

**JEAN CARLO BORTOLO**

**ADMINISTRAÇÃO DA MANUTENÇÃO PRODUTIVA:  
APLICAÇÃO DO MÉTODO MCC PARA AUMENTO DA  
CONFIABILIDADE E DISPONIBILIDADE DE PONTEADEIRAS**

**São Paulo  
2009**

**JEAN CARLO BORTOLO**

**ADMINISTRAÇÃO DA MANUTENÇÃO PRODUTIVA:  
APLICAÇÃO DO MÉTODO MCC PARA AUMENTO DA  
CONFIABILIDADE E DISPONIBILIDADE DE PONTEADEIRAS**

Monografia apresentada à Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo para obtenção do  
certificado de especialista em Engenharia e  
Gestão de Operações de Manufatura e  
Manutenção\_ MBA/USP

Orientador:

Prof. Dr. Gilberto Francisco M. de Souza

**São Paulo**

**2009**

## **RESUMO**

Tendo em vista a crescente necessidade de tornar os processos e as empresas mais produtivas e competitivas, o presente trabalho aborda os principais métodos relacionados a gestão administrativa da manutenção, tendo como base os conceitos da manutenção produtiva total, manutenção estratégica e gestão pela qualidade total. O estudo visa, aumentar a confiabilidade, disponibilidade e produtividade do processo estudado, utilizando o método da manutenção centrada em confiabilidade em um grupo de máquinas de solda, denominada como "ponteadeira", equipamento este, muito utilizado no ramo automobilístico para soldar carrocerias de carros e caminhões.

Palavra-chave: Manutenção, Gestão administrativa da Manutenção. Manutenção centrada em confiabilidade, Disponibilidade.

## **ABSTRACT**

According to the growing need to make the procedures and business more productive and competitive, this work will approach the main methods related to the administrative management of maintenance, based on total productive maintenance, maintenance strategic and total quality management. The study focus increase reliability, availability and productivity of studied process, using the method of reliability centered maintenance applied in a group of welding machines, called at "welding guns", this equipment is widely used in automobile industry to weld car bodies and trucks.

Keyword: maintenance, administrative management of maintenance, maintenance focused on reliability, availability.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS

LISTA DE GRÁFICOS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE SIGLAS

INTRODUÇÃO .....	13
1. APRESENTAÇÃO DO PENSAMENTO.....	13
1.1. Conceito de manutenção e suas aplicações .....	13
1.2. Objetivo específico.....	14
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....	15
2.1. Gestão estratégica da manutenção .....	15
2.2. Os princípios da manutenção produtiva.....	16
2.3. Gestão da Manutenção e a qualidade total .....	17
3. ORGANIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO.....	19
3.1. Estruturas de manutenção .....	19
4. ASPECTOS GERENCIAIS DA MANUTENÇÃO .....	21
4.1. Paradigma moderno .....	21
4.2. Benchmarking.....	21
4.3. As deficiências das organizações .....	22
4.4. Custo da Manutenção .....	23
4.5. Redução da demanda de serviços.....	23
4.6. Trabalho em equipe .....	24
4.7. O Papel da manutenção na qualidade da organização .....	25
4.8. Contratação de serviços na manutenção.....	25
5. PRÁTICAS BÁSICAS DA MANUTENÇÃO MODERNA.....	26
5.1. Programa 5S .....	26
5.2. TPM - Manutenção Produtiva total.....	27
5.2.1. Manutenção autônoma.....	27
5.3. Polivalência ou Multiespecialização .....	29
5.4. Manutenção Corretiva .....	30
5.4.1. Manutenção Corretiva Programada .....	32
5.5. Manutenção Preventiva.....	33

5.6. Manutenção Preditiva.....	35
5.7. Engenharia de Manutenção .....	37
5.7.1. Padrões de Manutenção .....	39
5.7.2. Tratamento de falhas dos equipamentos .....	41
5.7.3. Melhorias dos Equipamentos .....	42
5.7.4. Prevenção de manutenção .....	44
5.7.5. Aplicação dos recursos de manutenção no Brasil .....	44
6. PLANEJAMENTO E CONTROLE DA MANUTENÇÃO.....	46
6.1. Planejamento e programação dos serviços .....	47
6.2. Planejamento de custos .....	48
6.3. Gestão de equipamentos .....	49
6.4. Controle.....	50
7. TÉCNICAS MODERNAS DE MANUTENÇÃO.....	51
7.1. Teoria da confiabilidade .....	51
7.2. MCC – Manutenção Centrada na Confiabilidade .....	51
7.3. Taxa de Falhas .....	54
7.4. Diagrama de Weibull .....	57
7.5. Arvore Funcional .....	58
7.6. Principais ferramentas de aumento da confiabilidade .....	58
8. ESTUDO DE CASO.....	62
8.1. Descrição do processo de manufatura .....	62
8.2. Funcionamento da célula .....	63
8.3. Método para aplicação da MCC.....	64
8.4. Curva ABC de falhas .....	65
8.5. Metodologia da pesquisa .....	66
8.6. Princípio de funcionamento das Ponteadeiras .....	67
8.7. Desenvolvimento do trabalho (Análises dos dados).....	69
8.8. Disponibilidade , MTTR e MTBF.....	71
8.9. Modo de falha.....	72
8.10. Distribuição de Weibull .....	75
8.11. Arvore funcional.....	76
8.12. Funções dos sistemas, subsistemas e componentes .....	79
8.13. Análise de modo e efeito de falha - FMEA.....	80
8.14. Política de Manutenção .....	83

8.15. Resultados obtidos .....	85
9. CONCLUSÃO .....	90
10. RECOMENDAÇÕES .....	91
11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	92

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1- Etapas do ciclo de vida dos equipamentos.....	16
Tabela 4-1- Custo da manutenção pelo faturamento.....	23
Tabela 4-2- Ferramentas utilizadas para promover a qualidade.....	24
Tabela 4-3- Composição dos custos de manutenção.....	25
Tabela 5-1- Aplicabilidade dos métodos conforme o tipo de equipamento.....	36
Tabela 5-2- Organização das operações de manutenção.....	38
Tabela 5-3- Aplicação dos recursos na manutenção.....	44
Tabela 5-4 - Percentual de empresas com Engenharia de manutenção.....	44
Tabela 5-5 – Percentual de efetivo na Engenharia de manutenção.....	44
Tabela 8-1-A - Total de falhas por ponteadeira.....	69
Tabela 8-1-B - Total de falhas por modelo.....	69
Tabela 8-2 - Levantamento por mês da quantidade e tempo das falhas por mês no ano 2008.....	72
Tabela 8-3- Número de falhas por Componentes.....	75
Tabela 8-4- Definição das funções.....	79
Tabela 8-5- Aplicação do FMEA.....	80
Tabela 8-6- Aplicação do FMEA continuação.....	81
Tabela 8-7- Política de manutenção dos itens analisados.....	84
Tabela 8-8- Política de manutenção dos itens analisados – continuação.....	85
Tabela 8-9- Exemplo de inspeção em ponteadeiras.....	87
Tabela 8-10- Resultados antes do FMEA.....	88
Tabela 8-10- Resultados depois do FMEA.....	88

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Número de falhas pelo total de falhas.....	65
Gráfico 2- Tempo das falhas pelo total de falhas.....	66
Gráfico 3- Pareto de falhas por ponteadeira.....	69
Gráfico 4- Distribuição por modelo de ponteadeira.....	70
Gráfico 5- Distribuição da densidade de falhas por modelo de ponteadeira.....	70
Gráfico 6- Tempo de falhas das ponteadeiras modelo RZ.....	71
Gráfico 7- Histograma do MTTR da tabela 8-2.....	72
Gráfico 8- Histograma do MTBF da tabela 8-2.....	72
Gráfico 9- Disponibilidade da tabela 8-2.....	73
Gráfico 10- Pareto de falhas por sistemas.....	74
Gráfico 11- Pareto de falhas por subsistemas.....	74
Gráfico 12- Pareto de falhas por Componentes.....	74
Gráfico 13 - Distribuição estatística de Weibull aplicado a ponteadeira AX2R1Z8..	75
Gráfico 14- Interpretação da criticidade dos componentes.....	82
Gráfico 15- Percentual de indisponibilidade das Ponteadeiras de robô.....	86

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Visão geral da manutenção pela Qualidade Total.....	18
Figura 2- Estrutura Manutenção até década 30.....	19
Figura 3- Estrutura Manutenção entre as décadas de 30 e 40.....	19
Figura 4- Estrutura Manutenção a partir de 1950.....	19
Figura 5- Estrutura Manutenção a partir de 1966.....	20
Figura 6- Estrutura Manutenção a partir de 1980.....	20
Figura 7- Princípios básicos do 5S aplicado a Manutenção e seus resultados.....	26
Figura 8- Fluxograma das ações corretivas e as ações de bloqueio.....	32
Figura 9- Classificação básica das ações preventivas.....	34
Figura 10- Métodos de inspeção de equipamentos.....	35
Figura 11- Indicadores de falha potencial.....	37
Figura 12- Estrutura básica dos padrões de manutenção.....	40
Figura 13- Tipos de padrões técnicos da manutenção.....	40
Figura 14- Esquema de atualização dos padrões e plano de manutenção.....	41
Figura 15- Exemplo de “Método dos Por quês” para investigação das causas fundamentais.....	42
Figura 16- Exemplo de melhoria como contramedida para as falhas.....	43
Figura 17- Atividades de manutenção vista pela qualidade total.....	46
Figura 18- Gestão do planejamento e programação da manutenção.....	48
Figura 19- Elaboração do orçamento anual da manutenção.....	48
Figura 20- Exemplo de cronograma para elaboração do orçamento anual da manutenção.....	49
Figura 21- Evolução da manutenção.....	52
Figura 22- Diagrama Global 1 da aplicação da MCC .....	52
Figura 23- Diagrama Global 2 da aplicação da MCC .....	53
Figura 24- Diagrama Global 3 da aplicação da MCC .....	53
Figura 25- Diagrama Global 4 da aplicação da MCC .....	54
Figura 26- Curva da banheira.....	55
Figura 27- Tipos de curvas .....	56
Figura 28- Fluxograma de decisão p/ a análise de Weibull.....	57

Figura 29- Análise de causa raiz de falha .....	60
Figura 30- Método de análise de soluções de problemas.....	61
Figura 31- Fluxo de montagem de cabinas.....	62
Figura 32- Ilustração de um processo de solda a ponto automatizado.....	63
Figura 33- Ilustração da aplicação da MCC no estudo de caso.....	64
Figura 34- Modelo 1 de ponteadeiras utilizado na Montadora A.....	67
Figura 35- Modelo 2 de ponteadeiras utilizado na Montadora A.....	68
Figura 36- Sistema de apontamento de falhas – RICAB.....	68
Figura 37- Página de cadastro das falhas – RICAB.....	73
Figura 38- Diagrama de bloco da ponteadeira.....	76
Figura 39- Diagrama organizacional da ponteadeira.....	77
Figura 40- Esquema físico da ponteadeira.....	77
Figura 41- Diagrama funcional e interfaces entre Ponteadeira, Robô e Controlador de solda.....	78
Figura 42- Diagrama de controle da corrente de solda e da Refrigeração.....	78
Figura 43- Esquema do circuito de refrigeração.....	78
Figura 44- Diagrama de controle de pressão.....	78

## LISTA DE SIGLAS

MCC	"Manutenção Centrada em Confiabilidade"
FMEA	"Failure Mode and Effect Analysis"
RCFA	"Root Cause Failure Analysis"
GQT	"Gestão pela Qualidade Total"
PDCA	"Plan Do Check Action"
PCM	"Planejamento e controle da manutenção"
TPM	"Total Productive Maintenance"
APR	"Análise Preliminar de Riscos"
CCQ	"Círculo de controle da Qualidade"
SHE	"Segurança, Higiene e Meio Ambiente"
PERT	"Program Evaluation and Review Technique"
MTTR	"Mean Time To Repaire"
MTBF	"Mean Time Between Fault"
TMEF	"Tempo Médio Entre Falhas"
FTA	"Failure Tree Analysis"
MASP	"Método de Análise e Solução de Problemas"
CLP	"Controlador Lógico Programado"
PCP	"Programação e Controle da Produção"
SMS	"Saúde, meio ambiente e Segurança"
IRF	"Índice de Risco de Falha"

## **INTRODUÇÃO**

### **1. APRESENTAÇÃO DO PENSAMENTO**

Neste trabalho são abordadas práticas básicas de manutenção e também conceitos mais avançados, como a confiabilidade, facilitando a compreensão de como as características dos equipamentos impõem diferentes exigências quanto a sua manutenção.

#### **1.1. CONCEITO DE MANUTENÇÃO E SUAS APLICAÇÕES**

Manutenção, segundo o dicionário AURÉLIO (1995), é definida como “As medidas necessárias para a conservação ou a permanência de alguma coisa ou situação, ou ainda, os cuidados técnicos indispensáveis ao funcionamento regular e permanente de motores e máquinas”.

Segundo XENOS (2004), em conformidade com a norma NR 5462/1994, manutenção é definida como “A combinação de ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida,” ou seja, significa manter algo disponível, dentro das condições especificadas e com o nível de desempenho exigido.

As atividades de manutenção são necessárias em todos os setores da economia, indústria, saúde, agricultura, energia, transportes, telecomunicações, serviços públicos, educação, entre outros e os problemas encontrados pela falta de manutenção podem ser encontrados em todos os setores, o que infelizmente continuam provocando acidentes com seres humanos, e prejuízos ao meio ambiente e à economia.

Para vários autores como KARDEC E NASCIF (2007), TAVARES (2008) e ROSA (2006), a história da manutenção está dividida em 3 gerações.

A primeira geração abrange o período antes da segunda guerra mundial, tempo em que as máquinas eram simples e superdimensionadas, não havia preocupação com a produtividade, as atividades eram bastante artesanais e com isso não

necessitava de manutenções sistematizadas, a política de manutenção era basicamente corretiva.

A segunda geração vai do início da segunda guerra mundial até a década de 60. Devido as pressões do período de guerra aumentaram as demandas por todo tipo de produto, as fábricas estavam com menos funcionários, pois estavam indo para o fronte de batalha, o que levou a um forte aumento da mecanização, bem como da complexidade das instalações industriais.

Consequentemente exigia-se maior disponibilidade e produtividade dos equipamentos, iniciou-se então a utilização da manutenção preventiva.

A terceira geração teve início na década de 70, pois em função das exigências do mercado consumidor por produtos com maior qualidade, segurança, preocupação com o meio ambiente, exigências legais e preços aceitáveis, passou-se a forçar as indústrias a se adequarem as novas necessidades, culminando com a não mais aceitação de falhas aleatórias. Houve grandes investimentos em novas tecnologias para redução de custos e aumento da qualidade, a disponibilidade e confiabilidade das plantas virou fator de competitividade. Tudo isso motivou a utilização de novas técnicas de análise de falhas como, FMEA, RCFA, assim como a utilização da manutenção preditiva.

Estes desafios industriais colocaram a manutenção em evidência. A manutenção é indispensável à produção e pode ser considerada como a base de toda atividade industrial.

## 1.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

O objetivo específico do trabalho é melhorar a disponibilidade operacional do processo de Solda da empresa "A". Assim, o objeto de estudo do trabalho é o setor de manutenção. Neste setor é tratado o aspecto técnico e o gerencial (gestão). O aspecto gerencial da manutenção é abordado como a gestão influencia os resultados da equipe de manutenção, quais são os impactos da má política de manutenção na qualidade dos bens produzidos e o quanto isto afeta a sobrevivência da empresa. O aspecto técnico, o objetivo do trabalho é: aplicar o método MCC para aumento da confiabilidade e disponibilidade do grupo mais crítico de máquinas do processo de Solda.

## **2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

### **2.1 GESTÃO ESTRATÉGICA DA MANUTENÇÃO**

A Manutenção estratégica precisa estar voltada para os resultados da organização, é preciso deixar de ser eficiente para se tornar eficaz, não basta apenas reparar o equipamento ou função do equipamento o mais rápido possível, é preciso manter sua função disponível para a produção, reduzindo a probabilidade de uma parada não programada, segundo KARDEC e NASCIF (2007).

Não existe espaço para improvisos. Competência, criatividade, flexibilidade, velocidade, cultura de mudança e trabalho em equipe, são características básicas das empresas que tem a competitividade como razão de ser de sua sobrevivência.

As atividades de manutenção devem ter uma visão mais abrangente do que simplesmente “manter” as condições originais dos equipamentos. Muitas vezes, somente manter estas condições é insuficiente e a proposição de melhorias que visam aumentar a produtividade, melhorar a manutenabilidade, diminuir o tempo de reparo, também deve fazer parte do trabalho do departamento de manutenção. Sendo assim, as atividades de manutenção podem ser divididas em dois tipos: atividades de manutenção e atividades de melhoria.

As atividades de melhoria, visam melhorar as condições originais de operação, desempenho e confiabilidade de um equipamento, através da incorporação de modificações ou alterações no seu projeto original. O objetivo destas atividades é atingir novos patamares de produtividade. As atividades de melhoria requerem ações específicas, tanto técnicas quanto gerenciais, que resultam na modificação de padrões e procedimentos existentes.

São exemplos das atividades de melhorias, o aumento de capacidade de produção, melhoria da qualidade do produto, redução dos custos de manutenção, entre outros. Este último caso, “redução dos custos de manutenção” pode ser atingido focando em aumento da vida útil do equipamento, redução da ocorrência de falhas, redução do tempo de manutenção preventiva, redução do custo de peças de reposição, etc.

Deve-se observar, antes do desenvolvimento e aplicação das atividades de melhoria, se a manutenção preventiva está sendo realizada de acordo com os padrões estabelecidos, evitando assim sugestões de melhoria sem o equipamento estar dentro da situação normal de operação, ou seja, trabalhando conforme especificado.

## 2.2 OS PRINCÍPIOS DA MANUTENÇÃO PRODUTIVA

Segundo XENOS (2004), a manutenção produtiva pode ser entendida como a melhor aplicação dos diversos métodos de manutenção, é uma gestão do conjunto de métodos, uma maneira de pensar que visa otimizar os fatores econômicos da produção, garantindo a melhor utilização e maior produtividade dos equipamentos com custo mais baixo. A manutenção produtiva abrange todas as etapas do ciclo de vida dos equipamentos, desde sua especificação, até o sucateamento e leva em consideração os custos de manutenção e a produtividade do equipamento ao longo das etapas do seu ciclo de vida.

Tabela 2.1- Etapas do ciclo de vida dos equipamentos

Fonte: XENOS (2004)

CICLO	FLUXOGRAMA	CONTEÚDO DAS ATIVIDADES
1	Especificação	<ul style="list-style-type: none"> <li>Definição da qualidade exigida (especificação do desempenho, confiabilidade, durabilidade, manutenibilidade e características operacionais).</li> <li>Análise da adequação das especificações ao processo produtivo.</li> </ul>
2	Projeto	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desdobramento da qualidade exigida do ponto de vista da manutenção e operação.</li> <li>Detalhamento dos procedimentos de instalação, manutenção e operação.</li> </ul>
3	Fabricação e Instalação	<ul style="list-style-type: none"> <li>Execução do projeto (fabricação e instalação).</li> <li>Controle da qualidade da fabricação instalação conforme especificações de projeto.</li> <li>Avaliação da manutenibilidade.</li> <li>Introdução de melhorias no projeto original.</li> </ul>
4	Partida	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificação e remoção de anomalias do projeto, fabricação e instalação.</li> <li>Introdução de melhorias no projeto original.</li> <li>Liberação final do equipamento para a produção.</li> </ul>
5	Operação	<ul style="list-style-type: none"> <li>Operação normal do equipamento.</li> <li>Identificação e remoção de anomalias do projeto, fabricação, instalação e operação.</li> <li>Introdução de melhorias no projeto original.</li> <li>Execução da manutenção.</li> </ul>
6	Substituição	<ul style="list-style-type: none"> <li>Avaliação econômica da relação custo/benefício do investimento em novos equipamentos em relação ao custo de operação e manutenção dos equipamentos existentes.</li> <li>Avaliação das necessidades de mudança radical no processo (kaikaku).</li> </ul>

--- = Retroalimentação de informações

O conceito de manutenção produtiva diz que a melhor política de manutenção será a combinação mais adequada de vários métodos, de acordo com a natureza e a criticidade do equipamento para a produção. A tendência mundial é escolher, para cada caso, o método mais adequado, eficiente e econômico, abandonando de vez a discussão de qual manutenção é melhor.

Para auxiliar nesta decisão, existem ferramentas e métodos gerenciais específicos para identificar os efeitos das falhas dos equipamentos e os métodos de manutenção aplicáveis, dentre eles se destacam a análise de falhas FMEA – Análise de Modo e Efeito de Falhas e a análise RCFA – Análise de Causa Raiz de Falha, ambas ferramentas contempladas no método da MCC – Manutenção centrada em confiabilidade, que será detalhada no item 5.7.2. deste texto.

