



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS RUSSAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

RAYANE ARAÚJO LIMA

**APLICAÇÃO DO MÉTODO FMEA PARA REVISÃO DAS ESTRATÉGIAS DE
MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS MÉDICOS ADOTADAS EM UM HOSPITAL**

RUSSAS

2021

RAYANE ARAÚJO LIMA

APLICAÇÃO DO MÉTODO FMEA PARA REVISÃO DAS ESTRATÉGIAS DE
MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS MÉDICOS ADOTADAS EM UM HOSPITAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal do Ceará Campus Russas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador(a): Prof.^a Ms. Daiane de Oliveira Costa

RUSSAS

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- L71a Lima, Rayane Araújo.
 Aplicação do método FMEA para revisão das estratégias de manutenção de equipamentos médicos adotadas em um hospital / Rayane Araújo Lima. – 2021.
 121 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, Curso de Engenharia de Produção, Russas, 2021.
 Orientação: Prof. Me. Daiane de Oliveira Costa.
1. Manutenção hospitalar. 2. Equipamentos médicos. 3. Análise de criticidade. 4. FMEA. I.
 Título.

CDD 658.5

RAYANE ARAÚJO LIMA

APLICAÇÃO DO MÉTODO FMEA PARA REVISÃO DAS ESTRATÉGIAS DE
MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS MÉDICOS ADOTADAS EM UM HOSPITAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal do Ceará Campus Russas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Ms. Daiane de Oliveira Costa (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a Ms. Rochelly Sirremes Pinto
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Ms. Ramon Rudá Brito Medeiros
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus, meu refúgio e provedor de toda minha força, garra e determinação.

A minha mãe, minha base, pilar fundamental para minha chegada até aqui, a principal inspiração para tudo o que sou e motivação para todas as minhas conquistas.

A toda minha família, amparo nos momentos difíceis, meu abrigo e para mim, sinônimo de felicidade.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida e por me iluminar pelos caminhos que decidi trilhar, guiando-me às escolhas corretas e às pessoas certas. Onde encontrei refúgio nos momentos difíceis durante esses longos cinco anos, sem Ele nada disso seria possível.

Agradeço a minha mãe, Maria do Socorro, por todo amor, dedicação, compreensão, pelas virtudes e ensinamentos repassados a mim durante toda a vida. Meu maior exemplo de humildade, determinação e coragem. Sem seu esforço e empenho, minha graduação não teria se tornado realidade.

Aos meus irmãos, Claudoberto, Berg, Carla, Diana e toda minha família, pela torcida, união e alegria. Agradeço por terem me ensinado a importância do companheirismo, me incentivarem na busca pelos meus sonhos e proporcionarem tantos momentos de risadas e felicidade.

Ao meu namorado, Marcos Renê, por sempre me encorajar, ouvir, aconselhar, compreender e compartilhar comigo momentos tão importantes durante minha formação. Sou extremamente grata por todo carinho, compressão e amor.

A minha amiga, Carla Amanda, irmã que a vida me deu. Minha fiel companheira ao longo dos últimos doze anos, sempre seguindo caminhos semelhantes aos meus, desde a escola até a graduação. Agradeço por me ensinar todos os dias a ser uma pessoa melhor, por compartilhar comigo suas dores e alegrias e pela confiança existente em nossa amizade, sendo esta essencial em diversas circunstâncias de nossas vidas.

A minha amiga, Hévilla Souza, minha maior representação de força e garra, com quem compartilhei a tão comemorada aprovação no Mestrado Acadêmico. Agradeço por acreditar em mim, me motivar, dividir comigo momentos difíceis e por ser luz em minha vida.

A minha amiga, Olga Maia, por ser abrigo e paz. Quem me acolhe, escuta, compreende e aconselha. Agradeço por ser fundamental na minha evolução e sempre me motivar a ser alguém melhor, sou grata além disso, por tudo que representa em minha vida.

Aos demais amigos que a faculdade me proporcionou, sou grata a cada um em particular, pois todos corroboraram para essa conquista e possuem um lugar especial em meu coração.

A minha orientadora, Ms. Daiane de Oliveira Costa, minha maior inspiração. O pilar em todos os momentos importantes da graduação, nunca serei capaz de expressar a gratidão eterna que sinto por essa incrível mulher. Devo a ela a profissional que sou hoje e a principal conquista que obtive ao longo desses anos, o Mestrado Acadêmico.

Aos meus professores de graduação, todos importantes em sua singularidade para minha formação e aquisição dos conhecimentos que hoje possuo. Sou grata por tudo que aprendi com cada um, inclusive a ser alguém melhor para o mundo. Em especial aqueles que aceitaram compor a banca avaliadora deste trabalho, a professora Ms. Rochelly Sirremes Pinto, por me proporcionar o amor que hoje sinto pela Engenharia de Produção e o professor Ms. Ramon Rudá Brito Medeiros, por quem tenho grande admiração.

Agradeço ao Centro Acadêmico de Engenharia de Produção (CAEPRO) e a Inovale Jr., Empresa Júnior de Engenharia de Produção e Engenharia Mecânica, que me permitiram vivenciar momentos com pessoas e profissionais incríveis.

Aos projetos dos quais tive honra de fazer parte e que me proporcionam grandes aprendizados: o IMA (Interação, Motivação e Acompanhamento dos alunos ingressantes no curso de Engenharia de Produção em Russas) por dois anos consecutivos, sendo orientada pelos professores Dr. George Luiz Gomes de Oliveira e Dr. Lucelindo Dias Ferreira Júnior, respectivamente e o GDS (Grupo de Desenvolvimento em Sustentabilidade), onde fui orientada pelo professor Dr. Pedro Helton Magalhães Pinheiro.

Agradeço a todos que fizeram parte desse lindo ciclo que hoje encerro. Em especial ao curso de Engenharia de Produção da UFC Campus Russas, por me acolher e me ajudar a crescer, proporcionando tornar-me o que sou hoje.

Sou grata, por fim, aos excelentes coordenadores do curso que se fizeram presentes durante os cinco anos que frequentei o Campus, os professores Dr. George Luiz Gomes de Oliveira e o Dr. Lucelindo Dias Ferreira Júnior. Os admiro pelo empenho em buscar a melhoria contínua do nosso curso, pela responsabilidade com as tarefas diárias e dedicação em tornar os alunos da Engenharia de Produção grandes profissionais.

“Na dedicação, sempre e, a princípio, haverá a manutenção.”

(Kabral Araújo)

RESUMO

A demanda por serviços hospitalares tem crescido nos últimos anos como resultado principalmente do crescimento demográfico. Apesar de muitos fatores influenciarem a procura por esse tipo de serviço, é perceptível que o aumento da expectativa de vida faz com ela se mantenha constante e até mesmo possua grandes picos. Nesse contexto, é válido salientar que cuidar da saúde humana requer segurança e confiabilidade, especialmente no uso dos equipamentos médicos, como os de diagnóstico, tratamento e de suporte a vida. Portanto, torna-se necessário garantir a eficiência e eficácia na execução dos serviços hospitalares, buscando sempre atingir a melhoria contínua e garantir maior segurança aos pacientes e funcionários. Para que isso ocorra, é fundamental uma boa gestão da manutenção como forma de fornecer um serviço confiável e de qualidade. Tendo isso em vista, o objetivo deste trabalho é realizar a aplicação da ferramenta *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) em um hospital, com o propósito de revisar as estratégias de manutenção visando o aumento da confiabilidade dos equipamentos médicos, bem como a mitigação de riscos futuros, garantindo assim maior segurança aos pacientes e operadores. Para atingir esse propósito foi realizada uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) a fim de estudar as problemáticas dentro do contexto escolhido e conhecer as principais ferramentas e métodos atualmente empregues, bem como um estudo de caso, por meio do qual os dados de falhas dos equipamentos presentes no hospital escolhido para estudo foram coletados, tratados e analisados. As análises efetuadas permitiram selecionar o setor com maior índice de falhas, estudar as falhas pertinentes aos equipamentos das famílias do referido setor, bem como calcular a criticidade desses dispositivos. Como resultado obteve-se e elaboração da FMEA para os equipamentos com maior valor de criticidade, bem como a proposição de novas estratégias de manutenção para cada modo de falha identificado, utilizando-se como base os valores de risco identificados na FMEA. Tais resultados permitiram revisar as estratégias anteriormente adotadas frente as propostas e fortalecer a importância da realização de manutenções preventivas, preditivas e inspeções regulares, devendo estas sempre representarem a maior parcela dos tipos de técnicas executadas, algo que não ocorreu no cenário analisado. É importante destacar ainda que, neste estudo foi feito um compilado de análises presentes na literatura, contribuindo, desta forma, para a comunidade científica.

Palavras-chave: Manutenção hospitalar. Equipamentos médicos. Análise de criticidade. FMEA.

ABSTRACT

The demand for hospital services has grown in recent years as a result mainly of demographic growth. Although many factors influence the demand for this type of service, it is noticeable that the increase in life expectancy keeps it constant and even has great peaks. In this context, it is worth noting that taking care of human health requires safety and reliability, especially in the use of medical equipment, such as diagnostic, treatment and life support equipment. Therefore, it is necessary to ensure efficiency and effectiveness in the execution of hospital services, always seeking to achieve continuous improvement and ensure greater safety for patients and employees. For this to occur, good maintenance management is essential as a way of providing a reliable and quality service. With this in mind, the objective of this work is to carry out the application of the Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) tool in a hospital, with the purpose of reviewing maintenance strategies aimed at increasing the reliability of medical equipment, as well as the mitigation of future risks, thus ensuring greater safety for patients and operators. To achieve this purpose, a Systematic Literature Review (SLR) was carried out in order to study the problems within the chosen context and to know the main tools and methods currently employed, as well as a case study, through which the data of failures of equipment present in the hospital chosen for the study was collected, treated and analyzed. The analyzes made it possible to select the sector with the highest failure rate, to study the failures pertinent to the equipment of the families in that sector, as well as to calculate the criticality of these devices. As a result, it was obtained and elaborated the FMEA for the equipments with the highest criticality value, as well as the proposal of new maintenance strategies for each failure mode identified, using the risk values identified in the FMEA as a basis. These results made it possible to review the strategies previously adopted in view of the proposals and to strengthen the importance of carrying out preventive, predictive maintenance and regular inspections, which should always represent the largest portion of the types of techniques performed, something that did not occur in the analyzed scenario. It is also important to highlight that, in this study, a compilation of analyzes present in the literature was made, thus contributing to the scientific community.

Keywords: Hospital maintenance. Medical equipment. Criticality analysis. FMEA.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução da manutenção	30
Figura 2 - Políticas de manutenção.....	36
Figura 3 - Cabeçalho da planilha FMEA.....	43
Figura 4 - Coluna função da planilha FMEA	44
Figura 5 - Coluna modo de falha da planilha FMEA	44
Figura 6 - Coluna efeito de falha da planilha FMEA	45
Figura 7 - Coluna severidade da planilha FMEA	46
Figura 8 - Coluna classificação da planilha FMEA.....	46
Figura 9 - Coluna causa da planilha FMEA	47
Figura 10 - Coluna ocorrência da planilha FMEA	48
Figura 11 - Colunas controle de prevenção e detecção da planilha FMEA	49
Figura 12 - Coluna detecção da planilha FMEA	50
Figura 13 - Coluna risco da planilha FMEA	50
Figura 14 - Coluna ações recomendadas da planilha FMEA	51
Figura 15 - Colunas responsável e data da planilha FMEA	51
Figura 16 - Coluna ações efetuadas da planilha FMEA	52
Figura 17 - Coluna risco resultante da planilha FMEA.....	52
Figura 18 - Etapas da pesquisa	55
Figura 19 - Proporção de artigos aceitos	57
Figura 20 - Distribuição dos artigos de acordo com a tipologia da pesquisa	58
Figura 21 - Artigos por ano de estudo	58
Figura 22 - Distribuição das pesquisas pelo mundo	59
Figura 23 - Segmentação em relação ao Gerenciamento da Manutenção.....	63
Figura 24 - Segmentação em relação à Manutenção de Equipamentos Médicos.....	63
Figura 25 - Classificação da pesquisa	70
Figura 26 - Etapas do desenvolvimento do estudo	72
Figura 27 - Definição dos itens e funções referente ao ativo 05728	93
Figura 28 - Modos de falha, efeitos da falha e severidade referente ao ativo 05728	94
Figura 29 - Causas, ocorrência e detecção referentes ao ativo 05728.....	94
Figura 30 - NPR e ações recomendadas referentes ao ativo 05728.....	95
Figura 31 - Planilha FMEA para o ativo 05728	96
Figura 32 - Planilha FMEA para o ativo 07247	98

Figura 33 - Planilha FMEA para o ativo 05732	99
Figura 34 - Matriz Severidade X Ocorrência	102

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Ordens corretivas X ordens preventivas emitidas.....	76
Gráfico 2 - OS emitidas X OS executadas	77
Gráfico 3 - Avaliação qualitativa das manutenções corretivas.....	78
Gráfico 4 - Avaliação qualitativa das manutenções preventivas.....	78
Gráfico 5 - Curva ABC das falhas por família de equipamentos	83
Gráfico 6 - Histórico de falhas da família Sistema Multifuncional para a Limpeza de Canulados	84
Gráfico 7 - Histórico de falhas da família Autoclave Hospitalar	84
Gráfico 8 - Histórico de falhas da família Lavadora Termodesinfectora	85
Gráfico 9 - Tipos de falhas que acometem a família Sistema Multifuncional para a Limpeza de Canulados	86
Gráfico 10 - Tipos de falhas que acometem o equipamento 05722 da família Autoclave Hospitalar	86
Gráfico 11 - Tipos de falhas que acometem o equipamento 05727 da família Autoclave Hospitalar	87
Gráfico 12 - Tipos de falhas que acometem o equipamento 05728 da família Autoclave Hospitalar	87
Gráfico 13 - Tipos de falhas que acometem o equipamento 08190 da família Autoclave Hospitalar	88
Gráfico 14 - Tipos de falhas que acometem o equipamento 08821 da família Autoclave Hospitalar	88
Gráfico 15 - Tipos de falhas que acometem a família Lavadora Termodesinfectora.....	89
Gráfico 16 - Grau de risco para a Autoclave Hospitalar	100
Gráfico 17 - Grau de risco para o Sistema Multifuncional para a Limpeza de Canulados	101
Gráfico 18 - Grau de risco para a Lavadora Termodesinfectora	101

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Definição da manutenção conforme autores	24
Quadro 2 - Artigos selecionados para o estudo do Gerenciamento da Manutenção Hospitalar	60
Quadro 3 - Artigos selecionados para o estudo de Aplicação de Técnicas de Manutenção em Equipamentos Hospitalares	61
Quadro 4 - Tempo médio para o atendimento das OS	79
Quadro 5 - Porcentagem de falhas por setor.....	80
Quadro 6 - Famílias presentes no setor de CME	82
Quadro 7 - Escala do fator criticidade	90
Quadro 8 - Escala do fator risco	90
Quadro 9 - Escala do fator manutenção.....	90
Quadro 10 - Escala do fator histórico de falhas.....	91
Quadro 11 - Cálculo do número de EM	92
Quadro 12 - Comparação das estratégias de manutenção adotadas X propostas	103

LISTRA DE TABELAS

Tabela 1 - Escala de severidade.....	45
Tabela 2 - Escala de ocorrência.....	47
Tabela 3 - Escala de detecção.....	49
Tabela 4 - Resumo do processo de pesquisa para a RSL	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AHP	Analytic Hierarchy Process
AT	Agency Theory
CHFM	Certified Healthcare Facility Manager
CME	Central de Material Esterilizado
CTMF	Curva do Tempo Médio para Falha
EBSERH	Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares
EC	Engenharia Clínica
EM	Equipamento Médico
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
FMECA	Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis
FTA	Fault Tree Analysis
JIMP	Japan Institute Plant of Maintenance
HOQ	House of Quality
MACBETH	Measuring Attractiveness by a Category Based Evaluation Technique
MEC	Ministério da Educação
NPR	Número de Prioridade de Risco
OS	Ordem de Serviço
PMP	Programa de Manutenção Preditiva
QFD	Quality Function Deployment
RBV	Resource-Based View
RCM	Reliability Centered Maintenance
RPN	Risk Priority Number
RSL	Revisão Sistemática de Literatura
SUS	Sistema Único de Saúde
TPM	Total Productive Maintenance
WHO	World Health Organization

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Objetivos do trabalho	19
1.1.1	<i>Objetivo geral</i>	19
1.1.2	<i>Objetivos específicos</i>	19
1.2	Justificativa	20
1.3	Estrutura do trabalho	21
2	BASE CONCEITUAL	23
2.1	Definições	23
2.2	Histórico e evolução da manutenção	24
2.2.1	<i>A primeira geração</i>	25
2.2.2	<i>A segunda geração</i>	26
2.2.3	<i>A terceira geração</i>	27
2.2.4	<i>A quarta geração</i>	28
2.3	Políticas de manutenção	31
2.3.1	<i>Manutenção corretiva</i>	31
2.3.2	<i>Manutenção preventiva</i>	32
2.3.3	<i>Manutenção preditiva</i>	33
2.3.4	<i>Manutenção detectiva</i>	34
2.3.5	<i>Engenharia de manutenção</i>	35
2.4	Gestão da manutenção	36
2.4.1	<i>Manutenção Produtiva Total (TPM)</i>	38
2.4.2	<i>Manutenção Centrada em Confiabilidade (RCM)</i>	39
2.4.2.1	<i>Análise dos Modos e Efeitos de Falha (FMEA)</i>	42
2.5	Importância da manutenção no contexto hospitalar	53
3	ANÁLISE DA LITERATURA	55
3.1	Etapas da RSL	55
3.2	Classificação e análise e dos artigos	56
3.2.1	<i>Análise descritiva</i>	56
3.2.2	<i>Análise do conteúdo acerca do gerenciamento da manutenção hospitalar</i>	64
3.2.3	<i>Análise do conteúdo acerca da manutenção de equipamentos médicos</i>	65
4	METODOLOGIA	70
4.1	Caracterização da pesquisa	70

4.2	Procedimentos metodológicos	72
5	DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....	75
5.1	Caracterização do objeto de estudo.....	75
5.2	Diagnóstico situacional	76
5.3	Delimitação do objeto de estudo	79
5.3.1	<i>Análise de falhas por setor</i>	<i>79</i>
5.3.2	<i>Análise de falhas por famílias</i>	<i>83</i>
5.3.3	<i>Análise de falhas por equipamento.....</i>	<i>85</i>
5.3.4	<i>Cálculo do índice de EM por equipamento</i>	<i>89</i>
5.3.5	<i>Elaboração da FMEA</i>	<i>93</i>
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	100
7	ANÁLISE DE RESULTADOS FRENTE À REVISÃO DE LITERATURA .	104
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	106
	REFERÊNCIAS	108
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO 1: QUESTÕES GERAIS.....	118
	APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO 2: QUESTÕES ESPECÍFICAS	
	DIRECIONADAS AO RESULTADO DA PESQUISA	119

1 INTRODUÇÃO

A busca constante por serviços de saúde tem aumentado nos últimos anos em decorrência, principalmente, do crescimento demográfico, aumento da expectativa de vida, envelhecimento da população e inovação tecnológica (HOSKING; JARVIS, 2003; MALIK, 2001; YOUSEFLI *et al.*, 2017). Essa configuração vem sendo observada nos contextos nacionais e internacionais, desde o final do século XX (MALIK, 2001).

Os fatores acima mencionados aumentaram a importância de se oferecer serviços hospitalares com qualidade, posto que esse tipo de serviço é responsável por assegurar a vida humana. Nessa conjuntura, o ambiente hospitalar deve ser seguro e saudável e os equipamentos médicos não devem apresentar falhas acidentais, sendo isto uma prioridade não só para as organizações hospitalares, como também para os pacientes que buscam atendimentos e tratamentos nessas instituições (CUZCO *et al.*, 2019). Tendo isso em vista, denota-se a relevância e obrigatoriedade destinada à melhoria contínua desse tipo de serviço, de modo a assegurar a confiabilidade no uso dos equipamentos médicos e, assim, garantir a eficácia e eficiência interna, a fim de se destacar no mercado frente à alta concorrência. Para isso, as tais organizações devem direcionar seus esforços ao gerenciamento da manutenção (AL-NAJJAR, 2007; MAHFOUD *et al.*, 2016; MALETIC *et al.*, 2014).

A manutenção é destinada a evitar e controlar o desgaste natural dos equipamentos, de acordo com Kardec e Nascif (2009, p. 9):

Na visão atual, a Manutenção existe para que não haja manutenção; estamos falando da manutenção corretiva não planejada. Isto parece paradoxal à primeira vista mas, numa visão mais aprofundada, vemos que o trabalho da manutenção está sendo enobrecido onde, cada vez mais, o pessoal da área precisa estar qualificado e equipado para evitar falhas e não para corrigi-las.

Portanto, o gerenciamento de suas atividades é importante pois, por meio dele, os gestores são capazes de se programar e evitar que futuras falhas ocorram, garantindo, deste modo, a excelência em seus serviços. No cenário hospitalar é ainda mais evidente sua relevância, onde os equipamentos estão diretamente associados à segurança e vida dos pacientes. De acordo com a *World Health Organization* – WHO (2011), é imprescindível para qualquer estabelecimento de saúde dispor de um programa de manutenção de equipamentos médicos, que possa garantir o controle e rastreamento de equipamentos, de modo a corroborar com os serviços prestados aos pacientes.

A segurança dos equipamentos médicos é de essencial importância em uma organização de saúde, pois sua utilidade vai além do fornecimento de diagnósticos e tratamento, estando diretamente vinculados à vida, devendo ser gerenciados de modo a evitar lesões no paciente e no usuário que o controla (BAHREINI *et al.*, 2018; DAVID; JAHNKE, 2004). Desta forma, disponibilidade e segurança ou, resumidamente, a confiabilidade, devem ser os objetivos da manutenção. O equipamento deve possuir um índice de falha reduzido e, caso a falha ocorra, ela deve ser prontamente eliminada. Isso reforça as metas da organização em prestar um serviço de saúde qualificado, ao passo que corrobora com melhorias para as políticas de manutenção (MAHFOUD *et al.*, 2018).

Além de garantir um aumento da confiabilidade e segurança, o gerenciamento da manutenção está diretamente associado aos custos das instalações de saúde (BAHREINI *et al.*, 2018; HAMDI *et al.*, 2012). Apesar de ser considerada muitas vezes maléfica aos custos operacionais, a gestão da manutenção deve ser vista da perspectiva de oportunidade de investimento, desde que as decisões sejam tomadas racionalmente, de modo a considerar riscos e criar uma linha tênue entre os custos e o desempenho operacional, garantindo assim o alcance de resultados positivos (ALMEIDA *et al.*, 2015; MAHFOUD *et al.*, 2016). Algumas pesquisas ainda afirmam que uma redução nos custos pode ocasionar encomias e/ou garantir a aplicação do valor em demais áreas da instituição hospitalar, além de denotar aumentos de eficiência (ROSKO, 2001; VILLA, 2020).

Vale ressaltar, ainda, que a manutenção está vinculada e pode afetar qualquer área de um complexo hospitalar, incluindo atividades não essenciais desse tipo de serviço. O American Hospital Association (2017), por meio do *Certified Healthcare Facility Manager* (CHFM), aponta como demais operações de manutenção aquelas direcionadas à distribuição elétrica e de água, à infraestrutura e segurança dos edifícios, bem como limpeza e suprimento de alimentos (YOUSEFLI *et al.*, 2017). Desta forma, compreender sua importância no contexto analisado garante que os gestores possuam não só uma maior visão de futuro, como também proporciona segurança aos pacientes que utilizam os serviços de saúde.

Outro aspecto importante diretamente influenciado pela manutenção de equipamentos médicos é o aumento de vida útil do dispositivo (BAHREINI *et al.*, 2018). Alguns estudos, como os realizados por Hamdi *et al.* (2012), Nystad e Rasmussen (2010) e Ratnayake (2015), determinaram a vida útil do equipamento como um aspecto que afeta o seu gerenciamento, utilizando-a como parâmetro para estimar melhores políticas e estratégias de manutenção.

Visando o planejamento e adoção dessas melhores práticas, têm-se como ferramenta de apoio a *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA). A FMEA segundo Viana (2002) é um método para análise de falhas que permite ao gestor presumir problemas futuros e desta forma antecipar-se em sua tomada de decisão, priorizando ações que impeçam a ocorrência das falhas previstas, bem como de seus efeitos.

Logo, este trabalho possui como objetivo realizar a aplicação desta ferramenta em um hospital, com o propósito de revisar as estratégias de manutenção visando o aumento da confiabilidade dos equipamentos médicos, bem como a mitigação de riscos futuros, garantindo assim maior segurança aos pacientes e operadores.

1.1 Objetivos do trabalho

Os objetivos a serem alcançados mediante a realização deste trabalho podem ser divididos em dois tópicos, a saber:

1.1.1 Objetivo geral

Aplicar a *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) em equipamentos médicos de um hospital com o intuito de revisar as estratégias de manutenção adotadas para esses e propor melhorias quando necessário.

1.1.2 Objetivos específicos

Como forma de alcançar o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- a) Realizar uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) como forma de fundamentar o conhecimento acerca das metodologias e políticas de manutenção aplicadas no contexto hospitalar;
- b) Analisar o histórico de falhas, bem como as manutenções efetuadas nos equipamentos médicos do hospital escolhido para estudo, de modo a realizar um diagnóstico situacional do setor com maior índice percentual de falhas;
- c) Realizar o cálculo de criticidade para os equipamentos pertencentes às famílias com maior número de falhas;

- d) Aplicar a FMEA para o equipamento mais crítico do setor selecionado, resultante das observações e avaliações empreendidas;
- e) Propor estratégias de manutenção a serem adotadas para o equipamento em questão;
- f) Comparar os resultados obtidos por meio da aplicação realizada frente aos estudos semelhantes presentes na literatura.

1.2 Justificativa

É notória a importância de estudos que corroborem com a manutenção no contexto hospitalar, pois este é um serviço de fundamental importância para a saúde e vida humana. Os usuários dos equipamentos médicos, sejam eles pacientes ou profissionais de saúde, devem estar seguros durante o uso e/ou manuseio do equipamento, de modo que o maquinário não coloque em risco a vida de um destes atores envolvidos no processo.

Nesse contexto, a manutenção surge como uma atividade essencial para assegurar e propiciar um melhor tratamento aos pacientes, de forma que os equipamentos funcionem corretamente, possuam alta disponibilidade e não falhem, e que, caso isso ocorra, a falha possua impacto mínimo na vida do usuário.

Além disso, foi observado que a manutenção tem sido frequentemente estudada e revisada em diversas áreas, a saber: setor energético (IZQUIERDO *et al.*, 2020; PU, 2020; SÁNCHEZ; MARQUEZ, 2020; WANG *et al.*, 2020; YAMAMOTO *et al.*, 2020), automobilístico (HAN, 2020; ISLAM, 2011; LI, 2020; POPHALEY; VYAS, 2010), aeronáutico (ABDULLAH; TAKAHASHI, 2016; BEKER *et al.*, 2017; DUAN; YUAN, 2014; KOSLOSKY *et al.*, 2018), industrial (BOKRANTZ *et al.*, 2020; BOUSDEKIS *et al.*, 2019; MUCHIRI *et al.*, 2010; SHAMSUZZOHA *et al.*, 2018), de construção (BORTOLINI; FORCADA, 2020; ISMAIL, 2020; KAMELI *et al.*, 2020; MORETTI *et al.*, 2020) e de distribuição de água (ALMEIDA-FILHO *et al.*, 2017; PEREIRA *et al.*, 2017; PEREIRA *et al.*, 2020; TROJAN; MORAIS, 2015). Porém, mesmo diante do satisfatório número de estudos aplicados a distintas operações, o controle e gerenciamento da manutenção tem sido postergado no contexto hospitalar.

Uma das possíveis explicações para essa realidade é o fato de que o gerenciamento da manutenção se trata de um dos fatores mais dispendiosos em serviços hospitalares, como afirmam Chotipanich (2004); Shohet e Nobili (2016). Além disso, muitas organizações de saúde ainda não foram capazes de se beneficiar com os efeitos positivos de uma gestão da

manutenção (BAHREINI *et al.*, 2018; GINSBURG, 2005). Devido a essa última assertiva, apesar da importância, ainda é pequeno o número de organizações de saúde que aplicam o gerenciamento da manutenção, o que acaba resultando na insuficiência de dados para a realização de pesquisas, gerando uma lacuna de trabalhos nessa área de estudo.

Sendo conhecido os aspectos acima mencionados, justifica-se a importância do presente estudo, não só para a comunidade científica, como também para os estabelecimentos de saúde, especialmente tendo em vista que a manutenção no cenário hospitalar é capaz de proporcionar melhor qualidade no atendimento, maior controle para o gestor quanto a vida útil dos equipamentos, previsibilidade para investimentos conforme o surgimento de novas tecnologias, análise de indicadores úteis, priorização dos equipamentos mais críticos quanto ao seu período de manutenção, maior disponibilidade do maquinário e a consequente redução do tempo de espera por parte dos pacientes.

O tema ainda proporcionou a graduanda a oportunidade de aprofundar seus conhecimentos quanto à manutenção no cenário hospitalar mediante a realização de pesquisas bibliográficas, revisão de literatura e estudo da gestão da manutenção em um hospital específico através da aplicação da FMEA, contribuindo, assim, para a disseminação do conhecimento aos interessados no assunto em estudo.

1.3 Estrutura do trabalho

O presente trabalho foi dividido em oito capítulos, onde o primeiro deles apresenta uma introdução e contextualização sobre o tema em estudo, além de denotar sua importância, objetivos gerais e específicos, bem como a justificativa que fundamenta sua elaboração.

O segundo capítulo contém a base conceitual necessária para a realização da pesquisa. Tem início com as principais definições associadas à manutenção, sua evolução histórica e as políticas que surgiram em decorrência dessa, ademais, apresenta as práticas de gestão comumente adotadas no atual contexto de manutenção, onde uma destas (a Manutenção Centrada em Confiabilidade) compreende a ferramenta aplicada neste estudo (a FMEA). O capítulo encerra abordando a importância da manutenção no cenário hospitalar, tópico essencial para compreender a relevância do trabalho.

O capítulo três exibe a Revisão Sistemática da Literatura, a qual abrange trabalhos encontrados nas bases de dados científicas que exploravam a manutenção aplicada ao serviço hospitalar, explicitando os principais métodos e técnicas adotados nessa área de pesquisa.

No capítulo quatro é abordado a metodologia utilizada no estudo. Inicialmente é feita a caracterização da pesquisa quanto aos seus objetivos, natureza, abordagem e procedimentos técnicos. Em seguida, os procedimentos metodológicos adotados são demonstrados, apresentando detalhadamente como foram realizadas as etapas do estudo.

O quinto capítulo compreende o desenvolvimento do trabalho, desde a descrição do objeto de estudo, passando pelo diagnóstico situacional, até as aplicações empreendidas, que resultaram nas informações necessárias para cumprir o propósito do estudo, a execução da FMEA.

Os resultados e discussões são apresentados no capítulo seis, onde obtém-se a interpretação das aplicações realizadas e a revisão das estratégias de manutenção atualmente adotadas frente às propostas pelo referido trabalho.

No capítulo sete é feita a comparação dos principais resultados obtidos por meio do estudo com aqueles presentes na literatura vistos no capítulo três.

Por fim, no oitavo capítulo são expostas as considerações finais sobre a pesquisa realizada. Também são apontados os objetivos atingidos, as dificuldades enfrentadas durante o período de elaboração do trabalho, além de sugestões de estudos futuros para os interessados no tema abordado.

2 BASE CONCEITUAL

Este capítulo possui como propósito apresentar a fundamentação teórica necessária ao desenvolvimento do trabalho, com a elucidação de conceitos mediante a visão de autores renomados no tema em estudo, os quais deram suporte e consistência técnica-científica à pesquisa. Nesse sentido, serão contemplados tópicos direcionados às definições de manutenção, seu histórico, as políticas existentes atreladas as práticas de manutenção, os conceitos de gestão atuais abrangendo o método de manutenção aplicado no estudo, bem como a importância da manutenção no contexto hospitalar.

2.1 Definições

Conforme o dicionário Aurélio a manutenção pode ser definida como um conjunto de ações necessárias para garantir a conservação de determinado objeto ou situação, ao passo que também se refere ao compilado de técnicas indispensáveis ao pleno funcionamento de máquinas e equipamentos, mediante suas especificações de fabricação (XENOS, 1998).

