura 2.7 demonstra essa tendência, já que o tempo de funcionamento $t_1 - t_0$ é maior que o tempo de funcionamento $t_3 - t_2$.

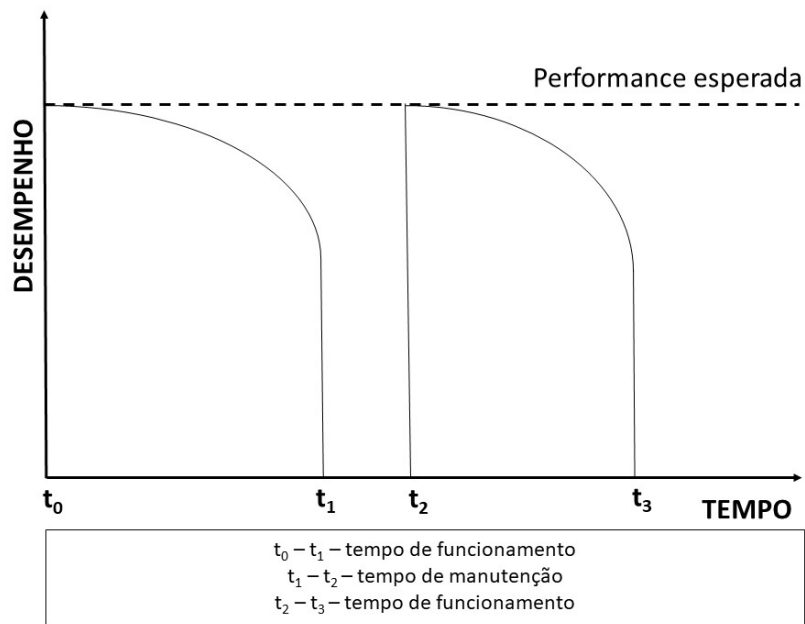


Figura 2.7 – Efeitos da Manutenção Corretiva Não-Planejada no desempenho do equipamento

Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif (2019)

A **manutenção corretiva planejada** é a ação de correção do desempenho menor que o esperado ou correção da falha por decisão gerencial (KARDEC; NASCIF, 2019).

A adoção de uma política baseada neste tipo de manutenção leva a um planejamento, mesmo que mínimo, que possibilite um plano de ação para o momento de falha do equipamento. Esse tipo de manutenção é aplicada em indústrias em que as demandas de produção são pequenas e é mais barato reparar após a falha do que utilizar um programa de manutenção de revisões periódicas (BRANCO FILHO, 2008). Além disso, esse tipo de manutenção é adequado quando a falha não provoca deterioração do produto e não apresenta risco para os funcionários, a instalação, o meio ambiente, o cliente e o usuário (KARDEC; NASCIF, 2019). Porém, um levantamento realizado em 2013 pela Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos (Abraman) demonstrou que a manutenção corretiva era utilizada por quase 31% das empresas (ABRAMAN, 2013).

2.4 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

A **manutenção preventiva** é a efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item (NBR 5462, 1994). Segundo a Abraman (2013) este é o tipo de manutenção mais utilizado dentro do contexto nacional, sendo responsável por quase 37%

da aplicação de recursos destinados a manutenção.

Diferentemente da manutenção corretiva, a manutenção preventiva visa a não-ocorrência de falhas, executando a manutenção conforme planejamento prévio de acordo com critérios pré-estabelecidos, como tempo, horas de funcionamento, produtividade ou uma combinação destes fatores (KARDEC; NASCIF, 2019).

Para Kardec e Nascif (2019) os seguintes fatores devem ser observados para a adoção de uma política baseada em manutenção preventiva:

- Quando não é possível utilizar manutenção preditiva, detectiva ou prescritiva.
- Existe aspectos relacionados à segurança pessoal ou da planta que tornam obrigatória a intervenção programada;
- Existe equipamentos críticos de difícil liberação operacional;
- Há riscos de agressão ao meio ambiente;
- Sistemas complexos ou de operação contínua que ao falharem geram custos elevados (indústrias petroquímicas, siderúrgicas e etc);

Outros fatores a serem analisados para a adoção da manutenção preventiva são os custos inerentes provenientes da parada de maquinário para manutenção (Custo de paradas) e os dados disponíveis para a formulação de um plano ótimo. Para Kardec e Nascif (2019) nem sempre os dados fornecidos pelo fabricante são precisos ou suficientes para o planejamento, além do fato de as condições operacionais e ambientais influírem diretamente no funcionamento do equipamento, levando a duas situações distintas:

- Ocorrência de falha antes do período determinado no plano, forçando assim uma manutenção corretiva emergencial.
- Execução da manutenção no tempo planejado porém antes do item necessitar, gerando um custo de realização de manutenção preventiva desnecessário.

Seleme (2015) propõe que o plano de manutenção preventiva ideal é composto por uma intersecção entre o custo de realização de manutenção preventiva e o custo de paradas, conforme demonstrado na Figura 2.8. Os custos de realização da manutenção preventiva são oriundos do custo de mão-de-obra associados e o custo das peças a serem repostas, ao passo que o custo de paradas está associado ao momento da manutenção, onde há necessidade de pausa do equipamento para realização da manutenção.

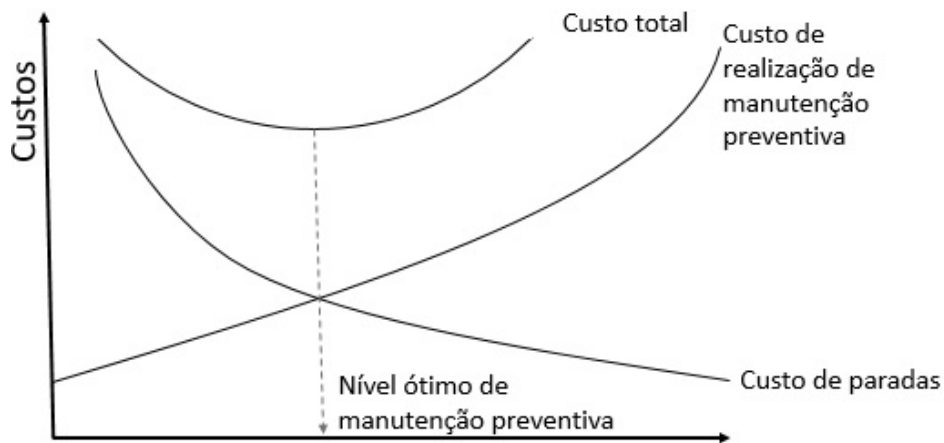


Figura 2.8 – Custo ótimo do plano de manutenção preventiva

Fonte: Adaptado de Seleme (2015)

2.5 MANUTENÇÃO PREDITIVA

A **manutenção preditiva**, também conhecida como **manutenção controlada**, permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem (NBR 5462, 1994) e, diferentemente da manutenção preventiva, não há estimativa para o agendamento das ações de manutenção, pois o monitoramento direto permite determinar o tempo real até a falha (SELEME, 2015). Para Kardec e Nascif (2019) a manutenção preditiva é a primeira grande quebra de paradigma na manutenção e suas contribuições aumentam conforme a produção de equipamentos de avaliação cada vez mais confiáveis.

A utilização deste tipo de manutenção oferece melhores resultados que os outros tipos apresentados, uma vez que a intervenção sobre o maquinário e a produção é o mínimo possível e, ao mesmo tempo, os equipamentos funcionam de maneira ótima, uma vez que a execução da manutenção só ocorre quando é realmente necessária.

Kardec e Nascif (2019) citam quatro condições básicas para a adoção deste tipo de manutenção:

- O equipamento, o sistema ou a instalação devem permitir monitoramento ou medição de alguma forma;
- As falhas devem ser oriundas de causas que podem ser monitoradas e acompanhadas;
- É fundamental que a mão de obra seja bem treinada, não bastando apenas medir o equipamento e sim realizar análises e produzir diagnósticos;

- Os custos de monitoramento não podem exceder os ganhos obtidos na utilização deste tipo de manutenção.

Quanto aos custos oriundos deste tipo de manutenção Kardec e Nascif (2019) argumentam que devem ser analisados por dois ângulos:

- O acompanhamento periódico dos equipamentos não é muito elevado e tende a diminuir conforme a tecnologia progride e a redução de preços ocorre. A mão de obra, apesar de ter que ser qualificada, também não apresenta custo significativo, uma vez que os próprios operadores podem realizar o acompanhamento.
- A instalação de sistemas de monitoramento contínuo apresenta custo inicial alto, sendo em torno de 1% do capital total do equipamento a ser monitorado, porém um programa de acompanhamento bem gerenciado traz o retorno de custo-benefício na proporção de 1/5.

Kardec e Nascif (2019) dividem o acompanhamento a ser realizado no equipamento em dois tipos: Monitoramento subjetivo e Monitoramento objetivo.

No monitoramento subjetivo utiliza-se os sentidos da mão-de-obra de forma a detectar condição e anomalias no equipamento, porém, conforme Kardec e Nascif (2019), este tipo de verificação não deve ser adotado como base para decisão, uma vez que depende da experiência de quem realiza a verificação e pode promover resultados errôneos.

O monitoramento objetivo utiliza instrumentos específicos para realizar a medição da condição do equipamento. Kardec e Nascif (2019) argumentam que três pontos são fundamentais neste tipo de monitoramento:

- A mão-de-obra seja treinada e habilitada para utilizar o instrumento;
- Os instrumentos estejam aferidos e calibrados;
- A mão-de-obra que executa a medição seja capaz de interpretar os dados e emitir um diagnóstico.

Dentro do monitoramento objetivo destacam-se três tipos de técnicas amplamente utilizadas: análise de vibração, análise de temperatura e análise de ultrassom.

2.6 MANUTENÇÃO DETECTIVA

A **manutenção detectiva** tem como objetivo a verificação do sistema e detecção de falhas ocultas em sistemas puramente automatizados(KARDEC; NASCIF, 2019).

Com o avanço da tecnologia sistemas de proteção, como desligamento automático, são cada vez mais integrados em plantas industriais e maquinários, de forma a se prevenir grandes catástrofes ocasionadas por falhas (KARDEC; NASCIF, 2019).

Uma vez que a não atuação ou atuação indevida de um sistema de proteção pode ocasionar a parada de uma planta industrial inteira, estes sistemas necessitam de uma alta confiabilidade e disponibilidade e, para isto, a manutenção detectiva é utilizada (KARDEC; NASCIF, 2019).

O foco da manutenção detectiva é realizar a verificação em sistemas que servem como proteção, realizando a verificação do sistema sem cessar a operação e, em geral, antecipando e corrigindo a situação sem afetar o funcionamento do sistema (KARDEC; NASCIF, 2019).

2.7 MANUTENÇÃO PRESCRITIVA

A **manutenção prescritiva**, também conhecida como manutenção preditiva com inteligência interna, busca quantificar o efeito das decisões a serem tomadas de modo a fornecer recomendação aos gestores dos ativos (KARDEC; NASCIF, 2019).

Neste tipo de manutenção as tecnologias e ferramentas de Indústria 4.0 são amplamente utilizadas, de modo a transformar conjuntos de dados diversos, como dados históricos e transacionais, em informações precisas para os gestores, de modo que a cadeia de produção seja totalmente integrada.

Uma vez que um sistema de manutenção prescritiva verifica, por meio de algoritmos e aprendizado de máquinas, que certo componente não apresenta funcionamento ideal e tende a falhar em um período próximo de tempo, uma ordem de produção ou de encomenda deste componente pode ser emitida, um agendamento para a manutenção pode ser marcado e o dimensionamento de capacidade dos outros maquinários pode ser recalculado para suprir a necessidade momentânea durante a manutenção, gerando uma eficiência quase máxima dentro da indústria (KARDEC; NASCIF, 2019).

Kardec e Nascif (2019) argumentam que, para um sistema de manutenção prescritivo ser bem sucedido, os seguintes passos devem ser tomados:

- Instalação/Utilização de sensores em equipamentos;
- Carregamento de dados em nuvem, de forma que a inteligência artificial possa tratá-los, aprendendo características de funcionamento e identificando padrões do equipamento (aprendizado de máquinas);
- O aprendizado de máquinas gera previsões precisas sobre o estado e previsão de falha

dos equipamentos/componentes, permitindo que sejam mantidos no tempo correto de utilização;

- A aquisição de componentes ou retirada em estoque é automatizada, com a inteligência artificial gerando o pedido de compra ou requisição de forma automática;
- Relatórios são gerados com a recomendação de data para reparo ou substituição do componente.

2.8 CONFIABILIDADE HUMANA

Dhillon (2002) define erro humano como a falha na realização de uma tarefa, ou execução de uma tarefa não permitida, que resulta na interrupção da programação das atividades ou danos a propriedades ou equipamentos. Para Park (1986) o erro humano é uma ação fora do especificado que resulta em queda de desempenho, sendo que os limites de desempenho aceitável são definidas pelo sistema.

Os erros humanos podem ser divididos em seis categorias:(i) projeto; (ii) montagem; (iii) inspeção; (iv) instalação; (v) operação; e (vi) manutenção (DHILLON, 2002).

Os erros humanos de manutenção, foco deste trabalho, ocorrem, em geral, por conta de reparos incorretos ou falta de ações preventivas ou de monitoramento, gerando um maior desgaste do equipamento uma vez que a manutenção errônea tende a aumentar o número de manutenções necessárias no equipamento (DHILLON, 2002).