A manutenção produtiva também tem como princípio que somente as ações do departamento de manutenção serão insuficientes para melhorar o desempenho dos equipamentos, e busca a estreita cooperação com outros departamentos, principalmente o departamento de produção, que é o cliente da manutenção e tem influência direta nos custos de manutenção, exemplos são as manutenções autônomas ou pequenas intervenções de verificação e preservação do equipamento.

### **2.3 Gestão da Manutenção e a Qualidade Total**

A GQT – Gestão pela Qualidade Total é um método que visa garantir a sobrevivência das empresas através da produção de bens ou serviços de boa qualidade que satisfaçam as necessidades dos clientes, atendendo a todos os requisitos propostos, com retorno ao investimento gasto, afirmam TAVARES (2008) e XENOS (2004).

A qualidade em si, é definida pela forma que os clientes julgam os produtos e serviços, cuja percepção é obtida através de três dimensões básicas, qualidade intrínseca, custo e entrega. Dessa forma, cabe à manutenção atentar a esses três fatores para fornecer serviços com qualidade.

São considerados princípios básicos da qualidade total:

- Atender as necessidades dos clientes, não presumindo o que ele quer e sim ouvindo-o;
- Fazer as coisas certas desde a primeira vez;

- Fazer coisas que agreguem valor ao seu trabalho;
- Buscar constantemente melhorias, rompendo os paradigmas do passado e eliminando os desperdícios;
- Compreender e fortalecer a relação entre cliente e fornecedor;
- Ter mecanismos corretos de medição para uma boa avaliação;
- Tomar decisões baseadas em fatos e dados;
- Respeitar e valorizar o ser humano;
- Padronizar os processos;
- Utilizar o ciclo PDCA;
- Estimular a utilização do programa 5S;
- Aumentar a comunicação na organização;
- Possuir lideranças capacitadas;
- Identificar as prioridades para melhorar a qualidade.

A figura 1 ilustra a visão geral da manutenção sob o ponto de vista da Qualidade Total. É mostrado as interfaces das políticas de manutenção, onde em uma abrangência maior, as manutenções corretivas, preditivas, preventivas, melhorias de equipamentos, prevenção de manutenção e manutenção autônoma, são denominadas "Manutenção Produtiva".

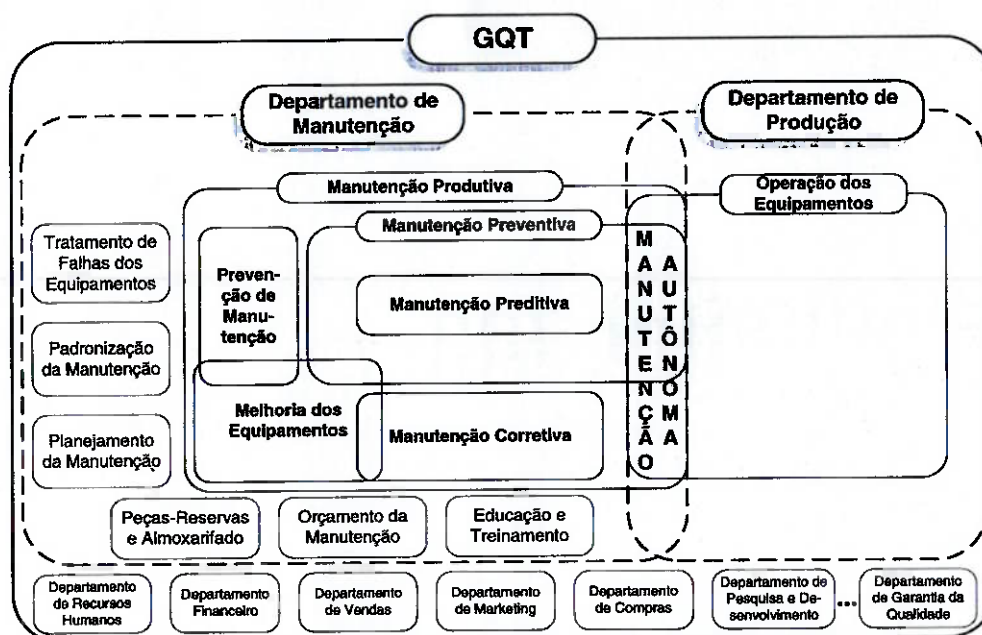


Figura 1- Visão geral da manutenção pela Qualidade Total

Fonte: XENOS (2004)

### 3. ORGANIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO

#### 3.1 Estruturas de Manutenção

A manutenção vem evoluindo em importância ao longo da história, prova disto é a evolução da estrutura de manutenção, indicada nas figuras 2 a 6.

- Posicionamento da manutenção até a década de 30.



Figura 2- Estrutura Manutenção até década 30

Fonte: TAVARES (2008)

- Posicionamento da manutenção entre as décadas de 30 e 40



Figura 3- Estrutura Manutenção entre as décadas de 30 e 40

Fonte: TAVARES (2008)

- A partir de 1950, no pós guerra, evolução da aviação e da eletrônica

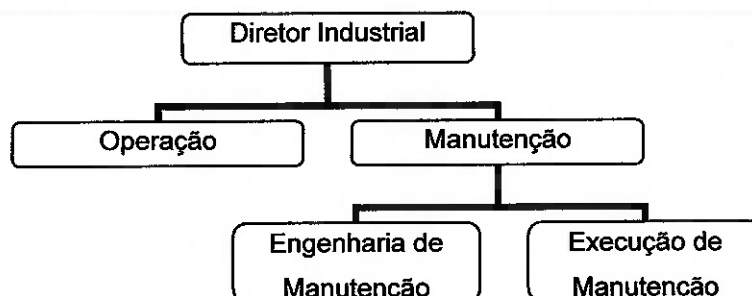


Figura 4- Estrutura Manutenção a partir de 1950

Fonte: TAVARES (2008)

- A partir de 1966, com a difusão dos computadores e a sofisticação dos instrumentos de proteção e medição, foi possível a aplicação da manutenção preditiva, sendo então criados, em algumas empresas, abaixo da Engenharia de manutenção, dois grupos: Os “Estudos de falhas” - para tratarem de estudar as falhas crônicas e o “PCM- Planejamento e controle de manutenção” para desenvolver, analisar e implementar os resultados das manutenções preditivas.

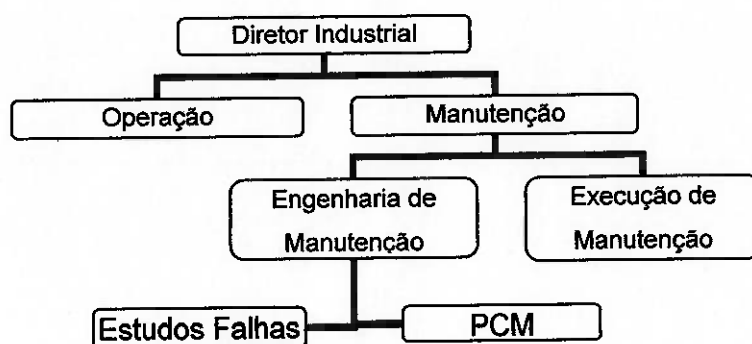


Figura 5- Estrutura Manutenção a partir de 1966

Fonte: TAVARES (2008)

- A partir de 1980, com a difusão dos microcomputadores em algumas empresas, a atividade de PCM- Planejamento e controle de manutenção- se tornou tão importante que passou a compor um órgão de assessoramento à supervisão geral de produção, uma vez que também influencia a área de operação.

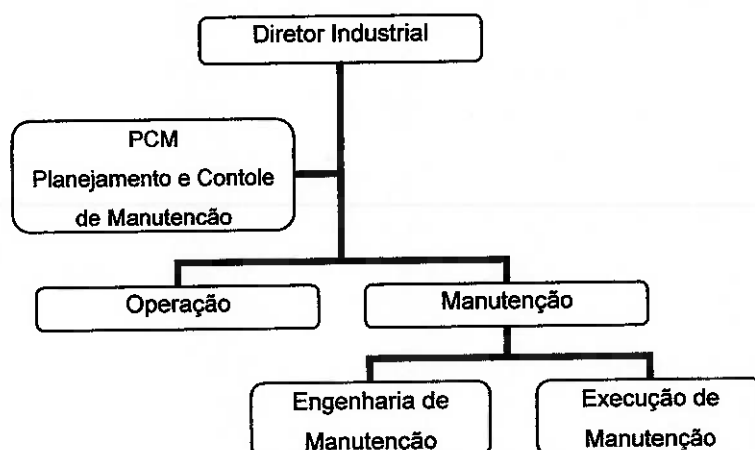


Figura 6- Estrutura Manutenção a partir de 1980

Fonte: TAVARES (2008)

## 4. ASPECTOS GERENCIAIS DA MANUTENÇÃO

### 4.1 Paradigma moderno

A manutenção deve ser organizada de tal forma que o equipamento ou sistema pare de produzir somente de forma planejada. Quando um equipamento parar de produzir por si próprio, deverá ser considerado um fracasso da atividade de manutenção.

Precisa ser mudada a cultura da manutenção, ou melhor, praticar a cultura de mudanças, a frase de KARDEC & NASCIF (2007) a seguir, afirma este pensamento.

*“O Homem de manutenção do passado sente-se bem quando executa um bom reparo, já o homem de manutenção moderno, sente-se bem quando ele consegue evitar todas as falhas não previstas.”*

### 4.2 Benchmarking

Benchmarking é uma prática que pode ajudar a empresa a melhorar seu desempenho. Indicadores e melhores práticas são alguns tópicos que podem ser comparados entre manutenções.

Exemplos de Indicadores de desempenho: Disponibilidade e Confiabilidade, Idade média dos equipamentos, Redução de demanda de serviços de manutenção, Faturamento, Otimização de custo, Segurança pessoal e das instalações, Preservação ambiental, Moral e Motivação dos colaboradores.

Exemplos de melhores práticas:

- Gestão baseada em itens de controle empresariais, já diz a Qualidade Total, “sem indicadores não se gerencia”;
- Gestão integrada do orçamento (manutenção e operação) buscando sempre o melhor resultado para o negócio;
- Análise crítica e priorização das intervenções com base na disponibilidade, confiabilidade operacional e resultado empresarial;
- Utilização de pessoal qualificado e certificado;
- As lideranças devem, nos diversos níveis, liderar o processo de sensibilização, treinamento, implantação e auditoria das melhores práticas de SMS – Saúde, meio ambiente e Segurança;

- Contratação sempre que possível por resultado/ parceria com indicadores de desempenho focados nas metas da organização;
- Eliminação de falhas ocorridas e potenciais, atuando de forma integrada com a operação e a engenharia na busca das soluções;
- Adoção de programas de Manutenção produtiva Total – TPM, com base em que o operador é a primeira linha de defesa para monitorar e maximizar a vida dos equipamentos;
- Adoção da ferramenta MCC – Manutenção Centrada em Confiabilidade, para os sistemas críticos;
- Aplicação da técnica APR – Análise Preliminar de Riscos, para os principais serviços de manutenção;
- Prática da multifuncionalidade ou da polivalência;
- Procedimentos escritos para os principais trabalhos;
- Aplicação de auditorias, como ferramenta de divulgação, verificação da aplicação das melhores práticas e a tendência dos resultados.

### **4.3 As deficiências das organizações**

Existem três deficiências graves nas organizações e que constituem uma das vulnerabilidades mais importantes na gestão empresarial, relatam KARDEC & NASCIF (2007), são elas:

- Perda de conhecimento ou a não aquisição por parte das pessoas;
- Satisfação dos colaboradores;
- Visão crítica da comunidade sobre a empresa;

Todos estes itens afetam no futuro a competitividade e a sustentabilidade de uma empresa e não podem ser negligenciados.

## 4.4 Custo da Manutenção

Na tabela 4.1 é reproduzida a pesquisa da Abramam de 2007 sobre a relação de custo de manutenção em relação ao faturamento das empresas nacionais e internacionais.

ESTES DADOS FAZEM PARTE DA RESPOSTA DE UMA PESQUISA ONDE PARTICIPARAM 404 EMPRESAS (46 - PORTUGAL, 197 - UK, 66 - ALEMANHA, 42 - FRANÇA e 54 - USA) ELABORADA PELA "PROFITABILITY ENGINEERS"

CUSTO DA MANUTENÇÃO PELO FATURAMENTO			
SETOR	%	SETOR	%
Aeroespacial	2,7	Construção Civil	8,1
Químico	5,0	Bebidas	3,0
Eletrônica	2,9	Alimentos	3,1
Engenharia	3,3	Vidro	4,3
Mineração/Metals	4,4	Automotivo	4,6
Nuclear	7,3	Petróleo	2,5
Embalagem	5,1	Papel e Celulose	4,7
Farmacêutico	3,9	Plástico	5,0
Borracha	4,3	Têxtil	5,1
Serviços	8,0	Transporte	12,7

Tabela 4.1- Custo da manutenção pelo faturamento

Fonte: Abramam (2007)

Verifica-se no segmento estudado, setor automotivo, que o percentual médio é de 4,6% o custo de manutenção pelo faturamento. Nota-se que não existe regra entre os demais setores, devido a cada um possuir necessidades distintas.

## 4.5 Redução da demanda de serviços

O aumento da disponibilidade, da confiabilidade, da qualidade do atendimento, da segurança e da redução de custos, passa necessariamente pela redução da demanda de serviços, ou seja, vários fatores contribuem para a alta demanda, são eles:

- Retrabalho de serviço devido a má qualidade da manutenção;
- Má qualidade na operação, ou operação incorreta do equipamento;
- Problemas crônicos, como má qualidade do projeto ou da instalação;
- Problemas tecnológicos, ou falta de conhecimento;
- Serviços desnecessários, ou preventivas em excesso.

Segue na tabela 4.2 pesquisa da Abramam de 2007 sobre as ferramentas aplicadas para promover a qualidade dos serviços de manutenção.

Ferramentas Utilizadas para Promover a Qualidade (% de Respostas)								
Ano	MCC	5S	FMEA	RCFA	CCQ	TPM (MPT)	6 Sigma	Outros
2007	18,65	27,22	22,02	17,13	-	10,09	0,92	3,98
2005	15,20	41,18	-	-	10,78	15,69	7,35	9,80
2003	20,31	37,50	-	-	8,33	16,15	5,73	11,98
2001	17,35	37,90	-	-	11,42	14,61	-	18,72
1999	5,62	40,45	-	-	16,29	20,79	-	16,85
1997	2,89	46,24	-	-	12,14	18,50	-	20,23
1995	-	39,83	-	-	17,37	21,61	-	21,19

Tabela 4.2- Ferramentas utilizadas para promover a qualidade

Fonte: Abramam (2007)

Os resultados mostram uma tendência de aumento de aplicação da MCC – Manutenção Centrada em Confiabilidade, que traz consigo a análise de FMEA – Análise de modo e efeito de falha e RCFA – análise de causa raiz de falha.

No caso do 5S, TPM e 6 sigma, a tendência foi de diminuição de uso, e CCQ – Circulo de controle da qualidade, não foi citado.

## 4.6 Trabalho em equipe

Este é um dos fatores mais importantes para qualquer organização, que determinará o sucesso ou fracasso de uma empresa. É preciso que liderança e liderados sejam um time, que acreditem e confiem um nos outros, que valorizem e cobrem os resultados, que sejam honestos e responsáveis. É importante que cada pessoa entenda que sua empregabilidade depende muito deste fator.

Na manutenção não é diferente, cada manutenedor deve trabalhar sintonizado com a equipe, com o planejamento, com seu cliente, deve ter atitude de solicitar ajuda na hora certa, trabalhar no detalhe, mas compreender o contexto, propor melhoria dos métodos de trabalho, para com isso melhorar o trabalho em equipe, analisar as causas raízes das falhas e eliminá-las, para não cair no circulo vicioso das falhas, participar ativamente das reuniões da equipe e transmitir conhecimento a outros colegas.

## 4.7 O Papel da manutenção na qualidade da organização

A manutenção tem um papel muito importante na qualidade dos produtos da produção, pois deve manter o desempenho dos equipamentos dentro do especificado, caso contrário, podem ser gerados desvios de qualidade diretamente no produto, causando perdas do ritmo de produção e refugos, ambos são desperdícios que diminuem o lucro e afetam a competitividade, suas consequências podem ser decisivas para a existência da organização a longo prazo.

*“Uma visão importante para a manutenção não é somente de manter o equipamento funcionando, mas sim de manter as funções do equipamento dentro do especificado”, XENOS (2004)*

Muitas vezes as equipes de manutenção não conhecem todas as funções de um equipamento, com isso acabam negligenciando ações importantes, sendo necessário desenvolver uma consciência coletiva que mantenha a equipe sempre em busca de conhecimento e de melhoria contínua.

## 4.8 Contratação de serviços na manutenção

Segue na tabela 4.3 a pesquisa da ABRAMAN de 2007 sobre a composição dos custos de manutenção, distribuídos entre pessoal, material, serviços contratados e outros.

Ano	Composição dos Custos de Manutenção (%)			
	Pessoal	Material	Serviços Contratados	Outros
2007	32,35	30,52	27,20	9,93
2005	32,53	33,13	24,84	9,50
2003	33,97	31,86	25,31	8,86
2001	34,41	29,36	26,57	9,66
1999	36,07	31,44	23,68	8,81
1997	38,13	31,10	20,28	10,49
1995	35,46	33,92	21,57	9,05
Média	34,70	31,62	24,21	9,47
Desvio Padrão	2,04	1,54	2,54	0,62

Valores percentuais de 1995, 1997, 1999, 2001, 2003, 2005 e 2007 foram corrigidos para fechamento em 100%.

Tabela 4.3- Composição dos custos de manutenção

Fonte: Abramam (2007)

Analisando os resultados é possível verificar uma tendência de aumento dos gastos com serviços contratados e uma diminuição dos gastos com materiais, ou seja, está se investindo mais em manutenção preditiva e preventiva, com isso aproveitando melhor os componentes das máquinas em toda sua vida útil.

## 5. PRÁTICAS BÁSICAS DA MANUTENÇÃO MODERNA

### 5.1 Programa 5S

É um programa simples concebido pelos japoneses, que trata da arrumação, da ordem, da limpeza, do asseio e da autodisciplina, afirma CALEGARE (2005). É considerado a base da qualidade, pode ser definido como uma forma de conduzir as pessoas a se desenvolverem e trabalharem para o bem comum, completa XENOS (2004).

O programa 5S promove:

- Melhoria da qualidade de bens ou serviços
- Prevenção de acidentes
- Melhoria da produtividade
- Redução de custos
- Conservação de energia
- Melhoria do ambiente de trabalho, moral do grupo
- Melhoria do atendimento ao cliente



Figura 7 - Princípios básicos do 5S aplicado a Manutenção e seus resultados

Fonte: XENOS (2004)

A figura 7 ilustra a aplicação do programa 5S na manutenção, cada princípio é analisado, assim como o resultado esperado. Além dos resultados da figura, o 5S também ajuda a diminuir os tempos de reparo, pois as ferramentas e documentações são encontrados rapidamente, torna fácil e visual o controle do uso de ferramentas coletivas ou pessoais, devido serem demarcados os locais de permanência, entre outros benefícios que o programa propicia. Uma das frases característica do programa é, "Um lugar para cada coisa e cada coisa em seu lugar".

## **5.2 TPM - Manutenção Produtiva total**

KARDEC & NASCIF (2007), relatam que o TPM objetiva a eficácia da empresa através de maior qualificação das pessoas e melhoramentos introduzidos nos equipamentos, prepara e desenvolve pessoas e organizações aptas para conduzir as fábricas do futuro, buscando a produtividade e sustentabilidade no mercado.

Pilares do TPM: Melhoria focada, Manutenção autônoma, Manutenção planejada, Educação e treinamento, Controle inicial, Manutenção da qualidade, TPM office, Segurança ou SHE - Segurança, Higiene e Meio Ambiente.

O perfil dos empregados deve ser adequado através de treinamentos e capacitação.

- Operadores: Execução de atividades de manutenção autônoma de forma espontânea;
- Pessoal de manutenção: Execução de tarefas na área de mecânica;
- Engenheiros: Planejamento, projeto e desenvolvimento de equipamentos que "não exijam manutenção".

### **5.2.1 Manutenção autônoma**

A frase: "Eu cuido da minha máquina", é a aplicação do conceito de manutenção autônoma, afirma XENOS (2004)

Manutenção autônoma é uma estratégia simples e prática da filosofia TPM, que visa motivar os operadores a detectarem e relatarem, rapidamente, quaisquer anomalias nos seus equipamentos, permitindo que eles próprios ou que as equipes de manutenção atuem antes que as falhas ocorram.

No passado, a manutenção e a operação eram realizadas pelos operadores, porém, as máquinas eram simples e não exigia especialização. Nos dias atuais com a automatização das empresas, os equipamentos ficaram mais complexos, requerendo assim mão de obra especializada para realizar os reparos, somado ao aumento das atividades da operação, surgiram então os departamentos de manutenção e produção.