O conceito manutenção segundo Monchy (1989) teve sua origem no vocábulo militar e foi definido inicialmente como o ato de manter o efetivo e o material em níveis constantes dentro das unidades de combate. Como órgão internacionalmente conhecido, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) conceitualizou a manutenção pela primeira vez em 1975, por meio da NBR 5462:1975, que passou por atualizações e atualmente nomeada NBR 5462:1994, aponta a manutenção 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” (ABNT, 1994, p. 6).

Com o passar das décadas e a evolução das práticas de manutenção, diversos estudiosos buscaram defini-la. Nesse cenário, o significado do termo manutenção de acordo com alguns autores estão expostos no Quadro 1 abaixo.

Quadro 1 - Definição da manutenção conforme autores

Autor	Definição
Monchy (1989)	Define a manutenção como a medicina das máquinas. Um elemento chave para a produtividade e qualidade dos produtos, além disso um desafio industrial destinado a estabelecer um método adaptado a nova natureza dos materiais.
Xenos (1998)	Refere-se a manutenção como a ação de fazer tudo o que for necessário para que o equipamento continue a desempenhar as funções para as quais foi projetado, segundo um nível de desempenho exigido.
Viana (2002)	Determina a manutenção como o ato de manter o que se tem, associando ainda o conceito à função do organismo produtivo do século XVI.
Kardec e Nascif (2009)	Aponta que a manutenção possui como missão garantir a confiabilidade e a disponibilidade de equipamentos e instalações de modo a atender o processo de produção de um produto ou serviço, com segurança, preservação do meio ambiente e custos adequados.

Fonte: Autor (2021)

Como pode ser visto, existem diversas definições relacionadas à manutenção e a maioria delas está atrelada ao conjunto de ações direcionadas a manter e preservar as condições ideais de funcionamento dos equipamentos. Contudo, é interessante ressaltar as mudanças pelas quais esse conceito passou nos últimos anos, o que inclui além da conservação das funções das máquinas, a importância da preservação dos aspectos de meio ambiente, segurança, custos, confiabilidade e especialmente o humano, tendo em vista a relevância que esse setor possui atualmente dentro das organizações.

2.2 Histórico e evolução da manutenção

Desde os tempos pré-históricos o homem foi responsável pela elaboração de utensílios e armas que garantissem a sua sobrevivência, o que incluía o manuseio e a transformação de metais e pedras preciosas. Tendo isso em vista, práticas simples de

manutenção, correspondentes a conservação e reparo de tais ferramentas podem ser observadas mediante os primórdios da civilização (CARNEIRO, 2019; COSTA, 2013).

Com o progresso da humanidade ocorreu o conseqüente avanço das formas de produção. Um novo grupo social surgiu, os artesãos, responsáveis pela fabricação dos produtos demandados pela sociedade, como cerâmicas e tecidos. A partir disso, a especialidade no trabalho passou a aumentar gradativamente, ou seja, os produtores individuais passaram a trabalhar em corporações de artesãos. Todavia, vale ressaltar que esse processo possuía baixa produtividade em vista da divisão técnica do trabalho, isto é, um determinado item era feito exclusivamente por um único artesão do início ao fim (CARNEIRO, 2019; HOBSBAWN, 2010).

Nesse cenário, o decorrer das décadas ocasionou uma crescente industrialização e grandes alterações nos sistemas de gestão que impulsionaram as atividades de manutenção. Por conseguinte, sua evolução histórica foi segregada em três gerações segundo Moubray (1997) e em quatro conforme a visão dos autores Kardec e Nascif (2009) e Romero (2001), sendo essa última e mais atual classificação, a adotada no presente trabalho.

2.2.1 A primeira geração

Segundo Wyrebski (1997) apesar da conservação de instrumentos datar historicamente desde os primórdios da civilização, a manutenção surgiu efetivamente com a invenção das primeiras máquinas têxteis no século XVI. Corroborando com a ideia, Viana (2002) afirma que seu advento foi em decorrência dos primeiros teares mecânicos, com o abandono da produção artesanal e do sistema econômico feudal, e o início do acúmulo de capital conseqüente de formas antagônicas de produção.

De acordo com Landes (2005) a concepção das máquinas de tear automatizadas, em meados do século XVIII, representou uma transformação radical no processo de produção industrial. A parcela mais rica da sociedade e conseqüente proprietária das fábricas, passou a adquirir esses equipamentos e desta forma utilizar o trabalho manual dos artesãos aliado ao das máquinas, criando assim as indústrias. A nova forma de trabalho para os operários era constituída por atividades repetitivas, sempre executadas do mesmo modo, dando início a especialização e divisão do trabalho.

Com o objetivo de alavancar os lucros, a jornada de trabalho nas fábricas chegava a 17 horas diárias, por conseguinte essa ininterrupta produção propiciou a necessidade de atividades direcionadas a manutenção no maquinário, a fim de que não houvesse paradas no

processo produtivo. Essas transformações ocorreram entre 1760 e 1860, originando deste modo a Primeira Revolução Industrial e propiciando o surgimento da primeira geração da manutenção (CARNEIRO, 2019).

Diante dessa conjuntura, Viana (2002) afirma que nesse período os fabricantes dos equipamentos treinavam os operários para usá-los e mantê-los, dessa forma, tais funcionários possuíam o papel além de operadores, sendo também os mantenedores das máquinas, de tal forma que não havia uma equipe específica designada ao papel da manutenção dentro da indústria. Mediante esse aspecto, a manutenção era fundamentalmente corretiva, ou seja, constava apenas com serviço destinados a limpeza, lubrificação e reparo após a quebra (KARDEC E NASCIF, 2009).

O início da Segunda Revolução Industrial, no século XIX, fortemente marcada pelo uso de novas fontes de energia e o posterior surgimento do Fordismo, idealizado por Henry Ford no século XX, acelerou ainda mais o processo de industrialização, especialmente com a criação da linha de montagem. Segundo Mazuchelli (2009) *apud* Carneiro (2019) a necessidade de maior quantidade de mão de obra, bem como de matéria-prima, influenciados pela crescente demanda, acarretou a colonização de territórios estrangeiros e culminou na Primeira Guerra Mundial, em 1914. Com o seu fim em 1918, apesar do desenvolvimento da indústria, as práticas de manutenção corretivas prevaleceram até a Segunda Guerra Mundial.

Kardec e Nascif (2009), concordando com o exposto, apontaram que toda a primeira geração da manutenção se refere ao período anterior a Segunda Guerra Mundial, onde os equipamentos eram ainda superdimensionados e consideravelmente simples. A visão do período era que as falhas ocorriam em decorrência do desgaste e a principal competência solicitada aos operários era o simples ato de realizar o reparo.

2.2.2 A segunda geração

A Segunda Guerra Mundial, no final da década de 30, ocorreu devido a uma série de fatores econômicos, tensões políticas e sociais entre vários países. O surgimento de regimes totalitários e sua consequente ideologia expansionista ocasionou inúmeros conflitos militares. O clima de guerra, marcado por ações belicistas, impulsionou a mecanização das indústrias, visto a necessidade de armamentos e suprimentos para a guerra. Em 1945, ao final do período, como resultado houve um aumento da demanda por todos os tipos de produtos e, além disso, a escassez de insumos e mão de obra para operar as fábricas (CARNEIRO, 2019).

Conforme exposto por Kardec e Nascif (2009, p. 2) “as pressões do período da guerra aumentaram a demanda por todo tipo de produtos, ao mesmo tempo em que o contingente de mão de obra industrial diminuiu sensivelmente. Como consequência, naquele período houve forte aumento da mecanização”. Desse modo, com o aumento da complexidade industrial, emergiu a necessidade de maior disponibilidade e confiabilidade, a fim de aumentar a produtividade e assim garantir o atendimento da demanda do período pós-guerra. A administração industrial passou então a se preocupar não só com a correção das falhas, mas também com a forma de evitá-las, de modo que os responsáveis pela manutenção se precavessessem contra danos e avarias. Com a ideia de que as falhas poderiam ser evitadas, surgiu o conceito de manutenção preventiva (ARCURI FILHO, 2005; CARNEIRO, 2019; GARRIDO, 2017).

Apesar de recém descoberta, em decorrência do avanço da aviação comercial, o advento da indústria de propulsão a jato e eletrônica, fez com que os gerentes das indústrias identificassem que o tempo e o custo destinado a manutenção preventiva e ao diagnóstico das falhas, eram maiores que aqueles despendidos na manutenção corretiva. Esse fato propiciou o surgimento dos sistemas de Planejamento e Controle de Manutenção, designado a analisar as causas e efeitos das falhas e, deste modo, buscar o aumento da vida útil dos equipamentos, que está presente até os dias de hoje na indústria moderna (ARCURI FILHO, 2005; KARDEC; NASCIF, 2009).

2.2.3 A terceira geração

A Terceira Revolução Industrial, ou como também é nomeada Revolução Informacional, foi marcada pelo surgimento de grandes complexos industriais e do processo de informatização. A paralisação nas fábricas se tornou o maior receio dos administradores, pois aspectos como custos e qualidade, totalmente influenciados por paradas na produção, eram prioridades no momento, em decorrência da tendência mundial *just-in-time* (CARNEIRO, 2019; KARDEC; NASCIF, 2009).

A terceira geração teve início nesse mesmo período, onde até então as atividades de manutenção eram realizadas em intervalos pré-estabelecidos. Porém, a difusão do uso de computadores e do processamento de dados, a influência que as associações nacionais de manutenção passaram a exercer na fábricas e a criação do monitoramento dos sistemas de medição e proteção, acarretaram a otimização da previsão de falhas, o conhecimento das equipes de manutenção, bem como a melhora do desempenho dos ativos físicos, de modo que

as consequências das falhas no faturamento das organizações, fossem menores. Garantindo, deste modo, o aprimoramento das práticas e técnicas de gestão da manutenção (ARCURI FILHO, 2005).

Na década de 80, mediante exposto por Tavares (2002) *apud* Costa (2013), o surgimento dos microcomputadores e a independência das equipes de manutenção garantiu o desenvolvimento de programas automatizados que possibilitaram a análise de dados referentes a manutenção e produção. A partir disso, ambas as áreas passaram a trabalhar sinergicamente em busca de qualidade e produtividade. Nessa conjuntura, a confiabilidade dos processos industriais e a disponibilidade das máquinas passaram a ser aspectos cruciais em todos os setores da indústria, o que consolidou a chamada manutenção preditiva (CARNEIRO, 2019; KARDEC; NASCIF, 2009; SILVA, 2004).

O princípio central dessa geração foi, portanto, o investimento em novas tecnologias e no conhecimento humano, além disso o uso de estatísticas e de bancos de dados por meio da informática a fim de controlar as atividades de manutenção, analisar defeitos e gerar diagnósticos, o que representou um grande avanço para a gestão da manutenção (CARNEIRO, 2019).

2.2.4 A quarta geração

Para Figueiredo (2019), o surgimento da quarta geração foi estreitamente baseado nas perspectivas da geração anterior, ou seja, a disponibilidade dos equipamentos, bem como a confiabilidade eram os fatores mais importantes para a manutenção. Aliado a isso a consolidação do gerenciamento da manutenção por meio de equipes capacitadas que garantissem a segurança e a redução de custos.

Kardec e Nascif (2009) apontam que nessa fase o maior desafio do setor manutenção era a redução de falhas prematuras e da mortalidade infantil do equipamento. Além disso, o principal objetivo era intervir cada vez menos na planta industrial, o que propiciou, portanto, a predominância da manutenção preditiva baseada na condição das máquinas. Por conseguinte, houve a redução da uso da manutenção preventiva, tendo em vista seu impacto negativo na produção, posto que promove a paralisação do equipamento; e da manutenção corretiva que se tornou um indicador de ineficácia para a manutenção.

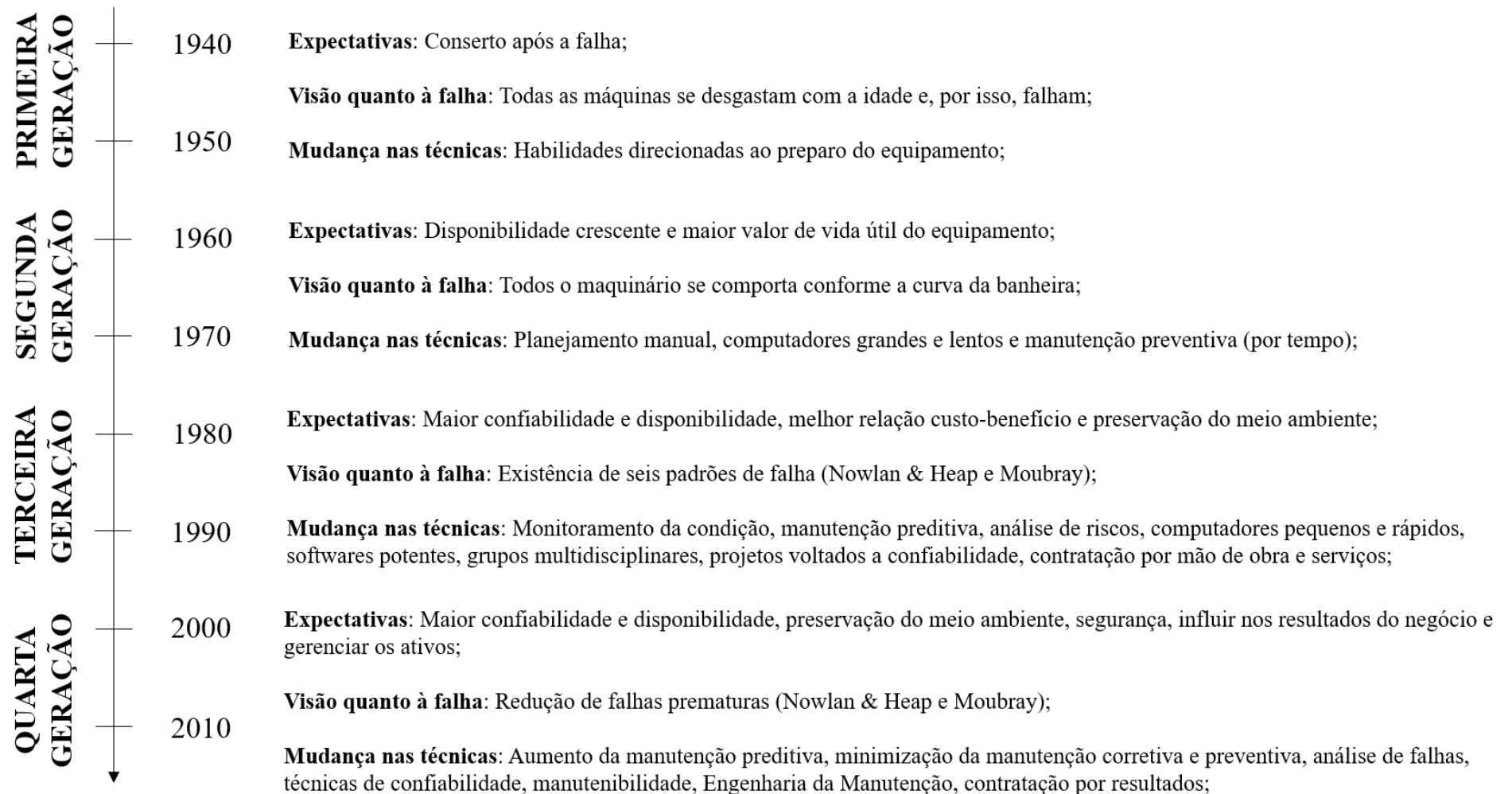
A necessidade de inovação e otimização existentes em decorrência do avanço das tecnologias, garantiu resultados ainda maiores de produtividade e eficiência em custos. Corroborando com esse fato, a crescente exigência da demanda por produtos com maior

qualidade, fez com que o papel da manutenção focasse com maior rigor na redução de retrabalhos e falhas, agregando valor ao produto ou serviço, possuindo agora importância estratégica dentro das organizações (ARCURI FILHO, 2005; FILHO, 2008 *apud* COSTA, 2013).

Grandes mudanças dessa geração, segundo Kardec e Nascif (2009) foram ainda a criação de contratos de terceirização da manutenção firmados a longo prazo e, do mesmo modo, o estabelecimento de indicadores que interessarem ao negócio, destinados a mensurar os resultados da relação de parceria entre contratante e contratado.

Conhecendo o histórico da manutenção referente as quatro gerações, é possível afirmar que ela passou por um grande processo evolutivo, deixando de ser uma tarefa operacional e passando a representar atualmente uma grande vantagem estratégica dentro das indústrias, ou seja, compondo um papel essencial no funcionamento das linhas produtivas e nos resultados organizacionais. Baseando-se no exposto até então, a evolução da manutenção, bem como as expectativas, visões e mudanças referentes a cada geração podem ser vistas de maneira resumida na Figura 1.

Figura 1 - Evolução da manutenção



Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif (2009)

Conforme a Figura 1 pode-se observar que atualmente a manutenção possui função de garantir a segurança humana, dos ativos e dos resultados operacionais, influenciando diretamente nas indústrias. Deste modo, o setor contribui para o controle e gestão de linhas produtivas, garantindo o sucesso organizacional e evidenciando assim sua importância.

2.3 Políticas de manutenção

As políticas de manutenção são caracterizadas pela forma com que são realizadas as intervenções no sistema, a fim de se manter o equipamento em perfeito funcionamento. Há seis práticas de manutenção consideradas como primordiais por diversos autores, que serão, por conseguinte, abordadas neste trabalho. São elas: manutenção corretiva não planejada e planejada, manutenção preventiva, manutenção preditiva, manutenção detectiva e engenharia de manutenção.

2.3.1 Manutenção corretiva

Esse é o tipo mais básico e primitivo de manutenção. Almeida (2000) afirma que a manutenção corretiva é uma técnica de gerência reativa que opta por esperar até a falha da máquina, antes de ser definido qualquer tipo de decisão, sendo, portanto, o método mais caro de manutenção. Slack *et al.* (2006) corroboram com a ideia e a definem como uma abordagem realizada após a ocorrência da falha, de modo que os equipamentos operem até quebrar.

Kardec e Nascif (2009) apontam ainda que o objetivo principal dessa política de manutenção é a correção e restauração das condições de funcionamento do maquinário, podendo essa ser dividida em duas classes: manutenção corretiva não planejada e manutenção corretiva planejada.

A manutenção corretiva não planejada é correção da falha ou do desempenho menor que o esperado mediante a ocorrência do fato, sem nenhum tipo de planejamento, ou seja, é decorrente de uma ação aleatória. Esse tipo de manutenção é associado a altos custos, tendo em vista que, a quebra inesperada e a inexistência de tempo destinado a preparação do serviço causam perdas à produção e propiciam danos aos equipamentos (KARDEC; NASCIF, 2009; OTANI; MACHADO, 2008).

Diferentemente da manutenção corretiva não planejada, a manutenção corretiva planejada é caracterizada pelo acompanhamento preditivo ou detectivo do maquinário. Nesse cenário, a correção da falha ocorre por decisão gerencial, sendo essa baseada em parâmetros

apontados pelo acompanhamento realizado. Conforme aponta o próprio nome, o ato de planejar resulta em um menor custo, maior agilidade e segurança, além de melhor qualidade. Sua principal característica é o fato de o acompanhamento fornecer informações que auxiliem os tomadores de decisão (KARDEC; NASCIF, 2009; OTANI; MACHADO, 2008).

Embora em alguns cenários a manutenção corretiva seja escolhida por ser a mais vantajosa, não se deve simplesmente aceitar a ocorrência de falhas como algo natural. É de extrema importância buscar identificar a causa das falhas a fim de saná-las e, do mesmo modo, evitar sua reincidência (ROMANELLI, 2016; XENOS, 2014).

2.3.2 Manutenção preventiva

Essa política de manutenção é destinada a evitar que a falha ocorra, portanto, as atividades de manutenção são programadas e estabelecidas em intervalos de tempo pré-definidos. Viana (2002) aponta que esse tipo de serviço é realizado conforme critérios prescritos, em períodos pré-determinados de modo a garantir maior tranquilidade para o andamento das atividades produtivas.

Slack *et al.* (2010) ratificando Viana (2002), declaram que a manutenção preventiva busca evitar ou reduzir a falha utilizando-se de simples tarefas de manutenção, como limpeza, lubrificação, substituição e verificação, em intervalos pré-planejados. Apoiando essa ideia, Xenos (2014) aponta que esse tipo de política envolve tarefas sistemáticas realizadas periodicamente como inspeções, reformas e principalmente troca de peças.

Almeida (2000) cita que todos os programas de manutenção preventiva assumem que as máquinas se degradarão com o tempo, de acordo com sua classificação em particular. O autor afirma que esse tipo de manutenção é baseado na estatística da Curva do Tempo Médio para Falha (CTMF), porém seu resultado pode ser um reparo desnecessário ou uma falha catastrófica. O primeiro caso refere-se à adoção de um horizonte de tempo conservador que influi na realização do reparo antes do necessário, desperdiçando material e mão de obra. O segundo está relacionado ao acontecimento da falha em um momento não esperado, mesmo com os esforços empreendidos para preveni-la, contribuindo assim para o uso da manutenção corretiva, que conforme apontado anteriormente possui maior custo (ALMEIDA, 2000; COSTA, 2013).

Todavia, para Lins (2009) os benefícios alcançados em decorrência do uso da manutenção preventiva podem ser apontados em redução de estoques de sobressalentes e de riscos de acidentes, aumento da confiabilidade e da vida útil dos equipamentos, bem como

maior planejamento das atividades. Fortalecendo essa ideia, Xenos (2014) aponta a manutenção preventiva como a abordagem que corrobora com a redução da ocorrência da falhas e das interrupções inesperadas da produção, ao passo que aumenta a disponibilidade dos equipamentos, podendo ser definida como o coração das atividades de manutenção.

Vale ressaltar ainda que esse tipo de manutenção pode ser mais caro, tendo em vista a troca de peças antes do fim de sua vida útil, porém em determinados casos a preventiva pode ser mais barata que a corretiva, posto que há um maior domínio sobre as paradas de manutenção (XENOS, 2014). Sabendo disso, essa política será mais conveniente quanto maior forem os custos e os impactos na produção resultantes das falhas e quebras inesperadas (ROMANELLI, 2016). Para ser adotada deve-se considerar, especialmente: impossibilidade do uso de manutenção preditiva, segurança dos funcionários e da instalação como majoritária quanto a troca de peças e componentes, equipamentos críticos com difícil liberação operacional, agressão ao meio ambiente e sistemas complexos de operação contínua (KARDEC; NASCIF, 2009; SILVA, 2004).

2.3.3 Manutenção preditiva

Wyrebsi (1997) define a prática de manutenção preditiva como um conjunto de atividades direcionadas ao acompanhamento da vida útil dos equipamentos, como por exemplo a execução de inspeções periódicas, leituras, medições, sondagem etc. Desta forma, torna-se possível a análise do comportamento da máquina com o decorrer do tempo, ou seja, verificar a probabilidade de falhas e as mudanças ocorridas nas condições físicas, de modo a prever o risco de quebra e propiciar a manutenção programada preditiva, que na maioria das vezes substitui a manutenção preventiva.

Viana (2002) aponta que esse modelo de manutenção possui como principal objetivo determinar o tempo necessário à ação mantenedora, a fim de evitar desmontagens desnecessárias e utilizar-se do componente até o fim de sua vida útil.

Reafirmando a ideia proposta pelos autores citados, Costa (2013), Germano (2018) e Otani e Machado (2008) afirmam em seus estudos que esse tipo de política se baseia na análise sistemática de parâmetros e variáveis associados ao desempenho de máquinas e equipamentos, visando definir o momento correto para se realizar a intervenção, de modo a maximizar o aproveitamento do ativo.

A manutenção preditiva pode ser ainda definida como aquela direcionada à otimização da troca de peças e do reparo de componentes, como também à ampliação do

período entre as atividades de manutenção a serem realizadas, posto que possibilita prever o limite de vida útil do item (XENOS, 2014).

Nesse contexto, pode-se apontar que a manutenção preditiva se fundamenta em uma série de técnicas de monitoramento, a saber: análise de vibrações mecânicas e de óleos lubrificantes, termografia, ensaio por ultrassom, monitoria de processos, inspeção visual, ferrografia etc., que são aptas a definir as condições reais do equipamento (FIGUEIREDO, 2019; GERMANO, 2018; NEPOMUCENO, 1989).

Conforme Almeida (2000, p. 4) essa política de manutenção é “um meio de se melhorar a produtividade, a qualidade do produto, o lucro, e a efetividade global de nossas plantas industriais”, o que é resultado do domínio de aspectos associados a mensuração do desempenho do maquinário através da medição de suas condições reais. Os resultados desse tipo de manutenção são ainda considerados os melhores, tendo em vista que há um empenho para que haja a menor quantidade de intervenções possíveis nos equipamentos (ROMANELLI, 2016).

2.3.4 Manutenção detectiva

A manutenção detectiva foi referenciada pela primeira vez na literatura na década de 90 e seu significado tem origem na palavra “detectar”. Essa política de manutenção é definida como intervenções realizadas em sistemas de produção, que objetivam assegurar a confiabilidade dos equipamentos e deste modo propiciar a detecção de falhas ocultas e não perceptíveis ao pessoal da operação e manutenção (COSTA, 2013; SOUZA, 2008).

Kardec e Nascif (2009) afirmam que qualquer tipo de atividade executada com o propósito de verificar o funcionamento de sistemas de proteção, se caracteriza como manutenção detectiva. Segundo esses autores, identificar falhas não visíveis é fundamental para garantir a confiabilidade dos sistemas de produção, além disso, ações associadas a esse tipo de manutenção só devem ser executadas por pessoal treinado e habilitado.

Um aspecto importante a ser observado é que esse modelo de manutenção permite verificar o sistema durante sua operação, ou seja, é possível realizar a detecção e correção das falhas sem a necessidade de interromper o funcionamento do equipamento (KADEC; NASCIF, 2009; SILVA, 2004).

Haja vista, a importância da manutenção detectiva é ampliada diariamente com o avanço da tecnologia e do uso de microprocessadores (SILVA, 2004). O aumento do controle e automação nas indústrias instiga a necessidade de seu uso, a fim de garantir a confiabilidade

da planta industrial (XAVIER, 2003 *apud* FERREIRA, 2009). Portanto, essa política de manutenção é primordialmente importante em processos automatizados ou críticos que não suportam falhas (COSTA, 2013).

2.3.5 Engenharia de manutenção

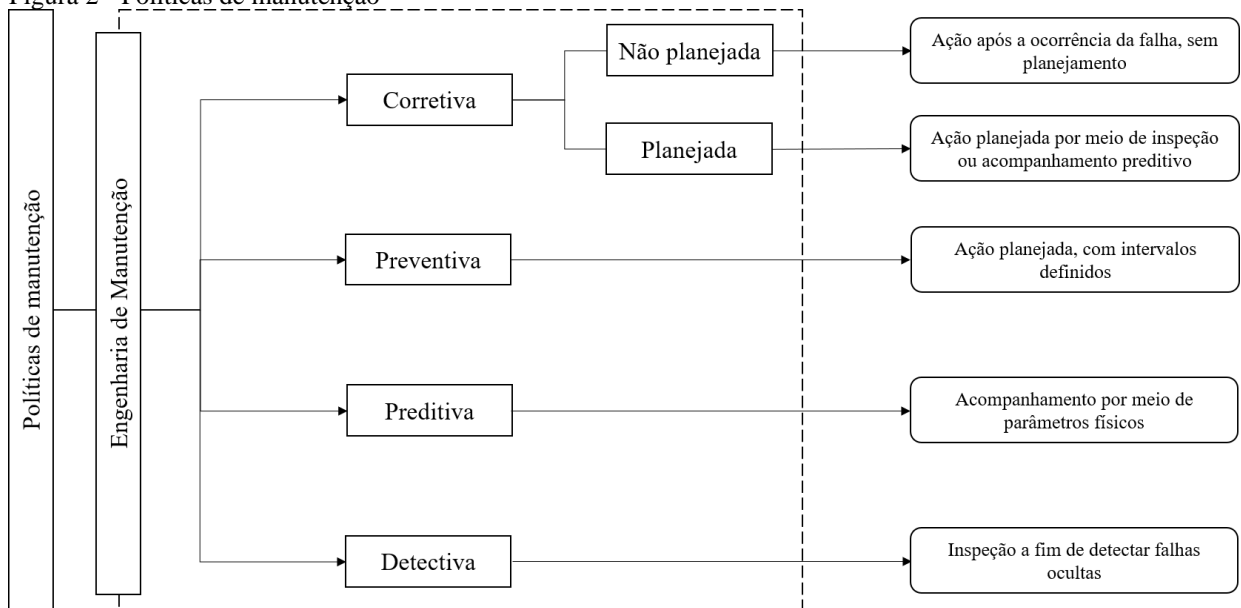
O advento da Engenharia de Manutenção pode ser considerada uma quebra de paradigma e mudança da cultura organizacional, resultante de uma série de alterações pelas quais passaram as atividades de manutenção e pela constante busca por melhoria contínua no referido setor (COSTA, 2013).

De acordo com Kardec e Nascif (2009, p. 50) essa política pode ser definida como “perseguir benchmarks, aplicar técnicas modernas, estar nivelado com a manutenção do Primeiro Mundo”. Algumas das principais responsabilidades da Engenharia de Manutenção, conforme os autores, podem ser apontadas em: aumento da confiabilidade, disponibilidade e segurança, melhora da manutenibilidade e da capacitação do pessoal, eliminação de problemas crônicos, solução de problemas tecnológicos, análise de falhas, elaboração de planos de manutenção, acompanhamento de indicadores e zelo pela documentação técnica.

Xavier (2003) *apud* Otani e Machado (2008) propôs que empresas que executam a manutenção corretiva, estão trabalhando com a cultura de “apagar incêndios” e, portanto, alcançado resultados negativos. Todavia, aquela que se utilizar da manutenção corretiva, incorporada da preventiva e preditiva, está exercendo satisfatoriamente a Engenharia de Manutenção. Consoante com essa concepção, Costa (2013) afirma que organizações que desenvolvem a prática da Engenharia da Manutenção em seus processos, além de realizar o acompanhamento preditivo de seu maquinário, está concebendo um complicado de dados e informações que permitirão no futuro a execução de análises que resultem em melhorias.

A Figura 2, apresenta em síntese a principal característica de cada política de manutenção e como a Engenharia de Manutenção está inserida nesse cenário.

Figura 2 - Políticas de manutenção



Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif (2009)

Mediante o exposto, caracterizando-se como a última política concebida, a Engenharia de Manutenção fornece um compilado de todas as melhores e mais recentes práticas de manutenção. Kardec e Nascif (2009) reiteram ainda que a Engenharia de Manutenção utiliza os dados coletados pelo setor de manutenção com o objetivo de melhorar continuamente.

2.4 Gestão da manutenção

Em função do avanço tecnológico ocorrido durante as últimas décadas, o aumento da complexidade dos equipamentos e a exigência cada vez maior por produtividade e qualidade, a manutenção tem obtido um papel de grande importância dentro das linhas produtivas no quesito de garantir confiabilidade e disponibilidade, aspectos continuamente associados ao desempenho operacional das empresas (NUNES; VALLADARES, 2008 *apud* COSTA, 2013).

Para Sellitto (2007) a função manutenção tem se transformando e evoluído incessantemente, e à medida que se modifica, os gestores têm compreendido o impacto que as falhas causam na segurança, qualidade e nos custos de produção. Kardec e Nascif (2009) complementando a ideia afirmam que a gerência moderna deve ser fundamentada em uma visão de futuro, em que a satisfação dos clientes deve ser resultado da qualidade intrínseca existente nos produtos e serviços, e a qualidade dos processos produtivos o objetivo principal das organizações.

Xenos (1998) declara que as atividades de manutenção são o resultados de ações exercidas diariamente e que podem ser definidas como métodos de manutenção ou atividades gerenciais, sendo essa última denominada como funções de apoio de manutenção. Para o autor, os métodos e funções de apoio se complementam mutuamente a fim de garantir a excelência no gerenciamento da manutenção.

A evolução da manutenção propiciou a necessidade de uma gestão direcionada a cultura de mudanças, onde o papel estratégico do gestor é liderar tal processo. O novo papel da manutenção é, portanto, um desafio para as empresas, posto que a quebra de paradigmas e a visão sistêmica do negócio ocasionarão ainda inúmeras inovações (FREITAS, 2016; KARDEC; NASCIF, 2009).