De acordo com Reason (1990) o erro humano se divide em três categorias:

- Erros baseados em deslizos e esquecimentos: ocorrem em atividades de rotina, onde o ser humano reage apenas aos estímulos da situação, e por fatores diversos (cansaço, desatenção, etc) acaba executando a operação de forma errônea;
- Erros baseados em ações fora das normas: as ações são realizadas executando-se procedimentos fora das normas (manuais de manutenção, instruções de operação, etc) e;
- Erros baseados na falta de conhecimento: ocorrem quando não existe preparo ou norma para a situação que ocorre, podendo ser tanto por falta de conhecimento em si (falta de treinamento específico, ausência de manual de operações), quanto por ser uma situação nunca prevista no funcionamento do maquinário.

Por sua vez, para Kirwan (2017), o erro humano é dividido em erro de omissão, quando se deixa de realizar um ato ou tarefa obrigatória, e erro de execução, quando o ato ou tarefa é executado, porém de forma incorreta.

Para French et al. (2011) até em sistemas que envolvem alto grau de tecnologia existem evidências de que o elemento humano está altamente envolvido, conseqüentemente o erro humano é parte inerente destas operações. Os autores demonstram isso ao apresentar as seguintes estatísticas acerca do erro humano, que são responsáveis por:

- Mais de 90% das falhas em instalações nucleares;
- Mais de 80% das falhas em indústrias químicas e petroquímicas;
- Mais de 75% das fatalidades marítimas;
- Mais de 70% dos acidentes no ramo da aviação ;
- Mais de 75% das falhas em distribuição de água potável e saneamento.

Com o ser humano sendo parte de qualquer sistema é possível analisá-lo como um componente deste e com isto calcular sua confiabilidade. O estudo desse campo recebe o nome de *Human Reliability Analysis* (HRA), tendo estudos iniciais datando do início dos anos 50, com aplicações para se avaliar quantitativamente a influência dos erros humanos em sistemas militares complexos (SWAIN, 1990).

Segundo Kirwan (2017), a HRA possui como principais objetivos:

- Identificar quais erros podem ocorrer dentro do sistema e quais fatores podem desencadeá-los;
- Quantificar a probabilidade de cada erro;
- Traçar estratégias para prevenir ou mitigar os erros identificados.

Atualmente, o estudo da confiabilidade humana é um campo tão vasto que existem diversos modelos para a avaliação de risco probabilístico inerente ao erro humano.

Spurgin (2009) divide os modelos de *Human Reliability Analysis* em três categorias, de acordo com suas características:(i) modelos relacionados à tarefa; (ii) modelos de confiabilidade temporal e; (iii) modelos contextuais.

A Figura 2.9 apresenta os principais modelos de HRA, de acordo com cada categoria e com os autores dos modelos estão indicados entre parênteses. Ressalta-se que dentro dos modelos relacionados à tarefa existe uma subdivisão de agrupamento por sub-tarefas.

Modelos de HRA

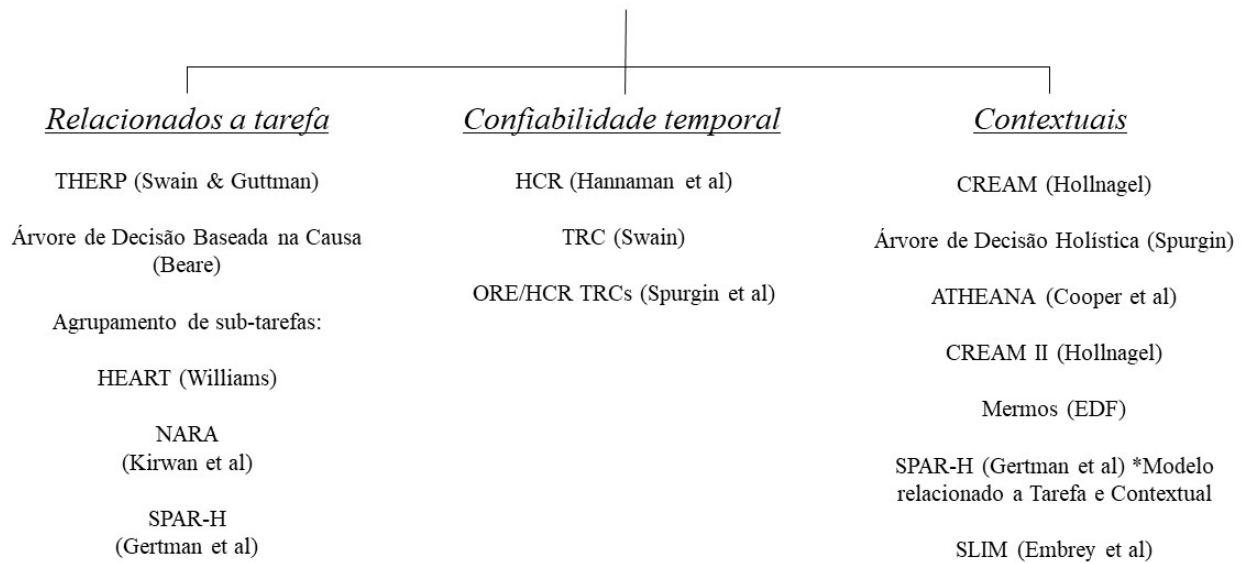


Figura 2.9 – Categorização de Modelos de HRA de acordo com suas características.

Adaptado de: Spurgin (2009)

No presente trabalho, serão analisados os modelos relacionados a tarefa apresentados na Figura 2.9.

Para Swain (1990), independente do modelo escolhido, deve-se atentar para os erros mais comuns na aplicação de *Human Reliability Analysis* (HRA), que são:

- Dados ausentes: A escassez de dados sobre o desempenho humano leva a baixa acurácia do modelo.
- Falta de consistência em métodos de julgamento por especialistas: Gera uma baixa acurácia e avaliações errôneas do modelo.
- Calibração errônea em simulações: Para situações em que o erro possui uma probabilidade muito baixa de ocorrer (1×10^{-4} ou menor) são usadas simulações, porém a calibração errada dos parâmetros da simulação gera resultados incorretos.

2.9 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

Os estudos apresentados ao longo deste capítulo demonstram que a área da manutenção é vasta e complexa e mesmo suas sub-áreas, como o estudo da confiabilidade humana e da ocorrência de erros na manutenção.

Outro ponto a ser ressaltado é a diversidade de modelos existentes para se avaliar a confiabilidade humana, demonstrando a complexidade da tarefa de se avaliar o fator humano dentro do contexto da manutenção.

3 APLICAÇÃO DA TEORIA DO ENFOQUE META ANALÍTICO CONSOLIDADO

Neste capítulo será apresentada uma revisão bibliométrica por meio da Teoria do Enfoque Meta Analítico Consolidado (TEMAC), obtendo assim dados acerca da relevância do tema Confiabilidade Humana no contexto de publicações de relevância

A Teoria do Enfoque Meta Analítico Consolidado (TEMAC) é um método de análise bibliométrica altamente estruturado e robusto que, por meio de análise de diversos critérios, como impacto do veículo de publicação dentro do tema, citações de autores e frequência de palavras-chaves, entre outros, permite se compreender a relevância do tema estudado dentro do contexto acadêmico (MARIANO; SANTOS, 2017).

Mariano e Santos (2017) dividem a TEMAC em 3 etapas: (i) preparação da pesquisa; (ii) apresentação e inter-relação dos dados; e (iii) detalhamento, modelo integrador e validação por evidências. A Figura 3.1 apresenta como estas etapas estão ligadas, saindo do contexto macro da primeira etapa até o detalhamento presente na última etapa

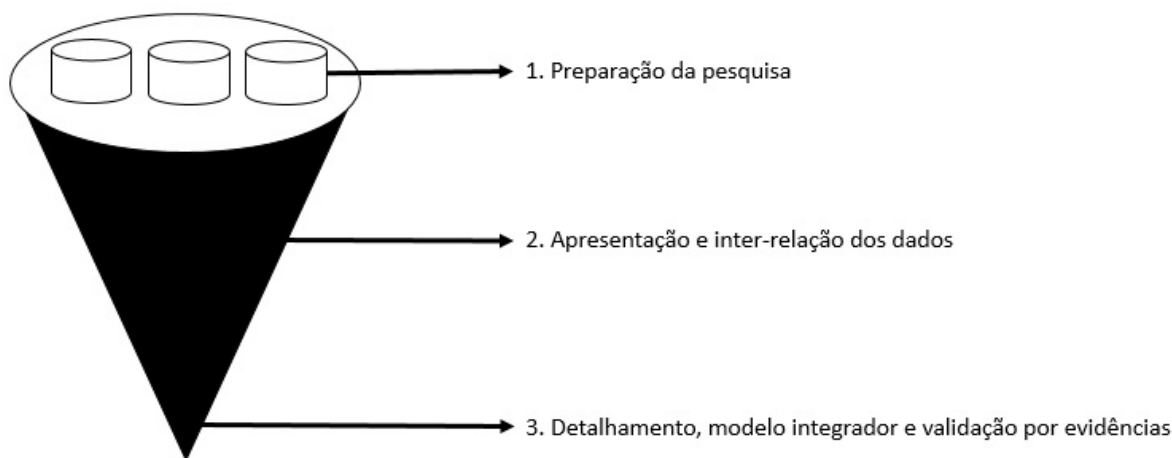


Figura 3.1 – Etapas do modelo TEMAC

Fonte: Adaptado de Mariano e Santos (2017)

3.1 PREPARAÇÃO DA PESQUISA

Mariano e Santos (2017) definem que esta etapa prévia da Teoria do Enfoque Meta Analítico Consolidado é fundamental para uma aplicação bem realizada, pois é neste passo inicial em que as bases de dados, período de tempo, palavras-chave e áreas do conhecimento a serem exploradas são definidas.

A base de dados escolhida para pesquisa foi a *Web of Science* (WoS), uma vez que esta possui diversas publicações em seu banco de dados e possui credibilidade frente a comunidade científica.

Em relação ao espaço-tempo das publicações, utilizou-se toda a base de dados do WoS, que corresponde de um período de 1945 a 2020.

Para o presente trabalho definiu-se que as seguintes palavras chaves:

- *Human reliability analysis AND Maintenance;*
- *Human reliability AND Maintenance;*
- *Human error AND Maintenance;*
- *Human factors AND Maintenance;*
- *Human error identification AND Maintenance.*

Ressalta-se que os termos escolhidos foram em inglês para facilitar o acesso as publicações, uma vez que a plataforma *Web of Science* (WoS) é majoritariamente composta por publicações nesta língua.

A pesquisa retornou os resultados apresentados na Figura 3.2, sendo o resultado #6 o consolidado de todas as publicações que apresentam alguma palavra-chave desejada, retornando como resultado um total de 871 resultados. Durante a pesquisa é importante a utilização das aspas duplas em termos compostos para que o buscador pesquise exatamente o termo procurado e o conector *AND* para que a busca retorne publicações que tratam do tema dentro do tema manutenção.

Resultados	Resultados	
		<input type="button" value="Salvar histórico/Criar alerta"/> <input type="button" value="Ab"/>
# 6	871	#5 OR #4 OR #3 OR #2 OR #1 Índices=SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI Tempo estipulado=Todos os anos
# 5	9	TS=("Human error identification" AND Maintenance) Índices=SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI Tempo estipulado=Todos os anos
# 4	539	TS=("Human factors" AND Maintenance) Índices=SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI Tempo estipulado=Todos os anos
# 3	371	TS=("Human error" AND Maintenance) Índices=SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI Tempo estipulado=Todos os anos
# 2	116	TS=("Human reliability" AND Maintenance) Índices=SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI Tempo estipulado=Todos os anos
# 1	49	TS=("Human reliability analysis" AND Maintenance) Índices=SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI Tempo estipulado=Todos os anos

Figura 3.2 – Resultados de pesquisa de palavras-chave dentro do WoS.

Fonte: O autor.

A Figura 3.3 apresenta um compilado, gerado pela própria plataforma, das 25 áreas de pesquisa que mais apresentam publicações acerca das palavras-chaves. Uma análise cuidadosa traz à tona que algumas áreas, como *General internal medicine* e *Anesthesiology* não parecem ser relevantes dentro do contexto deste trabalho, uma vez que este trata-se de um Projeto de Graduação dentro da área de Engenharia.



Figura 3.3 – Áreas de pesquisa

Fonte: O autor

Para corrigir esses desvios, que podem resultar em uma análise não fidedigna, filtrou-se as áreas de pesquisa para Engenharia e áreas correlatas, o resultado desta filtragem forneceu os resultados apresentados na Figura 3.4. As áreas de pesquisa foram reduzidas para 16 e o número de publicações, antes de 871, reduziram para 624.

Os campos de Engenharia, Ciências da Computação e Pesquisa Operacional aparecem como as áreas com mais publicações dentro do



Figura 3.4 – Áreas de pesquisa pós-filtro

Fonte: O autor

Em um segundo momento filtrou-se novamente as publicações, utilizando-se as categorias fornecidas pela WoS e como parâmetros todas as publicações que se encaixassem em Engenharia de Produção, dada como Engenharia Industrial e Engenharia de Manufatura dentro dos filtros do WoS.

Áreas correlatas, como Ergonomia e Pesquisa Operacional, definidas pela Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO) como áreas do conhecimento de Engenharia de Produção e outras Engenharias, e Ciência da Computação também foram acrescentadas a esse grupo.

Ressalta-se que algumas áreas, por mais que não pareçam relevantes para a análise, se mantém após a filtragem pois o WoS considera-as transversais, uma vez que seu registro apresenta mais de uma categoria.

O resultado desta análise, com as 20 categorias que apresentam mais resultados, é mostrado a seguir na Figura 3.5, com Engenharia Industrial e Pesquisa Operacional sendo as categorias com mais publicações.