Esta separação e o aumento da cobrança por produção, levou os trabalhadores a se especializarem em suas atividades e não mais se preocuparem com o que acontecia ao seu redor, não era mais sua responsabilidade cuidar e manter o seu equipamento ou máquina, havia sido criado um departamento responsável por este trabalho, a “manutenção”. Como consequência desta departamentalização, ocorre um aumento do número de falhas, diminui a disponibilidade dos equipamentos, piora a qualidade dos produtos e aumenta a dificuldade para encontrar as causas das falhas, relata XENOS (2004).

Na última década, devido ao aumento da concorrência e do avanço tecnológico das máquinas, as empresas adotaram uma nova visão, a da manutenção integrada ou “manutenção autônoma”, que na sua essência visa resgatar parte do que os operadores faziam no passado, a responsabilidade pelo equipamento, como a limpeza, a lubrificação e a inspeção. Dependendo do grau de instrução e capacitação dos trabalhadores, a manutenção autônoma avança para controles mais rigorosos.

Entretanto, a manutenção autônoma não substitui a manutenção preventiva ou as reformas. Cometem um grande erro as empresas que buscam através desta manutenção eliminar as atividades do departamento de manutenção e até o próprio departamento. A manutenção autônoma deverá fazer parte de um sistema de gerenciamento da manutenção, cuja manutenção preventiva deverá ser rigorosamente seguida para não desacreditar a manutenção autônoma.

Outro cuidado que se deve ter na implantação da manutenção autônoma é de não torná-la um complicador para as equipes de manutenção, onde instruídos a detectar todas as anomalias que surgem nos seus equipamentos, os operadores geram uma enxurrada de pendências da noite para o dia, sobrecarregando ainda mais a área de manutenção. Consequentemente, na impossibilidade de dar conta da demanda, essas equipes ficam desacreditadas e se aprisionam ainda mais no círculo vicioso das falhas.

Um erro que é normalmente cometido pela alta administração é de priorizar a tratativa das sugestões dos operadores para ganhar credibilidade da metodologia, em detrimento do cumprimento do plano de manutenção planejado. Isto gera um aumento da demanda de serviços da manutenção, que por sua vez, com a mesma quantidade de pessoas e horas disponíveis, não consegue cumprir o planejamento, resultando em aumento do número de falhas e diminuição da disponibilidade dos processos, gerando um efeito contrário ao pretendido.

A divisão de trabalho entre os departamentos de manutenção e produção deve ser definida através de um acordo de responsabilidades, afim de que todas as tarefas sejam cumpridas e que não existam dúvidas sobre quem é o responsável.

A manutenção autônoma visa aproximar os departamentos de manutenção e produção, para que juntos possam entender e aprender sobre o processo e sobre os equipamentos, proporcionando assim uma sinergia entre ambos com objetivos comuns: a produtividade com qualidade, segurança e respeito ao meio ambiente.

Um exemplo prático deste tipo de gestão é o acompanhamento periódico da operação dos equipamentos junto aos operadores, para compreender sob quais circunstâncias os equipamentos são operados e quais condições levam à ocorrência de falhas. Também os operadores devem ser incentivados a acompanhar as ações corretivas e preventivas executadas pelas equipes de manutenção, devendo ir às oficinas e auxiliar as equipes de manutenção em grandes paradas, para que aprendam como funcionam os equipamentos, e auxiliem na busca das causas raízes das falhas.

Segundo KARDEC & NASCIF (2007), atualmente verifica-se uma tendência de contratação de pessoal oriundo da manutenção para exercer funções de operação, à medida que o nível de atuação, pelo conhecimento e habilidades já desenvolvidas, oferece um novo patamar de ganhos sob vários aspectos (produtividade, eficiência de operação, visão crítica da operação, entre outras).

### **5.3 Polivalência ou Multiespecialização**

“Cada especialista deve se capacitar em tarefas de menor complexidade das outras especialidades”, segundo KARDEC & NASCIF (2007)

Segundo os autores, as empresas tem adotado novas estratégias para ficarem mais competitivas e o trabalhador está sendo questionado a mudar antigos hábitos e buscar um conjunto de novas habilidades para manter sua empregabilidade. O trabalhador deve estar disposto, de modo constante e permanente, a adquirir e dominar novas habilidades, adotando uma postura que busca fortalecer suas habilidades interpessoais.

É imprescindível que os trabalhadores atuais tenham as seguintes habilidades:

- Disposição e força de vontade para descobrir novas habilidades e reforçar as antigas;
- Conhecimento organizacional (Posição da empresa no mercado, saber os por quês da sua função);
- Conhecimento de computação (Hardware e software);
- Habilidades interpessoais (Capacidade de trabalhar com todos os níveis da empresa);
- Atitudes proativas (Iniciativa, Espírito de colaboração e opinião própria).

## 5.4 Manutenção Corretiva

Manutenção corretiva caracteriza ações realizadas após a ocorrência da falha, são ações reativas.

A manutenção corretiva, vista do aspecto da vida útil do componente é a mais barata, pois realiza a troca de um componente somente quando ele não exerce mais sua função, porém na maioria dos casos esta falha gera interrupção de produção e dependendo do caso pode gerar acidentes e impactos ao meio ambiente.

A manutenção corretiva pode ser escolhida em casos que a falha não gera interrupção da produção ou que esta interrupção seja pequena e economicamente aceitável, que não cause acidentes ou impactos ao meio ambiente. Existem casos em que a taxa de falhas não se altera com o tempo, e a manutenção corretiva se torna a única opção de reparo, como no caso de componentes eletrônicos.

SOUZA (2007) "É evidente que se a opção pela manutenção corretiva for feita sem critérios, ou preocupações além do simples preço, a degradação dos sistemas tende a se acelerar, a qualidade dos serviços cai e as consequências das falhas são imprevisíveis".

Todavia, devido a certos tipos de modos de falha, relacionados a sua própria natureza, a manutenção corretiva é a única alternativa possível para a intervenção.

Assim, componentes eletrônicos, em virtude de apresentarem falhas que não apresentam sintomas e ocorrem repentinamente, sem frequência pré-definida, sujeitam-se estes sistemas à utilização da prática da corretiva.

Uma das formas de contornar este tipo de falha é a adoção de alguma forma de redundância, que pode ser ativa (sistemas em paralelo), tipo “alívio” (quando outro sistema pode assumir aquela função) e o tipo “stand by” (sistemas paralelos que necessitam de liberação manual, ou automatizado, a partir da ocorrência da falha).

Segundo Rosa (2006), uma característica particular da manutenção corretiva, é que seu controle permite o levantamento das informações necessárias à implementação de outras práticas, se possível constituindo-se uma política de manutenção, que possibilita a seleção do conjunto de práticas de manutenção adequadas a determinadas situações, além do seu planejamento e controle, ou seja permite conhecer para aquela situação como o equipamento se comporta, evitando seguir rigorosamente recomendações dos fabricantes, que normalmente coletam dados por amostragem em situações específicas.

O fluxograma da figura 8 mostra a sequência de ações após uma falha, estabelece como a falha deve ser tratada pelo operador de produção e pela equipe de manutenção para evitar a sua reincidência. Nele é mostrado o método para tratativa da falha, é ressaltado a importância de analisar as causas fundamentais da falha (causa raiz), também destaca a importância de analisar e implantar contramedidas para bloqueá-las as causas fundamentais da falha, assim como implementar o próprio procedimento padrão de manutenção.

Simplificando a análise do fluxo, a manutenção deve sempre procurar a causa raiz das falhas para eliminá-la e melhorar seus métodos de trabalho, evitando assim o círculo vicioso das falhas. Entretanto colhidos outros benefícios, como: A evolução da manutenção com o aprendizado das análises, a eliminação dos serviços de retrabalho, a diminuição a demanda de serviços e o aumento da confiança dos clientes com relação ao setor de manutenção.

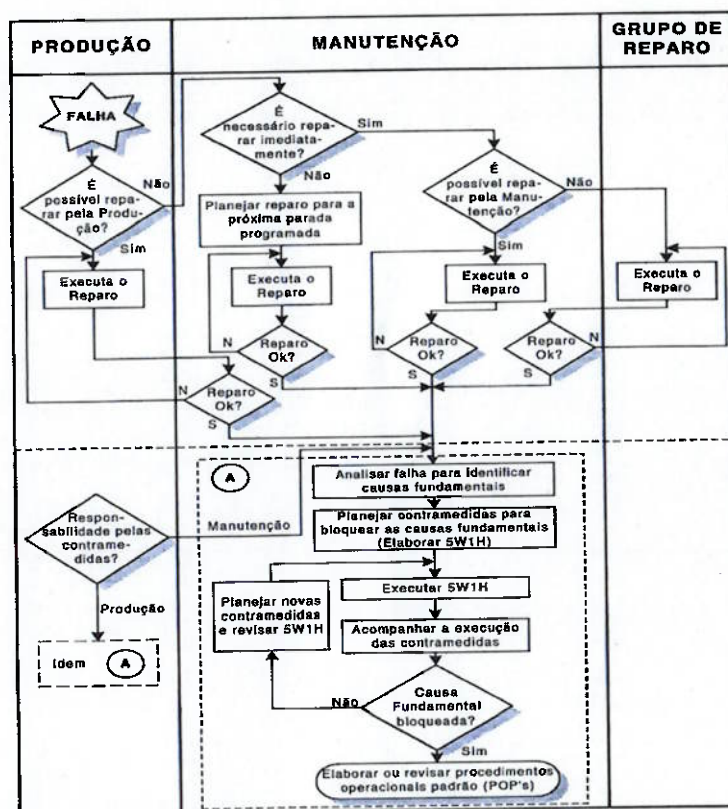


Figura 8- Fluxograma das ações corretivas e as ações de bloqueio

Fonte: XENOS (2004)

Ainda segundo XENOS (1998) e ROSA (2006), o custo de manutenção corretiva chega a ser de 15% do orçamento anual da manutenção.

#### 5.4.1 Manutenção Corretiva Programada

É a correção de desempenho menor que o esperado ou da falha, por **decisão gerencial**, isto é, pela atuação em função de acompanhamento preditivo ou pela decisão de operar até a quebra, afirma KARDEC & NASCIF (2007).

O autor também destaca que, mesmo que a decisão gerencial seja de deixar o equipamento funcionar até a quebra, essa é uma decisão conhecida e algum planejamento pode ser feito quando a falha ocorrer.

É o tipo de manutenção utilizada quando a falha ou desempenho menor ocorreu, porém não interrompeu ou impediu a continuidade da operação, ou seja, não afetou a segurança da operação, a qualidade do produto, o meio ambiente ou outro fator importante ao processo, porém pode ser programa.

Lembrando que a degradação do equipamento se acelera neste período, portanto, esta opção não deve ser encarada como uma prática, mas sim como uma possibilidade a ser utilizada em situações especiais.

A aplicação do FMEA pode auxiliar a determinar os efeitos e até mesmo a duração do período de utilização do equipamento após a falha, dando origem a manutenção corretiva programada.

Segundo VAURIO (1997), existem sistemas que são tolerantes à falhas, que reduzem seu desempenho, mas possibilitam algum grau de eficiência na operação após a falha, avisando a operação sobre o evento, permitindo assim um certo tempo até a parada. Estes sistemas são projetados prevendo tal possibilidade e normalmente são controlados por computador.

## 5.5 Manutenção Preventiva

Segundo SOUZA (2007) e XENOS (2004), manutenção preventiva é a prática de manutenção realizada em antecipação à falha. Consiste em inspeções, testes e substituições periódicas de determinados componentes que apresentam uma vida útil bem definida, obedecendo a um plano previamente elaborado e com intervalos de tempo ou número de ciclos se for mais adequado.

Segundo os autores, a manutenção preventiva realizada periodicamente, deve ser a atividade principal da manutenção em qualquer empresa, muitas empresas acreditam ter um esquema eficiente de manutenção preventiva, porém acabam usando o tempo reservado para manutenção preventiva para trabalhar naquelas falhas que surgiram no dia a dia da produção.

Quando a manutenção corretiva planejada ou as solicitações de outros departamentos tomam lugar das manutenções preventivas, é preciso ter uma estratégia de manutenção focada em planejamento. Será necessário cumprir o planejado, evitando, assim, o ciclo vicioso das falhas. Planejamento e controle da manutenção serão abordados com mais detalhes no capítulo 6.

Um dos problemas da manutenção baseada no tempo é o fato ser necessário ajustar as frequências das manutenções de acordo com o volume de produção do equipamento, ou seja se a demanda aumentar ou diminuir, a sua frequência de intervenções também deveria seguir esta relação.

Um dos grandes problemas da manutenção preventiva, é a falha provocada por manutenções imperfeitas, e para reduzir este risco é fundamental a criação de padrões de manutenção.

Outro ponto importante, é que em várias situações, a manutenção preventiva é mandatória, como no caso de vasos e tubos de pressão, requerido na norma NR-13, inspeções estruturais em torres de transmissão de energia elétrica, usinas nucleares, barragens, refinarias, estrutura de aviões e navios.

Também é aplicado a manutenção preventiva quando:

- Não se aplica a manutenção preditiva;
- Estão envolvidas segurança pessoal ou operacional;
- Há oportunidade em equipamentos críticos de difícil liberação;
- Em sistemas complexos ou de operação contínua;
- Pode colocar em risco o meio ambiente.

A figura 9 mostra a classificação básica das ações preventivas e suas aplicações, podem ser atividades baseadas no tempo, ou nas condições do equipamento, ambas devem ter uma frequência estabelecida em um plano de manutenção.

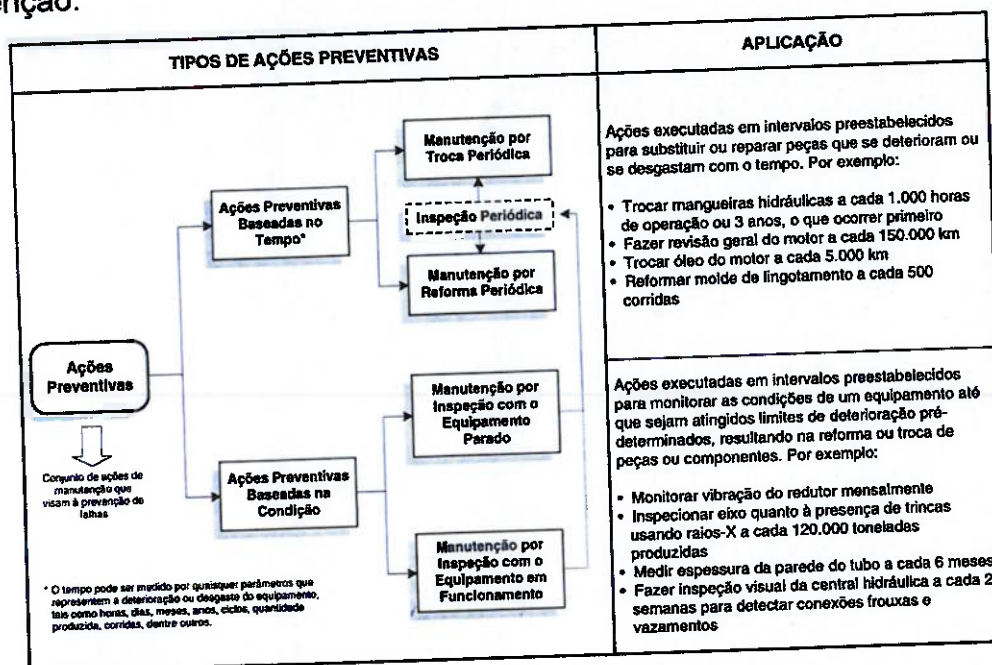


Figura 9- Classificação básica das ações preventivas

Fonte: XENOS (2004)

A figura 10 exemplifica alguns métodos de inspeções, que podem ser simples, utilizando os sentidos, inspeções utilizando instrumentos, mas sem acompanhamento, ou inspeções com medições para monitorar tendências, que fazem parte da chamada manutenção preditiva, que é também uma forma de manutenção preventiva.

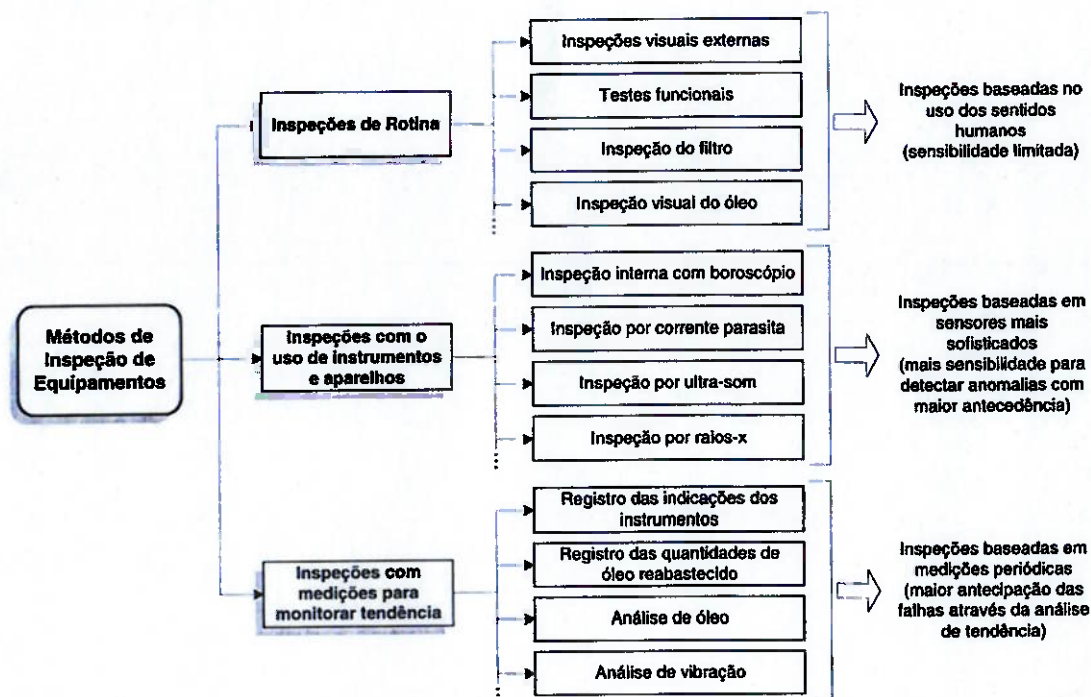


Figura 10- Métodos de inspeção de equipamentos

Fonte: XENOS (2004)

## 5.6 Manutenção Preditiva

Manutenção baseada na condição (Preditiva), é aplicada em situações em que o intervalo falha não é relacionado com a idade do equipamento e a sua probabilidade de ocorrência não aumenta a medida que as peças e componentes envelhecem. As ações neste tipo de manutenção levam em conta que muitas falhas não são instantâneas, mas se desenvolvem ao longo do tempo e a aplicação da manutenção preventiva poderá ser ineficaz, relata KARDEC e NASCIF (2007).

Também segundo o autor, a manutenção preditiva é um dos elementos da manutenção preventiva, pois suas tarefas devem fazer parte do planejamento da manutenção preventiva e por se tratar de uma maneira mais avançada de inspeção.

A manutenção preditiva é baseada na monitoração por inspeções ou medições das condições do equipamento, até que sejam atingidos limites de deterioração

aceitáveis e então se realiza a manutenção preventiva de reforma ou troca de peças, a manutenção preditiva faz parte da manutenção preventiva e deve ser tratada dentro da visão de preventiva.

Os custos para a aplicação da manutenção preditiva são geralmente mais altos, devido aos recursos materiais necessários para o monitoramento e os treinamentos específicos, porém os resultados compensam, as trocas e reformas são realizadas ao final da vida útil das peças, resultando na otimização dos custos de manutenção.

Exemplos de aplicação de manutenções preditivas estão indicados na tabela

5.1.

Tabela 5.1- Aplicabilidade dos métodos conforme o tipo de equipamento

Fonte: SOUZA (2007)

Método/Equipamento	Máquinas Rotativas	Dispositivos Estáticos	Dispositivos Elétricos	Instrumentos	Estruturas
Ensaios Não-Destrutivos					
Visual					
Análise de Vibrações					
Termografia					
Emissão Acústica					
Medida de Espessura					
Análise Química					
Análise de Partículas					
Deteção de Vazamentos					

Dentre estas, pode-se destacar:

- Medição de vibração de mancais, para verificar vida útil ;
- Medição da constante dielétrica (isolação);
- Medição termográfica de painéis elétricos, para verificar superaquecimento de componentes;
- Medição termográfica de tubulações, para verificar obstruções ou vazamentos;
- Medição termográfica de polias, para verificar superaquecimento;
- Medição termográfica de conjuntos mecânicos, para verificar folga de correias;
- Medição termográfica de estufas, para verificar degradação de refratário;
- Medição de corrente elétrica de motor, para verificar falha de fase e/ou sobrecarga mecânica;

- Medição ferrográfica de óleos hidráulicos, para verificar desgastes de componentes;

Para SIQUEIRA (2005), a escolha do indicador de inspeção talvez seja a decisão mais importante em um projeto de inspeção preditiva. Esta decisão afeta não só o custo e viabilidade da tarefa, mas também os limites estabelecidos para o acionamento das atividades corretivas.

