



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

Curso de Engenharia Mecânica

JULIA GABRIELA PEREIRA DA SILVA

**PROPOSTA DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO PARA PONTES
ROLANTES COM BASE NOS CONCEITOS DA MANUTENÇÃO
CENTRADA NA CONFIABILIDADE**

SÃO LUÍS/MA

2018

JULIA GABRIELA PEREIRA DA SILVA

**PROPOSTA DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO PARA PONTES
ROLANTES COM BASE NOS CONCEITOS DA MANUTENÇÃO
CENTRADA NA CONFIABILIDADE**

Monografia de graduação apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Me. Moisés dos Santos Rocha

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO
FINAL DA MONOGRAFIA DEFENDIDA PELA
ALUNA JULIA GABRIELA PEREIRA DA
SILVA, E ORIENTADA PELO PROF. ME
MOISÉS DOS SANTOS ROCHA.

.....
ASSINATURA DO(A) ORIENTADOR(A)

SÃO LUÍS/MA

2018

i

Silva, Julia Gabriela Pereira da.

Proposta de um Plano de Manutenção para Pontes Rolantes com Base nos Conceitos da Manutenção Centrada na Confiabilidade / Julia Gabriela Pereira da Silva. – São Luís, 2018.

85 f.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão, 2018.

Orientador: Prof. Moisés dos Santos Rocha.

1.Confiabilidade. 2.Manutenção. 3.Pontes rolantes. 4.Disponibilidade. 5.Plano de manutenção. I.Título

CDU: 62-774.5:658.58

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E PRODUÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**Proposta de um Plano de Manutenção para Pontes Rolantes com Base nos
Conceitos da Manutenção Centrada na Confiabilidade**

Autora: Julia Gabriela Pereira da Silva

Orientador: Prof. Me. Moisés Santos Rocha

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Monografia:

Prof. Me. Moisés dos Santos Rocha, Presidente

Prof. Me. Maria Amália Trindade Castro

Prof. Me. Priscila Maria Barbosa Gadelha

São Luís/MA, 11 de dezembro de 2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois graças a Ele pude suportar todas as adversidades e conseguir concluir o que tanto desejei.

Agradeço à minha família, em especial ao meu filho, a minha mãe e a minha irmã por todo amor, apoio, excepcional confiança e complacência.

À Universidade Estadual do Maranhão por me ter proporcionado experiências enriquecedoras no âmbito acadêmico.

Aos meus colegas de estágio por toda paciência e ensinamento.

Ao meio orientador Me Moisés Santos Rocha pelo compartilhamento de conhecimento e suporte para que todos os objetivos deste presente trabalho pudessem ser realizados.

Finalmente, meus mais sinceros agradecimentos a todos meus amigos que estiveram ao meu lado durante toda a minha jornada.

“Matar o sonho é matarmo-nos. É mutilar nossa alma. O sonho é o que temos de realmente nosso, de impenetravelmente e inexpugnavelmente nosso.”

(Fernando Pessoa)

RESUMO

A Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) é uma metodologia aplicada aos itens físicos críticos de um sistema, e seu principal objetivo é fazer com que as funções dos equipamentos sejam mantidas dentro do contexto operacional. Este trabalho consiste na elaboração de um plano de manutenção com base nos conceitos da Manutenção Centrada na Confiabilidade, tendo como principal justificativa a redução de intervenções nos sistemas produtivos, aumentando assim sua disponibilidade para produção, e suas etapas foram divididas em: (i) revisão bibliográfica sobre os tipos de manutenção e, enfatizando a MCC; (ii) identificação dos sistemas e funções de uma ponte rolante; (iii) realização da FMECA, avaliando a criticidade das falhas e identificando as mais significantes que afetam a segurança, a disponibilidade ou custo de operação do equipamento; (iv) elaboração do plano de manutenção baseado na análise dos modos de falha de cada componente de uma ponte rolante, selecionando as atividades adequadas para cada falha. Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, o trabalho consiste em um estudo de caso, pois consiste no estudo detalhado dos modos de falhas de uma ponte rolante. O resultado do trabalho é um plano de manutenção elaborado através dos conceitos da MCC.

Palavras-chave: Confiabilidade; Manutenção; Pontes Rolantes; Disponibilidade; Plano de Manutenção.

ABSTRACT

Reliability Centered Maintenance (RCM) is a methodology applied to the critical physical items of a system, and its main purpose is to make the functions of the equipment maintained within the operational context. This work consists of the elaboration of a maintenance plan based on the concepts of Reliability Centered Maintenance, having as main justification the reduction of interventions in the production systems, thus increasing their availability for production, and their stages were divided into: (i) revision bibliography on the types of maintenance and, emphasizing RCM; (ii) identification of the systems and functions of a crane; (iii) implementation of the FMECA, evaluating the criticality of the faults and identifying the most significant ones that affect the safety, availability or cost of operating the equipment; (iv) preparation of the maintenance plan based on the analysis of failure modes of each component of a crane, selecting the appropriate activities for each failure. From the point of view of technical procedures, the work consists of a case study, since it consists of the detailed study of the failure modes of a crane. The result of the project is a maintenance plan elaborated through RCM concepts.

Keywords: Reliability; Maintenance; Overhead Cranes; Availability; Maintenance Plan.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Evolução do Conceito Manutenção	5
Figura 2.2 – As três Gerações da Manutenção	6
Figura 2.3 – Classificação da Manutenção	7
Figura 2.4 – Formulário de Documentação do Sistema	14
Figura 2.5 – Diagrama de um motor de partida direta.....	15
Figura 2.6 – Diagrama em blocos do transmissor e receptor do sistema OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)	16
Figura 2.7 – Sistema de alimentação de água.....	16
Figura 2.8 – Diagrama Funcional de um Condensador de Ar	17
Figura 2.9 – Curva P-F	19
Figura 2.10 – Propagação de Falhas	20
Figura 2.11 – Padrões de Falhas	20
Figura 2.12 – Função Densidade de Probabilidade Normal	24
Figura 2.13 – Função Densidade de Probabilidade Exponencial	25
Figura 2.14 – Função Densidade de Probabilidade de Weibull	26
Figura 2.15 – Diagrama Lógico de Seleção	28
Figura 2.16 Árvore Lógica de Decisão.....	29
Figura 2.17 - Determinação dos tipos de manutenção.....	30
Figura 2.18 – Exemplo de ponte rolante acionada por botoeira.....	32
Figura 2.19 Componentes de uma ponte rolante	32
Figura 2.20 – Ponte Rolante Univiga	35
Figura 2.21 – Ponte Rolante Dupla Viga.....	35
Figura 2.22 – Ponte Rolante Suspensa	36
Figura 3.1 – Tipos de pesquisas científicas	38
Figura 3.2 – Metodologia Proposta	42
Figura 3.3 – Etapas da Metodologia Utilizada para Elaboração do Trabalho	43
Figura 4.1 – Hierarquia dos Sistema de uma Ponte Rolante do Tipo Normal	45
Figura 4.2 – Hierarquia dos Componentes do Sistema de Translação de uma Ponte Rolante	46
Figura 4.3 – Hierarquia dos Componentes do Sistema de Translação do Carro de uma Ponte Rolante.....	46
Figura 4.4 – Hierarquia dos Componentes do Sistema de Elevação do Guincho de uma Ponte Rolante.....	47

Figura 4.5 – Hierarquia dos Componentes do Rádio de Controle de uma Ponte Rolante	47
Figura 4.6 – Sistemas Vitais para Funcionamento de uma Ponte Rolante	49
Figura 5.1 – Demonstração do Plano de Manutenção para Pontes Rolantes	50

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Justificativa	1
1.2	Objetivos	2
1.2.1	Objetivo Geral	2
1.2.2	Objetivos Específicos	3
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	4
2.1	Manutenção.....	4
2.2	Desenvolvimento da Manutenção.....	4
2.3	Classificação da Manutenção.....	6
2.3.1	Quanto à Programação.....	7
2.3.2	Quanto ao Objetivo.....	7
2.3.2.1	Manutenção Corretiva	8
2.3.2.2	Manutenção Preventiva	9
2.3.2.3	Manutenção Preditiva	9
2.3.2.4	Manutenção Proativa	10
2.3.2.5	Manutenção Produtiva.....	10
2.3.2.6	Manutenção Detectiva	10
2.4	Manutenção Centrada na Confiabilidade.....	11
2.4.1	Objetivos da MCC	11
2.4.2	Aplicações da MCC.....	12
2.4.3	Sequência de Implementação da MCC.....	12
2.4.4	Seleção do Sistema e Coleta de Informações	13
2.4.4.1	Descrição Textual do Sistema	14
2.4.4.2	Diagrama Esquemático.....	14
2.4.4.3	Diagrama de Blocos.....	15
2.4.4.4	Diagrama Organizacional	16
2.4.4.5	Diagrama Lógico Funcional	16
2.4.4.6	Contexto operacional	17
2.4.5	Definição de Funções	17
2.4.6	Falhas.....	18
2.4.6.1	Definição e Classificação das Falhas.....	18
2.4.6.2	Modos de Falha	19
2.4.6.3	Efeitos das Falhas	19

2.4.6.4	Padrões de Falha.....	20
2.4.6.6	FMEA.....	21
2.4.7.1	Distribuição normal.....	24
2.4.7.2	Distribuição Exponencial.....	25
2.4.7.3	Distribuição de Weibull.....	25
2.4.7.4	Taxa de Falhas.....	26
2.4.7.5	Tempo Médio Entre Falhas.....	26
2.4.7.6	Tempo Médio Entre Reparos.....	27
2.4.7.7	Disponibilidade.....	27
2.4.7.8	Confiabilidade.....	27
2.4.8	Seleção das Funções Significantes.....	28
2.4.9	Diagrama de Decisão para a Seleção das Tarefas de Manutenção.....	28
2.4.10	Periodicidade das Atividades.....	30
2.5	Plano de Manutenção.....	31
2.6	Pontes Rolantes.....	31
2.6.1	Componentes Principais de uma Ponte Rolante.....	33
2.6.1.1	Viga Principal.....	33
2.6.1.2	Carro Trolley.....	33
2.6.1.3	Cabeceiras.....	33
2.6.1.4	Caminho de rolamento.....	33
2.6.1.5	Talha elétrica.....	33
2.6.1.6	Rodas.....	34
2.6.2	Tipos de Ponte rolante.....	34
2.6.2.1	Ponte rolante do Tipo Apoiada.....	34
2.6.2.2	Ponte Rolante Suspensa.....	36
3	METODOLOGIA.....	37
3.1	A Pesquisa.....	37
3.1.1	Métodos de Pesquisa.....	39
3.1.2	Estudo de caso.....	41
3.2	Metodologia Proposta.....	42
4	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA.....	44
4.1	Preparação do Estudo.....	44
4.2	Identificação dos Sistemas.....	44
4.3	Composição dos Subsistema de uma Ponte Rolante.....	45

4.3.1	Sistema de Translação da Ponte	46
4.3.2	Sistema de Translação do Carro	46
4.3.3	Sistema de Elevação do Guincho	46
4.3.4	Rádio Controle.....	47
4.4	Análise dos Itens Físicos Críticos dos Subsistemas.....	47
4.5	Análise dos Modos de Falha	48
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
6	CONCLUSÕES.....	51
7	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	53
	REFERÊNCIAS	54
	ANEXO A – FORMULARIO FMECA	58
	APÊNDICE B – ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA, EFEITOS E CRITICIDADE DA TRANSLAÇÃO DO CARRO.....	59
	APÊNDICE C – ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA, EFEITOS E CRITICIDADE DA TRANSLAÇÃO DA PONTE.....	62
	APÊNDICE D – ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA, EFEITOS E CRITICIDADE DO IÇAMENTO DO GUINCHO	65
	APÊNDICE E – ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA, EFEITOS E CRITICIDADE DO RÁDIO DE CONTROLE.....	69
	APÊNDICE F – PLANO DE MANUTENÇÃO PARA PONTES ROLANTES	70

1 INTRODUÇÃO

A manutenção vem ganhando muita importância nos últimos anos, principalmente pelo maior fluxo de informações, onde existe uma constante modificação nos cenários produtivos mundiais, fazendo com que os ganhos com a produtividade, por menores que sejam, são obrigatórios para sua sobrevivência, A maior competição entre as empresas faz com que seja preciso produzir com mais qualidade sem aumentar os custos.

Através da maior produtividade e competitividade dos produtos, a produção mecanizada e automatizada vem garantindo à linha de produção um melhor produto, em grandes volumes a um custo cada vez mais reduzido. Esta mudança deve-se a máquinas mais potentes, mais velocidades e com custos maiores, onde só será possível este equipamento desempenharem seu papel quando tiverem o rendimento de suas funções básicas constantes sem afetar a segurança e o meio ambiente. Assim a qualidade de uma produção depende cada vez mais de um bom funcionamento dos equipamentos e de todas as instalações da produção, gerando um aumento significativo na tarefa da gestão industrial, resultando em uma busca intermitente na aplicação de novas tecnologias, metodologias e filosofias.

Segundo Moubray (2000), o objetivo da manutenção é assegurar que os itens físicos continuem a fazer o que seus usuários desejam que eles façam, ou seja, que mantenham sua capacidade funcional de operação. Ainda segundo Moubray, o velho paradigma da manutenção é otimizar a disponibilidade da planta a um mínimo custo e o novo paradigma da manutenção afeta todos os aspectos do negócio, como segurança, integridade ambiental, eficiência energética, qualidade do produto que são fatores que influenciam na disponibilidade da planta e em seus custos.

Para alcançar o crescimento de seu negócio, uma empresa deve manter a condição de seus ativos em um nível básico para a produção, visando minimizar custos e maximizar lucros. E é nesta visão que uma manutenção coerente e eficaz trabalha para manter os equipamentos disponíveis e atender a demanda é o foco.

1.1 Justificativa

Com base nos dados históricos, o cenário globalizado das indústrias, cobranças para o aumento e melhoria dos setores industriais com enfoque na competitividade, as organizações estão cada vez mais se cobrando e aperfeiçoando seus processos, para manter-se competitiva e

para que sobreviva no negócio. Esses processos produtivos estão cada vez substituindo a mão-de-obra por sistemas automatizado.

O uso de pontes rolantes, outrora tímido e específico, passou a ter grande importância dentro da área da produção. Os profissionais reconheceram a necessidade de se estabelecer um conceito bem definido de logística industrial, uma vez que começaram a compreender melhor o fluxo contínuo dos materiais, as relações tempo-estoque na produção e na distribuição e os aspectos de fluxo de caixa no controle de materiais.

A manutenção industrial surgiu para que fosse possível reestabelecer a função para qual o equipamento foi projetado.

A Manutenção Centrada na Confiabilidade veio para identificar os modos de falha de um determinado equipamento e, assim, realizar manutenções de acordo com o comportamento de cada subcomponente. Através da identificação do nível de confiabilidade dos equipamentos por meio da análise MCC, é possível diminuir a ocorrência de manutenções corretivas, uma vez que estas atuações geram atraso de produção e tem um alto custo.

Visando analisar a confiabilidade dos equipamentos estudados, de forma a obter uma maior disponibilidade desses, a MCC analisa como o equipamento pode falhar e define a melhor estratégia de manutenção com vistas a evitar a falha ou reduzir as perdas decorrentes das falhas (KARDEC e NASCIF, 2002).

1.2 Objetivos

Nessa seção são apresentados os objetivos do trabalho.

1.2.1 Objetivo Geral

Propor um plano de manutenção para os componentes de uma ponte rolante baseado na metodologia da Manutenção Centrada na Confiabilidade, afim de reduzir custos com manutenções corretivas e aumentar a disponibilidade e confiabilidade do equipamento.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Fazer a revisão de literatura envolvendo a problemática que envolve o tema;
- Identificar as sistemáticas utilizadas para a confecção de planos de manutenção de sistemas similares ao estudado;
- Aplicar as ferramentas da qualidade como auxílio na identificação das principais falhas e componentes críticos;
- Estabelecer o plano de manutenção ao sistema de pontes rolantes.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este referencial tem por objetivo fornecer um conhecimento sobre a história e evolução da Manutenção e a metodologia da Manutenção Centrada na Confiabilidade.

2.1 Manutenção

Os equipamentos que utilizamos, os produtos manufaturados que contribuem substancialmente para a qualidade de nossas vidas têm uma vida útil finita. Embora poucas vezes pensamos, a manutenção faz parte do cotidiano das empresas. A norma BS EN 13306 (2010) define manutenção como uma “combinação de todas as ações técnicas, administrativas e gerenciais durante o ciclo de vida de um item destinado a retê-lo ou restaurá-lo em um estado no qual ele possa executar a função necessária”. Em certo sentido, a manutenção pode ser vista como ações para compensar a falta de confiabilidade de um objeto de engenharia (BEN-DAYA; KUMAR; MURTHY, 2016). Esse processo requer gastos que devem ser adequadamente dimensionados, pois a falta ou o excesso de manutenções em um equipamento pode tornar um processo produtivo inviável, dessa forma a manutenção se torna uma etapa imprescindível e deve ser executada no momento exato (FONSECA et al., 2016)

Com o grande aumento no número e variedade de itens físicos, como instalações, equipamentos e ferramentas, a manutenção teve que evoluir para garantir o funcionamento de projetos de equipamentos e sistemas produtivos cada vez mais complexos (MENEZES; SANTOS; CHAVES, 2015).

2.2 Desenvolvimento da Manutenção

A manutenção surgiu desde que as pessoas começaram a satisfazer suas necessidades específicas através da fabricação de uma variedade de ferramentas e utilidades, e o reparo dessas ferramentas era necessário para dar continuidade ao uso (OPOCENSKA; HAMMER, 2015).

Após a Primeira Guerra Mundial as demandas das empresas aumentaram, exigindo mais produção das indústrias, ocasionando então a necessidade de se criar equipes para realizar reparos em máquinas no menor tempo possível, surgindo então os primeiros “Setores de Manutenção” (SOUZA, 2016). O Gráfico representado pela Figura 2.1 ilustra a evolução temporal da manutenção.

