

Universidade Federal de Juiz de Fora
Faculdade de Engenharia
Curso de Graduação em Engenharia Mecânica

Evandro Dias Gaio

**PROPOSTA DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO DE UM
EQUIPAMENTO INDUSTRIAL ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE
FERRAMENTAS DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM
CONFIABILIDADE**

Juiz de Fora

2016

Evandro Dias Gaio

**PROPOSTA DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO DE UM
EQUIPAMENTO INDUSTRIAL ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE
FERRAMENTAS DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM
CONFIABILIDADE**

Monografia apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Eduardo Pestana de Aguiar

Juiz de Fora

2016

Ficha catalográfica elaborada através do Modelo Latex do CDC da UFJF
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Dias Gaio, Evandro.

PROPOSTA DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO DE UM EQUI-
PAMENTO INDUSTRIAL ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE FERRA-
MENTAS DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE /
Evandro Dias Gaio. – 2016.

64 f. : il.

Orientador: Eduardo Pestana de Aguiar

Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Facul-
dade de Engenharia. Curso de Graduação em Engenharia Mecânica, 2016.

1. Palavra-chave. 2. Palavra-chave. 3. Palavra-chave. I. Sobrenome,
Nome do orientador, orient. II. Título.

Evandro Dias Gaio

**PROPOSTA DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO DE UM
EQUIPAMENTO INDUSTRIAL ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE
FERRAMENTAS DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM
CONFIABILIDADE**

Monografia apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Professor Dr. Eduardo Pestana de Aguiar - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Professor Dr. Luiz Henrique Dias Alves
Universidade Federal de Juiz de Fora

Professor Dr. Moisés Luiz Lagares Junior
Universidade Federal de Juiz de Fora

Me. Francisco José Raposo
Becton Dickinson

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Everaldo e Marilza, e à minha irmã, Geisa, que sempre me incentivaram na busca pelo conhecimento e que nunca mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa da minha vida e obtivesse este título .

Ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Juiz de Fora e às pessoas com quem convivi nesses espaços ao longo desses anos. A experiência de uma produção compartilhada na comunhão com amigos nesses espaços foram as melhores experiências da minha formação acadêmica.

Aos professores da Faculdade de Engenharia e do Instituto de Ciências Exatas que foram imprescindíveis para minha formação. Em especial, agradeço ao professor Eduardo Aguiar pela orientação, pela dedicação e pelo incentivo acadêmico e profissional e ao professor Luiz Henrique Alves por despertar o interesse pela manutenção.

RESUMO

A manutenção é um dos pilares da indústria e o engenheiro é o responsável por aplicar ferramentas matemáticas, estatísticas e computacionais alinhadas ao conhecimento de equipamentos, processos e gestão. Com a crescente competitividade do mercado mundial, torna-se indispensável não só saber quais são os métodos de intervenção, mas também saber decidir quais desses são vantajosos para um determinado equipamento. O equipamento deste estudo é importante para a empresa do ponto de vista financeiro e operacional. Devido a esta importância, este trabalho descreve uma estratégia para definição de um plano de manutenção e discute cada passo, avaliando sua importância na definição das atividades de manutenção e sua respectiva periodicidade. As ferramentas utilizadas como critérios de suporte à tomada de decisões, para elaboração deste plano, são de características quantitativas e qualitativas, que, por sua vez, são baseadas na metodologia da manutenção centrada em confiabilidade. Por este motivo, são descritos e avaliados os requisitos de sua aplicação. O resultado encontrado foi a proposta do plano de manutenção e, em adicional, foi mostrado que, para sua definição, as ferramentas de confiabilidade descritas ao longo do trabalho precisaram ser utilizadas em conjunto.

Palavras-chave: Plano de Manutenção. Confiabilidade. FMEA. MCC. Periodicidade.

ABSTRACT

Maintenance is one of the industry's pillars and the engineer is responsible for applying mathematical, statistical and computational tools aligned with equipment, process and management knowledge. With the competitiveness growth of the world market, it becomes indispensable, not only to know what the intervention methods are, but to know how to decide, which of these, are advantageous for a certain equipment. The equipment of this study is important for the company from a financial and operational point of view. Due to this importance, this work describes a strategy to define a maintenance plan and discussed each step, evaluating its importance in the definition of maintenance activities and their respective periodicity. The tools used as criteria to support decision-making, for the elaboration of this plan, are both quantitative and qualitative methods, which in turn, are based on the reliability centered maintenance methodology. For this reason, the requirements of its application are described and evaluated. The result found, was the proposal of the maintenance plan and in addition, shows that for its definition, the reliability tools described throughout the work, needed to be used together.

Key-words: Maintenance Plan. Reliability. FMEA. RCM. Frequency.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Abordagem da manutenção nas indústrias brasileiras	17
Figura 2 – Diagrama de tipos de manutenção industrial	18
Figura 3 – Evolução da manutenção	22
Figura 4 – Representação gráfica da variação do parâmetros β em relação à confiabilidade	26
Figura 5 – Variação da função densidade de falhas para diferentes η	27
Figura 6 – Curva característica da vida de equipamentos (Curva da Banheira)	28
Figura 7 – Representação gráfica Custo x Confiabilidade	33
Figura 8 – Custo do ciclo de vida de um equipamento	33
Figura 9 – Fluxograma da estratégia de criação do plano de manutenção	34
Figura 10 – Levantamento das falhas da Máquina 1	37
Figura 11 – Levantamento das falhas da Máquina 2	37
Figura 12 – Levantamento das falhas da Máquina 3	38
Figura 13 – Levantamento das falhas da Máquina 4	38
Figura 14 – Levantamento das falhas da Máquina 5	38
Figura 15 – Levantamento das falhas da Máquina 6	39
Figura 16 – Etapas do processo produtivo do equipamento	40
Figura 17 – Confiabilidade em função do tempo $R(t)$ dos componentes críticos	49
Figura 18 – Função acumulada de falhas $F(t)$ dos componentes críticos	50
Figura 19 – Determinação do ponto de mínimo custo	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Disponibilidade operacional nas indústrias	15
Tabela 2 – Idade média dos equipamentos e instalações brasileiras	17
Tabela 3 – Etapas para implementação da MCC na indústria	24
Tabela 4 – Componentes do RPN, classificação e respectivo peso	31
Tabela 5 – Notas do critério severidade (S)	41
Tabela 6 – Notas do critério ocorrências (O)	41
Tabela 7 – Notas do critério detecção (D)	42
Tabela 8 – Definição das categorias de risco e criticidade	42
Tabela 9 – Representação do FMEA, etapa 1: Abastecimento de produto interme- diário	43
Tabela 10 – Representação do FMEA, etapa 2: Movimentação do produto interme- diário	44
Tabela 11 – Representação do FMEA, etapas 3, 4.1 e 4.2: Preparação do processo, refrigeração e jateamento	45
Tabela 12 – Representação do FMEA, etapa 4: Processo de usinagem	46
Tabela 13 – Definição das estratégias de manutenção	47
Tabela 14 – Tempos até as falhas dos itens críticos (Dias)	48
Tabela 15 – Definição dos custos de manutenção para cada componente	51
Tabela 16 – Resumo da análise de confiabilidade	54
Tabela 17 – Atividades diária e semanal respectivamente do plano de manutenção .	56
Tabela 18 – Atividades mensais do plano de manutenção	56
Tabela 19 – Atividades trimestrais do plano de manutenção	57
Tabela 20 – Atividades semestrais parte 1 do plano de manutenção	58
Tabela 21 – Atividades semestrais parte 2 do plano de manutenção	59
Tabela 22 – Atividades semestrais parte 3 do plano de manutenção	60
Tabela 23 – Atividades anuais do plano de manutenção	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora
MCC	Manutenção Centrada em Confiabilidade (<i>Reliability Centered Maintenance</i> - RCM)
TPM	Manutenção Produtiva Total (<i>Total Productive Maintenance</i>)
ABRAMAN	Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos
ABIMAQ	Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos
FMEA	Análise do modo e efeito de falhas (<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>)
PIB	Produto Interno Bruto
JIT	Na hora certa (<i>Just in time</i>)
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
MTTR	Tempo médio de reparos (<i>Mean Time to Repair</i>)
MTBF	Tempo médio entre falhas (<i>Mean Time Between Repairs</i>)
RPN	Grau de Prioridade de Risco (<i>Risk Priority Number</i>)
TTF	Tempo até a falha (<i>Time to Fail</i>)
CTM	Custo total de manutenção
CMP	Custo de manutenção preventiva
CMC	Custo de manutenção corretiva
QNT	Quantidade
OEE	Eficácia geral do equipamento (<i>Overall Equipment Effectiveness</i>)

LISTA DE SÍMBOLOS

$R(t)$	Função de confiabilidade (<i>Reliability</i>)
$f(t)$	Função densidade de falhas
$F(t)$	Função acumulada de falhas
$h(t)$	Função de risco
β	Beta. Parâmetro de forma
η	Eta. Parâmetro de vida
λ	Lambda. Taxa de falhas
μ	Mu. Taxa de reparos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	12
1.2	MOTIVAÇÃO	12
1.3	METODOLOGIA	13
1.4	ESCOPO DO TRABALHO	13
1.5	OBJETIVO	14
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	MANUTENÇÃO INDUSTRIAL	15
2.2	TIPOS DE MANUTENÇÕES	16
2.2.1	MANUTENÇÃO CORRETIVA NÃO PLANEJADA	18
2.2.2	MANUTENÇÃO CORRETIVA PLANEJADA	18
2.2.3	MANUTENÇÃO PREVENTIVA	19
2.2.4	MANUTENÇÃO PREDITIVA	19
2.2.5	MANUTENÇÃO DETECTIVA	20
2.2.6	ENGENHARIA DE MANUTENÇÕES	20
2.2.7	MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL	21
2.3	EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO	21
2.4	MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE	23
2.4.1	IMPLEMENTAÇÃO DA MCC	23
2.5	CONFIABILIDADE	24
2.5.1	FUNÇÕES DE CONFIABILIDADE	24
2.6	MANTENABILIDADE E TAXA DE REPAROS	27
2.7	FALHAS	28
2.7.1	TAXA DE FALHAS	28
2.8	DISPONIBILIDADE	29
2.8.1	TEMPO MÉDIO ENTRE FALHAS	29
2.8.2	TEMPO MÉDIO PARA REPAROS	30
2.9	ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHAS (FMEA)	30
2.9.1	MODOS DE FALHAS	31
2.9.2	EFEITOS DAS FALHAS	32
2.10	CUSTOS DE MANUTENÇÃO	32
3	ESTUDO DE CASO	34

3.1	DETERMINAÇÃO DA ESTRATÉGIA PARA DEFINIÇÃO DO PLANO DE MANUTENÇÃO	34
3.2	EQUIPAMENTO	36
3.3	COLETA DE DADOS	36
3.3.1	ANÁLISE DO HISTÓRICO DE FALHAS	37
3.3.2	DETERMINAÇÃO DOS ITENS CRÍTICOS	39
3.4	ELABORAÇÃO DO FMEA	39
3.4.1	IDENTIFICAÇÃO DAS FALHAS	40
3.4.2	CLASSIFICAÇÃO DAS FALHAS	40
3.4.3	DEFINIÇÃO DA CRITICIDADE	42
3.4.4	REPRESENTAÇÃO DO FMEA	42
3.5	DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO	47
3.6	DEFINIÇÃO DA PERIODICIDADE DAS ATIVIDADES	47
3.6.1	DETERMINAÇÃO DO TTF DOS COMPONENTES CRÍTICOS	48
3.6.2	DETERMINAÇÃO DAS FUNÇÕES DE CONFIABILIDADE	48
3.6.3	DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS DE MANUTENÇÃO	50
3.7	DEFINIÇÃO DA LISTA TÉCNICA	53
4	RESULTADOS	54
4.1	RESULTADOS ALCANÇADOS	54
5	CONCLUSÕES	62
	REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, serão abordadas uma introdução sobre a importância da gestão da manutenção industrial alinhada à relevância deste estudo para um engenheiro, a motivação do trabalho e o objetivo deste estudo.

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Historicamente, a manutenção tem sido vista como um setor gerador de custos para as empresas, pois suas atividades são vistas como simples tarefas de reparos. Porém, no cenário atual, de economia globalizada, a competitividade crescente em manufatura tem exigido melhorias e redução de custos em processos produtivos, o que tem aumentado o uso de equipamentos e processos, aumentando a importância da manutenção (SIQUEIRA, 2012).

Segundo Slack, Chambers e Johnston (2009), é possível afirmar que nem todas as falhas são igualmente danosas, pois a importância de uma falha é determinada por seu efeito no desempenho global do sistema de produção. Se algumas falhas podem não ter efeito, outras podem gerar desperdício de matéria prima em processos, afetar a qualidade de produtos ou atrasar prazos de entrega, causando aumento de custos, insatisfação dos clientes e danos à imagem da empresa.

Os autores Corrêa e Corrêa (2000) dizem que, para gerenciar a confiabilidade e a disponibilidade de equipamentos, a gestão de manutenção deve usar métodos qualitativos ou quantitativos. Os métodos qualitativos são aqueles que incorporam fatores subjetivos nas análises. Já nos métodos quantitativos, as previsões são baseadas em dados históricos dos quais procura-se extrair padrões de comportamento.

1.2 MOTIVAÇÃO

O maior desafio para as pessoas que estão envolvidas com a manutenção nas indústrias nos dias de hoje não é apenas saber das técnicas utilizadas na manutenção, mas saberem decidir quais delas devem realmente ser aplicadas em um determinado equipamento. Se forem realizadas as escolhas certas, é possível melhorar o desempenho do ativo, conseguindo ao mesmo tempo uma redução dos custos de manutenção e um aumento de sua confiabilidade operacional. Por outro lado, se houverem más escolhas, novos problemas serão criados, enquanto aqueles já existentes tenderão a piorar (SILVEIRA, 2015).

O equipamento deste estudo possui grande relevância do ponto de vista operacional e financeiro para a empresa. Do ponto de vista operacional, o equipamento representa o processo mais delicado e importante da linha de produção. Do ponto de vista financeiro,

seu processo gera o maior valor agregado ao produto. Por esses motivos, deve-se manter suas funções operáveis o maior tempo possível, alinhado a custos de reparos controlados.

A motivação da implementação de ferramentas da manutenção centrada em confiabilidade (MCC) é conseguir determinar uma rotina de atividades de forma estratégica, mantendo este complexo equipamento operando a custos aceitáveis. Espera-se que a elaboração de um plano de manutenção eficiente permita atingir esses objetivos.

1.3 METODOLOGIA

Uma das características da MCC é fornecer um método estruturado para se elaborar atividades de manutenção para qualquer equipamento, processo produtivo ou sistema. O método é formado por um conjunto de passos bem definidos, os quais precisam ser seguidos em forma sequencial para garantir os resultados desejados (SIQUEIRA, 2012).

O estudo proposto para este trabalho constitui-se pela busca de conhecimentos sobre manutenção, em específico a MCC, através de pesquisa, observação, identificação, classificação, análise, interpretação de dados, elaboração qualitativa e quantitativa.

A pesquisa tem caráter quantitativo e qualitativo por se tratar de um tipo específico de manutenção que envolve uma modelagem estocástica de parâmetros, como, por exemplo, função densidade de falhas e confiabilidade, sendo ainda bibliográfica e documental, pois para sua fundamentação utilizou-se investigação em artigos, teses, monografias, revistas e redes eletrônicas.

1.4 ESCOPO DO TRABALHO

O presente trabalho aborda um tema de grande relevância, visto que a manutenção é requerida em toda organização industrial, independentemente de seu porte. A função da manutenção na indústria tem se reestruturado ao longo dos anos, prevalecendo um caráter estratégico de apoio à produtividade para um melhor desempenho e competitividade.

Desta forma, torna-se indispensável à formação do engenheiro mecânico o conhecimento do tema, diante de sua relevância e de sua grande possibilidade de atuação na área de manutenção quando em uma planta industrial.

Propõe-se aplicar as técnicas da MCC em um equipamento de grande relevância no processo produtivo de uma indústria, o qual vem apresentando um grande número de intervenções corretivas, como uma ferramenta de melhoria de desempenho e de redução de custos.

1.5 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo associar o conhecimento técnico fabril à utilização de ferramentas da MCC. Desta forma, será elaborada uma proposta de um plano de manutenção que contenha: a descrição das atividades de forma clara e objetiva; a periodicidade destas atividades; e a lista técnica dos componentes envolvidos. Este plano será elaborado para um equipamento de produção o qual é responsável por um processo de usinagem automatizado.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é composto por cinco capítulos, Introdução, Referencial Teórico, Estudo de caso, Resultados e Conclusão.

No capítulo Introdução, são apresentados as considerações iniciais, a motivação para o trabalho, o objetivo e a metodologia.

No capítulo Referencial Teórico, é feita uma introdução a todos os assuntos relacionados ao desenvolvimento do trabalho, sendo eles: introdução à manutenção industrial, evolução e tipos de manutenções, indicadores de manutenção, análise de falhas, funções de confiabilidade, distribuição de probabilidade e, por último, custos de manutenção.

No capítulo Estudo de Caso, são apresentadas as estratégias para o desenvolvimento do plano, o equipamento estudado, a coleta de dados e a sequência de utilização das ferramentas da MCC para suporte à análise de tomada de decisões do plano de manutenção.