O autor exemplifica na figura 11, os diferentes indicadores que podem ser usados para inspeção preditiva de mancais de rolamento, pois, dependendo da escolha, o intervalo do Ponto de Falha, pode variar de 9 meses a 5 meses, revelando a importância da escolha do indicador.

Afirma também que se as inspeções forem sistemáticas, qualquer um dos modos de inspeção irá detectar a falha potencial em seu devido momento, porém, pode não haver muito tempo para realizar a manutenção preventiva caso seja detectada a falha somente no estágio final da vida útil.

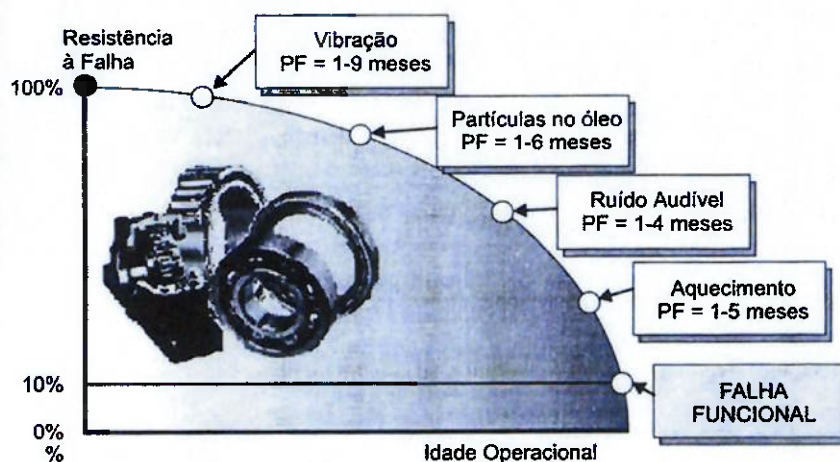


Figura 11- Indicadores de falha potencial

Fonte: SIQUEIRA (2005)

## 5.7 Engenharia de Manutenção

Engenharia de Manutenção é uma mudança cultural da forma de trabalho da manutenção, é deixar de ficar consertando continuamente, para analisar as causas raízes das falhas, propor modificações em casos permanentes de mau desempenho, saber entender qual é a situação normal, para então propor melhorias,

eliminar problemas crônicos, melhorar padrões e sistemáticas de trabalho, é interferir tecnicamente nas compras, reduzir tempos de reparo e aumentar a eficiência das equipes de manutenção através do sistema PERT-CPM ou conhecido como caminho crítico, dar feedback ao projeto para prevenção de manutenção em novos equipamentos, aplicar técnicas modernas na política de manutenção, coletar dados de falhas orientado pelo FMEA, desenvolver trabalhos de redução de custos através da nacionalização e racionalização dos recursos materiais, desenvolver dispositivos de teste em oficina que simulem a situação real do processo, visando aumentar a confiabilidade e a qualidade dos serviços de manutenção, evitando assim retrabalhos.

Engenharia de manutenção não é possuir “Engenheiros de Manutenção”, é possuir uma cultura de engenharia de manutenção, contudo o volume de estudos e desenvolvimentos demandam tempo, dedicação e habilidade, tornado-se um obstáculo os próprios mantenedores conseguirem desempenhar ambas funções, realizar as atividades práticas e coordenar e desenvolver estudos de engenharia de manutenção é preciso estar fora do ambiente agitado dos chamados para desenvolver este tipo de trabalho, daí o motivo da existência da função “Engenheiro de Manutenção” no quadro da equipe.

ROSA (2006) organiza as operações de manutenção em diferentes níveis de atividades. Pode-se verificar na tabela 5-2 as responsabilidades da engenharia de manutenção citadas pelo autor.

Tabela 5-2- Organização das operações de manutenção

Fonte: Rosa (2006)

Atividades	Nível	Responsabilidade	Operação
Manutenção Autônoma: Limpeza Inspeções (usando os sentidos) Ajustes Pequenos reparos	1 2	Operadores de Produção	Operação de Manutenção de linha de frente “front-office”
Intervenções: Manutenção não planejada Manutenção planejada	3	Manutentores	
PCM – Planejamento e Controle da Manutenção: Análise da confiabilidade Plano de manutenção preventiva Lista de sobressalentes	4	Engenharia de Manutenção	Operação de Manutenção de retaguarda “back-office”
Apoio às Operações: Especialização técnica Padronização de sobressalentes Definição de políticas	5		

### 5.7.1 Padrões de Manutenção

Em qualquer organização que visa produzir algum bem ou serviço, é necessário ter métodos de trabalho, sem estes métodos os resultados seriam os mais variados possíveis, sendo necessário estabelecer os padrões.

Portanto, seguir os padrões em manutenção significa realizar determinada tarefa da forma que foi planejada, não significa que as idéias de melhoria não são bem vindas, mas é necessário conhecer primeiro a situação normal de trabalho para, posteriormente, melhorá-la.

Padrões podem ser, rotinas, cheklits, procedimentos documentados, cujo fim é ser seguido e cumprido, relata XENOS (2004).

Os principais benefícios dos padrões de manutenção são:

- Redução do tempo de treinamento de novas equipes;
- Tornar possível a transferência de simples ações p/ os operadores através da manutenção autônoma, conceito do TPM.
- Tornar as ações de preventiva e corretiva mais confiáveis, reduzindo os problemas de qualidade dos serviços;
- Permitir o domínio tecnológico da manutenção;
- Contribuir para a melhoria do PCM ao longo do tempo;
- Contribuir para a otimização dos custos e eliminação dos desperdícios;
- Contribuir para aplicação da MCC e modernas práticas de manutenção;
- Contribuir para a criação de Gráfico PERT-CPM

A figura 12 apresenta a estrutura básica dos padrões de manutenção, onde segundo XENOS (2004), é dividida entre padrões gerenciais e padrões técnicos.

Padrões Gerenciais, são o conjunto de documentos estabelecidos para assuntos que dizem respeito à organização, procedimentos e métodos de manutenção, visam a gestão da manutenção.

Padrões Técnicos, são os procedimentos relacionados diretamente a execução das atividades de manutenção dos equipamentos, ou seja, como o manutenedor deve atuar para que o resultado do seu trabalho fique dentro do padrão mínimo esperado. A figura 13 descreve os tipos de padrões técnicos, seu conteúdo e recomendações para a sua utilização.

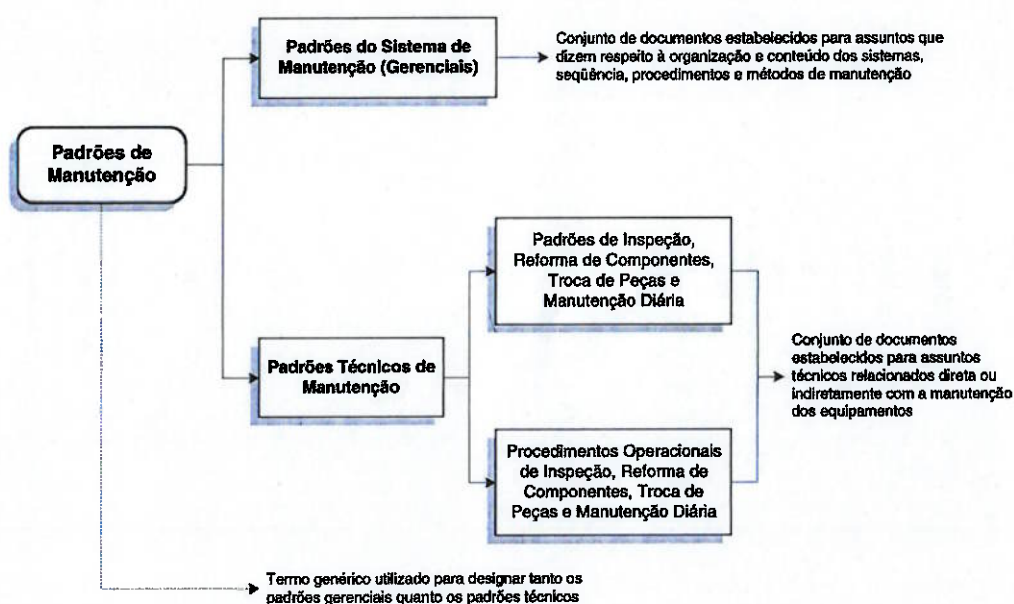


Figura 12- Estrutura básica dos padrões de manutenção

Fonte: XENOS (2004)

TIPOS DE PADRÕES TÉCNICOS	CONTEÚDO	RECOMENDAÇÕES
<b>Padrões Técnicos da Manutenção</b> Denominação genérica do conjunto de requisitos de manutenção e respectivos procedimentos operacionais	<b>Padrões de Inspeção</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>O que inspecionar, em que pontos e com que frequência.</li> <li>Métodos de inspeção aplicáveis.</li> <li>Instrumentos e aparelhos necessários.</li> <li>Critérios de avaliação do resultado da inspeção e limites de atuação (troca ou reforma).</li> <li>Contramedidas em caso de anomalia.</li> <li>Precauções de segurança aplicáveis.</li> </ul>	1. Registrar os resultados das inspeções e fazer análise de tendência. 2. Incluir fotos ou desenhos para facilitar a execução das inspeções. 3. Transferir as inspeções sensíveis para os Padrões de Manutenção Autônoma.
	<b>Padrões de Troca</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Identificação das peças sujeitas à troca periódica.</li> <li>Frequência de troca.</li> <li>Procedimentos de remoção/instalação.</li> <li>Procedimentos de teste funcional.</li> <li>Ferramentas, instrumentos e aparelhos.</li> <li>Precauções de segurança aplicáveis.</li> </ul>	1. Incluir fotos ou desenhos para facilitar a identificação das peças a serem trocadas. 2. Padronizar a identificação e disposição das peças trocadas para evitar sua reutilização. 3. Incluir cuidados durante manuseio e instalação para evitar danos às peças durante a troca.
	<b>Padrões de Reforma</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Identificação dos componentes sujeitos à reforma periódica.</li> <li>Frequência de reforma.</li> <li>Procedimentos de remoção/instalação do componente.</li> <li>Procedimentos de reforma na oficina ou na área. (desmontagem, limpeza, inspeção, troca de peças, montagem e testes funcionais).</li> <li>Critérios de avaliação das condições das partes.</li> <li>Precauções de segurança aplicáveis.</li> </ul>	1. Registrar os resultados da restauração, incluindo a identificação das peças trocadas, resultados das medições e testes funcionais realizados. 2. Incluir fotos ou desenhos para facilitar a execução das tarefas.
	<b>Padrões de Manutenção Autônoma</b> (Ver Capítulo 8) <ul style="list-style-type: none"> <li>Identificação dos pontos de limpeza, lubrificação, inspeção, reabastecimento.</li> <li>Identificação dos ajustes e testes.</li> <li>Frequência das tarefas.</li> <li>Procedimentos de execução das tarefas.</li> <li>Critérios de avaliação quantitativos e qualitativos.</li> <li>Contramedidas em caso de anomalia.</li> <li>Precauções de segurança aplicáveis.</li> </ul>	1. Incluir fotos ou desenhos para facilitar a execução das tarefas. 2. Utilizar a gestão à vista nos equipamentos para as tarefas rotineiras de limpeza, lubrificação e inspeção.

Figura 13- Tipos de padrões técnicos da manutenção

Fonte: XENOS (2004)

A aplicação do ciclo PDCA à manutenção pode ser visualizada na figura 14, adaptada de XENOS (2004), onde é demonstrado que o tempo de operação, as recomendações dos fabricantes e as experiências adquiridas pela equipe de manutenção, são fundamentais para o acúmulo de informações, que auxiliará no

planejamento da manutenção. Planejamento é um processo longo que deve ser constantemente atualizado e melhorado.

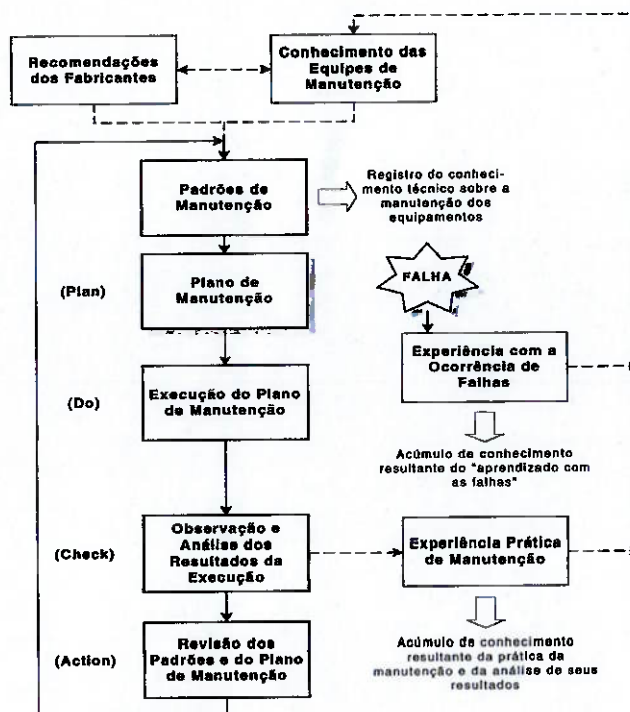


Figura 14- Esquema de atualização dos padrões e plano de manutenção

Fonte: XENOS (2004)

### 5.7.2 Tratamento de falhas dos equipamentos

Segundo a norma ABNT NBR 5462 (1994), "a falha é o término da capacidade de um item desempenhar a função requerida. É a diminuição total ou parcial da capacidade de uma peça, componente ou máquina de desempenhar a sua função durante um período de tempo, quando o item deverá ser reparado ou substituído. A falha leva o item a um estado de indisponibilidade." Sendo assim, a definição de falha presume que a função exigida do equipamento seja precisamente conhecida.

A falha ocorre quando o equipamento para de funcionar, quando está funcionando com menor desempenho ou produzindo produtos defeituosos, porém nos últimos dois casos, é preciso ter parâmetros mensuráveis ou indicações claras para evitar critérios de falha com dupla interpretação. Dependendo das funções do equipamento, estas condições podem não ser vistas como falha e sim inerentes ao processo, como o desgaste de uma ferramenta em uma máquina de usinagem.

Vale lembrar que para a análise das falhas o equipamento deve ser considerado em sua situação normal de trabalho conforme previsto em projeto.

As ferramentas para auxiliar nas tratativas das falhas são:

- **Análise 5W + 1H**

Ferramenta da qualidade que orienta a descrever o problema com as seguintes questões: O que, Quando, Onde, Quem, Por quê e Como.

- **Análise dos por quês**

Questione “por quê” repetidas vezes até que a causa raiz tenha sido identificada. A definição do problema e as soluções, devem ser descritos. Isto leva a um trabalho sistemático e um pensamento crítico.

A figura 15 mostra um exemplo do Método dos Por quês das causas fundamentais.

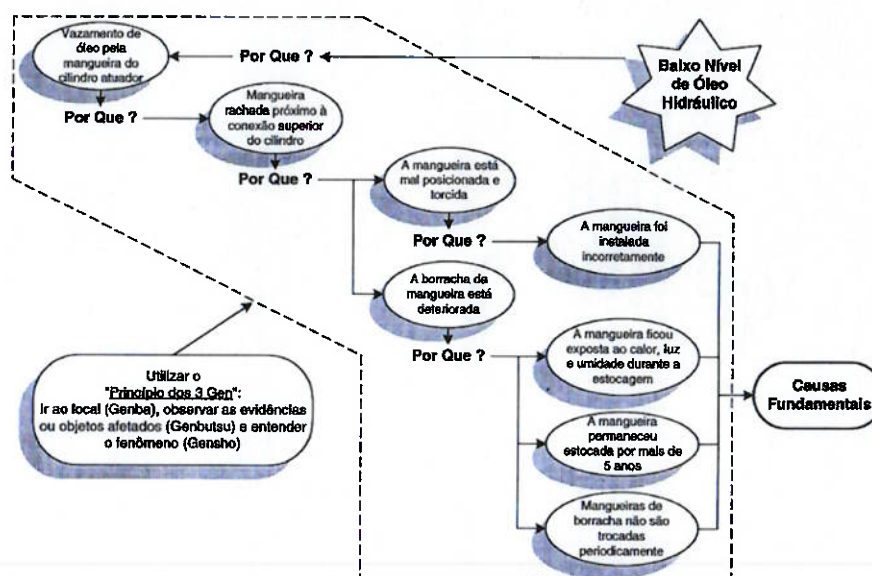


Figura 15- Exemplo de “Método dos Por quês” para investigação das causas fundamentais

Fonte: XENOS (2004)

### 5.7.3 Melhorias dos Equipamentos

Muitas equipes de manutenção se dão por satisfeitas somente consertando o que quebrou, removendo os sintomas da falha. Esta prática é comum em muitas empresas, porém as falhas devem ser encaradas como oportunidades de melhoria.

Uma das formas de melhorar um equipamento é começar pela investigação profunda da causa das falhas, pois, esta é a maneira mais rápida de se obter resultados de redução do número de paradas provenientes das quebras. Porém, mesmo com a ausência de falhas, é importante que as equipes de manutenção estejam atentas às oportunidades de melhorias. Dessa forma, irão contribuir para a redução do custo de manutenção, do tempo de reparo e, conseqüentemente, para a otimização do estoque de peças de reposição.

Para qualquer sugestão de melhoria deve ser analisada a relação custo/benefício antes da implantação. Esta avaliação pode ser feita avaliando o custo da modificação ou melhoria pelo custos da falha, se for favorável deve ser encaminhada para aprovação e então realizada. É importante que a aprovação não se restrinja somente a uma liderança, mas sim a um grupo, com participação de todos os departamentos relacionados ao assunto, isto evita a análise somente sob um ponto de vista.

A figura 16, ilustra um exemplo de melhoria, proveniente da análise da causa raiz de uma falha.

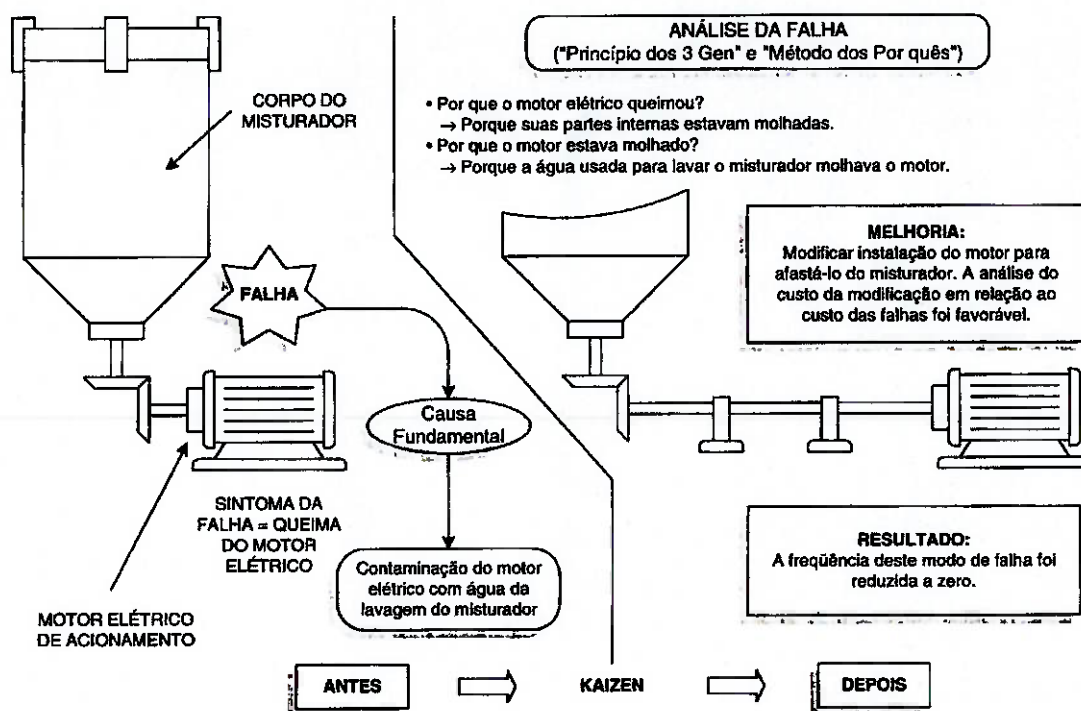


Figura 16- Exemplo de melhoria como contramedida para as falhas

Fonte: Xenos (2004)

### 5.7.4 Prevenção de manutenção

Segundo XENOS (2004), a prevenção de manutenção deve ser uma prática, cujo aspecto principal é a análise do custo global de um equipamento antes da sua aquisição, este período vai desde a fase de especificação, até a substituição, ou seja, toda a sua vida útil. É importante ter esta visão dentro das empresas, pois o retorno pela escolha da máquina mais adequada previne despesas muito maiores a longo prazo.