Conforme as mudanças enfrentadas pela manutenção e sua respectiva evolução para termos gerenciais, Souza (2008, p. 66) define que a gestão da manutenção deve ser associada “a todo o conjunto de ações, decisões e definições sobre todo o que tem que se realizar, possuir, utilizar, coordenar e controlar para gerir os recursos fornecidos para a função manutenção e fornecer assim os serviços que são aguardados pela função manutenção”.

A definição da manutenção, sua concepção, ou modelo adotado pela organização retrata como a empresa espera que a função manutenção opere para que seus objetivos de negócio sejam alcançados (COSTA, 2013; SOUZA, 2008). Todavia, para Costa (2013), nenhuma política de manutenção pode substituir a outra, elas devem se complementar para que seja possível atingir os melhores resultados em termos de desempenho.

Portanto, ao invés de restringir-se ao uso de uma única abordagem de manutenção, é necessário que a empresa saiba identificar as metodologias adequadas de manutenção mediante suas peculiaridades, de modo a buscar estratégias que sejam viáveis e que possuam o melhor custo-benefício. Deste modo, a manutenção será vista como um importante fator estratégico para a redução de riscos e custos, deixando, por conseguinte de ser retratada como um gasto complementar para as empresas (COSTA, 2013; LUCATELLI, 2002).

Diante desse cenário, serão apresentadas as duas filosofias de gestão da manutenção mais utilizadas em todo mundo, conforme apontado por Lucatelli (2002): a TPM (*Total Productive Maintenance*) ou Manutenção Produtiva Total e a RCM (*Reliability Centered Maintenance*) ou Manutenção Centrada em Confiabilidade. Sendo a última o foco do presente estudo e em vista disso, abordada com mais detalhes nos tópicos subsequentes.

2.4.1 *Manutenção Produtiva Total (TPM)*

A Manutenção Produtiva Total teve origem no Japão na década de 70, caracterizado como um sistema direcionado a garantia da confiabilidade dos equipamentos e ao aumento da qualidade no processos, possui o objetivo de reduzir paradas e custos, bem como eliminar perdas na produção, de modo a viabilizar a utilização do sistema *Just in Time*. Seu surgimento no Brasil, data de 1986 (COSTA, 2013; FREITAS, 2016; JIMP, 2008 *apud* NETTO, 2008).

A TPM vai muito além de uma iniciativa ou programa direcionado à melhorias na manutenção, ela envolve todos os setores de uma organização, dos operários ao gestores, podendo, portanto, ser definida como uma filosofia operacional estratégica (SOUZA, 2004). Ainda conforme Souza (2004), a TPM está orientada a redução de custos durante todo o ciclo de vida do equipamento, associando projetos de manutenção preventiva com melhorias sustentáveis.

Conforme apontado por Banker (1995) *apud* Souza (2004) a TPM cria responsabilidade e autogerenciamento dentro do posto de trabalho, pois os colaboradores são os responsáveis por manter seus equipamentos em pleno funcionamento, possuindo propriedade integral sobre estes.

Deste modo, antes de ser apontado como uma política, a TPM pode ser compreendida como uma filosofia que envolve os mais diversos níveis hierárquicos de uma empresa, garantindo a mudança de hábitos enraizados na cultura da organização, exigindo, conforme aponta Costa (2013, p. 29) “compromisso voltado para o resultado”.

O principal foco da TPM é a atuar sobre perdas que resultem na redução do rendimento operacional global dos equipamentos (FREITAS, 2016). Para Kardec e Nascif (2009) há seis grandes perdas: perdas por quebras, perdas por mudança de linha, perdas por operação em vazio e pequenas paradas, perdas por queda de velocidade de produção, perdas por produtos defeituosos e perdas por queda no rendimento.

Para que ocorra sua implantação, a filosofia TPM provê alguns princípios comumente conhecidos como pilares. Para o *Japan Institute Plant of Maintenance apud* Freitas (2002), os oito pilares em que a TPM está baseada proporcionarão a empresa um resultado de excelência, os quais por sua vez possuem objetivos específicos, são eles:

1. Pilar Manutenção da Qualidade;
2. Pilar Melhoria Específica;
3. Pilar Segurança, Saúde e Meio Ambiente;
4. Pilar Manutenção Planejada;

5. Pilar *Office* TPM;
6. Pilar Controle Inicial;
7. Pilar Educação e Treinamento;
8. Pilar Manutenção Autônoma.

Esses oito pilares norteiam a filosofia TPM, que possui como prioridade a “Falha Zero” (COSTA, 2013; SOUZA, 2008). Para atingir tal meta, Souza (2008) aponta que alguns propósitos específicos devem ser alcançados, são eles:

- a) Eliminação das grandes perdas;
- b) Manutenção Autônoma;
- c) Manutenção Planejada;
- d) Educação e Treinamento.

Kardec e Nascif (2009) apontam ainda que para atingir a “Quebra Zero” alguns medidas fundamentais devem ser adotadas: estruturação das condições básicas para a operação, obediência as condições de uso, regeneração do envelhecimento, conserto dos pontos falhos decorrentes de projeto, e por fim incrementação da capacidade técnica.

Corroborando com o apresentado, Costa (2013) aponta que o foco da TPM está direcionado especialmente a capacitação dos colaboradores como entidades proativas na manutenção dos equipamentos, de modo a aperfeiçoar suas condições de funcionamento e aliado a isso, a concepção de equipes polivalentes que atuem na busca de economias por meio de projetos ou através da eliminação de obstáculos à produção.

2.4.2 Manutenção Centrada em Confiabilidade (RCM)

O conceito confiabilidade foi incorporado na manutenção pela primeira vez através de um trabalho realizado para a indústria aeronáutica nos anos 50, referente as falhas existentes em equipamentos eletrônicos de uso militar por um grupo pertencente ao *Federal Aviation Administration*. Os resultados alteraram as concepções e procedimentos de manutenção até então existentes e as principais conclusões foram: (i) quando um item não possuir modos predominantes de falha, revisões programadas afetarão muito pouco sua criticidade; e (ii) a manutenção preventiva mostra-se ineficaz para muitos itens (MOUBRAY, 1996 *apud* SELLITTO, 2007).

Posteriormente, entre os anos 60 e 70, estudos pertinentes as políticas de manutenção no setor de transporte aéreo propiciaram o desenvolvimento da Manutenção Centrada em Confiabilidade, que possuiu seus princípios e aplicações iniciais documentados

por Nowlan e Heap em 1978. O trabalho dos autores apontava que não existia uma forte relação entre a idade do equipamento e sua respectiva taxa de falhas, além disso, afirmava que para a maioria das máquinas a manutenção baseada no tempo era ineficaz (NASA, 2000 *apud* FERREIRA, 2009).

Para Fogliatto e Ribeiro (2011) a RCM é definida como um programa que agrega diversas técnicas de manutenção de modo a garantir que os equipamentos exerçam as funções para as quais foram projetados. Possuindo uma abordagem racional e sistemática, a RCM possibilita que “as empresas alcancem excelência nas atividades de manutenção, ampliando a disponibilidade dos equipamentos e reduzindo custos associados a acidentes, defeitos, reparos e substituições” (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011, p. 217).

Já na visão de Kardec e Nascif (2009) a RCM trata-se de uma metodologia destinada a estudar um equipamento ou sistema, bem como analisar suas falhas e definir as melhores estratégias de manutenção a serem adotadas, de forma que seja possível se precaver das falhas e minimizar as perdas por elas geradas. Ainda conforme os autores, a RCM é estabelecida como uma ferramenta de apoio à decisão gerencial.

Fuentes (2006) e Souza (2008) apontam quatro elementos principais que diferenciam a RCM das abordagens tradicionais, são eles:

- a) Preservação da função do sistema;
- b) Identificação das falhas funcionais e dos modos de falha dominantes;
- c) Priorização das falhas funcionais conforme suas consequências;
- d) Seleção das atividades de manutenção propícias e de custo-eficiente favoráveis, através de um diagrama de decisão.

Para que ocorra sua implantação Kardec e Nascif (2009) propõe uma abordagem de seis etapas, conforme mostrado adiante:

- a) Passo 1: Seleção do sistema;
- b) Passo 2: Definição das funções e padrões de desempenho;
- c) Passo 3: Determinação das falhas funcionais e de padrões de desempenho;
- d) Passo 4: Análise dos modos e efeitos das falhas;
- e) Passo 5: Concepção de um histórico de manutenção e revisão da documentação técnica;
- f) Passo 6: Definição das ações de manutenção necessárias, o que inclui políticas, tarefas e frequência.

Moubray (1997) aponta que a RCM contempla sete questões referentes ao ativo ou sistema em análise:

1. Quais as funções e padrões de desempenho associados ao ativo em seu contexto operacional atual?
2. De que forma o ativo deixa de cumprir suas funções?
3. O que causa cada falha funcional?
4. O que acontece quando cada falha ocorre?
5. Como cada falha implica?
6. O que pode ser feito para prever ou prevenir cada falha?
7. O que deve ser feito se uma tarefa preventiva não puder ser realizada?

Para se obter a resposta de cada uma dessas questões, a RCM possui uma série de ferramentas e métodos de um leque aberto de soluções que segue uma sequência estruturada (FREITAS, 2016).

Kardec e Nascif (2009) apresentam ainda quatro resultados consequentes de sua aplicação:

1. Melhor compreensão acerca do funcionamento do equipamento ou sistema, além de aquisição de conhecimento pelos participantes de especialidades diversas;
2. Desenvolvimento do trabalho em grupo, propiciando frutos positivos na análise, solução de problemas e estabelecimento de programas de trabalho;
3. Definição das possíveis falhas dos itens, bem como de suas causas básicas, de modo a desenvolver mecanismos que possam evitar aquelas espontâneas ou geradas por atos humanos;
4. Elaboração de planos que garantam o funcionamento do item em um nível de performance desejado, como planos de manutenção, procedimentos operacionais e listas de modificações ou melhorias.

A RCM objetiva, portanto, a utilização máxima dos recursos, desde que possível, como forma de garantir a confiabilidade dos equipamentos. Em decorrência do nível de informação que proporciona, apresenta benefícios como: melhor desempenho operacional, maior eficiência de manutenção, aumento da vida útil dos equipamentos e maior precisão na tomada de decisão. Além disso, devido aos dados de falhas obtidos, a RCM auxilia as organizações a direcionarem seus esforços para máquinas que possam gerar impactos mais agravantes, seja ao meio ambiente ou aos colaboradores, garantindo desta forma segurança (COSTA, 2013; SOUZA; LIMA, 2003).

2.4.2.1 Análise dos Modos e Efeitos de Falha (FMEA)

A FMEA, sigla referente a *Failure Mode and Effects Analysis* e no português definida como Análise dos Modos e Efeitos de Falha, é reconhecida como uma das principais ferramentas empregadas na RCM destinada a identificar potenciais falhas em equipamentos, sistemas ou processos, bem como priorizá-las. Esta técnica possui uma abordagem prática e qualitativa destinada a hierarquizar as falhas potenciais e propor ações por meio de técnicas de manutenção como forma de evitá-las, aumentando deste modo a confiabilidade do item (GAIO, 2016; KARDEC; NASCIF, 2009; SMITH; MOBLEY, 2011).

Complementando a ideia, Ferreira (2009) aponta que o uso dessa ferramenta proporciona o acompanhamento das chances de falha do equipamento durante sua vida útil, ou seja, sua aplicação permite o aumento da confiabilidade, conceito diretamente relacionado a probabilidade de falha do produto ou processo. Tendo isso em vista, a FMEA tem resultado em grandes ganhos para áreas que vão além da indústria, como os segmentos farmacêutico e hospitalar (CRUZ, 2009; SOUZA, 2017).

A ABNT (1994) através da NBR 5462:1994, considera a sigla original FMEA e a traduz como Análise dos Modos de Pane e Seus Efeitos. Para a NBR a FMEA é um método para análise de confiabilidade destinado a estudar os modos de falha existentes de cada subitem, assim como os efeitos para cada modo de falha, podendo ser este último sobre o subitem ou sobre suas funções.

Fogliatto e Ribeiro (2011) ainda definem a FMEA como uma técnica de confiabilidade que possui três objetivos principais: (i) identificar e analisar falhas potenciais que podem ocorrer em um produto ou processo, (ii) detectar ações que possam eliminar ou reduzir a probabilidade de ocorrência dessas falhas, e (iii) desenvolver um histórico referente ao estudo, onde todas as informações sejam documentadas, a fim de auxiliar em revisões futuras.

Há três níveis de FMEA conforme abordam Kardec e Nascif (2009), sendo eles projeto, processo e sistema. Os autores ainda definem cada nível como:

- a) A FMEA no projeto está associada a eliminação das causas das falhas durante o projeto do equipamento, considerando-se aspectos desde a manutenibilidade até aqueles ligados à segurança;
- b) A FMEA no processo é realizada quando o equipamento já está em funcionamento, ou seja, possui como foco sua manutenção e operação;
- c) A FMEA no sistema está relacionada as falhas potenciais e gargalos de todo o sistema de produção preocupando-se, portanto, com o processo global.

Diversos autores determinam uma série de etapas para a elaboração da FMEA. De acordo com Fogliatto e Ribeiro (2011) seu desenvolvimento deve ser realizado empregando passos que se caracterizam pelo preenchimento da tabela FMEA, descritos a seguir.

1. Cabeçalho

O cabeçalho possuirá características específicas de cada empresa. Nele geralmente estão contidos o número da FMEA, a identificação do item, o departamento responsável pelo estudo, data do documento, dentre outras informações necessárias. É válido ressaltar que tais informações devem ser registradas em um banco de dados a fim de facilitar pesquisas futuras e o número do documento deve utilizar códigos alfanuméricos como forma de favorecer sua rastreabilidade (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011). A Figura 3 apresenta um modelo de cabeçalho a ser utilizado pelas organizações.

Figura 3 - Cabeçalho da planilha FMEA

ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA		
Empresa:	Data:	Nº do documento:
Setor:	Responsável:	Nº de revisões:
Item:		

Fonte: Autor (2021)

2. Item/função

Após o cabeçalho ser preenchido, inicia-se o processo de desenvolvimento das colunas da planilha FMEA. Na primeira deverá constar uma simples descrição da operação a ser analisada, como por exemplo furação, soldagem ou montagem (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011). Palady (2004) *apud* Souza (2017) afirma que os problemas mais frequentes na execução da FMEA condizem com a coluna referente às funções do equipamento, em que ausência de especificação de todas as funções, descrição imprecisa e linguagem de difícil entendimento, são adversidades recorrentes. A principal pergunta a ser realizada é “O que esse processo tem que fazer?”, a qual orientará o preenchimento da função (SOUZA, 2017). A Figura 4 apresenta a localização de tal coluna na planilha.

Figura 4 - Coluna função da planilha FMEA

ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA		
Empresa:	Data:	Nº do documento:
Setor:	Responsável:	Nº de revisões:
Item:		

Função

Fonte: Autor (2021)

3. Modos potenciais de falha

Nessa etapa se inicia o trabalho técnico propriamente dito, onde serão identificados todos os modos potenciais de falha referentes a cada operação. O modo potencial de falha é definido como a forma que o processo falha em atingir suas especificações de projeto, devendo sempre ser descrito em termos técnicos. Sua listagem deve ser realizada com base na experiência da equipe que está aplicando a FMEA, podendo se utilizar de relatórios de problemas no processo, dados de assistência técnica e reclamação de clientes como fonte de informação (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

Souza (2017) propõe que para identificar os modos de falha a seguinte pergunta deve ser feita: “Como este processo falha?”, conforme mostra a Figura 5.

Figura 5 - Coluna modo de falha da planilha FMEA

ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA	
Empresa:	Data:
Setor:	Responsável:
Item:	Nº de revisões:

Função	Modo de falha

Fonte: Autor (2021)

4. Efeitos potenciais de falha

Fogliatto e Ribeiro (2011) declaram que os efeitos potenciais de falha são os defeitos resultantes dos modos de falha. Os autores defendem que a descrição dos efeitos deve ser baseada na visão do cliente, podendo este ser um cliente de qualquer nível da linha produtiva: o responsável pela operação posterior, o revendedor ou o cliente final. Além disso, um modo de falha está associado a um ou mais efeitos.

Na Figura 6 é possível observar a localização da coluna efeito na planilha, que para Souza (2017) sua identificação pode ser realizada com o questionamento “Qual o impacto desta falha no produto final?”.

Figura 6 - Coluna efeito de falha da planilha FMEA

ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA		
Empresa:	Data:	Nº do documento:
Setor:	Responsável:	Nº de revisões:
Item:		
Função	Modo de falha	Efeito da falha

Fonte: Autor (2021)

5. Severidade (S)

A análise de severidade deve ser realizada levando-se em consideração cada efeito de falha pontuado na etapa anterior, além disso, definida com base no impacto que esse efeito pode causar na operação do sistema, e conseqüentemente, na satisfação do cliente. A severidade é medida em uma escala (Tabela 1) de 1 a 10, onde 1 representa um efeito pouco severo e 10 significa um alto nível de severidade (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

Tabela 1 - Escala de severidade

Escala de Severidade		
Severidade do efeito	Descrição	Escala
Muito alta	Compromete a segurança da operação e/ou envolve	10
	infração aos regulamentos governamentais	9
Alta	Provoca alta insatisfação ao cliente, sem comprometer	8
	sua segurança ou resultar em uma infração	7
Moderada	Provoca alguma insatisfação, devido à queda do	6
	desempenho ou mau funcionamento	5
Baixa	Provoca uma leve insatisfação, o cliente observa uma	4
	leve deterioração ou queda no desempenho	3
Mínima	Falha que afeta minimamente o desempenho do	2
	sistema e talvez os clientes não notem sua ocorrência	1

Fonte: Adaptado de Fogliatto e Ribeiro (2011)

O critério de severidade (Figura 7) pode ser definido respondendo à pergunta: “Qual a gravidade do efeito no cliente?”, segundo aponta Souza (2017).

Figura 7 - Coluna severidade da planilha FMEA

ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA			
Empresa:		Data:	Nº do documento:
Setor:		Responsável:	Nº de revisões:
Item:			
Função	Modo de falha	Efeito da falha	Severidade (S)

Fonte: Autor (2021)

6. Classificação

Essa coluna é utilizada para apontar qualquer característica da operação, possíveis classificações são: crítico para a segurança, crítico para a qualidade e crítico para a produtividade. Vale salientar que o emprego de ferramentas eletrônicas corroboram com o uso dessa coluna, pois a criação de filtros permite a agrupamento das operações conforme suas classificações, de modo que seja possível a realização de análises mais detalhadas para cada uma delas. O questionamento a ser respondido é: “Quais os modos de falhas prioritários pra avaliação da engenharia?” (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011; SOUZA, 2017). A localização dessa coluna pode observada na Figura 8.

Figura 8 - Coluna classificação da planilha FMEA

ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA				
Empresa:		Data:	Nº do documento:	
Setor:		Responsável:	Nº de revisões:	
Item:				
Função	Modo de falha	Efeito da falha	Severidade (S)	Classificação

Fonte: Autor (2021)

7. Causas/mecanismos potenciais de falha

Destinada a identificar a raiz do problema, essa etapa é considerada uma das mais importantes durante a elaboração da FMEA. As causas potenciais de falha são definidas como deficiências que resultam no modo de falha, tendo isso em vista, é fundamental que sua listagem ocorra de modo conciso e completo a fim de facilitar o entendimento durante a proposição de ações de correção ou melhoria (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

Palady (2004) *apud* Souza (2017) citam algumas ferramentas que auxiliam na identificação das causas de falha, como por exemplo Diagrama de *Ishikawa*, *Brainstorming*,

além de outras ferramentas da qualidade. Souza (2017) ainda estabelece a seguinte pergunta para corroborar com esta etapa: “Quais são as causas que fazem esta falha ocorrer?”, como exposto na Figura 9.

Figura 9 - Coluna causa da planilha FMEA

ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA					
Empresa:		Data:		Nº do documento:	
Setor:		Responsável:		Nº de revisões:	
Item:					
Função	Modo de falha	Efeito da falha	Severidade (S)	Classificação	Causa

Fonte: Autor (2021)

8. Ocorrência (O)

A ocorrência representa a probabilidade de uma das causas ou modo de falha listados anteriormente ocorrer. Esse índice pode ser calculado utilizando-se de procedimentos estatísticos quando dados numéricos estiverem disponíveis, todavia, em caso contrário é possível a realização de uma análise subjetiva (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011). Conforme os autores, a escala de medição da ocorrência varia de 1 a 10 e os critérios utilizados para definir as pontuações devem ser consistentes a fim de ratificar a continuidade do estudo.

A Tabela 2 apresenta uma forma de pontuar a ocorrência da falha, tanto subjetivamente quanto por meio de dados históricos.

Tabela 2 - Escala de ocorrência

Escala de Ocorrência			
Ocorrência da falha	Descrição	Taxa de falha	Escala
Muito alta	Falhas quase inevitáveis	100/1000	10
		50/1000	9
Alta	Falhas ocorrem com frequência	20/1000	8
		10/1000	7
		5/1000	6
Moderada	Falhas ocasionais	2/1000	5
		1/1000	4
Baixa	Falhas raramente ocorrem	0,5/1000	3
		0,1/1000	2
Mínima	Falhas muito improváveis	0,01/1000	1

Fonte: Adaptado de Fogliatto e Ribeiro (2011)

Outra forma de determinar o valor da ocorrência, caso valores quantitativos estejam disponíveis, é utilizar a Equação 1, conforme aponta Fogliatto e Ribeiro (2011):

$$Ocorrência = (Taxa\ de\ falha / 0,000001)^{0,20} \quad (1)$$

Para preencher tal coluna (Figura 10), propõe-se o questionamento: “Qual a frequência da causa da falha?” (SOUZA, 2017).

Figura 10 - Coluna ocorrência da planilha FMEA

ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA						
Empresa:		Data:		Nº do documento:		
Setor:		Responsável:		Nº de revisões:		
Item:						
Função	Modo de falha	Efeito da falha	Severidade (S)	Classificação	Causa	Ocorrência (O)

Fonte: Autor (2021)

9. Controles de prevenção e detecção

Essa etapa é destinada a elencar os controles existentes que possam impedir ou detectar a causa de falha. Os controles podem ser aqueles já utilizados em equipamentos semelhantes ou o uso de dispositivos Poka-Yoke, controle estatístico do processo e inspeção final. Recomenda-se a elaboração de duas colunas, uma direcionada aos controles já empregues para reduzir a ocorrência da causa e a outra designada para descrever controles de detecção que possam identificar o problema. As perguntas utilizadas para auxiliar o preenchimento das colunas são, respectivamente: “Quais são os controles atuais que impedem que o modo de falha ocorra?” e “Quais são os controles atuais que detectam que o modo de falha ocorra?” (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011; SOUZA, 2017), como pode ser analisado na Figura 11.

Figura 11 - Colunas controle de prevenção e detecção da planilha FMEA

ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA								
Empresa:			Data:			Nº do documento:		
Setor:			Responsável:			Nº de revisões:		
Item:								
Função	Modo de falha	Efeito da falha	Severidade (S)	Classificação	Causa	Ocorrência (O)	Controle de prevenção	Controle de detecção

Fonte: Autor (2021)

10. Detecção (D)

A detecção de acordo com Fogliatto e Ribeiro (2011) é uma estimativa que representa a habilidade dos controles utilizados em detectar causas ou modos potenciais de falha. Sua medição ocorre através de uma escala qualitativa de 1 a 10, onde 1 representa uma situação favorável, portanto de fácil detecção e 10 uma situação desfavorável, ou seja, quando há dificuldade para se detectar o modo de falha (Tabela 3). Para realizar sua avaliação, os autores propõe que a equipe deve assumir que o modo de falha já ocorreu e em seguida analisar se os controles são capazes de detectá-lo (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

Tabela 3 - Escala de detecção

Escala de Detecção		
Possibilidade de detecção	Descrição	Escala
Muito remota	Os controles de detecção não irão detectar o modo de falha, ou não há controle	10
Remota	Os controles de detecção provavelmente não irão detectar o modo de falha	9
Baixa	Há baixa probabilidade de os controles de detecção detectarem o modo de falha	7
Moderada	Os controles de detecção podem detectar o modo de falha	5
Alta	Há uma alta probabilidade de os controles de detecção detectarem o modo de falha	3
Muito alta	É quase certo que os controles de detecção irão detectar o modo de falha	1

Fonte: Adaptado de Fogliatto e Ribeiro (2011)

“Qual a chance de detectar o modo de falha?”, como estabelecido por Silva (2017), é o questionamento a ser feito para o preenchimento da coluna detecção (Figura 12).

Figura 12 - Coluna detecção da planilha FMEA

ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA									
Empresa:			Data:			Nº do documento:			
Setor:			Responsável:			Nº de revisões:			
Item:									
Função	Modo de falha	Efeito da falha	Severidade (S)	Classificação	Causa	Ocorrência (O)	Controle de prevenção	Controle de detecção	Detecção (D)

Fonte: Autor (2021)

11. Risco (R)

Na concepção de Fogliatto e Ribeiro (2011) o risco, ou Número de Prioridade de Risco (NPR), é mensurado para que seja possível realizar a priorização das ações de correção e melhorias a serem estabelecidas, por conseguinte, em seu cálculo deve-se utilizar os índices de severidade, ocorrência e detecção, por meio da Equação 2.

$$NPR = S \times O \times D \quad (2)$$

Para os autores a equipe deve focar sua atenção nos itens que apresentarem o maior valor de risco, todavia, segundo Palady (2004) *apud* Silva (2017), além de observar o valor do risco, deve-se priorizar aqueles com maior grau de severidade e ocorrência, pois esses apresentarão maiores riscos para a organização. Desta forma, a Figura 13 apresenta a coluna do risco.

Figura 13 - Coluna risco da planilha FMEA

ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA										
Empresa:			Data:			Nº do documento:				
Setor:			Responsável:			Nº de revisões:				
Item:										
Função	Modo de falha	Efeito da falha	Severidade (S)	Classificação	Causa	Ocorrência (O)	Controle de prevenção	Controle de detecção	Detecção (D)	NPR

Fonte: Autor (2021)

12. Ações recomendadas

As ações recomendadas são proposições de melhorias que devem ser elaboradas especialmente para os itens que apresentarem maior valor de risco. Portanto, seu principal objetivo será reduzir o grau de severidade, ocorrência e não-detecção, além disso é importante

mencionar que qualquer modo de falha que afete a segurança dos colaboradores e funcionários deve ser eliminado ou controlado através de dispositivos de detecção. É válido ressaltar ainda que as ações recomendadas representam o principal resultado da FMEA, assim sendo, sempre que necessário elas devem estar bem detalhadas em documentos adicionais à planilha em questão (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011). A Figura 14 demonstra a localização essa coluna.

Figura 14 - Coluna ações recomendadas da planilha FMEA

ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA											
Empresa:				Data:				Nº do documento:			
Setor:				Responsável:				Nº de revisões:			
Item:											
Função	Modo de falha	Efeito da falha	Severidade (S)	Classificação	Causa	Ocorrência (O)	Controle de prevenção	Controle de detecção	Detecção (D)	NPR	Ações recomendadas

Fonte: Autor (2021)

13. Responsável e data (para a ação)

Nessa etapa são preenchidas e adicionas duas colunas nas quais serão apresentados, respectivamente, os responsáveis pela realização da ação recomendada e a data limite para se efetuar a atividade (Figura 15). Geralmente a tarefa será exercida por um grupo de pessoas, todavia recomenda-se a identificação de um único profissional como forma de garantir a comunicação e a cobrança de resultados (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

Figura 15 - Colunas responsável e data da planilha FMEA

ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA													
Empresa:				Data:				Nº do documento:					
Setor:				Responsável:				Nº de revisões:					
Item:													
Função	Modo de falha	Efeito da falha	Severidade (S)	Classificação	Causa	Ocorrência (O)	Controle de prevenção	Controle de detecção	Detecção (D)	NPR	Ações recomendadas	Responsável	Data

Fonte: Autor (2021)

14. Ações efetuadas

Fogliatto e Ribeiro (2011) declaram que na presente etapa duas colunas são elaboradas com a finalidade de especificarem a data de execução e as ações de fato implantadas (Figura 16). Todavia, nem sempre é possível realizar o que foi planejado e complementar a isso, os responsáveis pela execução podem encontrar melhorias mais eficientes do que as propostas

anteriormente. Independentemente da situação, o importante é que todas as ações efetuadas sejam registradas, como forma de manter a FMEA constantemente atualizada acerca de possíveis alterações.

Figura 16 - Coluna ações efetuadas da planilha FMEA

ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA														
Empresa:				Data:				Nº do documento:						
Setor:				Responsável:				Nº de revisões:						
Item:														
Função	Modo de falha	Efeito da falha	Severidade (S)	Classificação	Causa	Ocorrência (O)	Controle de prevenção	Controle de detecção	Deteção (D)	NPR	Ações recomendadas	Responsável	Data	Ações efetuadas

Fonte: Autor (2021)

15. Risco resultante

Logo após a identificação das ações recomendadas e antes de serem efetuadas, deve-se realizar uma estimativa dos valores futuros de severidade, ocorrência e detecção (Figura 17). As ações propostas devem influenciar uma ou mais dessas variáveis, de modo a reduzir o risco para um nível aceitável. Se esse não for o resultado, as ações anteriormente planejadas devem ser repensadas e reestabelecidas. Após a execução da ação, os riscos resultantes devem ser novamente analisados e se houver necessidade, devem ser refeitos as etapas de 12 a 15 (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

Figura 17 - Coluna risco resultante da planilha FMEA

ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA																			
Empresa:				Data:				Nº do documento:											
Setor:				Responsável:				Nº de revisões:											
Item:																			
Função	Modo de falha	Efeito da falha	Severidade (S)	Classificação	Causa	Ocorrência (O)	Controle de prevenção	Controle de detecção	Deteção (D)	NPR	Ações recomendadas	Responsável	Data	Ações efetuadas	Risco resultante				
															S	O	D	NPR	

Fonte: Autor (2021)

Deste forma, é obtida a planilha FMEA em seu modo íntegro conforme a literatura, que pode, entretanto, ser adaptada mediante a realidade em estudo.

2.5 Importância da manutenção no contexto hospitalar

A importância da manutenção pode ser evidenciada em diferentes cenários, especialmente com o avanço da globalização que propiciou a sofisticação de instalações, bem como o aumento da exigência por condições apropriadas de operação (CHAPARRO *et al.*, 2020; MACEK; DOBIAS, 2014). Todavia, as atividades de manutenção tornam-se ainda mais críticas quando inseridas no contexto hospitalar, posto que a segurança dos equipamentos e máquinas impactam diretamente na vida de seus usuários, sejam eles, pacientes ou profissionais de saúde.

De acordo com Quadri (2017) o setor hospitalar é um dos mais complexos, tendo em vista as exigências existentes relacionadas as instalações e equipamentos, que em sua grande maioria apresenta aplicações específicas e ininterruptas. O cumprimento dessas condições é essencialmente importante, visto que estão associadas a consequências fatais à vida humana.

O equipamento médico é amplamente utilizado para tratamento e diagnóstico dos pacientes, nos hospitais eles são essenciais para a prestação do serviço de saúde (BAHREINI *et al.*, 2019; WANG, 2012). Segundo Painter e Baretich (2011) *apud* Bahreini *et al.* (2019) tais ativos melhoram a qualidade de vida de inúmeras pessoas que necessitam usar esse tipo de serviço. Em vista disso, para assegurar seu bom funcionamento, é necessário a realização de atividades de manutenção como calibração, reparo, treinamento do usuário e demais tarefas que são normalmente realizadas por engenheiros clínicos (BAHREINI *et al.*, 2019; WHO, 2011).

Nessa conjuntura, a manutenção hospitalar possui como objetivo final garantir a confiabilidade e segurança, de modo que o equipamento não possua frequência de falha, e caso chegue falhar, seja prontamente restaurando e repostado em funcionamento. Outrossim, os dispositivos médicos devem ser sempre seguros para seus usuários (BAHREINI *et al.*, 2019; WANG, 2012).

Pentón e Martínez (2001) *apud* Figueiredo (2019) e Quadri (2017) afirmam ainda que a manutenção no contexto hospitalar é peça-chave para garantir a qualidade do serviço de saúde prestado à população, pois mesmo que na instituição estejam presentes profissionais qualificados, se os equipamentos e instalações não possuírem confiabilidade e disponibilidade, não se pode assegurar o mínimo requerido pelos pacientes, ou seja, sua segurança.