No capítulo Resultados, é apresentada uma síntese do estudo de caso. É também discutido como a proposta do plano de manutenção foi feita através do estudo de caso.

No capítulo Conclusão, é apresentada e discutida a obtenção do objetivo, as dificuldades e contribuições do trabalho e são sugeridas recomendações para futuros trabalhos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta os conceitos e as definições no âmbito do conhecimento da manutenção que serão recorrente no desenvolvimento do referido trabalho. Traz também uma síntese da visão sobre a função manutenção nas organizações ao longo dos anos. É feita uma introdução às ferramentas utilizadas na análise de manutenção e à visão da manutenção como função estratégica e pela MCC.

2.1 MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

A manutenção industrial pode ser conceituada como um conjunto de ações necessárias para manter ou restaurar uma peça, equipamento, máquina ou sistema de forma a estabelecer uma condição operável e objetivando a máxima vida útil. Em busca de competitividade e excelência operacional, a manutenção assume cada vez mais uma função estratégica nas organizações, onde ela é a responsável direta pela disponibilidade dos ativos e acaba tendo uma importância capital nos resultados da empresa, sendo eles tão melhores quanto mais eficaz for a gestão da manutenção industrial (SILVEIRA, 2015).

Atualmente, o grande desafio para o planejamento da manutenção é exatamente a definição de quando e que tipo de intervenção deve ser feita em determinado equipamento. Apesar de existir farto material sobre confiabilidade de produtos, na perspectiva dos fabricantes, a discussão da aplicação da confiabilidade em itens em operação, na perspectiva da manutenção, ainda é escassa na literatura (MENDES; RIBEIRO, 2014).

A manutenção deve ser vista pelas empresas não como uma atividade de reparo e geradora de custos mas como uma função estratégica para aumentar a produtividade, a disponibilidade dos equipamentos e a maximização dos lucros. Segundo dados da ABRAMAN, a indisponibilidade operacional devido à manutenção nos últimos 10 anos corresponde a 5,6% . Ou seja, as empresas ficam 5,6% de seu tempo paradas para realizar atividades de manutenção. Pode-se dizer que isso sustenta a necessidade de otimização da política de manutenção, da disponibilidade e do balanceamento adequado das várias abordagens de manutenção, na busca de maior competitividade (BEVILACQUA et al., 2000; COSTA, 2012; NEVES, 2016).

Tabela 1 – Disponibilidade operacional nas indústrias

Tipo	1997	1999	2001	2003	2005	2007	2009	2011	2013
Disponibilidade Operacional	85,82	89,30	91,38	89,48	88,20	90,82	90,27	91,30	89,29
Indisponibilidade devido a manutenção	4,74	5,63	5,15	5,82	5,80	5,30	5,43	5,44	6,15

Fonte: Adaptado de Neves (2016)

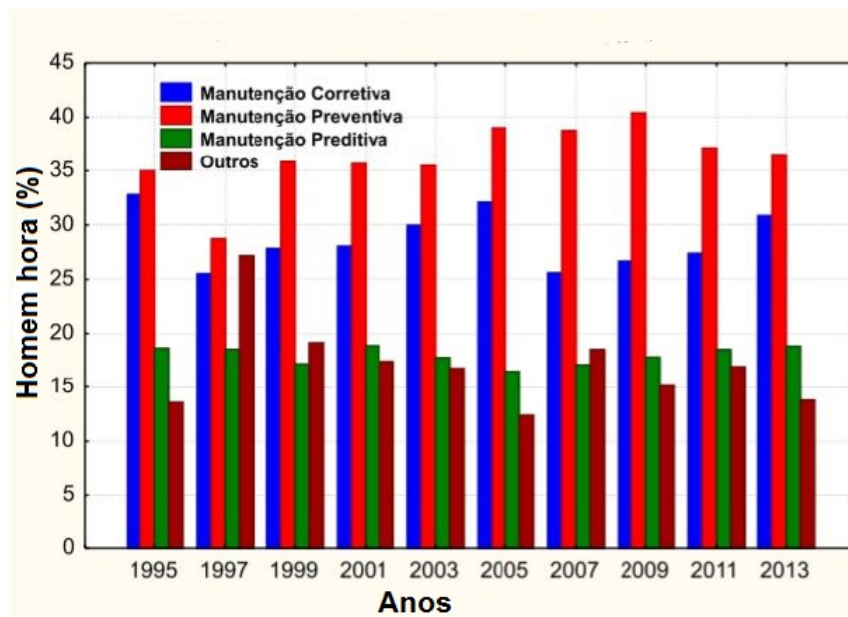
De acordo com Kardec e Nascif (2009), a manutenção, para ser estratégica, precisa estar voltada para os resultados empresariais da organização. É preciso, sobretudo, deixar de ser apenas eficiente para se tornar eficaz, ou seja, não basta, apenas, reparar o equipamento ou a instalação tão rápido quanto possível, mas é preciso, principalmente, manter a função do equipamento disponível para a operação, reduzindo a probabilidade de uma parada de produção não planejada. Pode-se dizer que uma manutenção estratégica deve ter reflexo nos resultados operacionais em algum ou alguns dos seguintes aspectos:

- Aumento da disponibilidade;
- Aumento do faturamento e do lucro;
- Aumento da segurança pessoal e das instalações;
- Redução da demanda de serviços;
- Redução de custos;
- Redução de lucros cessantes;
- Preservação ambiental.

2.2 TIPOS DE MANUTENÇÕES

As atividades da manutenção são divididas de diversas maneiras, em que a divisão primordial trata do planejamento, ou seja, manutenções não planejadas e manutenção planejadas. Existem várias abordagens adotadas para a prática da manutenção e que são classificadas conforme o método de intervenção no sistema produtivo, agindo antecipadamente à falha, posteriormente à falha ou de forma a monitorá-la. A Figura 1, extraída do último relatório anual da ABRAMAN, representa a distribuição das abordagens de manutenção aplicadas nas indústrias brasileiras.

Figura 1 – Abordagem da manutenção nas indústrias brasileiras



Fonte: Neves (2016)

Pode-se observar, através da Figura 1, a pequena evolução da indústria brasileira, no quesito manutenção, nesses 18 anos. Neves (2016) diz que a situação da manutenção no Brasil, altamente corretiva, explica o alto custo de manutenção das empresas e a baixa competitividade do país. Um dos principais motivos que ditam essa tendência é a idade média dos equipamentos na indústria. Para equipamentos mais antigos, muitas vezes é mais interessante esperar até a falha, já que em algumas situações as peças de reposição são caras e difíceis de se encontrar. A Tabela 2 mostra um estudo sobre a idade dos equipamentos na indústria brasileira feito pela Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos (ABIMAQ).

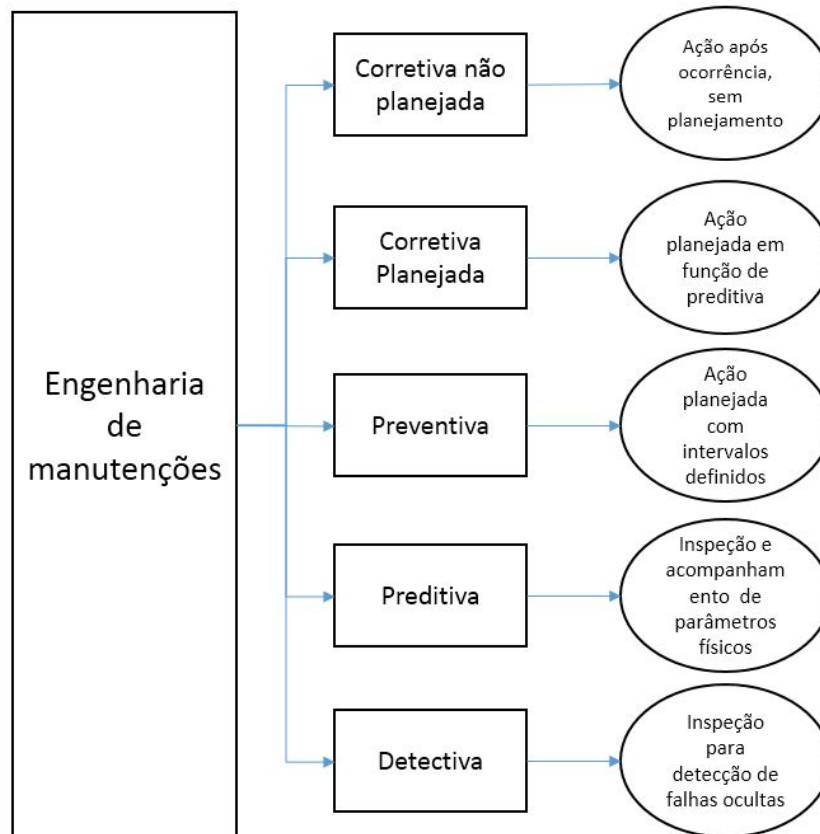
Tabela 2 – Idade média dos equipamentos e instalações brasileiras

Ano	Idade média
2013	16,90 (17 anos)
2011	15,94 (16 anos)
2009	16,73 (17 anos)
2007	17,27 (17 anos)
2005	16,95 (17 anos)
2003	16,38 (16 anos)
2001	17,97 (18 anos)
1999	15,96 (16 anos)
1997	15,51 (16 anos)
1995	16,20 (16 anos)

Fonte: Adaptado de Neves (2016)

De acordo com Kardec e Nascif (2009), pode-se dividir os tipos de manutenção de acordo com o diagrama da Figura abaixo:

Figura 2 – Diagrama de tipos de manutenção industrial



Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif (2009)

2.2.1 MANUTENÇÃO CORRETIVA NÃO PLANEJADA

É a forma mais simples e primitiva de manutenção. Significa deixar as instalações continuarem a operar até que quebrem. O trabalho de manutenção é realizado somente após a quebra do equipamento ter ocorrido. Para a manutenção corretiva não-planejada, a correção da falha ou do desempenho abaixo do esperado é realizada sempre após a ocorrência do fato, sem acompanhamento ou planejamento anterior. Implica em altos custos e baixa confiabilidade de produção, já que gera ociosidade e danos maiores aos equipamentos, muitas vezes irreversíveis (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009; OTANI; MACHADO, 2008).

2.2.2 MANUTENÇÃO CORRETIVA PLANEJADA

A manutenção corretiva planejada acontece quando a manutenção é preparada. Ocorre, por exemplo, pela decisão gerencial de operar até a falha. É geralmente adotada para equipamentos que não são críticos para toda a planta. De acordo com Costa (2012),

poucas plantas industriais usam uma filosofia verdadeira de gerência por manutenção corretiva. Em quase todos os casos, as plantas industriais realizam tarefas preventivas básicas, como lubrificação e ajustes da máquina, mesmo em um ambiente de manutenção corretiva. Entretanto, o mais importante é que, ao adotar esse tipo de filosofia, as máquinas e equipamentos da planta não são revisados e não passam por grandes reparos até a falha.

Esse tipo de gerência de manutenção, apesar de simples, pode requerer custos altíssimos associados a: estoque de peças sobressalentes, trabalho extra, custo ociosidade de máquina e baixa disponibilidade de produção. E os custos tendem a aumentar ainda mais caso o tempo de reação se prolongue, seja por falha da equipe de manutenção, seja por falta de peça de reposição (COSTA, 2012).

2.2.3 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

A manutenção preventiva pode ser definida como a atuação de forma a reduzir ou evitar falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo (KARDEC; NASCIF, 2009).

Ainda segundo Kardec e Nascif (2009), pode-se dizer que a manutenção preventiva será tanto mais conveniente quanto maior for a simplicidade na reposição; quanto maior forem os custos de falha; quanto mais as falhas prejudicarem a produção; e quanto maiores forem as implicações das falhas na segurança operacional.

Esta manutenção apresenta uma melhor eficácia quando os intervalos de tempo estão determinados. Consequentemente pode, também, ser considerada uma menos valia a sua prática, podendo ocorrer uma tendência natural de se realizar intervenções em períodos de tempos menores, contribuindo para uma eventual troca desnecessária de peças.

Para a aplicação deste tipo de manutenção, é muito comum alinhar a ferramentas da manutenção centrada em confiabilidade. A partir destas ferramentas, pode ser decidido para cada possível falha seu nível de risco e decidir se vale a pena trocar preventivamente ou esperar até a falha e ainda, caso admita-se trocar de forma preventiva, qual deverá ser esse tempo de forma otimizada.

2.2.4 MANUTENÇÃO PREDITIVA

O conceito de manutenção preditiva está inserido na modalidade de manutenção há, aproximadamente, oito décadas; porém, como outras modalidades de manutenção, se efetivou como importante ferramenta de produtividade a partir de 1970, sendo que sua evolução se destaca nas duas décadas mais recentes, como discutido por diversos autores da área de manutenção (LIMA; ARANTES, 2008).

É o tipo de manutenção que realiza o acompanhamento de variáveis e parâmetros de desempenho de máquinas e equipamentos, visando a definir o instante correto da

intervenção, com o máximo de aproveitamento do ativo. O nome preditiva vem do fato de prever as condições dos equipamentos (OTANI; MACHADO, 2008; KARDEC; NASCIF, 2009).

Kardec e Nascif (2009) ainda colocam que o objetivo da manutenção preditiva é prevenir falhas nos equipamentos ou sistemas através de acompanhamento de parâmetros diversos, permitindo a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível.

Segundo Santos (2009), a manutenção preditiva pode fazer o acompanhamento de diversos parâmetros através de alguma das seguintes técnicas:

- Ensaio elétrico: corrente, tensão e isolamento.
- Análise de vibrações: nível global, espectro de vibrações e pulsos de choque.
- Análise de óleos: viscosidade, teor de água e contagem de partículas.
- Análise de temperatura: termometria convencional e indicadores de temperatura.
- Energia acústica: ultrassom e emissão acústica.

2.2.5 MANUTENÇÃO DETECTIVA

A manutenção detectiva pode ser definida como a atuação efetuada em sistemas de proteção, comando e controle, buscando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção (KARDEC; NASCIF, 2009).

Para equipamentos críticos os quais alimentam toda uma planta, alinhados à manutenção preditiva, são formas de manutenção indispensáveis. Tais equipamentos devem possuir disponibilidade altíssima e ainda grande confiabilidade, pois quando precisar parar deve ser planejado.

2.2.6 ENGENHARIA DE MANUTENÇÕES

A engenharia de manutenções é uma forma de gestão da manutenção no sentido que busca a consolidação de rotina e adota uma política de melhoria contínua das atividades de manutenção. Para Kardec e Nascif (2009), a engenharia de manutenções significa perseguir *benchmarks*, ou seja, aprender com empresas líderes de mercado novas técnicas aplicáveis às atividades de manutenção na busca pela excelência. É de responsabilidade da engenharia de manutenção aumentar a confiabilidade, a disponibilidade e a segurança dos equipamentos; buscar novos projetos; elaborar planos de manutenção e inspeção; fazer análise de falhas; e ainda garantir a capacitação da equipe.

2.2.7 MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL

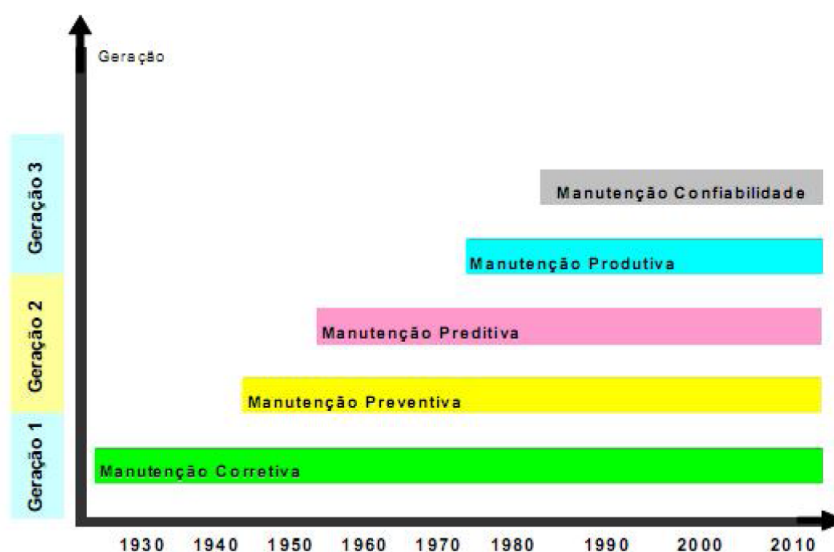
A Manutenção Produtiva Total, do inglês *Total Productive Maintenance* (TPM), se torna uma ferramenta importante para as empresas. Esta é utilizada como uma metodologia da manutenção que, aplicada na empresa, preconiza retornos, como melhoria na qualidade do produto, redução de desperdícios (refugo e/ou retrabalho) e organização nas instalações das mesmas. Além disso, desenvolve conhecimentos capazes de reeducar as pessoas para ações de prevenção e melhoria contínua, garantindo o aumento da disponibilidade do maquinário, gerando maior produtividade, melhor desempenho e motivação pessoal por partes dos funcionários sem muitos investimentos adicionais. A manutenção produtiva total, geralmente conhecida como TPM, é a manutenção realizada por todos os empregados, por meio de atividades de pequenos grupos que visam o controle completo dos equipamentos. (YAMAGUCHI, 2005)

A TPM surgiu no Japão e é encarada como uma extensão natural da organização fabril. Segundo a metodologia é responsabilidade de cada um cuidar da organização e seus equipamentos.