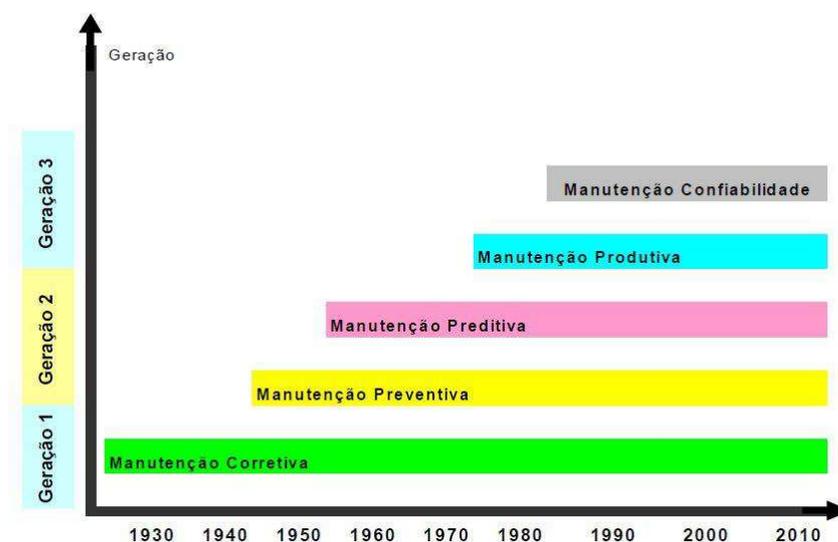


Figura 2.1 – Evolução do Conceito Manutenção (FREITAS, 2009)

A primeira geração terminou na Segunda Guerra Mundial. Neste período, a mecanização da indústria era ainda incipiente, utilizando equipamentos simples e sobredimensionados. Segundo SIQUEIRA (2012) a sociedade pouco dependia de seu desempenho, sendo reparados apenas quando apresentassem defeitos.

A segunda geração iniciou, aproximadamente, em 1950 e se estendeu até o ano de 1975 (SIQUEIRA, 2012). Enquanto a demanda por bens aumentou, a força de trabalho diminuiu drasticamente. O número de máquinas com construção complexa aumentou causando interrupções na produção. Tais fatores contribuíram para a implementação da manutenção preventiva, que consistiu em uma inspeção minuciosa e reparo do equipamento em intervalos especificados (OPOCENSKA; HAMMER, 2015). Com a manutenção preventiva prevalecendo, os custos operacionais e de manutenção começaram a subir. Afim de controlar esses custos, foram introduzidos sistemas de planejamento e gerenciamento de manutenção. (OPOCENSKA; HAMMER, 2015). Maior disponibilidade e vida útil a um baixo custo motivou o esforço científico de desenvolvimento de técnicas de manutenção preventiva. Deste esforço,

resultou o surgimento de técnicas de manutenção preditiva. (SIQUEIRA, 2012). Por volta dos anos 70, estas técnicas foram integradas pela Manutenção Produtiva Total (TPM – Total Productive Maintenance) (SOUZA, 2016).

A terceira geração surgiu com a dependência da sociedade aos processos industriais. A elevação de custos, de mão-de-obra e de capital, associados à concorrência em escala mundial, conduziram à prática do dimensionamento de equipamentos no limite da necessidade dos processos, aumentando a importância da manutenção (SIQUEIRA, 2012). Serviços como saúde, telecomunicação, energia, saneamento, etc., passaram a depender totalmente de processos automáticos. Coincidentemente, evoluiu a consciência da importância e preservação do meio ambiente, e da garantia de segurança para usuários de processos e produtos industriais, levando ao surgimento da metodologia MCC (SIQUEIRA, 2012).

A cada geração é notável que houve grandes mudanças quanto ao enfoque dado à manutenção, conforme ilustrado na Figura 2.2.

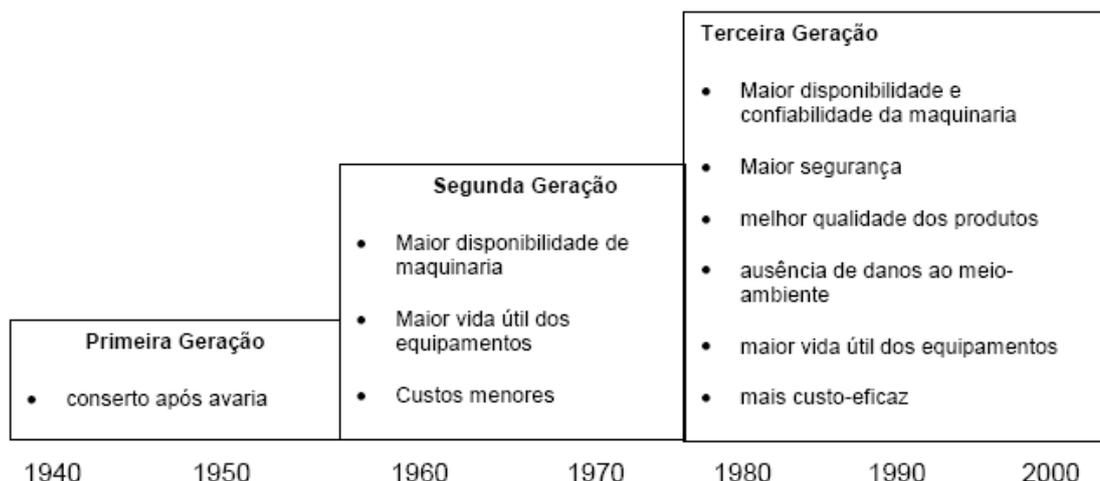


Figura 2.2 – As três Gerações da Manutenção (MOUBRAY, 2000)

2.3 Classificação da Manutenção

As atividades de manutenção são classificadas de acordo com a forma de programação e o objetivo das tarefas executadas. A Figura 2.3 ilustra como são subdivididas as classes, sobre esses aspectos.

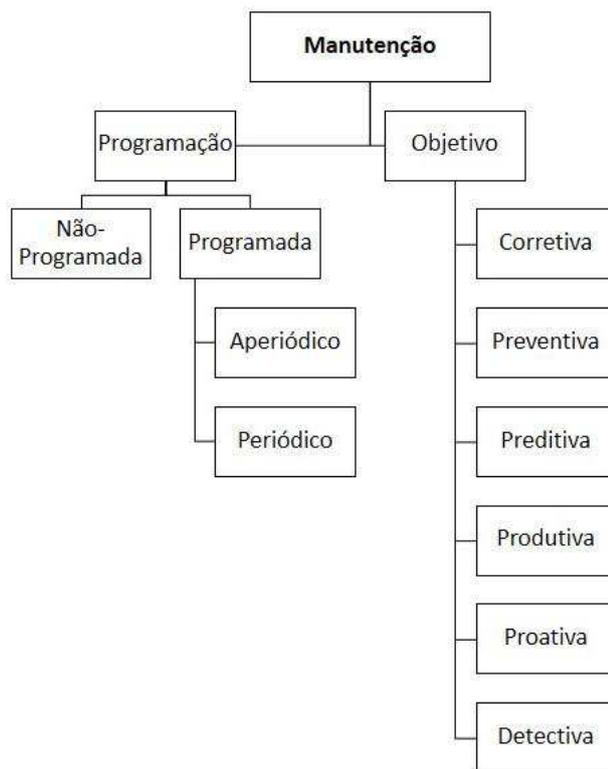


Figura 2.3 – Classificação da Manutenção (SIQUEIRA, 2012)

2.3.1 Quanto à Programação

Em relação à programação, as atividades de manutenção são classificadas como **Programada** e **Não-programada**, para designar, respectivamente as atividades executadas obedecendo a critérios de tempo e condições pré-definidas e as executadas em função da necessidade (SIQUEIRA, 2012). Ainda segundo Siqueira (2012), as manutenções programadas podem ser periódicas, se realizadas a intervalos fixos de tempo, ou aperiódicas, quando realizadas a intervalos variáveis, ou dependendo de oportunidade.

2.3.2 Quanto ao Objetivo

Os tipos de manutenção são também classificados de acordo com os usuários em relação as falhas. Siqueira (2012) classifica em seis categorias:

- Manutenção Corretiva;
- Manutenção Preventiva;
- Manutenção Preditiva;
- Manutenção Proativa;
- Manutenção Produtiva;
- Manutenção Detectiva.

2.3.2.1 Manutenção Corretiva

O termo manutenção corretiva é definido como a manutenção que é efetuada após a ocorrência de uma falha que impeça um determinado item de exercer sua função, onde seu objetivo é o de retornar à condição normal de funcionamento do mesmo (SOUZA, 2016).

Para Branco Filho (2008, p. 6), manutenção corretiva é “todo o trabalho de manutenção realizado em máquinas que estejam em falha, para reparar a falha. ”

Kardec, Nascif e Baroni (2002) dividem a manutenção corretiva em duas categorias: **Manutenção Corretiva Planejada** e **Manutenção Corretiva Não-planejada**.

a. Manutenção Corretiva Planejada

A manutenção corretiva planejada ocorre quando uma falha ou anomalia é detectada durante uma inspeção e a manutenção pode ser programada para um momento ótimo, desde que esta falha não afete a produção, meio ambiente ou ofereça risco a segurança das pessoas (SOUZA, 2016).

b. Manutenção Corretiva Não-planejada

A Manutenção Corretiva Não-planejada é a ação tomada para corrigir uma falha sem que haja uma programação, ou seja, de forma aleatória (KARDEC; NASCIF; BARONI, 2002). Não há tempo para preparação de componentes nem de planejar o serviço.

2.3.2.2 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva consiste em atividades de manutenção repetidas num certo intervalo que pode ser definido baseado em: tempo de calendário; número de horas trabalhadas, e número de partidas de um sistema qualquer (PALMER, 2000). Para Monchy (1989) a manutenção preventiva é uma intervenção de manutenção prevista, preparada e programada antes da data provável do aparecimento da falha.

A Manutenção Preventiva busca como objetivo a eliminação ou redução das falhas através de atividades como limpeza, lubrificação, substituição preventiva e verificação dos ativos em um tempo predeterminado (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

Segundo Wyrebski (1997) as vantagens da manutenção preventiva são:

- (i) Assegurar a continuidade do funcionamento dos equipamentos, parando apenas em manutenções programadas;
- (ii) Facilidade da empresa em cumprir os programas exigidos pela produção.

As desvantagens são

- (i) Necessita de um programa de manutenção bem estruturado;
- (ii) Exige uma equipe de manutenção bem treinada e eficaz nas atividades;
- (iii) Necessário um plano de manutenção;
- (iv) Substituição de peças antes do fim da vida útil das mesmas.

2.3.2.3 Manutenção Preditiva

De acordo com Viana (2002), a Manutenção Preditiva corresponde às atividades de manutenção preventivas que visam acompanhar os equipamentos, através de medições, monitoramento e controle estatístico, tendo o intuito de prever quando uma falha poderá ocorrer, buscando como objetivo determinar o tempo correto da manutenção, utilizando o máximo da funcionalidade do equipamento.

Como vantagens de um plano de manutenção preditiva tem-se um máximo aproveitamento da vida útil dos componentes ou equipamentos, menos intervenções, redução de manutenções corretivas e a programação antecipada das manutenções; porém as desvantagens são as necessidades de acompanhamento e inspeções periódicas, através de instrumentos específicos, ocasionando um aumento dos custos e necessidade de manutenção técnica especializada. (BRANCO FILHO, 2008; RAPOSO, 2004).

2.3.2.4 Manutenção Proativa

Segundo Siqueira (2012) na manutenção proativa a experiência é utilizada para otimizar o processo e o projeto de novos equipamentos, em uma atitude proativa de melhoria contínua.

2.3.2.5 Manutenção Produtiva

Manutenção produtiva, segundo Peruchi e Menegaz (2005) é um sistema de gestão que busca a eliminação contínua de todas as perdas do sistema produtivo, obtendo assim a evolução permanente da estrutura empresarial pelo constante aperfeiçoamento das pessoas, dos meios de produção e da qualidade dos produtos e serviços, ou seja, processo que tem por finalidade o estabelecimento de uma cultura empresarial, destinada à obtenção da maior eficiência possível no sistema da produção industrial como um todo.

2.3.2.6 Manutenção Detectiva

Manutenção detectiva é a atuação efetuada em sistemas de proteção buscando detectar falhas ocultas ou não-perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção (CURY NETTO, 2008). A identificação de falhas ocultas é primordial para garantir a confiabilidade. Em sistemas complexos, essas ações só devem ser levadas a efeito por pessoal da área de manutenção, com

treinamento e habilitação para tal, assessorado pelo pessoal de operação (CURY NETTO, 2008).

2.4 Manutenção Centrada na Confiabilidade

Ao final da década de 60, atendendo à solicitação do Departamento de Defesa Americano, F. Stanley Nowlan e Haword F. Heap que faziam parte de uma Força Tarefa na United Airlines, conhecida pela sigla MSG-1 (Maintenance Steering Group), desenvolveram um processo de manutenção com base em funções do sistema, consequência de falha e modos de falha. Este trabalho levou ao desenvolvimento da Reliability-Centered Maintenance (RCM), ou Manutenção Centrada na Confiabilidade, esta metodologia foi aplicada na indústria aeronáutica, posteriormente na marinha dos Estados Unidos (SIQUEIRA, 2012).

2.4.1 Objetivos da MCC

Para Siqueira (2012) a MCC deve determinar os requisitos de manutenção para modos de falha que possam causar falhas funcionais de quaisquer itens físicos em seu ambiente operacional.

Na MCC, determina-se o que deve ser feito para assegurar que um equipamento continue a cumprir suas funções no seu contexto operacional. A ênfase é determinar a manutenção preventiva necessária para manter o sistema funcionando, ao invés de tentar restaurar o equipamento a uma condição ideal. (LAFRAIA, 2001, P. 238)

Se antes a manutenção buscava preservar o equipamento, desativando-o, atuando em todos os itens e realizando tudo o que era possível ser feito, segundo Siqueira (2012), a MCC propõe:

- Preservar as funções dos equipamentos, com a segurança requerida;
- Restaurar sua confiabilidade e segurança projetada, após deterioração;
- Otimizar a disponibilidade;

- Minimizar o custo de vida (LCC – Life Cycle Cost);
- Atuar conforme os modos de falha;
- Realizar apenas as atividades que precisam ser feitas;
- Agir em função dos efeitos e consequências da falha;
- Documentar as razões para escolha das atividades.

A Tabela 2.1 compara as características principais da MCC com a manutenção tradicional.

Tabela 2.1 Comparação da manutenção Tradicional com a MCC (SIQUEIRA, 2012, p.17)

Característica	Manutenção Tradicional	MCC
Foco	Equipamento	Função
Objetivo	Manter o equipamento	Preservar a função
Atuação	Componente	Sistema
Atividades	O que pode ser feito	O que deve ser feito
Dados	Pouca ênfase	Muita ênfase
Documentação	Reduzida	Obrigatória e Sistemática
Metodologia	Empírica	Estruturada
Combate	Deterioração do equipamento	Consequência das falhas
Normalização	Não	Sim
Priorização	Inexistente	Por função

2.4.2 Aplicações da MCC

Siqueira (2005 apud SOUZA, 2016, p. 29) relata que foram vários benefícios percebidos através da MCC, principalmente pela indústria elétrica e nuclear, após vários testes a metodologia foi consolidada e adotada em vários setores produtivos como construção civil, indústria química, de refino e extração de petróleo, indústrias de gás, alimentação, mineração e até hospitais.

2.4.3 Sequência de Implementação da MCC

Para implementação da MCC, segundo Souza (2016), devem ser consideradas as seguintes perguntas: O quais as funções do equipamento? Quais falhas funcionais poderão

ocorrer? Quais são as prováveis consequências dessas falhas? O que pode ser feito para reduzir a probabilidade da falha, identificar o aparecimento da falha, ou reduzir as consequências da mesma?

Para Siqueira (2012) a MCC adota uma sequência estruturada, composta de sete etapas:

1. Seleção do Sistema e Coleta de Informações;
2. Análise de Modos de Falha e Efeitos;
3. Seleção de Funções Significantes;
4. Seleção de Atividades Aplicáveis;
5. Avaliação da Efetividade das Atividades;
6. Seleção das Atividades Aplicáveis e Efetivas;
7. Definição da Periodicidade das Atividades.

Em cada etapa são utilizadas ferramentas de modelagem ou análise de sistemas destinadas a responder e documentar os critérios e respostas a cada questão da MCC.

2.4.4 Seleção do Sistema e Coleta de Informações

Siqueira (2012) classifica essa etapa como sendo a primeira para implementação da MCC, onde o objetivo é identificar e documentar o sistema ou processo que será submetido à análise. Os produtos gerados ou analisados nessa etapa são:

- Descrição Textual do sistema;
- Caracterização das fronteiras e interfaces entre os subsistemas;
- Diagrama organizacional da hierarquia dos subsistemas e componentes;
- Diagrama funcional do sistema;
- Diagrama lógico funcional do sistema;
- Definição do contexto operacional.

Para documentação do sistema, Siqueira (2012) propõe um formulário que tem o objetivo de registrar a descrição do funcionamento, projeto e o contexto operacional do sistema. O formulário está apresentado na Figura 2.4.

Documentação do Sistema				
Unidade	Código	Facilitador	Data	Folha
Item	Código	Auditor	Data	De
Tipo				

Figura 2.4 – Formulário de Documentação do Sistema (SIQUEIRA, 2012, p. 30)

2.4.4.1 Descrição Textual do Sistema

A descrição é normalmente encontrada na documentação fornecida pelo fabricante, contendo as funções principais e secundárias, correlacionadas com os subsistemas do sistema principal (SIQUEIRA, 2012).

2.4.4.2 Diagrama Esquemático

O diagrama esquemático é uma representação gráfica da interligação dos componentes de um sistema (SOUZA, 2016). A Figura 2.5 mostra a interligação dos componentes do sistema de partida de um motor por de partida direta.

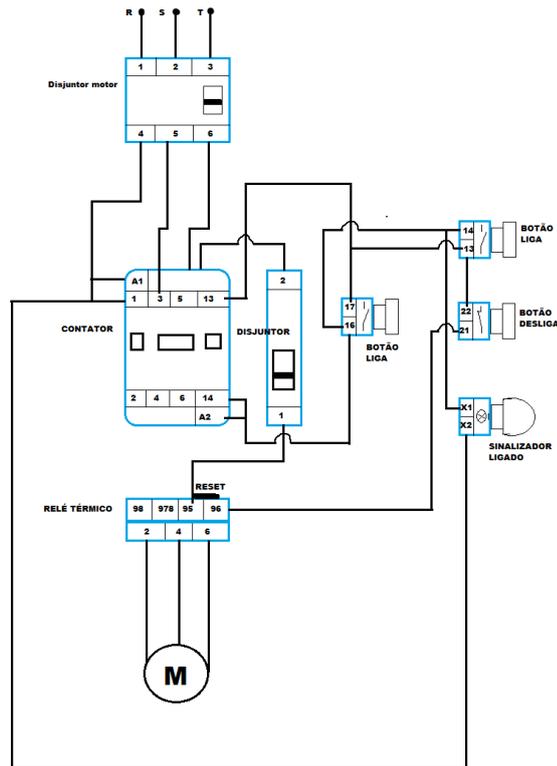


Figura 2.5 – Diagrama de um motor de partida direta (RAGEMG, 2018)

2.4.4.3 Diagrama de Blocos

Nos sistemas mais complexos, pode-se usar um Diagrama de Blocos para complementar o Diagrama Esquemático, facilitando a análise do processo, pois mostra as relações e interdependência dos subsistemas (SIQUEIRA, 2012). A Figura 2.6 ilustra um diagrama de blocos de um transmissor e receptor de um sistema OFDM.