Portanto, é possível reiterar que assim como qualquer outra organização que busca excelência em seu processo produtivo, instalações e equipamentos, e que está sujeita a limitação de vida útil desses itens, no setor hospitalar não é diferente, sendo o grau de funcionalidade do maquinário ainda mais preocupante, posto que um dos inputs do sistema produtivo são os seres

humanos. Por isso, é de fundamental importância o planejamento, organização e sistematização da manutenção dos equipamentos (QUADRI, 2017). Corroborando com a ideia, Pentón e Martínez (2001) *apud* Figueiredo (2019), apontam que os processos hospitalares fornecem assistência a vida humana, por conseguinte, é necessário que exista qualificação para a execução de um adequado planejamento de manutenção dos equipamentos.

Diante desse cenário, sabendo-se que o equipamento médico requer manutenção, seja ela corretiva ou programada, e que além de envolver altos custos, está diretamente associado ao tratamento e vida dos seus usuários, é factível que todo hospital necessita de pessoal altamente qualificado para o gerenciamento da vida útil dos equipamentos. Esta equipe foi inicialmente nomeada como departamento biomédico, passando a partir dos anos 90 a ser conhecida como Engenharia Clínica (EC) (WANG, 2012).

Vale ainda ressaltar que, conforme exposto por Wang (2012), há três elementos principais a serem considerados e que impactam diretamente as decisões de manutenção, são eles: a segurança do paciente, isto é, o quanto a falha pode afetar a vida do paciente; necessidades intrínsecas de manutenção, que refere-se as ações de manutenção requeridas pelo equipamento desde seu projeto; e criticidade para a missão da organização, que diz respeito a probabilidade e gravidade do impacto que o equipamento possui para o alcance da missão do hospital, o que influi na satisfação dos pacientes.

Haja vista, a qualidade do serviço de saúde está diretamente associada a segurança dos equipamentos e dispositivos médicos. Lidar com pacientes que buscam por tratamento ou diagnósticos, vai muito além de assegurar o cuidado a vida, uma vez que deve ser também considerado a humanização do serviço, ou seja, a garantia de segurança e conforto para os usuários. Tendo isso em vista, a concepção até aqui apresentada fundamenta a importância de um bom planejamento e execução da manutenção no ambiente hospitalar, que como pode ser observado, propiciou até mesmo a criação de uma equipe destinada a tais atividades, a Engenharia Clínica.

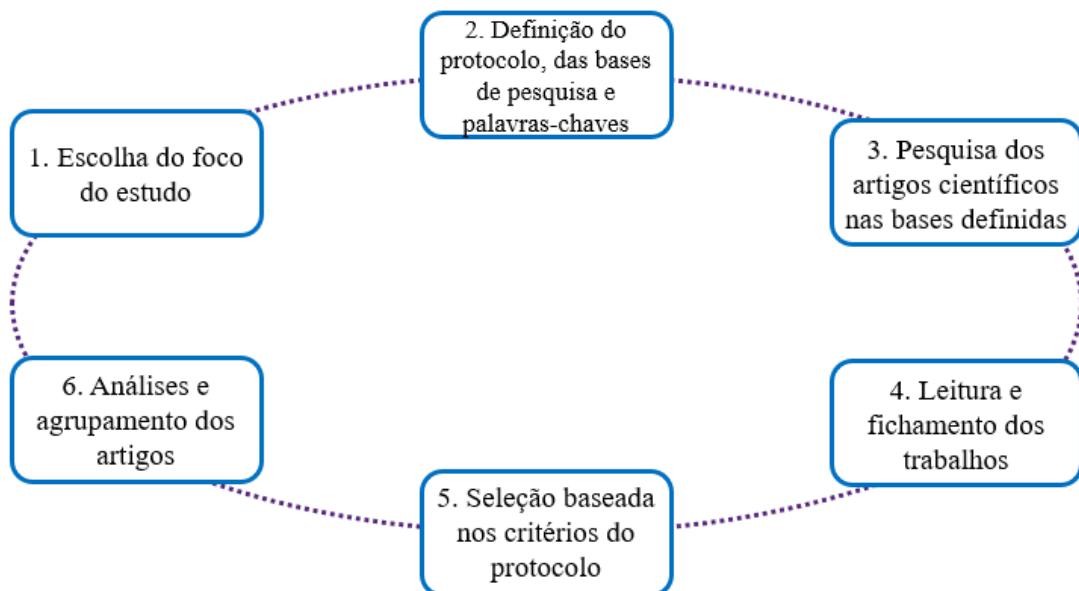
3 ANÁLISE DA LITERATURA

Neste capítulo é abordada a Revisão Sistemática de Literatura (RSL) pertinente ao tema principal em estudo, de modo a analisar as pesquisas presentes nas bases científicas que fundamentem a escolha dos métodos e ferramentas a serem aplicados neste trabalho. Para tal, são apresentadas inicialmente as etapas para a realização da RSL e posteriormente são demonstradas as análises empreendidas, sendo estas segregadas conforme as principais abordagens encontradas: o gerenciamento da manutenção hospitalar e a manutenção de equipamentos médicos.

3.1 Etapas da RSL

A fim de realizar o levantamento sobre as principais técnicas e métodos aplicados no gerenciamento e implantação de políticas de manutenção no contexto hospitalar, realizou-se uma RSL, cujas etapas são demonstradas na Figura 18.

Figura 18 - Etapas da pesquisa



Fonte: Autor (2021)

O primeiro passo foi definir o tema de interesse do estudo, onde optou-se por uma abordagem direcionada à gestão da manutenção em instituições hospitalares devido à lacuna existente na literatura dessa área de estudo. Posteriormente, a autora elaborou o protocolo de revisão a fim de esclarecer e direcionar os objetivos do trabalho, onde foram definidas as bases

de pesquisa, sendo estas, *Scopus*, *Science Direct*, *SciELO*, *Emerald* e *Wef of Science*; bem como as palavras-chaves, as quais consistiram nas combinações do seguinte conjunto: *maintenance*, *hospital*, *reliability*, *maintenance of (medical devices/ hospital equipment)*, *hospital (maintenance/ equipment)*, *medical (devices/ equipment)*, *maintenance (management/ management systems)*, *preventive hospital maintenance*, *devices maintenance system*, *measuring maintenance effectiveness*. Com isso, partiu-se para a etapa seguinte da RSL, a pesquisa de artigos científicos presentes nas bases de dados citadas.

Antes de selecionar os artigos a serem incluídos no estudo, realizou-se, para facilitar essa seleção, o fichamento de todos os trabalhos inicialmente encontrados (etapa 4), analisando-se aspectos como objetivo, abordagem e ferramenta/metodologia. Feito isto, as pesquisas foram selecionadas através dos critérios de aceitação (etapa 5). Esses critérios incluíram: (a) delimitação de um período de tempo entre os anos 2000 e 2020; (b) aprovação em revistas científicas; (c) disponibilidade de forma integral nas plataformas; (d) presença de uma metodologia ou aplicação que auxiliasse no gerenciamento da manutenção de equipamentos médicos.

Após todos os aceites finais, o desfecho contempla as análises, bem como o agrupamento dos artigos de acordo com os temas explicitados, onde dois grupos foram identificados: gerenciamento da manutenção no contexto hospitalar (direcionado às práticas de manutenção aplicadas à instalação hospitalar como um todo, tratando-se de metodologias gerenciais) e manutenção de equipamentos médicos (que abrange trabalhos com o uso de ferramentas e técnicas destinadas a garantir a confiabilidade, especificamente, dos equipamentos hospitalares).

Tendo isso em vista, discussões foram elaboradas conforme as vertentes observadas, onde foi evidenciado cada resultado principal acerca dos trabalhos selecionados. Esse fato permitiu estruturar o conhecimento obtido mediante a realização do estudo e deste modo atender à finalidade da revisão, ou seja, sintetizar e organizar os principais métodos utilizados no gerenciamento da manutenção dentro do cenário hospitalar.

3.2 Classificação e análise e dos artigos

3.2.1 Análise descritiva

A busca por trabalhos científicos alinhados ao objetivo desse estudo resultou em um vasto número de publicações. Todavia, em decorrência do expressivo número, realizou-se uma pré-seleção, conforme apresenta a Tabela 4, que permitiu reduzir essa quantia para 51

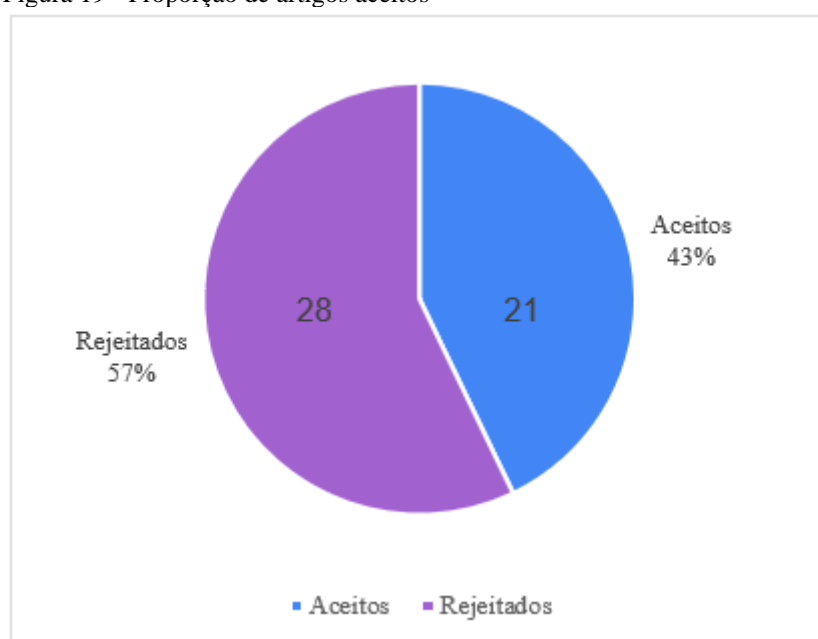
trabalhos, sendo estes disponíveis online e produzidos entre os anos 2000 e 2020. Dentre estes, 21 foram selecionados (Figura 19) na etapa 5, de acordo com os critérios estabelecidos no protocolo.

Tabela 4 - Resumo do processo de pesquisa para a RSL

Artigos identificados	Artigos pré-selecionados mediante a leitura do resumo	Quantidade de artigos após a remoção das publicações duplicadas	Artigos selecionados após a leitura do trabalho completo
Aproximadamente 1000	51	49	21

Fonte: Autor (2021)

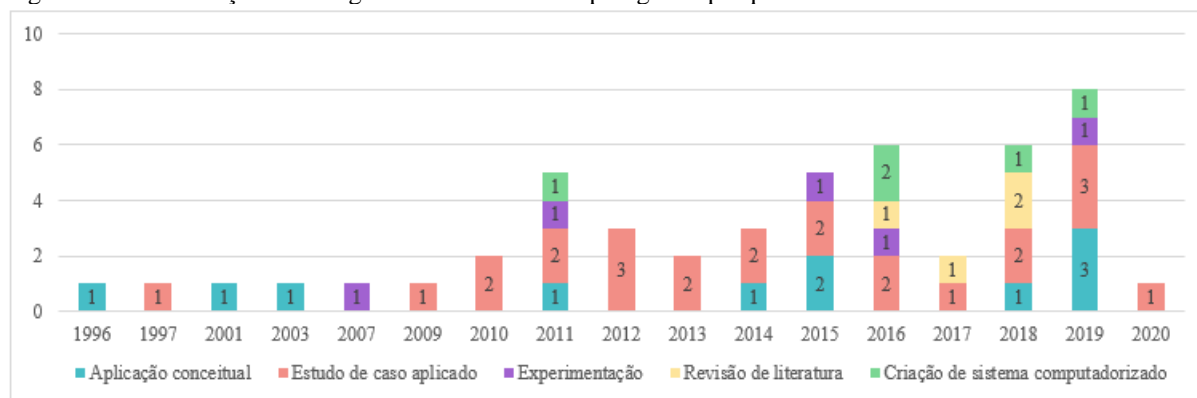
Figura 19 - Proporção de artigos aceitos



Fonte: Autor (2021)

Através do estudo e análise das 49 publicações, foi possível perceber que a maior parte da literatura consiste em estudos de caso aplicados (48,98%) e aplicações conceituais (22,45%). A porcentagem restante (28,57%) diz respeito a experimentação (10,20%), criação de sistemas computadorizados (10,20%) e revisões de literatura (8,16%). A distribuição dos artigos conforme a tipologia da pesquisa é apresentada na Figura 20.

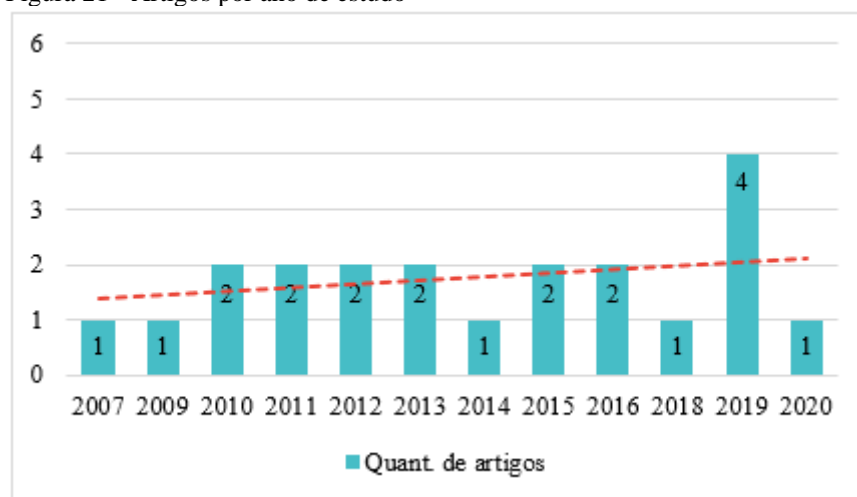
Figura 20 - Distribuição dos artigos de acordo com a tipologia da pesquisa



Fonte: Autor (2021)

Quanto aos 21 trabalhos selecionados foi notória a tendência de pesquisas nas áreas de (i) Gestão da Manutenção Hospitalar e (ii) Manutenção de Equipamentos Hospitalares, o que evidenciou inicialmente as duas principais vertentes estudadas pelos pesquisadores e que permitiu o agrupamento primordial dos artigos aceitos. Analisando ainda estes trabalhos, conforme mostrado na Figura 21, a quantidade publicada apresenta-se constante nos últimos anos, com pico no ano de 2019 (4 artigos).

Figura 21 - Artigos por ano de estudo



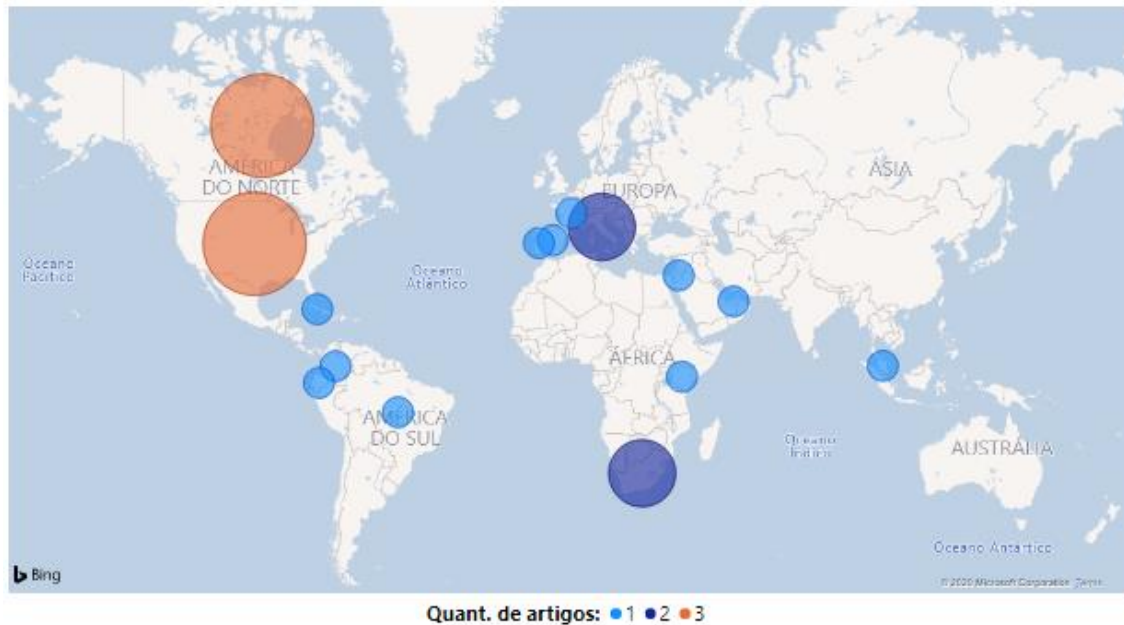
Fonte: Autor (2021)

Como pode ser observado, embora apresente constância, em termos de quantidade, os artigos selecionados não expressam um número significativo de estudos. Esta informação apresenta-se como um indício de lacuna na literatura de pesquisas nessa área e fortalece a necessidade de aplicações que auxiliem no gerenciamento de manutenção hospitalar.

No que se refere aos países de origem dos artigos, percebe-se por meio da Figura 22 que as pesquisas foram abordadas em 15 países distintos, com uma predominância de

aplicações na América do Norte, onde Estados Unidos e Canadá possuem juntos 6 estudos (28,6% dos artigos). Outros países em destaque são Itália e África do Sul com 2 artigos cada. As demais nações apresentaram somente a ocorrência de um estudo dentre os trabalhos selecionados.

Figura 22 - Distribuição das pesquisas pelo mundo



Fonte: Autor (2021)

Mediante as aplicações presentes nos 21 trabalhos selecionados e a divisão do estudo em dois grupos, os Quadros 2 e 3 apresentam as principais informações dos trabalhos selecionados para o estudo das metodologias de gerenciamento da manutenção hospitalar e em equipamentos médicos, respectivamente.

Quadro 2 - Artigos selecionados para o estudo do Gerenciamento da Manutenção Hospitalar

AUTORES	ARTIGO	ESTUDO DO GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO HOSPITALAR	TEMA
Carlos A. Bana e Costa, María Carmen Carnero, Mónica Duarte Oliveira	A multi-criteria model for auditing a Predictive Maintenance Programme	Proposição do MACBETH para auditar um Programa de Manutenção Preditiva (PMP) desenvolvido e implementado na Espanha.	Modelo de Decisão Multicritério
Héctor R. Acosta-Palmer, Mayra de la C. Troncoso-Fleitas	Auditoria integral de mantenimiento en instalaciones hospitalarias, um análisis objetivo	Identificação das principais deficiências no gerenciamento de manutenção.	Auditoria de Gestão da Manutenção
Maisarah Ali, Wan Mohamad Nasbi Bin Wan Mohamad	Audit assessment of the facilities maintenance management in a public hospital in Malaysia	Identificação do nível de maturidade da organização de manutenção em um hospital público em relação à eficácia do seu gerenciamento da manutenção.	Auditoria de Gestão da Manutenção
Mayra Viscaíno-Cuzco, Sergio Villacrés-Parra, César Gallegos-Londoño, Hernán Negrete-Costales	Evaluación de la gestión del mantenimiento en hospitales del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social de la Zona 3 del Ecuador	Obtenção de um método quantitativo para gestão da manutenção nos hospitais da Zona 3 do sistema público de saúde do Equador.	Modelo de Decisão Multicritério

Fonte: Autor (2021)

Quadro 3 - Artigos selecionados para o estudo de Aplicação de Técnicas de Manutenção em Equipamentos Hospitalares

AUTORES	ARTIGO	APLICAÇÃO DE TÉCNICA DE MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS MÉDICOS	TEMA
Abdulrahim Shamayleh, Mahmoud Awad, Aidah Omar Abdulla	Criticality-based reliability-centered maintenance for healthcare	Propor uma abordagem de manutenção RCM que transfira o sistema de manutenção conservadora de equipamentos para um focado na criticidade.	Modelo baseado na Análise de Falhas/Risco
A.B. Khalaf, Y. Hamam, Y. Alayli, K. Djouani	The effect of maintenance on the survival of medical equipment	Apresentar um modelo para análise da sobrevivência com base no histórico de manutenção e na idade dos equipamentos médicos.	Modelo baseado na Idade do Equipamento
A.B. Khalaf, K. Djouani, Y. Hamam, Y. Alayli	Maintenance Strategies and Failure-Cost Model for Medical Equipment	Analisa o efeito da manutenção na probabilidade de sobrevivência de equipamentos médicos e propõe um modelo de custo-falha.	Modelo baseado na Idade do Equipamento
Adnan Al-Bashir, Mohammed Al-Rawashdeh, Rami Al-Hadithi, Ahmed AlGhandoor, Mahmoud Barghash	Building Medical Devices Maintenance System through Quality Function Deployment	Criação de um Sistema de Manutenção de Dispositivos Médicos através da implementação da Quality Function Deployment (QFD) em hospitais na Jordânia.	Implantação da Função de Qualidade (QFD)
Afshin Jamshidi, Samira Abbasgholizadeh Rahimi, Daoud Ait-kadi, Angel Ruiz	A comprehensive fuzzy risk-based maintenance framework for prioritization of medical devices	Proposição de uma abordagem de tomada de decisão com vários critérios nebulosos para a priorização de dispositivos médicos.	Modelo baseado na Análise de Falhas/Risco
Antonio Miguel Cruz	Evaluating record history of medical devices using association discovery and clustering techniques	Análise de falhas e principais causas pelas quais as solicitações de serviço para manutenção corretiva são geradas pelos usuários.	Modelo baseado na Análise de Falhas/Risco
Antonio Miguel Cruz, Gregory L. Haugan	Determinants of maintenance performance: A resource-based view and agency theory approach	Investigação de como as capacidades e os recursos das empresas afetam o desempenho da manutenção de dispositivos médicos.	Modelo baseado na Análise de Falhas/Risco
Binseng Wang <i>et al.</i>	Evidence-Based Maintenance Part I: Measuring Maintenance Effectiveness With Failure Codes	Medir e monitorar a eficácia da manutenção através de uma abordagem que utiliza um conjunto de códigos de falha, para os equipamentos médicos em 8 hospitais.	Modelo baseado em Evidências
Binseng Wang <i>et al.</i>	Evidence-Based Maintenance Part II: Comparing Maintenance Strategies Using Failure Codes	Realizar comparações laterais de dados coletados em 8 hospitais que adotaram diferentes estratégias de manutenção para determinar se há diferenças discerníveis em seus resultados de eficácia.	Modelo baseado em Evidências

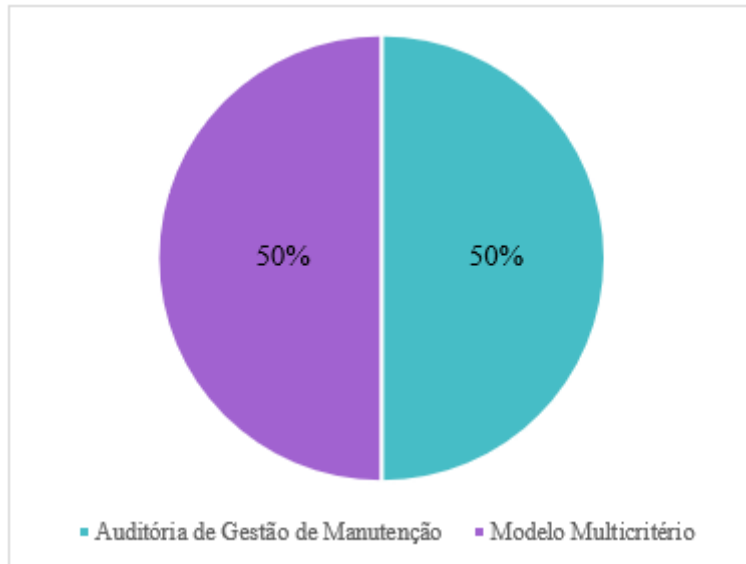
Ernesto Iadanza, Valentina Gonnelli, Frasnecesca Satta, Monica Gherardelli	Evidence-based medical equipment management: a convenient implementation	Implementação de um método com base no histórico de falhas e indicadores de desempenho.	Modelo baseado em Evidências
Fabrizio Clemente, Giuliana Faiella, Gennaro Rutoli, Paolo Bifulco, Maria Romano, Mario Cesarelli	Critical failures in the use of home ventilation medical equipment	Avaliação de risco na ventilação doméstica de suporte à vida usando a metodologia FMECA e uma análise adicional das causas das falhas, com base no modelo de risco da Reason.	Modelo baseado na Análise de Falhas/Risco
Malek Masmoudi, Zeineb Bem Houria, Ahmad Al Hanbali, Faouzi Masmoudi	Decision Support Procedure for Medical Equipment Maintenance Management	Proposição de um procedimento para tomada de decisão sobre a seleção da estratégia e os tipos de contratos de manutenção.	Modelo de Decisão Multicritério
María Carmen Carnero, Andrés Gómez	A multicriteria decision making approach applied to improving maintenance policies in healthcare organizations	Modelo multicritério para selecionar um conjunto de combinações de políticas de manutenção em quatro subsistemas críticos.	Modelo de Decisão Multicritério
Natália Ferreira Oshiyama, Ana Carolina Silveira, Rosana Almada Bassani, José Wilson Magalhães Bassani	Medical equipment classification according to corrective maintenance data: a strategy based on the equipment age	Proporcionar apoio no gerenciamento da manutenção através da classificação de equipamentos médicos com base na idade dos dispositivos.	Modelo baseado na Idade do Equipamento
S. Taghipour, D. Banjevic, A. K. S. Jardine	Prioritization of medical equipment for maintenance decisions	Apresentação de um modelo de tomada de decisão com multicritérios para priorizar os dispositivos médicos de acordo com sua criticidade.	Modelo de Decisão Multicritério
Stephen Vala, Peter Chemweno, Liliane Pintelon, Peter Muchiri	A risk-based maintenance approach for critical care medical devices: a case study application for a large hospital in a developing country	Apresentação de uma metodologia de estratégias para mitigar falhas de operação e manutenção de dispositivos críticos de diagnóstico em um hospital do Quênia.	Modelo baseado na Análise de Falhas/Risco
William P. Rice	Medical Device Risk Based Evaluation and Maintenance Using Fault Tree Analysis	Avaliação da Fault Tree Analysis (FTA) na pré-aquisição de dispositivos para identificar riscos e construir um Programa de Gerenciamento de Equipamentos Médicos eficaz.	Modelo baseado na Análise de Falhas/Risco

Fonte: Autor (2021)

Considerando as pesquisas selecionadas para cada vertente em estudo, diversas aplicações foram analisadas. Sob a ótica de Gerenciamento da Manutenção Hospitalar dois temas recorrentes foram: Auditoria da Gestão da Manutenção e Modelo de Decisão Multicritério. Já na perspectiva da Aplicação de Técnicas de Manutenção em Equipamentos Médicos, modelos baseados em: Decisão Multicritério, Análise de Falhas/Risco, Evidências,

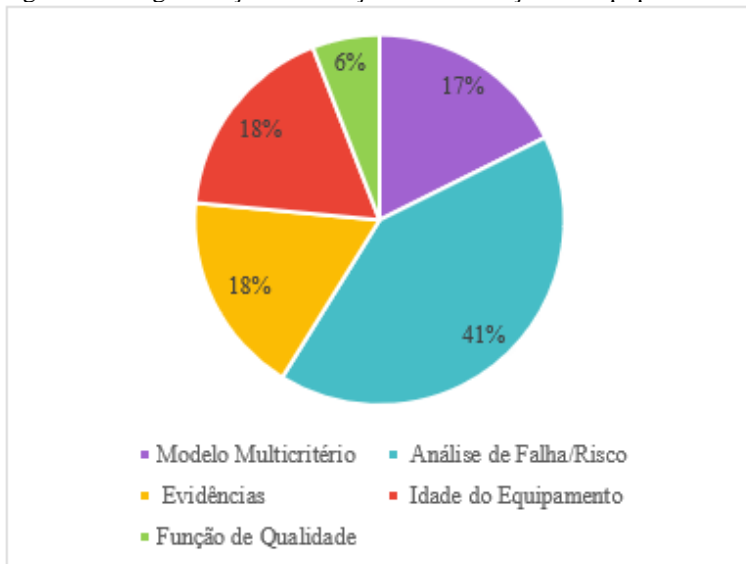
Idade do Equipamento e Implantação da Função de Qualidade, foram temas comuns aos estudos, distribuídos conforme é apresentado nas Figuras 23 e 24.

Figura 23 - Segmentação em relação ao Gerenciamento da Manutenção



Fonte: Autor (2021)

Figura 24 - Segmentação em relação à Manutenção de Equipamentos Médicos



Fonte: Autor (2021)

Conforme as vertentes anteriormente apresentadas e suas respectivas segmentações, sucedeu-se o estudo de cada aplicação em particular, onde os principais métodos foram evidenciados, segundo apresentam os tópicos seguintes.

3.2.2 Análise do conteúdo acerca do gerenciamento da manutenção hospitalar

O gerenciamento da manutenção no cenário hospitalar é comumente avaliado por meio de auditorias que possibilitam mensurar o desempenho organizacional em relação as atividades realizadas e, deste modo, propor estratégias a fim de aperfeiçoar as tarefas de manutenção, bem como a eficiência e eficácia da instituição.

Palmer e Fleitas (2011), a exemplo disto, realizam uma aplicação em quatro hospitais cubanos com o intuito de proporcionar melhoria nos serviços hospitalares através da identificação de deficiências no gerenciamento da manutenção. O trabalho propõe a segmentação das áreas funcionais relativas ao hospital e a realização de auditorias com profissionais de diversos segmentos. Ainda conforme essa metodologia, Ali e Mohamad (2009) empregam entrevistas estruturadas com profissionais de uma organização da Malásia para obtenção de informações sobre o desempenho em relação à eficácia do gerenciamento dos serviços de Manutenção de Engenharia de Instalações.

Nesse contexto, pode-se salientar que as auditorias contribuem especialmente para a tomadas de decisões estratégicas por parte dos gestores, de modo a proporcionar maior segurança na escolha das políticas de manutenção a serem seguidas pela instituição. Todavia, as auditorias resultam de análises qualitativas, levando-se em consideração apenas as opiniões de especialistas, o que determinadas vezes pode gerar inconstâncias. Tendo isso em vista, é recorrente também na literatura a utilização de modelos quantitativos afim de corroborar com o planejamento e gerenciamento da manutenção.

Deste modo, sob a ótica de Modelos de Decisão Multicritério, Cuzco *et al.* (2019) utilizaram-se do *Analytic Hierarchy Process* (AHP) como método quantitativo para o Gerenciamento da Manutenção Hospitalar, a fim de priorizar os critérios de melhoria mais urgentes a serem aprimorados em quatro hospitais localizados na Zona 3 do Equador. Outra abordagem na área consistiu na aplicação do *Measuring Attractiveness by a Category Based Evaluation Technique* (MACBETH), no qual Costa, Carnero e Oliveira (2012) elaboraram o estudo para facilitar os julgamentos e diminuir a subjetividade dos gestores na mensuração da atratividade, do desempenho e no gerenciamento adequado da manutenção preditiva aplicada em um hospital na Espanha.

Estudos baseados em métodos quantitativos permitem priorizar com maior relevância critérios importantes no contexto hospitalar, como a contratação de serviços de manutenção, recursos humanos e gerenciamento de estoque do armazém. Ademais, foi notório que, conforme os resultados dos artigos citados, este tipo de metodologia possibilita melhorar

a qualidade dos serviços prestados, bem como proporcionar maior confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos médicos.

3.2.3 Análise do conteúdo acerca da manutenção de equipamentos médicos

O estudo dos trabalhos permitiu identificar ainda uma gama de aplicações associadas à manutenção dos equipamentos médicos, onde diversos modelos são empregues com objetivos distintos. A exemplo disso, Modelos de Decisão Multicritério, sendo estes métodos matemáticos fundamentados na avaliação de critérios mediante a opinião dos gestores, que auxiliam na tomada de decisão.

Nessa conjuntura, observou-se o estudo de Carnero e Gómez (2016), que integraram Cadeias de Markov para a definição das políticas de manutenção mais adequadas para quatro subsistemas de diálise, sendo esses construídos e avaliados por meio do MACBETH. Já Masmoudi *et al.* (2016), propõe uma abordagem baseada em multicritérios para a tomada de decisões com o propósito de facilitar a definição dos métodos de manutenção bem como julgar a opção de terceirizar os serviços.

Esse tipo de aplicação possui benefícios para a organização, como a determinação da disponibilidade média ao longo da vida útil dos equipamentos, além de possíveis melhorias através das alternativas encontradas. Tais modelos usam critérios como complexidade, função, risco, idade etc., além de vários subcritérios e critérios adicionais como custo do trabalho, o valor de peças sobressalentes, dentre outros para a definição da estratégia de manutenção.