### 5.7.5 Aplicação dos recursos de manutenção no Brasil

Nas tabelas 5.3 a 5.5 indica-se a pesquisa da Abraman de 2007 sobre a aplicação dos recursos na manutenção no Brasil.

Aplicação dos Recursos na Manutenção (%)				
Ano	Manutenção Corretiva	Manutenção Preventiva	Manutenção Preditiva	Outros
2007	25,61	38,78	17,09	18,51
2005	32,11	39,03	16,48	12,38
2003	29,98	35,49	17,76	16,77
2001	28,05	35,67	18,87	17,41
1999	27,85	35,84	17,17	19,14
1997	25,53	28,75	18,54	27,18
1995	32,80	35,00	18,64	13,56
Hh (serviços de manutenção) / Hh (total de trabalho)				

Tabela 5-3- Aplicação dos recursos na manutenção

Fonte: Pesquisa Abraman (2007)

A Manutenção, em sua empresa, possui atividade de Engenharia de Manutenção? (% de Empresas)		
Ano	Sim	Não
2007	80,00	20,00
2005	59,83	41,17
2003	78,86	21,14
2001	73,24	26,76
1999	70,80	29,20
1997	80,37	19,63
1995	73,10	26,90

Tabela 5-4 Percentual de empresas com

Engenharia de manutenção

Fonte: Pesquisa Abraman (2007)

Efetivo Alocado para a Atividade de Engenharia de Manutenção nas Empresas		
Ano	Valor Calculado	Efetivo Médio Alocado por Empresa
2007	10,11	~10 pessoas
2005	8,57	~ 9 pessoas
2003	8,10	~ 8 pessoas
2001	8,68	~ 9 pessoas
1999	6,74	~ 7 pessoas
1997	8,01	~ 8 pessoas
1995	8,41	~ 8 pessoas

Tabela 5-5 – Percentual de efetivo na

Engenharia de manutenção

Fonte: Pesquisa Abraman (2007)

Analisando os resultados, verifica-se a tendência de diminuição de manutenções corretivas, estabilidade na aplicação de manutenção preventiva e preditiva, já "outros" está oscilando bastante.

É interessante verificar que quase 20% do tempo disponível é gasto em outras atividades e 80% das empresas possuem engenheiros de manutenção e estão aumentando o quadro nestes cargos. Caso não possuíssem esta função, provavelmente ,o valor "outros" seria maior.

## 6. PLANEJAMENTO E CONTROLE DA MANUTENÇÃO

O trabalho da equipe de PCM é lidar com informações estratégicas e gerenciais, sua função principal dentro da manutenção é controlar os indicadores de desempenho e gerenciar o planejamento na política de manutenção, aspectos gerenciais como custo, disponibilidade, qualidade dos serviços e aspectos técnicos como elaboração de rotinas de manutenção, periodicidade, alocação de recursos materiais e mão-de-obra, definição de peças reservas em estoque, orçamento da manutenção, educação e treinamento dos colaboradores, métodos de medição e coleta de dados das manutenções preditivas, fazem parte do escopo desta atividade, ou seja, a Engenharia de Manutenção se enquadra dentro da equipe de PCM, pois suas atividades estão bastante interligadas.

A figura 17 representa o fluxo de atividades do PCM vista pela Qualidade Total. Todas as atividades de manutenção foram interligadas de acordo com sua sequência e alinhadas dentro dos critérios do ciclo PDCA (Planejar, Fazer, Checar e Agir). Com isso, o fluxo mostra que todas as atividades são importantes, nenhuma mais ou menos que a outra, se a sequência for quebrada, o ciclo não se fecha. As informações devem circular até o fim do processo para que o PCM (Planejamento e Controle da Manutenção) tenha condições de planejar corretamente e assim, ajudar para a eficácia do departamento de manutenção.

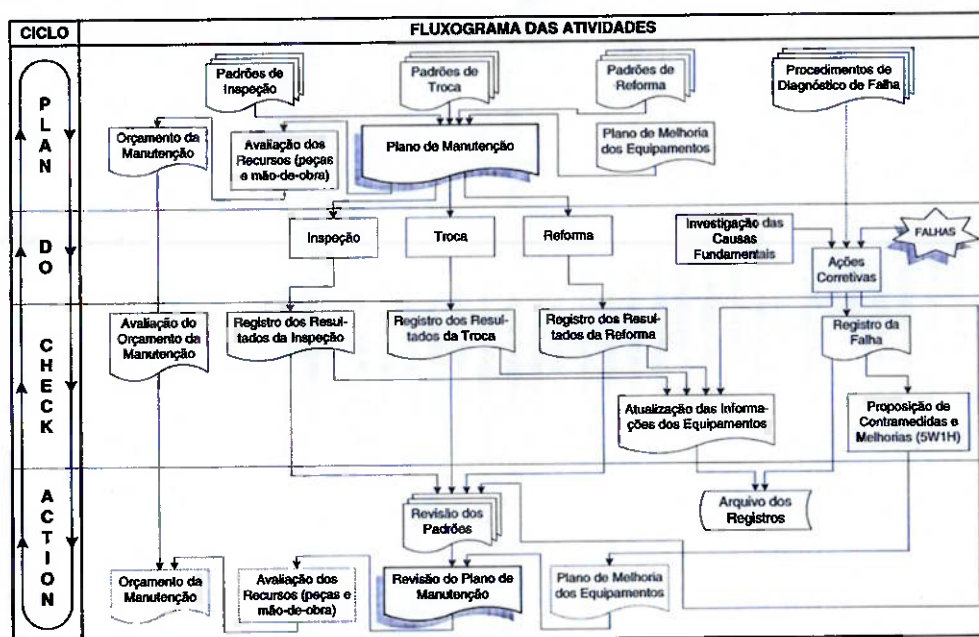


Figura 17- Atividades de manutenção vista pela qualidade total

Fonte: Xenos (2004)

## 6.1 Planejamento e programação dos serviços

Segundo ROSA (2006), a otimização dos recursos de manutenção parte do pressuposto de uma estrutura adequada para planejar, programar, alocar e executar os serviços.

Para que a gestão do planejamento da manutenção seja eficaz, é necessário seguir as recomendações abaixo:

- O planejador deve ter autoridade para tomar decisões que influenciam a carga de trabalho dos recursos disponíveis e para designação de prioridades;
- O planejador deve dispor de informações corretas e atualizadas, tanto da carga de trabalho quanto dos recursos disponíveis;
- As áreas de responsabilidade e as comunicações entre os níveis de planejamento devem ser definidas com clareza, a fim de evitar ambiguidade;
- Determinar a programação dos trabalhos de manutenção preventiva ao longo do ano e em cargas semanais;
- Atender aos pedidos de modificação e melhorias dos equipamentos;
- Atender as paralisações e serviços de emergência;

A figura 18 ilustra a parte prática da gestão do planejamento e programação da manutenção. Nela são separados as atividades de médio e longo prazo, das de curto prazo, pois ambas devem ter o foco separado para evitar somente ações imediatistas. O planejador deve distribuir o planejamento da manutenção de acordo com os recursos disponíveis, disponibilidade do equipamento, incluir as modificações aprovadas, e planejar as atividades para as grandes paradas. Todo este fluxo de informações que deve ocorrer através de SS's (Solicitações de Serviços) e OS's (Ordens de Serviços), para ser possível de gerenciar utilizando sistemas informatizados.

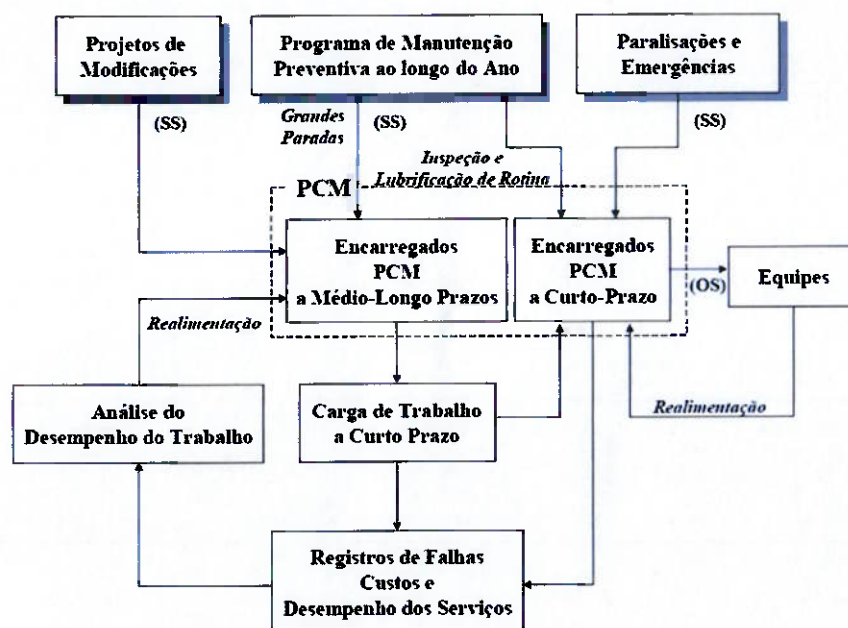


Figura 18- Gestão do planejamento e programação da manutenção

Fonte: ROSA (2006), adaptado de KELLY & HARRIS (1980)

## 6.2 Planejamento de custos

Basicamente o planejamento de custos deve ser estruturado e seguir as seguintes etapas afirma XENOS (2004), ter um plano anual de manutenção, plano de melhorias e plano de grandes reformas, com isso, define-se as prioridades, solicita os valores requeridos e executa durante o ano seguinte. É importante seguir os padrões de manutenção e também prever algum valor residual para os casos de emergência, conforme mostra a figura 19 e 20.

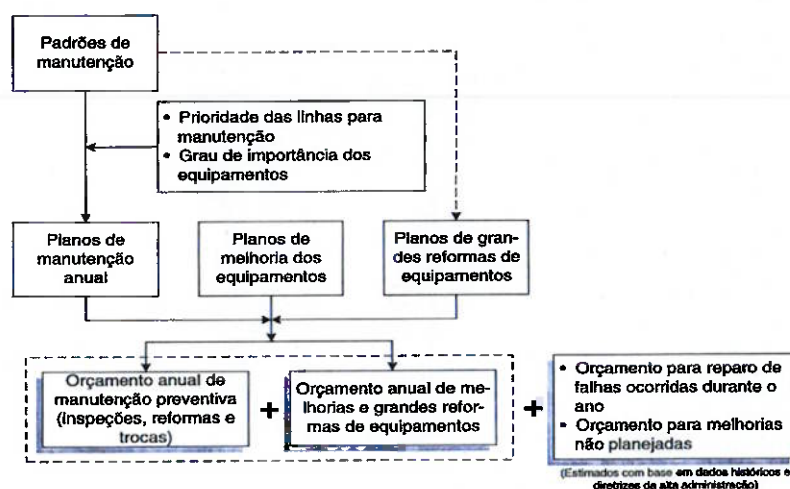


Figura 19- Elaboração do orçamento anual da manutenção

Fonte: XENOS (2004)

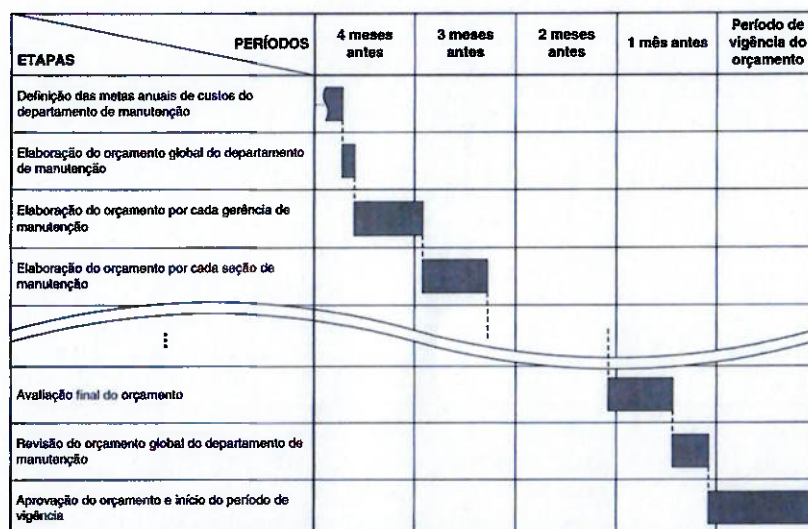


Figura 7.5 - Exemplo de Cronograma para Elaboração do Orçamento Anual da Manutenção

Figura 20- Exemplo de cronograma para elaboração do orçamento anual da manutenção

Fonte: XENOS (2004)

### 6.3 Gestão de equipamentos

Segundo ROSA (2006), a gestão de equipamentos deve trabalhar com dois conceitos fundamentais: Matrícula do equipamento e Posto de serviço.

A matrícula do equipamento (Dados do Equipamento) devem conter as seguintes características:

- Dados técnicos;
- Registro dos componentes;
- Peças reservas;
- Dados do equipamentos reservas;
- Histórico de falhas;
- Localização;
- Custos da intervenção (mão de obra, serviços e ateriais);
- Análise do modo e efeito de falha;
- Dados das inspeções de rotina;

Os dados do posto de serviço identificam as características da posição na planta, devendo conter as seguintes informações:

- Características técnicas do posto;
- Dados relativos ao processo produtivo;
- Condições de operação;

- Dados do produto;
- As medidas de segurança relativas aos riscos de intervenção de manutenção;
- Medidas preventivas contra paralisações da produção;
- Histórico do posto;
- Processo de lubrificação;
- Processos de intervenções em ações corretivas e preventivas e os custos associados;

## 6.4 Controle

Dentro do PCM, a atividade de coletar as informações para gerar o os indicadores gerenciais é bastante importante, pois são estas informações que darão subsídios para as tomadas de decisão estratégica do departamento, são exemplos de indicadores:

- Custo de manutenção operacional (mão de obra e materiais utilizados);
- Custos de manutenção Gerencial (Montante gasto no período, contratação de terceiros e outros custos indiretos);
- Custos de manutenção estratégia (Adicionados encargos e o custo da manutenção e comparado com o faturamento da empresa), é importante incluir informações sobre depreciação, que permite uma análise financeira e indique o momento de sua substituição.
- Controle de utilização de mão de obra.
- Disponibilidade operacional;
- MTTR e MTBF;
- Percentual de preventivas x corretivas;
- Percentual de manutenções planejadas x executadas;
- Percentual de Custo Manutenção / Valor dos Ativos;
- Percentual de absenteísmo;

## **7. TÉCNICAS MODERNAS DE MANUTENÇÃO**

### **7.1 Teoria da confiabilidade**

Segundo SOUZA (2007), confiabilidade é uma grandeza mensurável a partir da análise estatística da ocorrência do evento de falha. É um conceito que influencia não apenas o processo produtivo, mas que possibilita à manutenção tomar decisões estratégicas, evitando impulsos incorretos.

A aplicação da confiabilidade na manutenção, visa tratar as falhas, estudando conceitos como taxa de falhas, modos de falhas, efeito das falhas e evolução temporal das falhas, sendo este um objeto de trabalho da manutenção, que busca através da eliminação das falhas assegurar altos níveis de confiabilidade durante a vida operacional do equipamento. Fruto desta teoria está na política de manutenção MCC.

### **7.2 MCC – Manutenção Centrada na Confiabilidade**

Segundo ROSA (2006), a Manutenção Centrada na Confiabilidade nasceu de um trabalho realizado em 1967 pela Associação da indústria aeronáutica americana sobre projetos e operações comerciais de aeronaves, devido a necessidade de certificação da linha de aviões Boeing 747 (o Jumbo), se tornando mais tarde na MCC. O motivo do desenvolvimento da MCC, foi que o uso das metodologias tradicionais de manutenção em máquinas complexas, iria inviabilizar o atendimento às exigências das autoridades aeronáuticas.

KARDEC E NASCIF (2007), consideram a metodologia como um processo usado para determinar os requisitos de manutenção de qualquer item físico operacional. É uma ferramenta de suporte a decisão gerencial.

Para NAGAO (1998), a Manutenção Centrada na Confiabilidade é caracterizada pela utilização da técnica da Análise dos Efeitos e Modos de Falha (FMEA). Ou seja, acompanhamento disciplinado para identificar os modos e efeitos das falhas e suas respectivas causas, que podem levar uma máquina a não cumprir sua função operacional. Também são feitas análises de criticidade, gravidade e detectabilidade da falha. Com todas estas informações é possível desenvolver um plano de manutenção adequado ao equipamento.

A figura 21 representa a cronologia da evolução dos métodos de manutenção ao longo dos tempos, indicando a tendência de utilização da manutenção da confiabilidade ou MCC, porém como a própria figura mostra, continuam ativas as políticas de manutenção tradicionais, cabendo as áreas de manutenção a atribuição de definir o melhor “mix” de métodos para cada organização, este será um dos diferenciais de competitividade das empresas nos próximos anos.

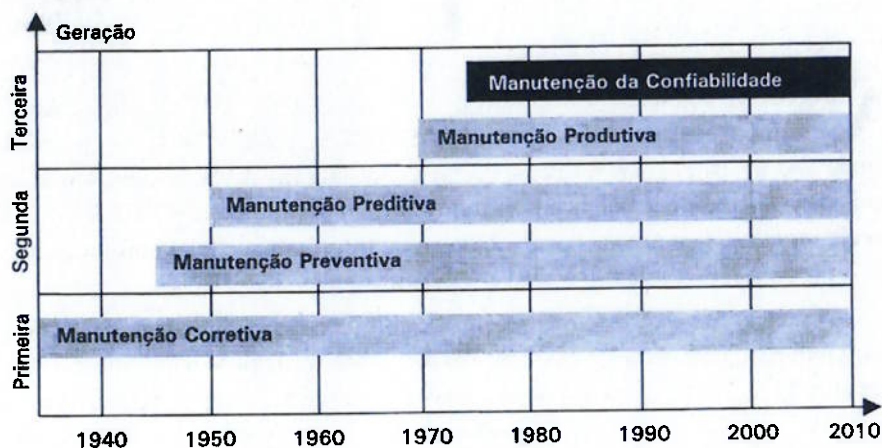


Figura 21- Evolução da manutenção

Fonte: Siqueira (2005)

KARDEC E NASCIF (2007), consideram que a criação de uma equipe multidisciplinar é necessária para desenvolver e responder as questões da MCC, pois só assim é realizado um trabalho equilibrado e eficaz. A figura 22 ilustra esta idéia.

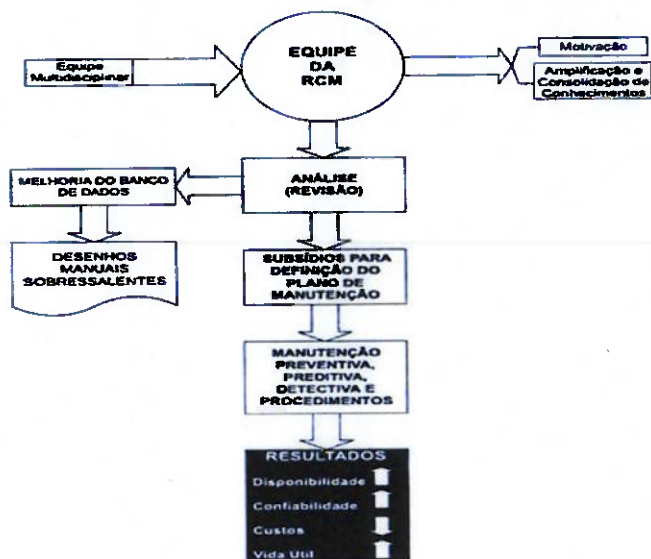


Figura 22- Diagrama Global 1 da aplicação da MCC

Fonte: Kardec e Nascif (2007)

Ainda segundo o autor, a abordagem clássica da MCC inclui os seguintes critérios conforme ilustrados na figura 23: Seleção do sistema, Definição das funções e padrões de desempenho, Determinação das falhas funcionais e de padrões de desempenho, Análise dos modos e efeito de falhas, Histórico de manutenção e revisão da documentação técnica e Determinação de ações de manutenção.

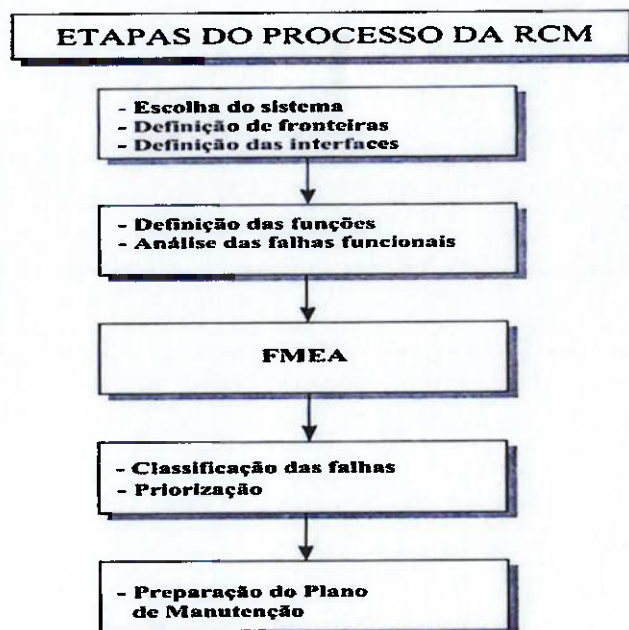


Figura 23- Diagrama Global 2 da aplicação da MCC

Fonte: Kardec e Nascif (2007)

Na classificação dos modos de falha, a figura 24 aborda como esta deve ser realizada. A sequência de decisão conduz a resposta adequada durante a classificação.