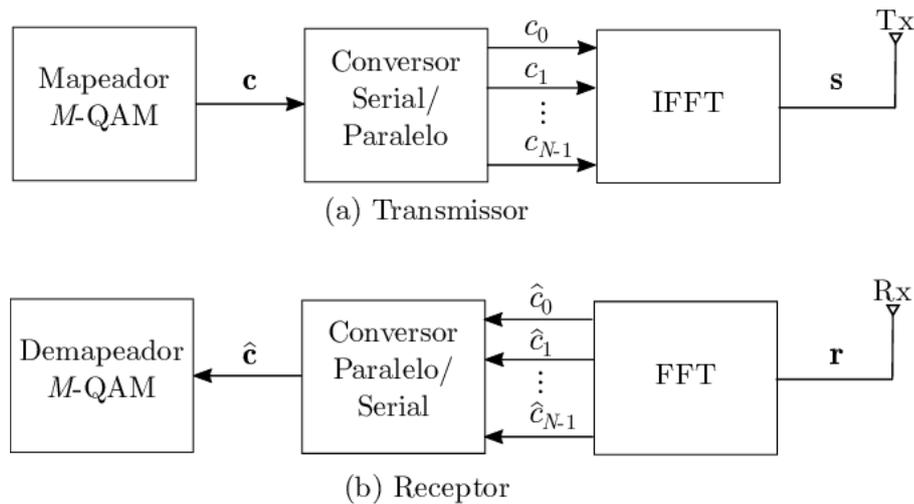


Figura 2.6 – Diagrama em blocos do transmissor e receptor do sistema OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) (AQUINO; BONOMINI, 2016)

2.4.4.4 Diagrama Organizacional

Sistemas de grande porte são, em geral, compostos por subsistemas, formando uma hierarquia de composição com vários níveis. Esse sistema é representado em forma de árvore, onde mostra o sistema principal como topo e abaixo os subsistemas como níveis mais baixos (SIQUEIRA, 2012). A Figura 2.7 ilustra a estrutura organizacional de um sistema de alimentação de água.

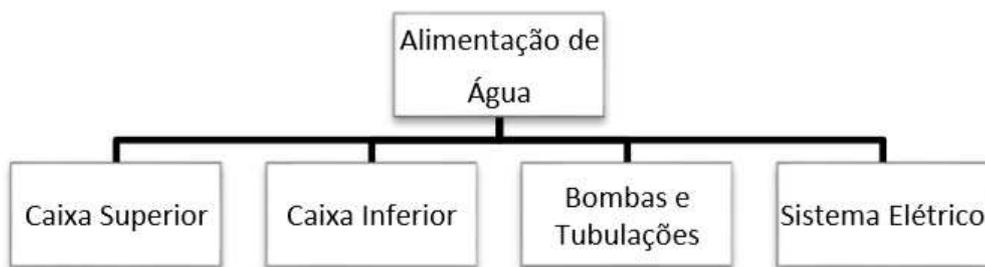


Figura 2.7 – Sistema de alimentação de água (SOUZA, 2016, p. 33)

2.4.4.5 Diagrama Lógico Funcional

Souza (2016) relata que estes diagramas são complementares aos diagramas organizacionais e representam o funcionamento do sistema ou subsistemas componentes, neste

diagrama são utilizadas as funções de cada equipamento ou parte do sistema e seus fluxos de entrada e saída. A Figura 2.8 ilustra um diagrama funcional de um condensador de ar.

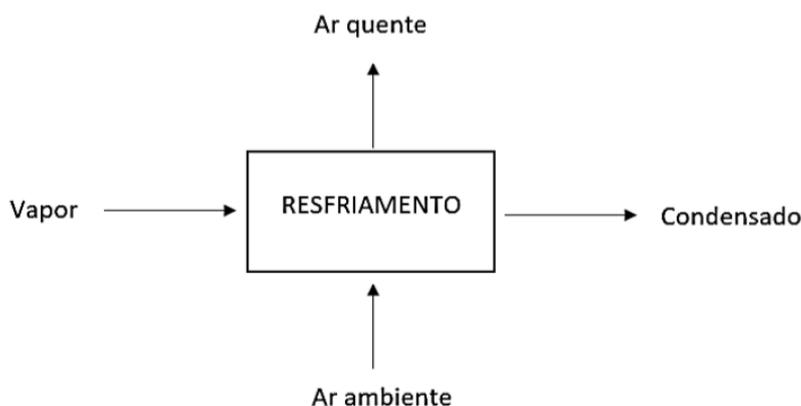


Figura 2.8 – Diagrama Funcional de um Condensador de Ar (SOUZA, 2016, p. 34)

2.4.4.6 Contexto operacional

Segundo Siqueira (2012) o contexto operacional refere-se às condições específicas do ambiente físico e do processo, as quais podem modificar, ou mesmo definir, as funções desejadas para o sistema, dentro dos objetivos do negócio. Devem ser considerados alguns aspectos específicos na descrição do contexto operacional como: (i) impacto nos negócios; (ii) processo operacional (se é em fluxo contínuo, intermitente ou sob demanda); (iii) os padrões de qualidade; (iv) padrões ambientais; (v) padrões de segurança; (vi) teatro de operações; (vii) intensidade de operações; (viii) redundância; (ix) estoques intermediários; (x) sobressalentes e (xi) oferta e demanda do mercado (SIQUEIRA, 2012).

2.4.5 Definição de Funções

Para Siqueira (2012, p. 41): “função é o que o usuário deseja que o item ou sistema faça dentro de um padrão de performance especificado”.

As funções podem ser divididas em funções principais e funções secundárias. As funções principais estão associadas ao motivo da aquisição do ativo, já as secundárias podem ser

divididas em: (i) integridade ambiental; (ii) segurança/integridade estrutural; (iii) controle, contenção e conforto; (iv) aparência; (v) economia e eficiência; e (vi) supérfluas (MOUBRAY, 2000).

2.4.6 Falhas

Definidas e documentadas as funções do sistema, a próxima etapa é análise dos modos de falha e seus efeitos (SIQUEIRA, 2012).

2.4.6.1 Definição e Classificação das Falhas

Para Siqueira (2012, p. 51): “Uma falha nada mais é que a interrupção da capacidade de um item desempenhar sua função requerida ou esperada”. As falhas podem ser classificadas em: (i) extensão; (ii) manifestação; (iii) criticidade; (iv) velocidade; (v) idade e (vi) origem. Porém para o estudo da MCC as falhas são classificadas pelo efeito provocado na função do sistema no qual estas pertencem: Falha Funcional e Falha Potencial.

A falha funcional acontece quando um determinado item é incapaz de realizar sua função dentro do que é esperado pelo usuário, de acordo com sua visibilidade ainda podem ser divididas em: (i) evidente, quando é detectada pelo próprio operador; (ii) oculta, quando não é detectada pelo operador e (iii) múltipla, quando ocorre uma sequência de uma oculta, seguida de uma evidente (SOUZA, 2016).

A falha potencial é identificada como uma condição iminente de uma falha funcional, levando em consideração que muitas falhas não acontecem repentinamente, mas através de uma evolução ao longo do tempo (MOUBRAY, 1997). A Figura 2.9 mostra a relação de falha potencial (P) e a falha funcional (F) onde, o intervalo P-F representa o ponto onde a falha pode ser detectada até sua ocorrência (MOUBRAY, 2000).

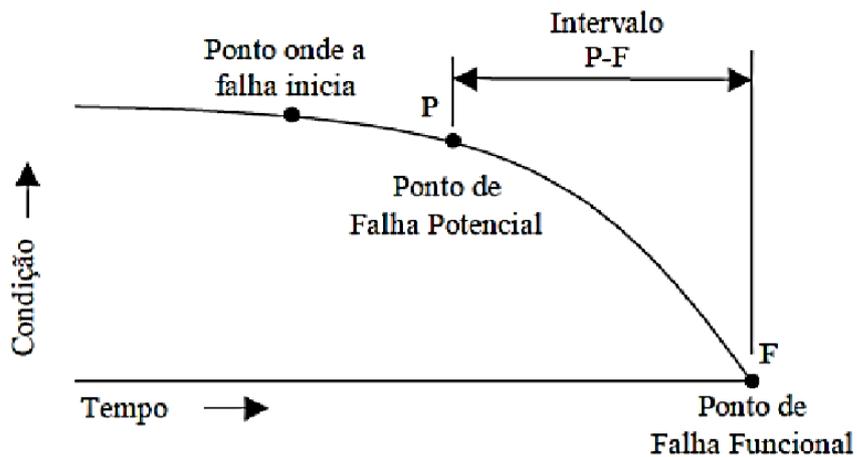


Figura 2.9 – Curva P-F (MOUBRAY, 2000, p. 144)

2.4.6.2 Modos de Falha

Siqueira (2012) descreve modo de falha como um evento ou condição física que causa uma falha funcional. Todos os modos de falha devem ser identificados, possibilitando assim prever um determinado evento e quando o mesmo ocorre, avaliando seu impacto no sistema podendo ser tomada uma posterior ação corretiva ou preventiva (MOUBRAY, 1997).

2.4.6.3 Efeitos das Falhas

Segundo Siqueira (2005) um efeito é observado após a ocorrência de um modo de falha, através do seu estudo é possível identificar o impacto que um modo de falha pode causar nas funções do sistema. Este efeito não deve ser confundido com o sintoma da falha, pois o sintoma é uma manifestação que antecede a falha. A Figura 2.10 ilustra que uma falha ocorrida na Bomba Central de um sistema de um helicóptero pode afetar o subsistema Bombas 11A, que por sua vez afetará o Sistema Hidráulico com uma possível perda da funcionalidade de todo o sistema do Helicóptero (SIQUEIRA, 2012).

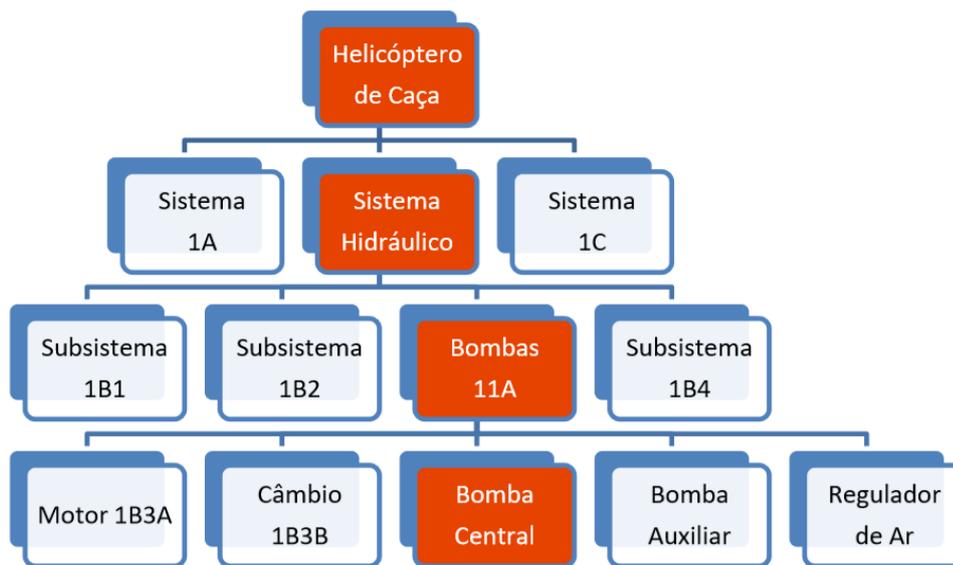


Figura 2.10 – Propagação de Falhas (SIQUEIRA, 2012, p. 96)

2.4.6.4 Padrões de Falha

As falhas apresentam algumas características que as diferem, este comportamento pode ser observado através da taxa de falhas. A constatação de que diferentes padrões de falhas provocam diferentes comportamentos dos equipamentos ao longo da vida útil, constituiu o ponto de partida da metodologia MCC (SIQUEIRA, 2012). A Figura 2.11 apresenta a taxa de falhas em relação ao tempo, elas se classificam em seis tipos básicos de curvas: Tipos A, B, C, D, E e F.

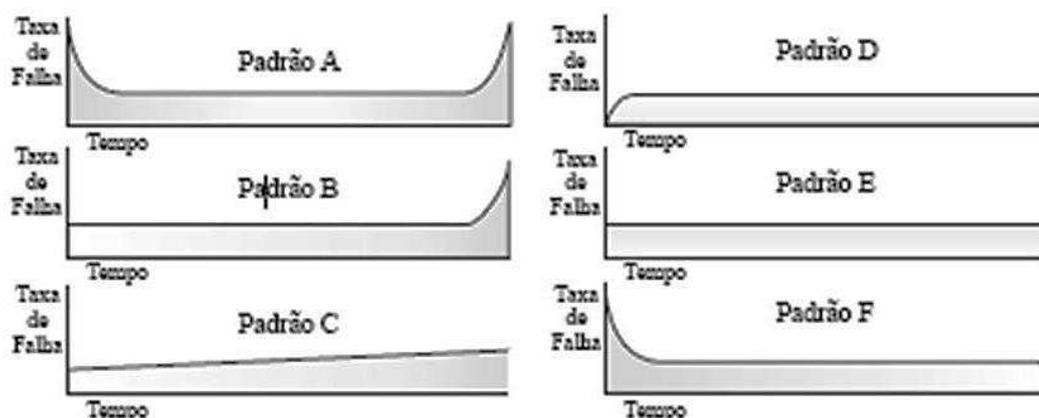


Figura 2.11 – Padrões de Falhas (SIQUEIRA, 2012, p. 79)

O tipo A é conhecido como Curva da Banheira onde é dividida em três regiões, a primeira representa a probabilidade de falha decrescente, ocorrendo as falhas por mortalidade infantil, a segunda representa a probabilidade de falha constante e aleatória, a terceira representa a probabilidade de falha crescente, no fim da vida útil do componente, ocorrendo as falhas por desgaste ou fadiga (SIQUEIRA, 2005).

O tipo B apresenta inicialmente uma probabilidade de falha constante e no fim da vida útil do componente uma probabilidade crescente de falhas. O tipo C apresenta um aumento da taxa de falhas gradual, não existindo uma região definida de desgaste. O tipo D apresenta uma pequena taxa de falhas no início da vida útil do equipamento e após esta taxa se estabiliza em um nível constante. O tipo E apresenta uma taxa de falhas aleatória onde a probabilidade é constante. O tipo F apresenta uma probabilidade de falhas maior no início da vida útil do equipamento seguido de um nível constante, podendo também apresentar um aumento lento e gradual (SOUZA, 2016).

2.4.6.5 Documentação de Falhas

Segundo Siqueira (2012) a MCC recomenda a documentação sistemática das falhas possíveis em um sistema, em uma forma permanente e auditável. O FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) tornou-se o procedimento padrão na indústria para definir e documentar todos os modos de falhas potenciais em um sistema.

2.4.6.6 FMEA

FMEA (Análise de Modos de Falha e Efeitos) é um método utilizado para o estudo dos modos de falha dos sistemas e seus componentes, projetos e processos e os efeitos que estes modos de falha proporcionam (SAKURADA, 2001 apud SOUZA, 2016, p. 42).

No FMEA é abordado cada função do sistema e seus modos de falha predominantes associados a cada falha, após são examinadas todas as consequências das falhas para determinar quais têm efeitos sobre a missão ou operação, no sistema e na máquina (SOUZA, 2016).

O objetivo deste método é aumentar a confiabilidade do item ou sistema analisado diminuindo a probabilidade de falha do produto ou processo durante sua operação, para a eficácia deste método se faz necessário alguns itens como: (i) Planejamento do FMEA; (ii) Lista

dos modos de falha, causas e efeitos; (iii) Seleção dos modos de falha mais importantes; (iv) Interpretação dos resultados e (v) acompanhamento das ações necessárias (PALADY, 2004).

Quando se faz necessário um estudo mais detalhado do sistema e dependendo da dimensão deste sistema pode ser aplicado uma variante desta metodologia, o FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis) ou Análise dos Modos de Falha, Efeitos e Criticidade que é utilizado para identificação dos modos de falha críticos (SIQUEIRA, 2005).

Segundo Lafraia (2001) no FMECA na análise de criticidade é calculado o Risco que uma falha potencial possa trazer consequências para o sistema, usuários ou ao meio. No FMECA estes riscos podem ser quantificados pelo conceito do RPN (Risk Priority Number – Número de Prioridade de Risco), o RPN pode ser calculado através da Equação 2.1.

$$\text{RPN} = \text{Ocorrência} \times \text{Detecção} \times \text{Severidade} \quad (2.1)$$

Deve ser feita uma estimativa das probabilidades de ocorrência das causas da falha utilizando os dados obtidos de fornecedores, manuais técnicos, históricos de manutenção, entre outros. A probabilidade de detecção é o índice que representa as chances de as falhas afetarem o sistema. A severidade dos efeitos representa a gravidade do efeito da falha para o cliente (LAFRAIA, 2001).

Lafraia (2001) sugere uma escala com ranking de 1 a 10 para a Ocorrência, Detecção e Severidade, que são apresentados nos Quadros 2.1, 2.2 e 2.3 respectivamente.

Quadro 2.1 – Probabilidade de Ocorrência da Falha. (LAFRAIA, 2001, p. 112).

Probabilidade de Ocorrência		
Probabilidade de Falha	Ranking	Taxa de Falhas
Remota: A falha é improvável	1	< 1 em 10 ⁶
	2	1 em 20000
Baixa: Relativamente poucas falhas	3	1 em 4000
	4	1 em 1000
	5	1 em 400
Moderada: Falhas ocasionais	6	1 em 80
	7	1 em 40
	8	1 em 20
Alta: Falhas repetitivas	9	1 em 8
	10	1 em 2

Quadro 2.2 – Probabilidade de Detecção (LAFRAIA, 2001, p. 113).