2.3 EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO

A atividade de manutenção tem sofrido muitas mudanças nas últimas décadas. Kardec e Nascif (2009) afirmam que tais alterações são consequências do rápido aumento do número, da complexidade e da diversidade dos itens físicos (instalações, equipamentos e edificações). Pode-se também acrescentar a utilização de novas técnicas de manutenção e dos novos enfoques e responsabilidades, como uma função estratégica para melhoria dos resultados e aumento da competitividade das organizações. Tais expectativas de mudança vêm trazendo uma nova postura para as empresas. A evolução da manutenção pode ser compreendida de acordo com a Figura abaixo:

Figura 3 – Evolução da manutenção



Fonte: Siqueira (2012)

De acordo com Siqueira (2012), pode-se classificar e definir as gerações da seguinte maneira:

- 1ª Geração: Mecanização. Geração que ocorreu antes da 2ª Guerra Mundial. Neste tempo, a indústria era pouco mecanizada e possuía equipamentos simples, superdimensionados alinhados a uma produtividade baixa. Devido a isso, a manutenção não era uma função importante, sendo assim, durante esta fase, havia uma utilização básica de manutenção corretiva não planejada.
- 2ª Geração: Industrialização. Geração que ocorreu após a 2ª Guerra Mundial, quando houve um forte aumento da mecanização e complexidade das instalações industriais, devido a uma maior busca de produtividade. Por este motivo, as plantas começaram a ficar mais dependentes de uma maior disponibilidade dos equipamentos e, para que isso ocorresse, começaram a ser adotadas rotinas de manutenção planejada que evitassem que o equipamento falhasse. Esta ficou conhecida como a fase do início da utilização da manutenção preventiva e preditiva.
- 3ª Geração: Automação. Geração que começou a partir da década de 70 e é a tendência mundial. Tal geração se caracteriza por possuir produção por demanda, conhecida como *just in time* (JIT) e pela utilização de estratégias para prevenção de falhas com o uso de tecnologia e monitoramento. Nesta geração, que é considerada atual, devido à competitividade global, foi criada a engenharia de manutenções, setor responsável por tratar a manutenção como função estratégica, utilizando técnicas de redução de custos de manutenção e aumento da confiabilidade dos equipamentos.

2.4 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

A MCC originou-se na indústria aeronáutica americana, porém seus conceitos e técnicas são aplicáveis a outros setores da indústria. Ela pode ser definida como um programa que reúne várias técnicas de engenharia para assegurar que os equipamentos de uma planta fabril cumprirão suas funções especificadas. O modelo binário é o mais simples usado para representar a condição de um item ou sistema: em funcionamento ou em falha (SIQUEIRA, 2012; FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

O principal objetivo da MCC é criar uma rotina de manutenção estratégica que preserve funções, sistema e equipamentos de forma efetiva e com custos aceitáveis. Se os custos de uma manutenção preventiva forem maiores que o custo associado às perdas operacionais e ao reparo, a manutenção não é vantajosa, a menos que se trate de um requisito normativo ou relacionado à segurança ou meio ambiente (WILMETH; USREY, 2000; BLOOM, 2006).

A base de trabalho de um programa de MCC é a definição das funções e dos padrões de desempenho dos equipamentos, seguida da descrição de suas possíveis falhas, bem como da análise de suas causas, consequências e da definição de ações que impeçam ou amenizem sua ocorrência (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

De acordo com Bloom (2006), para utilização da metodologia da MCC, a disponibilidade de informações é obrigatória. Para tanto, é essencial estabelecer um banco de dados que registre e classifique as falhas observadas no sistema, o que permite estudos formais da confiabilidade que servirão de base para o dimensionamento das atividades de manutenção.

2.4.1 IMPLEMENTAÇÃO DA MCC

O sistema escolhido deve ser relevante do ponto de vista operacional e financeiro, justificando a aplicação da MCC e o envolvimento da alta gerência. As funções padrões de desempenho determinam requisitos de operação do equipamento que atendam satisfatoriamente às necessidades dos processos, sendo a base do estudo. Outro ponto importante considerado pela MCC são as formas com que o equipamento pode vir a falhar e as causas de cada falha (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

Definidas as causas das falhas, é importante avaliar as consequências que cada falha pode trazer ao sistema, de forma a definir um plano de ações eficaz e priorizando as atividades de manutenção preventiva e/ou corretiva necessárias para prevenir ou impedir tais falhas. A Figura 3 mostra uma Tabela resumo da visão de alguns autores sobre os passos requeridos para a implementação da MCC em uma indústria (SMITH, 1993; MOUBRAY, 1997; EINARSSON; RAUSAND, 1998).

Tabela 3 – Etapas para implementação da MCC na indústria

Etapas	Smith (1993)	Moubray (2000)	NASA (2000)	Rousand et al. (1998)
1	Seleção do sistema e coleta de informações	Definição das funções padrões de desempenho	Identificação do sistema e suas fronteiras	Preparação do estudo
2	Definição das fronteiras do sistema	Definição da forma como o item falha ao cumprir suas funções	Identificação dos sub-sistemas e componentes	Seleção do sistema
3	Descrição do sistema	Descrição da causa de cada falha funcional	Exame das funções	Análise das Funções e Falhas Funcionais - AFF
4	Funções e falhas funcionais	Descrição das consequências de cada falha.	Definição das falhas e dos modos de falha.	Seleção dos itens críticos
5	Análise dos modos, efeitos e criticidade das falhas	Definição da importância de cada falha	Identificação das consequências das falhas	Coleta e análise de informações
6	Análise da árvore lógica	Seleção de tarefas preditivas e preventivas para cada falha	Análise do diagrama lógico de decisão	Análise dos modos efeitos e criticidade das falhas
7	Seleção das tarefas preventivas	Seleção de tarefas alternativas	Seleção das tarefas preventivas	Seleção das tarefas de manutenção
8				Determinação da frequência das tarefas de manutenção.

Fonte: Souza e Lima (2003)

2.5 CONFIABILIDADE

O termo confiabilidade na manutenção, do inglês *Reliability*, teve origem nas análises de falhas em equipamentos eletrônicos para uso militar, durante a década de 50, nos Estados Unidos. Segundo a norma NBR 5462-1994, confiabilidade é a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um intervalo de tempo. O termo confiabilidade $R(t)$ é usado como uma medida de desempenho de confiabilidade (TATSCH, 2010).

2.5.1 FUNÇÕES DE CONFIABILIDADE

Segundo Cunha et al. (2012) e Fogliatto e Ribeiro (2011), a confiabilidade de um equipamento ou sistema é definida na fase de projeto, mas pode ser gerenciada pela manutenção. As funções mais utilizadas para análise da confiabilidade são: função densidade de falhas $f(t)$, função acumulada de falhas $F(t)$ e função confiabilidade $R(t)$.

A função densidade de falhas $f(t)$ representa a variação da probabilidade de falhas por unidade de tempo. É representada graficamente por uma função de distribuição de probabilidade e matematicamente é representada pela equação (2.1):

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (2.1)$$

A função acumulada de falhas, $F(t)$, calcula a probabilidade de falha de um item entre o intervalo de tempo t_1 e t_2 . É representada graficamente por uma função de distribuição de densidade acumulada e matematicamente expressa pela equação (2.2):

$$F(t_2) - F(t_1) = \int_{t_1}^{t_2} f(t)dt \quad (2.2)$$

A função confiabilidade $R(t)$ representa justamente o oposto da $F(t)$, ou seja, é a probabilidade de um item não falhar em um intervalo de tempo t_1 e t_2 . Tal função pode ser calculada pela equação (2.3):

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt = 1 - \int_{-\infty}^t f(t)dt = 1 - F(t) \quad (2.3)$$

Para estudos de confiabilidade em manutenção, é necessário determinar uma distribuição de probabilidade que se ajuste aos dados de sobrevivência do sistema até o tempo desejado. As principais distribuições de interesse para a manutenção são: lognormal, exponencial, gamma e Weibull (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011).

A distribuição de Weibull é uma das mais importantes distribuições em modelos de confiabilidade devido a sua flexibilidade e capacidade de representação de amostras de tempos até a falha com comportamentos distintos, além de poder ser usada em pequenas amostras. O modelo de Weibull é indicado para explicar o comportamento de sistemas cuja falha nasce da competição entre diversos modos de falha. Matematicamente, as funções de confiabilidade descritas acima e modeladas pela distribuição de Weibull podem ser verificadas nas equações 2.4 a 2.6 (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2011; LAFRAIA, 2001).

$$F(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.4)$$

$$R(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.5)$$

$$h(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (2.6)$$

Em que:

η = parâmetro de escala;

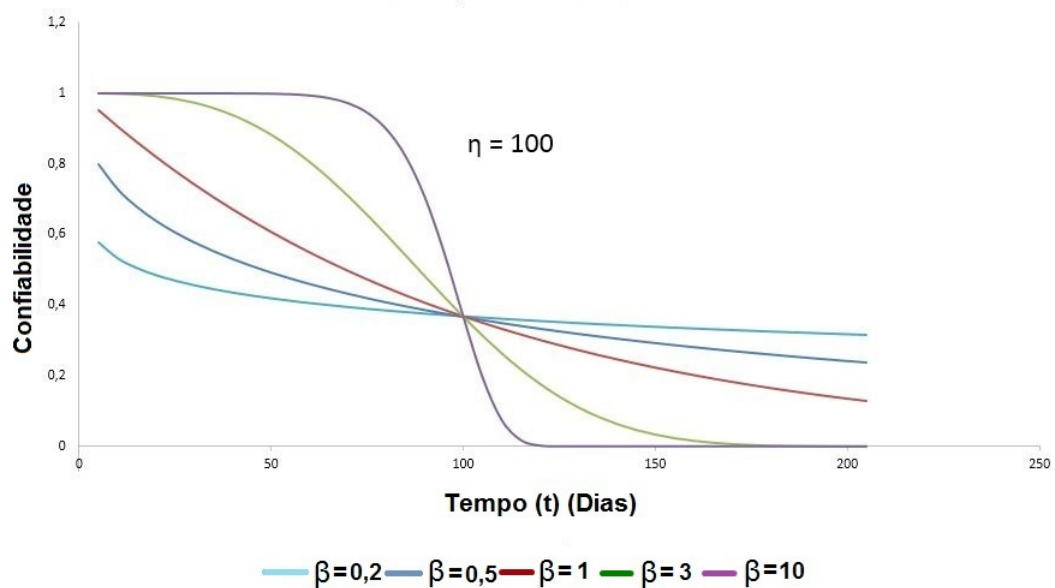
β = parâmetro de forma;

t = tempo até a falha.

A distribuição de Weibull possui dois principais parâmetros: η , conhecido como parâmetro de escala ou característica de vida, e β , conhecido como parâmetro de forma.

O parâmetro de forma β representa a geometria da curva. Quando $\beta \leq 1$, menores valores de confiabilidade são atingidos, porém a curva tem forma mais linear. Para $\beta \gg 1$, quanto maior for, por mais tempo a confiabilidade se mantém próxima da máxima, porém a queda é cada vez mais extrema. Pode-se observar esse comportamento observando a Figura 4, a qual mostra o comportamento de curvas para diferentes β dado um η constante.

Figura 4 – Representação gráfica da variação do parâmetros β em relação à confiabilidade



Fonte: Autor

A característica de vida, ou parâmetro η , é uma medida de escala ou propagação com relação à distribuição dos dados. Ele representa o tempo em que 63,2% dos componentes falharam. Esta relação pode ser demonstrada da seguinte forma:

$$Q(t = \eta) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.7)$$

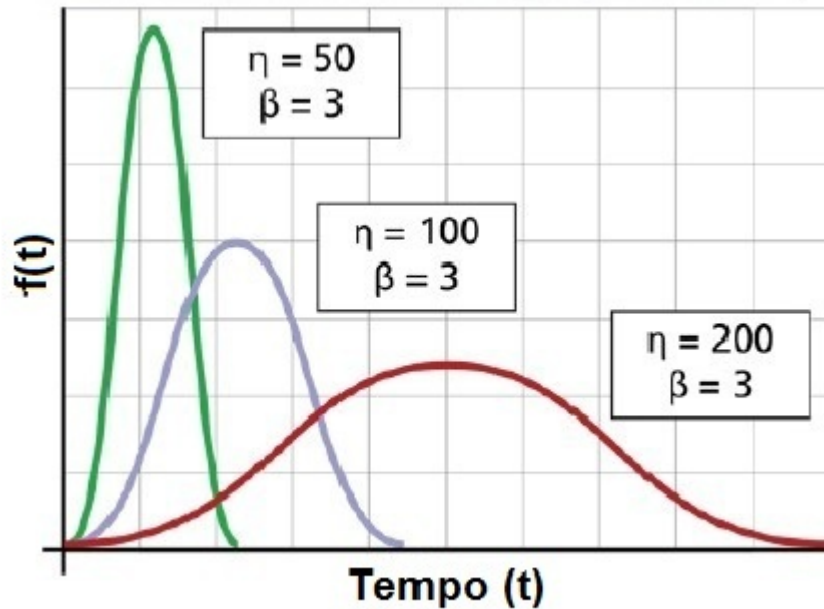
$$Q(t = \eta) = 1 - e^{-1} \quad (2.8)$$

$$Q(t = \eta) = 0.632 = 63.2\% \quad (2.9)$$

Pelo fato deste parâmetro influenciar o tempo de vida do equipamento, está associado a menores taxas de falhas. Desta forma, este parâmetro influencia diretamente

na função densidade de probabilidades. Este comportamento mostra uma maior dispersão da função $f(t)$ para maiores valores de η e pode ser verificado na Figura 5.

Figura 5 – Variação da função densidade de falhas para diferentes η



Fonte: Adaptado de Reliasoft (2015)

2.6 MANTENABILIDADE E TAXA DE REPAROS

Segundo Kardec e Nascif (2009), a manutenibilidade ou manutenibilidade, do inglês *Mainteinability*, pode ser conceituada como sendo a característica de um equipamento ou instalação permitir um maior ou menor grau de facilidade na execução dos serviços de manutenção. Matematicamente, pode ser definida de acordo com a equação (2.10).

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (2.10)$$

Em que o parâmetro μ é definido como taxa de reparos e descrito pela equação (2.11).

$$\mu = \frac{\text{Número reparos}}{\text{Número de horas de operação}} \quad (2.11)$$

A manutenibilidade e a taxa de reparos estão diretamente associados ao tempo médio para reparos, em inglês, *mean time to repair* (MTTR). O MTTR é um importante indicador de desempenho e atua diretamente no indicador disponibilidade dos equipamentos, além de ser parâmetro de suporte para a determinação da melhor estratégia de manutenção dos componentes.

2.7 FALHAS

Pela definição da norma NBR 5462-1994, falha é o término da capacidade de um item em desempenhar sua função requerida. Prevenir e identificar falhas constituem os objetivos primários da manutenção e, para isso, é necessário conhecer as formas como os sistemas falham (SIQUEIRA, 2012).

Ainda segundo Siqueira (2012), a classificação, identificação e documentação das falhas é requisito básico da MCC. A classificação é dada por: falha funcional, que é definida pela capacidade de um item desempenhar uma função específica dentro de limites desejados de performance; falha potencial, que é definida como uma condição identificável e mensurável que indica uma falha funcional pendente ou em processo de ocorrência.

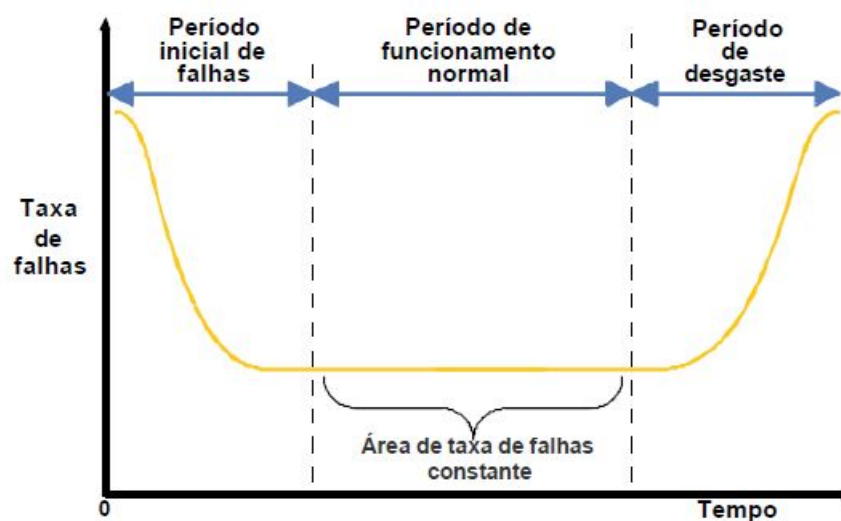
2.7.1 TAXA DE FALHAS

A taxa de falhas é definida como o número de falhas ocorridas durante um certo tempo de operação. Matematicamente, pode ser definida pela equação (2.12).

$$\lambda = \frac{\text{Número de falhas}}{\text{Número de horas de operação}} \quad (2.12)$$

A Figura 6 mostra a curva característica típica de vida de um equipamento. Conhecida como curva da banheira, classifica comportamentos de equipamentos baseada em sua taxa de falhas e pode ser utilizada como critério de tomada de decisão para estratégias de manutenções.