Figura 24- Diagrama Global 3 da aplicação da MCC

Fonte: KARDEC e NASCIF (2007)

Por fim da análise da MCC, após analisar as funções, modos de falha, consequências da falha, classificação quanto a criticidade, gravidade e detectabilidade da falha, é necessário respondendo as últimas questões conforme mostrado na figura 25, para selecionar a política de manutenção mais adequada ao item analisado.

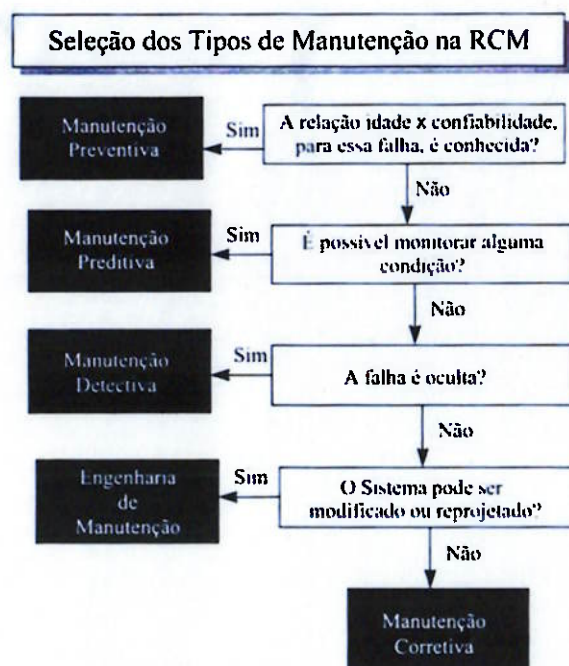


Figura 25- Diagrama Global 4 da aplicação da MCC

Fonte: KARDEC e NASCIF (2007)

### 7.3 Taxa de Falhas

Segundo SLACK (2008), taxa de falhas e confiabilidade são diferentes formas usadas para medir falhas. A taxa de falha mede a frequência de ocorrência de falha enquanto a confiabilidade, a probabilidade de ocorrer a falha.

Assim, a taxa de falhas ( $\lambda$ ) pode ser expressa pela seguinte expressão:

$$\lambda = \text{Número de falhas} / \text{Tempo de operação},$$

Ou

$$\lambda = \text{Número de falhas} / \text{Número total de produtos testados} \times 100,$$

Sendo também possível medir através do Tempo Médio Entre Falhas (TMEF), que é recíproco, válido somente para distribuição exponencial, ou seja:

$$\text{TMEF} = 1/\lambda = \text{Tempo de operação} / \text{Número de falhas}$$

Portanto o TMEF expressa a frequência de falhas do equipamento, ou seja, quanto maior o TMEF menor será a taxa de falhas e maior a confiabilidade.

Segundo o autor, a maioria dos componentes de um equipamento tem probabilidade de falhas diferentes em diferentes etapas de sua vida.

A curva da banheira ou curva característica do ciclo de vida de um equipamento é um modelo de falha geralmente aceito e que representa satisfatoriamente a combinação de diferentes modelos de falha.

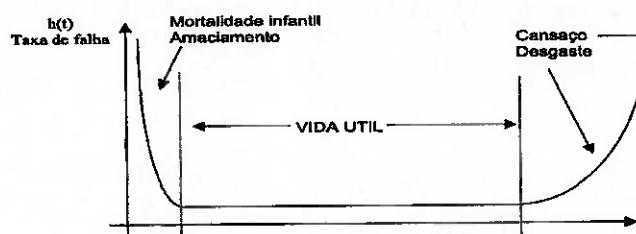


Figura 26- Curva da banheira

Fonte: Iony (2005)

A curva apresenta três modelos distintos:

- **Mortalidade infantil**, onde há grande incidência de falhas causadas por componentes com defeito de fabricação ou problemas de instalação;
- **Vida útil**, quando a taxa de falhas é normalmente baixa, razoavelmente constante ao longo do tempo e causada por fatores aleatórios normais, ou seja, a ocorrência de falhas é causada por fatores menos controláveis, como sobrecargas, devido a interação com o meio.
- **Envelhecimento**, nesta fase há um aumento sensível na taxa de falhas, decorrente do desgaste natural e será tanto maior quanto mais tempo passar.

Esta curva foi considerada por muito tempo, como um padrão para o comportamento de equipamentos e sistemas, porém em função da evolução dos estudos de confiabilidade e da MCC, foram adotados 6 diferentes curvas para representar a vida dos equipamentos, conforme mostradas na figura 25.

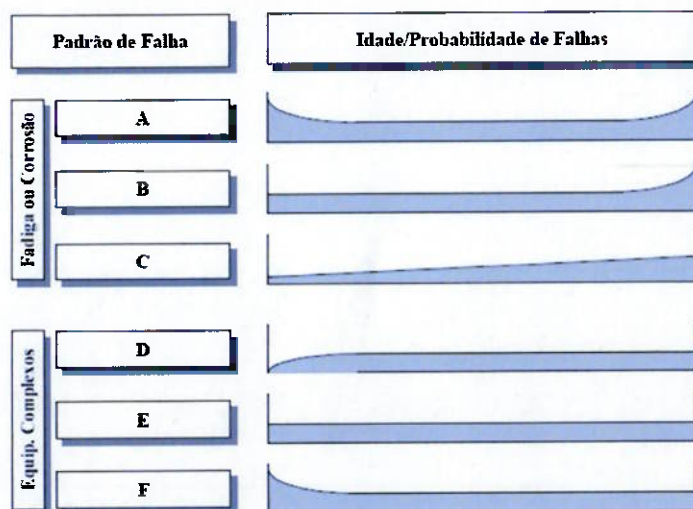


Figura 27- Tipos de curvas

Fonte: Kardec e Nascif (2007)

Uma breve análise das curvas indica que:

- **Padrão A** é o da curva da banheira detalhado acima.
- **Padrão B** apresenta uma taxa de falha constante, seguida de uma zona de desgaste do equipamento;
- **Padrão C** apresenta um aumento gradual e lento na taxa de falhas e não há uma idade definida ou claramente identificada para o desgaste;
- **Padrão D** apresenta uma baixa taxa de falha no início de operação do equipamento, seguida de um rápido acréscimo até atingir um apatamar de taxa de falhas constante;
- **Padrão E** apresenta taxa de falha constante em qualquer idade do equipamento;
- **Padrão F** apresenta alta mortalidade infantil no início da operação, para cair em uma situação de taxa de falha constante para as outras idades.

Os padrões A, B e C representam as falhas típicas por fadiga e corrosão, enquanto que os padrões D, E e F representam falhas típicas de ativos complexos, como equipamentos hidráulicos e eletrônicos, afirma KARDEC e NASCIF (2007).

## 7.4 Diagrama de Weibull

KARDEC e NASCIF (2007) descrevem que a análise de Weibull é um método estatístico que correlaciona dados específicos de falha com uma distribuição particular, no caso distribuição de Weibull, podendo indicar se a falha é um evento prematuro (mortalidade infantil), randômico (aleatório), ou ocasionado por desgaste (final de vida econômica).

Para se trabalhar com a análise de Weibull, é condição fundamental: ter um bom histórico de manutenção, pois a inexistência de dados confiáveis também inviabiliza completamente a sua utilização.

A figura 28 ilustra os critérios de análise do valor Beta, extraído do diagrama de Weibull. Segundo o autor o valor de Beta indica o comportamento da distribuição, onde conforme o diagrama, para  $\beta = 1$ , Taxa de falha constante, as falhas serão aleatória, independente do tempo de utilização.  $\beta < 1$ , Taxa de falha decrescente, caracterizado por falhas de início de funcionamento.  $\beta > 1$ , Taxa de falha crescente, indica falha de final de vida útil, ou obsolescência.

Diagrama de Decisão – fator de forma - Weibull

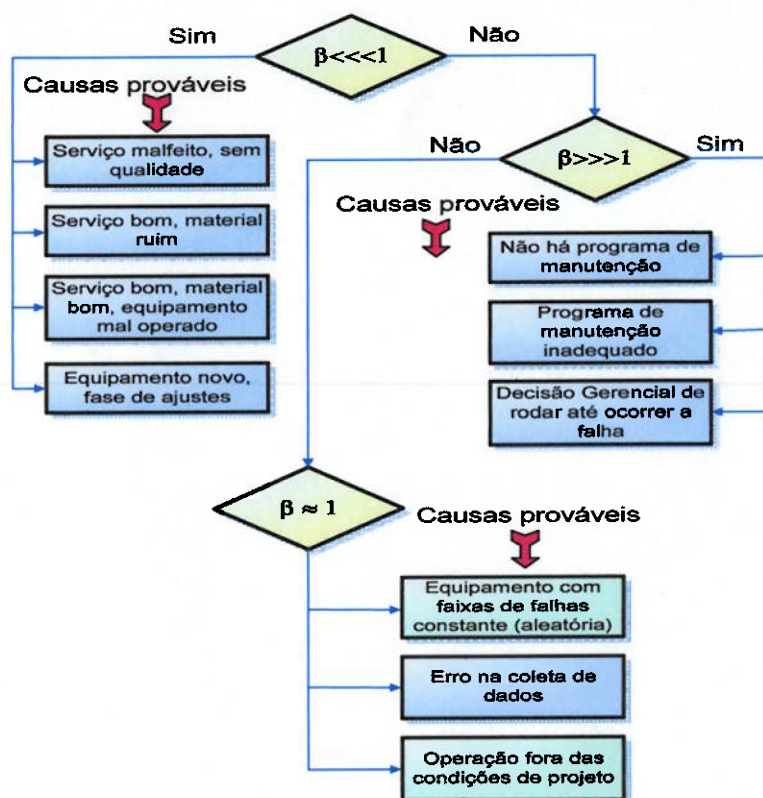


Figura 28- Fluxograma de decisão p/ a análise de Weibull

## 7.5 Árvore Funcional

Árvore funcional fornece uma forma estruturada e organizada de dividir um equipamento, com isso é possível identificar seus sistemas e funções, sendo também utilizado para identificar falhas iniciais ou críticas de um produto ou processo, além de ser visual e claro, que facilita o entendimento de todos envolvidos.

## 7.6 Principais ferramentas de aumento da confiabilidade

As principais ferramentas para análise e detecção de falhas são: FMEA – Análise de modo e efeito de falhas, RCFA - Análise da causas raízes das falhas, MASP- Método de análise e solução de problemas e FTA – Análise da árvore de falhas.

### ✓ FMEA – Análise de modo e efeito de falhas

É uma ferramenta que busca, em princípio, evitar por meio da análise das falhas potenciais e propostas de ações de melhoria, que ocorram falhas no projeto e operação do produto ou do processo. Este é o objetivo básico desta ferramenta e portanto, pode-se dizer que se está, com sua utilização, diminuindo as chances do produto ou processo falhar durante sua operação, ou seja, busca-se aumentar a confiabilidade, que é a probabilidade de falha do produto/processo.

Segundo SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON (2008), as diretrizes para elaborar o FMEA se baseiam por três questões básicas:

- 1) Qual a frequência de ocorrência da falha?
- 2) Qual o grau de gravidade da falha, ou o dano que a causa causa ao cliente?
- 3) Qual a facilidade da falha ser detectada?

Para a aplicação efetiva da técnica o autor recomenda utilizar um processo de sete passos:

- 1) Identificar todas as partes componentes dos ativos, sistemas ou processos;

- 2) Listar todas as formas possíveis segundo as quais os componentes podem falhar (modo de falha);
- 3) Identificar os efeitos das possíveis falhas (paralisações, segurança, necessidade de reparo, efeito para os clientes);
- 4) Identificar todas as causas possíveis das falhas para cada modo de falha;
- 5) Para cada causa potencial de falha avaliar a ocorrência, gravidade e detectabilidade da falha;
- 6) Calcular o IRF (índice de risco de falha), multiplicado pelas três avaliações;
- 7) Instigar ações preventivas que minimizam as falhas que apresentem alto risco;

#### ✓ RCFA - Análise da causas raízes das falhas

Este tipo de análise de falha pode ser utilizado de forma generalizada, mas deve ser aplicado principalmente em problemas crônicos, e em equipamentos mais importantes e críticos, o método basicamente se baseia no questionamento dos “por quês”, explicado no capítulo 5.7.2.

A figura 29 é um exemplo de aplicação real do método de análise da causa raiz da falha. Através do questionário o manutenedor registra os detalhes de uma falha significativa ocorrida (grande parada ou crônica), responde a análise realizada previamente sobre as causas da falha e propõe as ações de bloqueio ou melhoria do equipamento ou dos procedimentos padrões, antes de implantar qualquer medida, o relatório é discutido em um grupo para aprovar as ações propostas. Os resultados obtidos com este método são bons e visam fechar o ciclo PDCA, conforme apresentados nas figuras 15 do cap. 5.7.1 e figura 18 do cap. 6.

RELATÓRIO DE FALHA						
Baseado no ciclo PDCA						
Local / Processo : Solda	Célula : Fechamento					
	Máquina: Mesa Elevatória - STN 50	Data da detecção: 28/08/2008				
	Data última Troca / Reparo:	Intervalo padrão de Troca / Reparo:				
	Hora da detecção: 09:30					
Descrição da falha:	Assolho sendo colocado fora de posição após transferência da stn 40 p/ a stn 50 da zona 8, devido a quebra de 2 rolamentos da articulação da mesa elevatória.					
	Colaboradores envolvidos no processo :					
	Edmar, Fiorindo, Jean, Marcelo, Rui, Wellington.					
	Inspeção da falha :					
Perdas	Perdas de produção:	18 Cabinas	Custo Total da Falha: R\$			
	Tempo de produção parada :	3 Horas	Parada equipamento ? <input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não			
	Paradas de célula ?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	Impacta a segurança ? <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não			
				Meio ambiente ? <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não		
Ações Corretivas	Descrição do reparo:					
	Trocado os dois rolamentos Lado frontal (INA NATV35 -PP).					
	Tempo de reparo:	2 horas	Homens / Hora: 10 horas			
	Análise da causa fundamental - Ishikawa					
Investigação das causas fundamentais	1 - Condições ambientais ?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	Causas/ações:			
	2 - Pessoas ?	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	Excesso e sujeira			
	3 - Inspeção inadequada ?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	Esta inspeção não constava no plano de MPO			
	4 - Matéria-prima ?	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	Quebra do rolamento antes de 50.000hs			
	5 - Máquina ?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não				
	6 - Procedimentos operação ?	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não				
	A - Existe Padrão de Manut. ?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	Atualizar o padrão			
	B - O padrão é executado ?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	Atualizar o plano de MP			
	C - Existe Plano de Manut. ?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não				
	D - O plano é executado ?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não				
	Análise da causa fundamental - Método dos Porquês					
	3. O plano de limpeza não contemplava a limpeza das guias dos roletes das estações					
5. Quebra do rolamento antes de 50.000Hs de uso, tempo recomendado de troca pelo fabricante						
Ações Definitivas	Ações de Bloqueio (5W + 1H)					
	O que será feito ?	Responsável	Prazo	Onde	Como	
	Troca dos demais rolamentos e guia danificada	Jean - Manutenção	08/09/08	Stn 50 Z8	Executando a troca	Para eliminar o risco de novos desvios
	Alteração da frequência de inspeção, para mensal no plano de MP.	Bruno - Manutenção	03/09/08	MATCAB	Alterando o cadastro no MATCAB	Para eliminar o risco de novos desvios
Melhorias	Inclusão de limpeza no plano de MPO	André - Produção	03/09/08	Labmaint	Alterando o cadastro no Labmaint	Para eliminar a sujeira e as condições favoráveis ao desvio
	Descrição da melhoria:					
	Prazo de Execução:	Custo Estimado da Melhoria: R\$				
	Custo real da melhoria ( R\$ )	Aprovação		Data Aprovação		

Figura 29- Análise de causa raiz de falha

### ✓ MASP- Método de análise e solução de problemas

KARDEC e NASCIF (2007) relatam que o MASP é uma metodologia de análise e solução de problemas adotada na Gestão da Qualidade Total. Esta metodologia utiliza a Análise de Pareto para identificar as principais falhas de um equipamento ou processo, e então, através de grupos multidisciplinares, desenvolvem estudos e propõem soluções para bloquear falhas crônicas dos processos ou equipamentos.

O que se obtém desta metodologia são melhorias dos processos produtivos, devido o domínio e bloqueio de falhas crônicas.

Os principais passos do MASP estão mostrados na Figura 30.


PDCA	Fluxo	Fase	Objetivo
P	① ↓	Identificação do Problema	Definir claramente o problema e reconhecer sua importância
	② ↓	Observação	Investigar as características específicas do problema com uma visão ampla e sob vários pontos de vista
	③ ↓	Análise	Descobrir as causas fundamentais
	④ ↓	Plano de Ação	Conceber um plano para bloquear as causas fundamentais
D	⑤ ↓	Ação	Bloquear as causas fundamentais
C	⑥ ↓	Verificação	Verificar se o bloqueio foi efetivo
	 Bloqueio foi efetivo		
A	⑦ ↓	Padronização	Prevenir contra o reaparecimento do problema
	⑧ ↓	Conclusão	Recapitular todo o processo de solução do problema para trabalho futuro

Figura 30- Método de análise de soluções de problemas

Fonte: KARDEC e NASCIF (2007)

## 8. ESTUDO DE CASO

### 8.1 Descrição do processo de manufatura

O estudo para aplicação da MCC, foi desenvolvido na “Célula do Fechamento” do processo de fabricação da **cabina do caminhão** da Montadora A, cuja operação principal é unir as partes estampadas, chamadas de “sub-conjuntos”. Esta união é feita por meio de solda a ponto, resultando na cabina final, conforme ilustrado no fluxo de montagem da figura 31.

#### Processo de Solda

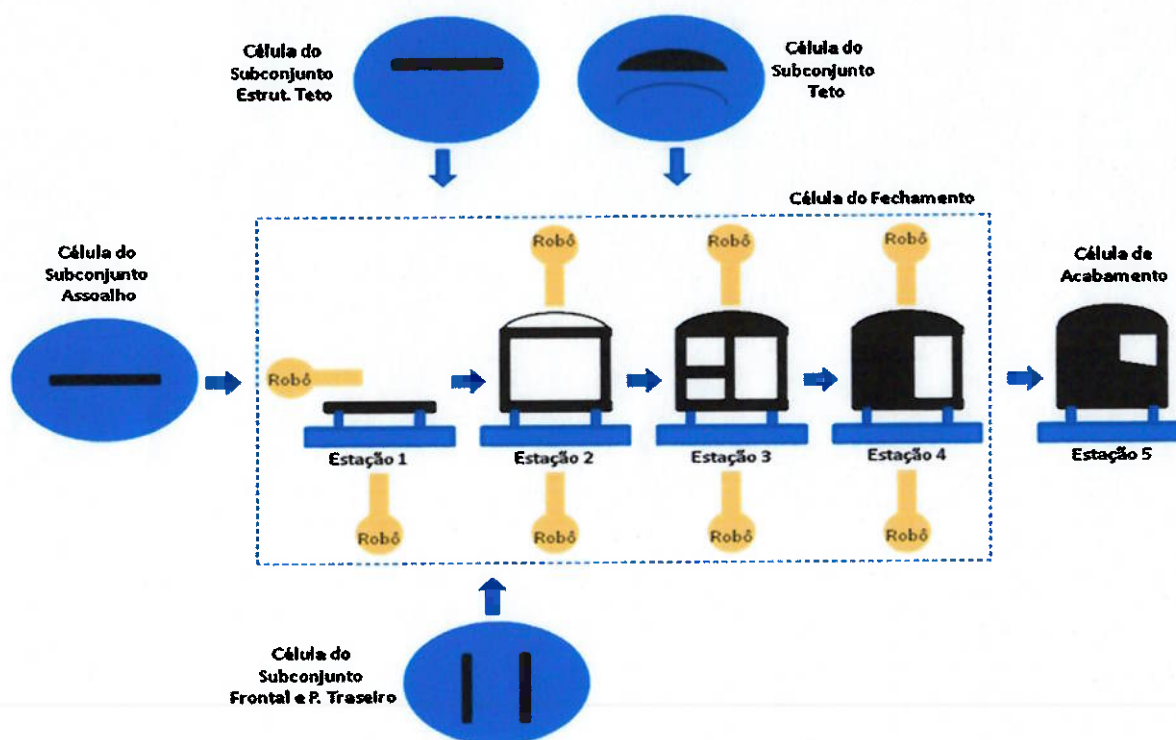


Figura 31- Fluxo de montagem de cabinas

A “célula de fechamento” estudada, é totalmente automatizada, composta de 4 estações principais para fixação dos subconjuntos, 8 robôs de solda, ponteadeiras, CLP’s, sistemas de visão, diversos tipos de atuadores e sensores. O processo é iniciado com a soldagem dos subconjuntos em cada estação, após o término das soldagens, os subconjuntos são transportados para o próximo estágio através de um transportador, este processo se repete sucessivamente até que os subconjuntos são

unidos, passados por todas as estações e finalmente se tornam o produto final “cabina”. O abastecimento dos subconjuntos é realizado manualmente através de carrinhos de transporte individuais por estação.