Outro estudo que aborda critérios e subcritérios semelhantes é o apresentado em Taghipour, Banjevic e Jardine (2011), no qual os pesquisadores propõem um método multicritério para auxiliar a tomada de decisão na priorização dos equipamentos hospitalares de acordo a criticidade dos dispositivos através do método AHP. Nesse tipo de trabalho, onde a criticidade é o foco o estudo, é possível identificar os ativos mais críticos a fim de que sejam alocados no programa de gerenciamento de equipamentos da instituição, assim torna-se viável o despendimento de recursos naqueles dispositivos que de acordo com o método, devem ser prioritariamente supervisionados.

Outro modelo visto na literatura é o baseado na Análise de Falhas/Risco. Estudos desse tipo direcionam seus esforços a examinar a probabilidade de falhas dos equipamentos, por meio dos quais análises são realizadas e resultam em proposições de políticas de manutenção conforme o período da vida em que o equipamento se encontra.

Clemente *et al.* (2019) estudaram a aplicação do *Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis* (FMECA) estendido ao modelo de risco Reason, para a análise de falhas e vulnerabilidades inerentes ao processo de ventilação doméstica de suporte à vida, assim, o intuito foi avaliar o uso de dispositivos médicos fora do ambiente clínico. O estudo identificou 86 tipos de falhas e abordou ações corretivas direcionadas a melhoria da qualidade desse tipo de serviço de saúde.

Conforme o estudo, é possível afirmar que a análise de risco além de prover um maior conhecimento de onde as falhas podem se originar, proporciona a definição de medidas adequadas a fim de garantir a segurança do paciente no uso do equipamento. Seguindo essa temática Vala *et al.* (2018) aplicaram o método *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) em dispositivos críticos de diagnóstico instalados em um hospital público do Quênia. Equipamentos de departamentos distintos foram escolhidos para o estudo e realizou-se análises estatísticas das falhas. Onde os resultados apresentados na pesquisa, ajudam profissionais a gerenciar melhor a operação e manutenção dos equipamentos médicos.

Já Cruz (2013), com o intuito de melhorar a eficiência dos serviços de manutenção em um departamento de Engenharia Clínica, aplicou técnicas de mineração de dados para analisar falhas e os motivos pelos quais as solicitações de manutenção corretiva são geradas pelos usuários. Após analisar variáveis dependentes e independentes relacionadas as falhas, o autor identificou que as solicitações de falhas ocorriam 95% das vezes devido ao mau uso do equipamento pelo usuário.

Tendo isso em vista, denota-se a importância da busca das causas-raízes do problema, bem como da padronização do uso e manuseio dos equipamentos médicos. Portanto, é fundamental a existência de um programa de treinamento, o desenvolvimento de protocolos e manuais de operação, além do aumento de manutenções programadas, a fim de reduzir as falhas dos equipamentos.

Sob outra perspectiva, Cruz e Haugan (2019) utilizaram um modelo de risco para avaliar como os recursos e a capacidade de uma empresa afetam a manutenção de seus dispositivos médicos, de modo a mensurar seu desempenho. Utilizando a *Resource-Based View* (RBV) e a *Agency Theory* (AT), foi proposto e testado um modelo de risco que mede o tempo de sobrevivência do equipamento e identifica variáveis que afetam a manutenção.

O estudo do desempenho das empresas baseado na utilização de recursos frente a manutenção, resulta na proposição de estratégias conforme as variáveis analisadas, de modo que o modelo torna-se uma ferramenta de auxílio aos gerentes por exemplo, na escolha de melhores alternativas de empresas terceirizadas.

Um outro aspecto a ser analisado sob a ótica da análise de riscos, é a criticidade dos equipamentos. Jamshidi *et al.* (2015) possuíram o objetivo priorizar dispositivos médicos baseando-se em sua criticidade, bem como selecionar as estratégias de manutenção adequadas. Utilizando o FMEA, o *Risk Priority Number* (RPN), além de planejar a manutenção ideal para cada dispositivo com base nas análises obtidas, os autores aplicam um exemplo numérico, com cinco dispositivos, levando em conta o julgamento de três especialistas.

O uso do FMEA possui ampla extensão em toda a literatura. Sua aplicação permite o estudo das falhas, bem como de suas causas, modos e efeitos. Corroborando com esses aspectos, ainda é utilizando dentro do FMEA o RPN, onde os graus de severidade, risco e ocorrência permitem priorizar as falhas, instrumento de grande valia quando se trata de equipamentos associados a vida humana.

Outra ferramenta utilizada na análise de riscos é a *Fault Tree Analysis* (FTA). A FTA é uma ferramenta básica e eficaz para auxiliar no gerenciamento de dispositivos médicos. Ela possui grande utilidade para se obter conclusões baseadas apenas em conhecimentos qualitativos. Rice (2007) propôs o seu uso como ferramenta para identificar riscos na pré-aquisição de dispositivos e desta forma, construir um Programa de Gerenciamento de Equipamentos Médicos eficaz.

Todavia, seu uso é limitado em decorrência de sua natureza qualitativa, portanto uma boa alternativa seria, aliada à sua aplicação, estimar probabilidades de falha por meio do cálculo do risco. Já Shamayleh *et al.* (2020), apresentaram a abordagem *Reliability Centered Maintenance* (RCM) a fim de alterar um sistema de manutenção conservador para um baseado na confiabilidade, em um hospital localizado nos Emirados Árabes Unidos.

O RCM permite priorizar o equipamento baseando-se na análise de confiabilidade, onde sua aplicação pode proporcionar resultados bastante positivos além de situações menos perigosas no uso dos equipamentos. Além disso, dentre as aplicações mostradas, é conveniente afirmar que todas podem proporcionar o estudo de melhores estratégias de manutenção.

Modelos baseados em evidência, foram também encontrados na literatura. Estes estão associados ao histórico de falhas, como aponta o estudo de Iadanza *et al.* (2019) que aplicaram o método proposto em um hospital universitário da Itália, por meio da análise de falhas e avaliação de indicadores de desempenho das atividades de manutenção. Nesse trabalho, os estudiosos identificaram que um problema recorrente era a falta de precisão na descrição dos trabalhos de manutenção, além daqueles relacionados ao agendamento. Portanto, aqui reitera-se a importância de estratégias de treinamento, bem como a criação de novos protocolos de manutenção a fim de reduzir o número de falhas por erro humano.

Uma pesquisa também correspondente a vertente de evidências, condiz com os estudos de Wang *et al.* (2010a) e Wang *et al.* (2010b), referidos como parte um e parte dois, respectivamente, aplicados em 8 hospitais de Engenharia Clínica. Wang *et al.* (2010a) focou em medir a eficácia por meio do uso de códigos de falhas ao codificar ordens de serviço, onde os resultados apontaram que melhorar o treinamento do usuário pode reduzir a quantidade das falhas e conseqüentemente os riscos aos pacientes. Complementando o trabalho inicial, Wang *et al.* (2010b), trata de usar os códigos de falhas para comparar estratégias de manutenção entre os hospitais, como forma de apontar diferenças discerníveis entre o desempenho das instituições.

Os trabalhos apontados permitiram observar que é sempre viável adotar estratégias que necessitem de menos recursos para o uso dos equipamentos, de modo que seja sempre possível aplicar políticas de manutenção dentro de um cenário com recursos limitados. Isso equivale especialmente para os países de baixa desenvolvimento, onde não há insumos em abundância a serem utilizados, especialmente no contexto hospitalar.

Dentre as aplicações de modelos baseados na idade dos equipamentos, há o estudo de Oshiyama *et al.* (2014). O trabalho consiste no cálculo de parâmetros e segmentação dos equipamentos em classes de acordo com seus indicadores, além disso os autores buscaram analisar a hipótese de que dispositivos mais antigos geralmente falham com maior frequência, entretanto os resultados demonstraram uma contradição em alguns tipos de ativos.

O resultado encontrado neste trabalho, além de refutar as hipóteses inicialmente determinadas, instigaram os pesquisadores a investigarem mais a fundo as falhas em relação ao fabricante e suas possíveis origens. Além disso, demonstra que a idade do equipamento não é o critério primordial para a causa de suas falhas, apesar de ser um fator de grande importância, há outros aspectos também influentes.

Outra perspectiva é apresentada por Khalaf *et al.* (2013), pois o trabalho é baseado em um modelo matemático de sobrevivência dos equipamentos para a análise do efeito de cenários da manutenção corretiva e/ou preventiva dos equipamentos médicos por meio da idade dos ativos, bem como os dados históricos de manutenção. Uma das principais contribuições do estudo designa que seguir apenas o período entre manutenções preventivas que o próprio fabricante indica pode reduzir a confiabilidade dos dispositivos, devendo desse modo, ser investigado a necessidade de tais ações.

Deste modo, conforme abordado em alguns estudos, seguir apenas a recomendação dos fabricantes não é o ideal, posto que há fatores externos e internos que influenciam os equipamentos e que podem não ter sido levados em consideração nas proposições de

manutenção por parte dos fabricantes. Portanto, é essencial que o gerenciamento da manutenção assegure o respectivo acompanhamento do maquinário, especialmente mediante a ocorrência de situações críticas.

Dando continuidade ao modelo de probabilidade de sobrevivência dos equipamentos aplicado no estudo anterior, Khalaf *et al.* (2015) introduz em sua nova pesquisa um modelo custo-falha, com o intuito de analisar o custo anual com manutenções. Dessa forma, é possível concluir que, estudos que englobam recursos financeiros de uma organização podem auxiliar nas decisões estratégicas relacionadas a manutenção hospitalar.

O último modelo encontrado nos trabalhos está presente no estudo de Al-Bashir *et al.* (2012) que demonstra a criação de um Sistema de Manutenção de Dispositivos Médicos por meio da *Quality Function Deployment* (QFD) em um hospital da Jordânia. A metodologia proposta na pesquisa, utiliza a *House of Quality* (HOQ) como ferramenta da QFD para propor melhorias ao hospital em estudo, baseado nos operadores internos e em *benchmarking*.

Por meio deste estudo, percebeu-se que em certos aspectos de desempenho, o *benchmarking* permite identificar critérios que auxiliam na comparação entre determinado hospital em estudo e aquele utilizado como referência. Além disso, a construção da HOQ auxilia na definição de objetivos a serem priorizados a fim de atingir as melhorias necessárias.

4 METODOLOGIA

O presente capítulo apresenta a metodologia utilizada para a realização deste trabalho com o propósito de alcançar os objetivos pré-estabelecidos. Deste modo, o capítulo está dividido em duas partes: (i) caracterização da pesquisa, onde sua classificação é definida sob a visão de diversos autores e (ii) procedimentos metodológicos adotados, que diz respeito à descrição das etapas executadas durante o estudo.

4.1 Caracterização da pesquisa

Rudio (2007) afirma que a pesquisa científica pode ser definida como um conjunto de atividades realizadas de forma sistemática direcionadas à busca do conhecimento empírico, e que utiliza métodos e técnicas específicas adequadas à realidade em estudo, podendo ser classificada frente a quatro aspectos, conforme apontado por Ganga (2012): objetivos, natureza, abordagem e procedimentos técnicos. A classificação da presente pesquisa é apresentada na Figura 25.

Figura 25 - Classificação da pesquisa



Fonte: Adaptado de Ganga (2012)

Em relação aos objetivos a pesquisa é caracterizada como exploratória e descritiva. Exploratória pois, conforme exposto por Prodanov e Freitas (2013), possui o propósito de prover um maior conhecimento sobre o tema em estudo e permite visualizar os fenômenos sob diversos ângulos, de forma que o pesquisador obtenha maiores informações sobre o assunto investigado.

Já sua classificação descritiva provém do fato de que esse tipo de pesquisa busca descrever as características de determinada população ou fenômeno, ou ainda o estabelecimento de relação entre variáveis (GANGA, 2012). Triviños (1987) afirma que os estudos descritivos exigem do pesquisador uma intensa coleta de dados sobre o tema em questão, podendo serem ainda denominados como estudos de casos. Outrossim, a realização do registro de dados, entrevista e aplicação de questionários são aspectos característicos de tal modelo de pesquisa (CERVO; BERVIAN; SILVA, 2007).

A natureza do presente trabalho é definida como aplicada, pois, segundo Gerhardt e Silveira (2009), possui a finalidade de gerar conhecimentos baseando-se em aplicações direcionadas a soluções de problemas reais e específicos, ao passo que abrange verdades e interesses locais. Silva (2015) corroborando com a ideia declara que, fazendo jus ao nome, a pesquisa aplicada possui interesse prático, sendo seus resultados direcionados à solução de problemas que ocorrem na realidade.

Quanto à abordagem, o estudo pode ser delineado em ambas as formas possíveis (qualitativa e quantitativa). Qualitativa, pois utilizou-se de entrevistas e documentos pertencentes ao hospital para a coleta de dados genéricos necessários ao trabalho; quantitativa, visto que, através do software utilizado pela organização, dados numéricos referentes à manutenção foram obtidos, permitindo a realização de interpretações gráficas, bem como de análises por meio de fórmulas matemáticas.

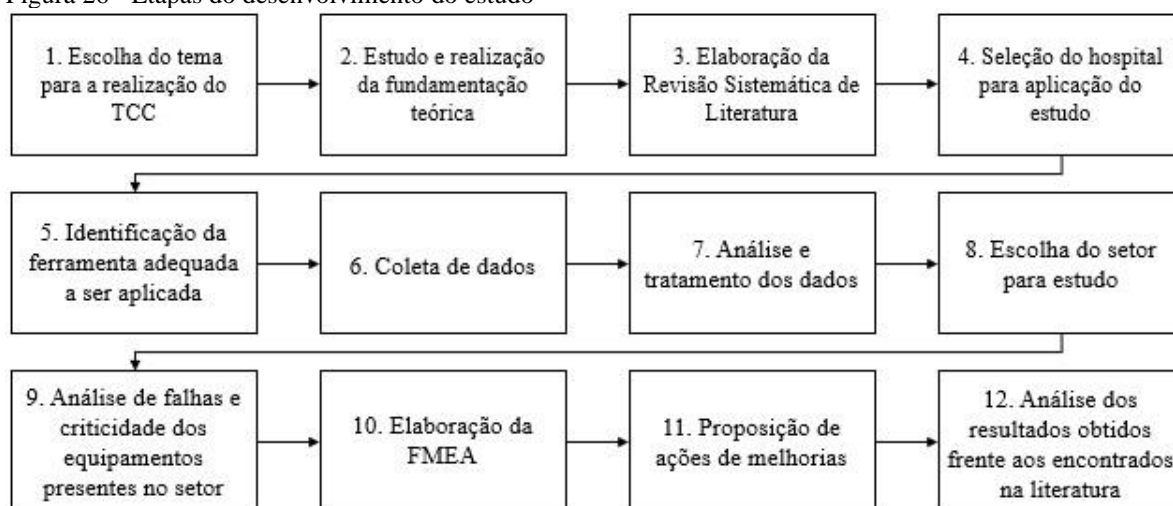
O presente trabalho pode ser ainda categorizado quanto aos seus procedimentos técnicos, de duas formas: pesquisa bibliográfica e estudo de caso. Lakatos e Marconi (2003) apontam que a pesquisa bibliográfica compreende toda a bibliografia pública, como publicações avulsas, revistas, livros, monografias, teses etc., possuindo como principal propósito proporcionar ao pesquisador contato direto com o que já foi escrito e dito sobre o tema em estudo. Ganga (2012) afirma que o principal resultado desse tipo de procedimento é a revisão de literatura, que permite acompanhar o desenvolvimento das pesquisas na área de conhecimento estudada, como foi feito neste estudo, utilizando as bases de dados anteriormente apontadas.

Já o estudo de caso é descrito por Yin (2001) como uma investigação empírica que aborda fenômenos contemporâneos dentro do contexto de vida real, onde os limites entre fenômeno e contexto não são claramente definidos. Esse procedimento consiste ainda em coletar e analisar dados sobre determinado indivíduo, grupo ou organização, de modo a estudar aspectos a eles associados que possuam relação com o assunto da pesquisa (PRODANOV; FREITAS, 2013). Em vista disso, pode-se reiterar que a coleta e análise dos dados do setor de manutenção do hospital escolhido permitiu a concepção do presente estudo de caso.

4.2 Procedimentos metodológicos

As etapas que constituíram os procedimentos adotados durante a elaboração e desenvolvimento do trabalho, podem ser vistas na Figura 26.

Figura 26 - Etapas do desenvolvimento do estudo



Fonte: Autor (2021)

O primeiro passo adotado foi a escolha do tema para o qual seria realizado o estudo, conforme elucidado na justificativa. Após a decisão do tema abrangente, foi necessária a elaboração da base conceitual (passo 2) para o entendimento deste, onde foram pesquisados os assuntos de interesse em livros, artigos científicos, monografias, teses, dissertações etc.

Em seguida, uma Revisão Sistemática de Literatura (passo 3) foi realizada a fim de verificar as faces do problema, estudar as problemáticas tratadas dentro do contexto escolhido, entender como está sendo tratado atualmente o tema, conhecer as principais políticas, estratégias e métodos abordados pelos pesquisadores para a gestão da manutenção hospitalar, além de selecionar a melhor metodologia a ser aplicada no objeto de estudo; a partir desse

momento tornou-se notória a lacuna existente na literatura de estudos referentes à manutenção dentro desse cenário, o que fortaleceu ainda mais a necessidade de realização do presente trabalho.

Após averiguar e compreender as aplicações e estudos realizados referentes ao assunto em questão, foi necessária a busca por um hospital apto a fornecer informações e colaborar com o trabalho (passo 4). Após o contato inicial e através de reuniões destinadas a conhecer melhor a instituição, partiu-se para o passo 5, onde foi possível identificar a ferramenta adequada a ser aplicada mediante a realidade da organização em estudo, de modo a identificar as não conformidades existentes, sendo estas os efeitos e causas das falhas, para através das estratégias propostas reduzi-las ou eliminá-las.

Em seguida, no passo 6, foi executada a coleta de dados, que se deu através da aplicação de questionários (Apêndices A e B) ao responsável pelo setor de engenharia clínica e ao técnico de manutenção da empresa terceirizada, em dezembro de 2020. Os dados, referentes a um período de dois anos (2019 e 2020), foram, em sua maioria, retirados do sistema informatizado utilizado pelo hospital, sendo todos inseridos e organizados em uma planilha do Microsoft Excel. Aliado a isso também se coletou os documentos utilizados pela Engenharia Clínica da instituição, que permitiram compreender um pouco melhor sobre as estratégias e práticas de manutenção adotadas.

A análise e tratamento dos dados (passo 7) foi realizada logo após a etapa de coleta, de modo que foi possível obter informações mediante às interpretações realizadas. O passo inicial foi separar os dados conforme a aplicação pretendida, o que possibilitou a criação dos gráficos e a obtenção de informações necessárias à abordagem do estudo. Além disso, as análises realizadas permitiram efetuar o diagnóstico situacional da instituição, conforme apresentado no capítulo adiante.

Posteriormente, utilizando-se das informações alcançadas, ocorreu a escolha do setor para estudo (passo 8), tendo como critério aquele que apresentou o maior índice de falha em termos percentuais. Em seguida, no passo 9, foi feita a análise da taxa de crescimento de falhas das famílias presentes do setor, bem como a análise do histórico de falhas e de criticidade dos equipamentos pertencentes às famílias com maior índice de falhas, a fim de escolher aquela ideal para a continuidade do estudo.

A etapa seguinte foi a elaboração da planilha FMEA (passo 10), que possibilitou um maior conhecimento sobre os equipamentos abordados, resultando na proposição de ações (passo 11) para auxiliarem na gestão da manutenção, garantindo maior confiabilidade aos dispositivos. A última etapa (passo 12) correspondeu à comparação dos resultados obtidos neste

trabalho em relação àqueles presentes nos trabalhos estudados por meio da RSL. O trabalho possui ainda seu desfecho com as considerações finais e sugestões de pesquisas futuras complementares a esta.

5 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Neste capítulo será apresentado o desenvolvimento do trabalho, etapa que permitiu a obtenção dos resultados pretendidos com a pesquisa. Inicialmente será realizado o diagnóstico situacional do hospital em estudo, a fim de compreender sobre a realidade investigada. Posteriormente é exposta a aplicação realizada, tópico onde consta abordagens como análise de falhas por setor, família e equipamento, cálculo do índice de Equipamento Médico, bem como a elaboração da planilha FMEA.

5.1 Caracterização do objeto de estudo

O hospital no qual realizou-se o estudo está localizado na capital do estado do Ceará, Fortaleza. Segundo o site da Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares – EBSEH (2020), vinculado ao Ministério da Educação (MEC), o hospital está diretamente integrado ao Sistema Único de Saúde (SUS) e realiza procedimentos que vão desde aqueles com alta complexidade, como transplantes renais e hepáticos, até pesquisas clínicas vinculadas a programas de pós-graduação, sejam eles regionais ou nacionais. Além disso, a unidade participa de estudos multicêntricos em protocolos de pesquisas clínica avançada (EBSEH, 2020).

O complexo se caracteriza ainda por ser referência para o desenvolvimento de pesquisas na área da saúde. Este atua como centro de estágio para graduandos e pós-graduandos dos cursos de Medicina, Enfermagem e Farmácia, além de possuir em seu corpo de colaboradores, profissionais qualificados nas áreas de pesquisa clínica, cirúrgica e farmacologia clínica.

Ainda conforme o EBSEH (2020) a unidade hospitalar conta com o serviço de Engenharia Clínica que possui responsabilidades técnicas e administrativas referentes à gestão dos equipamentos médicos. Outrossim, por ser um hospital público, a EC desempenha paralelamente atividades de administração pública. Dentre as principais obrigações do serviço de EC, pode-se citar: gestão da manutenção, aquisição de equipamentos, capacitação para o uso dos equipamentos, elaboração da ficha técnica desses, apoio técnico em processos licitatórios, acompanhamento técnico para o recebimento dos bens adquiridos, dentre outras tarefas.

Outro aspecto importante a se ressaltar é que o complexo hospitalar utiliza um sistema de gestão tecnológica para estabelecimentos assistenciais de saúde, o software EFFORT, para o controle e gestão da manutenção dos equipamentos dos diversos setores. O EFFORT realiza a programação da manutenção e estabelece cronogramas a serem seguidos

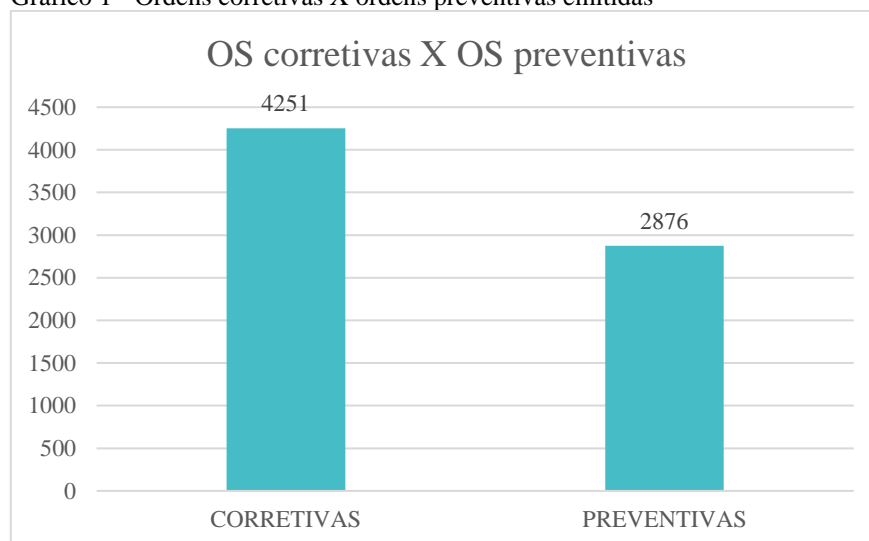
pela equipe de EC ou por empresas externas, conforme necessário, a fim de assegurar o controle sobre todo o maquinário presente no hospital e desta forma garantir segurança de seus usuários.

5.2 Diagnóstico situacional

O hospital em estudo conta atualmente com um parque de 3005 equipamentos ativos disponíveis e possui um serviço próprio de Engenharia Clínica, logo, a manutenção do maquinário é realizada e controlada pela equipe com o auxílio do sistema de gestão tecnológica EFORT, utilizado pela instituição. O uso desse sistema garante que os dados sejam prontamente coletados e armazenados no banco de dados, o que proporciona a criação de um histórico essencialmente fundamental para a realização de um diagnóstico situacional.

Por meio do histórico disponível, alguns dados coletados permitiram a elaboração de análises e a consequente extração de informações importantes, como por exemplo a quantidade de Ordens de Serviço (OS) corretivas emitidas frente à quantidade de OS preventivas. Foi percebido que o índice de ordens corretivas ultrapassa em 32% as preventivas, isso demonstra que uma parte significativa dos equipamentos passam por manutenção somente após o surgimento da falha, o que no contexto hospitalar não deveria ocorrer, visto que a segurança é fator primordial na prestação desse tipo de serviço. O Gráfico 1 compara a quantidade de ordens corretivas e preventivas geradas.

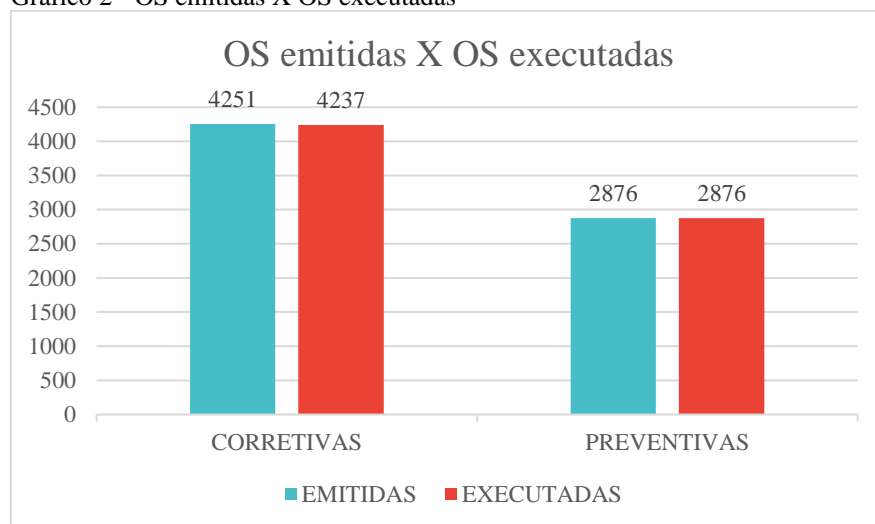
Gráfico 1 - Ordens corretivas X ordens preventivas emitidas



Fonte: Autor (2021)

Além disso, foi possível comparar a quantidade de OS emitidas com a quantidade de ordens de fato executadas. Conforme apresenta o Gráfico 2, quase 100% das OS corretivas geradas foram realizadas, enquanto as preventivas foram em sua totalidade executadas. Isso demonstra a proatividade do serviço prestado pela equipe de EC, que garante que as OS emitidas sejam praticamente todas atendidas.

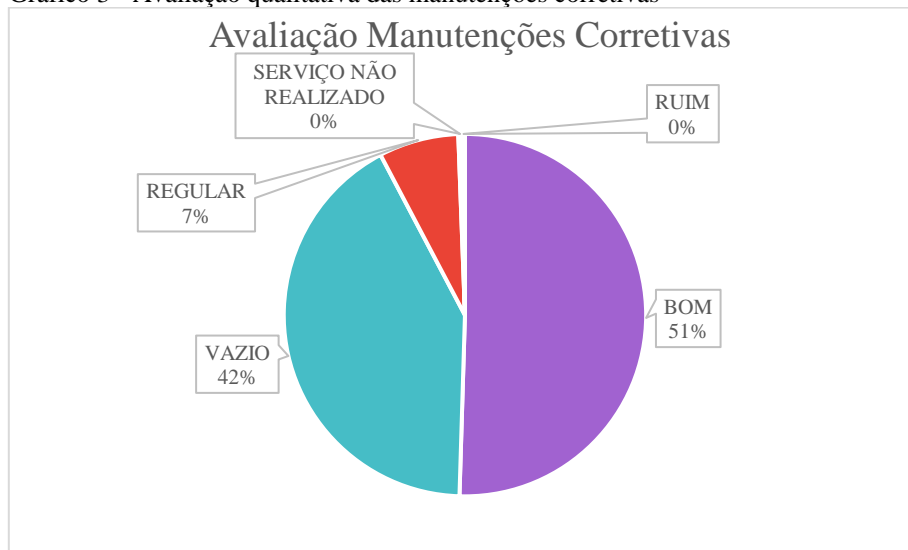
Gráfico 2 - OS emitidas X OS executadas



Fonte: Autor (2021)

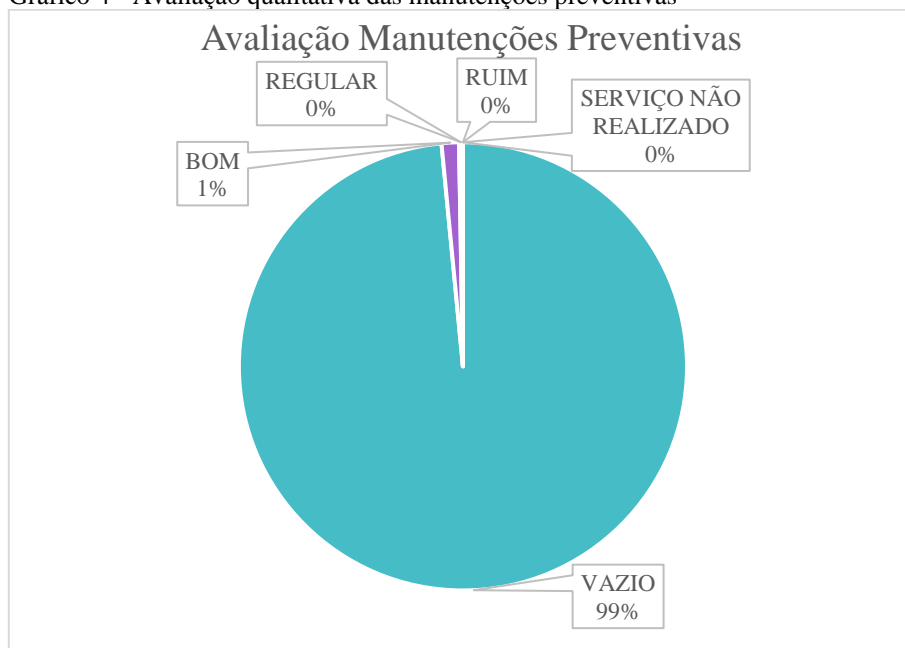
A fim de fundamentar a avaliação do serviço prestado pela equipe de EC qualitativamente, foram coletados também os dados referentes à avaliação realizada por cada técnico e funcionário do hospital que emitiu as OS no sistema e as encerrou mediante a realização do serviço de manutenção pela EC. Para as manutenções corretivas, 51% das avaliações indicaram o serviço prestado como bom (Gráfico 3); já no histórico de manutenções preventivas, as avaliações em sua maior parte (99%) não foram realizadas, sendo, portanto, deixadas em vazio (Gráfico 4).

Gráfico 3 - Avaliação qualitativa das manutenções corretivas



Fonte: Autor (2021)

Gráfico 4 - Avaliação qualitativa das manutenções preventivas



Fonte: Autor (2021)

Mesmo com avaliações não realizadas, pode-se interpretar que a equipe de manutenção do referido hospital presta um serviço de confiabilidade, pois além da maioria das OS emitidas terem sido executadas, o que é de grande importância em um contexto como este, tendo em vista que os equipamentos devem possuir suas falhas prontamente corrigidas, uma grande parte dos funcionários que emitiram OS corretivas estabeleceram o serviço como bom.

Outra informação muito importante obtida com as análises e tratamento dos dados foi o tempo médio para o atendimento das OS após sua data e horário de abertura. Como visto

no Quadro 4, as OS corretivas levam em média 21 dias para serem atendidas, enquanto as preventivas possuem uma programação de 27 dias como tempo médio para sua execução. Esse fato demonstra a demora que há na execução da OS, dado preocupante especialmente se o equipamento para o qual foi solicitado a manutenção for de suporte à vida.

Quadro 4 - Tempo médio para o atendimento das OS

TEMPO MÉDIO PARA ATENDIMENTO DAS OS (DIAS)	
CORRETIVAS	PREVENTIVAS
21,59	27,34

Fonte: Autor (2021)

Um aspecto ainda importante a ser ressaltado é o fato de o hospital em estudo estar dentro da baixa parcela de instituições que possuem seus dados de manutenção historicamente armazenados, o que não só fundamenta todas as atividades de manutenção realizadas pela EC como viabiliza a realização de pesquisas como esta.