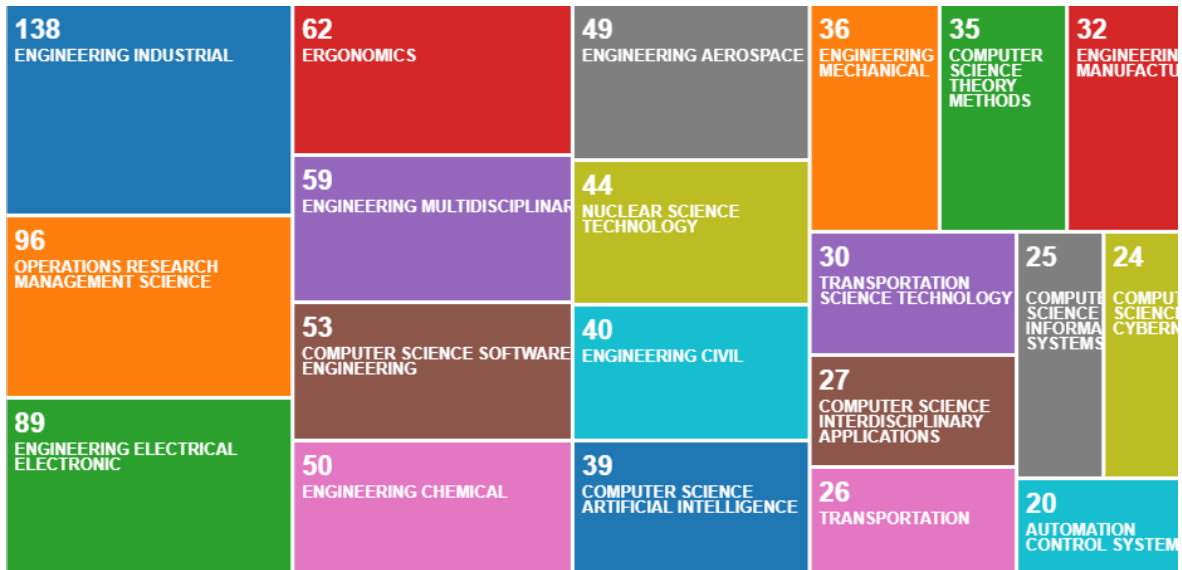


Figura 3.5 – Categorias com mais resultados no *Web of Science*.

Fonte: O autor.

3.1.1 Validação das palavras-chave

Para validar a relação entre as 624 publicações e os temas pesquisados utilizou-se a ferramenta Iramuteq e os resumos das publicações para estruturação de um *corpus* textual, fornecendo duas saídas importantes: uma nuvem de palavras e análise de similitude.

A Figura 3.6 apresenta um exemplo de como cada texto foi estruturado dentro do *corpus* textual

```
**** *A1

This paper reviews the research and development of augmented reality (AR) applications in design and manufacturing. It consists of seven main sections. The first section introduces the background of manufacturing simulation applications and the initial AR developments. The second section describes the current hardware and software tools associated with AR. The third section reports on the various studies of design and manufacturing activities, such as AR collaborative design, robot path planning, plant layout, maintenance, CNC simulation, and assembly using AR tools and techniques. The fourth section outlines the technology challenges in AR. Section 5 looks at some of the industrial applications. Section 6 addresses the human factors and interactions in AR systems. Section 7 looks into some future trends and developments, followed by conclusion in the last section. (C) 2012 CIRP.
```

Figura 3.6 – Exemplo de estruturação dos textos dentro do *corpus* textual

Fonte: O autor

3.1.1.1 Nuvem de palavras

A nuvem de palavras é estruturada de forma que o número de ocorrências de determinada palavra esteja diretamente ligada ao tamanho de sua fonte na figura.

De fato as palavras que aparecem com maior destaque na Figura 3.7, como *maintenance*, *human*, *error* e *factor* são diretamente ligadas ao tema proposto no presente trabalho, validando assim as palavras-chaves utilizadas



Figura 3.7 – Nuvem de palavras

Fonte: O autor

3.1.1.2 Análise de similitude

A análise de similitude baseia-se na teoria dos grafos, identificando as cocorrências entre as palavras Camargo e Justo (2013). Seu resultado traz a conexão entre palavras ao

"*error*", demonstrando mais uma vez a coesão do *corpus* frente ao tema proposto.

O cluster em amarelo, centrado na palavra "*maintenance*" apresenta relações direta com termos essenciais dentro do estudo de manutenção, como "*safety*" e "*tasks*"

O cluster esverdeado é, mais uma vez, a manifestação de termos atrelados à publicações, possuindo pouca ligação com o resto, apenas com a palavra "*maintenance*", pois é o tema central de todas as publicações.

Os outros 3 clusters, em azul, rosa e turquesa, são menores e apresentam poucas ligações com os outros, com excessão da palavra "*error*", no cluster rosa, que se liga fortemente com "*human*".

Seguindo-se a linha de distribuição pode-se reduzir o cluster a algumas linhas de pensamentos, como a linha *human* → *error* → *failure* → *probability*, indicando que sempre o erro humano está associado há uma probabilidade.

3.2 APRESENTAÇÃO E INTER-RELAÇÃO DOS DADOS

Mariano e Santos (2017) apresentam uma série de itens a serem tratados nesta etapa do TEMAC, como:

- Análise de palavras-chave;
- Revistas mais relevantes e que mais publicam sobre o tema;
- Evolução do tema ano a ano;
- Documentos mais citados;
- Autores que mais publicaram vs. autores que mais foram citados;
- Países que mais publicam.

A análise dos dados provenientes do WoS pode ser realizada de diversas formas. Mariano e Santos (2017) sugerem a utilização do software VOSViewer (<https://www.vosviewer.com/>), pois apresenta a possibilidade de se trabalhar com dados de formatos diversos e sua licença de utilização é livre e grátis.

3.2.1 Análise de palavras-chave

A análise das palavras-chave permite saber qual termos são mais comumente utilizados em conjunto. Utilizou-se um número mínimo de 10 ocorrências de palavras-chave, resultando em 32 itens. O resultado desta análise é apresentado a seguir na Figura 3.9.

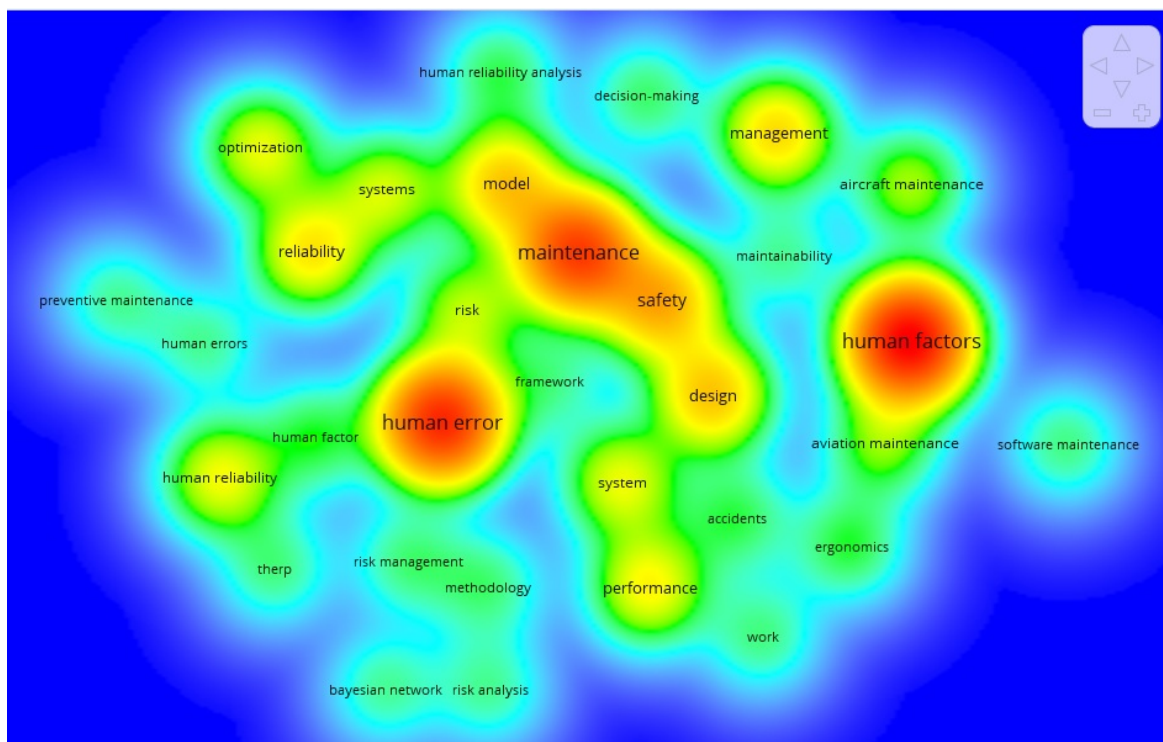


Figura 3.9 – Associação de palavras-chave.

Fonte: O autor.

A análise do mapa de calor demonstra três grandes palavras-chave: Manutenção; Erro Humano; e Fatores Humanos.

Outra palavra-chave que chama a atenção é *Bayesian network* (Rede Bayesiana), que vem se mostrando, recentemente, como uma das técnicas mais aplicadas no tema Confiabilidade Humana.

3.2.2 Revistas mais relevantes e que mais publicam sobre o tema

Para a análise das revistas que mais publicam realizou-se um filtro no WoS, incluindo apenas revistas com no mínimo 2 publicações acerca das palavras-chave.

Esta filtragem resultou em 105 revistas diferentes, sendo que as 10 com mais publicações são apresentado na Figura 3.10:

Publicação	# Publicações	# Citações	Média / Ano
RELIABILITY ENGINEERING SYSTEM SAFETY	23	668	3,47
SAFETY SCIENCE	19	457	3,09
JOURNAL OF LOSS PREVENTION IN THE PROCESS INDUSTRIES	18	328	2,86
INTERNATIONAL JOURNAL OF INDUSTRIAL ERGONOMICS	17	460	2,02
PROCESS SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION	13	153	2,11
ADVANCES IN INTELLIGENT SYSTEMS AND COMPUTING	12	29	7,45
PROCESS SAFETY PROGRESS	9	21	2,65
ACM TRANSACTIONS ON SOFTWARE ENGINEERING AND METHODOLOGY	8	174	2,82
AIRCRAFT ENGINEERING AND AEROSPACE TECHNOLOGY	8	24	0,5
QUALITY AND RELIABILITY ENGINEERING INTERNATIONAL	8	62	1,37
Total	135	2376	28,34

Figura 3.10 – Revistas que mais publicam.

Fonte: O autor.

Em comparação, temos na Figura 3.11, a relevância dessas 10 publicações em relação as áreas de pesquisa.

Publicação	Rank	# Citações	Fator de Impacto	Pontuação Eigenfactor
RELIABILITY ENGINEERING & SYSTEM SAFETY	260	15379	5.040	0,016630
SAFETY SCIENCE	417	1263	4.105	0,012700
JOURNAL OF LOSS PREVENTION IN THE PROCESS INDUSTRIES	863	6632	2.795	0,006490
INTERNATIONAL JOURNAL OF INDUSTRIAL ERGONOMICS	1647	385	1.662	0,002040
PROCESS SAFETY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION	270	8151	4.966	0,010790
ADVANCES IN INTELLIGENT SYSTEMS AND COMPUTING	-	-	-	-
PROCESS SAFETY PROGRESS	2574	832	0,734	0,000590
ACM TRANSACTIONS ON SOFTWARE ENGINEERING AND METHODOLOGY	1312	866	2.057	0,001280
AIRCRAFT ENGINEERING AND AEROSPACE TECHNOLOGY	2512	831	0,785	0,000820
QUALITY AND RELIABILITY ENGINEERING INTERNATIONAL	1596	2975	1.718	0,004070
Total	1272	37314	2.483	0,006157

Figura 3.11 – Fator de impacto das Revistas que mais publicam

Fonte: O autor

Ressalta-se que *ADVANCES IN INTELLIGENT SYSTEMS AND COMPUTING* se trata de uma coleção de livros, então, apesar de figurar nesta lista, não possuíra fator de impacto, diferentemente dos periódicos.

Apesar de estar ranqueado na 260ª posição entre todos os temas procurados, o *RELIABILITY ENGINEERING & SYSTEM SAFETY* é uma publicação de 1º quartil tanto na área de Engenharia Industrial (*Industrial Engineering*, sendo o 6º dentre 48 periódicos, quanto na área de Pesquisa Operacional (*Operation Research and Management Science*, sendo o 6º entre 83 publicações).

Esses dados evidenciam que o tema Confiabilidade Humana possui estudos de ponta e uma série de publicações em periódicos respeitados.

3.2.3 Evolução do tema ano a ano

A análise da evolução do tema ano a ano é vital para se entender o contexto atual da área de pesquisa. A Figura 3.12 demonstra que nos últimos 5 anos o tema Confiabilidade Humana tem se expandido, possuindo número recordes de publicações em 2016 e 2019, demonstrando assim a relevância deste trabalho.



Figura 3.12 – Número de publicações por ano.

Fonte: O autor.

Quanto ao número de citações a Figura 3.13 explicita o claro crescimento de pesquisas ligadas ao tema, tendo crescimentos ao longo dos últimos 5 anos.