Toda a sequência de modelos a serem produzidos é gerenciada por vários CLP's e monitorado através dos softwares supervisor, que auxiliam na visualização, detecção de falhas e operação do processo.

## Processo de Solda



Figura 32- Ilustração de um processo de solda a ponto automatizado

### 8.2 Funcionamento da célula

A célula é gerenciada por CLP's que recebem as demandas de produção dos computadores de PCP que por sua vez, envia os códigos programados para os robôs. Recebida as informações dos CLP's os robôs e as estações iniciam suas atividades. Os robôs são responsáveis por manipular os subconjuntos e as ponteadeiras, que ficam depositadas próximas as suas bases, prontas para serem acopladas, seguindo a uma programação predeterminada. Elas são conectadas e levadas à posição de solda, iniciando assim o ciclo de soldagem.

Uma característica importante neste processo comparado a outras montadoras automobilísticas está no seu tamanho, é pequeno comparado à indústria de carros,

cujo tempo de ciclo está por volta de 1 minuto. A célula estudada é composta por apenas 8 robôs, seu tempo de ciclo é mais lento, aproximadamente 10 min., porém a variedade de modelos e opcionais que podem ser feitos são similares a das linhas de carro. Por consequência, são necessárias muitas trocas de ponteadeiras com diferentes configurações para acessar e soldar todas regiões da cabina. Cada robô chega a manipular até 5 ponteadeiras, enquanto, em montadoras de carro é normalmente 1. Isto torna o processo mais enxuto, porém com características de desgaste diferenciadas, o que requer um maior cuidado para manter a funcionalidade das máquinas e a disponibilidade operacional.

A célula é composta por 28 ponteadeiras automáticas, e os resultados deste estudo poderão ser aplicadas as demais ponteadeiras do processo, somando um total de 43 máquinas.

### 8.3 Método para aplicação da MCC

A figura 33 mostra o método para a aplicação da MCC, e a sequência de passos até a consolidação do plano de manutenção.

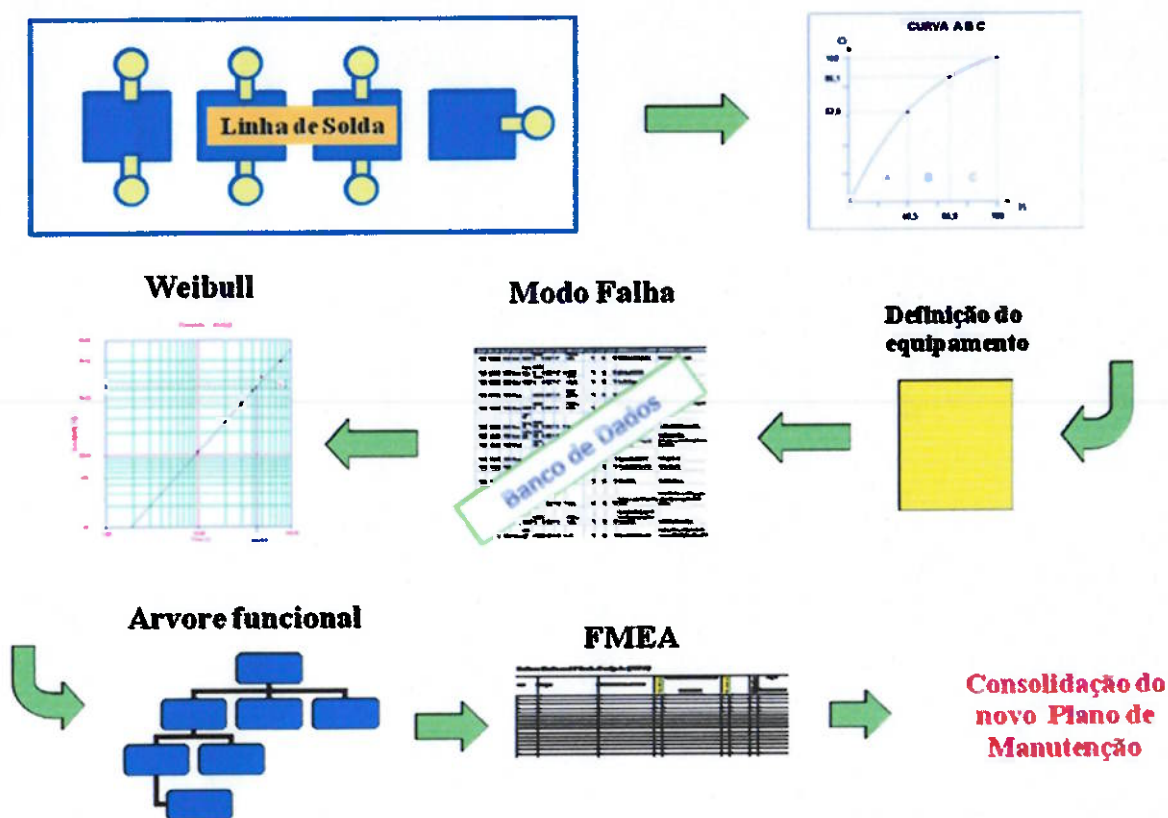


Figura 33- Ilustração da aplicação da MCC no estudo de caso

É levantada a curva ABC de falhas do processo por grupo de máquinas, sendo definido o grupo de máquina para o estudo de caso, levantado o modo de falha dos equipamentos, cuja fonte é o banco de dados da empresa, sendo posteriormente aplicada à análise estatística de Weibull, para identificar se a situação da política de manutenção está adequada ou não. Posteriormente deve ser criada a árvore funcional dos equipamentos que servirá de base ao estudo do FMEA, que identificará o equipamento crítico. Para estes equipamentos aplicar-se-á o fluxograma de decisões da MCC para a definição da nova política de manutenção ou plano de manutenção.

#### 8.4 Curva ABC de falhas

Os gráficos 1 e 2 são referentes da análise das falhas por grupo de máquinas.

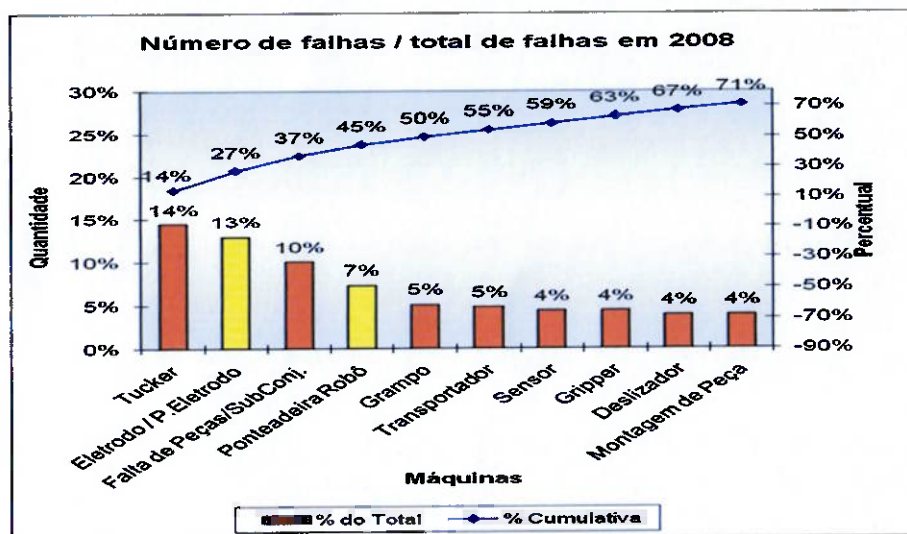


Gráfico 1- Número de falhas pelo total de falhas

Fonte: Banco de dados Montadora A

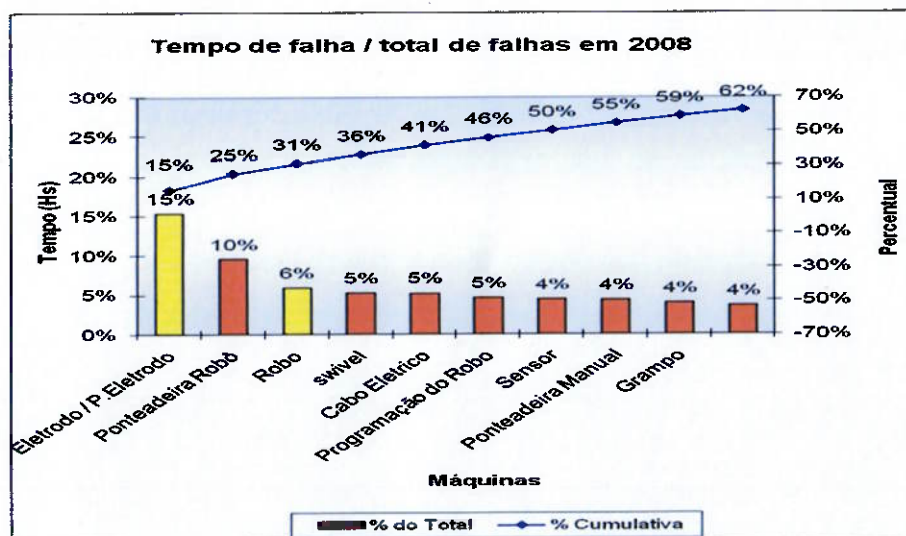


Gráfico 2- Tempo das falhas pelo total de falhas

Fonte: Banco de dados Montadora A

## 8.5 Metodologia da Pesquisa

Os dados das falhas desta pesquisa foram levantados entre os anos de 2004 à 2008, porém nesta pesquisa foram utilizadas basicamente as informações de 2008 por serem mais recentes, refletindo assim, uma situação mais próxima. Os dados foram extraídos do banco de dados chamado RICAB desenvolvido internamente na empresa.

Primeiramente foi levantado a curva ABC das famílias de máquinas que geraram as maiores paradas do processo, verificando-se que o grupo de máquinas “Ponteadeiras de Robô”, somado a família “Eletrodo/P.eletrodo” se destacam em primeiro lugar com 16% do tempo total das interferências, pois ambos fazem parte da mesma família, estando separados no registro de dados somente por serem de responsabilidade de áreas diferentes.

Portanto, estes são equipamentos com grandes oportunidades melhoria e os benefícios de uma melhor política de manutenção podem ser colhidos rapidamente no processo através do aumento da disponibilidade, justificando assim, o pensamento de “manutenção produtiva”, visando sempre a produtividade, a qualidade, a segurança e respeitando o meio ambiente.

Utiliza-se o método MCC como guia para o aumento da confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, conforme ilustração acima de aplicação da MCC.

Na figura 34 apresenta-se os modelos de ponteadeira utilizados na linha estudada.

#### Modelos de Ponteadeiras

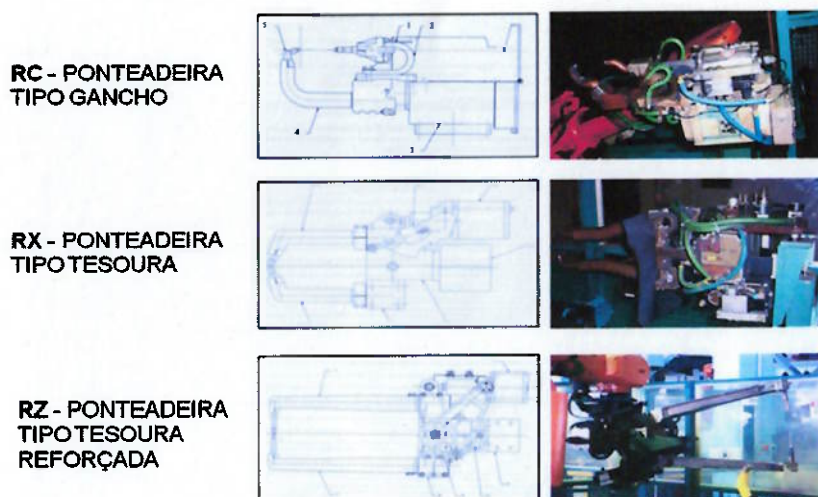


Figura 34- Modelo de ponteadeiras utilizado na Montadora A

Após a análise dos dados preliminares verificou-se, dentre os três tipos de ponteadeiras existentes, que um tipo se destaca pelo maior percentual de interferências, é o “modelo RZ”, que portanto, foi escolhida como a melhor máquina para aplicar a análise de Weibull.

## 8.6 Princípio de funcionamento das Ponteadeiras

### Características do equipamento

“Ponteadeiras”, são equipamentos cuja função é realizar solda a ponto, ou seja, unir chapas metálicas através da fusão dos materiais (no caso específico das cabinas, “chapas de aço”). Este evento ocorre devido à circulação de corrente elétrica entre dois eletrodos que provocam um curto-circuito controlado em materiais de maior resistência elétrica, causando assim um aquecimento até a temperatura de fusão na região de contato. Após a fusão, o equipamento mantém os eletrodos pressionando as chapas por um período pré-determinado de tempo, necessário para a solidificação do ponto.

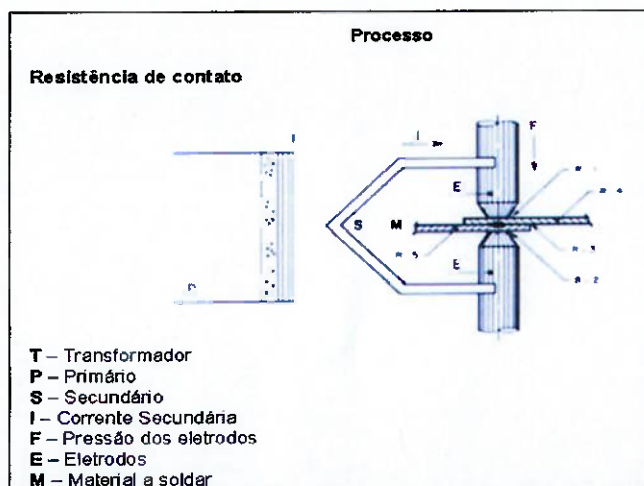


Figura 35- Modelo 2 de ponteadeiras utilizado na Montadora A

Fonte: Manual do fabricante ARO

Suprimentos para operação do equipamento:

- Tensão de alimentação 440VAC e 24VDC;
- Trafos de 32KVA à 100KVA;
- Pressão controlada de 1 à 10 Bar para fixação das peças para a solda;
- Vazão de água de 6 à 12 L/min para refrigeração;
- Temperatura da água para refrigeração entre 18 e 22°C.

Nos equipamentos abordados neste estudo, as correntes elétricas no secundário dos transformadores variam de 5 a 20kA, as forças dos eletrodos entre 150 a 300Kgf, correspondendo a uma pressão entre 530 e 1060kgf/cm<sup>2</sup> e os tempos da descarga elétrica entre 0,16 a 0,5 segundos de duração.

Em todo o processo existem dois tipos de ponteadeiras, as manipuladas pelo homem (manuais) e as manipuladas por robôs (automáticas). No caso das ponteadeiras manuais quem dispara a solda é o operador através do gatilho, já nas ponteadeiras manipuladas por robô, o disparo é enviado pelo robô, que por sua vez segue a programação predefinida em sua memória.

Portanto, as ponteadeiras manipuladas por robô são um dos principais equipamentos do processo de fechamento de cabinas e devido a esta estreita relação entre Robô, Controlador de Solda e ponteadeira, todas as funções destas três máquinas devem estar operando perfeitamente, para um bom resultado. Para isto é necessário uma política de manutenção eficiente e eficaz por parte da manutenção, ou as conseqüências serão má qualidade, baixa disponibilidade, baixa produtividade e cliente insatisfeito.

## 8.7 Desenvolvimento do trabalho (Análises dos dados)

A partir dos dados analisados no banco de dados da montadora A, foi criada a tabela 8-1-A, referentes ao período de jan/04 a dez/08. Nesta tabela foi agrupado o tempo total de falha de cada ponteadeira, ordenado de forma decrescente e calculado o percentual de falha para cada máquina. A tabela 8-1-B, está baseada na tabela 8-1-A, onde são agrupadas as falhas por modelo (densidade de falhas / modelo). Ambas as tabelas são usadas para criação dos gráficos 3 a 6.

Tabela 8-1-A - Total de falhas por ponteadeira

Estação	Modelo	Tempo Min	Tempo Hs	%	% Cumulativa
AX2R1Z8	RZ	639	10,7	20%	20%
AX2R6Z8	RC	312	6,2	10%	30%
AX1R3Z8	RZ	263	4,4	8%	38%
AX1R2Z8	RZ	250	4,2	8%	46%
AX4R6Z8	RC	205	3,4	6%	53%
AX5R4Z8	RC	188	3,1	6%	59%
AX4R4Z8	RC	160	2,7	5%	64%
AX5R5Z8	RC	125	2,1	4%	68%
AX3R4Z8	RC	112	1,9	4%	71%
AX3R3Z8	RC	105	1,8	3%	75%
AX3R6Z8	RC	95	1,6	3%	78%
AX2R5Z8	RC	95	1,6	3%	81%
AX5R6Z8	RX	79	1,3	2%	83%
AX4R5Z8	RC	75	1,3	2%	85%
AX1R7Z8	RX	65	1,1	2%	87%
AX5R2Z8	RC	60	1,0	2%	89%
AX5R7Z8	RX	59	1,0	2%	91%
AX2R3Z8	RC	56	0,9	2%	93%
AX4R2Z8	RX	41	0,7	1%	94%
AX3R5Z8	RC	30	0,6	1%	95%
AX3R7Z8	RC	27	0,5	1%	96%
AX2R7Z8	RC	25	0,4	1%	97%
AX1R6Z8	RX	25	0,4	1%	98%
AX5R3Z8	RC	20	0,3	1%	98%
AX3R2Z8	RC	20	0,3	1%	99%
AX4R3Z8	RX	15	0,3	0%	99%
AX2R4Z8	RC	10	0,2	0%	100%
AX5R3Z8	RC	10	0,2	0%	100%
		3166	52,8		

Tabela 8-1-B - Total de falhas por modelo

RZ	RX	RC
10,7	0	0
0,0	0	5,2
4,4	0	0
4,2	0	0,0
0	0	3,4
0	0	3,1
0	0	2,7
0	0	2,1
0	0	1,9
0	0	1,8
0	0	1,6
0	0	1,6
0	1,3	0
0	0	1,3
0	1,1	0
0	0	1
0	1,0	0
0	0	0,9
0	0,7	0
0	0	0,5
0	0	0,5
0	0	0,4
0	0,4	0
0	0	0,3
0	0	0,3
0	0,3	0
0	0	0,2
0	0	0,2
Total Hs		19,2
Modelo		RZ
		RX
		RC
		Hs
Quantidade máquinas na célula		3
Densidade de falhas / modelo ponteadeira		6,4
		0,8
		1,5
		Hs

O gráfico 3, ilustra o tempo total de falhas por ponteadeira, independente do modelo.

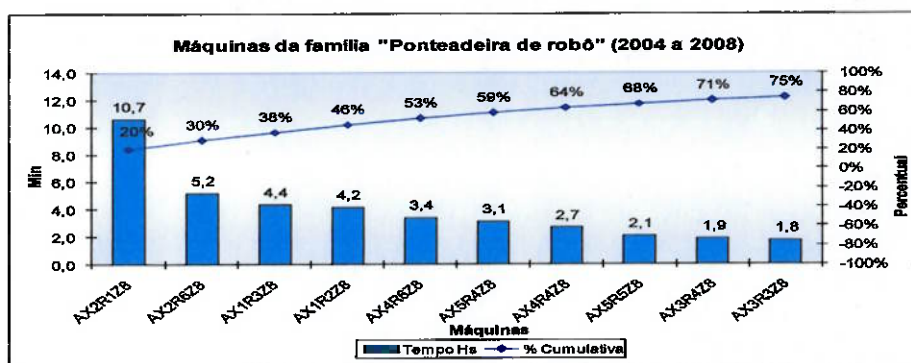


Gráfico 3- Pareto de falhas por ponteadeira

O resultado da distribuição do tempo total de falha por modelo de máquina RX, RC e RZ, mostra que o modelo RC foi o que apresentou o maior impacto, como indicado no gráfico 4.