Figura 6 – Curva característica da vida de equipamentos (Curva da Banheira)



Fonte: Adaptado de Sellitto (2005)

Segundo Lafraia (2001) e Sellitto (2005), pode-se utilizar a curva da banheira como função estratégica e definir as três diferentes classificações de comportamentos dos equipamentos:

Mortalidade Infantil: indicada na Figura 6 como o período inicial de falhas, é onde a taxa de falhas é alta, porém decrescente. As falhas são prematuras, normalmente originadas por deficiências no processo de fabricação, instalação incorreta, ou materiais e componentes fora de especificação. A estratégia para esta fase é a manutenção corretiva, que identifica e corrige deficiências de projeto ou de instalação do equipamento.

Vida Útil: indicada na Figura 6 como o período de funcionamento normal, é onde a taxa de falhas é sensivelmente menor e oscila ao redor de uma média constante. As falhas são casuais e decorrentes de fatores menos controláveis, tais como: mau uso do equipamento, ultrapassagem de resistência, ou fenômenos naturais imprevisíveis. A estratégia para esta fase é a manutenção preditiva. Tal tipo de manutenção é realizado conforme a necessidade, baseado no resultado de inspeções periódicas.

Mortalidade Senil: indicada na Figura 6 como período de desgaste, é onde, segundo os autores, é o fim da vida útil do equipamento. Neste período, a taxa de falhas é crescente. Essas falhas são causadas por envelhecimento, degradação mecânica, elétrica ou química, fadiga, corrosão, ou vida de projeto muito curta. A estratégia para esta fase é a manutenção preventiva.

2.8 DISPONIBILIDADE

Segundo a norma NBR 5462-1994, pode-se definir como disponibilidade, do inglês *availability*, a capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados.(TATSCH, 2010).

A disponibilidade é o principal indicador da manutenção, pois afeta diretamente a eficiência global da planta, do inglês *Overall Equipment Effectiveness* (OEE). A disponibilidade é o reflexo direto de todas as ações da manutenção, pois seu cálculo leva em consideração a quantidade de falhas e o tempo de reparo dos equipamentos. Matematicamente, é definida pela equação (2.13).

$$\text{disponibilidade}(\%) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100\% \quad (2.13)$$

2.8.1 TEMPO MÉDIO ENTRE FALHAS

O tempo médio entre falhas, do inglês *mean time between failures* (MTBF), é um importante indicador o qual está ligado à taxa de falhas e à vida útil do equipamento.

Este indicador é medido pela soma dos valores de tempo observados sem a ocorrência de falhas e o número de observações. Pode também ser calculado pelo inverso da taxa de falhas, conforme mostrado na equação (2.14).

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (2.14)$$

2.8.2 TEMPO MÉDIO PARA REPAROS

O MTTR, apresentado na Seção 2.6, também é um importante indicador o qual está ligado à facilidade de um item em receber ou não manutenções. Este indicador é medido pela soma dos valores de tempo observados sem a ocorrência de reparos. Pode também ser calculado como o inverso da taxa de reparos, conforme a equação (2.15).

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \quad (2.15)$$

2.9 ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHAS (FMEA)

O FMEA é uma técnica da MCC que ajuda a identificar e priorizar falhas potenciais em equipamentos, sistemas ou processos. Este é um sistema analítico que hierarquiza as falhas potenciais e fornece recomendações para ações que visam a evitá-las por meio de técnicas de manutenção (SMITH; MOBLEY, 2011).

As falhas encontradas são priorizadas utilizando um índice conhecido como grau de priorização de risco, do inglês *risk priority number* (RPN), composto pelo produto dos seguintes indicadores: severidade (gravidade do modo de falha, obtida pela média aritmética dos valores do impacto do modo de falha em termos de segurança, meio ambiente, qualidade, produção e custo); ocorrência (frequência em que o modo de falha ocorre); e detecção (grau de facilidade para detectar a falha). Para indicar a gravidade da falha, sua frequência e o grau de detecção, adota-se uma escala de 1 a 10, onde 10 sinaliza a situação de maior intensidade (HERPICH; FOGLIATTO, 2013). Define-se o RPN sendo o produto desses três indicadores, conforme a equação (2.16). A Tabela 4 mostra as notas de cada parâmetro do RPN:

$$RPN = \text{Severidade} \times \text{Ocorrência} \times \text{Detecção} \quad (2.16)$$

Tabela 4 – Componentes do RPN, classificação e respectivo peso

Componente do RPN	Classificação	Peso
Severidade (S)	Muito baixa	1
	Baixa	2,3
	Moderada	4,5,6
	Alta	7,8
	Muito Alta	9,10
Ocorrência (O)	Muito Baixa	1
	Baixa	2,3
	Moderada	4,5,6
	Alta	7,8
	Muito Alta	9,10
Detecção (D)	Muito Provável	1
	Provável	2,3
	Moderada	4,5,6
	Difícil	7,8
	Muito Difícil	9,10

Fonte: Adaptado de Sellitto (2005)

A sequência de trabalho para elaboração do FMEA pode ser dividida em duas partes, sendo que para cada falha existe a parte de identificação e sua respectiva classificação. Tal sequência pode ser acompanhada pelos seguintes passos:

1. Dividir os processos de operação do equipamento em etapas.
2. Analisar as funções de cada etapa.
3. Isolar e descrever os modos de falha determinados em cada função das etapas.
4. Descrever a causa de cada um dos modos de falhas encontrados.
5. Determinar o efeito de cada um dos modos de falhas encontrados.
6. Determinar a severidade do impacto através de uma média simples dos seus efeitos: segurança, meio ambiente, qualidade, produção e custo.
7. Determinar a frequência de ocorrência da falha.
8. Determinar o nível de dificuldade de detecção da falha.
9. Calcular o RPN através do produto dos fatores: Severidade, Ocorrência e Detecção.

2.9.1 MODOS DE FALHAS

Um modo de falha pode ser definido como qualquer evento que é susceptível de causar falha a um ativo (sistema ou equipamento). Uma única máquina pode falhar por

dezenas de razões. Um grupo de máquinas ou uma linha de produção podem falhar por centenas de razões. Para uma planta inteira, este número pode chegar a milhares de razões (MOUBRAY, 1997).

2.9.2 EFEITOS DAS FALHAS

Primeiramente, deve-se tomar muito cuidado para não confundir a causa da falha com o efeito da mesma quando se faz a listagem no FMEA, pois esse é o erro mais comum feito por pessoas que são novas no processo de MCC. Os efeitos de falha descrevem o que acontece quando um modo de falha ocorre. Segundo Moubray (1997), os efeitos de falha são os responsáveis por responder a questão “o que acontece?” quando ocorre uma falha.

2.10 CUSTOS DE MANUTENÇÃO

A manutenção preventiva tem sido mais popular em princípio do que na prática ao longo dos anos. Dificilmente pode-se argumentar com a ideia de manter o equipamento e estender sua vida útil esperando evitar custos de reparo futuros. Menos clara ainda é a compreensão da relação real entre o custo da manutenção preventiva e o retorno que tal atividade pode ser esperada para entregar (KOO; HOY, 2003).

Componentes que se desgastam são candidatos para manutenção preventiva. Quando o custo de substituir um componentes antes de falhar é menor que o custo de substituir o componente após a falha, faz sentido trabalhar de forma preventiva para manter o componente. O tempo ótimo para o intervalo de manutenções preventivas pode ser encontrando utilizando métodos baseados no custo por tempo para manter um componente.

De acordo com Nelson (2005), a equação (2.17) descreve o custo de manutenção por unidade de tempo.

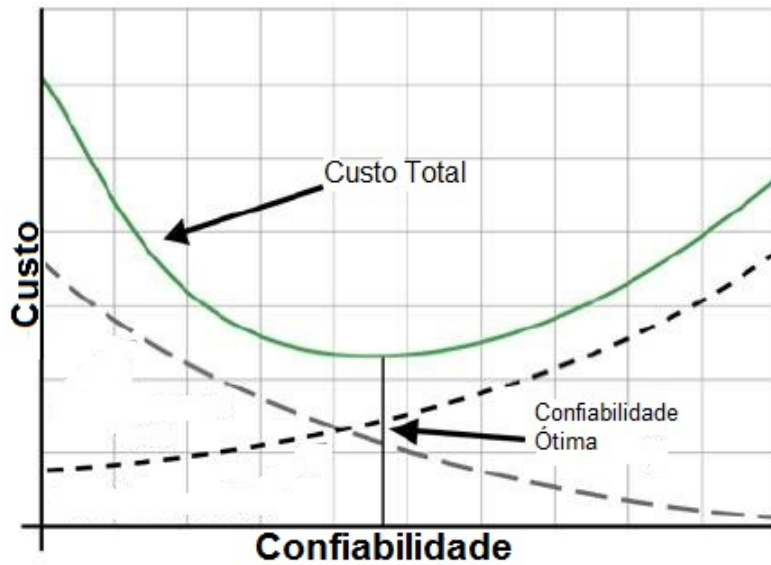
$$Ctm(t) = \frac{Cmp.R(t) + Cmc.F(t)}{\int_0^t R(s)ds} \quad (2.17)$$

Esta equação permite observar uma relação entre os custos de manutenção e as funções de confiabilidade. A manutenção preventiva está diretamente associada a manter um item com uma certa confiabilidade enquanto que a manutenção corretiva está diretamente associada à ocorrência da falha.

Se o produtor aumentar a confiabilidade de seu produto, ele irá aumentar o custo do projeto, porém, para o cálculo do custo total do produto, deve-se incluir os custos de garantia e substituição de produtos defeituosos, custos ocorridos por perda de clientes devido a produtos defeituosos, perda de vendas subsequentes, etc., ou seja, os custos de sustentação do equipamento. Ao aumentar a confiabilidade do produto, pode-se aumentar

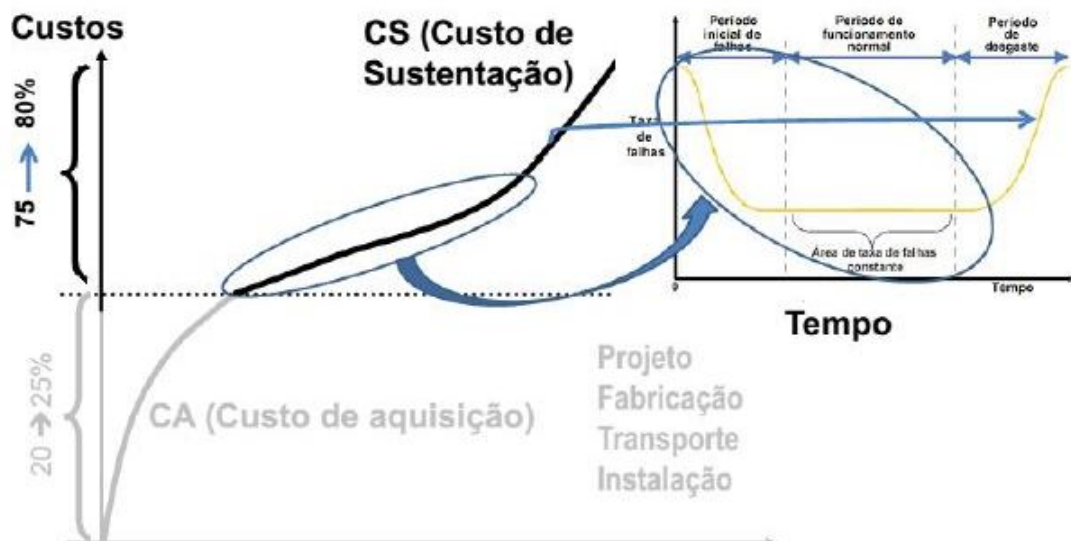
os custos iniciais do produto, mas diminuir os custos de suporte (NELSON, 2005). Tal comportamento pode ser visualizado pelas Figuras 7 e 8, que representam respectivamente o custo em relação à confiabilidade e o custo de se manter um equipamento:

Figura 7 – Representação gráfica Custo x Confiabilidade



Fonte: Adaptado de Reliasoft (2015)

Figura 8 – Custo do ciclo de vida de um equipamento



Fonte: Adaptado de Neves (2016)

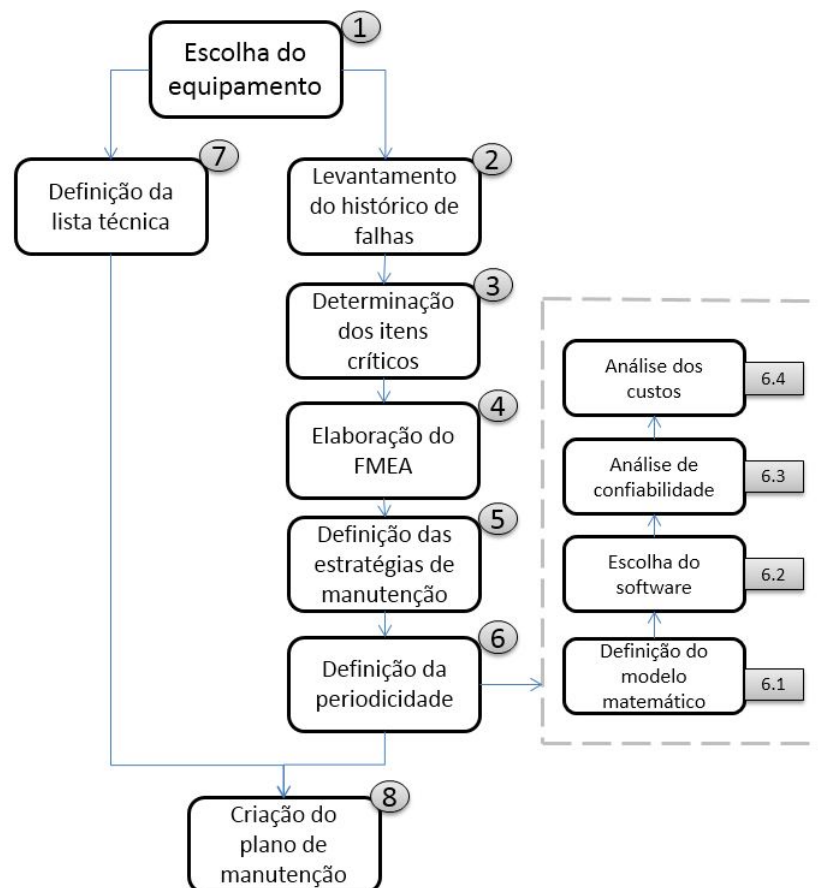
3 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo, são apresentadas as estratégias para definição do plano de manutenção, o equipamento escolhido e sua respectiva importância, o levantamento de dados e a utilização dos conceitos apresentados no capítulo 2, como FMEA, análise de custos e de confiabilidade.

3.1 DETERMINAÇÃO DA ESTRATÉGIA PARA DEFINIÇÃO DO PLANO DE MANUTENÇÃO

A determinação da estratégia para definição do plano de manutenção foi sugerida pela literatura e adaptada de forma a se obter melhores resultados. O diagrama abaixo mostra as etapas realizadas até chegar ao plano:

Figura 9 – Fluxograma da estratégia de criação do plano de manutenção



Fonte: Autor

- **Escolha do equipamento:** O equipamento escolhido é responsável pelo processo mais relevante da produção e que gera maior valor agregado ao produto, sendo assim, importante o suficiente para um estudo aprofundado da manutenção. Do ponto de

vista da engenharia mecânica, este equipamento alinha conhecimentos de processos de fabricação e automação.

- **Histórico de falhas:** É parâmetro fundamental para utilização das ferramentas da MCC. Nesta etapa, foi utilizado o sistema interno da empresa como um banco de dados que, por ser recente, foi utilizado em um intervalo de apenas 6 meses.
- **Determinação dos itens críticos:** Os itens críticos foram definidos como aqueles que possuíam maior número de amostras de falhas encontradas a partir do levantamento do histórico de falhas.
- **Elaboração do FMEA:** Por razões do equipamento em estudo ser relativamente novo, o FMEA foi escolhido como uma ferramenta para ajudar a identificar e priorizar falhas potenciais. Para sua utilização, o processo produtivo do equipamento foi dividido em etapas e, desta forma, foram identificadas as falhas potenciais e seus respectivos modos, causas e efeitos. A partir desta etapa, os componentes da RPN, sendo eles severidade, detecção e ocorrência, foram classificados de forma a receberem suas respectivas notas de acordo com a realidade da fábrica e do equipamento.
- **Definição das estratégias de manutenção:** Após a elaboração do FMEA e encontrados os valores de RPN para todas as falhas identificadas, deve-se classificá-las em diferentes intervalos de notas e, desta forma, atribuir suas respectivas classificações de risco. Através desta classificação, é possível determinar a criticidade das falhas e definir estratégias de manutenção de forma a evitá-las.
- **Definição da periodicidade:** Definidas as estratégias de manutenção para evitar as falhas identificadas, espera-se a definição de uma periodicidade para as atividades. Para os componentes críticos, foram coletados os tempos até a falha, do inglês *time to fail* (TTF), e classificados na ordem crescente. A partir desses dados, escolheu-se utilizar o modelo matemático da distribuição de Weibull com o software *Synthesis Weibull++* da Reliasoft. Através desse *software*, foi possível determinar as funções de confiabilidade destes componentes. Paralelo a isto, foram determinados os custos de manutenção preventiva e corretiva destes componentes e assim feita uma relação entre as funções de confiabilidade e os custos de manutenção. Alinhando o conhecimento do custo de manutenção e da confiabilidade, será possível, através de um processo analítico, tomar a decisão de qual deverá ser a periodicidade das atividades.
- **Elaboração da lista técnica:** A última etapa para a elaboração deste plano de manutenção foi a elaboração de uma lista técnica, que contém o nome do fabricante, o código e a descrição de todos os componentes envolvidos na atividade. Essas informações agregam valor ao plano de manutenção, pois facilitam as pesquisas de especificações técnicas. Do ponto de vista do planejamento da manutenção, a lista

técnica gera pedidos dos itens de forma automática, facilitando, assim, a função do programador de manutenção.