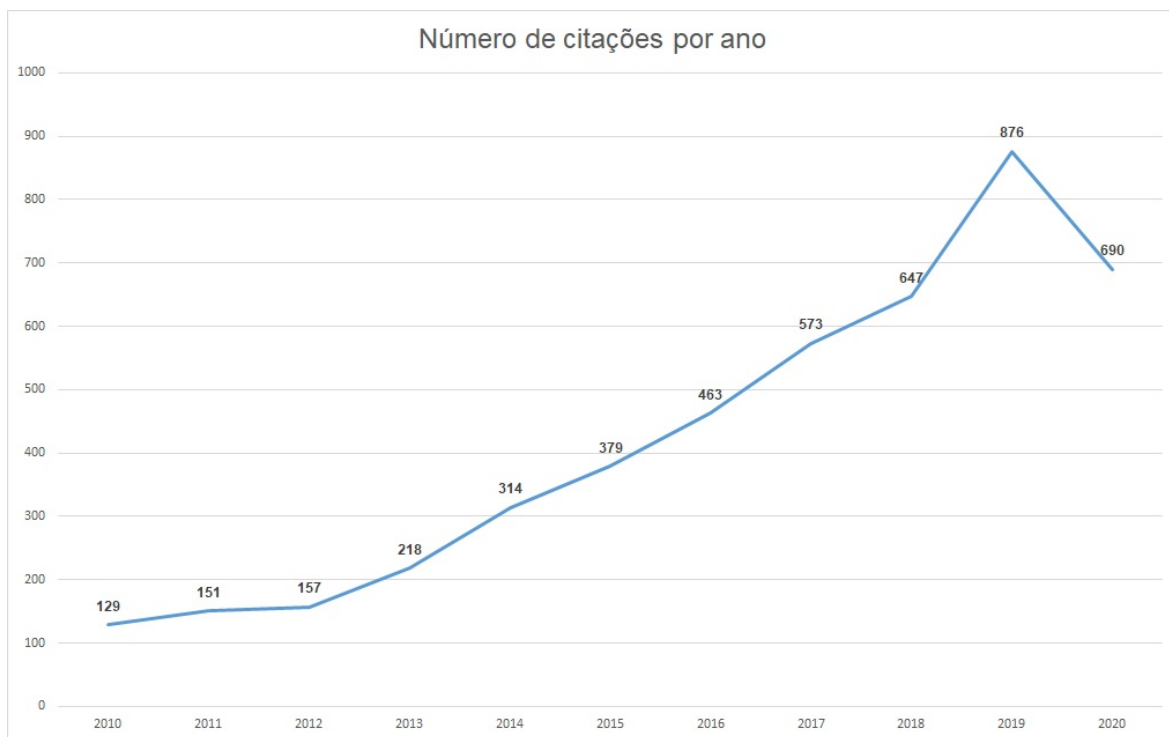


Figura 3.13 – Número de citações por ano.

Fonte: O autor.

3.2.4 Autores e artigos mais citados

Uma análise dos autores e artigos mais citados possibilita um melhor entendimento do contexto e linhas de pesquisa referentes ao tema. O Quadro 3.1 apresenta a lista dos 10 artigos mais citados

Quadro 3.1 – 10 artigos mais citados

Posição	Título	Autores	Título da fonte	Total de citações
1	The paradoxes of almost totally safe transportation systems	Amalberti, R	SAFETY SCIENCE	213
2	Incorporating organizational factors into Probabilistic Risk Assessment (PRA) of complex socio-technical systems: A hybrid technique formalization	Mohaghegh, Zahra; Kazemi, Reza; Mosleh, Ali	RELIABILITY ENGINEERING & SYSTEM SAFETY	120
3	A fuzzy modeling application of CREAM methodology for human reliability analysis	Konstandinidou, M; Nivolianitou, Z; Kiranoudis, C; Markatos, N	RELIABILITY ENGINEERING & SYSTEM SAFETY	116
4	Risk modelling of maintenance work on major process equipment on offshore petroleum installations	Vinnem, J. E.; Bye, R.; Gran, B. A.; Kongsvik, T.; Nyheim, O. M.; Okstad, E. H.; Seljelid, J.; Vatn, J.	JOURNAL OF LOSS PREVENTION IN THE PROCESS INDUSTRIES	94
5	Influences of variables on ship collision probability in a Bayesian belief network model	Hanninen, Maria; Kujala, Pentti	RELIABILITY ENGINEERING & SYSTEM SAFETY	93
6	A review of human error in aviation maintenance and inspection	Latorella, KA; Prabhu, PV	INTERNATIONAL JOURNAL OF INDUSTRIAL ERGONOMICS	82
7	Stochastic Analysis of a Standby System With Waiting Repair Strategy	Ram, Mangey; Singh, Suraj Bhan; Singh, Vijay Vir	IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS MAN CYBERNETICS-SYSTEMS	55
8	The role of human error in risk analysis: Application to pre- and post-maintenance procedures of process facilities	Noroozi, Alireza; Khakzad, Nima; Khan, Faisal; MacKinnon, Scott; Abbassi, Rouzbeh	RELIABILITY ENGINEERING & SYSTEM SAFETY	52
9	Types and sources of fatal and severe non-fatal accidents in industrial maintenance	Lind, Salla	INTERNATIONAL JOURNAL OF INDUSTRIAL ERGONOMICS	48
	A hybrid human and organizational analysis method for railway accidents based on HFACS-Railway Accidents (HFACS-RAs)	Zhan, Qingjian; Zheng, Wei; Zhao, Bobo	SAFETY SCIENCE	48
	Significant human risk factors in aircraft maintenance technicians	Chang, Yu-Hern; Wang, Ying-Chun	SAFETY SCIENCE	48
10	Assessment of human reliability factors: A fuzzy cognitive maps approach	Bertolini, Massimo	INTERNATIONAL JOURNAL OF INDUSTRIAL ERGONOMICS	47
	Dynamic risk analysis of offloading process in floating liquefied natural gas (FLNG) platform using Bayesian Network	Yeo, ChuiTing; Bhandari, Jyoti; Abbassi, Rouzbeh; Garaniya, Vikram; Chai, Shuhong; Shomali, Behzad	JOURNAL OF LOSS PREVENTION IN THE PROCESS INDUSTRIES	47

Fonte: O autor

Para um entendimento mais coeso das linhas de pesquisa, a Figura 3.14 apresenta um mapa de calor com os principais autores e seus artigos mais citados, agrupados na forma de *clusters*.

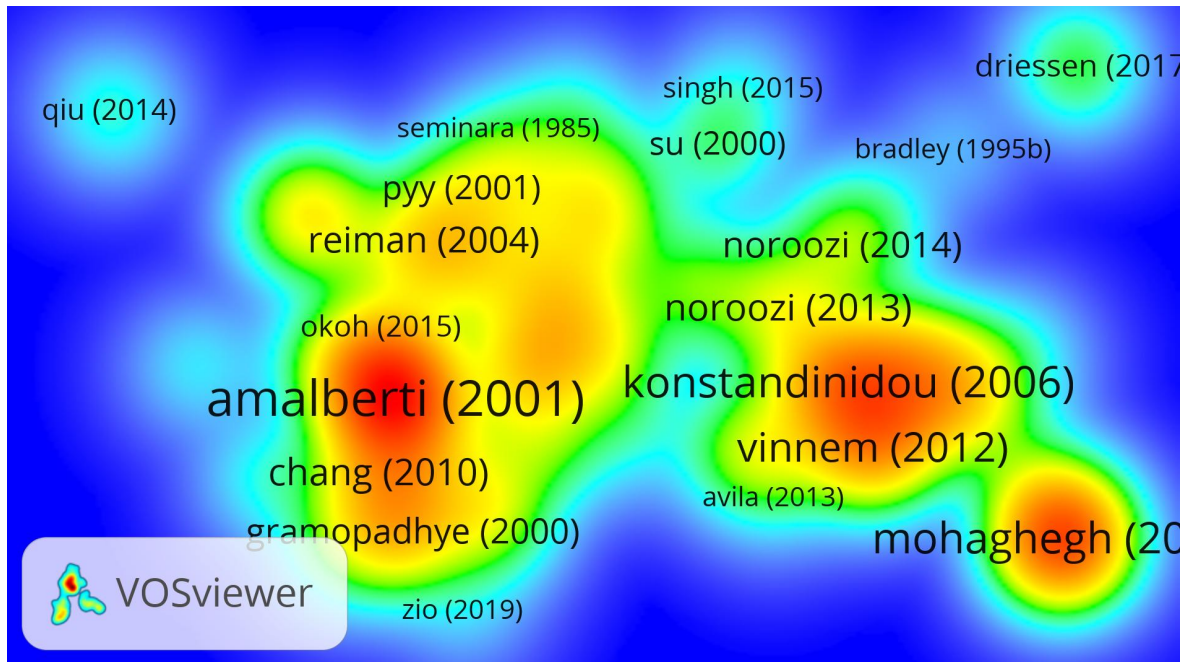


Figura 3.14 – Mapa de calor dos principais autores e seus artigos

Fonte: O autor

É perceptível a presença de 3 grandes *clusters*: o de Amalberti (2001); o de Konstandinidou et al. (2006); e o de Mohaghegh, Kazemi e Mosleh (2009).

O primeiro *cluster* apresenta como trabalhos mais citados os de Amalberti (2001) e Lind (2008), Ambos os autores trazem linhas de pesquisa dentro da análise de erros humanos em sistemas, com Amalberti (2001) analisando os paradoxos trazidos dentro de sistemas de transporte quase totalmente eficientes e Lind (2008) realizando uma revisão de tipos e causas de acidentes mais comuns dentro de sistemas industriais.

O segundo *cluster* apresenta uma linha de pesquisa focada em métodos de *Human Reliability Analysis*, com Konstandinidou et al. (2006) apresentando um sistema de classificação difusa da metodologia CREAM para calcular as probabilidades de erro humano, sendo o trabalho mais citado e Wang et al. (2019), com seu estudo acerca da aplicação de redes bayesianas para quantificação de erros humanos e otimização de uma planta de manufatura, sendo a publicação mais recente.

Por fim tem-se o *cluster* que traz os trabalhos de Mohaghegh, Kazemi e Mosleh (2009), Baalisampang et al. (2018), Hänninen e Kujala (2012), entre outros, e trata de metodologias mais recentes para avaliação da Confiabilidade Humana. Os trabalhos de Hänninen e Kujala (2012) e Mohaghegh, Kazemi e Mosleh (2009), particularmente, são bem focados na

análise dos fatores e variáveis atrelados à erros humanos e em métodos de se quantificar as probabilidades atreladas a cada um destes.

3.2.5 Agências financiadoras

O Quadro 3.2 apresenta as agências que mais financiaram pesquisas acerca do tema procurado.

Quadro 3.2 – Agências financiadoras

Posição	Agências financiadoras	Registros	% de 624
1	NATIONAL NATURAL SCIENCE FOUNDATION OF CHINA NSFC	22	3.525
2	EUROPEAN COMMISSION	9	1.442
3	NATURAL SCIENCES AND ENGINEERING RESEARCH COUNCIL OF CANADA NSERC	8	1.282
4	EUROPEAN COMMISSION JOINT RESEARCH CENTRE	5	0.801
	CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTIFICO E TECNOLOGICO CNPQ	4	0.641
	FUNDAMENTAL RESEARCH FUNDS FOR THE CENTRAL UNIVERSITIES	4	0.641
	KOREAN GOVERNMENT	4	0.641
	MINISTRY OF EDUCATION SCIENCE AND TECHNOLOGY REPUBLIC OF KOREA	4	0.641
	MINISTRY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY TAIWAN	4	0.641
	UK RESEARCH INNOVATION UKRI	4	0.641
	CHINA SCHOLARSHIP COUNCIL	3	0.480
5	CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS Y TECNICAS CONICET	3	0.480
	COORDENACAO DE APERFEICOAMENTO DE PESSOAL DE NIVEL SUPERIOR CAPES	3	0.480
	ENGINEERING PHYSICAL SCIENCES RESEARCH COUNCIL EPSRC	3	0.480
	NATIONAL KEY RESEARCH AND DEVELOPMENT PROGRAM OF CHINA	3	0.480
	NATIONAL SCIENCE FOUNDATION NSF	3	0.480
	ROYAL NAVY	3	0.480
	SECTYP SECRETARIA DE CIENCIA TECNOLGIA Y POSGRADO OF THE UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO ARGENTINA	3	0.480
6	BHP FELLOWSHIP FOR ENGINEERING FOR REMOTE OPERATIONS	2	0.320
	EUROPEAN COMMUNITIES WITHIN THE FRAMEWORK OF EFDA	2	0.320
	GERMAN RESEARCH FOUNDATION DFG	2	0.320
	MINISTRY OF HIGHER EDUCATION SCIENTIFIC RESEARCH MHESR	2	0.320
	NATIONAL BASIC RESEARCH PROGRAM OF CHINA	2	0.320
	NATIONAL HIGH TECHNOLOGY RESEARCH AND DEVELOPMENT PROGRAM OF CHINA	2	0.320
	NATIONAL KEY R D PROGRAM OF CHINA	2	0.320

Fonte: O autor

A agência que mais financia pesquisas acerca de confiabilidade humana é proveniente da China, possuindo registros maiores que a segunda e terceira posição somadas.

O Brasil se destaca nas posições 4 e 5, tendo o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) como financiadoras, respectivamente, de 4 e 3 pesquisas acerca do tema.

3.3 CONFERÊNCIAS E ENCONTROS

As conferências e encontros demonstram em quais locais a linha de pesquisa tem sido apresentada.

O Quadro 3.3 apresenta as conferências e encontros relacionadas no levantamento bibliométrico.