Probabilidade de Detecção	
Probabilidade	Ranking
Muito Alta: A falha será certamente detectada durante o processo de projeto / fabricação / montagem / operação	1
	2
Alta: Boa chance de determinar a falha	3
	4
Moderada: 50% de chance de determinar a falha	5
	6
Baixa: Não é provável que a falha seja detectável	7
	8
Muito Baixa: A falha é muito improvavelmente detectável	9
Absolutamente indetectável: A falha não será detectável com certeza	10

Quadro 2.3 – Índice de Severidade. (LAFRAIA, 2001, p. 112).

Severidade	
Severidade das Consequências	Ranking
Marginal: A falha não teria efeito real no sistema. O cliente provavelmente nem notaria a falha	1
	2
Baixa: A falha causa apenas pequenos transtornos ao cliente. O cliente notará provavelmente leves variações no desempenho do sistema	3
	4
Moderada: A falha ocasiona razoável insatisfação no cliente. O cliente ficará desconfortável e irritado com a falha. O cliente notará razoável deterioração no desempenho do sistema	5
	6
Alta: Alto grau de insatisfação do cliente. O sistema se torna inoperável. A falha não envolve riscos à segurança operacional ou o descumprimento de requisitos legais	7
	8
Muito Alta: A falha envolve riscos à operação segura do sistema e/ou descumprimento de requisitos legais	9
	10

Podem ser utilizadas as ferramentas FMEA e FMECA dependendo de cada particularidade e dimensão do sistema, o ANEXO A apresenta um exemplo de um formulário FMECA (LAFRAIA, 2001).

2.4.7 Distribuições Estatísticas e Cálculos utilizados na MCC

No estudo da MCC e dos mecanismos de falhas são utilizadas distribuições estatísticas para melhor compreensão e identificação das mesmas, a seguir serão abordadas algumas principais como as distribuições normal, exponencial e Weibull, juntamente com os cálculos aplicados à metodologia.

2.4.7.1 Distribuição normal

A distribuição Normal é o modelo mais utilizado quando se trata de variáveis aleatórias, estas variáveis com diferentes médias e variâncias utilizam funções densidades de probabilidade. A Equação 2.2 representa a fórmula para as funções densidades de probabilidade normal (MONTGOMERY; RUNGER, 2012).

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad -\infty < x < \infty \quad (2.2)$$

Na equação 2.2 a variável aleatória é representada pela letra “x”, a média da população é representada pela letra “x” e o desvio padrão pela letra “σ”. O Gráfico representado pela Figura 2.12 ilustra a função densidade da probabilidade da distribuição normal.

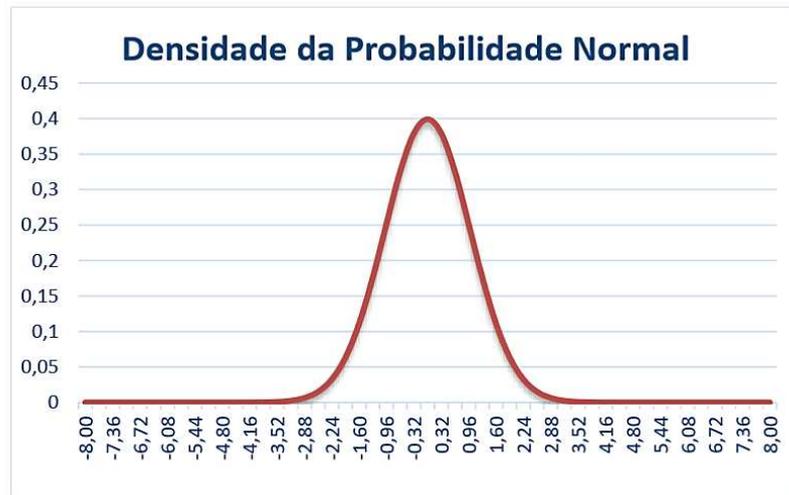


Figura 2.12 – Função Densidade de Probabilidade Normal (SOUZA, 2016)

2.4.7.2 Distribuição Exponencial

Segundo Lafraia (2001, p. 33) “a distribuição exponencial descreve sistemas com taxa de falhas constante”. E sua função densidade da probabilidade de uma variável independente “x” é dada pela Equação 3.3, onde λ representa a taxa de falhas (LAFRAIA, 2001).

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \text{ para } 0 \leq x < \infty, \lambda > 0 \quad (2.3)$$

Um exemplo da aplicação da função densidade de probabilidade é apresentada no Gráfico representado pela Figura 2.13 para diferentes valores de λ .

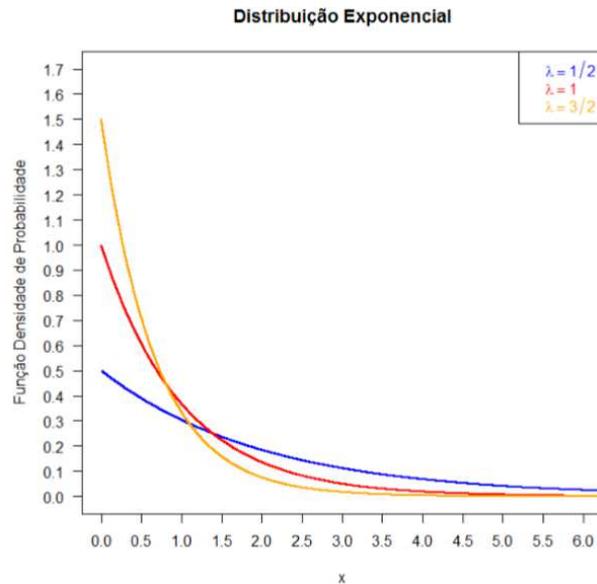


Figura 2.13 – Função Densidade de Probabilidade Exponencial (SOUZA, 2016)

2.4.7.3 Distribuição de Weibull

A distribuição de Weibull é utilizada na modelagem do tempo até a falha de sistemas físicos diferentes. Essa distribuição fornece flexibilidade na modelagem de sistemas onde o número de falhas é crescente com o tempo, como por exemplo o desgaste de um rolamento, falhas decrescentes com o tempo, como exemplo semicondutores; e falhas constantes (MONTGOMERY; RUNGER, 2012).

Sua função densidade de probabilidade é expressa pela equação 2.4, o Gráfico representado na figura 2.14 apresenta a representação gráfica desta função; “x” representa uma variável aleatória, “δ” representa o parâmetro de escala e “β” representa o parâmetro de forma.

$$f(x) = \frac{\beta}{\delta} \left(\frac{x}{\delta}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\delta}\right)^\beta\right] \quad \text{para } x > 0, \beta > 0, \delta > 0 \quad (2.4)$$

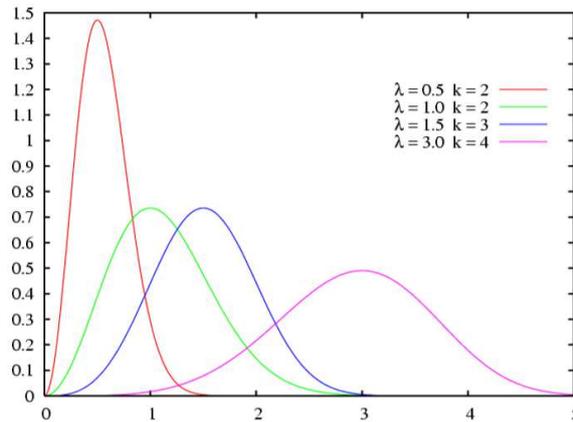


Figura 2.14 – Função Densidade de Probabilidade de Weibull (SOUZA, 2016)

Para um melhor controle e análise dos dados é importante definir alguns indicadores, dentre estes será dado um enfoque na Disponibilidade, pois será o principal indicador deste trabalho, a seguir serão abordados os cálculos necessários relacionados a este indicador.

2.4.7.4 Taxa de Falhas

Segundo a NASA (2008) é a relação em que as falhas ocorrem em um determinado intervalo de tempo. Esta taxa é expressa pela Equação 2.5.

$$\lambda = \frac{\text{Número de Falhas}}{\text{Total de horas em operação}} \quad (2.5)$$

2.4.7.5 Tempo Médio Entre Falhas

O Tempo Médio Entre Falhas (TMEF) ou do inglês Mean Time Between Failures (MTBF) representa o inverso da taxa de falhas (LAFRAIA, 2001). Sua expressão matemática é dada pela equação 2.6, onde “λ” representa a taxa de falhas.

$$TMEF = \frac{1}{\lambda} \quad (2.6)$$

2.4.7.6 Tempo Médio Entre Reparos

O Tempo Médio Para Reparo (TMPR) ou do inglês *Mean Time to Repair (MTTR)* é o intervalo de tempo médio para retornar à condição de operação do sistema após a ocorrência de uma falha (DHILLON, 1982). A Equação 2.7 apresenta a expressão matemática.

$$TMPR = \frac{\sum \text{tempos de reparo} \times \text{taxa de falha}}{\sum \text{taxa de falhas}} \quad (2.7)$$

2.4.7.7 Disponibilidade

Para Raposo (2004) disponibilidade é a probabilidade de um item, componente ou sistema estar disponível operacionalmente em um determinado tempo, também pode ser representada pela razão entre o tempo em que o sistema estava disponível para funcionamento e o tempo total.

O termo disponibilidade é a proporção do tempo disponível para o equipamento cumprir suas funções e o tempo total em relação ao tempo (NEPOMUCENO, 1989).

Sua expressão matemática (dada em percentual), onde a taxa de falha e a taxa de reparo são constantes, é apresentada pela Equação 2.8.

$$D = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} \quad (2.8)$$

2.4.7.8 Confiabilidade

De acordo com Lafraia (2001, p. 11) confiabilidade é a “probabilidade de que um componente, equipamento ou sistema exercerá sua função sem falhas, por um período de tempo previsto, sob condições de operação especificadas”.

É a probabilidade de sobrevivência de um item em um determinado período de funcionamento, sob condições específicas e sem falhas (NASA, 2008).

2.4.8 Seleção das Funções Significantes

No processo de decisão das tarefas de manutenção são priorizadas algumas funções significantes, onde são avaliadas a natureza do seu impacto no processo, são utilizados os seguintes critérios: (i) meio ambiente e segurança operacional; (ii) operação do sistema e (iii) aspectos econômicos (NAVSEA, 2007).

Na MCC é utilizado uma lógica de seleção das funções significantes, que leva em consideração os critérios apresentados acima e também a existência de atividades de manutenção para a falha funcional (SIQUEIRA, 2005). Esta lógica é representada pela Figura 2.15.

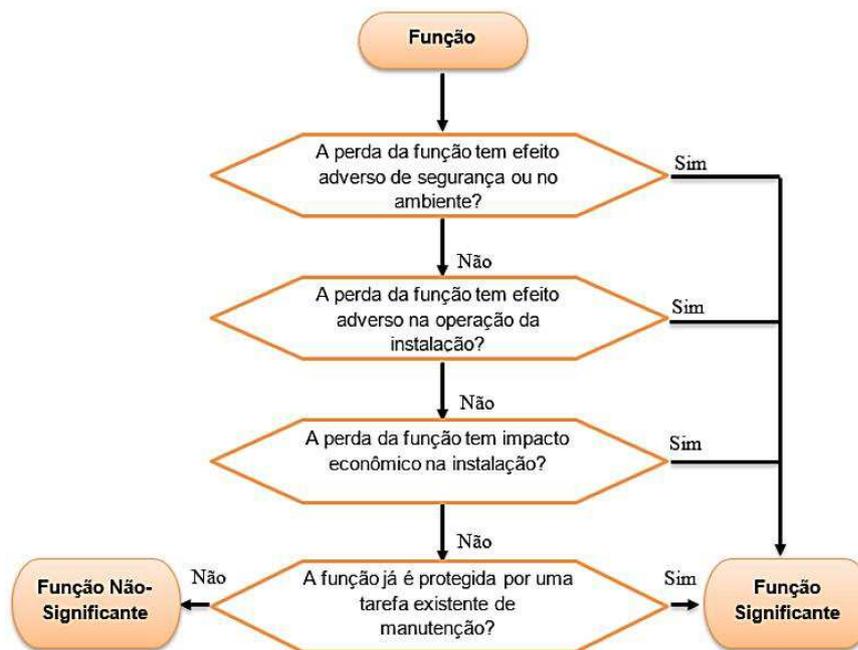


Figura 2.15 – Diagrama Lógico de Seleção (SIQUEIRA, 2005, p.112)

2.4.9 Diagrama de Decisão para a Seleção das Tarefas de Manutenção

Segundo Zaions (2003) esta é a etapa que possibilita a seleção das atividades de manutenção aplicáveis ao equipamento e que fornecerão um retorno financeiro frente aos recursos investidos no ativo.

Os efeitos das falhas podem ser avaliados de acordo com a Figura 2.16 que ilustra uma Árvore Lógica de Decisão, que permite classifica-las em: Visível ao operador, onde podem ter

influência na segurança ou meio ambiente, no nível operacional e de produção, no desempenho econômico; ou ocultas (LAFRAIA, 2001).

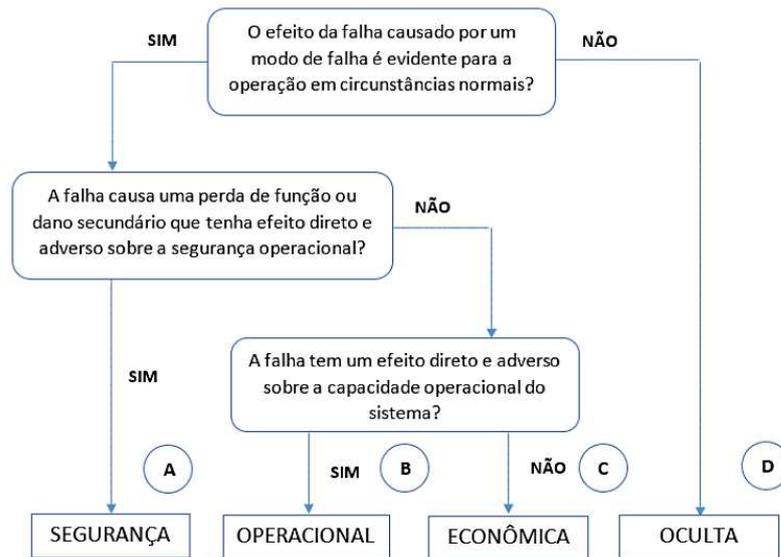


Figura 2.16 Árvore Lógica de Decisão (LAFRAIA, 2001, p. 268)

Os diagramas de decisão também auxiliam na escolha das tarefas de manutenção mais adequadas para cada tipo de efeito de falha, conforme pode ser observado na Figura 2.17.

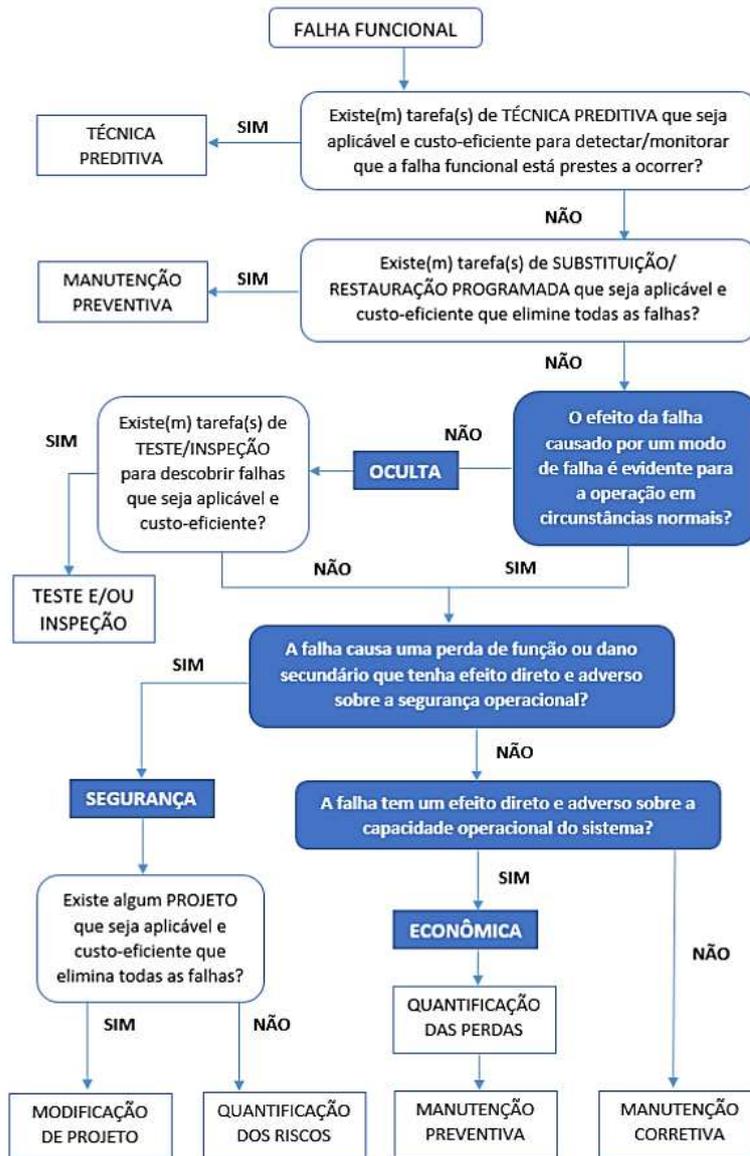


Figura 2.17 Determinação dos tipos de manutenção (LAFRAIA, 2001, p. 272)

2.4.10 Periodicidade das Atividades

De acordo com Smith (1993) deve ser feita uma análise detalhada em todo processo físico e materiais e suas mudanças ao longo do tempo, pois estas afetam diretamente os modos de falha, onde é realizado toda análise estatística, como por exemplo a taxa de falhas.

Não há um método específico para análise e decisão da periodicidade das atividades de manutenção, a própria empresa deve definir o modelo que mais se aplica a seu processo (SIQUEIRA, 2005).

Para Backlund (2003) a escolha da periodicidade das atividades deve ser baseada em métodos estatísticos, experiência de especialistas e dados já existentes da empresa.