3.2 EQUIPAMENTO

A escolha do equipamento é o primeiro passo da metodologia da MCC, pois este deve ser importante do ponto de vista operacional e financeiro. O equipamento escolhido trata-se de uma versão automatizada de uma retífica manual, a qual é responsável por fazer o processo de fabricação final através de um processo de usinagem simples. Existe um componente pneumático o qual é responsável por variar a posição do tubo em relação ao rebolo, formando os vários ângulos da ponta. Para o equipamento se tornar uma retífica automática, foi inserida uma parte extra, chamada de processador, a qual é responsável pelo abastecimento e pela retirada do produto de forma automática.

Este equipamento se faz importante, por ser responsável pelo processo mais delicado da produção da fábrica e ainda representa o futuro do setor, pois este processo de automação será contínuo. Devido a essas informações, deve ser estudada e elaborada a melhor forma de manter o equipamento operando a custos acessíveis.

3.3 COLETA DE DADOS

A falta de informação é indicada como uma das maiores dificuldades na implementação da metodologia da MCC. A falta de apontamento de falhas, motivo e causa das mesmas é um dos principais problemas que atrapalham na análise dos equipamentos. Se não é possível medir, será difícil definir prioridades. É muito importante estruturar uma base de dados confiável e duradoura.

Além do banco de dados confiável, uma documentação histórica de manutenção, a qual geralmente deve ser feita após realizar a manutenção, deve incluir o equipamento que sofreu a manutenção, o tempo gasto com as atividades, a quantidade de recursos humanos e os materiais utilizados. Ainda é importante que a descrição das atividades seja devidamente registrada em um documento, normalmente denominado ordem de manutenção. Um problema que ocorre frequentemente é a falta de apontamento de registro dessas informações, pois o pessoal responsável pela manutenção não registra o documento na hora e acaba esquecendo os detalhes da atividade.

A empresa possui seis máquinas, instaladas e em funcionamento. Devido a isto, foi feita a coleta de dados de falhas para cada equipamento, e, desta forma, foram analisados separadamente. Feita essa análise, foi possível fazer a conexão para encontrar as principais falhas de modo geral.

O apontamento das informações de manutenções no sistema estava apresentado problemas nos anos anteriores, então, de modo a minimizar os erros de dados obtidos, foi

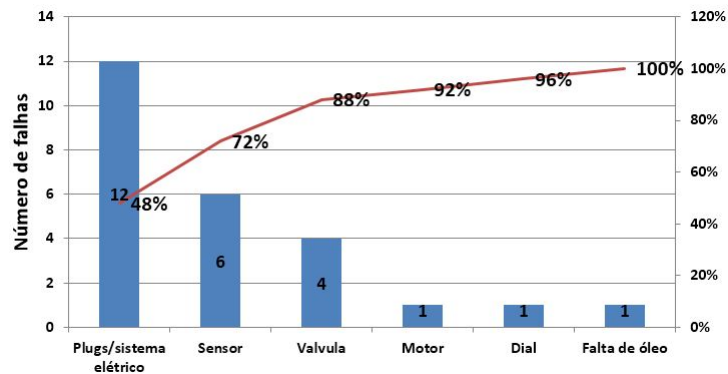
determinado que o primeiro dia de coleta seria o 1º dia do ano de 2016. Portanto, foi realizada esta coleta por um intervalo de aproximadamente 6 meses, o que representa um pequeno espaço de tempo para a determinação das amostras.

3.3.1 ANÁLISE DO HISTÓRICO DE FALHAS

Para um estudo de manutenção, a coleta de dados está associada às informações sobre as ordens de manutenção. Através destas, é possível analisar o tempo médio de reparo e avaliar o histórico de falhas dos equipamentos. Esta análise irá ajudar na determinação do FMEA e será fundamental para o estudo das funções de confiabilidade e determinação da periodicidade.

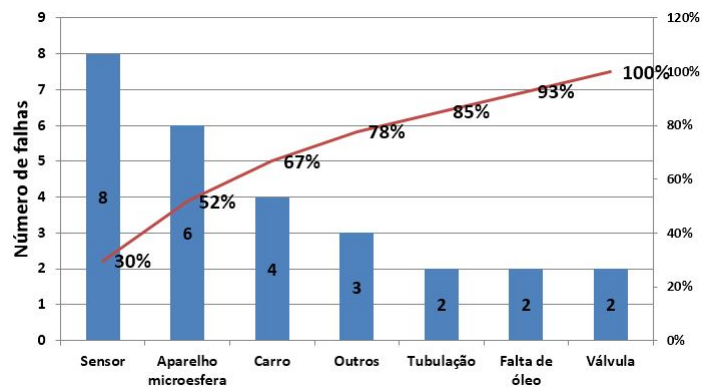
Após a utilização do sistema integrado da empresa e a retirada de todas as informações das manutenções em cada uma das 6 máquinas, foram elaborados os gráficos das Figuras 10 a 15, para determinação das falhas mais recorrentes.

Figura 10 – Levantamento das falhas da Máquina 1



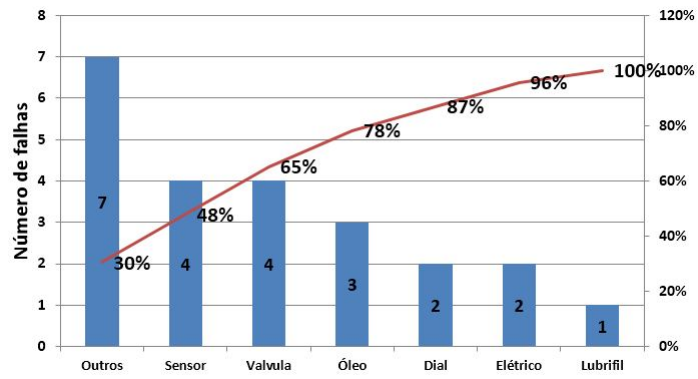
Fonte: Autor

Figura 11 – Levantamento das falhas da Máquina 2



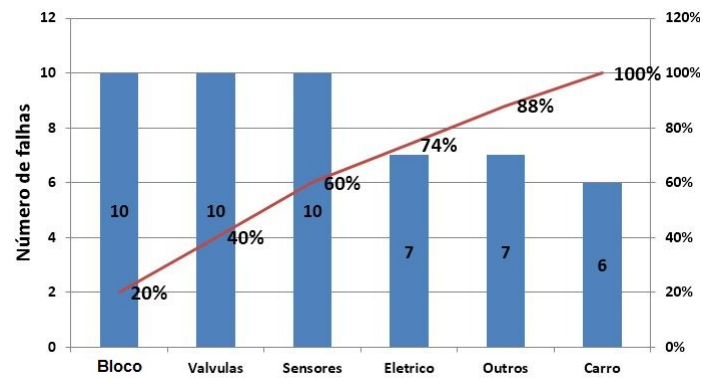
Fonte: Autor

Figura 12 – Levantamento das falhas da Máquina 3



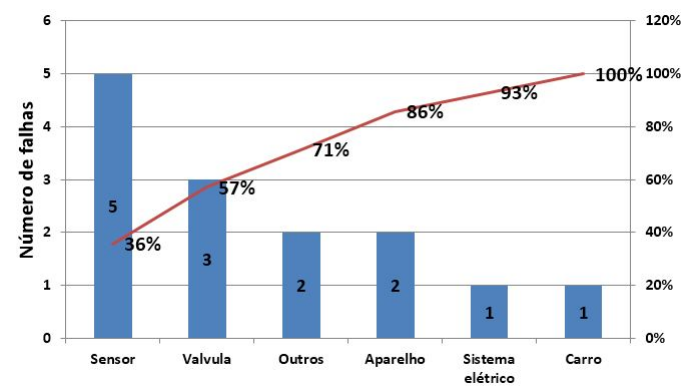
Fonte: Autor

Figura 13 – Levantamento das falhas da Máquina 4



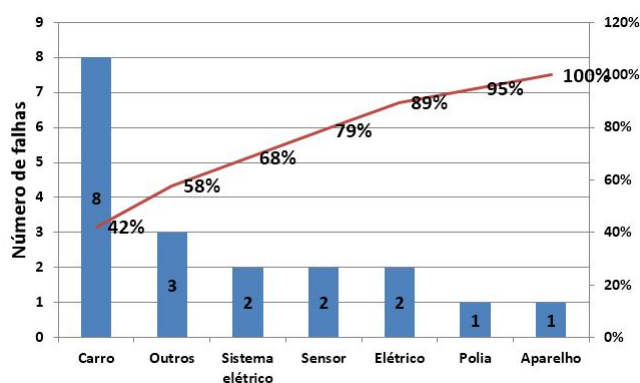
Fonte: Autor

Figura 14 – Levantamento das falhas da Máquina 5



Fonte: Autor

Figura 15 – Levantamento das falhas da Máquina 6



Fonte: Autor

3.3.2 DETERMINAÇÃO DOS ITENS CRÍTICOS

Apesar de máquinas semelhantes, suas falhas são distintas mas pode-se observar, através dos paretos das Figuras 10 a 15, que os componentes com maior potencial de falhas são:

- Sistema do carro;
- Sensores;
- Válvulas;
- Sistema elétrico;
- Bloco pneumático.

Os itens levantados acima serão chamados de itens críticos. O papel desses itens neste trabalho será o de possuir uma análise da estratégia de manutenção e principalmente de periodicidade determinadas através da utilização de funções de confiabilidade. Para isso, serão utilizados seus dados de TTFs.

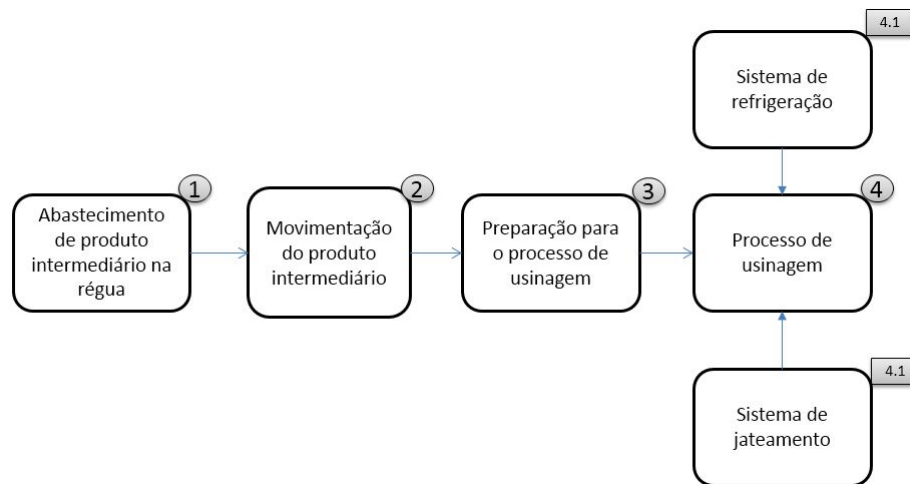
3.4 ELABORAÇÃO DO FMEA

O FMEA foi escolhido como ferramenta de confiabilidade para o apoio à tomada de decisões por se tratar de uma ferramenta com características de identificação e classificação de falhas potenciais. Por se tratar de um equipamento novo e com pouco tempo de vida, a elaboração deste plano de manutenção depende da identificação e da análise de potenciais falhas que poderão aparecer nas etapas de produção do equipamento.

3.4.1 IDENTIFICAÇÃO DAS FALHAS

Seguindo a metodologia do FMEA, o primeiro passo para sua elaboração é a divisão dos processos de operação do equipamento. Desta forma, foi feita uma simplificação do processo e este foi dividido conforme a Figura 16.

Figura 16 – Etapas do processo produtivo do equipamento



Fonte: Autor

Feita a divisão das etapas do processo produtivo, foram identificadas suas respectivas funções e seus modos, causas e efeitos de falhas. Para um melhor resultado, as identificações feitas pelo autor passaram pela análise de uma equipe multitarefa a qual alinhou pessoas do processo, produção, qualidade, manutenção e projeto. Após essa análise, foram sugeridas modificações e, assim, foi gerado um processo de identificação mais amplo.

3.4.2 CLASSIFICAÇÃO DAS FALHAS

Finalizado a parte de identificação do FMEA, o qual tem responsabilidade de analisar os modos e efeitos das falhas no processo, é necessário partir para a classificação das mesmas. Para isso, é preciso determinar os critérios do FMEA e suas respectivas notas.

Os critérios para classificação das falhas são: severidade, ocorrência e detecção. Tais critérios devem ser analisados de acordo com a realidade do equipamento e o seu local de instalação.

Para uma determinação mais precisa das notas do critério severidade, foi feita uma análise dos setores os quais seus efeitos poderiam prejudicar, sendo eles: segurança e meio ambiente, qualidade, produção e custo de reparo. Desta forma, a nota do critério criticidade foi determinada pela média simples das notas desses efeitos e pode ser acompanhada no quadro da Figura 5.

Tabela 5 – Notas do critério severidade (S)

Efeito	Catastrófico 10	Crítico 8	Alto 6	Moderado 4	Baixo 2	Sem Impacto 1
Segurança / Meio Ambiente (MAS)	Danos pessoais com grande potencial de morte e/ou de grande magnitude e externação, com danos irreversíveis	Danos pessoais com afastamento e possibilidade de invalidez ou morte / De alta magnitude e de difícil reversão com risco de danos irreversíveis	Danos pessoais com possibilidade de afastamento / De magnitude considerável e de difícil reversão	Danos pessoais leves / De magnitude aceitável, mas reversíveis com ações mitigadoras	Probabilidade de danos pessoais leves / De pequena magnitude e reversíveis com ações imediatas	Sem danos pessoais / Sem danos ambientais
Qualidade (Q)	Afeta a qualidade final do item comprometendo todo um lote	Afeta a qualidade final do item comprometendo todo o estoque	Compromete a qualidade do estoque mas pode ser recuperado com retrabalho	Compromete a qualidade do produto sendo processado mas não permite que o mesmo siga em frente	Compromete o produto sendo processado, permite fácil identificação do problema e pode ser retrabalhado	Não gera problemas de qualidade
Produção (P)	Impacto igual ou superior a 1 mês de produção	Impacto entre 2 semanas a um mês de produção	Impacto de 1 semana de manutenção	Impacto de até 1 dia de produção	Impacto de até 8 horas produção	Sem impacto na produção
Custo de Reparo (C)	Custo superior a R\$5000,00	Custo entre R\$2000,00 e R\$5000,00	Custo entre R\$1000,00 e R\$2000,00	Custo entre R\$500,00 e R\$1000,00	Custo entre R\$100,00 e R\$500,00	Sem custos de reparo

Fonte: Autor

Para o critério ocorrência, foram utilizados o histórico de falhas e a experiência da equipe de manutenção. Através destes, foi possível definir faixas de falhas de acordo com a realidade da fábrica e do equipamento. Foi então definido o critério ocorrência de acordo com a Tabela 6.

Tabela 6 – Notas do critério ocorrências (O)

Nota	Critério
10	< 2 semanas
8	2 semanas < O < 2 meses
6	2 meses < O < 6 meses
4	6 meses < O < 1 ano
2	1 ano < O < 5 anos
1	O > 5 anos

Fonte: Autor

Por último, o critério detecção não sugere muitas modificações da literatura, portanto, como padrão, ficou definido o conteúdo de acordo com a Tabela 7.

Tabela 7 – Notas do critério detecção (D)

Nota	Critério
10	Probabilidade remota
8	Probabilidade muito pequena
6	Probabilidade baixa
4	Probabilidade moderada
2	Probabilidade alta
1	Probabilidade muito alta

Fonte: Autor

3.4.3 DEFINIÇÃO DA CRITICIDADE

Identificados os modos e efeitos das falhas e realizadas suas respectivas classificações, deve-se partir para a priorização de risco, fazendo o calculo do RPN. Seu valor é calculado entre o produto de seus critérios e varia entre 1 à 1000, sendo que, quanto maior o valor, maior deve ser a priorização da falha.

De acordo com o equipamento e com as políticas da empresa, foram definidos os valores de RPN em 3 grupos definidos a partir das categorias de risco das falhas. Conhecendo as categorias das falhas, foi atribuída uma nota definida como criticidade. Pode-se então ver essa divisão através da Tabela 8 .

Tabela 8 – Definição das categorias de risco e criticidade

Categoria de Risco	NPR inferior	NPR superior	Criticidade
Aceitável	1	64	C
Alerta	65	124	B
Intolerável	125	1000	A

Fonte: Autor

3.4.4 REPRESENTAÇÃO DO FMEA

Após feita toda a metodologia sugerida pelo FMEA, é possível representar nosso FMEA de acordo com as Figuras 9 a 12.