5.3 Delimitação do objeto de estudo

5.3.1 *Análise de falhas por setor*

Para realizar a aplicação da FMEA, foi necessário inicialmente a escolha do equipamento objeto de estudo, pois inicialmente seria inviável aplicar aos 3005 dispositivos e, além disso, é imprescindível que os mais críticos possuam prioridade. Tendo isso em vista, o primeiro passo foi a análise do histórico de falhas por setor a fim de escolher aquele que apresentasse o maior índice de falha.

Com os dados do sistema de gestão do hospital, foi possível a elaboração do Quadro 5, que apresenta os setores de Central de Material Esterilizado (11,76%), Hemodiálise (9,06%) e Clínica Médica IIB (8%) como aqueles com maior porcentagem de falhas.

Quadro 5 - Porcentagem de falhas por setor

SETOR	CONTAGEM FALHAS
AGÊNCIA TRANSFUSIONAL	0,09%
AMBULATÓRIO DE CARDIOLOGIA	3,15%
AMBULATÓRIO DE CIRURGIA DIGESTIVA	0,02%
AMBULATÓRIO DE CIRURGIA GERAL	0,66%
AMBULATÓRIO DE DERMATOLOGIA	0,42%
AMBULATÓRIO DE ENDOCRINOLOGIA	0,24%
AMBULATÓRIO DE FONOAUDIOLOGIA	0,16%
AMBULATÓRIO DE GERIATRIA	0,54%
AMBULATÓRIO DE HEMATOLOGIA	0,09%
AMBULATÓRIO DE INFECTOLOGIA	0,16%
AMBULATÓRIO DE NEUROLOGIA	0,14%
AMBULATÓRIO DE OFTALMOLOGIA	2,23%
AMBULATÓRIO DE OTORRINOLARINGOLOGIA	0,33%
AMBULATÓRIO DE PEDIATRIA	0,26%
AMBULATÓRIO DE PNEUMOLOGIA	0,89%
AMBULATÓRIO DE PROCTOLOGIA / COLOPROCTOLOGIA	0,02%
AMBULATÓRIO DE PSIQUIATRIA / PSICOSSOMÁTICA	0,07%
AMBULATÓRIO DE PULSOTERAPIA	0,12%
AMBULATÓRIO DE QUIMIOTERAPIA	0,68%
AMBULATÓRIO DE TRANSPLANTE HEPÁTICO	0,31%
AMBULATÓRIO DE TRANSPLANTE RENAL	0,12%
AMBULATÓRIO DE TRAUMATO-ORTOPEDIA	0,35%
AMBULATÓRIO DE UROLOGIA	0,07%
AMBULATÓRIO DOS SERVIDORES	0,05%
CENTRAL DE MATERIAL ESTERILIZADO	11,76%
CENTRO CIRÚRGICO	2,54%
CENTRO DE PESQUISAS	0,24%
CLÍNICA CIRÚRGICA I	4,45%
CLÍNICA CIRÚRGICA II	4,28%
CLÍNICA CIRÚRGICA III - TRANSPLANTE RENAL E HEPÁTICO	3,46%
CLÍNICA MÉDICA I / HEMATOLOGIA	6,23%
CLÍNICA MÉDICA IIA	7,13%
CLÍNICA MÉDICA IIB	8,00%
CLÍNICA MÉDICA IV – PEDIATRIA	0,56%
COMISSÃO DE VERIFICAÇÃO DE ÓBITO (CIHDOT)	0,02%
CONSULTÓRIO ITINERANTE DE ODONTOLOGIA	0,42%
CONSULTÓRIO ITINERANTE DE OFTALMOLOGIA	0,31%
DIVISÃO DE ENFERMAGEM	0,02%
DIVISÃO DE GESTÃO DE CUIDADOS	0,05%
ENDOSCOPIA	2,78%
ENGENHARIA CLÍNICA	1,62%
FARMÁCIA AMBULATORIAL (ILHAS)	0,40%
FARMÁCIA CENTRAL	1,46%

FISIOTERAPIA	0,21%
HEMOCE	0,56%
HEMODIALISE	9,06%
HEMODINÂMICA	1,08%
HOSPITAL DIA	1,18%
LABORATÓRIO CENTRAL	1,48%
LABORATÓRIO DE PATOLOGIA	1,06%
LINHA DE CUIDADOS	0,24%
NEUROFISIOLOGIA	0,61%
NÚCLEO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE MEDICAMENTOS	0,24%
NUTRIÇÃO	0,14%
RADIOLOGIA	5,81%
SALA DE RECUPERAÇÃO	2,33%
TRANSPLANTE DE MEDULA ÓSSEA (TMO)	2,00%
UNIDADE DE PRODUTOS PARA A SAÚDE	0,07%
UNIDADE DE REABILITAÇÃO	0,02%
UTI ADULTO	5,13%
UTI COVID 1	0,66%
UTI COVID 2	1,20%
TOTAL GERAL	100,00%

Fonte: Autor (2021)

Como a Central de Material Esterilizado (CME) apresentou a maior porcentagem de falhas, ela foi escolhida para o estudo. Portanto, o próximo passo foi conhecer as famílias de equipamentos presentes neste setor (Quadro 6), a fim de escolher aquelas viáveis para a continuidade da aplicação.

Quadro 6 - Famílias presentes no setor de CME

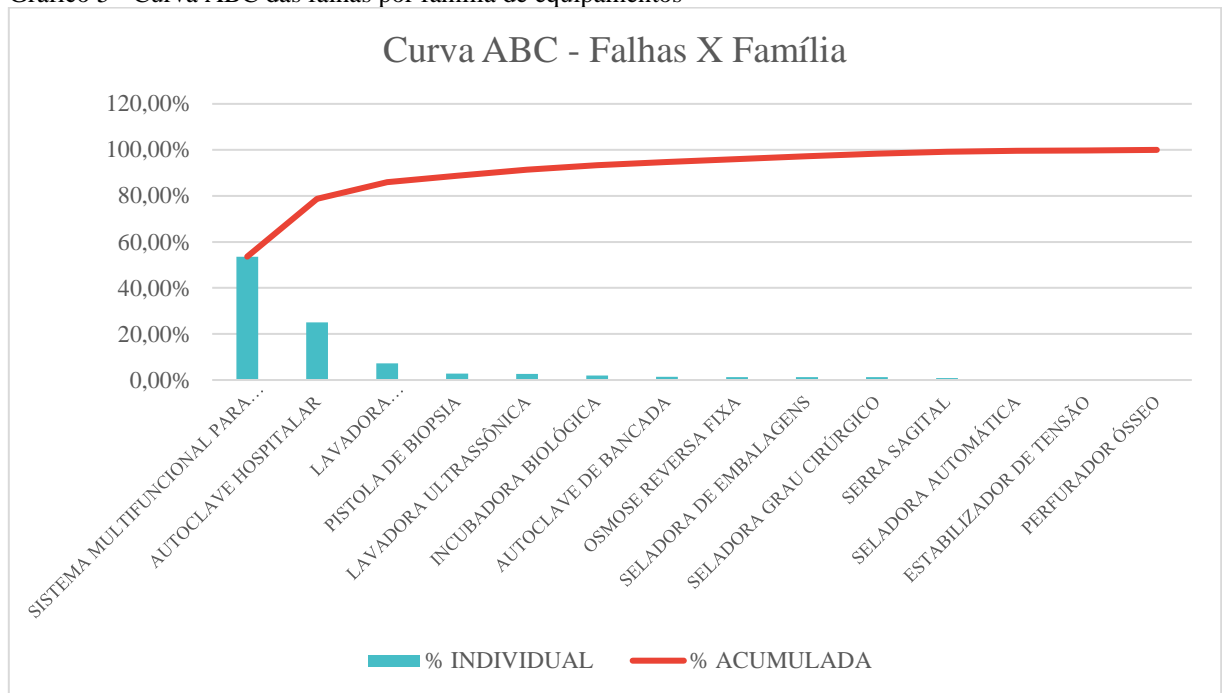
CENTRAL DE MATERIAL ESTERELIZADO		
FAMÍLIA	QUANTIDADE DE EQUIPAMENTOS	QUANTIDADE DE FALHAS
AUTOCLAVE DE BANCADA	3	7
AUTOCLAVE HOSPITALAR	5	125
ESTABILIZADOR DE TENSÃO	3	1
INCUBADORA BIOLÓGICA	7	10
LAVADORA TERMODESINFECTADORA	1	36
LAVADORA ULTRASSÔNICA	1	13
OSMOSE REVERSA FIXA	1	6
PERFURADOR ÓSSEO	2	1
PISTOLA DE BIOPSIA	47	14
SELADORA AUTOMÁTICA	1	2
SELADORA DE EMBALAGENS	1	6
SELADORA GRAU CIRÚRGICO	2	6
SERRA SAGITAL	3	4
SISTEMA MULTIFUNCIONAL PARA A LIMPEZA DE CANULADOS	1	267
TOTAL	78	498

Fonte: Autor (2021)

Vale ressaltar que a nomenclatura “família” e “equipamento” apresentadas no Quadro 6 e utilizadas ao longo do todo o trabalho, foram adotadas a fim de facilitar a compreensão dos níveis em que foram realizadas as análises, por mais que algumas “famílias” contenham apenas um equipamento e não sejam de fato um conjunto destes.

Sendo conhecidas as famílias pertencentes ao setor, bem com a quantidade de falhas que ocorreu em cada família nos últimos dois anos, elaborou-se uma Curva ABC (Gráfico 5) com o objetivo delimitar visualmente as três famílias com maior índice de falha.

Gráfico 5 - Curva ABC das falhas por família de equipamentos



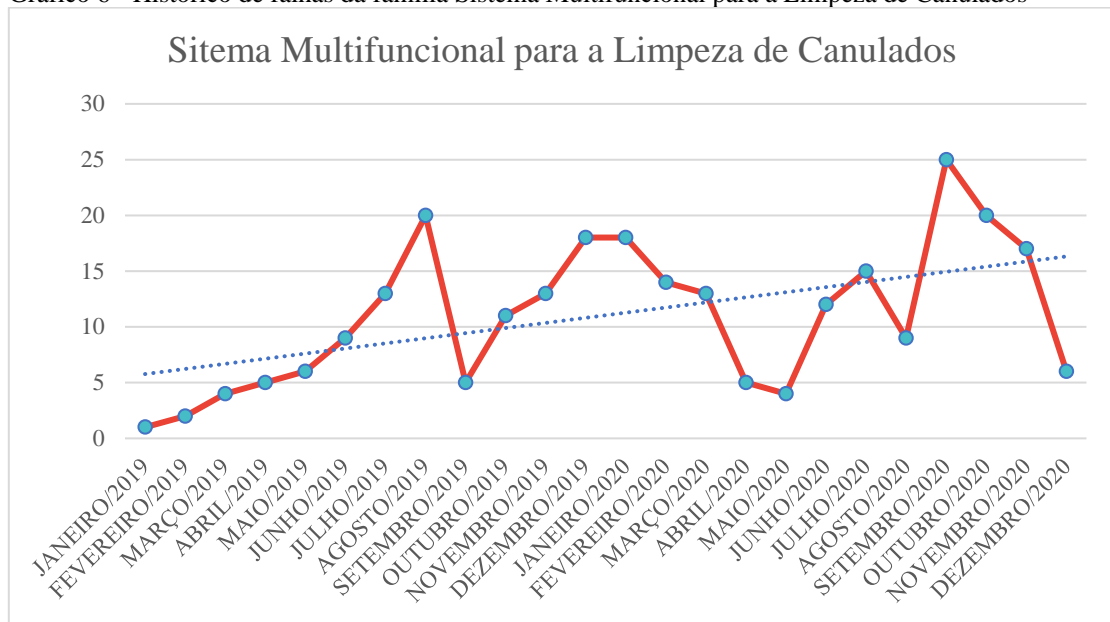
Fonte: Autor (2021)

Conforme mostra ao Gráfico 5, as famílias com maior percentual de falha, foram: Sistema Multifuncional para a Limpeza de Canulados (1), Autoclave Hospitalar (2) e Lavadora Termodesinfetadora (3). Aliado a isso, pôde-se observar que mesmo as famílias (1) e (3) possuindo apenas um equipamento e a família (2), cinco, eles necessitam de melhores estratégias de manutenção, pois mesmo representando uma pequena parcela na quantidade total do maquinário do setor, apresentam uma grande porcentagem de falhas.

5.3.2 Análise de falhas por famílias

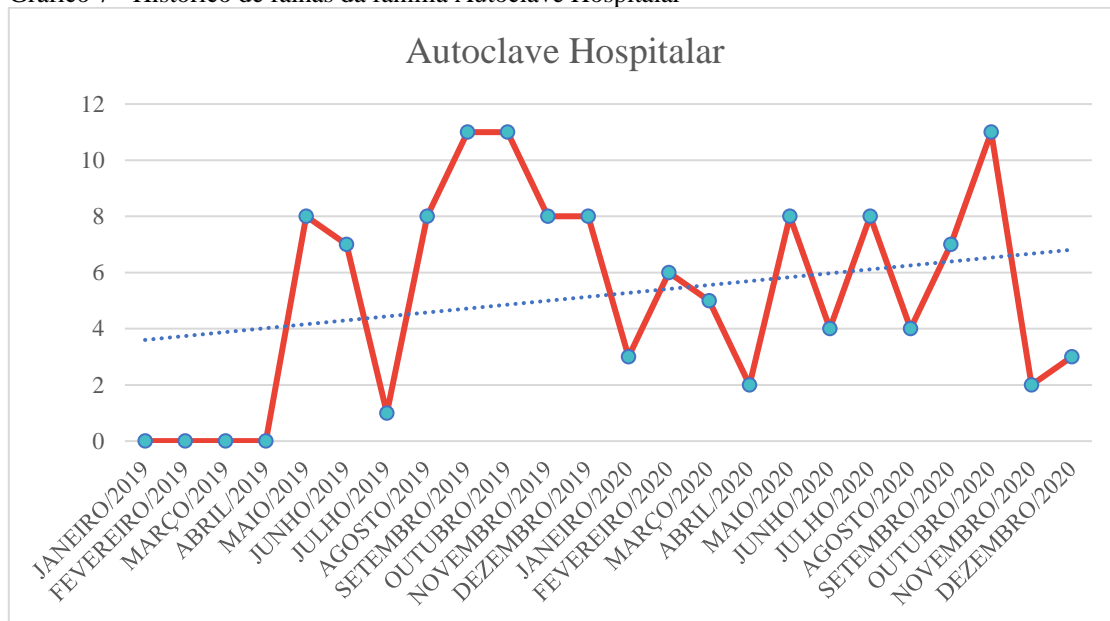
Como o propósito de estudar e compreender melhor as falhas de cada uma das três famílias selecionadas, analisou-se o histórico de cada uma delas, referente aos anos de 2019 e 2020. Como forma de avaliar sua tendência, seja ela de crescimento ou decréscimo, foram elaborados os Gráficos 6, 7 e 8 para as famílias Sistema Multifuncional para a Limpeza de Canulados, Autoclave Hospitalar e Lavadora Termodesinfetadora, respectivamente.

Gráfico 6 - Histórico de falhas da família Sistema Multifuncional para a Limpeza de Canulados



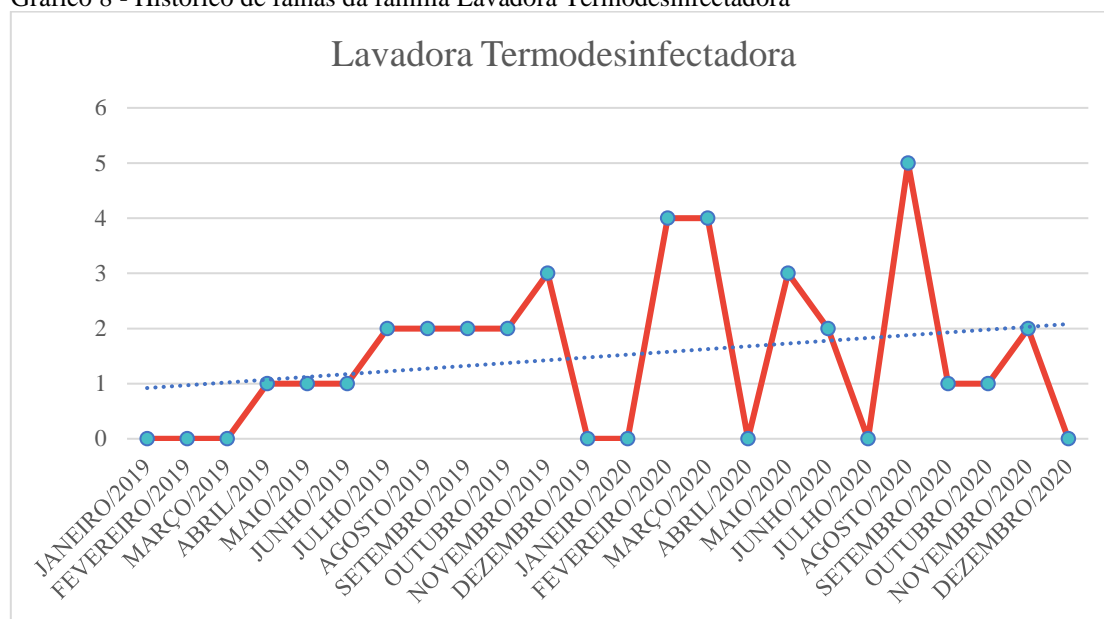
Fonte: Autor (2021)

Gráfico 7 - Histórico de falhas da família Autoclave Hospitalar



Fonte: Autor (2021)

Gráfico 8 - Histórico de falhas da família Lavadora Termodesinfetadora



Fonte: Autor (2021)

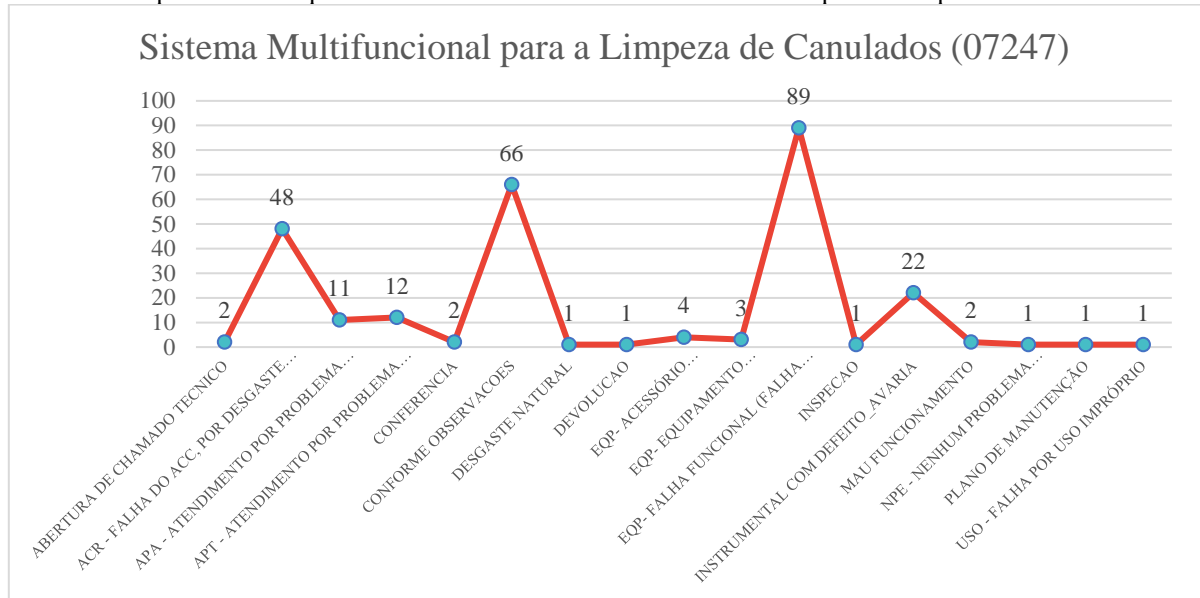
Os gráficos elaborados permitem visualizar que a família que possui falhas com maior probabilidade de crescimento é a Sistema Multifuncional para a Limpeza de Canulados (1), pois sua linha de tendência apresentou uma elevação acentuada. A família de Autoclave Hospitalar (2), apresentou também tendência de crescimento, porém é perceptível que a inclinação em seu gráfico é menor que a apresentada pela família (1). Em seguida, a família Lavadora Termodesinfetadora (3) foi a que apresentou a menor probabilidade de crescimento, pois em seu gráfico é possível notar que a linha de tendência possui baixa inclinação.

5.3.3 Análise de falhas por equipamento

Aliado à análise anteriormente apresentada, também foi coletado e verificado os tipos de falhas que ocorrem em cada família, portanto como forma de obter um diagnóstico mais detalhado, elaborou-se um gráfico para cada equipamento pertencente às três famílias estudadas.

Avaliando inicialmente a família (1), podemos observar no Gráfico 9 que os tipos de falhas mais recorrentes são as falhas imprevisíveis, seguido por falhas apontadas conforme observações, falhas por desgaste natural e falhas em decorrência do instrumental com defeitos.

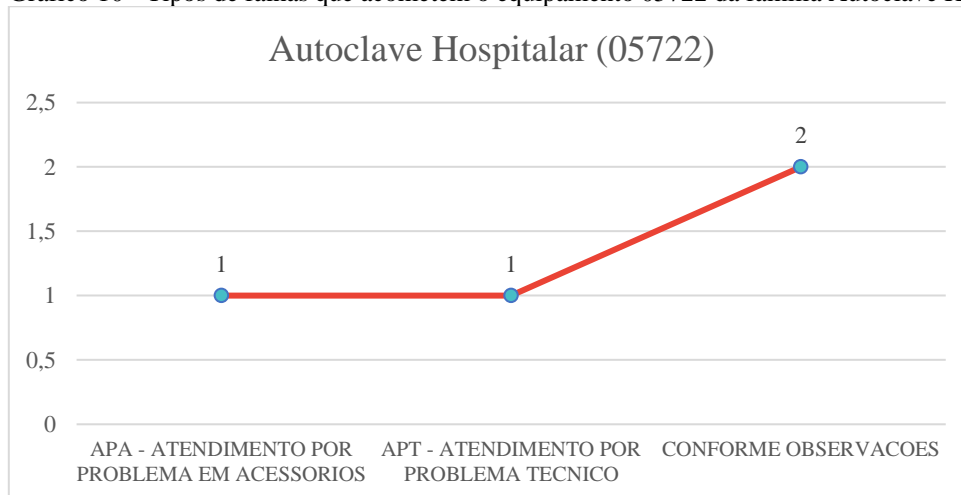
Gráfico 9 - Tipos de falhas que acometem a família Sistema Multifuncional para a Limpeza de Canulados



Fonte: Autor (2021)

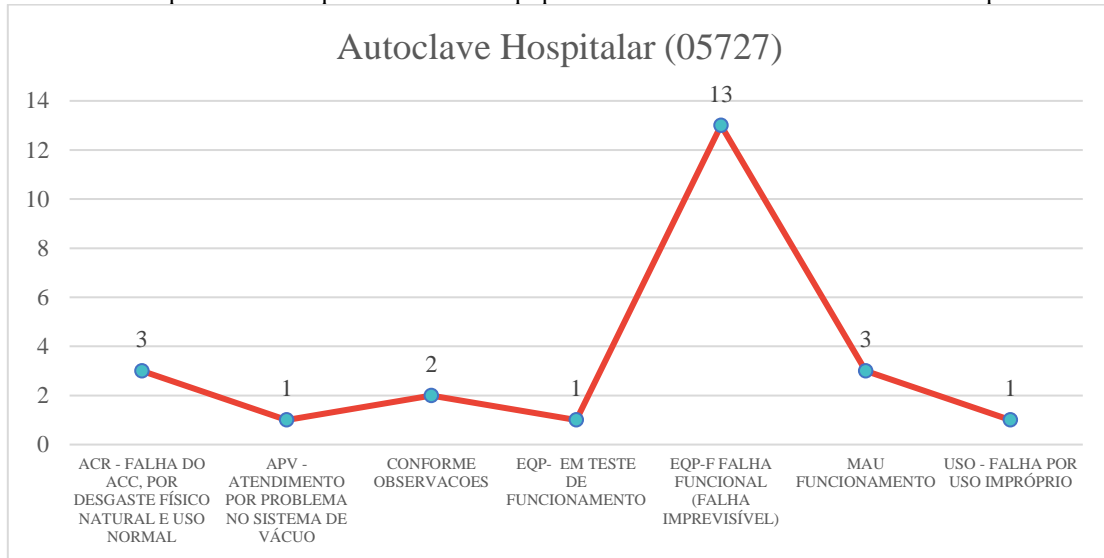
Como a família (2) possui cinco equipamentos, pode-se visualizar nos Gráfico 10, 11, 12, 13 e 14 que, assim como no equipamento visto anteriormente, os tipos de falha mais comum são aquelas apontadas por meio de observações (equipamentos 05722, 05728, 08190, 08821) ou falhas imprevisíveis (equipamentos 05727, 05728, 08190 e 08821), além de falhas por desgaste físico (equipamentos 05727, 08190, 08821) e falhas por mau funcionamento (equipamentos 05727).

Gráfico 10 - Tipos de falhas que acometem o equipamento 05722 da família Autoclave Hospitalar



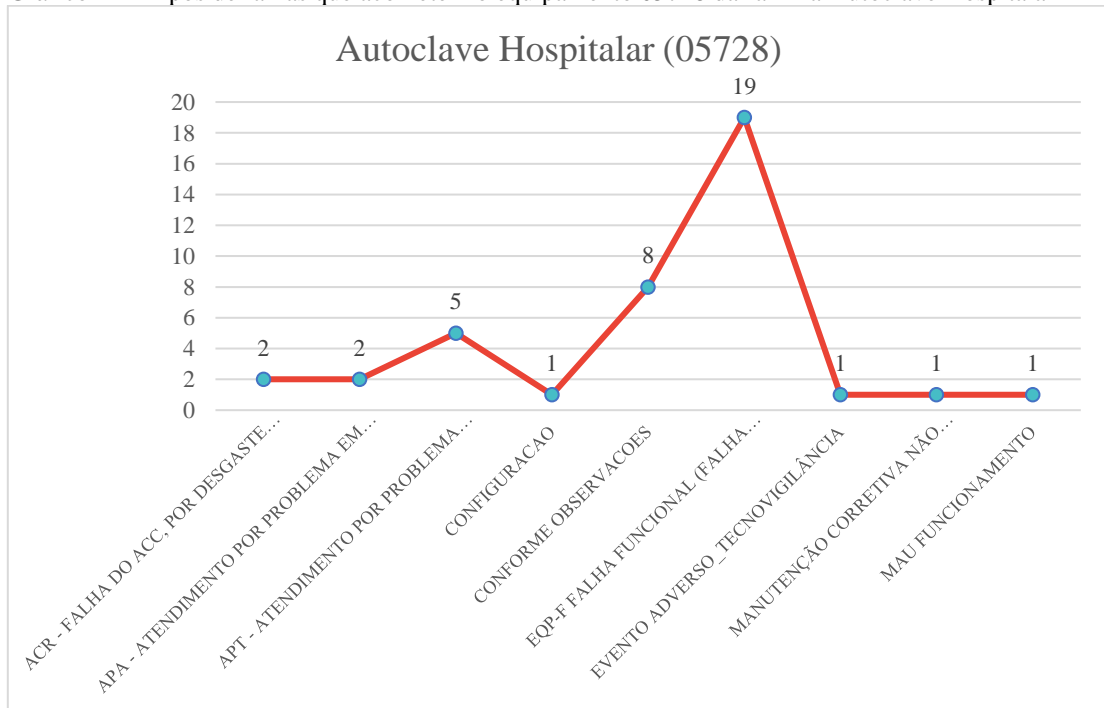
Fonte: Autor (2021)

Gráfico 11 - Tipos de falhas que acometem o equipamento 05727 da família Autoclave Hospitalar



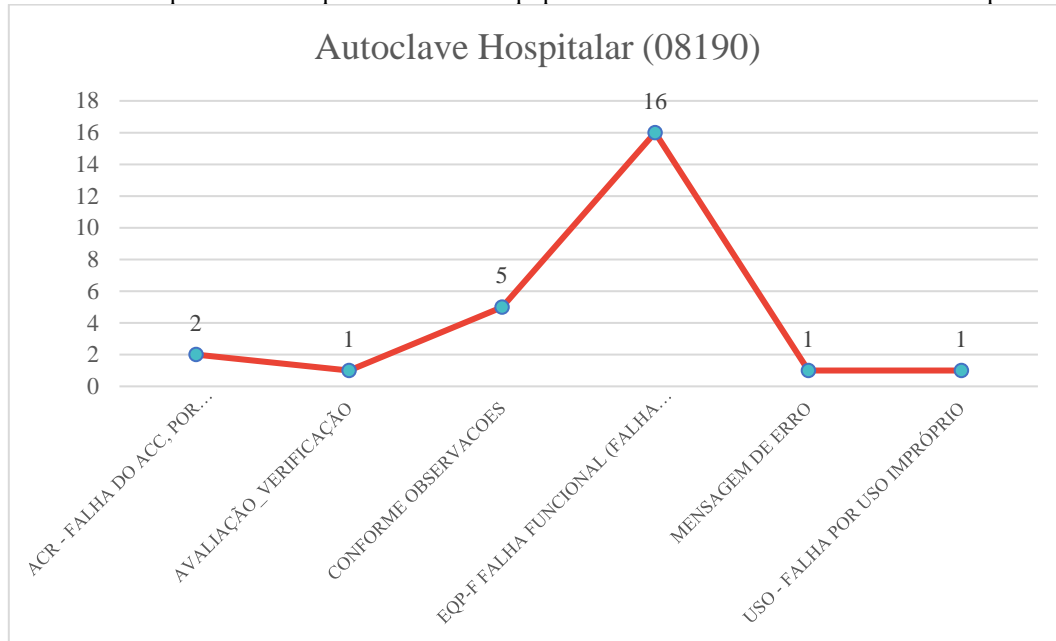
Fonte: Autor (2021)

Gráfico 12 - Tipos de falhas que acometem o equipamento 05728 da família Autoclave Hospitalar



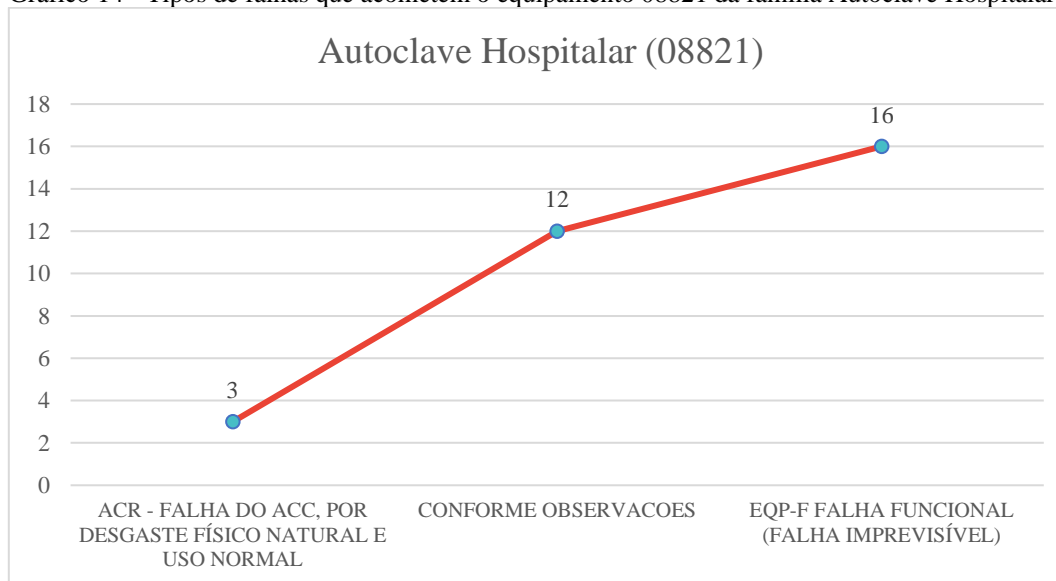
Fonte: Autor (2021)

Gráfico 13 - Tipos de falhas que acometem o equipamento 08190 da família Autoclave Hospitalar



Fonte: Autor (2021)

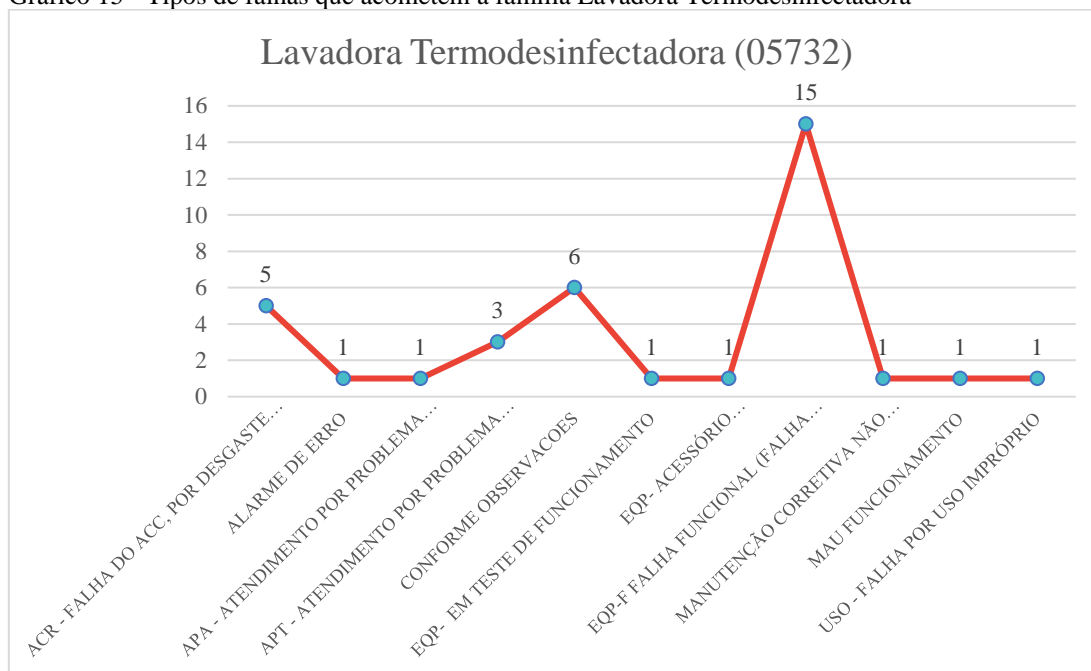
Gráfico 14 - Tipos de falhas que acometem o equipamento 08821 da família Autoclave Hospitalar



Fonte: Autor (2021)

Já na família (3), assim como nos demais equipamentos, o tipo de falha mais comum é aquele em decorrência de falhas imprevisíveis, seguindo por falhas apontadas conforme observações e falhas por desgaste natural (Gráfico 15).