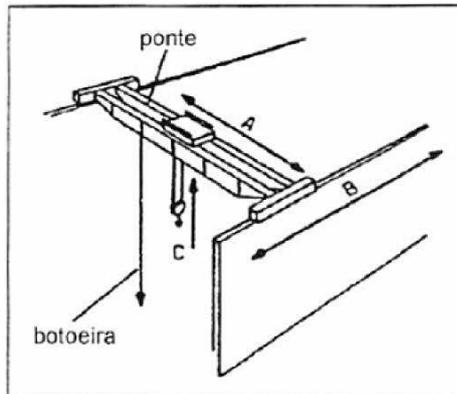
2.5 Plano de Manutenção

Para construir um plano de manutenção ideal, deve-se observar alguns fatores restritivos, como a capacidade da equipe de manutenção, a necessidade do equipamento junto à produção e a solicitação do equipamento por manutenção através da identificação da capacidade potencial das instalações e a lucratividade disponível, estabelecendo indicadores de desempenho que os representem (OHTA, 2013). Ao invés de simplesmente executar uma melhora no desempenho da manutenção, determinaremos indicadores e metas que permitam alinhar o desempenho dos equipamentos ao planejamento estratégico da empresa, determinando o trabalho necessário para garantir o desempenho dos equipamentos dentro das metas determinadas. A base de um bom sistema de manutenção é um bom plano de manutenção (OHTA, 2013).

Outro ponto importante é determinar e estabelecer as rotinas com o intuito de disponibilizar os recursos necessários para viabilizar a execução do plano de manutenção. Estas rotinas devem garantir o Planejamento, a Preparação, a Programação, a Execução e o Controle da Manutenção.

2.6 Pontes Rolantes

As pontes rolantes são equipamentos destinados para deslocar de maneira horizontal e vertical cargas, equipamentos e qualquer outro material dentro de um espaço físico pré-determinado em instalações industriais ou canteiros de obras. São chamados por este nome pelo fato de serem constituídas basicamente de uma viga principal apoiada em cada extremidade por apoios rolantes que se deslocam sobre dois trilhos elevados e paralelos, afastados um do outro, com comprimento aproximado da viga (OHTA, 2013). A Figura 2.18 ilustra os movimentos executados por uma ponte rolante.



A – movimento transversal
 B – movimento longitudinal
 C – movimento vertical

Figura 2.18 – Exemplo de ponte rolante acionada por botoeira (OTHA, 2013, p. 43)

O movimento longitudinal é feito pelas rodas sobre os trilhos. Já o deslocamento transversal do carro sobre a ponte e o movimento ascendente ou descendente é realizado pelo enrolamento ou desenrolamento do cabo de aço ou corrente no tambor, como é explicado na Figura 2.19.

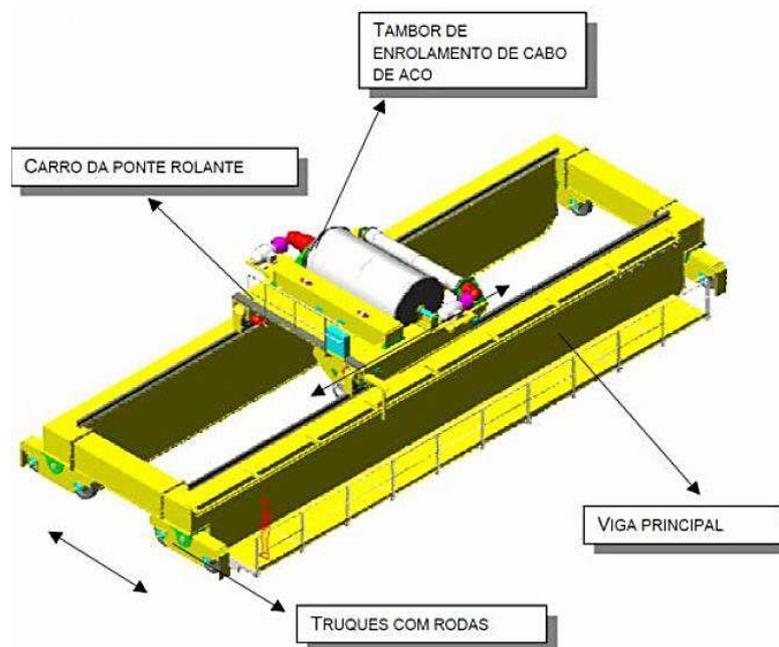


Figura 2.19 Componentes de uma ponte rolante (OTHA, 2013, p. 44)

2.6.1 Componentes Principais de uma Ponte Rolante

As pontes rolantes possuem vários componentes com determinadas funções são eles: viga principal, cabeceiras, caminho de rolamento, carro trolley e rodas (ASME, 2011).

2.6.1.1 Viga Principal

É a principal estrutura da ponte e a primeira a ser dimensionada pelo projetista. É nela que o conjunto trole e talha se movimentam, e onde se concentra um grande esforço fletor e cisalhante (OHTA, 2013).

2.6.1.2 Carro Trolley

Equipamento responsável pelo movimento vertical e horizontal da carga. Possui uma talha que permite o levantamento do material, um tambor para recolhimento do cabo de aço e um gancho na extremidade do cabo de aço para fixação da carga (CMAA, 2002).

2.6.1.3 Cabeceiras

As cabeceiras estão localizadas nos extremos da viga principal. Nelas estão as rodas, responsáveis pelo movimento da viga principal da ponte rolante, que por sua vez deslizam sobre o caminho de rolamento (CMAA, 2002).

2.6.1.4 Caminho de rolamento

É a base por onde as cabeceiras se movem. Esse caminho é construído por vigas ou trilhos fixados por solda, em alguns casos particulares por concreto. Em pórticos esse caminho é feito no chão, e em pontes rolantes é apoiado sob os pilares (CMAA, 2002).

2.6.1.5 Talha elétrica

A talha é o equipamento responsável pelo içamento e locomoção da carga em uma direção. É constituída basicamente por um motor fixado a uma estrutura, um tambor para o movimento do cabo de aço, um gancho para fixar a carga, o cabo de aço, e um sistema de controle de operação (ASME, 2011).

2.6.1.6 Rodas

Acopladas nas cabeceiras geralmente são fabricadas de aço e variam de acordo com as dimensões do trilho no qual irão se movimentar. Contém uma aba lateral que impede com que a cabeceira saia dos trilhos (ASME, 2011).

2.6.2 Tipos de Ponte rolante

Segundo Gobbo (2017), as pontes rolantes podem ser classificadas com base em suas características construtivas, e são subdivididas em:

- 1 Apoiada
 - a) Univiga
 - b) Dupla-viga
- 2 Suspensa
- 3 De console

2.6.2.1 Ponte rolante do Tipo Apoiada

A viga da ponte rolante corre por cima dos trilhos do caminho de rolamento. Estes trilhos são sustentados pelas colunas de concreto do prédio ou, no caso do projeto do prédio não ter previsto a instalação de uma ponte rolante, colunas de aço especialmente fabricadas para a estrutura do caminho (GOBBO, 2017).

a) Univiga

Segundo Sena e Costa (2015) uma ponte rolante tipo univiga tem uma viga principal na qual a carga é transladada e estão conectadas a duas vigas de cabeceiras que correm nos trilhos fixados a uma parede de concreto, conforme ilustra a Figura 2.20.



Figura 2.20 – Ponte Rolante Univiga (SENA; COSTA, 2015)

b) Dupla Viga

A ponte rolante apoiada dupla-viga é constituída por duas cabeceiras, duas vigas e um ou dois carros trolley que sustentam a(s) talha(s). O carro trolley corre em trilhos que são normalmente fixados na parte superior da viga da ponte rolante, conforme Figura 2.21. Em comparação às pontes do tipo univiga, apresentam maior capacidade de carga em função do uso de duas vigas (GOBBO, 2017).

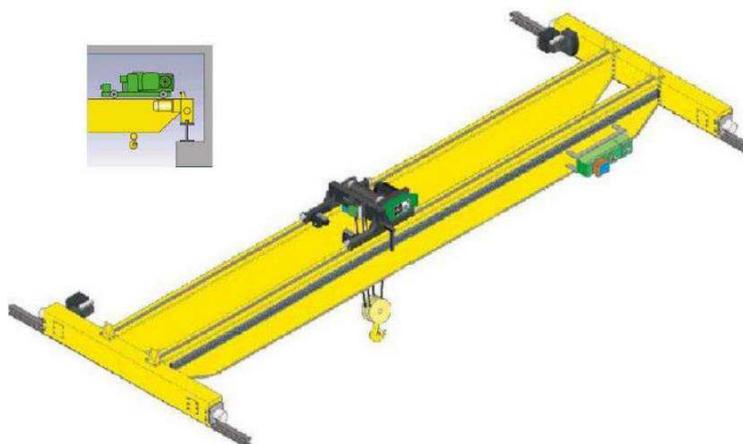


Figura 2.21 – Ponte Rolante Dupla Viga (SENA; COSTA, 2015)

2.6.2.2 Ponte Rolante Suspensa

Transladam na aba inferior da viga de rolamento que é montada diretamente na estrutura do prédio, aproveitando assim o máximo de altura disponível e eliminando a necessidade de estrutura auxiliar no piso, conforme Figura 2.22. Uma particularidade dessa construção de ponte rolante é a possibilidade de combinação com outras pontes rolantes ou monovias utilizando-se de um único mecanismo de elevação e translação da carga (GOBBO, 2017).

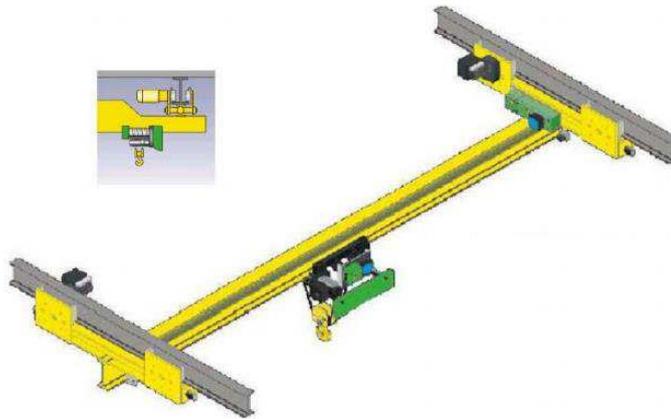


Figura 2.22 – Ponte Rolante Suspensa (COSTA; SENA, 2015)

3 METODOLOGIA

A pesquisa do trabalho teve início na revisão bibliográfica de livros, artigos em revistas conceituadas a partir de base científicas e de periódicos, assim como artigos publicados em anais, trabalhos acadêmicos e a partir do conhecimento adquirido durante o desenvolver do curso com profissionais da área da pesquisa escolhida.

Para decisão de qual metodologia seria aplicada ao trabalho foi necessário um estudo sobre Metodologia Científica.

A investigação científica depende de um conjunto de procedimentos intelectuais e técnicos para que seus objetivos sejam atingidos. Segundo Prodanov e Freitas (2013) método científico é o conjunto de processos ou operações mentais que devemos empregar na investigação. É a linha de raciocínio adotada no processo de pesquisa. Já metodologia científica representa um quadro teórico para guiar o procedimento da pesquisa, e gera o interesse para construir um tipo particular de conhecimento (CAELLI, RAY e MILL, 2003 apud BITTAR, 2014, p. 24)

Os métodos de pesquisa são as técnicas usadas no desenvolvimento da pesquisa. Eles representam as ferramentas *of the trade* e fornecem caminhos para a coleta, a escolha e análise das informações, permitindo que a conclusão seja alcançada. Sendo correta a escolha do método de pesquisa, é possível que a conclusão seja validada e o novo conhecimento tenha uma base sólida (WALLIMAN, 2010).

Os projetos de pesquisa são constituídos em ordem para explicar um fenômeno ou para testar uma teoria. Os métodos são técnicas práticas usadas para a realização da pesquisa, são ferramentas que tornam possível coletar e analisar as informações (BITTAR, 2014).

3.1 A Pesquisa

Segundo Cervo e Bervian (2006), o interesse e a curiosidade do homem pelo saber levam-no a investigar a realidade sob os mais diversificados aspectos, sendo natural a existência de inumeráveis tipos de pesquisa.

A finalidade da pesquisa é resolver problemas e solucionar dúvidas, mediante a utilização de procedimentos científicos e a partir de interrogações formuladas em relação a pontos ou fatos que permanecem obscuros e necessitam de explicações plausíveis e respostas que venham a elucidá-las. (PRODANOV e FREITAS, 2013, p. 42)

As pesquisas podem ser classificadas em: Pesquisa Bibliográfica, Pesquisa Descritiva, Pesquisa Experimental, Estudos Exploratórios, Resumo de Assunto e Seminário de Estudos. A Figura 3.1 apresenta a classificação das pesquisas.

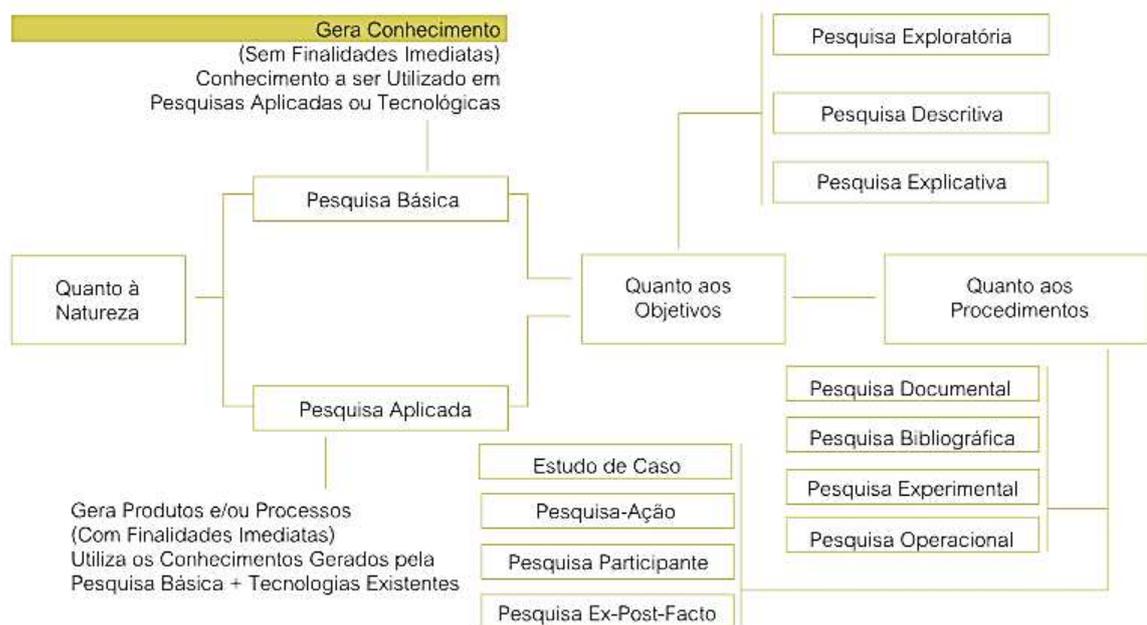


Figura 3.1 – Tipos de pesquisas científicas (PODRANOV e FREITAS, 2013, p. 51)

Será detalhado neste trabalho a Pesquisa Bibliográfica, a Pesquisa Descritiva e os Estudos Exploratórios.

a. Pesquisa Bibliográfica

A pesquisa bibliográfica é utilizada para explicar um problema a partir de referências teóricas publicadas em documentos, podendo ser realizada tanto de modo independente como em conjunto com a pesquisa descritiva ou experimental (CERVO e BERVIAN, 2006).

b. Pesquisa Descritiva

Quando o pesquisador apenas registra e descreve os fatos observados sem interferir neles. Visa a descrever as características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis. Envolve o uso de técnicas padronizadas de coleta de dados: questionário e observação sistemática. Assume, em geral, a forma de Levantamento (PODRANOV e Freitas, 2013)

Nas pesquisas descritivas, os fatos são observados, registrados, analisados, classificados e interpretados, sem que o pesquisador interfira sobre eles, ou seja, os fenômenos do mundo físico e humano são estudados, mas não são manipulados pelo pesquisador.

c. Estudos Exploratórios

São definidos por alguns autores como uma pesquisa quase científica ou não científica. Os estudos exploratórios não elaboram hipóteses a serem testadas no trabalho, somente definem os objetivos e buscam mais informações sobre determinado assunto. Recomenda-se o estudo exploratório quando há pouco conhecimento sobre o problema objeto de estudo.

A pesquisa exploratória possui planejamento flexível, o que permite o estudo do tema sob diversos ângulos e aspectos. Em geral, envolve:

- Levantamento bibliográfico;
- Entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado;
- Análise de exemplos que estimulem a compreensão.

3.1.1 Métodos de Pesquisa

Williams (2007) destaca que os três tipos comuns de abordagem para conduzir uma pesquisa são: quantitativa, qualitativa, e os métodos mistos. O pesquisador antecipa os tipos de dados necessários para responder à questão da pesquisa. O autor cita um exemplo de questão:

os dados necessários são numéricos, textuais ou ambos? Baseado nestas respostas, o pesquisador escolhe como conduzir a pesquisa.

No que se refere às técnicas de pesquisa os estudos podem utilizar as categorias a seguir: classificação quanto à técnica de coleta de dados e classificação quanto à técnica de análise de dados. O Quadro 3.1 mostra como pode ser classificada a metodologia científica.

Quadro 3.1 – Classificação da metodologia Científica (Oliveira, 2013).

Classificação quanto aos objetivos da pesquisa	Classificação quanto à natureza da pesquisa	Classificação quanto à escolha do objeto de estudo	Classificação quanto à técnica de coleta de dados	Classificação quanto à técnica de análise de dados
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Descritiva ✓ Exploratória ✓ Explicativa ✓ Exploratório-descritiva 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Qualitativa ✓ Quantitativa ✓ Qualitativa-quantitativa 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Estudo de caso único ✓ Estudo de casos múltiplos ✓ Amostragens não-probabilísticas ✓ Amostragens probabilísticas ✓ Estudo censitário 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Entrevista ✓ Questionário ✓ Observação ✓ Pesquisa documental ✓ Pesquisa bibliográfica ✓ Pesquisa ✓ Triangulação ✓ Pesquisa-ação ✓ Experimento 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Análise de conteúdo ✓ Estatística descritiva ✓ Estatística multivariada ✓ Triangulação na análise

Segundo Günther (2006), enquanto participante do processo de construção de conhecimento, idealmente, o pesquisador não deveria escolher entre um método ou outro, mas utilizar as várias abordagens, qualitativas e quantitativas que se adequam à sua questão de pesquisa. Do ponto de vista prático existem razões de ordens diversas que podem induzir um pesquisador a escolher uma abordagem, ou outra.

a. Quantitativa

A análise quantitativa é o processo de coletar, analisar, interpretar e escrever os resultados de um estudo. Após a coleta de dados sobre a investigação, procedemos à análise quantitativa dos dados para, em seguida, formular as possíveis conclusões (PRODRANOV e FREITAS, 2013).