Tabela 9 – Representação do FMEA, etapa 1: Abastecimento de produto intermediário

Etapa do processo	Função da Etapa	Modos de falha	Causa da falha	Efeito da Falha	Segurança/Meio Ambiente	Qualidade	Produção	Custo de Reparo	Severidade de Impacto (S)	Frequência de Falha (O)	Detecção de falha (D)	RPN	Críticidade
Abastecimento de produto intermediário	Retirar produto intermediário do reservatório	Não é feito o abastecimento	Motor servo não ativa	Processo não inicia	1	2	4	8	3,75	2	6	45	C
			Motor da régua não ativa		1	4	4	6	3,75	2	6	45	C
	Colocá-los em linha formando uma fita	O abastecimento não é interrompido	Tomada de cabos arrebitada	Perda de material / parada de máquina	4	4	4	2	3,5	6	4	84	B
			Roldana não para de girar		2	4	4	2	3	2	6	36	C
		Produto intermediário não é prensado	Sensor não acusa régua na posição final	Perda de material	4	4	2	2	3	4	6	72	B
			Prensa não não desce		4	4	4	4	4	6	96	B	
Produto intermediário não é alinhado	Alinhador não avança	Material não fica na posição gerando parada devido ao sensor e perda de material	4	4	4	4	4	4	4	6	96	B	

Fonte: Autor

Tabela 10 – Representação do FMEA, etapa 2: Movimentação do produto intermediário

Etapa do processo	Função da Etapa	Modos de falha	Causa da falha	Efeito da Falha	Segurança/Meio Ambiente	Qualidade	Produção	Custo de Reparo	Severidade de Impacto (S)	Frequência de Falha (O)	Detecção de falha (D)	RPN	Criticidade	
Movimentação do produto intermediário	Pegar com uma pinça, o produto intermediário que foi alinhado	Pinça não pega o produto intermediário	Sensor não indica pinça na posição	Pinça não avança	4	1	2	4	2,75	4	6	66	B	
			Sensor não indica alinhador avançado		4	1	2	2	2,25	4	6	54	C	
			Válvula direcionadora com problema		2	4	4	4	3,5	4	4	56	C	
		Carro não movimento horizontalmente	Pinça não fecha	Parada de máquina	2	4	4	4	6	4	4	6	96	B
			Sensor da pinça não indica pinça fechada		4	4	4	6	4,5	4	6	108	B	
			Válvula direcionadora com problema		2	4	4	4	3,5	4	6	84	B	
	Posicionar o material intermediário no bloco pneumático	Carro apresenta problema no giro	Válvula reguladora de fluxo desregulada	Carro não recua - Parada de máquina	Recuo do carro irá gerar danos no carro e na prensa/alinhador	2	4	2	2	2,5	6	4	60	C
			Cilindro com desgaste ou vazamento			2	2	6	6	4	4	8	128	A
			Mancal de rolamento da guia com desgaste			2	2	4	4	3	4	8	96	B
			Rolamentos guia do carro com desgaste			2	2	4	2	2,5	4	8	80	B
			Haste guia do movimento com desgaste			2	2	4	6	3,5	4	8	112	B
			Sensor da pinça não indica pinça levantada			4	4	6	8	5,5	2	6	66	B
Sensor do carro não indica posição avançada	4	2	4	4	3,5	4	6	84	B					
Carro apresenta problema no giro	Carro não gira - parada de máquina	Sensor do carro não indica posição central	Carro não gira - parada de máquina	Danos ao equipamento	2	2	4	4	3	4	6	72	B	
		Cilindro do giro com insuficiência pneumática			2	4	2	2	2,5	4	4	40	C	
		Cilindro do giro com desgaste			2	2	6	6	4	4	8	128	A	
		Rolamentos de giro com desgaste			2	4	6	4	4	4	8	128	A	
Carro apresenta problema no giro	Carro não gira - parada de máquina	Válvula reguladora de fluxo desregulada	Carro não gira - parada de máquina	Danos ao equipamento	2	4	2	2	2,5	6	4	60	C	
		Carro gira no sentido invertido			6	2	6	8	5,5	1	8	44	C	

Fonte: Autor

Tabela 11 – Representação do FMEA, etapas 3, 4.1 e 4.2: Preparação do processo, refrigeração e jateamento

Etapa do processo	Função da Etapa	Modos de falha	Causa da falha	Efeito da Falha	Segurança/Meio Ambiente	Qualidade	Produção	Custo de Reparo	Severidade de Impacto (S)	Frequência de Falha (O)	Detecção de falha (D)	RPN	Criticidade	
Preparação para o processo de usinagem	Descer a tampa do bloco pneumático	Tampa do bloco não desce	Problema no sensor da tampa	Máquina parada	2	4	2	4	3	4	6	72	B	
			Problema na válvula	Problema no processo ou parada de máquina	2	4	4	6	4	4	6	96	B	
			Tampa com desgaste	Problema de qualidade	2	4	2	4	3	2	2	12	C	
	Levantar o bloco para a formação do 1º angulo	bloco não levanta	Vazamento no bloco pneumático	Problema de qualidade	2	8	4	4	4	4,5	2	8	72	B
			Problema no multiplicador	Máquina parada	2	6	2	4	4	3,5	6	4	84	B
			Sensor não identifica produto intermediário na posição	Máquina parada	2	2	2	4	4	2,5	4	6	60	C
Sistema de Refrigeração	Descer o backbar para segurar a força do corte	Backbar não desce	Problema no sensor	Máquina parada	2	2	2	4	2,5	4	6	60	C	
			Problema na valvula reguladora de fluxo	Problema no processo, parada de máquina, problema de qualidade	2	4	1	2	2,25	6	4	54	C	
			Desgaste nas hastes do backbar	problema de qualidade	2	4	6	6	4	4,5	2	8	72	B
	Refrigerar e lubrificar o processo de retífica	Não há vazão suficiente de solução	Desgaste do rolamento	Máquina parada	2	2	6	4	4	3,5	2	8	56	C
			Falha na válvula	ão é possível ajustar a vazão	2	6	2	2	2	3	4	6	72	B
			Falha no solenóide	Não permite passagem de solução fazendo com que queime o produto e alguns	4	6	4	2	2	4	2,5	4	6	60
Jateamento de microesfera	Retirar a rebarba formada na ponta pela usinagem	Jateamento não acontece	Problema na tubulação	Perda de solução e contaminação do local de	6	4	2	2	3,5	6	8	168	A	
			Caixa de retorno entupida	Perda de solução e contaminação do local de	4	1	2	2	2,25	6	4	54	C	
			Excesso de sujeira na máquina	Perda de solução e contaminação do local de	4	4	2	2	2	3	6	4	72	B
	Retirar a rebarba formada na ponta pela usinagem	Jateamento não acontece	Problema no vibrador do aparelho	Não sai pó, gera rebarba, compromete estojo	2	8	2	2	2	3,5	4	8	112	B
			Insuficiência pneumática	Não sai pó, gera rebarba, compromete estojo	2	8	2	2	2	3,5	4	6	84	B
			Bico entupido	Não sai pó, gera rebarba, compromete estojo	2	8	2	2	2	3,5	6	4	84	B
			Mangueira furada	compromete estojo	4	8	2	2	4	6	96	B		
			Backbar não é liberado	Máquina parada	4	4	4	6	4,5	2	4	36	C	

Fonte: Autor

Tabela 12 – Representação do FMEA, etapa 4: Processo de usinagem

Etapa do processo	Função da Etapa	Modos de falha	Causa da falha	Efeito da Falha	Segurança/Meio Ambiente	Qualidade	Produção	Custo de Reparo	Severidade de Impacto (S)	Frequência de Falha (O)	Detecção de falha (D)	RPN	Criticidade	
PROCESSO DE USINAGEM	1º Ciclo - Executa o ângulo secundário	Material intermediário não é posicionado corretamente	Problema no suporte da tampa do bloco	Parada de máquina / perda de material	4	6	4	4	4,5	2	4	36	C	
			Problema no atuador pri/sec		4	6	4	4	4,5	2	8	72	B	
			Problema no movimento da mesa		4	6	10	10	7,5	1	6	45	C	
			Problema no backbar		2	4	4	6	4	2	8	64	B	
	2º Ciclo - Executa o giro do bloco	bloco não gira	Problema no bloco	Problema de qualidade / perda de material	2	8	2	4	4	4	4	6	96	B
			Bloco pneumático dando passagem		2	8	2	4	4	4	4	96	B	
			Problema no movimento da mesa		6	6	10	10	8	1	8	64	B	
			Falta de lubrificação		4	8	2	2	4	4	6	96	B	
	3º Ciclo - Colocar a fita no placa móvel do bloco	bloco não gira	Sujeira no sistema	Problema de qualidade / perda de material / parada	2	8	2	2	3,5	2	6	42	C	
			Problema no bloco pneumático		2	8	2	4	4	4	6	96	B	
			Bloco pneumático dando passagem		2	8	2	4	4	4	6	96	B	
			Problema no movimento da mesa		6	6	10	10	8	1	10	80	B	
	4º Ciclo - Executa o ângulo primário	bloco não levanta	Falta de lubrificação	Problema de qualidade / perda de material / parada	4	8	2	2	4	4	4	4	64	B
			Sujeira no sistema		2	8	2	2	3,5	2	4	28	C	
			Problema no Bloco		2	8	2	4	4	4	6	96	B	
			Bloco pneumático dando passagem		2	8	2	4	4	4	6	96	B	
			Problema no atuador pri/sec	perda de material / parada de máquina	2	6	2	4	3,5	2	6	42	C	
			Problema no movimento da mesa	Parada de máquina	6	6	10	10	8	1	8	64	B	

Fonte: Autor

3.5 DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO

Um fator que influencia a competitividade em manufatura de empresas de base tecnológica, cujos processos de geração de valor usam equipamentos complexos de produção, é a gestão da manutenção. A formulação estratégica da manutenção deste tipo de equipamento é uma das maneiras pelas quais uma empresa pode usar a manutenção, para adquirir ou manter uma vantagem competitiva, que a manufatura possa representar no ambiente de negócios (SELLITTO, 2007).

A utilização da ferramenta de confiabilidade, FMEA, nos permitiu identificar e classificar as falhas potenciais do processo produtivo do equipamento. Feita a classificação e a identificação, torna-se necessário definir estratégias de manutenção que atuem conforme a categoria de risco, realizando apenas as manutenções necessárias, para que, desta forma, não sejam geradas paradas de máquinas desnecessárias e aumento do custo de manutenção.

Por se tratar de uma proposta de plano, o qual deverá passar por um processo de validação, só serão definidas estratégias de substituição de componentes em períodos pré-determinados (manutenção preventiva) para itens que possuírem falhas potenciais intoleráveis. Para as falhas classificadas com criticidade B, será adotada a estratégia de acompanhar os parâmetros físicos do componente e trocar apenas se necessário (manutenção preditiva). Já para falhas de risco aceitável, criticidade C, a falha do componente será aceita (manutenção corretiva) e serão adotadas ações que minimizem seus riscos (TPM). Pode-se acompanhar na Tabela 13 a relação entre o risco, a criticidade e a respectiva estratégia de manutenção.

Tabela 13 – Definição das estratégias de manutenção

Categoria de Risco	Criticidade	Estratégia de Manutenção
Aceitável	C	Corretiva e TPM
Alerta	B	Preditiva
Intolerável	A	Preventiva

Fonte: Autor

3.6 DEFINIÇÃO DA PERIODICIDADE DAS ATIVIDADES

A periodicidade ótima para substituição de um componente só pode ser avaliada através do histórico de falhas. Após a existência de um número mínimo de amostras de falhas, é possível observar o seu comportamento. Devido a isto, para os itens críticos, dos quais se tem atualmente um número de amostras suficientes para o estudo, será definida a periodicidade da atividade de acordo com a análise do menor custo de manutenção e sua confiabilidade. Tais parâmetros serão encontrados a partir de funções de confiabilidade alinhadas aos custos de manutenções preventivas e corretivas. Para os demais itens, dos quais a atividade foi identificada apenas pelo FMEA, será adotada a periodicidade

recomendada por fabricantes, pelos responsáveis pelo projeto e pela experiência técnica da manutenção.

3.6.1 DETERMINAÇÃO DO TTF DOS COMPONENTES CRÍTICOS

O levantamento das falhas foi essencial para a determinação dos componentes críticos, então, nesta etapa, serão determinados seus respectivos tempos até a falha. Como este trabalho é uma análise piloto destes componentes, e não possui um número muito grande de amostras, foi selecionada, para cada máquina, a relação de dados que melhor se encaixa para o estudo, sendo estes apenas os dados das falhas críticas que por sua vez são aquelas em que houve substituição de componentes, descartando, assim, falhas que foram corrigidas com ajustes. A Tabela 14 mostra as amostras obtidas para as falhas de cada componente e seus respectivos tempos até a falha, dadas em dias e classificadas na ordem crescente, forma a qual será dada como parâmetro de entrada para a determinação dos parâmetros da distribuição estatística.

Tabela 14 – Tempos até as falhas dos itens críticos (Dias)

Amostra	Carro	Bloco	Válvulas	Sistema Elétrico	Sensores
1	26	16	11	4	15
2	40	16	15	9	20
3	48	24	30	10	23
4	66	112	60	10	31
5	78	250	112	18	40
6	120	-	120	18	60
7	150	-	120	19	70
8	-	-	-	20	120
9	-	-	-	31	-
10	-	-	-	36	-
11	-	-	-	50	-

Fonte: Autor

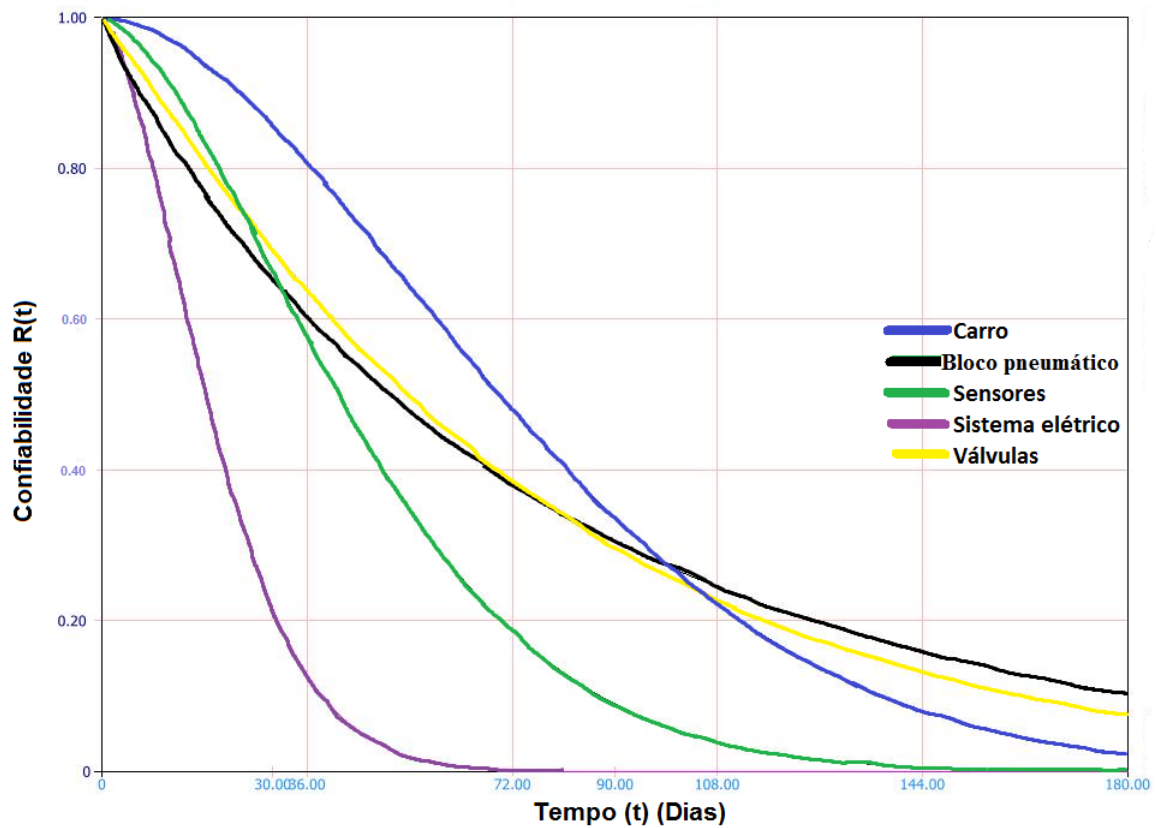
3.6.2 DETERMINAÇÃO DAS FUNÇÕES DE CONFIABILIDADE

O primeiro passo para determinação das funções de confiabilidade é a escolha do modelo matemático que melhor descreve a taxa de falhas, ou seja, a distribuição de probabilidade das falhas. Para nosso estudo, será utilizada a distribuição de Weibull, pois esta é a distribuição genérica que melhor atende sistemas com muitos diferentes componentes.