Quadro 3.3 – Conferências e Encontros

Posição	Títulos de conferência e encontros	Registros	% de 624
1	IEEE 6TH CONFERENCE ON HUMAN FACTORS AND POWER PLANTS GLOBAL PERSPECTIVES OF HUMAN FACTORS IN POWER GENERATION	6	0.961
2	6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON PROBABILISTIC ASSESSMENT AND MANAGEMENT PSAM6	4	0.641
	ANNUAL RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM RAMS	4	0.641
	IEEE AEROSPACE CONFERENCE	4	0.641
	IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND ENGINEERING MANAGEMENT IBEM	4	0.641
3	1997 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS MAN AND CYBERNETICS COMPUTATIONAL CYBERNETICS AND SIMULATION SMC 97	3	0.480
	39TH ANNUAL MEETING OF THE HUMAN FACTORS AND ERGONOMICS SOCIETY	3	0.480
	41ST ANNUAL MEETING OF THE HUMAN FACTORS AND ERGONOMICS SOCIETY	3	0.480
	4TH INTERNATIONAL RAIL HUMAN FACTORS CONFERENCE	3	0.480
	CONFERENCE ON FORESIGHT AND PRECAUTION	3	0.480
	EUROPEAN SAFETY AND RELIABILITY CONFERENCE ESREL	3	0.480
4	15TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LOSS PREVENTION AND SAFETY PROMOTION	2	0.320
	18TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON NUCLEAR ENGINEERING ICONE 18	2	0.320
	20TH CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ERGONOMICS ASSOCIATION IEA	2	0.320
	28TH ANNUAL CONFERENCE OF THE IEEE INDUSTRIAL ELECTRONICS SOCIETY	2	0.320
	33RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOFTWARE ENGINEERING ICSE	2	0.320
	35TH ANNUAL MEETING OF THE HUMAN FACTORS SOC	2	0.320
	3RD INT CONF ON GEOTECHNICAL ENGN FOR DISASTER MITIGATION AND REHABILITATION	2	0.320
	5TH INT CONF ON GEOTECHNICAL AND HIGHWAY ENGN PRACTICAL APPLICATIONS CHALLENGES AND OPPORTUNITIES	2	0.320
	49TH ANNUAL INTERNATIONAL AIR SAFETY SEMINAR INTERNATIONAL FEDERATION OF AIRWORTHINESS 26TH INTERNATIONAL CONFERENCE INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION	2	0.320
	4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON THROUGH LIFE ENGINEERING SERVICES TESCONF	2	0.320
	5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON PROBABILISTIC SAFETY ASSESSMENT AND MANAGEMENT	2	0.320
	7TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SAFETY SCIENCE AND TECHNOLOGY ISSST	2	0.320
	FLIGHT SAFETY FOUNDATION 46TH ANNUAL INTERNATIONAL AIR SAFETY SEMINAR INTERNATIONAL FEDERATION OF AIRWORTHINESS 23RD INTERNATIONAL CONFERENCE	2	0.320
	HUMAN FACTORS AND ERGONOMICS SOCIETY 38TH ANNUAL MEETING	2	0.320
IEEE ACM 2ND INTERNATIONAL WORKSHOP ON SOFTWARE ARCHITECTURE AND METRICS SAM	2	0.320	

Fonte: O autor

3.3.1 Países que mais publicam

A Figura 3.15 mostra um mapa de calor com a distribuição dos países com maior número de citações.

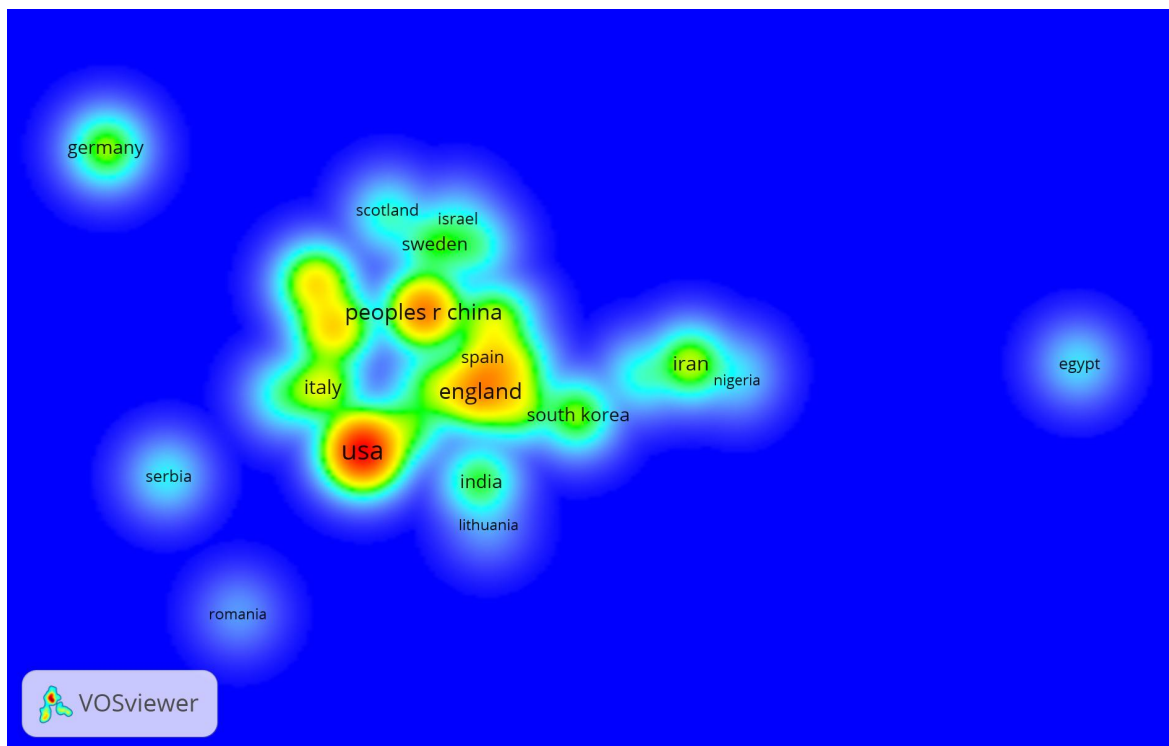


Figura 3.15 – Mapa de calor dos países com maior número de citações

Fonte: O autor

Os países com mais citações também ocupam as 4 primeiras posições dos que mais publicam acerca do tema, com Estados Unidos tendo 147 publicações, China 67 publicações, Inglaterra 56 e Canadá 37. O Brasil figura na lista com 19 publicações acerca do tema e 82 citações aos seus materiais.

Dentre eles, a publicação mais citada é a de Ribeiro et al. (2016), com 16 citações. O trabalho apresenta um estudo de caso que avalia o acidente ocorrido no ano de 200 em Tokai-Mura, Japão. Os autores formulam um modelo de análise da confiabilidade da instalação e dos fatores humanos utilizando um misto de duas metodologias (*Cognitive Reliability and Error Analysis Method* (CREAM) e *Technique for Human Error Rate Prediction* (THERP)) e a opinião de especialistas para completar dados faltantes. Como resultado, os autores fornecem um modelo de avaliação de probabilidade de erro humano com a ponderação da influência de diversos fatores.

3.4 DETALHAMENTO, MODELO INTEGRADOR E VALIDAÇÃO POR EVIDÊNCIAS

A última etapa da TEMAC consiste na análise de dois parâmetros importantes: a co-citação e o *coupling*.

A análise de Co-citação verifica aqueles artigos que regularmente são citados juntos, podendo sugerir uma semelhança entre estes estudos (MARIANO; SANTOS, 2017). Sendo assim, uma análise desse fator permite a descoberta das abordagens mais utilizadas. Ao passo que, segundo Mariano e Santos (2017) o *coupling* toma como base a premissa de que artigos que citam trabalhos iguais, possuem similaridade e, portanto, retorna como resultado as frentes de pesquisa.

3.4.1 Co-citação

O mapa de calor apresentado na Figura 3.16 apresenta os núcleos de estudos semelhantes, ou seja, co-citação.

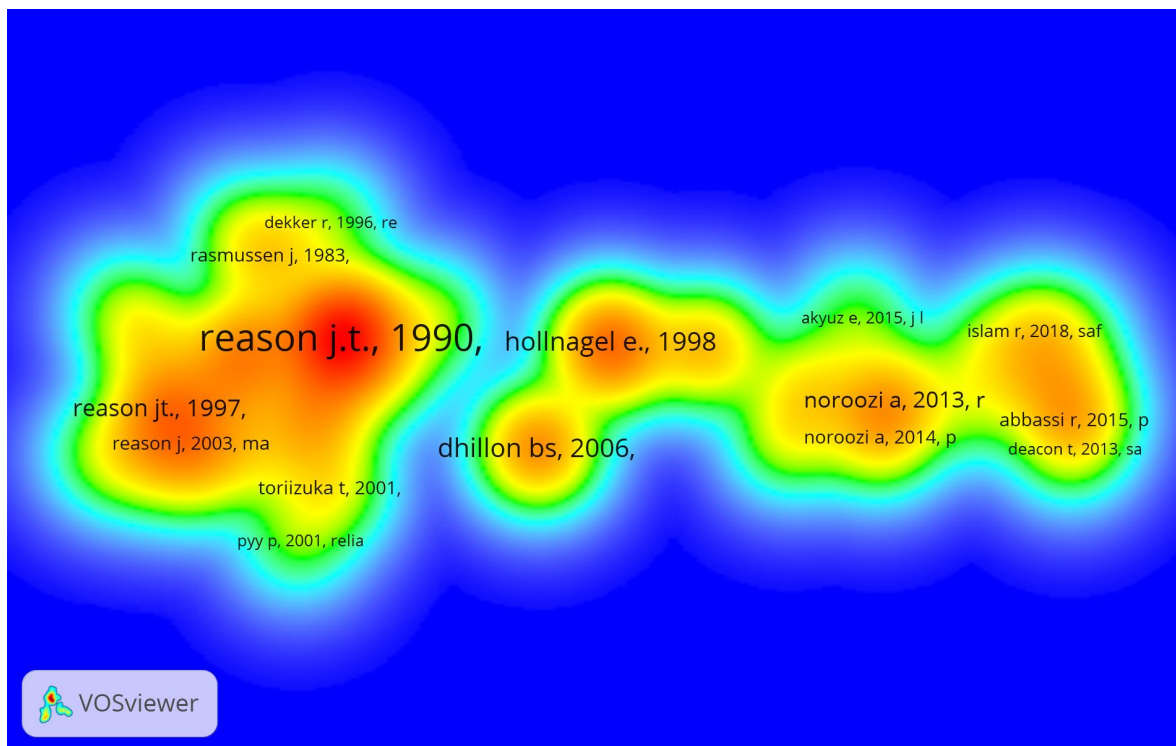


Figura 3.16 – Mapa de calor de co-citação

Fonte: O autor

A presença de 3 *clusters* é visível dentro do mapa. O maior *cluster* apresenta diversos trabalhos de Reason, sendo o principal Reason (1990), evidenciando a importância do autor

dentro da confiabilidade humana, principalmente na vertente de erro humano. Outro trabalho presente que trata deste assunto é o de Latorella e Prabhu (2000), que realiza uma revisão dos métodos existentes para identificação, relato e gerenciamento de erros humanos dentro do contexto de manutenção e inspeção de aeronaves.

O segundo *cluster* apresenta três publicações de Noroozi, sendo a mais citada, com 26 citações, seu trabalho acerca do papel do erro humano na análise de risco de procedimentos de manutenção em instalações industriais (NOROOZI et al., 2013), seguido de seu trabalho acerca da determinação de probabilidade de erro humano nos procedimentos de manutenção de bombas hidráulicas (NOROOZI et al., 2014).

Por fim, o último *cluster* apresenta um dos trabalhos mais antigos acerca da confiabilidade humana Swain e Guttman (1983). Os trabalhos mais citados deste núcleo são o de B.S. e Y. (2006), que traz uma revisão de erros humanos na manutenção e, apesar de antigo, ainda traz um grande panorama acerca dos vários setores onde o erro humano e manutenção podem ser fatais. Além desse, o livro de Hollnagel (1998), que apresenta a metodologia do método CREAM.

3.4.2 *Coupling*

A análise por *coupling*, segundo Mariano e Santos (2017), deve priorizar um período de tempo recente, sendo assim filtrou-se a base de dados para apenas publicações dos últimos 5 anos, incluindo 2020. O resultado é apresentado na Figura 3.17 a seguir.

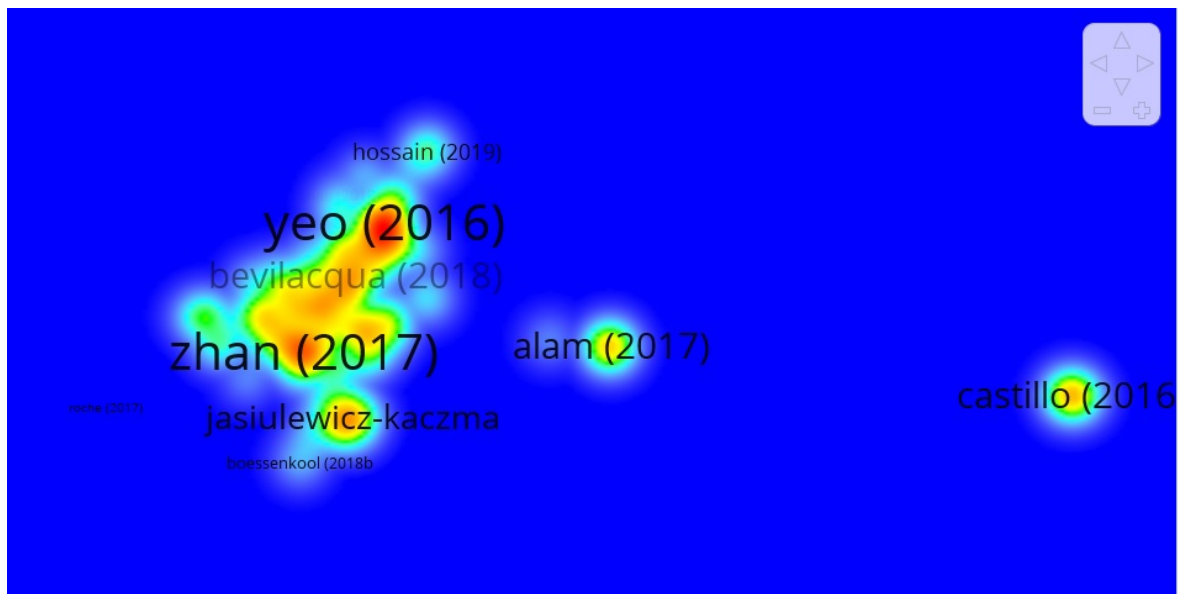


Figura 3.17 – Mapa de calor de *Coupling*

Fonte: O autor

A presença de cinco *clusters* é evidente, sendo o maior deles liderado pelos trabalhos de Zhan, Zheng e Zhao (2017), Bevilacqua e Ciarapica (2018) e Yeo et al. (2016). Zhan, Zheng e Zhao (2017) propõe uma metodologia de identificação e classificação dos fatores humanos e organizacionais envolvidos em acidentes em ferrovias. Bevilacqua e Ciarapica (2018) desenvolve uma nova metodologia de gestão de riscos para confiabilidade humana em refinarias de petróleo. Por fim Yeo et al. (2016) modela, por meio de Redes Bayesianas, o processo, e seus riscos associados, de descarregamento de uma plataforma flutuante de gás liquefeito.