Dados quantitativos podem ser mensurados, com maior ou menor precisão, porque eles contêm algumas formas de amplitude, normalmente expressa em números, tais como as

contagens ou porcentagens, ou mais sofisticadas, como os testes estatísticos ou modelos matemáticos (WALLIMAN, 2010).

b. Qualitativa

Para Günther (2006), ao invés de utilizar instrumentos e procedimentos padronizados, a pesquisa qualitativa considera cada problema objeto de uma pesquisa específica para a qual são necessários instrumentos e procedimentos específicos.

A pesquisa qualitativa é uma abordagem holística que envolve as descobertas; uma das formas de identificar a pesquisa qualitativa é o fenômeno social que está sendo investigado a partir do ponto de vista dos participantes (WILLIAMS, 2007).

3.1.2 Estudo de caso

O estudo de caso possui uma metodologia de pesquisa classificada como aplicada, na qual se busca a aplicação prática de conhecimentos para a solução de problemas sociais (BOAVENTURA, 2004). Gil (2008) complementa afirmando que as pesquisas com esse tipo de natureza estão voltadas mais para a aplicação imediata de conhecimentos em uma realidade circunstancial, relevando o desenvolvimento de teorias.

O estudo de caso consiste em coletar e analisar informações sobre determinado indivíduo, uma família, um grupo ou uma comunidade, a fim de estudar aspectos variados de sua vida, de acordo com o assunto da pesquisa. É um tipo de pesquisa qualitativa e/ou quantitativa, entendido como uma categoria de investigação que tem como objeto o estudo de uma unidade de forma aprofundada, podendo tratar-se de um sujeito, de um grupo de pessoas, de uma comunidade etc. (PODRANOV e Freitas, 2013).

3.2 Metodologia Proposta

A partir da revisão da literatura sobre métodos de pesquisa foram escolhidos quais seriam os métodos utilizados nesta pesquisa e foi então desenvolvida a metodologia a seguir.

A metodologia utilizada para o trabalho trata-se de uma pesquisa aplicada, pois tem o objetivo de gerar uma solução para manutenção em pontes rolantes. Quanto à abordagem, trata-se de uma pesquisa qualitativa pois refere-se à análise de informações obtidas através da revisão da literatura. A finalidade da pesquisa é referente à pesquisa explicativa. Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, trata-se de um estudo de caso pois consiste no estudo detalhado dos modos de falhas de uma ponte rolante. A Figura 3.2 mostra a metodologia utilizada para o trabalho.

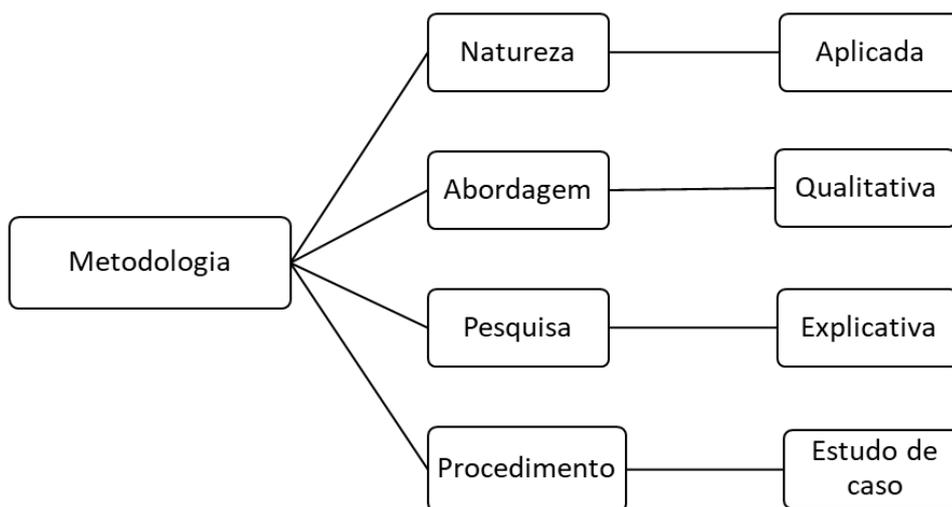


Figura 3.2 – Metodologia Proposta

A metodologia utilizada neste trabalho, teve como base os seguintes passos:

Primeira etapa: Realização de pesquisa bibliográfica. Foram levantadas as referências relacionadas aos tipos de manutenção e seus resultados, e com isso identificar a melhor sistemática para realização da manutenção, constatando que a Manutenção Centrada na Confiabilidade é o melhor método de manutenção a ser aplicado para aumentar a disponibilidade de um equipamento. Foi realizado também um estudo sobre o funcionamento e os tipos de pontes rolantes.

Segunda etapa: Identificação dos sistemas, componentes e funções de uma ponte rolante.

Terceira etapa: Aplicação da Metodologia da MCC. O resultado dessa etapa foi a realização da FMECA (Failure Modes Effects and Criticality Analysis) para conhecimento dos modos de falha de todos os componentes e a sua criticidade para o funcionamento do equipamento.

Quarta etapa: Confeção de um plano de manutenção para pontes rolantes. O resultado dessa etapa consiste na elaboração de um plano de manutenção com atividades e periodicidade baseadas nos modos de falha dos componentes, afim de aumentar a disponibilidade do equipamento. A Figura 3.3 ilustra as etapas da metodologia utilizada para elaboração deste trabalho.

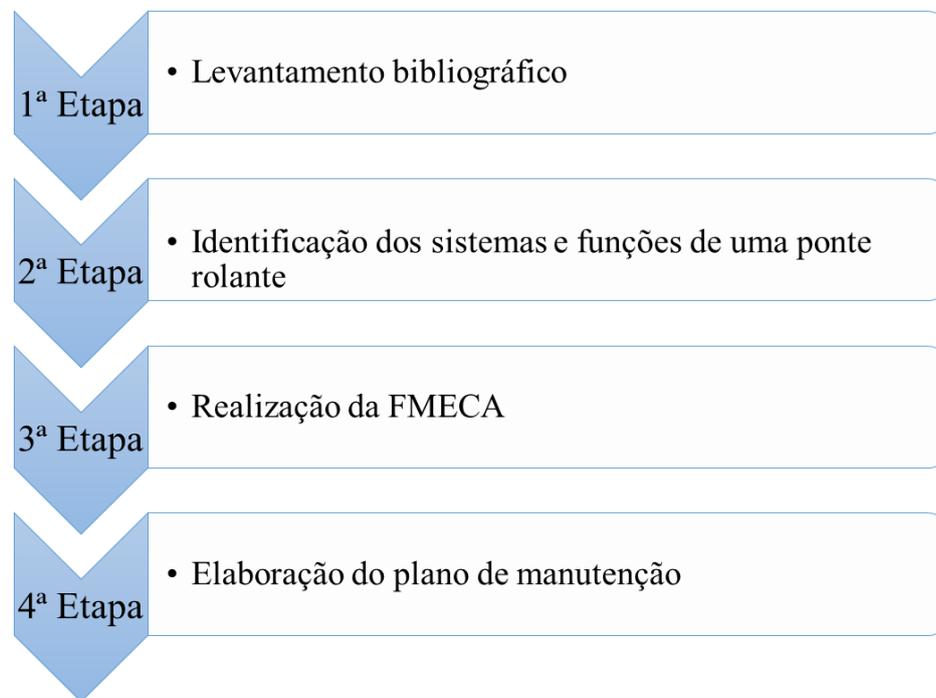


Figura 3.3 – Etapas da Metodologia Utilizada para Elaboração do Trabalho

4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

Para que o plano de manutenção baseado nos conceitos da manutenção centrada na confiabilidade seja elaborado é necessário executar os processos de forma sequenciada conforme já descrito anteriormente neste trabalho.

4.1 Preparação do Estudo

Para início do estudo foi necessário estabelecer qual tipo de ponte seria realizado o trabalho. A norma ASME B.30.2 (2011) classifica pontes rolantes de acordo com o número de operações que ela pode executar durante o intervalo de uma hora. Sendo classificadas em:

- Pesadas: quando opera entre 85% e 100% da sua carga nominal ou excede o número de 10 ciclos de elevação/hora;
- Normal: quando opera com menos de 85% da sua carga nominal e não excede o número de 10 ciclos de elevação/hora, exceto em casos isolados;
- Severa: quando envolve serviço normal ou pesado em condições anormais de operação.

Para este trabalho foi selecionada as pontes que são classificadas como normais, segundo a ASME B.30.2 (2011).

4.2 Identificação dos Sistemas

A primeira etapa da metodologia da MCC é a identificação dos sistemas do equipamento que será estudado. O equipamento estudado nesse projeto foi dividido em 4 grupos para análise, conforme é apresentado no quadro 4.1:

- Sistema de translação da ponte;
- Sistema de translação do carro;
- Sistema de Içamento do guincho;
- Rádio controle.

Quadro 4.1 – Identificação dos Sistemas de uma Ponte Rolante

Formulário de Documentação do Sistema					
MCC	Unidade: Ponte Rolante	Código:	Facilitador: Julia Silva	Data: 20/10/2018	Folha: 01
	Item	Código:	Auditor:	Data:	De:
Tipo					
1 Translação da Ponte 2 Translação do carro 3 içamento do Guincho Radio Controle					

A Figura 4.1 ilustra a hierarquia definida dos sistemas de uma ponte rolante do tipo normal.

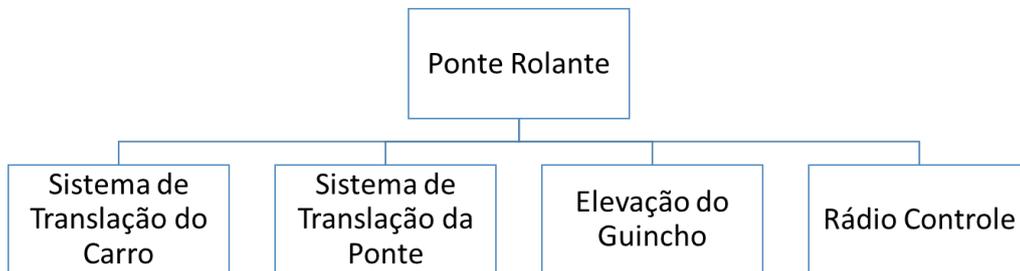


Figura 4.1 – Hierarquia dos Sistema de uma Ponte Rolante do Tipo Normal

4.3 Composição dos Subsistema de uma Ponte Rolante

Para uma melhor análise dos itens críticos do sistema, que são necessários para a aplicação da metodologia da MCC foram analisados cada subsistema de uma ponte rolante.

4.3.1 Sistema de Translação da Ponte

O sistema de translação da ponte foi subdividido conforme ilustra a Figura 4.2.

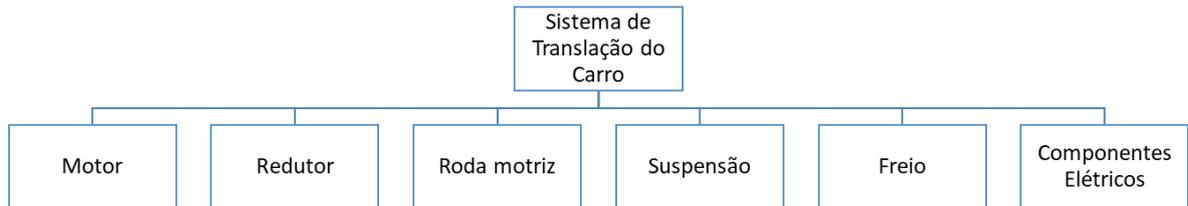


Figura 4.2 – Hierarquia dos Componentes do Sistema de Translação de uma Ponte Rolante

4.3.2 Sistema de Translação do Carro

O sistema de translação do carro foi subdividido conforme ilustra a Figura 4.3.

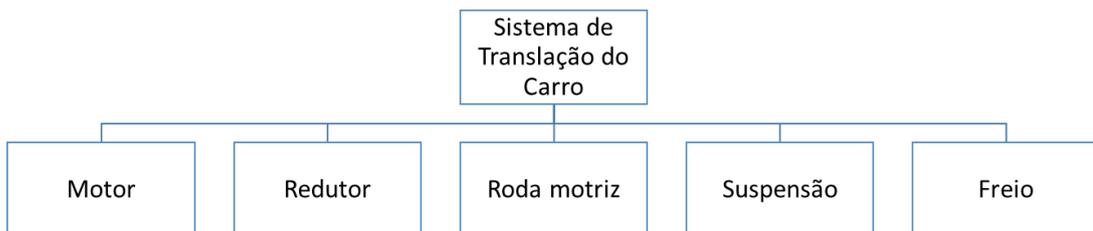


Figura 4.3 – Hierarquia dos Componentes do Sistema de Translação do Carro de uma Ponte Rolante

4.3.3 Sistema de Elevação do Guincho

O sistema de translação da ponte foi subdividido conforme ilustra a Figura 4.4.

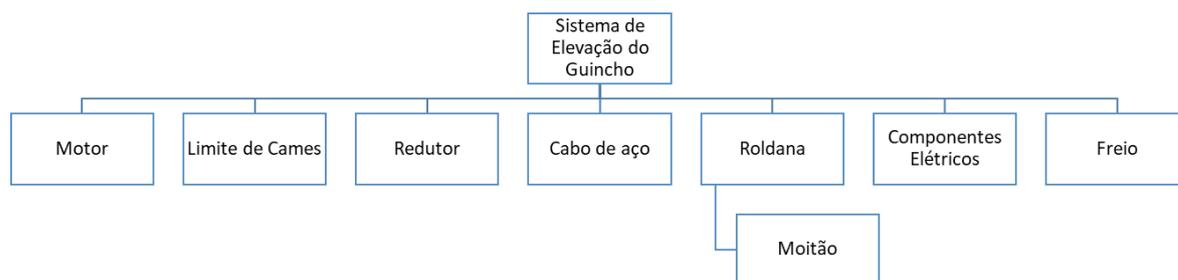


Figura 4.4 – Hierarquia dos Componentes do Sistema de Elevação do Guincho de uma Ponte Rolante

4.3.4 Rádio Controle

O sistema de funcionamento do rádio foi subdividido conforme ilustra a Figura 4.5.

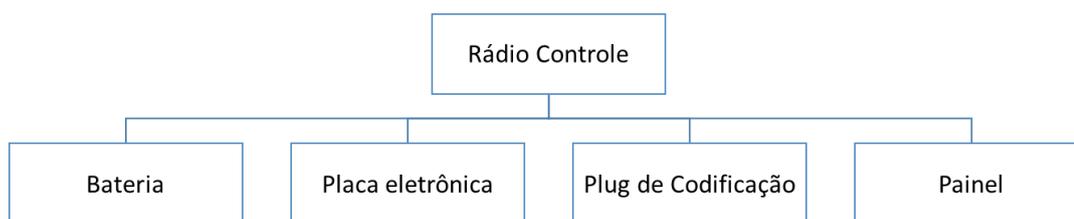


Figura 4.5 – Hierarquia dos Componentes do Rádio de Controle de uma Ponte Rolante

4.4 Análise dos Itens Físicos Críticos dos Subsistemas

Para este estudo foi feita uma associação da falha funcional com o item físico do equipamento em questão com o intuito de observar quais são os possíveis defeitos que podem ocorrer no subconjunto selecionado. Esta associação é uma atividade importante para a Manutenção Centrada na Confiabilidade para fornecer um mapa completo dos equipamentos que afetam as falhas funcionais e suas respectivas funções, como por exemplo, o travamento de uma roda da ponte rolante está ligado ao travamento de um rolamento.

Também entra neste estudo de falhas a frequência de ocorrência, a gravidade, o poder de detecção e a criticidade que esta falha ocasiona ao equipamento. Tudo isso em paralelo a uma consulta nos manuais de operação dos equipamentos que constituem os subconjuntos a fim de verificar outras prováveis falhas que são indicadas pelo fornecedor do item.

4.5 Análise dos Modos de Falha

Existe o paradigma na manutenção de que a probabilidade de ocorrência de falha segue uma curva conhecida como “curva da banheira”. Esta curva descreve o comportamento de falhas onde há uma probabilidade maior no nascimento do ativo, fato este denominado de “mortalidade infantil”. Passado este tempo entre o nascimento do ativo e a fase de alta probabilidade de “mortalidade infantil”, o ativo vive uma fase de estabilidade de probabilidade de falhas até chegar um momento de desgaste onde essa probabilidade aumenta novamente. Porém gerir manutenção é algo mais complexo que seguir apenas um modelo específico. Um componente pode apresentar diversos tipos de falha, conforme indicado na Figura 2.11.

Para o estudo, foi elaborado um FMECA para ponte rolante e um exemplo de como é trabalhado este método é ilustrado no Quadro 4.1, onde foi selecionado o sistema de translação do carro, e verificados os modos das possíveis falhas. Também foram classificadas as falhas de acordo com sua frequência, gravidade, detecção e criticidade para chegar na causa primária e encontrar as ações recomendadas para contornar a falha através dos tipos de manutenção que podem ser executados.

Quadro 4.2 – Demonstração da FMEA para pontes rolantes

ANÁLISE DOS MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS

SISTEMA: Sistema de translação carro
 FUNÇÃO: Transladar carro com velocidades adequadas
 FALHA FUNCIONAL: Não Transladar carro com velocidades adequadas

Equipamento	Falha funcional	Sub-conjunto	COMPONENTE	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITO DA FALHA	CRITICIDADE				AÇÃO RECOMENDADA	FREQUÊNCIA
							O	D	S	ODS		
PONTE ROLANTE	Carro não translada	ranslação car	Motor	Queimado	Baixa isolamento	Parada da translação do carro	1	2	7	14	Medir isolamento do motor	28 dias
					Sobrecarga		1	2	7	14	Medir isolamento do motor	28 dias
					Curto-circuito		1	2	7	14	Inspeção das ligações, garantindo isolamento das conexões elétricas.	28 dias
				Sem tensão	Rolamento travado		2	3	4	24	Corretiva	X
				Pantografo quebrado	1		2	7	14	Inspeção visual 28 dias (escovas e conexões)	28 dias	
				Cabos partido ou com mal contato	1		2	7	14	Corretiva	X	

O produto entre probabilidade de ocorrência, detecção e severidade irá determinar quão crítica é a falha analisada, e não pode deixar de existir uma ação para evitar que essa falha ocorra inesperadamente.