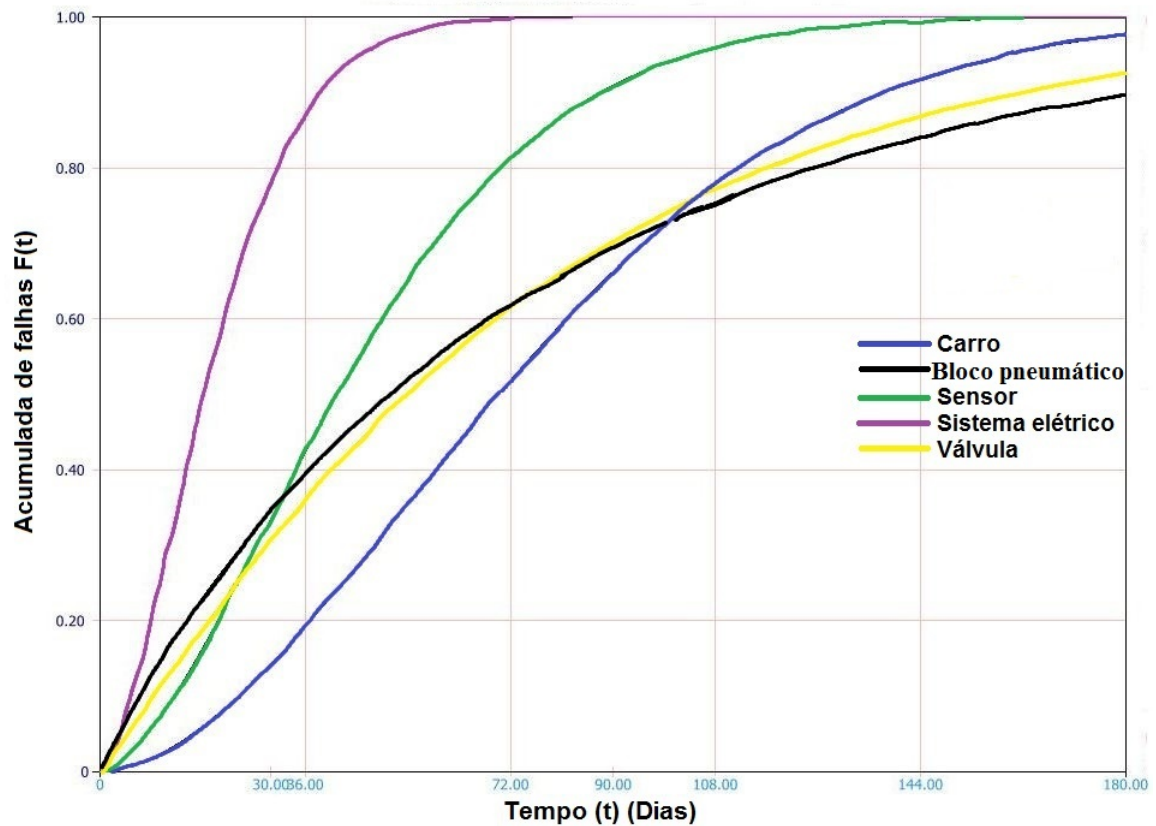
Os dados de entrada para determinação da distribuição são os tempos até a falha encontrados na Tabela 14. Foi utilizado o *Software Synthesis Weibull++*, no qual pode-se escolher o método de linearização e de regressão a ser utilizado na geração dos parâmetros

β e η da distribuição de Weibull. As Figuras 17 e 18 mostram as funções confiabilidade e acumulada de falhas, em relação ao tempo dos 5 componentes críticos. Estas são as funções de confiabilidade mais importantes para nosso estudo, pois serão relacionadas com os custos de manutenção.

Figura 17 – Confiabilidade em função do tempo $R(t)$ dos componentes críticos



Fonte: Autor utilizando *Reliasoft Weibull++*

Figura 18 – Função acumulada de falhas $F(t)$ dos componentes críticos

Fonte: Autor utilizando *Reliasoft Weibull++*

3.6.3 DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS DE MANUTENÇÃO

Para o cálculo do custo da manutenção, é necessário determinar o custo das manutenções corretivas e preventivas, além das funções de confiabilidade e de acumulação de falhas. Para o cálculo dos custos de manutenção corretiva, deve ser considerado, além do material e da mão-de-obra envolvida na atividade de reparo do componente, o custo das perdas causadas pelo lucro cessante. Na prática, o lucro cessante pode ser calculado levando-se em consideração o tempo em que determinado equipamento ou máquina deveria estar produzindo e não produziu. É exatamente o que ocorre quando há quebra ou falha de um componente da máquina que faz com que ela fique inoperante. Sendo assim, o lucro cessante é determinado quando é computado o lucro que a empresa deixou de ganhar durante o tempo em que a máquina ficou parada. Já a manutenção preventiva é uma manutenção que pode ser programada antes de ser realizada. Como isso, a empresa não considera esse tempo para o planejamento da produção e, por esse motivo, não ocorre a perda por lucro cessante. Sendo assim, no cálculo do custo, deverá conter somente o custo de mão-de-obra e o custo de material. Pode-se então definir os custos de manutenção como sendo:

$$Cmc = \text{Mão de obra} + \text{Material} + \text{Perda de lucro} \quad (3.1)$$

$$Cmp = \text{Mão de obra} + \text{Material} \quad (3.2)$$

$$Cmt = Cmc + Cmp \quad (3.3)$$

É importante também definir como são calculados os parâmetros das equações apresentadas acima. Pode-se então definir:

$$\text{Mão de obra} = \text{Número de colaboradores} \times \text{Custo do colaborador} \times \text{Tempo de reparo} \quad (3.4)$$

$$\text{Material} = \frac{\text{Kits de reparo} + \text{Componente novo}}{2} \quad (3.5)$$

$$\text{Perda de lucro} = \text{Lucro/hora} \times \text{Tempo de reparo} \quad (3.6)$$

A Tabela 15 mostra a relação de todos os valores com os valores de cada parâmetro das equações e também o já calculado custo de manutenção corretiva e preventiva:

Tabela 15 – Definição dos custos de manutenção para cada componente

	Bloco	Válvula	Sensor	Carro	Elt
β	0,9368	1,09	1,6153	1,7795	1,599
η	74,9694	75	52,21	85,80	22,95
Colaboradores	1	1	1	1	1
Custo / Colaborador	R\$ 17,00	R\$ 17,00	R\$ 20,00	R\$ 17,00	R\$ 20,00
Tempo de reparo	4	2,3	1,5	7	1,3
Lucro / Hora	R\$ 150,00	R\$ 150,00	R\$ 150,00	R\$ 150,00	R\$ 150,00
Mão de obra	R\$ 68,00	R\$ 39,10	R\$ 30,00	R\$ 119,00	R\$ 26,00
Material	R\$ 300,00	R\$ 200,00	R\$200,00	R\$ 600,00	R\$ 100,00
Perda de lucro	R\$ 600,00	R\$ 345,00	R\$ 225,00	R\$ 1.050,00	R\$ 195,00
Corretiva	R\$ 968,00	R\$ 584,10	R\$ 455,00	R\$ 1.769,00	R\$ 321,00
Preventiva	R\$ 368,00	R\$ 239,10	R\$ 230,00	R\$ 719,00	R\$ 126,00

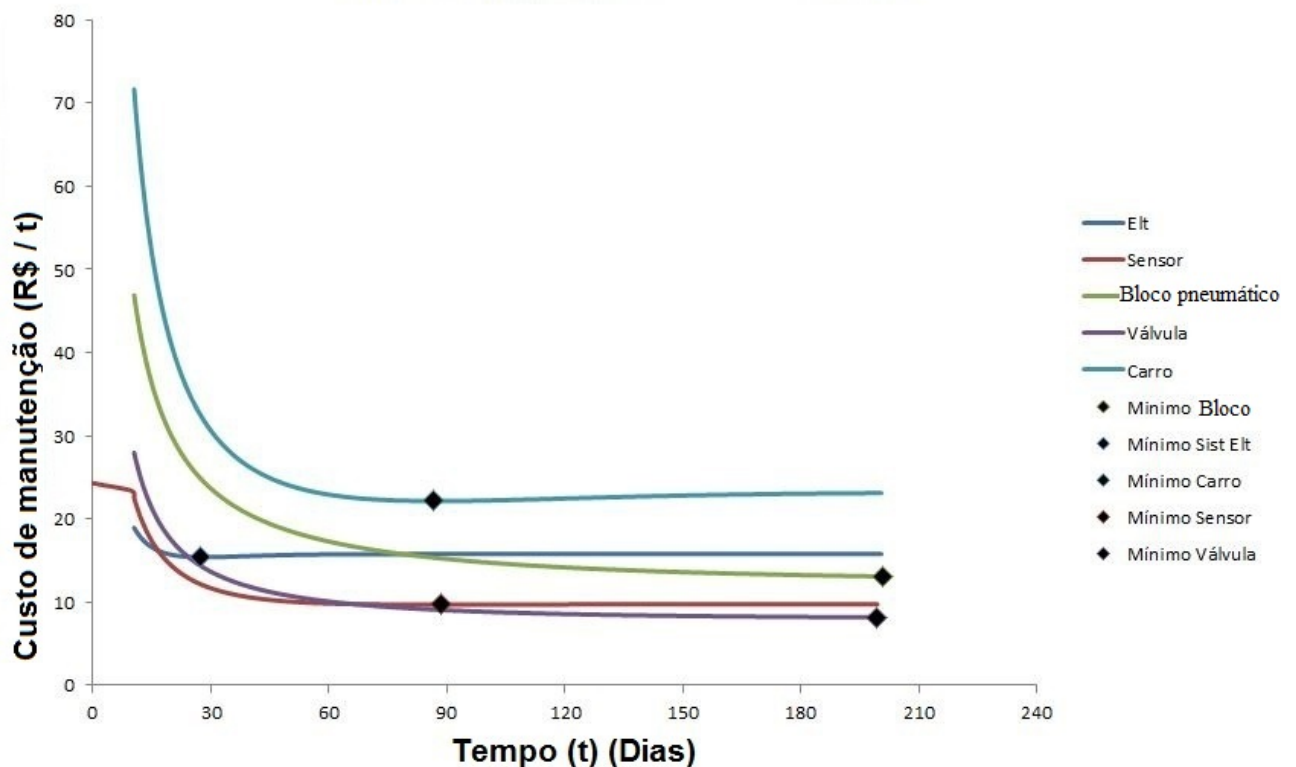
Fonte: Autor

Definidos os custos de manutenções corretivas e preventivas de cada componente crítico, é preciso ser entendido como estes se relacionam com as funções de confiabilidade. Através da equação (2.17) apresentada anteriormente, é possível perceber a relação entre

a manutenção corretiva com $F(t)$ e entre a manutenção preventiva com $R(t)$. Entende-se que a manutenção preventiva está diretamente associada a manter um equipamento com certa confiabilidade, enquanto que a manutenção corretiva é justamente ocasionada devido ao acontecimento da falha.

A partir das relações entre as funções de confiabilidade e os custos de manutenção, pode-se plotar o custo de manutenção em função do tempo e tentar encontrar um ponto ótimo de manutenção, ou seja, a periodicidade com a qual é mais vantajoso trocar o componente. É possível chegar a essa conclusão de troca de componentes, pois os dados de entrada foram de falhas com substituição de componentes. Abaixo seguem os custos de manutenção de cada componente:

Figura 19 – Determinação do ponto de mínimo custo



Fonte: Autor

O custo de manutenção por unidade de tempo é representado no eixo Y do gráfico da Figura 19. Ou seja, para encontrar o custo de manutenção real, deve-se multiplicar o valor encontrado no ponto Y pelo tempo em dias.

A intenção de achar as funções de custo de manutenção baseada no tempo tem como objetivo achar o ponto onde o custo de manutenção total é o mínimo. Para este

trabalho, este ponto é o mais importante para a definição da periodicidade das atividades, pois não está sendo trabalhando com uma confiabilidade mínima requerida. Em nosso estudo, estão sendo utilizadas ferramentas de confiabilidade para maximizar o lucro do equipamento. A partir dos gráficos plotados nas Figuras 17, 18 e 19, pode-se observar que, para alguns casos, não existe um ponto de mínimo, isto é, quanto maior for o intervalo de manutenções, menor será o custo de manutenção. Esse resultado mostra que, para alguns componentes, a substituição só deve ocorrer após a falha.

3.7 DEFINIÇÃO DA LISTA TÉCNICA

A lista técnica dos componentes é uma ferramenta que, alinhada ao plano de manutenção, pode gerar ganho de informações para o executor das atividades já que, a partir do código dos itens, é possível acessar todas as informações do componente através do fornecedor.

A lista técnica é o conjunto de informações como: descrição do item, fabricante, código, valor e quantidade de itens no equipamento. Chama-se de lista técnica, pois é o nome dado pelo sistema integrado da empresa. Do ponto de vista do planejamento da manutenção, integrar a lista técnica ao plano de manutenção no sistema faz com que sejam gerados, automaticamente, pedidos de compra dos materiais necessários para execução do serviço. Além de facilitar o planejamento das ações, ajuda fazendo com que o tempo planejado para execução do serviço seja cumprido, pois, desta forma, descartará a principal causa de atrasos em atividades de manutenção, que é a falta de ferramentas ou componentes.

Para a definição da lista técnica, a ajuda das pessoas envolvidas no projeto foi essencial. Aprovado o orçamento do projeto, foi comprada uma série de componentes para seu desenvolvimento. A partir do histórico de compras, foi compilada e levantada uma lista com mais de 300 itens, porém com poucas identificações e classificações.

Após ter a lista em mãos e acompanhar o desenvolvimento dos novos equipamentos, foi possível identificar os componentes envolvidos nas falhas determinadas pelo FMEA. Desta forma, foi possível classificar os componentes e gerar uma lista de peças as quais devem ser mantidas em estoque, pois estarão associadas às manutenções propostas neste plano.

A lista gerada conta com informações como: nome do componente, tipo de componente, área do equipamento na qual é utilizada, fabricante, código do componente e código interno. Para o plano de manutenção, serão apresentados apenas o nome do item, seguido do fabricante e do código do componente.

4 RESULTADOS

Neste capítulo, será discutido o resultado gerado através deste trabalho, que por seu objetivo é a elaboração do plano de manutenção gerado a partir da utilização de ferramentas de confiabilidade.

4.1 RESULTADOS ALCANÇADOS

A partir de nossa análise quantitativa, pode-se fazer o seguinte resumo em relação ao estudo de confiabilidade dos itens críticos:

Tabela 16 – Resumo da análise de confiabilidade

	Sistema Elétrico	Sensor	Bloco	Válvula	Carro
β	1,599	1,61530	0,9368	1,09	1,7795
η (dias)	22,95	52,21	74,96	75	85,8
MTTR (h)	1,3	1,5	4	2,3	7
MTBF (dias)	20,58	46,77	77,24	72,76	76,34
Custo de manutenção mínimo	27,5	88,5	-	-	86,5
Confiabilidade no ponto mínimo	26,31%	9,50%	-	-	36,25%
Periodicidade definida	Mensal	Mensal	-	-	Trimestral

Fonte: Autor

As ferramentas de confiabilidade não geram respostas lógicas, mas, sim, respostas analíticas. É necessário utilizar as informações encontradas no FMEA, análise de confiabilidade e análise dos custos de manutenção como suporte à tomada de decisões. Todas estas ferramentas auxiliam na determinação da estratégia de manutenção e da periodicidade das atividades.

Como o interesse da elaboração deste plano é maximização dos lucros, não se está trabalhando com uma confiabilidade mínima, porém, na Tabela 16, foi indicado qual seria esta. É possível observar que, para os sensores, onde a periodicidade indicada pelo seu valor deveria ser trimestral, há uma confiabilidade muito baixa, por isso, ficou decidido que sua periodicidade será a maior e mais próxima da sugerida, ou seja, periodicidade mensal.

A elaboração do plano foi iniciada através da análise do FMEA, que indicou os componentes e a respectiva estratégia de manutenção. Avaliados os modos de falhas potenciais dos componentes, partiu-se para definição das atividades de forma a evitá-las. Esta etapa contou com um time multidisciplinar, de manutenção, processo e projetos, o qual ajudou a elaborar, de acordo com a estratégia definida pelo estudo, as atividades necessárias para evitar as falhas levantadas. Desta forma, para todos os componentes envolvidos no FMEA, foi descrita uma atividade preventiva ou preditiva e, ainda, para os

itens que obtiveram a análise quantitativa, os itens críticos, foi aplicada a periodicidade mostrada na Tabela 16. Para os demais itens, conforme citado na Seção 3.6, foi definida a periodicidade baseada na experiência do time multidisciplinar. O plano foi fechado com a adição da lista técnica que, além de facilitar na execução do plano de manutenção, veio para completar as informações da descrição das atividades, listando na íntegra os componentes envolvidos.