A análise destas três publicações permite uma inferência de que este *cluster* segue a linha de desenvolvimento de novas metodologias dentro da confiabilidade humana.

O segundo núcleo gira em torno do trabalho de Jasiulewicz-Kaczmarek, Saniuk e Nowicki (2017) e junta publicações que tratam de manutenção e confiabilidade humana pela ótica da ergonomia.

O *cluster* de Alam et al. (2017) apresenta apenas sua publicação, que propõe um modelo de Realidades Virtual e Aumentada baseada em um protótipo de *Internet of Things* (IoT) para auxiliar trabalhadores de manutenção em ambientes extremos. Similar a Alam, o núcleo de Roche, Hochleitner e Summers (2017) apresenta apenas sua publicação, que trata dos impactos financeiros de erros humanos na indústria de controles de segurança, alarmes e travas. O teor de ambos os núcleos demonstra linhas de pesquisas ainda inexploradas dentro da confiabilidade humana, seja pela utilização de tecnologias de ponta como IoT, ou pela análise econômica da falta de confiabilidade humana na produção.

Por fim, o último núcleo é composto pelo trabalho de Castillo, Grande e Calviño (2016), com outras publicações como Grande et al. (2017) e Rajabalinejad, Martinetti e van Dongen (2016), todas tratando de confiabilidade humana dentro do contexto ferroviário e utilizando-se de Redes Bayesianas como modelo.

O modelo integrador resultante da aplicação do TEMAC é disposto como a figura 5.1 e apresentado em detalhes no capítulo 5

3.5 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

A aplicação do TEMAC dentro do campo de confiabilidade humana retorna algumas informações interessantes para o subsídio deste trabalho, uma vez que, por meio da aplicação desta técnica, informações sobre linhas de pesquisa atuais e linhas de pesquisa consagradas são apresentadas.

Outra informação relevante é a distribuição das pesquisas dentro do contexto geográfico, demonstrando a possibilidade de expansão dessa linha de pesquisa dentro do Brasil, uma vez

que o país ainda publica pouco comparado aos quatro países que mais publicam.

4 METODOLOGIA

Este capítulo aborda a metodologia e classificação do tipo de pesquisa realizado no presente trabalho

A classificação de uma pesquisa pode ser realizada de diversas formas. Para o presente trabalho utilizou-se a taxonomia de Vergara (2009) que divide em duas categorias: quanto aos fins e quanto aos meios.

Quanto aos fins, o presente trabalho se posiciona como uma pesquisa explicativa, pois visa esclarecer quais fatores contribuem para a análise de confiabilidade humana na manutenção e uma pesquisa metodológica, uma vez que o resultado final deste trabalho será um instrumento composto pelos fatores mapeados.

Quanto aos meios se classifica como uma pesquisa bibliográfica, pois se utiliza de material científico em sua fundamentação e mapeamento dos fatores.(VERGARA, 2009)

A pesquisa do presente trabalho fornece dois resultados distintos: uma revisão bibliométrica acerca das principais publicações relacionadas a confiabilidade humana e a identificação dos fatores que influenciam a análise de confiabilidade humana na manutenção.

A revisão bibliométrica foi realizada utilizando-se a Teoria do Enfoque Meta Analítico Consolidado (TEMAC), um método de análise bibliométrica estruturado e robusto que permite compreender a relevância do tema estudado dentro do contexto acadêmico (MARIANO; SANTOS, 2017).

Para validação das palavras-chave em relação as publicações apontadas pelo TEMAC utilizou-se a ferramenta *Interface de R pour les Analyses Multidimensionnelles de Textes et de Questionnaires* (IraMuTeQ), um *software* livre que permite a análise textual de conteúdos, de forma a se criar diversos resultados, desde nuvens de palavras até a criação de modelos de relacionamento hierárquico. A utilização deste *software* forneceu uma nuvem de palavras e análise de similitude.

Uma vez que se torna inviável a contemplação de todos os modelos de confiabilidade existentes, os modelos a serem analisados foram apenas os relacionados a tarefa dentro da classificação de Spurgin (2009), apresentadas na Figura 4.1.

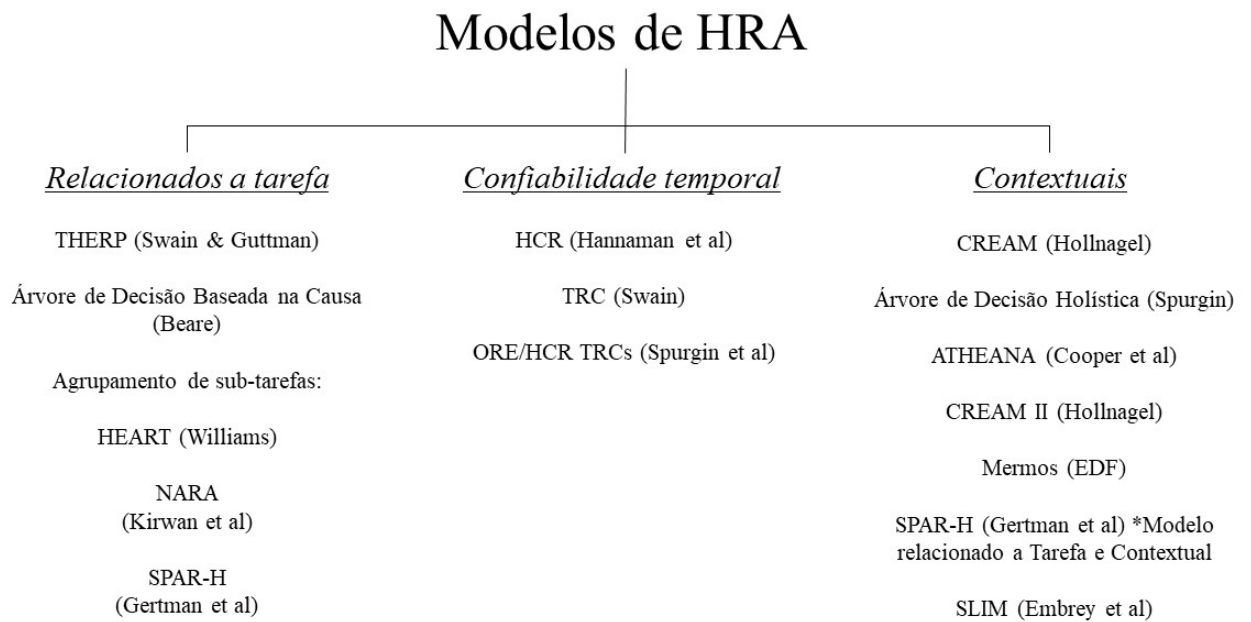


Figura 4.1 – Categorização de Modelos de HRA de acordo com suas características.

Adaptado de: Spurgin (2009)

Para a identificação dos fatores que influenciam a análise de confiabilidade humana na manutenção utilizou-se como base as publicações existentes acerca dos diversos modelos de confiabilidade humana relacionados a tarefa, tomando como fatores importantes os que se apresentam em diversos modelos distintos.

Por fim, uma análise dos principais modelos de confiabilidade humana relacionados a tarefa, pontuando seu funcionamento e pontos fortes e fracos de cada um, gerou a identificação dos principais fatores que influenciam a análise de confiabilidade humana na manutenção e suas descrições.

4.1 LOCAL DE ESTUDO

O presente estudo não se trata de um estudo de caso com um local de estudo definido logo, os resultados apresentados possuem como finalidade a contribuição de conteúdo acerca de confiabilidade humana na manutenção, especificamente acerca dos fatores que influenciam a análise de confiabilidade humana na execução de tarefas de manutenção, para a área acadêmica.

4.2 INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada utilizando-se a base de dados do *Web of Science* pois possui um ótimo período de tempo de cobertura, atualizações semanais para inserção de novas publicações e tem sua relevância atestada por Cobo et al. (2012).

O tratamento dos dados foi feito utilizando-se o software VOSViewer, pois apresenta a possibilidade de se trabalhar com dados nos formatos exportados pelo WoS e sua licença de utilização é livre e grátis.

4.3 PROCEDIMENTOS

O levantamento da literatura disponível no *Web of Science* só é possível utilizando-se palavras-chave no campo de busca.

Para a definição e limitação dos termos de busca, visando um levantamento de publicações, autores e assuntos diretamente relacionados ao tema e que possuíssem relevância dentro do contexto de pesquisa, buscou-se uma integração entre os dois temas centrais da pesquisa: manutenção e confiabilidade humana, gerando a Figura 4.2 a seguir.

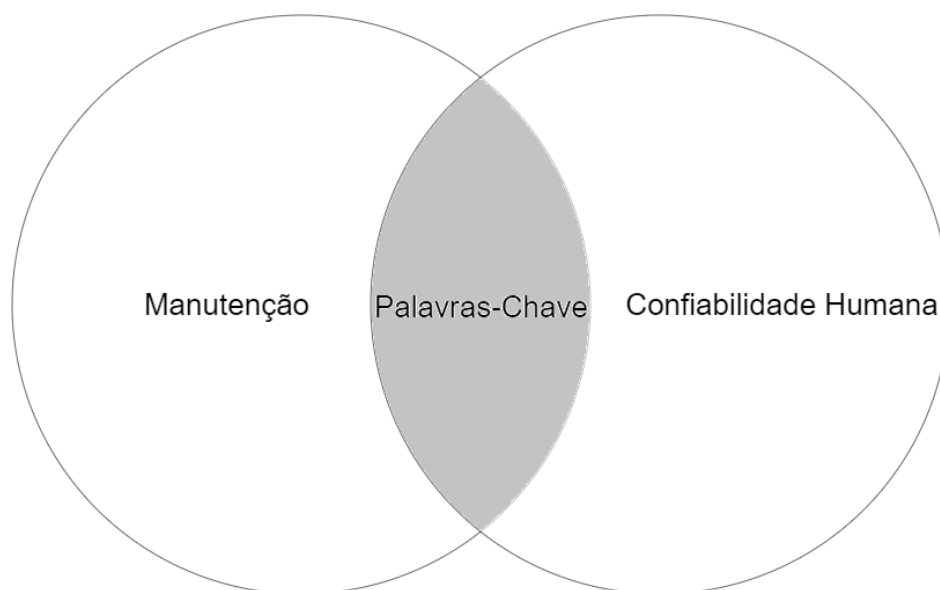


Figura 4.2 – Modelo Preliminar de Integração das Áreas de Pesquisa

Fonte: O autor

A definição das áreas de pesquisa permite a utilização do TEMAC para o levantamento bibliométrico, resultando em um modelo integrador apresentado no Capítulo 5.

4.4 RESULTADOS

Os resultados obtidos na presente pesquisa são:

- Análise bibliométrica acerca da confiabilidade humana a nível mundial, levantando-se a evolução do tema na última década, países que mais publicam e linhas de pesquisas atuais;
- Identificação de 7 fatores que influenciam a confiabilidade humana relacionada à tarefas de manutenção.

Os fatores identificados são descritos de forma individual no Capítulo 5, sendo estes: (i) Nível de estresse; (ii) Complexidade; (iii) Tempo disponível para realização da tarefa; (iv) Processos de trabalho; (v) Experiência e treinamento; (vi) Procedimentos; e (vii) Ergonomia e Interface Homem-Máquina.

5 CONFIABILIDADE HUMANA RELACIONADA À TAREFAS DE MANUTENÇÃO

Neste capítulo os modelos de confiabilidade relacionados a tarefa, com suas forças e fraquezas, são apresentados e, por meio da análise destes modelos, os principais fatores que influenciam a análise de confiabilidade humana na manutenção são identificados.

Os modelos de confiabilidade humana relacionados tem como cerne a ideia de que a tarefa que está sendo realizada define a confiabilidade da operação (SPURGIN, 2009).

Conforme apresentado no Capítulo 2, Spurgin (2009) apresenta 5 modelos que se enquadram nesta definição, sendo eles: (i) *Technique for Human Error Rate Prediction* (THERP); (ii) *Cause-Based Decision Tree* (CBDT); (iii) *Human Error Assessment and Reduction Technique* (HEART); (iv) *Nuclear Action Reliability Assessment* (NARA); e (v) *Standardized Plant Analysis Risk-Human Reliability Analysis* (SPAR-H)

A seguir, cada modelo é apresentado com uma breve explicação e identificação de pontos fortes e fracos de cada um.

5.1 THERP

O THERP é um modelo para realizar uma análise de confiabilidade de fatores humanos, fornecendo previsões quantitativas de degradação do sistema homem-máquina resultante de erros humanos (SWAIN, 1964).