Para este trabalho, todas as falhas que tiveram o valor de detecção acima de 6, são consideradas críticas e tiveram como ação recomendada análise preditiva, para que seja possível acompanhar a evolução. O Gráfico representado pela Figura 4.6 mostra quais os sistemas que tiveram as atividades com maior número de causas de falhas.

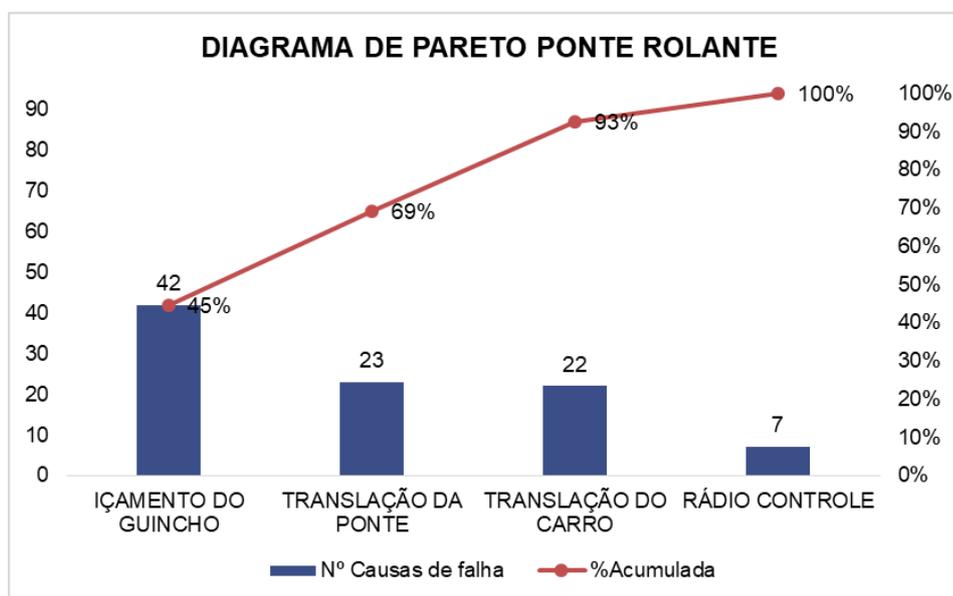


Figura 4.6 – Sistemas Vitais para Funcionamento de uma Ponte Rolante

O Apêndice B, C, D e E mostra a análise dos modos de falha e criticidade do sistema de translação do carro, translação da ponte, içamento do guincho e rádio, respectivamente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A última etapa deste estudo é a definição do plano de manutenção com as tarefas e periodicidade definida. Neste ponto do plano, são agrupadas as tarefas de acordo com o item que sofrerá intervenção da equipe de manutenção para melhor utilização da mão de obra disponível.

As atividades foram selecionadas de acordo o modo de falha de cada componente estudado.

Diante disso, definiu-se o que deve ser feito para evitar que a falha ocorra inesperadamente. As atividades foram classificadas em três disciplinas:

- Lubrificação;
- Inspeção preventiva;
- Inspeção preditiva.

Após definição das atividades, foi definido a periodicidade. Essa periodicidade foi definida com base na norma ASME B.30.2 e nos manuais dos fabricantes de pontes rolantes. A figura 4.6 ilustra o resultado do plano de manutenção.

Plano de Manutenção Pontes Rolantes						Semana1				Semana2								
TIPO	Descrição da Atividade	Descrição do Subconjunto	Periodicidade	HH	Prox. Serviço	01/jan	02/jan	03/jan	04/jan	05/jan	06/jan	07/jan	08/jan	09/jan	10/jan	11/jan	12/jan	13/jan
INSP PREV	Medir isolamento do motor da translação do carro	Translação do carro	28	1	02-jan-2019		1,0											
LUB	Lubrificação dos rolamentos do motor do carro	Translação do carro	28	1	06-jan-2019						1,0							
INSP PREV	Inspeccionar escovas e conexões do pantógrafo	Translação do carro	28	1	04-jan-2019				1,0									
INSP PREV	Inspeccionar visualmente rodas do carro	Translação do carro	56	1	04-fev-2019													
LUB	Lubrificação dos rolamentos das rodas do carro	Translação do carro	28	1	07-jan-2019							1,0						
PRED	Realizar END de partícula magnética nas rodas do carro	Translação do carro	672	2	08-jan-2019								2,0					
LUB	Lubrificação dos rolamentos e engrenagens do redutor do	Translação do carro	28	1	08-jan-2019								1,0					

Figura 5.1 – Demonstração do Plano de Manutenção para Pontes Rolantes

O Apêndice F mostra o detalhamento do plano de manutenção.

6 CONCLUSÕES

Através deste trabalho foi possível mostrar a sistemática para a introdução da Manutenção Centrada na Confiabilidade e evidenciar como a manutenção tem um papel cada vez maior na economia mundial, principalmente devido ao fato de que as empresas estão cada vez mais inseridas ao contexto de crescimento do país.

Durante a apresentação da literatura do tema, foi possível realizar uma ampla pesquisa com vários autores especialistas no estudo da gestão da manutenção e mostrar as definições de manutenção durante os anos, os tipos de manutenção utilizada anteriormente, as que são utilizadas hoje e as que serão aplicadas futuramente. Para isso, foram focados os três principais tipos de manutenção: corretiva, preventiva e preditiva, a fim de uma melhor contribuição para a didática do estudo e servir como um guia para orientar novos trabalhos e estudos de implementação da MCC.

Também ficou evidente durante a realização deste trabalho que a aplicação dos métodos da MCC é uma ferramenta adequada para ser aplicada não só em pontes rolantes, mas também em outros equipamentos, pois diminui o tempo que o equipamento fica parado, gerando um aumento na disponibilidade para a produção. Ela também contribui para o aumento da confiabilidade, pois com uma manutenção atuando antes de ocorrer à falha, garantimos o total funcionamento do ativo. Gera também uma economia tanto na quantidade de peças que devem ficar em estoque como a necessidade de substituição de peças durante a intervenção da equipe de manutenção.

Por outro lado, podemos citar alguns aspectos negativos que foram identificados durante a realização deste estudo. Por ser uma metodologia recente para a indústria, os conceitos e definições sobre o assunto ainda não são perfeitamente compreendidos por todos, fazendo com que a implementação seja demorada. A falta de uma análise econômica maior também pode comprometer as escolhas no processo de seleção das tarefas de manutenção.

É importante ressaltar que a MCC deve ser voltada para a obtenção de resultados a longo prazo, o que permite uma melhor avaliação a respeito da eficácia e eficiência da metodologia.

Com isso, é possível dizer a respeito dos objetivos traçados no início deste estudo:

- O objetivo de estudar e traçar um plano de manutenção para baseado na metodologia da MCC para pontes rolantes foi alcançado;
- Para melhor implementação do plano de manutenção baseado nos conceitos da MCC é necessário ter o histórico de falhas do equipamento, assim será possível mostrar a eficácia do plano.

Assim, pode-se dizer que com este estudo tem-se a possibilidade de resolver os problemas de gerenciamento da manutenção industrial, mais especificamente no que se refere a questões envolvendo pontes rolantes.

7 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros é possível citar os seguintes itens:

- A utilização de softwares mais específicos para a MCC, pois para esta metodologia atingir sua excelência, necessita de um banco de dados amplo para facilitar o seu desenvolvimento;
- Um acompanhamento econômico das ações para determinar a real eficácia da MCC;
- Capacitação de toda equipe da manutenção, para que todos consigam fazer questionamentos sobre os problemas relacionados ao equipamento que será estudado, o funcionamento e aplicação da metodologia.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **ASME B30.2**: Overhead and Gantry Cranes. 2 ed. New York: American National Standard, 2011. 55 p.

AQUINO, G.p.; BONOMINI, I.a.m.. Avaliação de Transformadas Baseadas em Matrizes Ortogonais para Sistemas OFDM. **Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação**, [s.l.], v. 6, n. 1, p.1-8, 25 abr. 2016. Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação. <http://dx.doi.org/10.12721/2237-5112/rtic.v6n1p1-8>. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/302596637_Avaliacao_de_Transformadas_Baseadas_em_Matrizes_Ortogonais_para_Sistemas_OFDM>. Acesso em: 08 ago. 2018.

BACKLUND, F. ***Managing the Introduction of Reliability-Centered Maintenance, RCM – RCM as a method of working within hydropower organizations***. 2003. 317 p. Tese (Doutorado) – *Department of Business Administration and Social Sciences – Division of Quality and Environmental Management, Lulea University of Technology*. Lulea, 2003.

BEN-DAYA, Mohammed; KUMAR, Uday; MURTHY, D.n Prabhakar. **Introduction to Maintenance Engineering: Modelling, Optimization and Management**. United Kingdom: John Wiley & Sons, 2016. 629 p.

BITTAR, Rita de Cássia da Silveira Marconcini. **Proposta de Metodologia para Avaliação da Integração na Empresa Estendida Associada a Índices de Automação**. 2014. 240 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

BRANCO FILHO, G. **A Organização, o Planejamento e o Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2008.

BRITISH STANDARDS INTERNATIONAL. **BS EN 13306**: Maintenance — Maintenance terminology. Brussels: Cen, 2010. 36 p.

CERVO, Amado Luiz; BERVIAN, Pedro Alcino. **Metodologia Científica**. São Paulo 2006: Pearson Prentice Hill, 2006.

CURY NETTO, W. A. **A Importância e a Aplicabilidade da Manutenção Produtiva Total (TPM) nas Indústrias**. 2008. 63 p. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, Minas Gerais, 2008.

DHILLON, B. S. *Reliability engineering in systems design and operation*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1982.

FREITAS, Eder Benevides. **T.P.M - Manutenção Produtiva Total**. Disponível em: <<http://engenhariadeproducaoindustrial.blogspot.com/2009/05/tpm-manutencao-produtiva-total.html>>. Acesso em: 12 ago. 2018.

GOBBO, Lucas Pimentel. **Pontes Rolantes, Guindastes Giratórios e Acessórios de Movimentação de Cargas: Técnicas de Instalação, Operação, Manutenção, Testes e Inspeção**. 2017. Disponível em: <<http://formasegtreinamentos.com.br/wp-content/uploads/2017/04/Apostila-NR-11-FormaSeg.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2018.

KARDEC, Alan; NASCIF, Julio de Aquino; BARONI, Tarcísio. **Gestão Estratégica e Técnicas Preditivas**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002. 160 p.

KITCRANES. **Talhas e Pontes Rolantes**. Disponível em: <<http://www.kitcranes.com.br/talhas-pontes-rolantes.html>>. Acesso em: 12 out. 2018.

LAFRAIA, João Ricardo Barusso. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001. 238 p.

MENEZES, Gigliara Segantini de; SANTOS, Maiquel Moreira Nunes; CHAVES, Gisele de Lorena Diniz. O PILAR MANUTENÇÃO PLANEJADA DA MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL (TPM): APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (RCM). **Revista Gestão Industrial**, [s.l.], v. 11, n. 4, p.5-15, 17 dez. 2015. Universidade Tecnológica Federal do Parana (UTFPR). <http://dx.doi.org/10.3895/gi.v11n4.3004>. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/revistagi/article/view/3004>>. Acesso em: 21 ago. 2018.

MONTGOMERY, Douglas C.; RUNGER, George C. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros**. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2012. 523 p.

MOUBRAY, John. **Reliability-Centered Maintenance**. New York: Industrial Press, 1997.

MOUBRAY, John. **Manutenção Centrada em Confiabilidade**. São Paulo: Aladon Ltda, 2000.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **B.30: RCM GUIDE RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE GUIDE**. Washington: Nasa, 2008. 472 p. Disponível em: <https://fred.hq.nasa.gov/Assets/Docs/2015/NASA_RCMGuide.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2018.

NAVSEA. **Reliability-Centered Maintenance (RCM) Handbook**. S9081-AB-GIB-010. *Naval Sea Systems Command*. USA, 2007.

NEPOMUCENO, L. X. **Técnicas de Manutenção Preditiva**. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 1989, 501 p. V. 1.

OHTA, Robison. **GESTÃO DE MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE EM PONTES ROLANTES**. 2013. 68 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/123001>>. Acesso em: 01 set. 2018.

OPOCENSKA, Hana; HAMMER, Milos. CONTRIBUTION TO MAINTENANCE ISSUES IN COMPANY PRACTICE. **Mm Science Journal**, [s.l.], v. 2015, n. 04, p.748-755, 9 dez. 2015. MM Publishing, s.r.o.. http://dx.doi.org/10.17973/mmsj.2015_12_201555

PALADY, P. FMEA – **Análise dos modos de falha e efeitos**: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram. São Paulo: IMAN, 2004.

PALMER, Doc. **Maintenance Planning and Scheduling Handbook**. 3. ed. New York: Mcgraw-hill, 2000.

PERUCHI, F. L, MENEGAZ, J. C M. **Gestão Proativa da Manutenção**. 2005. 114 p. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho Científico**: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. 277 p

RAPOSO, J. L. O. **Manutenção Centrada em Confiabilidade aplicada a Sistemas Elétricos: uma proposta para uso de análise de risco no diagrama de decisão**. 2004. 149 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

SIQUEIRA, Iony Patriota de. **Manutenção Centrada na Confiabilidade**. 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2012. 408 p.

SENA, Lucas de Moura; COSTA, Tiago Silva. **Pórtico Dupla Viga com Duplo Balanço**. 2015. 166 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2015.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SMITH, A. M. *Reliability-Centered Maintenance*. 1. ed. Boston: McGraw-Hill, 1993.

SOUZA, Ruggieri César de. **Proposta de implementação da manutenção centrada na confiabilidade em ensacadeira de uma empresa de calcinação**. 2016. 129 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Centro Universitário de Formiga – Unifor, Formiga, 2016. Disponível em:
<<https://bibliotecadigital.uniformg.edu.br:21015/xmlui/handle/123456789/487>>. Acesso em: 12 ago. 2018.

VIANA, Hebert Ricardo Garcia. **Planejamento e Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002. 667 p.

WILLIAMS, C. Research Methods. **Journal of Businnes & Economic Research**, 5, n. 3, March 2007. 65-72.

WYREBSKI, J. **Manutenção Produtiva Total – Um Modelo Adaptado**. 1997. 124 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

ZAIIONS, Douglas Roberto. **Consolidação da Metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade em uma Planta de Celulose e Papel**. 2003. 219 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/3297>>. Acesso em: 30 ago. 2018.

APÊNDICE B – ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA, EFEITOS E CRITICIDADE DA TRANSLAÇÃO DO CARRO

ANÁLISE DOS MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS

SISTEMA: Sistema de translação carro
FUNÇÃO: Transladar carro com velocidades adequadas
FALHA FUNCIONAL: Não Transladar carro com velocidades adequadas

Equipamento	Falha funcional	Sub-conjunto	Componente	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITO DA FALHA	CRITICIDADE			AÇÃO RECOMENDADA	FREQUÊNCIA	
							O	D	S			
PONTE ROLANTE	Carro não translada	Translação carro	Motor	Queimado	Baixa isolação	Parada da translação do carro	1	2	7	14	Medir isolamento do motor	28 dias
					Sobrecarga		1	2	7	14		
					Curto-circuito		1	2	7	14	Inspeção das ligações; garantindo isolação das conexões elétricas.	28 dias
				Sem tensão	Rolamento travado		2	7	5	70	Inspeção visual Lubrificação Análise de vibração	28 dias
					Pantógrafo quebrado		1	2	7	14	Inspeção visual 28 dias (escovas e conexões)	28 dias
					Cabos partido ou com mal contato		1	2	7	14	Corretiva	X
	Roda	Travada	Roda	Travada	Rolamento travado	2	7	5	70	Inspeção visual Lubrificação Análise de vibração	28 dias	
					Dano operacional	2	3	2	12	Inspeção visual END Partícula Magnética	56 dias 672 dias	
					Dano operacional	1	3	9	27	Inspeção visual END Partícula Magnética	56 dias 672 dias	

ANÁLISE DOS MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS

SISTEMA: Sistema de translação carro
FUNÇÃO: Transladar carro com velocidades adequadas
FALHA FUNCIONA Não Transladar carro com velocidades adequadas

Equipamento	Falha funcional	Sub-conjunto	COMPONENTE	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITO DA FALHA	CRITICIDADE			AÇÃO RECOMENDADA	FREQUÊNCIA															
							O	D	S																	
PONTE ROLANTE	Carro não translada	Translação carro	Redutor	Travado	Conjunto (eixo, coroa e rolamentos) danificados	Parada da translação do carro	2	7	7	98	Corretiva Lubrificação Análise de vibração	X 28 dias 28 dias														
				Sem Transmissão	Chaveta eixo roda x cubo redutor danificada								Acoplamento motor x redutor danificado	Corretiva Lubrificação Análise de vibração	X 28 dias 28 dias											
																Trincada	Dano operacional	Inspeção visual	28 dias							
																				Empenada	Dano operacional	Inspeção visual	28 dias			
				Quebrada	Dano operacional								Corretiva	X												
				Freio	Travado								Freio	Bobina queimada	Bobina sem alimentação	Freio desregulado	Parada da translação do carro.	1	3	4	12	Corretiva	X			
	Trincada	Dano operacional	Inspeção visual			28 dias																				
							Empenada	Dano operacional	Inspeção visual	28 dias																
	Quebrada	Dano operacional	Corretiva			X																				
	Suspensão	Travado	Freio			Bobina queimada	Bobina sem alimentação	Freio desregulado	Parada da translação do carro.	1	3	4												12	Corretiva	X
	Quebrada	Dano operacional	Corretiva	X																						

ANÁLISE DOS MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS

SISTEMA: Sistema de translação carro
FUNÇÃO: Transladar carro com velocidades adequadas
FALHA FUNCIONAL: Não Transladar carro com velocidades adequadas

Equipamento	Falha funcional	Sub-conjunto	COMPONENTE	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITO DA FALHA	CRITICIDADE				AÇÃO RECOMENDADA	FREQUÊNCIA
							O	D	S	ODS		
PONTE ROLANTE	Translação do carro lenta	Translação carro	Motor	Bobinado do motor (segunda velocidade) queimado	Sobrecarga	Translação carro lenta	1	3	4	12	Corretiva	X
	Carro só translada em 01 sentido (norte ou sul)		Comandos elétricos	Componentes elétricos travados	Sujeira nos componentes	Ponte só translada para 01 sentido	1	3	4	12	Inspeção visual e limpeza	28 dias
				Cabos e conexões de comando folgadas ou partidos	Sujeira, ressecamento e falha de aperto	Carro só translada para 01 sentido	1	3	4	12	Inspeção visual, limpeza e aperto	28 dias