Gráfico 15 - Tipos de falhas que acometem a família Lavadora Termodesinfetadora



Fonte: Autor (2021)

Tais informações indicam a necessidade de se priorizar a realização de manutenções preventivas, pois essa estratégia de manutenção pode evitar os principais tipos de falhas vistos nos gráficos, como as falhas imprevistas, aquelas percebidas por meio de observações, as que ocorrem em decorrência do desgaste natural e até mesmo as resultantes do mau uso do maquinário.

5.3.4 Cálculo do índice de EM por equipamento

Após a escolha das três famílias, bem como a análise e interpretação de seus históricos de falhas, foi necessário o cálculo do índice de Equipamento Médico (EM) a fim de delimitar o equipamento para estudo. Esse índice foi escolhido pois auxilia na seleção dos equipamentos mais críticos mediante escalas de criticidade, risco, manutenção e histórico de falhas. Esse indicador foi proposto por Fennigkoh e Smith em 1989, todavia foi adaptado pela World Health Organization em 2011, sendo este último o utilizado no presente estudo.

A Equação 3 apresenta, segundo a WHO (2011), o cálculo do número de EM:

$$EM = \text{Criticidade} + \text{Risco} + \text{Manutenção} + \text{Histórico de falhas} \quad (3)$$

Para pontuar cada um desses fatores utilizou-se as escalas propostas pela WHO (2011), apresentadas nos Quadros 7, 8, 9 e 10.

Quadro 7 - Escala do fator criticidade

PONTUAÇÃO DO FATOR CRITICIDADE		
Categoria do equipamento médico	Descrição funcional	Pontuação
Terapêutico	Suporte a vida	10
	Cirúrgico e intervenção	9
	Fisioterapia e tratamento	8
Diagnóstico	Monitoramento cirúrgico e de terapia intensiva	7
	Monitoramento fisiológico adicional e diagnóstico	6
Analítico	Laboratório analítico	5
	Acessórios	4
	Computadores e afins	3
Diversos	Relacionado ao paciente	2

Fonte: Adaptado de WHO (2011)

Quadro 8 - Escala do fator risco

PONTUAÇÃO DO FATOR RISCO	
Descrição do risco	Pontuação
Morte potencial	5
Lesão potencial	4
Terapia inadequada ou diagnóstico incorreto	3
Dano ao equipamento	2
Nenhum risco significativo identificado	1

Fonte: Adaptado de WHO (2011)

Quadro 9 - Escala do fator manutenção

PONTUAÇÃO DO FATOR MANUTENÇÃO	
Requisito de manutenção	Pontuação
Amplio: calibração de rotina e substituição do kit de manutenção	5
Acima da média	4
Média: verificação de desempenho e teste de segurança	3
Abaixo da média	2
Mínimo: inspeção visual	1

Fonte: Adaptado de WHO (2011)

Quadro 10 - Escala do fator histórico de falhas

PONTUAÇÃO DO FATOR HISTÓRICO DE FALHAS	
Requisito de manutenção	Pontuação
Significativo: mais de uma OS emitida a cada 6 meses	+2
Moderado: uma OS emitida a cada 6-9 meses	+1
Médio: uma OS emitida a cada 9-18 meses	0
Mínimo: uma OS emitida a cada 18-30 meses	-1
Insignificante: uma OS emitida nos últimos 30 meses	-2

Fonte: Adaptado de WHO (2011)

Conforme a equação e as escalas apresentadas, calculou-se o número de EM para cada um dos equipamentos pertencentes as três famílias selecionadas. Conforme pode ser visto no Quadro 11.

Quadro 11 - Cálculo do número de EM

EQUIPAMENTO	DESCRIÇÃO FUNCIONAL	CRITICIDADE	RISCO	MANUTENÇÃO	HISTÓRICO DE FALHAS	NÚMERO EM
SISTEMA MULTIFUNCIONAL PARA A LIMPEZA DE CANULADOS						
07247 ENDOJET J400	Diagnóstico	6	3	5	+2	16
AUTOCLAVE HOSPITALAR						
05722 STERRAD 100S	Terapêutico	9	4	2	+2	17
05727 HIVAC MX 523P				2	+2	17
05728 HIVAC MX 523P				4	+2	19
08190 6410 GS				3	+2	18
08821 6410 GS				3	+2	18
LAVADORA TERMODESINFECTADORA						
05732 TW-E-2000-400P	Laboratório analítico	5	3	3	+2	13

Fonte: Autor (2021)

Vale ressaltar que a descrição funcional, bem como a pontuação dos fatores criticidade e risco para cada um dos equipamentos foi realizada mediante pesquisas feitas pela autora deste trabalho, por meio da coleta de informações detalhadas referentes a cada família. Já os demais critérios como manutenção e histórico de falhas, foram pontuados com base nos dados colhidos do sistema de gestão do próprio hospital e que fundamentaram as análises anteriormente apresentadas.

O cálculo do EM permitiu avaliar que, mesmo a família Sistema Multifuncional para a Limpeza de Canulados apresentando um maior número de falhas, como vista nos tópicos anteriores, essa não foi classificada como mais crítica, mas sim a família de Autoclave Hospitalar. Tal fato respalda a importância do número de EM que possibilita uma análise mais aprofundada, além de uma escolha mais assertiva sobre o equipamento mais crítico e conseqüentemente o mais importante para estudo, pois leva em consideração diferentes fatores. Tais considerações são ainda mais significativas tratando-se do contexto estudado, onde a criticidade evidencia o maquinário de maior importância, sendo ainda um fator imprescindível para a garantia do tratamento correto, segurança e vida dos pacientes.

5.3.5 Elaboração da FMEA

Após o cálculo do número de EM indicar o ativo 05728 da família de Autoclaves Hospitalares, no modelo HIVAC MX 523P como o mais crítico, elaborou-se a planilha FMEA para este equipamento.

A autoclave hospitalar é um equipamento médico destinado a esterilização de materiais utilizados especialmente em processos cirúrgicos. Ao remover os microrganismos presentes nos itens, sua função é evitar a contaminação dos usuários que irão utilizar os instrumentos esterilizados, garantindo assim maior segurança.

Para elaborar a planilha FMEA, inicialmente foi realizada uma adaptação desta, conforme as informações disponíveis para o estudo. Um aspecto importante a ser mencionado, é o fato de a planilha ter sido elaborada pela autora do referido trabalho por meio de informações contidas em relatórios presentes na internet referentes às especificações do equipamento, além dos dados obtidos com a coleta realizada no hospital.

Tendo isso em vista, o primeiro passo foi delimitar os itens presentes no equipamento, ou seja, cada componente fundamental ao seu funcionamento, bem como sua respectiva função, como pode ser visto na Figura 27.

Figura 27 - Definição dos itens e funções referente ao ativo 05728

Ativo	Item	Função
Autoclave Hospitalar - Ativo 05728. Modelo HIVAC MX 523P.	Cilindro metálico	Assegura a resistência necessária para a realização do aquecimento da água
	Tampa com parafusos de orelhas	Possibilita o fechamento hermético
	Válvula de ar	Remoção do ar frio presente no interior do equipamento
	Válvula de segurança	Garante a segurança durante o uso do equipamento, aliviando a pressão deste
	Chave de comando	Viabiliza ao operador o controle de temperatura
	Registro indicador de pressão	Indica a pressão do equipamento
	Registro indicador de temperatura	Indica a temperatura do equipamento

Fonte: Autor (2021)

Em seguida, foram levantados os modos de falhas e os efeitos relacionados a estas falhas, além disso, foram atribuídas as pontuações de severidade associadas aos efeitos com

base na escala presente na Tabela 1 do Capítulo 2. Tais informações estão apresentadas na Figura 28.

Figura 28 - Modos de falha, efeitos da falha e severidade referente ao ativo 05728

Item	Modo de falha	Efeito da falha	Severidade (S)
Cilindro metálico	Não fornecer a resistência necessária para o aquecimento da água	Material não esterilizado	9
Tampa com parafusos de orelhas	Não fechar o equipamento hermeticamente	Material não esterilizado	9
Válvula de ar	Não remover o ar frio presente no equipamento	Material não esterilizado	9
Válvula de segurança	Não proporcionar segurança ao usuário do equipamento em caso de falhas	Acidentes de trabalho	10
Chave de comando	Não permitir que o operador controle a temperatura	Esterilização ineficaz do material	9
Registro indicador de pressão	Não indicar a pressão do interior do equipamento	Impossibilidade de colocar o equipamento em funcionamento	6
Registro indicador de temperatura	Não indicar a temperatura do interior do equipamento	Impossibilidade de colocar o equipamento em funcionamento	6

Fonte: Autor (2021)

O passo posterior foi definir as causas que poderiam gerar os modos de falhas identificados, como também sua pontuação nos critérios de ocorrência e detecção (demonstrados na Figura 29), utilizando como referências as Tabelas 2 e 3 presentes no Capítulo 2.

Figura 29 - Causas, ocorrência e detecção referentes ao ativo 05728

Item	Modo de falha	Causa	Ocorrência (O)	Detecção (D)
Cilindro metálico	Não fornecer a resistência necessária para o aquecimento da água	Desgaste do cilindro	4	7
Tampa com parafusos de orelhas	Não fechar o equipamento hermeticamente	Vedação com defeito	2	5
Válvula de ar	Não remover o ar frio presente no equipamento	Vazamento	6	7
Válvula de segurança	Não proporcionar segurança ao usuário do equipamento em caso de falhas	Corrosão ou presença de sujeira na entrada da válvula	1	3
Chave de comando	Não permitir que o operador controle a temperatura	Quebra da chave	5	2
Registro indicador de pressão	Não indicar a pressão do interior do equipamento	Tela digital queimar	3	1
Registro indicador de temperatura	Não indicar a temperatura do interior do equipamento	Tela digital queimar	3	1

Fonte: Autor (2021)

Com todos os critérios (severidade, ocorrência e detecção) pontuados, foi possível realizar o cálculo do NPR e com base nele, propor o tipo de manutenção adequada, conforme demonstrado na Figura 30.

Figura 30 - NPR e ações recomendadas referentes ao ativo 05728

Item	Modo de falha	Severidade (S)	Ocorrência (O)	Detecção (D)	NPR	Ações recomendadas
Cilindro metálico	Não fornecer a resistência necessária para o aquecimento da água	9	4	7	252	Manutenção preditiva
Tampa com parafusos de orelhas	Não fechar o equipamento hermeticamente	9	2	5	90	Manutenção preventiva
Válvula de ar	Não remover o ar frio presente no equipamento	9	6	7	378	Manutenção preditiva
Válvula de segurança	Não proporcionar segurança ao usuário do equipamento em caso de falhas	10	1	3	30	Manutenção preventiva
Chave de comando	Não permitir que o operador controle a temperatura	9	5	2	90	Manutenção preventiva
Registro indicador de pressão	Não indicar a pressão do interior do equipamento	6	3	1	18	Inspeção visual
Registro indicador de temperatura	Não indicar a temperatura do interior do equipamento	6	3	1	18	Inspeção visual

Fonte: Autor (2021)

As ações recomendadas foram estabelecidas mediante as falhas e efeitos identificados, baseando-se também no NPR obtido. Deste modo, os valores mais altos foram associados a manutenções preditivas, aqueles intermediários a manutenções preventivas e os baixos a inspeções visuais. As manutenções preditivas e preventivas são capazes de garantir maior segurança, portanto, foram correlacionadas a valores maiores de NPR.

As manutenções preditivas aqui propostas seriam realizadas de maneira subjetiva, por meio do acompanhamento humano através de cronogramas regulares de monitoramento, com alta frequência de inspeções. As manutenções preventivas ocorreriam com base na elaboração de cronogramas de fiscalização e prevenção com um período de tempo mais amplo entre as observações. Já a inspeção visual trata-se de uma atividade rotineira, que como no caso dos registros de pressão e temperatura, torna-se uma atividade fundamental para garantir seu pleno funcionamento.

Vale ressaltar também que, após sugerir cada tipo de manutenção a ser adotado com base no NPR, foi checado subjetivamente a viabilidade de sua realização conforme a falha analisada. A FMEA completa para o dispositivo pode ser vista na Figura 31.

Figura 31 - Planilha FMEA para o ativo 05728

ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA										
Empresa: Hospital Universitário Walter Cantídio		Data: 13/01/2021		Nº do documento: 1						
Setor: Central de Material Esterelizado		Responsável:		Nº de revisões: 1						
Equipamento: Ativo 05728										
Ativo	Item	Função	Modo de falha	Efeito da falha	Severidade (S)	Causa	Ocorrência (O)	Deteção (D)	NPR	Ações recomendadas
Autoclave Hospitalar - Ativo 05728. Modelo HIVAC MX 523P.	Cilindro metálico	Assegura a resistência necessária para a realização do aquecimento da água	Não fornecer a resistência necessária para o aquecimento da água	Material não esterilizado	9	Desgaste do cilindro	4	7	252	Manutenção preditiva
	Tampa com parafusos de orelhas	Possibilita o fechamento hermético	Não fechar o equipamento hermeticamente	Material não esterilizado	9	Vedação com defeito	2	5	90	Manutenção preventiva
	Válvula de ar	Remoção do ar frio presente no interior do equipamento	Não remover o ar frio presente no equipamento	Material não esterilizado	9	Vazamento	6	7	378	Manutenção preditiva
	Válvula de segurança	Garante a segurança durante o uso do equipamento, aliviando a pressão deste	Não proporcionar segurança ao usuário do equipamento em caso de falhas	Acidentes de trabalho	10	Corrosão ou presença de sujeira na entrada da válvula	1	3	30	Manutenção preventiva
	Chave de comando	Viabiliza ao operador o controle de temperatura	Não permitir que o operador controle a temperatura	Esterilização ineficaz do material	9	Quebra da chave	5	2	90	Manutenção preventiva
	Registro indicador de pressão	Indica a pressão do equipamento	Não indicar a pressão do interior do equipamento	Impossibilidade de colocar o equipamento em funcionamento	6	Tela digital queimar	3	1	18	Inspeção visual
	Registro indicador de temperatura	Indica a temperatura do equipamento	Não indicar a temperatura do interior do equipamento	Impossibilidade de colocar o equipamento em funcionamento	6	Tela digital queimar	3	1	18	Inspeção visual

Fonte: Autor (2021)

Após finalizado a planilha FMEA para o ativo 05728, com o intuito de tornar este um trabalho mais completo, elaborou-se a FMEA para os ativos 07247 e 05732, o Sistema Multifuncional para a Limpeza de Canulados e a Lavadora Termodesinfetadora, respectivamente. Optou-se pela escolha desses dois equipamentos pois, os demais que apresentaram um alto valor de EM (grifados em amarelo e verde no Quadro 11) referiam-se aos mesmos tipos de dispositivo, conforme o avaliado anteriormente, ambos fazendo parte da família de autoclaves e diferenciando-se em decorrência apenas do modelo. Portanto, a maioria dos itens a serem analisados seriam idênticos, desta forma seria mais interessante realizar a análise de máquinas distintas.

Nesse contexto é válido salientar a finalidade de cada uma destas. O Sistema Multifuncional para a Limpeza de Canulados é um dispositivo destinado a limpeza de materiais odonto-médico-hospitalares, que garante o enxágue e a secagem dos instrumentos médicos. Do mesmo modo, a Lavadora Termodesinfetadora possui como função a purificação de utensílios hospitalares, para desinfetá-los ou prepará-los para uma lavagem futura, portanto objetiva remover resíduos como sangue e proteína, de forma que uma posterior esterilização atinja toda a superfície do material.

Conhecendo os objetivos principais de cada dispositivo e seguindo o mesmo raciocínio e fonte de dados utilizados no equipamento anterior, foram preenchidas as planilhas FMEA para os ativos 07247 e 05732, conforme apresentado nas Figuras 32 e 33.

Figura 32 - Planilha FMEA para o ativo 07247

ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA										
Empresa: Hospital Universitário Walter Cantídio		Data: 14/01/2021		Nº do documento: 1						
Setor: Central de Material Esterilizado		Responsável:		Nº de revisões: 1						
Equipamento: Ativo 07247										
Ativo	Item	Função	Modo de falha	Efeito da falha	Severidade (S)	Causa	Ocorrência (O)	Detecção (D)	NPR	Ações recomendadas
Sistema Multifuncional para a Limpeza de Canulados - Ativo 07247. Modelo ENDOJET J400 05728.	Memória	Armazenar a programação dos ciclos de lavagem	Não armazenar a programação dos ciclos de lavagem	Impossibilidade de programar os ciclos de lavagem	1	Memória cheia ou queimada	1	4	4	Inspeção visual
	Display alfanumérico	Exibir informações sobre o ciclo	Não exibir as informações referentes aos ciclos de lavagem	Falta de informação quanto ao ciclo de lavagem	8	Display queimado	3	1	24	Inspeção visual
	Bomba autoaspirante	Aspirar o líquido presente e consequentemente permitir a secagem	Não aspirar o líquido presente no interior do equipamento	Não secagem do material	9	Bomba entupida ou desgastada	5	5	225	Manutenção preditiva
	Mangueira espiral de 2 metros	Fornecer o líquido para a lavagem	Não fornecer o líquido de lavagem	Material não limpo	9	Entupimento da mangueira ou quebra	5	5	225	Manutenção preditiva
	Regulador de pressão para ar comprimido	Regular a pressão do interior do equipamento	Não regular a pressão do equipamento	Esterilização ineficaz do material	10	Regulador quebrado ou desajustado	4	2	80	Manutenção preventiva
	Botões de comando	Permitir a navegação pelo display	Não permitir a navegação pelo display	Impossibilidade de acessar as informações quanto ao funcionamento do equipamento	8	Tela digital dos botões queimar	3	1	24	Inspeção visual
	Configurar funções do equipamento	Não permitir a configuração do equipamento	Impossibilidade de acessar as funções e comandos o equipamento	8	Tela digital dos botões queimar	3	1	24	Inspeção visual	

Fonte: Autor (2021)

Figura 33 - Planilha FMEA para o ativo 05732

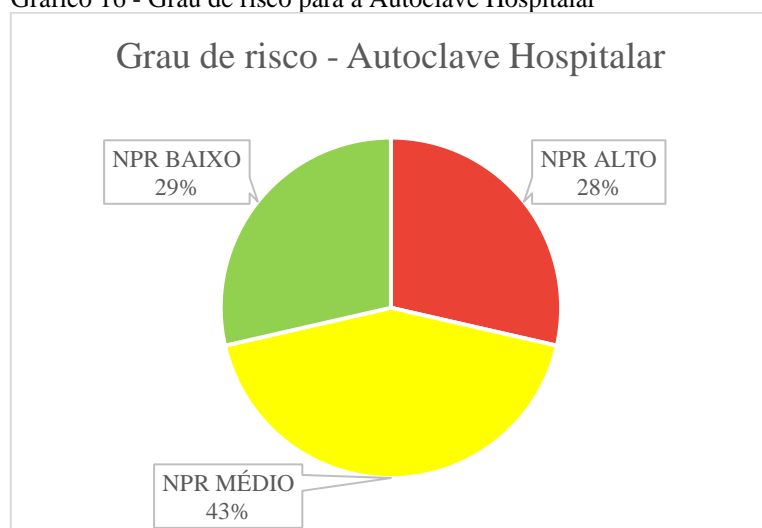
ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA										
Empresa: Hospital Universitário Walter Cantídio		Data: 14/01/2021		Nº do documento: 1						
Setor: Central de Material Esterelizado		Responsável:		Nº de revisões: 1						
Equipamento: Ativo 05732										
Ativo	Item	Função	Modo de falha	Efeito da falha	Severidade (S)	Causa	Ocorrência (O)	Detecção (D)	NPR	Ações recomendadas
Lavadora Termodesinfectora - Ativo 05732. Modelo 05732 TW-E-2000-400P.	Aspersor rotativo	Irigar o interior do equipamento e consequentemente os materiais a serem limpos	Não irrigar o interior do equipamento	Material não limpo	7	Desgaste ou entupimento	6	5	210	Manutenção preditiva
	Trava de segurança	Garantir a segurança do operador do equipamento	Não garantir ao operador segurança durante o manuseio	Acidentes de trabalho	10	Quebra da trava	5	2	100	Manutenção preventiva
	Porta de viro	Propiciar a inspeção do interior do equipamento	Impossibilitar a inspeção do equipamento	Ausência de inspeção	6	Porta com manchas ou trincada	3	1	18	Inspeção visual
	Painel de comando	Ativar o equipamento para o ciclo de lavagem	Não permitir a ativação do equipamento	Não funcionamento do equipamento	8	Painel queimando ou touch screen não funcionando	2	1	16	Inspeção visual
		Controlar os parâmetros e fases do processo de lavagem	Não permitir o controle dos parâmetros e fases de lavagem	Não funcionamento do equipamento	8	Painel queimando ou touch screen não funcionando	2	1	16	Inspeção visual

Fonte: Autor (2021)

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme apresentado nas planilhas FMEA preenchidas, foi possível estabelecer o grau de risco para cada dispositivo, fundamentado nos valores de NPR resultantes das falhas de cada equipamento avaliado. Inicialmente, observando-se a Autoclave Hospitalar, o grau de risco resultante foi considerado médio (43%), tendo em vista que a maioria das falhas se encaixam nessa faixa, como pode ser visto no Gráfico 16. Esse fato aponta que o equipamento possui riscos consideráveis, indicando a necessidade de estratégias de manutenção que possam garantir uma maior segurança.

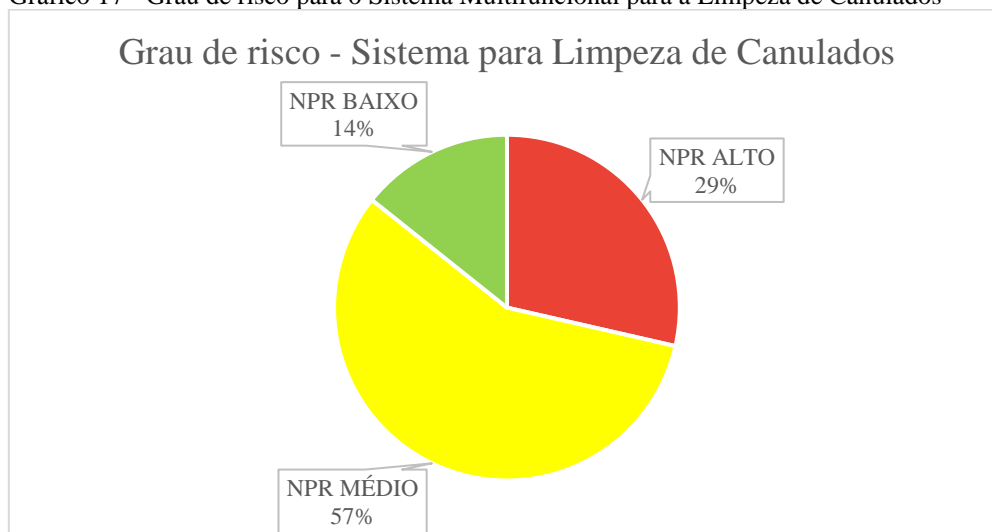
Gráfico 16 - Grau de risco para a Autoclave Hospitalar



Fonte: Autor (2021)

O Sistema Multifuncional para a Limpeza de Canulados, do mesmo modo, apresentou um grau de risco intermediário (57%), como apresenta o Gráfico 17. Todavia, o grau de risco alto ainda apresentou uma porcentagem significativa (29%), indicando a importância e necessidade de manutenções preditivas e preventivas.

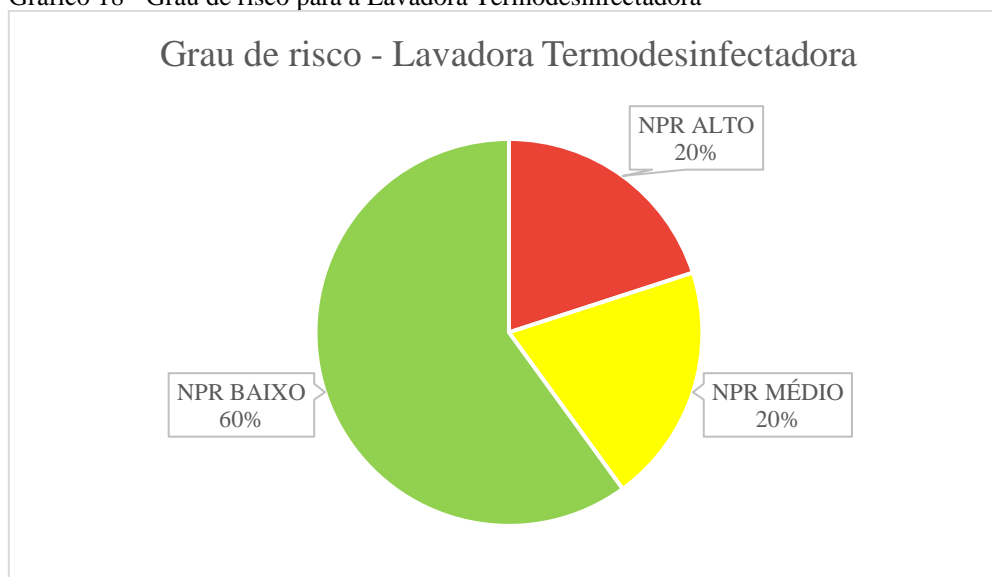
Gráfico 17 - Grau de risco para o Sistema Multifuncional para a Limpeza de Canulados



Fonte: Autor (2021)

A Lavadora Termodesinfetadora foi o dispositivo no qual se sobressaiu o grau de risco baixo (60%), o que indica a baixa periculosidade das causas que as falhas identificadas podem gerar (Gráfico 18). Deste modo, este pode ser apontado como um equipamento pouco crítico para a organização quando comparado aos demais em estudo.

Gráfico 18 - Grau de risco para a Lavadora Termodesinfetadora



Fonte: Autor (2021)

Corroborando com a análise do grau de risco, foi elaborada uma Matriz Severidade X Ocorrência para visualizar cada falha com base nas pontuações desses dois fatores (Figura 34). A interpretação da matriz indica que quanto mais à direita e abaixo a falha se localizar, mais grave esta é, ou seja, é preferível que ela não se localize nesse quadrante. E o oposto se

aplica, quanto mais à esquerda e acima da matriz, mais indicado que a falha esteja situada. Deste modo, as falhas identificadas nas FMEAs elaboradas para os três equipamentos foram numericamente definidas de 1 a 19, sequencialmente conforme apresentado no tópico anterior, depois estas foram alocadas na matriz.

Figura 34 - Matriz Severidade X Ocorrência

SEVERIDADE	1	8								
	2									
	3									
	4									
	5									
	6			6, 7, 17						
	7					15				
	8		18, 19	9, 13, 14						
	9		2		1	5, 10, 11	3			
	10	4			12	16				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	OCORRÊNCIA									

Fonte: Autor (2021)

A Figura 34 mostra que nenhuma das falhas avaliadas se localizou no quadrante mais crítico, isso pode ser explicado pelo fato que, os equipamentos analisados tratam-se de dispositivos de limpeza, destinados a garantir a esterilização de utensílios médicos. Portanto, asseguram um serviço mais higiênico e com maior segurança no quesito de não transmissão de doenças, todavia não são de suporte a vida, ou seja, não estão diretamente relacionados a seguridade e garantia de vida ao paciente.

Um outro fator investigado foi a comparação das estratégias de manutenção adotadas, frente as estratégias propostas. Com base na análise do histórico de falhas, obteve-se uma porcentagem geral das estratégias atualmente empregues e foi observado que a grande maioria delas baseavam-se ou estavam associadas a manutenções corretivas, realidade comum a todos os dispositivos estudados, como pode-se observar no Quadro 12.

Quadro 12 - Comparação das estratégias de manutenção adotadas X propostas

SISTEMA MULTIFUNCIONAL PARA A LIMPEZA DE CANULADOS			
Estratégia atual	%	Estratégia proposta	%
Preditiva	0%	Preditiva	29%
Preventiva	7%	Preventiva	14%
Corretiva	73%	Corretiva	0%
Inspeção	20%	Inspeção visual	57%

LAVADORA TERMODESINFECTADORA			
Estratégia atual	%	Estratégia proposta	%
Preditiva	0%	Preditiva	20%
Preventiva	9%	Preventiva	20%
Corretiva	82%	Corretiva	0%
Inspeção visual	9%	Inspeção visual	60%

AUTOCLAVE HOSPITALAR			
Estratégia atual	%	Estratégia proposta	%
Preditiva	0%	Preditiva	29%
Preventiva	11%	Preventiva	43%
Corretiva	78%	Corretiva	0%
Inspeção visual	11%	Inspeção visual	29%

Fonte: Autor (2021)

Para avaliar a porcentagem das estratégias propostas, utilizou-se as ações sugeridas no FMEA, definidas com base no NPR de cada falha. No Quadro 12 pode ser visto que, independente do dispositivo, as estratégias de manutenção propostas com maior representatividade foram as manutenções preditivas e preventivas.

Desta forma, é possível afirmar que o cenário anterior tratava-se de um contexto baseado em esperar a falha ocorrer para que a manutenção fosse realizada, já o cenário proposto sugere a prevenção das falhas, de modo a evitá-las e garantir maior segurança não só para os operadores dos equipamentos como também para os usuários dos utensílios a serem esterilizados pelas máquinas analisadas.

Assim sendo, é válido ainda salientar que para a realização das atividades de prevenção é fundamental a existência de padronização nas atividades executadas e, além disso, o treinamento dos colaboradores da instituição, de modo que todos sejam aptos a identificar a prevenir falhas futuras.

7 ANÁLISE DE RESULTADOS FRENTE À REVISÃO DE LITERATURA

Com o intuito de respaldar os resultados obtidos mediante a aplicação realizada, alguns pontos podem ser avaliados frente as análises decorrentes da revisão de literatura abordada no capítulo 3.