Uma análise, utilizando-se o modelo THERP, pode ser executada realizando-se 6 passos, conforme explicitados por Swain (1964), Kirwan (1996) e, Spurgin (2009).

- (i) Realizar análises detalhadas das tarefas, dividindo-as em elementos;
- (ii) Atribuir probabilidades de erro humano a cada elemento de tarefa;
- (iii) Estimar os efeitos dos fatores de modelagem de desempenho em cada probabilidade de erro. Neste caso, efeitos de estresse e pressão de tempo fazem com que o valor da probabilidade de erro humano seja multiplicada por um fator de 5.
- (iv) Calcular a interdependência entre as tarefas;
- (v) Modelar uma árvore análise de eventos de confiabilidade humana;

- (vi) Quantificar a probabilidade de erro humano para o sistema

A seguir, o Quadro 5.1 apresenta os pontos fortes e fracos do modelo THERP

Quadro 5.1 – Forças e fraquezas da THERP.

THERP	
Forças	Fraquezas
Relativamente fácil de aplicar, uma vez que, após a definição das tarefas, a árvore de eventos exige apenas cálculos de probabilidade.	A definição do número de sub-tarefas principais varia de acordo com a percepção do aplicante e da complexidade da tarefa.
Pode ser usado com alta confiabilidade para tarefas similares as descritas no original de Swain (1964).	Por ser um modelo estruturado com tarefas já mapeadas, tarefas que fogem deste mapeamento acabam se tornando dados discrepantes.
Possui um bom nível de documentação.	A avaliação dos fatores de modelagem de desempenho dependem exclusivamente da percepção qualitativa do aplicante.

Fonte: O Autor

5.2 CBDT

O modelo CBDT utiliza alguma das bases da THERP, porém, ao invés do aplicante identificar as principais sub tarefas associadas e, em seguida, consultar as tabelas já estruturadas por Swain e Guttman (1983), o aplicante consulta uma das oito árvores de decisão propostas por Beare (1990).

As oito árvores de decisão de Beare (1990) consistem em desdobramentos de dois módulos de falha: a falha na interface informação-operador; e falha na interface processo-equipe (SPURGIN, 2009).

Falhas na interface informação-operador ocasionam as seguintes causas:

- Os dados necessários não estão fisicamente disponíveis para os operadores;
- Os dados estão disponíveis, mas não são acessíveis;
- Os dados estão disponíveis, mas foram lidos incorretamente ou mal comunicados;
- As informações disponíveis são errôneas.

Já as falhas na interface processo-equipe ocasionam outras quatro causas de falha:

- Uma etapa relevante no procedimento é ignorada;
- Ocorrência de erro na interpretação das instruções;
- Ocorrência de erro na interpretação lógica de diagnóstico;
- A equipe decide violar deliberadamente o procedimento.

A seguir, o Quadro 5.2 apresenta os pontos fortes e fracos da metodologia CBDT

Quadro 5.2 – Forças e fraquezas da CBDT

CBDT	
Forças	Fraquezas
Relativamente fácil de aplicar, uma vez que o usuário deve apenas considerar qual ramo é mais provável de acontecer.	Apesar da facilidade de aplicação, é necessário que o usuário possua conhecimento específico sobre o equipamento, de forma a avaliar corretamente os dados existentes.
Utiliza-se de Árvores de decisão (DT), o que a torna mais fácil para o usuário, uma vez que a complexidade da árvore final diminui, pois se torna apenas a junção de várias árvores menores.	A compreensão do significado das árvores pode se tornar um problema.
Diferentemente da THERP, existe a possibilidade de se mapear tarefas diversas.	A seleção de caminhos e estados finais limitante.

Fonte: O Autor

5.3 HEART E NARA

Um dos problemas com a THERP é que tarefas idênticas, apesar de possuírem a mesma probabilidade de erro humano, tem desempenho distintos em diferentes estações de trabalho (SPURGIN, 2009).

Para sanar esse problema, o modelo HEART propõe que a probabilidade de erro humano seja associada a uma série de fatores de ponderação, introduzidos de forma criar um intervalo onde um erro pode ser mais ou menos provável de acontecer de acordo com as condições existentes (SPURGIN, 2009).

O modelo NARA é um desdobramento específico do HEART para aplicações exclusivas em plantas nucleares (BELL; HOLROYD, 2009). Sua diferenciação ocorre em dois pontos: as tarefas da HEART são substituídas por tarefas diretamente ligadas às operações nucleares; e um fator adicional, chamado de valor limite de desempenho humano, é acrescentado dentro da avaliação da probabilidade de erro humano, de forma a se definir um limite mínimo para este valor.

Por conta de suas similaridades HEART e NARA apresentam pontos fortes e fracos semelhantes, apresentadas a seguir no Quadro 5.3.

Quadro 5.3 – Forças e fraquezas do modelo HEART

HEART e NARA	
Forças	Fraquezas
Leva em conta fatores contextuais para a quantificação da probabilidade de erro humano (SPURGIN, 2009).	A seleção das tarefas principais não é fácil e as descrições são vagas (SPURGIN, 2009). No caso do modelo NARA, as tarefas são mais próximas da realidade da planta, porém ainda são vagas em relação às operações reais.
Possui uma boa acurácia, validada em estudos como o de Bell e Holroyd (2009).	Falta de informação sobre até que ponto as tarefas devem ser decompostas para análise (BELL; HOLROYD, 2009).
Produz como resultado uma sugestão de reduções de erros (BELL; HOLROYD, 2009).	Potencial para contagem dupla, uma vez que alguns elementos de contexto estão implícitos na tarefa (BELL; HOLROYD, 2009).

Fonte: O Autor

5.4 SPAR-H

O modelo SPAR-H é formado por 5 passos, conforme apresentado por Gertman et al. (2004):

- Decompor a probabilidade em contribuições de falhas de diagnóstico e falhas de ação;
- Avaliar a importância do contexto associado a eventos de falha humana, utilizando-se fatores de modelagem de desempenho e interdependência entre tarefas;
- Usar probabilidades de erro humano e fatores de modelagem de desempenho de casos-

base predefinidos;

- Empregar uma distribuição beta para análise de incerteza, fazendo com que as probabilidades calculadas com esta abordagem variem de 0 a 1;
- Utilizar planilhas designadas para garantir a consistência da análise.

O modelo SPAR-H foi criado para estimar as probabilidades de erro humano associado às ações e decisões do operador e da equipe (GERTMAN et al., 2004).

Esse processo é realizado destrinchando a tarefa humana em dois grupos: ação ou diagnóstico (GERTMAN et al., 2004). Gertman et al. (2004) definem as tarefas de ação como as realizadas ao se executar os procedimentos da fábrica ou ordens de trabalho, enquanto as tarefas de diagnóstico são as dependentes de conhecimento ou experiência prévia para compreender condições existentes e realizar planejamentos e prioridades de forma a se tomar as ações apropriadas.

Um fator diferencial do SPAR-H é a possibilidade dos fatores de modelagem de desempenho serem benéficos dentro do modelo, reduzindo a probabilidade de erro humano associada a tarefa.

A seguir, o Quadro 5.4 apresenta outros pontos fortes e fraquezas do modelo SPAR-H

Quadro 5.4 – Forças e fraquezas do SPAR-H

SPAR-H	
Forças	Fraquezas
Método bem projetado para o uso pretendido (SPURGIN, 2009).	O método pode não ser apropriado em situações onde análises e diagnósticos mais detalhadas são necessárias (BELL; HOLROYD, 2009).
Exemplos úteis fornecidos em texto geram uma maior facilidade na aplicação do modelo (SPURGIN, 2009).	Falta de informação sobre até que ponto as tarefas devem ser decompostas para análise (BELL; HOLROYD, 2009).
Os oito fatores de modelagem de desempenho funcionam bem em situações em que análises específicas não são necessárias (BELL; HOLROYD, 2009).	Em análises mais específicas os fatores de modelagem de desempenho possuem graus de resolução não satisfatórios (BELL; HOLROYD, 2009).

Fonte: O Autor.

A seguir, será apresentado os fatores que influenciam a análise de confiabilidade humana na manutenção com base nos modelos de confiabilidade humana citados.

5.5 FATORES QUE INFLUENCIAM A CONFIABILIDADE HUMANA RELACIONADA À TAREFAS DE MANUTENÇÃO

Considerando-se os fatores de modelagem de desempenho, os pontos fortes e fracos de cada modelo apresentado, assim como suas características e estruturação, foram identificados os fatores que influenciam a análise de confiabilidade humana na manutenção conforme apresentado na Figura 5.1.

A seguir cada um dos fatores, começando por nível de estresse e após percorrendo a Figura 5.1 em sentido horário, é explicado.



Figura 5.1 – Fatores que influenciam a análise de confiabilidade humana na manutenção.

Fonte: O Autor.

5.5.1 Nível de estresse

Estresse é o nível de condições indesejáveis e circunstâncias que impedem ou retardam o operador de completar sua tarefa (BLACKMAN; GERTMAN; BORING, 2008).

Uma sequência diversa de fatores, como carga excessiva de trabalho, tanto relativa à tempo quanto a atividade em si, fatores ambientais não-ideais, como calor excessivo, ruído e baixa ventilação, e pressão ou nervosismo associado a importância da tarefa, geram estresse dentro do ambiente de manutenção, impactando tanto de forma física quanto psicológica na execução da tarefa (BLACKMAN; GERTMAN; BORING, 2008).

Kirwan (1996) apresenta alguns outros fatores que podem gerar níveis de estresse dentro

de um ambiente de manutenção, como perturbação do ritmo circadiano, dor ou desconforto físico, monotonia e falta de percepção de importância da tarefa, entre outros.

Blackman, Gertman e Boring (2008) argumentam que o nível de estresse possui um desempenho curvilíneo, enquanto uma pequena carga de estresse, chamada por eles de nominal, é benéfica para o aumento de desempenho, níveis de estresse maiores levam a uma atuação muito abaixo do padrão.

5.5.2 Complexidade

Complexidade se refere a dificuldade associada a tarefa em relação ao contexto fornecido (BLACKMAN; GERTMAN; BORING, 2008).

Uma análise de complexidade da tarefa exige que fatores como o ambiente em que deve ser executado, o esforço mental necessário e conhecimento sobre a tarefa.

Blackman, Gertman e Boring (2008) apresentam que até tarefas vistas como puramente mecânicas podem possuir complexidade, uma vez que, dependendo dos padrões de movimentos a serem executados, existe um grau de maturidade necessário para a realização da tarefa.

No modelo de SPAR-H de Gertman et al. (2004), a complexidade pode reduzir a probabilidade de erro humano em situações onde a tarefa se torna tão óbvia que a execução errônea dela se torna quase nula.

5.5.3 Tempo disponível para realização da tarefa

O **tempo disponível para realização da tarefa** é um fator que leva em conta a quantidade de tempo existente para a realização do reparo ou rotina de manutenção, de forma a não comprometer o planejamento definido (GERTMAN et al., 2004).

Ressalta-se que mesmo em situações de falha e necessidade de reparo urgente o tempo disponível para realização da tarefa pode ser o suficiente, chamado de tempo nominal por Gertman et al. (2004).

Assim como no caso da complexidade, o tempo disponível para realização da tarefa pode ser um fator de diminuição da probabilidade de erro humano, isto ocorre em situações onde a quantidade de tempo disponível excede, na ordem de 1 a 2 tempos nominais, o necessário para a execução da tarefa (BLACKMAN; GERTMAN; BORING, 2008).

Por se tratar de um fator que coloca pressão sobre a execução da tarefa, a disponibilidade de tempo tem uma relação inversa com o estresse, aumentando-o conforme a disponibilidade de tempo diminuiu.

5.5.4 Processos de trabalho

O fator **processos de trabalho** é o fator mais ligado a gestão da manutenção dentro da empresa, uma vez que se refere a capacidade da organização de comunicar, planejar e criar uma cultura organizacional que transmita as necessidades dentro do plano de manutenção (BLACKMAN; GERTMAN; BORING, 2008).

Para Gertman et al. (2004) quando melhor a gestão e comunicação da equipe de manutenção menor a probabilidade de erro humano.

5.5.5 Experiência e treinamento

A **experiência e treinamento** inclui elementos como a quantidade de treinamento dada e absorvida por parte do operador e o tempo de atuação dentro daquela tarefa ou em tarefas similares.

Para Gertman et al. (2004) é necessário também avaliar o tempo decorrido desde a execução do último treinamento, uma vez que o conhecimento tende a se perder. Para os autores um valor nominal para treinamento e experiência seria algo em torno de mais de 6 meses, ao passo que uma extensa carga de treinamento e experiência diminuiriam a probabilidade de erro humano na casa de 10 vezes, uma vez que o operador, mesmo que confrontado com uma situação inédita, teria conhecimento e vivência suficiente de situações semelhantes para executar a tarefa.

5.5.6 Procedimentos

Procedimentos se refere a existência e utilização de procedimentos operacionais para as tarefas em consideração (GERTMAN et al., 2004)

Para Blackman, Gertman e Boring (2008) procedimentos que diminuem a probabilidade de erro humano só podem ser alcançados quando o procedimento não possui informações incorretas e possui clareza na transmissão das informações, de maneira a não deixar ambiguidades na tarefa.

O fator procedimentos tem uma relação direta com experiência e treinamento, uma vez que procedimentos incorretos e ambíguos geram treinamentos e atuações de experiência errôneas.

5.5.7 Ergonomia e Interface Homem-Máquina

A **ergonomia e interface homem-máquina** se refere ao fator de layout do equipamento e qualidade da interface homem-máquina, podendo ser desde um *software* até um simples

painel de informações e medições (GERTMAN et al., 2004).