APÊNDICE C – ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA, EFEITOS E CRITICIDADE DA TRANSLAÇÃO DA PONTE

ANÁLISE DOS MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS

SISTEMA: Sistema de translação de uma ponte rolante
FUNÇÃO: Transladar pontes com velocidades adequadas
FALHA FUNCIONAL: Não Transladar pontes com velocidades adequadas

Equipamento	Falha funcional	Sub-conjunto	COMPONENTE	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITO DA FALHA	CRITICIDADE			AÇÃO RECOMENDADA	FREQUÊNCIA	
							O	D	S ODS			
PONTES ROLANTE	Ponte não translada	Translação ponte	Motor	Queimado	Baixa isolação	Parada da translação da ponte	1	2	7	14	Medir isolamento do motor	28 dias
					Sobrecarga		1	2	7	14	Medir isolamento do motor	28 dias
					Curto-circuito		1	2	7	14	Inspeção das ligações, garantindo isolação das conexões elétricas.	28 dias
				Sem tensão	Rolamento travado		2	7	5	70	Inspeção visual Lubrificação Análise de vibração	28 dias
					Pantografado quebrado		1	2	7	14	Inspeção visual 28 dias (escovas e conexões)	28 dias
					Cabos partido ou com mau contato		1	2	7	14	Corretiva	X
			Roda	Travada	Rolamento travado	2	7	5	70	Inspeção visual Lubrificação Análise de vibração	28 dias	
						2	3	2	12	Inspeção visual END Partícula Magnética	56 dias 672 dias	
				Trincada	Dano operacional	1	3	9	27	Inspeção visual END Partícula Magnética	56 dias 672 dias	

ANÁLISE DOS MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS

SISTEMA: Sistema de translação de uma ponte rolante

FUNÇÃO: Transladar pontes com velocidades adequadas

FALHA FUNCIONAL: Não Transladar pontes com velocidades adequadas

Equipamento	Falha funcional	Sub-conjunto	COMPONENTE	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITO DA FALHA	CRITICIDADE			AÇÃO RECOMENDADA	FREQUÊNCIA		
							O	D	S ODS				
PONTE ROLANTE	Ponte não translada	Translação ponte	Redutor	Travado	Conjunto (eixo sem fim, coroa e rolamentos) danificados					Corretiva	X		
					Conjunto (eixo sem fim, coroa e rolamentos) danificados					Corretiva	28 dias		
		Sem Transmissão		Parada da translação da ponte	Chaveta eixo roda x cubo redutor danificada	2	7	98				Corretiva	X
					Acoplamento motor x redutor danificado							Corretiva	28 dias
		Trincada		Parada da translação da ponte	Dano operacional							Inspeção visual	28 dias
					Dano operacional							Inspeção visual	28 dias
	Empenada Quebrada	Parada da translação da ponte.	Dano operacional							Corretiva	X		
			Bobina queimada							Corretiva	28 dias		
	Travado	Freio	Freio desregulado	Bobina sem						Corretiva	X		
				Freio desregulado						Corretiva	28 dias		

ANÁLISE DOS MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS

SISTEMA: Sistema de translação de uma ponte rolante
FUNÇÃO: Transladar pontes com velocidades adequadas
FALHA FUNCIONAL: Não Transladar pontes com velocidades adequadas

Equipamento	Falha funcional	Sub-conjunto	COMPONENTE	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITO DA FALHA	CRITICIDADE			AÇÃO RECOMENDADA	FREQUÊNCIA
							O	D	S ODS		
PONTE ROLANTE	Translação da ponte lenta		Banco de resistência	Banco de resistência aberto	Terminais e conexões quebrados ou folgados	Parada da translação da ponte	1	3	7	21	28 dias
			Comandos elétricos	Componentes elétricos travados	Sujeira nos componentes	Ponte só translada para um sentido	1	3	4	12	28 dias
	Ponte só translada um sentido	Translação ponte	Comandos elétricos	Cabos e conexões de comando folgados ou partidos	Sujeira, ressecamento e falta de aperto	Ponte só translada para 01 sentido	1	3	4	12	28 dias

ANÁLISE DOS MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS

SISTEMA: Sistema de translação do guincho
FUNÇÃO: Transladar guincho com velocidades adequadas
FALHA FUNCIONAL: Não Transladar o guincho com velocidades adequadas

Equipamento	Falha funcional	Sub-conjunto	COMPONENTE	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITO DA FALHA	CRITICIDADE			AÇÃO RECOMENDADA	FREQUÊNCIA			
							O	D	S					
PONTE ROLANTE	Não elevar/descer cargas conforme padrão operacional	Guincho	Cabo de aço	Desgastado	Roldanas travadas	Guincho inoperante	2	3	7	42	Lubrificação	56 dias		
				Deformado	Dano operacional		2	3	7	42	Corretiva	X		
				Esmagado	Roldanas travadas		2	3	7	42	Lubrificação	56 dias		
					Dano operacional		2	3	7	42	Corretiva	X		
				Fios partidos (03 por passo)	Desgaste por uso normal		4	3	4	48	Corretiva	X		
					Dano operacional		2	3	7	42	Inspeção preditiva	21 dias		
			Roldana	Travada	Falta de lubrificação	Guincho inoperante	2	2	4	16	Lubrificação	28 dias		
							Cabo prensado na superfície externa da roldana	1	3	8	24	Corretiva	X	
							Desgaste por uso normal	2	3	7	42	Inspeção visual	28 dias	
				Moitão	Desgastada	Falta de lubrificação	Guincho inoperante	2	3	4	24	Lubrificação	56 dias	
								Cabo prensado na superfície externa da roldana	1	3	8	24	Corretiva	X
								Desgaste por uso normal	2	3	7	42	Inspeção visual	28 dias

ANÁLISE DOS MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS

SISTEMA: Sistema de translação do guincho
FUNÇÃO: Transladar guincho com velocidades adequadas
FALHA FUNCIONAL: Não Transladar o guincho com velocidades adequadas

Equipamento	Falha funcional	Sub-conjunto	COMPONENTE	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITO DA FALHA	CRITICIDADE			AÇÃO RECOMENDADA	FREQUÊNCIA	
							O	D	S ODS			
PONTE ROLANTE	Não translada	Guincho	Motor	Queimado	Baixa isolação	Guincho inoperante	1	2	7	14	Medir isolamento do motor	28 dias
					Sobrecarga		1	2	7	14	Medir isolamento do motor	28 dias
					Curto-circuito		1	2	7	14	Inspeção das ligações, garantindo isolação das conexões elétricas.	28 dias
				Rolamento travado			2	7	5	70	Inspeção visual Lubrificação Análise de vibração	28 dias
				Sem tensão	Partografo quebrado		1	2	7	14	Inspeção visual 28 dias (escovas e conexões)	28 dias
					Cabos partido ou com mal contato		1	2	7	14	Corretiva	X
				Travada	Rolamento travado		2	7	5	70	Inspeção visual Lubrificação Análise de vibração	28 dias
					Desgastada		2	3	2	12	Inspeção visual	56 dias
					Trincada		1	3	3	9	END Partícula Magnética	672 dias

ANÁLISE DOS MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS

SISTEMA: Sistema de transmissão do guincho
FUNÇÃO: Transladar guincho com velocidades adequadas
FALHA FUNCIONAL: Não Transladar o guincho com velocidades adequadas

Equipamento	Falha funcional	Sub-conjunto	COMPONENTE	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITO DA FALHA	CRITICIDADE			AÇÃO RECOMENDADA	FREQUÊNCIA			
							O	D	S					
PONTE ROLANTE	Não translada	Guincho	Roda guia	Travada	Rolamento travado	Guincho inoperante	2	7	5	70	Inspecção visual Lubrificação Análise de vibração	28 dias		
				Desgastada	Dano operacional		1	3	9	27	Inspecção visual END Particula Magnética	56 dias 672 dias		
				Trincada	Dano operacional		1	3	9	27	Inspecção visual END Particula Magnética	56 dias 672 dias		
			Sem Transmissão	Travado	Conjunto (eixo sem fim, coroa e rolamentos) danificados	Guincho inoperante	2	7	7	98	Corretiva Lubrificação Análise de vibração	X 28 dias 28 dias		
				Acoplamento motor x redutor danificado	Conjunto (eixo sem fim, coroa e rolamentos) danificados						Corretiva Lubrificação Análise de vibração	X 28 dias 28 dias		
					Chaveta eixo roda x cubo redutor danificada						Corretiva Lubrificação Análise de vibração	X 28 dias 28 dias		
	Travado	Bobina queimada	Freio	Freio desregulado	1	3	4	12	Corretiva	X				
		Bobina sem alimentação							1	3	4	12	Corretiva	X
		Freio desregulado							2	3	2	12	Regulagem do freio	28 dias

APÊNDICE E – ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA, EFEITOS E CRITICIDADE DO RÁDIO DE CONTROLE

ANÁLISE DOS MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS

SISTEMA: Sistema Rádio Controle
SUBSISTEMA: Transmissor e Receptor
FUNÇÃO: Transmitir comandos via rádio para a ponte conforme padrão operacional
FALHA FUNCIONAL: Transmitir e não receber comandos via rádio para a ponte conforme padrão operacional

Equipamento	Falha funcional	Sub-conjunto	Componente	Modo de Falha	Causa da Falha	Efeito da Falha	Criticidade			Ação Recomendada	Frequência	
							O	S	ODS			
Ponte Rolante	Rádio não liga	Transmissor	Bateria	Bateria descarregada	Falha operacional	Rádio não liga	2	5	7	70	Corretiva	X
				Bateria danificada	Saturada		3	5	7	105	Corretiva	X
	Rádio não transmite	Transmissor	Placa eletrônica	Falha operacional	Rádio não transmite	Falha operacional Desgaste com o tempo	3	5	7	105	Corretiva	X
			Plug de codificação	Sem sinal			2	3	7	42	Corretiva	X
			Placa eletrônica	Danificada			3	3	5	45	Corretiva	X
	Receptor	Panel	Receptor	Danificada	Desgaste com o tempo	Receptor não transmite	2	3	6	36	Corretiva	X
				Mau contato	Sujeira		3	5	5	75	Inspeção e limpeza	28 dias

APÊNDICE F – PLANO DE MANUTENÇÃO PARA PONTES ROLANTES

Plano de Manutenção Pontes Rolantes																			
TIPO	Descrição da Atividade	Descrição do Ativo (Subconjunto)	Período cidade	HH	Data ultimo serviço	Prox. Serviço	Semana1					Semana2							
							01/jan	02/jan	03/jan	04/jan	05/jan	06/jan	07/jan	08/jan	09/jan	10/jan	11/jan	12/jan	13/jan
INSP PREV	Medir isolamento do motor da translação do carro	Translação do carro	28	1	05-dez-2018	02-jan-2019													
INSP PREV	Inspeccionar ligações elétricas	Translação do carro	28	1	06-dez-2018	03-jan-2019													
INSP PREV	Inspeccionar rolamentos do motor do carro	Translação do carro	28	1	08-dez-2018	05-jan-2019			1,0										
PRED	Análise de vibração nos rolamentos do motor do carro	Translação do carro	28	1	08-dez-2018	05-jan-2019			1,0										
LUB	Lubrificação dos rolamentos do motor do carro	Translação do carro	28	1	09-dez-2018	06-jan-2019					1,0								
INSP PREV	Inspeccionar escovas e conexões do pantógrafo	Translação do carro	28	1	07-dez-2018	04-jan-2019			1,0										
INSP PREV	Inspeccionar visualmente rodas do carro	Translação do carro	56	1	10-dez-2018	04-fev-2019													
LUB	Lubrificação dos rolamentos das rodas do carro	Translação do carro	28	1	10-dez-2018	07-jan-2019						1,0							
PRED	Realizar END de partícula magnética nas rodas do carro	Translação do carro	672	2	07-mar-2017	08-jan-2019							2,0						
LUB	Lubrificação dos rolamentos e engrenagens do reductor do carro	Translação do carro	28	1	11-dez-2018	08-jan-2019							1,0						
PRED	Análise de vibração dos rolamentos e engrenagens do reductor do carro	Translação do carro	28	1	12-dez-2018	09-jan-2019								1,0					
INSP PREV	Inspeccionar suspensão do carro	Translação do carro	28	1	12-dez-2018	09-jan-2019									1,0				
INSP PREV	Regular freio da translação do carro	Translação do carro	28	1	13-dez-2018	10-jan-2019										1,0			
INSP PREV	Inspeccionar, limpar e ajustar componentes elétricos da translação do carro	Translação do carro	28	1	14-dez-2018	11-jan-2019													1,0

Plano de Manutenção Pontes Rolantes										Semana4							Semana5				
TIPO	Descrição da Atividade	Descrição do Ativo (Subconjunto)	Período cidade	HH	Data ultimo serviço	Prox. Serviço	21/jan	22/jan	23/jan	24/jan	25/jan	26/jan	27/jan	28/jan	29/jan	30/jan	31/jan	01/fev	02/fev	03/fev	
INSP PREV	Medir isolamento do motor da translação da ponte	Translação da ponte	28	1	26-dez-2018	23-jan-2019			1,0												
INSP PREV	Inspeccionar ligações elétricas	Translação da ponte	28	1	27-dez-2018	24-jan-2019				1,0											
INSP PREV	Inspeccionar rolamentos do motor da ponte	Translação da ponte	28	1	28-dez-2018	25-jan-2019					1,0										
PRED	Análise de vibração nos rolamentos do motor da ponte	Translação da ponte	28	1	28-dez-2018	25-jan-2019					1,0										
LUB	Lubrificação dos rolamentos do motor da ponte	Translação da ponte	28	1	28-dez-2018	25-jan-2019					1,0										
INSP PREV	Inspeccionar escovas e conexões do pantógrafo	Translação da ponte	28	1	28-dez-2018	25-jan-2019					1,0										
INSP PREV	Inspeccionar rolamentos das rodas de translação da ponte	Translação da ponte	28	1	28-dez-2018	25-jan-2019					1,0										
PRED	Análise de vibração nos rolamentos das rodas de translação da ponte	Translação da ponte	28	1	28-dez-2018	25-jan-2019					1,0										
LUB	Lubrificação dos rolamentos das rodas de translação da ponte	Translação da ponte	28	1	28-dez-2018	25-jan-2019					1,0										
PRED	Realizar END de partícula magnética nas rodas de translação da ponte	Translação da ponte	672	2	29-mar-2017	30-jan-2019										2,0					
LUB	Lubrificação dos rolamentos e engrenagens do redutor do guincho	Translação da ponte	28	1	02-jan-2019	30-jan-2019										1,0					
PRED	Análise de vibração dos rolamentos e engrenagens do redutor do guincho	Translação da ponte	28	1	02-jan-2019	30-jan-2019										1,0					
INSP PREV	Inspeccionar suspensão da ponte	Translação da ponte	28	1	02-jan-2019	30-jan-2019										1,0					
INSP PREV	Regulagem do freio de translação da ponte	Translação da ponte	28	1	02-jan-2019	30-jan-2019										1,0					
INSP PREV	Inspeccionar, limpar e ajustar componentes elétricos da translação da ponte	Translação da ponte	28	1	02-jan-2019	30-jan-2019										1,0					

Plano de Manutenção Pontes Rolantes										Semana7							Semana8						
TIPO	Descrição da Atividade	Descrição do Ativo (Subconjunto)	Período cidade	HH	Data ultimo serviço	Prox. Serviço	11/fev	12/fev	13/fev	14/fev	15/fev	16/fev	17/fev	18/fev	19/fev	20/fev	21/fev	22/fev	23/fev	24/fev			
INSP PREV	Medir isolamento do motor de içamento do guincho	Içamento do Guincho	28	1	14-jan-2019	11-fev-2019	1,0																
INSP PREV	Inspeccionar ligações elétricas	Içamento do Guincho	28	1	14-jan-2019	11-fev-2019	1,0																
INSP PREV	Inspeccionar rolamentos do motor do guincho	Içamento do Guincho	28	1	17-dez-2018	14-jan-2019	1,0																
PRED	Análise de vibração nos rolamentos do motor do guincho	Içamento do Guincho	28	1	17-dez-2018	14-jan-2019	1,0																
LUB	Lubrificação dos rolamentos do motor do guincho	Içamento do Guincho	28	1	17-dez-2018	14-jan-2019	1,0																
INSP PREV	Inspeccionar e regular limite de cames	Içamento do Guincho	28	1	17-dez-2018	14-jan-2019	1,0																
LUB	Lubrificação dos rolamentos e engrenagens do redutor do guincho	Içamento do Guincho	28	1	18-dez-2018	15-jan-2019		1,0															
PRED	Análise de vibração dos rolamentos e engrenagens do redutor do guincho	Içamento do Guincho	28	1	18-dez-2018	15-jan-2019		1,0															
LUB	Lubrificação do cabo de aço	Içamento do Guincho	56	1	19-dez-2018	13-fev-2019			1,0														
PRED	Inspeção preditiva no cabo de aço	Içamento do Guincho	21	1	24-jan-2019	14-fev-2019				1,0													
LUB	Lubrificar roldana de içamento do guincho	Içamento do Guincho	28	1	21-dez-2018	18-jan-2019					1,0												
INSP PREV	Inspeccionar roldana de içamento do guincho	Içamento do Guincho	28	1	21-dez-2018	18-jan-2019					1,0												
INSP PREV	Inspeccionar moitão	Içamento do Guincho	28	1	21-dez-2018	18-jan-2019					1,0												
LUB	Lubrificar moitão	Içamento do Guincho	56	1	21-dez-2018	15-fev-2019						1,0											
PRED	Realizar END de partícula magnética nas rodas do carro	Içamento do Guincho	672	2	17-abr-2017	18-fev-2019								2,0									
INSP PREV	Inspeccionar da roda guia	Içamento do Guincho	28	1	24-dez-2018	21-jan-2019									1,0								
LUB	Lubrificar rolamento da roda guia	Içamento do Guincho	28	1	24-dez-2018	21-jan-2019									1,0								
PRED	Análise de vibração dos rolamentos da roda guia	Içamento do Guincho	28	1	24-dez-2018	21-jan-2019									1,0								
INSP PREV	Regulagem do freio de içamento do guincho	Içamento do Guincho	28	1	25-dez-2018	22-jan-2019										1,0							
INSP PREV	Limpeza do painel do controle	Rádio	28	1	22-jan-2019	19-fev-2019															1,0		