Pode-se destacar que, no plano, foram levantadas 48 diferentes atividades de manutenção, sendo incluídas mais de 80 ações de inspeção ou troca de componentes. Para um melhor entendimento, as atividades foram divididas em periodicidades: diárias, semanais, mensais, trimestrais, semestrais e anuais, pois é dessa forma que é lançada no sistema da empresa. Foram atribuídas as seguintes informações: grande área da atividade; descrição da atividade; componentes envolvidos e sua respectiva quantidade. Para os componentes, pode ser seguida a seguinte ordem: descrição usual do item; fabricante; e código do fabricante. As Figuras 17 a 23 mostram o resultado:

Tabela 17 – Atividades diárias e semanal respectivamente do plano de manutenção

Grande área	Descrição da atividade	Componentes	Qnt
Lubrificação	Completar óleo na unidade centralizada	Óleo trueslide 220	-
	Completar óleo na unidade lubrificador do painel de válvulas	Óleo AGM-32	-

Fonte: Autor

Tabela 18 – Atividades mensais do plano de manutenção

Grande área	Descrição da atividade	Componentes	Qnt
Lubrificação	Limpar a parte externa da unidade centralizada e verificar se o reservatório está limpo. Caso haja sujeira, esgotar o óleo e limpar.	-	-
	Verificar o sistema de lubrificação do cabeçote: verificando se há passagem de óleo após o bico dosador.	-	-
	Verificar o sistema de lubrificação do fuso da mesa e do carro, verificando se há passagem de óleo após o bico dosador que fica após o manifold.	-	-
	Limpar a caixa de retorno de óleo.	-	-
Pinça	Verificar sensor da pinça.	Sensor magnético para cilindro pneumático. SMC - D-M9PVL - 4	4
Régua	Verificar funcionamento do sensor da régua.	Sensor indutivo. AB - 872CEZ-D2NP12-D4	
Carro	Verificar sensores de posição do carro: avançado, centralizado e recuado.	Sensor indutivo. AB - 872CD2NP8E2	3
Backbar	Verificar sensor do backbar.	Sensor magnético para cilindro pneumático. SMC - D-M9PVL - 1	1
Bloco pneumático	Verificar sensor da tampa do bloco pneumático.	Sensor magnético para cilindro pneumático. SMC - D-M9PVL - 2	2

Fonte: Autor

Tabela 19 – Atividades trimestrais do plano de manutenção

Grande área	Descrição da atividade	Componentes	Qty
Segurança	Verificar funcionamento do botão de emergência testando a máquina em pelo menos 3 diferentes situações de forma manual	Chave de emergência operada por cabo. AB - 440E-L13193 - Cabeçote - botão de emergência. AB - 800FP-LMT44 -	- -
	Verificar gonso e chapas da proteção do rebolo se estão em boas condições e não possuem folga	-	-
	Verificar estado físico das proteções NR12 da máquina	-	-
	Verificar e ajustar se necessário o tensionamento da corda de emergência calibrando com o indicador	-	-
Canulador e funil	Verificar se a corda de emergência está passando por todas as roldanas e também checar as soldas procurando por trincas. Refazer a solda caso necessário	-	-
	Verificar o cabeamento elétrico substituindo conexões e tomadas de cabo afetadas com solução	Cabo de 2 metros com conector fêmea, 4 pinos, 22AWG, 300V, 3A, axial	6
		Cabo de 5 metros com conector fêmea, 4 pinos, 22AWG, 300V, 3A, axial	2
	Cabo com conector M8, comprimento 5 metros, conector reto	1	

Fonte: Autor

Tabela 20 – Atividades semestrais parte 1 do plano de manutenção

Grande área	Descrição da atividade	Componentes	Qnt
Refrigeração	Verificar funcionamento do solenóide e substituí-lo caso necessário	Válvula solenóide 2 vias 3/4" NPT 24 VCC - Ascovall	-
	Verificar registros de solução da máquina e substituir caso necessário	Registro 3/4" e 1" manopla simples	-
	Verificar estado físico das mangueiras de refrigeração e substituir caso necessário	Mangueira transparente simples 1"	-
Lubrificação	Efetuar uma limpeza na parte de retorno de solução do equipamento desobstruindo a caixa de retorno de solução.	-	-
	Verificar o funcionamento da bomba de óleo de forma manual e verificar se o pressostato está funcionando corretamente.	-	-
	Verificar se há acúmulo de óleo e sujeira. Esgotar caso necessário e efetuar uma limpeza no sistema retirando a proteção	-	-
	Verificar o sistema de retorno de óleo da mesa e do carro, checando se não há entupimentos. Efetuar uma limpeza caso necessário	-	-

Fonte: Autor

Tabela 21 – Atividades semestrais parte 2 do plano de manutenção

Grande área	Descrição da atividade	Componentes	Qnt.	
Canulador e funil	Esticar proteção metálica do eixo elétrico e verificar se necessita substituição	ATUADOR ELETRICO TOLOMATIC B3S10 SN02 SK20 LMI	1	
		ROLAMENTO. SNK - 6003 ZZ	1	
	Verificar desgaste do sistema do canulador inspecionando as polias, correia sincronizada e os rolamentos. Reapertar parafusos, verificar alinhamentos e aplicar tensão correta nas correias	Verificar desgaste do sistema do funil inspecionando as polias, correia sincronizada e os rolamentos. Reapertar parafusos, verificar alinhamentos e aplicar tensão correta nas correias	ROLAMENTO. SNK - R 6 ZZ	1
			Correia sincronizada de borracha. GATES 100-XL-037	1
			Polia. NAC 16-XL-037 6F - Alumínio	1
			Polia. NAC - 22-XL-037 6F - Alumínio	1
			Polia. NAC - 22-XL-037 6F - Alumínio	2
			Correia sincronizada de borracha. GATES - 80-XL-037	1
			Suporte para sensor D-M9 SMC	1
			Válvula Reguladora de vazão. SMC - AS2002F-04	2
Prensa e alinhador	Verificar funcionamento dos itens pneumáticos da prensa: Válvula reguladora de fluxo; Conexões; Atuador e Válvula Direcional. Caso exista vazamentos, substituí-los	Conexão pneumática 6mm. SMC - KQ2L06-U01A	2	
		Atuador pneumático guiado (cilindro). SMC - MGPM16-25Z	1	
	Verificar funcionamento dos itens pneumático do alinhador: Conexões, Atuador, Válvula Reguladora de Fluxo e Válvula direcional. Caso exista vazamentos, substituí-los	Verificar se os cilindros da prensa e do alinhador se movimentam de forma suave e lubrificá-los com graxa caso necessário	VALVULA DIRECIONAL SOLENOIDE. SMC - SY5101K-5U1	1
			Conexão pneumática 6mm. SMC - KQ2L06-U01A	4
			Conexão pneumática Y. SMC - KQ2U06-00A	2
			Atuador pneumático guiado (cilindro). SMC - MGPM16-25Z	1
			VALVULA DIRECIONAL SOLENOIDE. SMC - SY5101K-5U1	1
			Válvula Reguladora de vazão. SMC - AS2002F-04	2
			Atuador pneumático guiado 16 mm. SMC - MGPM16-25Z -	

Fonte: Autor

Tabela 22 – Atividades semestrais parte 3 do plano de manutenção

Grande área	Descrição da atividade	Componentes	Q _{nt}
Pinça	Verificar o funcionamento dos itens da pinça A e B	VALVULA DIRECIONAL SOLENOIDE. SMC - SY5101K-5U1	2
		Válvula Reguladora de vazão. SMC - AS2002F-04	4
		Correia sincronizada. Schneider - 140 XL 037 - Polia. Schneider - 40 XL 037 -	1
		Amortecedor de impacto. SMC - RBC1412	1
Bloco pneumático	Verificar todo o sistema pneumático de alimentação do bloco, checando válvula direcionadora, válvula reguladora, conexões e mangueiras. Substituir caso necessário	Válvula auxiliar de controle de vazão 6 mm. SMC -AS2002F-06	2
		Conexão pneumática 6mm. SMC - KQ2L06-U01A	4
		VALVULA DIRECIONAL SOLENOIDE. SMC - SY5101K-5U1	1
		Atuador pneumático rotativo. SMC - CRB1BW80-90S -	1
Backbar	Verificar o funcionamento dos atuadores rotativos do bloco pneumático e trocar caso necessário	Atuador pneumático rotativo. SMC - CDRB1BW80-90D -	1
		Conexão L Rosca 1/4" - tubo 6 mm. SMC - KQ2L06-U02A -	2
		Atuador pneumático guiado 63 mm Curso 150 mm. SMC - MGPM63-150 -	1
		Válvula auxiliar de controle de vazão 6 mm. SMC - AS2002F-06 .	1
Cabeçote	Verificar tensionamento da correia do cabeçote. Retirar os parafusos de fixação do cabeçote para tal atividade	VALVULA DIRECIONAL SOLENOIDE. 24 VCC - SIMPLS SOLENOIDE - 5/2 VIAS. SMC - SY5101K-5U1 .	1
		COR.SINCRO 650 5M 15,0 OMEGA OPTIBELT ESP.BORR. 650 5M 15 - Schneider	1

Fonte: Autor

Tabela 23 – Atividades anuais do plano de manutenção

Grande área	Descrição da atividade	Componentes	Qnt
Canulador e funil	Verificar funcionamento do motor servo do canulador e do funil, trocando caso necessário. Efetuar uma limpeza nos mesmos	Motor de passo Akiyama AK23/15F6FN1.8	2
	Verificar o funcionamento do motor da régua, trocando caso necessário	Servomotor Allen-Bradley TLY-A220T-HJ62AN	1
Carro	Substituir cilindro pneumático de movimentação horizontal do carro em máquinas que tiverem este sistema	-	1
	Verificar desgaste e lubrificação do fuso do carro para as máquinas que tiverem este sistema	Fuso de rosca trapezoidal do processador. CMP2962013 Porca de bronze para fuso do processador. CMP2433034	1 2
	Substituir o sistema de movimentação horizontal do carro: guia linear, rolamentos, mancais de esfera e amortecedor.	Amortecedor de impacto. SMC - RBC1412 - ROLAMENTO. SNK - 6212 DDU - Eixo Guia linear retificado 38,1 x 1120mm Mancal Guia linear PB 24	1 4 2 4
	Substituir cilindro pneumático e rolamentos do sistema de giro do carro	-	-
	Substituir o celeron do sistema de embreagem	Celeton. Isoplast - 1000x1000	1
	Verificar o funcionamento do atuador pneumático do <i>backbar</i>	Atuador pneumático guiado 63 mm. SMC - MGPM63-150 -	1
	Verificar desgaste no sistema do <i>backbar</i> verificando as hastes, mancais e rolamentos do sistema	-	-
Cabeçote	Verificar desgaste do sistema do cabeçote: rolamentos, polia, correia, fuso	Rolamento Explorer. SKF - 6012-Z -	2
		P.SINCRO 10 5M 15 6F ALUMINIO FURO GUIA - Schneider - COR.SINCRO 650 5M 15,0 ESP.BORR - Schneider -	1 1
		P.SINCRO 84 5M 15 6W ALUMINIO FURO GUIA - Schneider -	1
Refrigeração	Substituir bicos de refrigeração	-	-

Fonte: Autor

5 CONCLUSÕES

Pode-se dizer que o objetivo deste trabalho - a elaboração do plano de manutenção com lista técnica utilizando ferramentas de confiabilidade - foi obtido com satisfação. O equipamento em estudo mostrou-se uma escolha correta para aplicações de ferramentas de confiabilidade na elaboração de um plano de manutenção, porém o número elevado de atividades o torna de difícil aplicação, sendo necessário quebrar alguns paradigmas da fábrica.

O pequeno espaço de tempo da análise do histórico de falhas não permitiu a definição de periodicidades ótimas de manutenção para muitos componentes e ainda foi necessário prever possíveis falhas para a criação do FMEA. Este, por sua vez, obteve resultados muito satisfatórios para serem utilizados no desenvolvimento do plano de manutenção e mostrou ser uma boa escolha de ferramenta qualitativa da manutenção centrada em confiabilidade. Foi possível classificar as atividades que iriam ou não participar do plano e ainda definir quais delas eram as mais críticas.

Para a análise da periodicidade das atividades, a relação do custo mínimo de manutenção tornou-se mais viável comparada à análise de confiabilidade. Sabe-se da importância da confiabilidade de um ativo, porém quanto maior for este parâmetro, proporcionalmente, maior será o custo de manutenção, custo este o qual o presente trabalho tentou minimizar já que o interesse é maximizar o lucro da empresa. Para falhas definidas como críticas, determinadas pelo FMEA, esta análise de custo não se encaixa já que deve-se evitá-las de qualquer forma.

Espera-se que as contribuições deste trabalho permitam aplicar a melhor estratégia de manutenção para o equipamento, permitindo assim a melhoria de performance do mesmo, o aumento de confiabilidade e de disponibilidade ou a redução do custo de manutenção. Que a metodologia de análise por *softwares* de confiabilidade sirva de parâmetro para a elaboração e a otimização de planos de manutenção de outros equipamentos.

Para trabalhos futuros, espera-se que, tendo esta etapa de elaboração do plano concluída, parta-se para a avaliação da implementação do mesmo. Para isso, deve ser feita, junto ao time de manutenção e alinhada ao restante da fábrica, a parada da máquina e execução de todas as atividades propostas pelo plano. É sugerido que se mantenha a contínua avaliação pelo histórico de falhas, preferencialmente utilizando um *software* de análise de confiabilidade, podendo, assim, fazer de tempos em tempos uma revisão na periodicidade das atividades. Outro trabalho também a ser desenvolvido deve ser a criação e a implementação da TPM para os itens com criticidade A do FMEA e atividades simples do tipo limpeza e lubrificação. Por último, é importante dedicar-se ao treinamento dos associados responsáveis pela realização das tarefas.

REFERÊNCIAS

- BEVILACQUA, M. et al. Monte carlo simulation approach for a modified fmeca in a power plant. *Quality and Reliability Engineering International*, v. 16, n. 4, p. 313–324, 2000.
- BLOOM, N. *Reliability Centered Maintenance: implementation made simple*. New York: McGraw-Hill, 2006.
- CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. *Administração de Produção e Operações: Manufatura e Serviços: Uma Abordagem Estratégica*. São Paulo: Atlas SA, 2000.
- COSTA, M. A. *Gestão Estratégica da Manutenção: uma oportunidade para melhorar o resultado operacional*. Monografia: Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), 2012.
- CUNHA, M. et al. Considerações sobre confiabilidade no projeto de submarinos. *Produto & Produção*, v. 13, n. 1, p. 114–130, 2012.
- EINARSSON, S.; RAUSAND, M. An approach to vulnerability analysis of complex industrial systems. *Risk analysis*, Springer, v. 18, n. 5, p. 535–546, 1998.
- FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. *Confiabilidade e Manutenção Industrial*. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2011.
- HERPICH, C.; FOGLIATTO, F. S. Aplicação de fmeca para definição de estratégias de manutenção em um sistema de controle e instrumentação de turbogeradores. *Iberoamerican Journal of Industrial Engineering*, v. 5, n. 9, p. 70–88, 2013.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. *Manutenção: função estratégica*. 3ª. ed. São Paulo: Qualitymark, 2009.
- KOO, W. L.; HOY, T. V. Determining the economic value of preventive maintenance. *Jones Lang LaSalle*, 2003.
- LAFRAIA, J. R. B. *Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade*. 5ª. ed. [S.l.]: Qualitymark, 2001.
- LIMA, W. d. C.; ARANTES, J. A. S. Manutenção preditiva: Caminho para a excelência e vantagem competitiva. *XIII, SIMPEP, Bauru, SP, Brasil*, v. 6, 2008.
- MENDES, A. A.; RIBEIRO, J. L. D. Estabelecimento de um plano de manutenção baseado em análises quantitativas no contexto da mcc em um cenário de produção jit. *Produção = Production*, SciELO Brasil, Porto Alegre, v. 24, n. 3, p. 675–686, 2014.
- MOUBRAY, J. *Reliability-centered Maintenance RCM II*. 2ª. ed. New York: Industrial Press, 1997.
- NELSON, W. B. *Applied life data analysis*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2005. v. 577.
- NEVES, E. S. *Aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade como Ferramenta de Melhoria de Performance num Setor de Indústria Metalúrgica de Grande Porte do Sudeste de Minas Gerais*. Monografia: Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), 2016.

OTANI, M.; MACHADO, W. V. A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial. *Revista Gestão Industrial*, v. 4, n. 02, p. 01–16, 2008.

RELIASOFT, R. G. *Repairable System Data Analysis Reference*. [S.l.]: Reliasoft Publishing, 2015.

SANTOS, M. J. M. F. d. *Gestão de manutenção do equipamento*. Portugal: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), 2009.

SELLITTO, M. Análise estratégica da manutenção de uma linha de fabricação metal-mecânica baseada em cálculos de confiabilidade de equipamentos. *GEPROS: Gestão da Produção, Operações e Sistemas*, 2007.

SELLITTO, M. A. Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos. *Revista Produção*, SciELO Brasil, v. 15, n. 1, p. 44–59, 2005.

SILVEIRA, C. B. Confiabilidade e disponibilidade de máquinas: um exemplo prático. *Citisystems*, 2015.

SIQUEIRA, I. P. d. *Manutenção centrada na confiabilidade: Manual de Implementação*. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2012.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. *Administração da produção*. 3ª. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SMITH, A. M. *Reliability-centered maintenance*. 1ª. ed. New York: McGraw-Hill, 1993. v. 83.

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

SOUZA, S. S. d.; LIMA, C. Manutenção centrada em confiabilidade como ferramenta estratégica. *XXIII Encontro Nac. de Eng. de Produção*, 2003.

TATSCH, D. *Metodologia da manutenção centrada na confiabilidade aplicada em uma máquina de montar pneus*. Monografia: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 2010.

WILMETH, R. G.; USREY, M. W. Reliability-centered maintenance: A case study. *Engineering Management Journal*, v. 12, n. 4, p. 25–31, 2000.

YAMAGUCHI, C. T. *TPM–Manutenção Produtiva Total*. São Paulo Del Rei: ICAP, 2005.