Interfaces intuitivas e ergonômicas promovem uma diminuição na probabilidade de erro humano pois permitem uma atuação com um nível de estresse menor associado a tarefa, agilizam a execução da mesma e, em caso de medições de verificação, transmitem dados de forma fidedigna (BLACKMAN; GERTMAN; BORING, 2008).

5.6 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

Os modelos de confiabilidade humana relacionados a tarefa foram apresentados e geraram embasamento para a identificação dos fatores que influenciam a análise de confiabilidade humana na manutenção.

Um ponto interessante de se avaliar é a capacidade de cada fator ser conectado a uma das grandes áreas da Engenharia de Produção, como leiaute do ambiente de trabalho (Ergonomia e Interface Homem-Máquina), operação (Procedimentos e Processos), entre outros.

6 CONCLUSÕES

A presente pesquisa buscou identificar os fatores que influenciam a análise de confiabilidade humana no contexto de atividades de manutenção.

Os conceitos de manutenção, passando por suas gerações e tipos, e de confiabilidade humana foram apresentados de forma a embasar teoricamente o restante da pesquisa.

Por meio de análise bibliométrica, utilizando-se o TEMAC, um estudo acerca das principais publicações, linhas de pesquisa, países que mais publicam e evolução do estudo da confiabilidade humana na manutenção foi realizado.

Esse estudo visa contribuir com a literatura atual de forma a se apresentar um panorama geral da confiabilidade humana atual no contexto mundial.

O TEMAC, com a análise de co-citação, e o trabalho de Spurgin (2009) proporcionaram embasamento para a escolha dos modelos de confiabilidade relacionados à tarefa a serem analisados.

A análise dos fatores de modelagem de desempenho, pontos fortes e fracos, características e estruturação dos modelos de confiabilidade possibilitaram a identificação dos fatores que influenciam a análise de confiabilidade humana na manutenção.

Tais fatores visam proporcionar um instrumento de auxílio para direcionamento de quais elementos devem ser analisados dentro de um ambiente de manutenção, de forma a se diminuir o índice de erros nas atividades de manutenção, aumentando assim a confiabilidade geral do sistema.

O presente trabalho também visa servir de insumo para pesquisas posteriores, como por exemplo a expansão do mapeamento dos fatores que influenciam a análise de confiabilidade humana na manutenção para as outras duas vertentes propostas por Spurgin (2009): confiabilidade temporal e contextual.

Como sugestão de pesquisa futura para o presente trabalho indica-se a realização de um estudo de caso que possa utilizar os fatores mapeados e medir o ganho de confiabilidade e disponibilidade geral do sistema, de forma a se validar empiricamente os fatores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMAN. A situação da manutenção no brasil. In: . Salvador: [s.n.], 2013. Disponível em: <http://www.abraman.org.br/Arquivos/403/403.pdf>. Acesso em Setembro de 2020.
- ALAM, M. F. et al. Augmented and virtual reality based monitoring and safety system: A prototype iot platform. *Journal of Network and Computer Applications*, v. 89, p. 109 – 119, 2017. ISSN 1084-8045. Emerging Services for Internet of Things (IoT). Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1084804517301315>>.
- AL-TURKI, U. A framework for strategic planning in maintenance. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Emerald Group Publishing Limited, v. 17, n. 2, p. 150–162, Jan 2011. ISSN 1355-2511. Disponível em: <<https://doi.org/10.1108/135525111111134583>>.
- AMALBERTI, R. The paradoxes of almost totally safe transportation systems. *Safety Science*, v. 37, n. 2, p. 109 – 126, 2001. ISSN 0925-7535. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092575350000045X>>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade*. Rio de Janeiro, 1994.
- BAALISAMPANG, T. et al. Review and analysis of fire and explosion accidents in maritime transportation. *Ocean Engineering*, v. 158, p. 350 – 366, 2018. ISSN 0029-8018. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0029801818304542>>.
- BEARE, A. *An Approach to Estimating the Probability of Failures in Detection, Diagnosis, and Decision Making Phase of Procedure-Guided Human Interactions*. Palo Alto, 1990.
- BELL, J.; HOLROYD, J. Review of human reliability assessment methods. *Heal Saf Lab*, n. 78, 2009.
- BEVILACQUA, M.; CIARAPICA, F. E. Human factor risk management in the process industry: A case study. *Reliability Engineering System Safety*, v. 169, p. 149 – 159, 2018. ISSN 0951-8320. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832016304410>>.
- BLACKMAN, H. S.; GERTMAN, D. I.; BORING, R. L. Human error quantification using performance shaping factors in the spar-h method. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, v. 52, n. 21, p. 1733–1737, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1177/154193120805202109>>.
- BRANCO FILHO, G. *A Organização, o Planejamento e o Controle da Manutenção*. 1. ed. [S.l.]: Ciência Moderna, 2008. 257 p. ISBN 9788573936803.
- B.S., D.; Y., L. Human error in maintenance: a review. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Emerald Group Publishing Limited, v. 12, n. 1, p. 21–36, Jan 2006. ISSN 1355-2511. Disponível em: <<https://doi.org/10.1108/13552510610654510>>.
- CAMARGO, B. V.; JUSTO, A. M. Tutorial para uso do software de análise textual iramuteq. 2013. Disponível em: <<http://www.iramuteq.org/documentation/fichiers/tutoriel-en-portugais>>.

CASTILLO, E.; GRANDE, Z.; CALVIÑO, A. Bayesian networks-based probabilistic safety analysis for railway lines. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, v. 31, n. 9, p. 681–700, 2016. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/mice.12195>>.

COBO, M. et al. Scimat: A new science mapping analysis software tool. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, v. 63, p. 1609–1630, 08 2012.

DHILLON, B. *Engineering Maintenance: A Modern Approach*. 1. ed. [S.l.]: CRC Press, 2002. ISBN 0203412540.

DHILLON, B. S. Human error in maintenance: An investigative study for the factories of the future. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing, v. 65, p. 012031, jul 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1088/1757-899x/65/1/012031>>.

FRENCH, S. et al. Human reliability analysis: A critique and review for managers. *Safety Science*, 2011.

GERTMAN, D. et al. The spar-h human reliability analysis method. In: . [S.l.: s.n.], 2004.

GRANDE, Z. et al. Highway and road probabilistic safety assessment based on bayesian network models. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, v. 32, n. 5, p. 379–396, 2017. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/mice.12248>>.

HALE, A. et al. Evaluating safety in the management of maintenance activities in the chemical process industry. *Safety Science*, v. 28, n. 1, p. 21–44, 1998. ISSN 0925-7535. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753597000611>>.

HOBBS ALAN; REASON, J. T. *Managing maintenance error : a practical guide*. 1. ed. [S.l.]: CRC Press, Ashgate, 2009. ISBN 0754615901,978-0-7546-1590-3,978-0-7546-1591-0,075461591X.

HOLLNAGEL, E. *Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM)*. Oxford: Elsevier Science Ltd, 1998. ISBN 978-0-08-042848-2. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080428482500002>>.

HÄNNINEN, M.; KUJALA, P. Influences of variables on ship collision probability in a bayesian belief network model. *Reliability Engineering System Safety*, v. 102, p. 27 – 40, 2012. ISSN 0951-8320. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832012000245>>.

JASIULEWICZ-KACZMAREK, M.; SANIUK, A.; NOWICKI, T. The maintenance management in the macro-ergonomics context. In: GOOSSENS, R. H. (Ed.). *Advances in Social & Occupational Ergonomics*. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 35–46. ISBN 978-3-319-41688-5.

KARDEC, A.; NASCIF, J. *Manutenção: função estratégica*. 5. rev. e ampl. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark : Petrobras, 2019. 560 p. ISBN 978-85-4140-362-7.

KIM, J. et al. Characteristics of test and maintenance human errors leading to unplanned reactor trips in nuclear power plants. *Nuclear Engineering and Design*, v. 239, n. 11, p. 2530–2536, 2009. ISSN 0029-5493. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0029549309002994>>.

KIRWAN, B. The validation of three human reliability quantification techniques — therp, heart and jhedi: Part 1 — technique descriptions and validation issues. *Applied Ergonomics*, v. 27, n. 6, p. 359–373, 1996. ISSN 0003-6870. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003687096000440>>.

KIRWAN, B. *A Guide To Practical Human Reliability Assessment*. 1. ed. [S.l.]: CRC Press; Taylor Francis, 2017. ISBN 0-7484-0052-4.

KONSTANDINIDOU, M. et al. A fuzzy modeling application of cream methodology for human reliability analysis. *Reliability Engineering System Safety*, v. 91, n. 6, p. 706 – 716, 2006. ISSN 0951-8320. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095183200500133X>>.

LATORELLA, K.; PRABHU, P. A review of human error in aviation maintenance and inspection. *International Journal of Industrial Ergonomics*, v. 14653, p. 133–161, 08 2000.

LIND, S. Types and sources of fatal and severe non-fatal accidents in industrial maintenance. *International Journal of Industrial Ergonomics*, v. 38, n. 11, p. 927 – 933, 2008. ISSN 0169-8141. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169814108000681>>.

MARIANO, A.; SANTOS, M. Revisão da literatura: Apresentação de uma abordagem integradora. 09 2017.

MKRTCHYAN, L.; PODOFILLINI, L.; DANG, V. Bayesian belief networks for human reliability analysis: A review of applications and gaps. *Reliability Engineering System Safety*, v. 139, p. 1 – 16, 2015. ISSN 0951-8320. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832015000514>>.

MOHAGHEGH, Z.; KAZEMI, R.; MOSLEH, A. Incorporating organizational factors into probabilistic risk assessment (pra) of complex socio-technical systems: A hybrid technique formalization. *Reliability Engineering System Safety*, v. 94, n. 5, p. 1000 – 1018, 2009. ISSN 0951-8320. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095183200800269X>>.

MOUBRAY, J. *Reliability-Centered Maintenance*. 2. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1999. 440 p. ISBN 978-07-5063-358-1.

NOROOZI, A. et al. The role of human error in risk analysis: Application to pre- and post-maintenance procedures of process facilities. *Reliability Engineering System Safety*, v. 119, p. 251 – 258, 2013. ISSN 0951-8320. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832013002032>>.

NOROOZI, A. et al. Determination of human error probabilities in maintenance procedures of a pump. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 92, n. 2, p. 131 – 141, 2014. ISSN 0957-5820. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582012001450>>.

OKOH, P.; HAUGEN, S. A study of maintenance-related major accident cases in the 21st century. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 92, n. 4, p. 346–356, 2014. ISSN 0957-5820. Loss Prevention 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582014000378>>.

PARK, K. S. *Human reliability : analysis, prediction, and prevention of human errors*. 1. ed. [S.l.]: Elsevier Science Ltd, 1986. (Advances in Human Factors/Ergonomics 7). ISBN 0-444-42396-6.

Rajabalinejad, M.; Martinetti, A.; van Dongen, L. A. M. Operation, safety and human: Critical factors for the success of railway transportation. In: *2016 11th System of Systems Engineering Conference (SoSE)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 1–6.

REASON, J. *Human Error*. [S.l.]: Cambridge University Press, 1990. ISBN 9780521306690.

REIMAN, T. Understanding maintenance work in safety-critical organisations – managing the performance variability. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, Taylor Francis, v. 12, n. 4, p. 339–366, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/14639221003725449>>.

RIBEIRO, A. et al. Human reliability analysis of the tokai-mura accident through a therap–cream and expert opinion auditing approach. *Safety Science*, v. 87, p. 269 – 279, 2016. ISSN 0925-7535. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753516300510>>.

ROCHE, E.; HOCHLEITNER, M.; SUMMERS, A. Introduction to functional safety assessments of safety controls, alarms, and interlocks: How efficient are your functional safety projects? *Process Safety Progress*, v. 36, n. 4, p. 392–398, 2017. Disponível em: <<https://aiche.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/prs.11886>>.

SELEME, R. *Manutenção Industrial - Mantendo A Fábrica Em Funcionamento*. 1. ed. [S.l.]: InterSaberes, 2015. 144 p. ISBN 9788544303405.

SPURGIN, A. J. *Human Reliability Assessment Theory and Practice*. 1. ed. [S.l.]: CRC Press, 2009. ISBN 9781420068511.

SWAIN, A.; GUTTMANN, H. *Handbook of human-reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications Final report (NUREG/CR-1278)*. United States: [s.n.], 1983.

SWAIN, A. D. Therp. *Sandia Corporation - Reprint*, p. 1–14, Oct 1964.

SWAIN, A. D. Human reliability analysis: Need, status, trends and limitations. *Reliability Engineering System Safety*, v. 29, n. 3, p. 301–313, 1990.

TAO, J. et al. A bibliometric analysis of human reliability research. *Journal of Cleaner Production*, v. 260, p. 121041, 2020. ISSN 0959-6526. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965262031088X>>.

TAVARES, L. *Administração Moderna de Manutenção*. New York: Novo Pólo Editora, 1998. 207 p.

VERGARA, S. *Projetos e relatórios de pesquisa em administração*. [S.l.]: Atlas, 2009. ISBN 9788522452606.

WANG, Y. et al. Human reliability analysis and optimization of manufacturing systems through bayesian networks and human factors experiments: A case study in a flexible intermediate bulk container manufacturing plant. *International Journal of*

Industrial Ergonomics, v. 72, p. 241 – 251, 2019. ISSN 0169-8141. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169814118304232>>.

YEO, C. et al. Dynamic risk analysis of offloading process in floating liquefied natural gas (flng) platform using bayesian network. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v. 41, p. 259 – 269, 2016. ISSN 0950-4230. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423016300870>>.

ZHAN, Q.; ZHENG, W.; ZHAO, B. A hybrid human and organizational analysis method for railway accidents based on hfacs-railway accidents (hfacs-ras). *Safety Science*, v. 91, p. 232 – 250, 2017. ISSN 0925-7535. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753516301801>>.