Inicialmente, na RSL foi visto que a Manutenção Centrada em Confiabilidade possibilita priorizar os equipamentos médicos mediante sua confiabilidade, o que resulta na proposição de melhores estratégias de manutenção conforme o estudo feito. O presente trabalho reitera essa afirmação, pois uma das aplicações empreendidas foi o uso do número de Equipamento Médico como forma de avaliar a criticidade dos dispositivos e desta forma, dar continuidade a pesquisa na busca de melhores políticas de manutenção a serem adotadas especialmente naqueles mais críticos. Vale ainda salientar que o equipamento crítico de uma organização, não é confiável, pois sua probabilidade de falha é alta quanto comparada aos não críticos.

Dentre os trabalhos que aplicaram a ferramenta FMEA foi observado que, o estudo das falhas pode garantir maior suporte na escolha de políticas de manutenção a serem empregues, provendo aos usuários e pacientes um serviço de diagnóstico e/ou tratamento mais seguro. Desta forma, é possível observar a conseqüente melhora no gerenciamento da manutenção dos equipamentos, pois a busca pelas falhas e suas causas, impactam diretamente na qualidade do funcionamento do dispositivo, fator fundamental para os equipamentos hospitalares que estão estreitamente associados a vida humana.

O presente estudo corrobora com os resultados encontrados referentes à FMEA, pois sua elaboração propiciou a definição de estratégias capazes de garantir maior segurança ao funcionamento dos equipamentos, onde os tipos manutenção preditiva e preventiva foram aqueles mais indicados conforme as análises realizadas. Assim, o principal objetivo é preservar a seguridade não só dos equipamentos, como também dos pacientes, pois baseando-se nas estratégias sugeridas, é provável que a falha seja identificada antes de ocorrer, situação não recorrente nas atuais políticas de manutenção adotadas pelo hospital para os equipamentos estudados.

Ainda na RSL foi visto que seguir apenas as recomendações dos fabricantes quanto as manutenções a serem realizadas, bem como o seu cronograma, não é o mais indicado, pois os equipamentos são influenciados por fatores externos que podem mudar seu ciclo de vida útil, o que sugere a necessidade de um acompanhamento regular. Além disso, foi observado que a padronização quanto ao manuseio e uso dos equipamentos é algo fundamental para garantir seu

pleno funcionamento, evitando falhas causadas pela falta de treinamento ou inexperiência. Desta maneira, é imprescindível a padronização das atividades regulares a serem realizadas nos dispositivos, como a inspeção visual, com o propósito de reduzir as falhas e aumentar a segurança do equipamento, especialmente na ocorrência de situações críticas.

Os aspectos mencionados quanto à realização de tarefas regulares e programadas, foram as principais ações aqui sugeridas. É notório a importância do acompanhamento regular do maquinário, como a execução de manutenções preditivas e preventivas, além disso, atividades simples como a inspeção visual que podem prover grandes resultados ao evitar falhas que passariam despercebidas sem sua realização. Foi observado ainda durante a realização deste trabalho a necessidade de treinamento e padronização das atividades, de modo que os funcionários sejam aptos a identificar possíveis falhas e assim evitá-las.

Por conseguinte, conforme a comparação dos resultados é explícita a concordância existente entre pontos comuns aos trabalhos estudados na RSL e o realizado, o que além de validar as aplicações aqui empreendidas, contribui grandemente para a comunidade científica.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É factível afirmar que o setor hospitalar contém serviços para os quais sempre existirão demanda. O público-alvo varia em idade e gênero, todavia os inputs e outputs sempre serão os mesmos, ou seja, pacientes enfermos e pacientes tratados, respectivamente. Portanto, a importância existente nos serviços prestados está vinculada ao fato que é de responsabilidade dos hospitais garantirem o diagnóstico e tratamento adequado aos seus clientes. Nesse sentido, surge a relevância da realização de atividades que garantam uma maior segurança durante o processo de prestação do serviço, logo denota-se a necessidade de uma boa gestão e planejamento das atividades de manutenção dos equipamentos médicos, a fim de validar a segurança precisa.

Em virtude disso, as aplicações inicialmente pretendidas e de fato realizadas, possuíram como principal propósito garantir por meio da FMEA o estudo das falhas em equipamentos hospitalares e revisão das estratégias de manutenção adotadas, de modo a contribuir com a organização ao identificar não conformidades que pudessem gerar insatisfação e até mesmo risco à vida dos pacientes. Assim sendo, o trabalho inicia com a fundamentação teórica necessária para a compreensão dos aspectos referentes a manutenção, desde seu histórico até as práticas de gestão atualmente adotadas pelas instituições.

Para além disso, como forma de aprofundar os conhecimentos na área de manutenção hospitalar, uma Revisão Sistemática de Literatura foi realizada, o que propiciou a análise de métodos, ferramentas e o estudo de diferentes aplicações práticas da manutenção no contexto abordado. As pesquisas feitas nesse ponto do trabalho foram de suma importância para garantir uma maior compreensão de como a manutenção vem sendo estudada no cenário hospitalar e, mostrar o quanto é esporádica esse tipo de aplicação, revelando assim uma possível lacuna na literatura.

Após a compreensão e análise de estudos na área, uma aplicação prática foi realizada. As fases de coleta e análise de dados foram de grande relevância, pois auxiliaram na escolha do método a ser de fato aplicado. Os dados colhidos permitiram a realização de diversas observações, como a análise de falhas por setor, família e equipamento. Possibilitaram, além disso, o cálculo de criticidade. Nesse sentido, foi percebido que o ativo 05728 da família de Autoclave Hospitalar, era o mais crítico, evidenciando assim sua importância para o estudo. Esses aspectos embasaram o levantamento das informações necessárias para a elaboração da planilha FMEA do dispositivo. Não obstante, a fim de complementar o trabalho, a FMEA

também foi elaborada para os equipamentos das demais famílias selecionadas, o Sistema Multifuncional para a Limpeza de Canulados e a Lavadora Termodesinfectora.

Dentre as principais discussões foi percebido que, para os dispositivos em questão, a instituição conta atualmente com manutenções em sua maioria corretivas e apesar destes equipamentos possuírem como objetivo apenas a limpeza de instrumentos médicos, não tratando-se daqueles de garantia e segurança a vida dos pacientes, esta é uma realidade que deve ser evitada. Devendo, deste modo, a maioria das manutenções tratarem-se de atividades preditivas e preventivas, onde padronização, treinamento dos funcionários e rotinas de inspeção, necessitam ser o principal foco da gestão da manutenção.

Após todas as observações empreendidas e a finalização do estudo, é válido observar que uma das principais contribuições deste trabalho foi realizar um compilado das aplicações práticas vistas na literatura, todavia, levando em consideração aquelas viáveis conforme a realidade estudada. Diversos tipos de análises foram embasadas nos artigos vistos na RSL, o que permitiu fortalecer esta pesquisa.

Um aspecto importante a se mencionar foram as dificuldades enfrentadas em seu desenvolvimento. A principal delas foi encontrar um hospital com os dados necessários para a realização do estudo e apto a fornecê-los. Atualmente, a maioria das instituições não possuem um histórico de manutenção, posto que ela ainda não possui a devida atenção merecida, sendo muitas vezes considerada como um custo para a organização. Então, a definição do objeto de estudo tornou-se uma grande adversidade, o que demandou bastante tempo. Além disso, outra dificuldade encontrada, foi o curto período para a finalização do trabalho, o que impossibilitou a elaboração da planilha FMEA em conjunto com os colaboradores do setor de manutenção do hospital, ação frequentemente indicada pelos pesquisadores do assunto.

Aos interessados no tema em estudo, propõe-se como sugestão de trabalho futuro um melhor detalhamento da FMEA, a fim de garantir a melhoria contínua na utilização dos equipamentos. Recomenda-se inclusive a realização desta em conjunto com os funcionários de diversos setores do hospital, como enfermeiros, técnicos e manutentores. Outra proposta é a aplicação de ferramentas da qualidade para a análise das falhas e de suas respectivas causas, como o Diagrama de Ishikawa. Além disso o uso do 5W1H para uma maior especificação das ações recomendadas a fim de facilitar na hora de sua execução, posto que os objetivos estratégicos da organização podem mudar, tal como ocorrer o surgimento de novas tecnologias. Outrossim, a constante atualização da FMEA e das pontuações de risco, com o objetivo de verificar sua funcionalidade conforme as estratégias estabelecidas.

REFERÊNCIAS

- ABDULLAH, Dewan; TAKAHASHI, Hironao. Innovative High Quality Aircraft Maintenance by Wisdom of Semantic Database Using Historical Data of Operation Staffs. *In: International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation*, 7., 2016, Tailândia. **Anais [...]**. Tailândia: 2016, p. 205-210.
- AL-BASHIR, Adnan *et al.* Building Medical Devices Maintenance System through Quality Function Deployment. **Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering**, v. 6, n. 1, p. 25-36, fev. 2012.
- ALI, M.; MOHAMAD, W. M. N. B. W. Audit assessment of the facilities maintenance management in a public hospital in Malaysia. **Journal of Facilities Management**, vol. 7, n. 2, p. 142-158, mai. 2009.
- ALMEIDA, Adiel Texeira de *et al.* Multicriteria and Multiobjective Models for Risk, Reliability and Maintenance Decision Analysis. **International Series in Operations Research & Management Science**, v. 231, 2015.
- ALMEIDA-FILHO, Adiel T. de *et al.* A Voting Approach Applied to Preventive Maintenance Management of a Water Supply System. **Group Decision and Negotiation**, v. 26, n. 3, p. 523-546, mai. 2017.
- ALMEIDA, Márcio Tadeu de. **Manutenção preditiva: confiabilidade e qualidade**. Itajubá: Instituto de Vibração MTA, 2000. Disponível em: <https://mtaev.com.br/wp-content/uploads/2018/02/mnt1.pdf>. Acesso em: 26 out. 2020.
- AL-NAJJAR, Basim. The lack of maintenance and not maintenance which costs: A model to describe and quantify the impact of vibration-based maintenance on company's business. **International Journal of Production Economics**, v. 107, n. 1, p. 260-273, mai. 2007.
- AMERICAN HOSPITAL ASSOCIATION. **Certified Healthcare Facility Manager: Candidate Handbook and Application**. Chicago, 2017.
- ARCURI FILHO, Rogério. **Medicina de sistemas: uma abordagem holística, estratégica e institucional para a gestão da manutenção**. 2005. 150 p. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Gestão) – Curso de Pós-Graduação Stricto Sensu em Sistemas de Gestão, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5462: confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- BAHREINI, Rona *et al.* Factors Affecting Medical Equipment Maintenance Management: A Systematic Review. **Journal of Clinical and Diagnostic Research**, v. 12, n. 4, p. IC01-IC07, abr. 2018.
- BAHREINI, Rona *et al.* Influential factors on medical equipment maintenance management: In search of a framework. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 25, n. 1, p. 128-143, mar. 2019.

BEKER, Ivan *et al.* Improvement of the maintenance management process of complex technical systems which demand high reliability. **Tehnicki Vjesnik**, v. 24, n. 5, p. 1543-1550, out. 2017.

BOKRANTZ, Jon *et al.* Smart Maintenance: a research agenda for industrial maintenance management. **International Journal of Production Economics**, v. 224, jun. 2020.

BORTOLINI, Rafaela; FORCADA, Núria. Analysis of building maintenance requests using a text mining approach: building services evaluation. **Building Research & Information**, v. 48, n. 2, p. 207-217, fev. 2020.

BOUSDEKIS, Alexandros *et al.* A unified architecture for proactive maintenance in manufacturing enterprises. **I-ESA Conferences**, v. 9, p. 307-317, abr. 2019.

CARNEIRO, Vladinice Clemente de Azevedo. **Manutenção planejada**: um estudo sobre a aplicabilidade da metodologia em uma fábrica de garrafas plásticas. 2019. 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pernambuco, Recife, 2019.

CARNERO, María Carmen; GOMEZ, Andres. A multicriteria decision making approach applied to improving maintenance policies in healthcare organizations. **BMC Medical Informatics and Decision Making**, v.16, p. 1-22, dez. 2016.

CERVO, Amado Luiz; BERVIAN, Pedro Alcino; SILVA, Roberto da. **Metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

CHAPARRO, Miguel Gómez *et al.* Maintenance in hospitals with less than 200 beds: efficiency indicators. **Building Research and Information**, v. 48, n. 5, p. 526-537, jul. 2020.

CHOTIPANICH, Sarich. Positioning facility management. **Facilities**, v. 22, n.13/14, p. 364-372, nov. 2004.

CLEMENTE, Fabrizio *et al.* Critical failures in the use of home ventilation medical equipment. **Heliyon**, v. 5, n. 12, dez. 2019.

COSTA, Carlos A. Bana; CARNERO, María C.; OLIVEIRA, Mónica D. A multi-criteria model for auditing a Predictive Maintenance Programme. **European Journal of Operational Research**, v. 217, n. 2, p. 381-393, mar. 2012.

COSTA, Mariana de Almeida. **Gestão estratégica da manutenção**: uma oportunidade para melhorar o resultado operacional. 2013. 104 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

CRUZ, Antonio Miguel. Evaluating record history of medical devices using association discovery and clustering techniques. **Expert Systems with Applications**, v. 40, n. 13, p. 5292-5305, out. 2013.

CRUZ, Antonio Miguel; HAUGAN, Gregory L. Determinants of maintenance performance: A resource-based view and agency theory approach. **Journal of Engineering and Technology Management**, v. 51, p. 33-47, jan-mar. 2019.

CRUZ, Simão Pedro Saimeiro. **Implementação de uma FMEA no caso de uma luminária**. 2009. 73 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) – Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2009.

CUZCO, Mayra Viscaíno *et al.* Evaluación de la gestión del mantenimiento en hospitales del instituto ecuatoriano de seguridad social de la zona 3 del Ecuador. **Ingenius**, Cuenca, n. 22, p. 59-71, jun-dez. 2019.

DAVID, Y.; JAHNKE, E. G. Planning hospital medical technology management. **IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine**, v. 23, n. 3, p. 73-79, mai-jun. 2004.

DUAN, Ying; YUAN, Lingling. Risk assessment of aviation maintenance error based on set pair analysis and BP neural network. *In: International Asia Conference on Industrial Engineering and Management Innovation*, 5., 2014, China. **Anais [...]**. China: 2014, p. 299-303.

EMPRESA BRASILEIRA DE SERVIÇOS HOSPITALARES. **Hospitais Universitários Federais**. Fortaleza: EBSEH, 2020. Disponível em: <http://www2.ebserh.gov.br/web/huwc-ufc>. Acesso em: 03 novembro 2020.

FERREIRA, Livia Lima. **Implementação da central de ativos para o melhor desempenho do setor de manutenção: um estudo de caso Votorantim Metais**. 2009. 72 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2009.

FIGUEIREDO, Ellan Pessoa de. **Desenvolvimento de um sistema de gestão de equipamentos médico-hospitalares e leitos para estabelecimentos de assistência à saúde**. 2019. 70 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Biomédica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

FOGLIATTO, Flávio Sanson; RIBEIRO, José Luis Duarte. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2011. Recurso eletrônico.

FREITAS, Laís Fulgêncio. **Elaboração de um Plano de Manutenção em uma pequena empresa do setor metal-mecânico de Juiz de Fora com base nos conceitos da Manutenção Preventiva e Preditiva**. 2016. 96 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

FREITAS, Marco Antônio Scarela de. **Implementação da filosofia TPM (Total Productive Maintenance): um estudo de caso**. 2002. 13 p. Trabalhos de formatura (Graduação em Engenharia de Produção) – Instituto de Engenharia Mecânica, Departamento de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2002.

FUENTES, Fernando Félix Espinosa. **Metodologia para inovação da gestão de manutenção industrial**. 2006. 208 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa

de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

GAILO, Evandro Dias. **Proposta de um plano de manutenção de um equipamento industrial através da utilização de ferramentas da manutenção centrada em confiabilidade**. 2016. 66 p. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

GANGA, Gilberto Miller Devós. **Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) na engenharia de produção: um guia prático de conteúdo e forma**. São Paulo: Atlas, 2012.

GARRIDO, Renan Lombardo Ferreira. **Confiabilidade e manutenção: um estudo sobre a técnica da FMEA**. 2017. 100 p. Projeto de graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de pesquisa**. 1. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GERMANO, Arthur Oliveira. **Efeitos da implantação de manutenções preventivas na produtividade** - Indústrias Becker. 2018. 62 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

GINSBURG, Gill. Human factors engineering: A tool for medical device evaluation in hospital procurement decision-making. **Journal of Biomedical Informatics**, v. 38, n. 3, p. 213-219, jun. 2005.

HAMDI, Naser *et al.* An Intelligent Healthcare Management System: A New Approach in Work-order Prioritization for Medical Equipment Maintenance Requests. **Journal of Medical Systems**, v. 36, n. 2, p. 557-567, abr. 2012.

HAN, Chengzhi. Maintenance of electrical equipment and wiring of new energy vehicles. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 1550, n. 5, jun. 2020.

HOBBSAWM, Eric J. **A era das revoluções: 1789-1848**. São Paulo: Paz e Terra, 2010.

HOSKING, James E.; JARVIS, Robert J. Developing a replacement facility strategy: Lessons from the healthcare sector. **Journal of Facilities Management**, v. 2, n. 3, p. 214-228, jul. 2003.

IADANZA, Ernesto *et al.* Evidence-based medical equipment management: a convenient implementation. **Medical and Biological Engineering and Computing**, v. 57, n. 10, p. 2215-2230, out. 2019.

ISLAM, Rezbaul A. B. M. *et al.* Optimization of automobile black box data for maintenance and rescue sub systems. **Advances in Information Sciences and Service Sciences**, v. 3, n. 9, p. 348-391, 2011.

ISMAIL, Zul-Atfi. Lesson learned in maintaining the precast concrete buildings. **Journal of Facilities Management**, jul. 2020.

IZQUIERDO, J. *et al.* On the importance of assessing the operational context impact on maintenance management for life cycle cost of wind energy projects. **Renewable Energy**, v. 153, p. 1100-1110, jun. 2020.

JAMSHIDI, Afshin *et al.* A comprehensive fuzzy risk-based maintenance framework for prioritization of medical devices. **Applied Soft Computing Journal**, v. 32, p. 322-334, jul. 2015.

KAMELI, Mohsen *et al.* An application framework for development of a maintenance management system based on building information modeling and radio-frequency identification: Case study of a stadium building. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v. 47, n. 6, p. 736-748, 2020.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: função estratégica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Petrobras, 2009.

KHALAF, A. B. *et al.* The effect of maintenance on the survival of medical equipment. **Journal of Engineering, Design and Technology**, v. 11, n. 2, p. 142-157, 2013.

KHALAF, A. B. *et al.* Maintenance Strategies and Failure-Cost Model for Medical Equipment. **Quality and Reliability Engineering International**, v. 31, p. 935-947, 2015.

KOSLOSKY, Leonardo Borges *et al.* Airline maintenance: A proposal envisioning digital transformation. *In: Congress of the International Council of the Aeronautical Science*, 31., 2018, Brasil. **Anais [...]**. Brasil: 2018.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LANDES, David S. **Prometeu desacorrentado: transformação tecnológica e desenvolvimento industrial na Europa Ocidental, de 1750 até os dias de hoje**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

LINS, Frederico Estelita. **Modelo multicritério para priorização de equipamentos hospitalares para manutenção programada**. 2009. 109 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

LI, Taotao. Research on Reliability of Mechanical Structure Testing for Hybrid New Energy Vehicle Parts. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 1549, n. 4, jun. 2020.

LUCATELLI, Marcos Vinícius. **Proposta de aplicação da manutenção centrada em confiabilidade em equipamentos médico-hospitalares**. 2002. 285 p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MACEK, Daniel; DOBIAS, Jiri. Buildings renovation and maintenance in the public sector. **Procedia Engineering**, v. 85, p. 368-376, 2014.

- MAHFOUD, H. *et al.* Preventive Maintenance Optimization in Healthcare Domain: Status of Research and Perspective. **Journal of Quality and Reliability Engineering**, v. 2016, jul. 2016.
- MAHFOUD, H. *et al.* Dependability-based maintenance optimization in healthcare domain. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 24, n. 2, p. 200-223, 2018.
- MALETIC, Damjan *et al.* The role of maintenance in improving company's competitiveness and profitability: A case study in a textile company. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 25, n. 4, p. 441-456, abr. 2014.
- MALIK, Ana Maria. Oferta em serviços de saúde. **Revista USP**, São Paulo, n. 51, p. 146-157, set-nov. 2001.
- MASMOUDI, M. *et al.* Decision Support Procedure for Medical Equipment Maintenance Management. **Journal of Clinical Engineering**, v. 41, n.1, p. 19-29, jan-mar. 2016.
- MONCHY, François. **A Função Manutenção**. São Paulo, SP: Durban, 1989.
- MORETTI, Nicola *et al.* Maintenance service optimization in smart buildings through ultrasonic sensors network. **Intelligent Buildings International**, jun. 2020.
- MOUBRAY, John. **Reliability-centred Maintenance**. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1997.
- MUCHIRI, Peter N. *et al.* Empirical analysis of maintenance performance measurement in Belgian industries. **International Journal of Production Research**, v. 48, n. 20, p. 5905-5924, out. 2010.
- NEPOMUCENO, Lauro Xavier. **Técnicas de manutenção preditiva**. São Paulo: Blucher, 1989.
- NETTO, Wady Abrahão Cury. **A importância e a aplicabilidade da manutenção produtiva total (TPM) nas indústrias**. 2008. 63 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2008.
- NYSTAD, Bent Helge; RASMUSSEN, Magnus. Remaining useful life of natural gas export compressors. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 16, n. 2, p. 129-143, jun. 2010.
- OSHIYAMA, Natália Ferreira *et al.* Medical equipment classification according to corrective maintenance data: a strategy based on the equipment age. **Revista Brasileira de Engenharia Biomédica**, Rio de Janeiro, v. 30, n. 1, p. 64-69, mar. 2014.
- OTANI, Mario; MACHADO, Waltair Vieira. A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial. **Revista Gestão Industrial**, Paraná, v. 4, n. 2, p. 1-16, 2008. Quadrimestral.

PALMER, Héctor R. Acosta; TRONCOSO-FLEITAS, Mayra de la C. Auditoria integral de mantenimiento en instalaciones hospitalarias, un análisis objetivo. **Ingeniería Mecánica**, Havana, v. 14, n. 2, p. 107-118, mai-ago. 2011.

PEREIRA, Leydiana de Sousa *et al.* Identifying maintenance priority criteria in water distribution networks using cognitive maps. *In: IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 2017, Canadá. **Anais [...]**. Canadá: 2017, p. 3647-3652.

PEREIRA, Leydiana de Sousa *et al.* Using criticality categories to evaluate water distribution networks and improve maintenance management. **Sustainable Cities and Society**, v. 61, out. 2020.

POPHALEY, Mahesh; VYAS, Ram Krishna. Plant maintenance management practices in automobile industries: A retrospective and literature review. **Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 3, n. 3, p.512-541, 2010.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

PU, Zewei. Review on operation and maintenance management technology of smart photovoltaic micro grid in plateau cold area. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 514, n. 4, jul. 2020.

QUADRI, Gicieli Maria. **Estudo dos processos do setor de manutenção na área hospitalar**. 2017. 80 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Administração) – Universidade Federal da Fronteira Sul, Chapecó, 2017.

RATNAYAKE, R. M. Chandima. Mechanization of static mechanical systems inspection planning process: The state of the art. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 21, n. 2, p. 227-248, mai. 2015.

RICE, William P. Medical Device Risk Based Evaluation and Maintenance Using Fault Tree Analysis. **Biomedical Instrumentation & Technolog**, v. 41, n. 1, p. 76-82, jan. 2007.

ROMANELLI, Jordana Salete. **Análise de viabilidade da manutenção de equipamentos eletrônicos na agroindústria**. 2016. 105 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Administração) – Universidade Federal da Fronteira Sul, Chapecó, 2016.

ROMERO, Angel Virginio Motta. **Desenvolvimento de sistemática para análise de sistemas de informação: uma aplicação para gestão da manutenção**. 2001. 97 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

ROSKO, Michael D. Cost efficiency of US hospitals: A stochastic frontier approach. **Health Economics**, v. 10, n. 6, p. 539-551, mai. 2001.

RUDIO, Franz Victor. **Introdução ao projeto de pesquisa científica**. 34. ed. Petrópolis: Vozes, 2007.

SÁNCHEZ, Pedro José Bernalte; MARQUEZ, Fausto Pedro Garcia. New Approaches on Maintenance Management for Wind Turbines Based on Acoustic Inspection. Fourteenth International Conference on Management Science and Engineering Management (ICMSEM). **Advances in Intelligent Systems and Computing**, v. 1191, p. 791-800, jun. 2020.

SELLITTO, Miguel Afonso. Análise estratégica da manutenção de uma linha de fabricação metal-mecânica baseada em cálculos de confiabilidade de equipamentos. **Revista Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Bauru, v. 3, n. 2, p. 97-108, mai./jun. 2007.

SHAMAYLEH, Abdulrahim; AWAD, Mahmoud; ABDULLA, Aidah Omar. Criticality-based reliability-centered maintenance for healthcare. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 26, n. 2, p. 311-334, set. 2020.

SHAMSUZZOHA, Ahm *et al.* Applications of virtual reality in industrial repair and maintenance. *In: North American IEOM Conference*, 3., 2018, Washington. **Anais [...]**. Washington: 2018, p. 1890-1898.

SHOHET, Igal M.; NOBILI, Lorenzo. Enterprise resource planning system for performance-based-maintenance of clinics. **Automation in Construction**, v. 65, p. 33-41, mai. 2016.

SILVA, Airton Marques da. **Metodologia da pesquisa**. 2. ed. Fortaleza: EdUECE, 2015.

SILVA, Romeu Paulo da. **Gerenciamento do setor de manutenção**. 2004. 92 p. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Gestão Industrial) – Departamento de Economia, Contabilidade e Administração, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2004.

SLACK, Nigel *et al.* **Administração da produção**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

SLACK, Nigel; CHARMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Operations Management**. 6. ed. England: Prentice Hall, 2010.

SMITH, Ricky; MOBLEY, R. Keith. **Rules of thumb for maintenance and reliability engineers**. 1. ed. [S.l.]: Butterworth-Heinemann, 2011.

SOUZA, Fábio Januario de. **Melhoria do pilar “manutenção planejada” da TPM através da utilização do RCM para nortear as estratégias de manutenção**. 2004. 115 p. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) – Escolha de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

SOUZA, José Barrozo de. **Alinhamento das estratégias do planejamento e controle da manutenção (PCM) com as finalidades e funções do planejamento e controle da produção (PCP): uma abordagem analítica**. 2008. 171 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2008.

SOUZA, Ricardo Silva de. **Aplicação da ferramenta FMEA de processos em uma indústria de bebidas**. 2017. 89 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2017.

- SOUZA, Strauss Sydio de; LIMA, Carlos Roberto Camello. Manutenção centrada em confiabilidade como ferramenta estratégica. *In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 23., 2003, Minas Gerais. **Anais [...]** Minas Gerais: ABEPRO, 2003.
- TAGHIPOUR, S.; BANJEVIC, D.; JARDINE, A. K. S. Prioritization of medical equipment for maintenance decisions. **Journal of the Operational Research Society**, v. 62, n. 9, p. 1666-1687, 2011.
- TRIVIÑOS, Augusto Nivaldo Silva. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1987.
- TROJAN, Flavio; MORAIS, Danielle Costa. Maintenance Management Decision Model for Reduction of Losses in Water Distribution Networks. **Water Resources Management**, v. 29, n. 10, p. 3459-3479, 2015.
- VALA, Stephen; CHEMWENO, Peter; PINTELON, Liliane; MUCHIRI, Peter. A risk-based maintenance approach for critical care medical devices: a case study application for a large hospital in a developing country. **International Journal of Systems Assurance Engineering and Management**, v. 9, n. 5, p. 1217-1233, out. 2018.
- VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **PCM, Planejamento e Controle de Manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.
- VILLA, Juan Aunió *et al.* Assessment of the maintenance costs of electromedical equipment in Spanish hospitals. **Expert Review of Medical Devices**, jul. 2020.
- WANG, Binseng *et al.* Evidence-Based Maintenance Part I: Measuring Maintenance Effectiveness With Failure Codes. **Journal of Clinical Engineering**, v. 35, n. 3, p. 132-144, jul-set. 2010a.
- WANG, Binseng *et al.* Evidence-Based Maintenance Part II: Comparing Maintenance Strategies Using Failure Codes. **Journal of Clinical Engineering**, v. 35, n. 4, p. 223-230, out-dez. 2010b.
- WANG, Binseng. **Medical Equipment Maintenance: Management and Oversight**. Synthesis Lectures on Biomedical Engineering. Morgan & Claypool Publishers, 2012.
- WANG, L. *et al.* Review on Artificial Intelligence in Substation Operation and Maintenance Management. **Gaodiana Jishu/High Voltage Engineering**, v. 46, n. 1, p. 1-13, jan. 2020.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Medical equipment maintenance programme overview: WHO Medical device technical series**. Genebra: WHO, 2011.
- WYREBSKI, Jerzy. **Manutenção Produtiva Total: um modelo adaptado**. 1997. 135 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.
- XENOS, Harilaus Georgius D'Philippos. **Gerenciando a manutenção produtiva**. Belo Horizonte, MG: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998.

XENOS, Harilaus Georgius D'Philippos. **Gerenciando a manutenção produtiva**. 2. ed. Nova Lima: Editora FALCONI, 2014.

YAMAMOTO, T. *et al.* Automatic energy-saving operations system using robotic process automation. **Energies**, v. 13, n. 9, mai. 2020.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

YOUSEFLI, Zahra *et al.* Healthcare facilities maintenance management: a literature review. **Journal of Facilities Management**, v. 15, n. 4, p. 352-375, set. 2017.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO 1: QUESTÕES GERAIS

1. Há cerca de quantos equipamentos médicos no hospital?
2. Há uma equipe de Engenharia Clínica (EC) interna para o controle e planejamento das manutenções?
3. A manutenção é terceirizada ou realizada internamente? Se houver uma equipe de Engenharia Clínica, é essa mesma equipe que realiza a manutenção dos equipamentos médicos?
4. Como são estabelecidos os cronogramas de manutenção? Apontar como é a variação e emissão dos cronogramas: por setor, por família de equipamento etc.
5. Qual é (geralmente) a frequência de emissão desses cronogramas? (Eles são mensais, trimestrais...)

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO 2: QUESTÕES ESPECÍFICAS DIRECIONADAS AO RESULTADO DA PESQUISA

O objetivo inicial do estudo é analisar o histórico de incidência de falhas e os tipos de manutenções realizadas nos equipamentos. Mediante essa análise, realizar um estudo FMEA (Análise de Modo e Efeito de Falha) de um único equipamento (ou família de tal equipamento). Para isso as informações solicitadas primordialmente, são:

Obs.: Se preferível, as respostas podem ser organizadas em planilhas. Além disso, é apresentado em vermelho exemplos de como as respostas podem ser fornecidas, apenas para orientar o respondente.

1. Qual setor ideal para a aplicação? Apontar o setor com maior incidência de falhas dos equipamentos e de maior importância.

2. Quantas famílias de equipamentos há no setor? Apontar famílias.

Exemplo: Família 1 = Ventiladores Pulmonares

Família 2 = ...

3. Quantos equipamentos há em cada família? Apontar os respectivos equipamentos, conforme as famílias.

Exemplo: Família 1 = Ventiladores pulmonares – Equipamentos: XXX1, XXX2.

Família 2 = ... – Equipamentos: YYY1, YYY2.

4. Qual a média de horas diárias de funcionamento de cada um desses equipamentos?

Exemplo: Equipamento XXX1 = 12 horas

Equipamento XXX2 = 13 horas

5. Histórico de falhas (data da falha) de cada equipamento dessas famílias de pelo menos 3 anos. Apontar também o motivo da falha ou da quebra do equipamento (ex.: qual componente falhou).

Exemplo: Equipamento XXX1. Data: 11/05/2020. Motivo da falha: componente X falhou.

6. Ordens de Serviço de Manutenção Corretivas e Preventivas **emitidas** para tais equipamentos durante os 3 anos (apontar aqui qual tipo da Ordem de Serviço e a data de emissão).

Exemplo: OS Corretiva (cod X) – Data de emissão: 12/06/2020

OS Preventiva (cod Y) – Data de emissão: 13/06/2020

7. Ordens que foram **executadas** de fato, dentro do mesmo período de 3 anos (apontar aqui qual tipo da Ordem de Serviço, a data de execução e o tempo para a execução da manutenção).

Exemplo: OS Corretiva (cod X) – Data de execução: 25/10/2020. Tempo: 1 hora

OS Preventiva (cod Y) – Data de execução: 26/10/2020. Tempo: 30 minutos