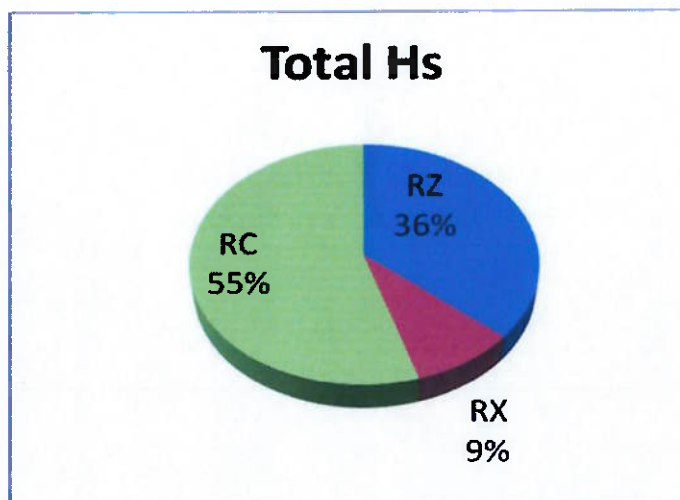


Gráfico 4- Distribuição por modelo de ponteadeira

Porém, quando verificada a densidade de falhas por máquina, levando-se em conta a quantidade de máquinas, RZ=3, RX=6 e RC=19, o resultado mudou. O modelo RZ se tornou o mais significativo, devido a pequena quantidade de máquinas. Somente 3 unidades ou 10% do total de ponteadeiras da célula, representam 58% dos tempos de parada do processo, como indicado no gráfico 5.

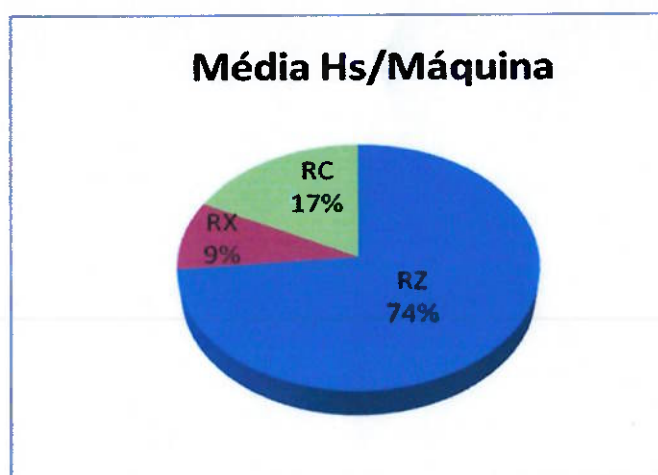


Gráfico 5- Distribuição da densidade de falhas por modelo de ponteadeira

Com esta informação, a aplicação da MCC é realizada neste modelo de ponteadeira RZ sendo a mais crítica a AX2R1Z8, como indicado no gráfico 6, pois o resultado será mais significativo e o método desenvolvido poderá ser aplicado para as demais máquinas.

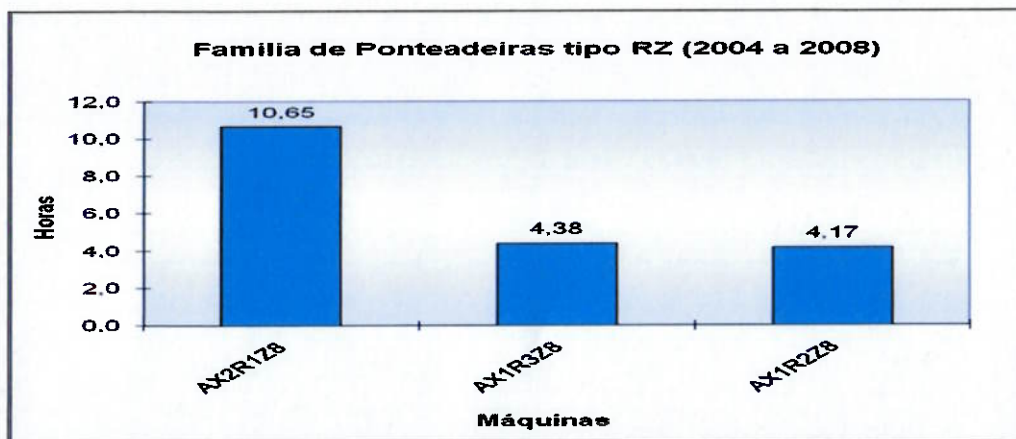


Gráfico 6- Tempo de falhas das ponteadeiras modelo RZ

## 8.8 Disponibilidade, MTTR e MTBF

Na tabela 8.2 segue o resultado coletado da família de ponteadeiras na célula do processo estudado. Os dados são referentes aos meses de jan/08 a mai/09, e através da quantidade de falhas, duração, dias úteis de trabalho e carga horária, foram calculados : Taxa de falhas, Confiabilidade, MTBF, MTTR e Disponibilidade.

Estes cálculos são realizados através das seguintes fórmulas, conforme exemplos abaixo:

**Taxa de falhas** =  $\lambda$  = Número de falhas / Tempo de operação (Carga Horária)

$$\text{Taxa de falhas (jan/08)} = 5 / 192 \text{ Hs} = \underline{\underline{0,026042}}$$

**Confiabilidade** =  $R(t) = e^{-\lambda t}$  Onde,

“e” = exponencial neperiana = 2,303,

“ $\lambda$ ” = taxa de falhas

“t” = tempo disponível para operação = (Carga horária – total de hs em reparo).

$$\text{Confiabilidade (jan/08)} = e^{-0,026042 \cdot 190,8} = \underline{\underline{0,006946}}$$

**MTBF** = Tempo disponível para operação / Número de falhas

$$\text{MTBF (jan/08)} = 190,8 / 5 = \underline{\underline{38,2}}$$

**MTTR** = Número de falhas / Total dos tempos de reparo

$$\text{MTTR (jan/08)} = 5 / 1,16 \text{ Hs} = \underline{\underline{0,2}}$$

**Disponibilidade = MTBF / MTBF + MTTR**

Disponibilidade (jan/08)= 38,2 / (38,2 + 0,2) = **0,994**

Tabela 8-2- Levantamento por mês da quantidade e tempo das falhas por mês no ano 2008

Coleta original dos dados da planilha " Dados compilados RICAB " - FORA OPERAÇÃO "SIM"												
	FO			hs		hs						
	Qtde	min	hs	Carga horária	Dias úteis	Tempo disp. de Operação	taxa de falhas $\lambda$	R confiabilidade	MTBF (hs)	MTTR (hs)	Disponibilidade	
jan/08	5	70	1,16666667	192	12	190,8	0,026042	0,006946	38,2	0,2	0,994	
fev/08	16	161	2,68333333	304	19	301,3	0,052632	0,000000	18,8	0,2	0,991	
mar/08	35	287	4,78333333	320	20	315,2	0,109375	0,000000	9,0	0,1	0,985	
abr/08	12	121	2,01666667	336	21	334,0	0,035714	0,000007	27,8	0,2	0,994	
mai/08	21	112	1,86666667	288	18	286,1	0,072917	0,000000	13,6	0,1	0,994	
jun/08	21	152	2,53333333	336	21	333,5	0,0625	0,000000	15,9	0,1	0,992	
jul/08	3	11	0,18333333	208	13	207,8	0,014423	0,049919	69,3	0,1	0,999	
ago/08	1	10	0,16666667	320	20	319,8	0,003125	0,368071	319,8	0,2	0,999	
set/08	5	103	1,71666667	352	22	350,3	0,014205	0,006904	70,1	0,3	0,995	
out/08	2	20	0,33333333	368	23	367,7	0,005435	0,135581	183,8	0,2	0,999	
nov/08	6	74	1,23333333	320	20	318,8	0,01875	0,002537	53,1	0,2	0,996	
dez/08	1	10	0,16666667	240	15	239,8	0,004167	0,368135	239,8	0,2	0,999	
	128	1131										
Média							0,03494	0,07817	88,27488	0,16877	0,99487	
jan/09	0	0	0	80	10	80,0	0	1,000000	#DIV/0!	#DIV/0!	1,000	
fev/09	1	5	0,08333333	144	18	143,9	0,006944	0,368092	144,0	0,1	0,999	
mar/09	1	8	0,13333333	176	22	175,9	0,005682	0,368158	176,0	0,1	0,999	
abr/09	3	20	0,33333333	152	19	151,7	0,019737	0,050116	50,7	0,1	0,998	
mai/09	7	88	1,46666667	160	20	158,5	0,04375	0,000972	22,9	0,2	0,991	
	12	121										
Média							0,01522	0,35747	36,76190	0,16032	0,99748	

Os gráficos 7 a 9, exibem os resultados de forma alinhada, para melhor visualizar os períodos mais críticos e auxiliar na identificação das causas.

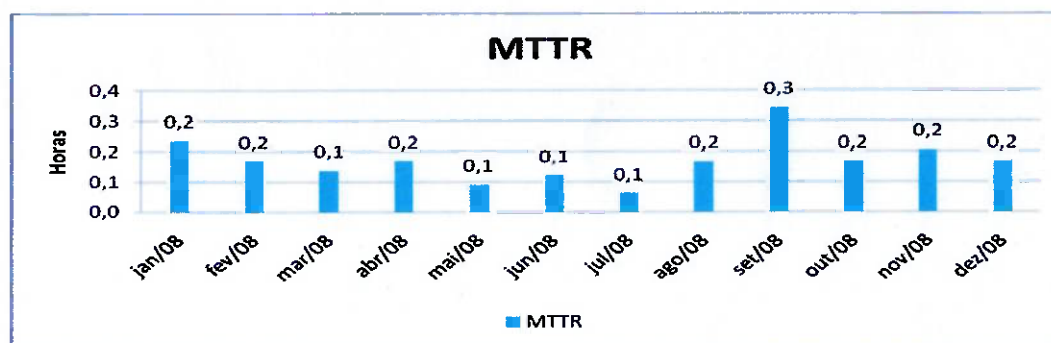


Gráfico 7- Histograma do MTTR da tabela 8-2

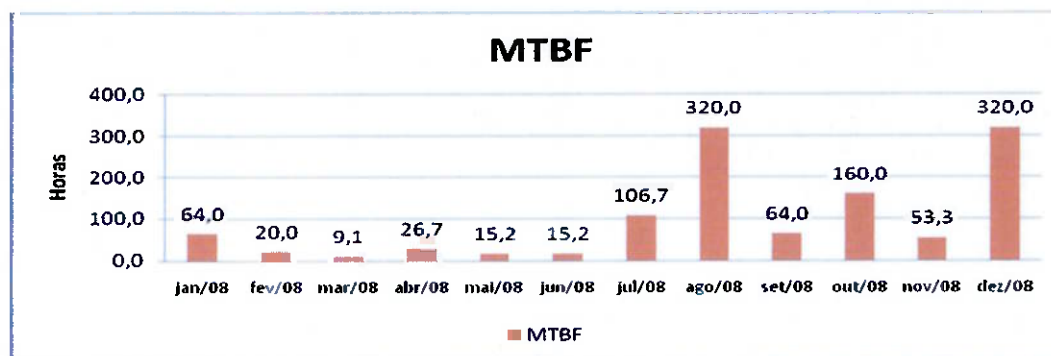


Gráfico 8- Histograma do MTBF da tabela 8-2



Gráfico 9- Disponibilidade da tabela 8-2

## 8.9 Modo de falha

Seguindo as recomendações para implementação da MCC, SIQUEIRA (2005), foi extraído o Modo de Falha dos equipamentos do banco de dados.

A pesquisa levou em conta o tempo e o número de falhas de todas as máquinas do grupo de ponteadeiras automáticas, visando assim obter dados mais precisos dos modos de falha.



Figura 36- Sistema de apontamento de falhas - RICAB  
Formulário de apontamento

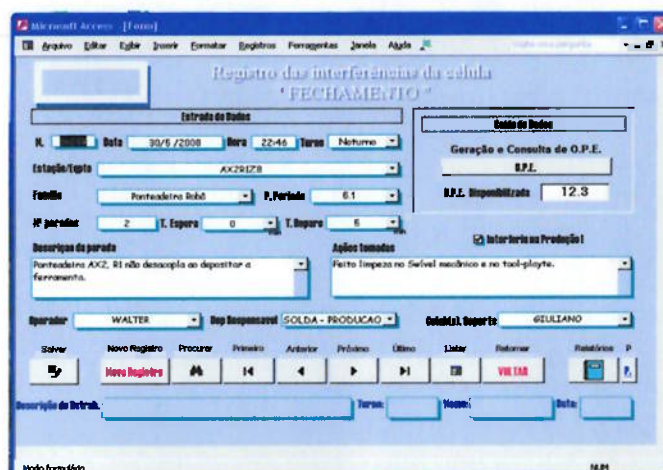


Figura 37- Página de cadastro das falhas - RICAB

Os gráficos de Pareto 10 a 12, retratam os levantamentos de falhas corretivas do grupo de máquinas ponteadeiras de jan/08 a mai/09, ocorridos no processo de solda. Os dados auxiliaram na análise e definição da política de manutenção pela MCC.

Estes gráficos foram elaborados baseados nos diagramas da árvore funcional da máquina, que mostra alguns dos sistemas, sub-sistemas e componentes que apresentaram falha no período pesquisado.

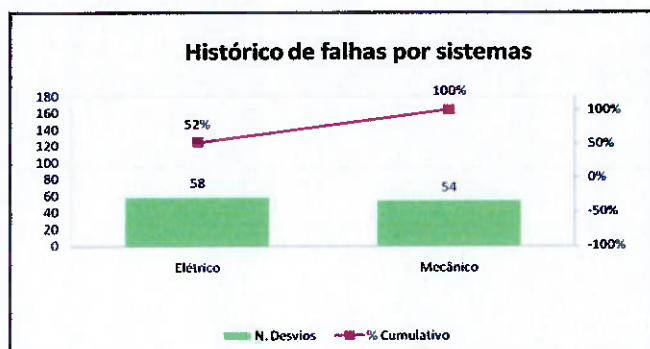


Gráfico 10- Pareto de falhas por sistemas (elétrico e mecânico)

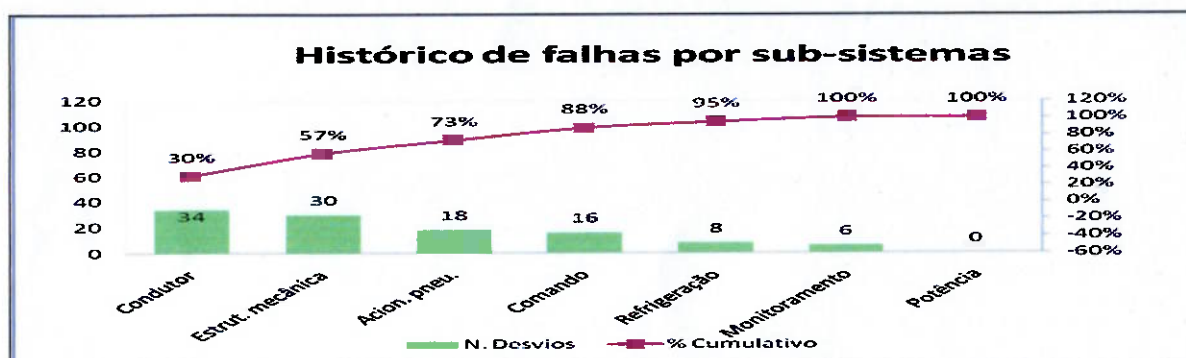


Gráfico 11- Pareto de falhas por subsistemas

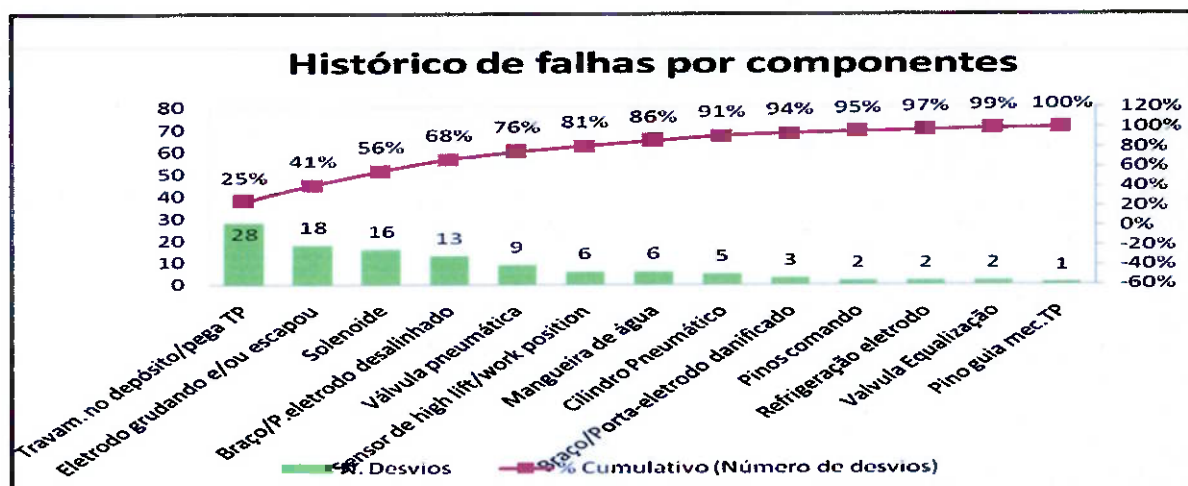


Gráfico 12- Pareto de falhas por componentes

A tabela 8-3 mostra a extratificação das principais falhas por componente, referentes ao gráfico 12, este histórico de falhas ajudou a estabelecer a política de manutenção e frequência mais adequada no estudo do fmea. Também será útil para agir em um plano de ação específico e pontual nestes casos para a empresa.

Tabela 8-3- Número de falhas por Componentes/máquina

Travam. no depósito/pega TP	N. Vezes
AX4R7Z8	7
AX1R6Z8	7
AX2R1Z8	3
AX4R4Z8	2
AX5R7Z8	2
AX4R3Z8	2
AX4R2Z8	1
AX3R5Z8	1
AX2R2Z8	1
AX3R6Z8	1
AX4R6Z8	1
	28

Eletrodo grudando e/ou escapou	N. Vezes
AX4R4Z8	4
AX3R4Z8	3
AX4R6Z8	2
AX5R6Z8	1
AX3R3Z8	1
AX4R7Z8	1
AX5R3Z8	1
AX1R6Z8	1
AX3R5Z8	1
AX1R8Z8	1
AX6R1Z8	1
AX3R6Z8	1
	18

Solenoide	N. Vezes
AX4R4Z8	3
AX1R6Z8	2
AX3R3Z8	2
AX4R2Z8	2
AX3R2Z8	2
AX2R4Z8	2
AX2R5Z8	1
AX4R6Z8	1
AX1R3Z8	1
	16

Braço/P.eletrodo desalinhado	N. Vezes
AX4R7Z8	4
AX2R4Z8	2
AX1R3Z8	1
AX3R4Z8	1
AX2R2Z8	1
AX5R2Z8	1
AX5R4Z8	1
	11

## 8.10 Distribuição de Weibull

Aplicando a distribuição de Weibull para a ponteadeira AX2R1Z8, entre os períodos de 2007 à 2008 tem-se os resultados indicados no gráfico 13.

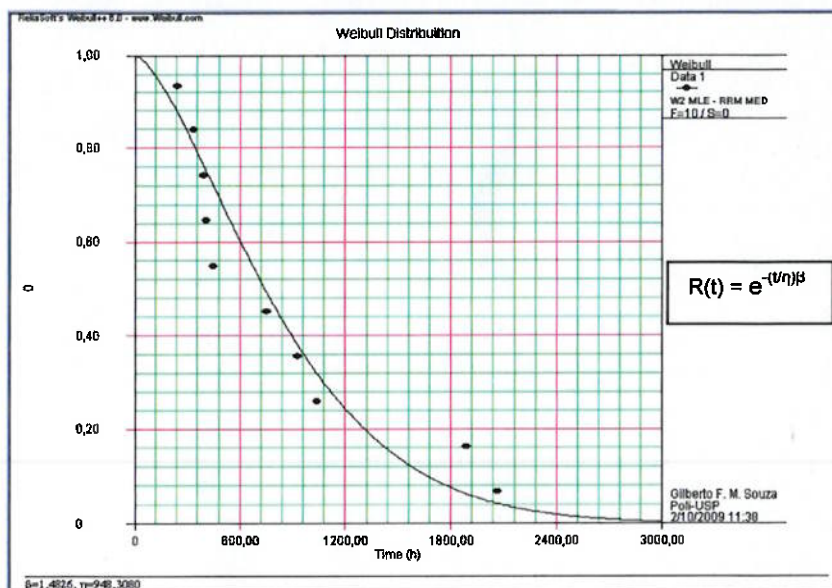


Gráfico 13- Distribuição estatística de Weibull aplicado a ponteadeira AX2R1Z8

O gráfico 13 mostra o valor de Beta = 1,48 e Eta = 948. Segundo SOUZA (2008) e KARDEC e NASCIF (2007), para o valor de Beta > 1, (Taxa de falha crescente), é indicado algumas possíveis causas: falha devido à final de vida útil, obsolescência, não há programa de manutenção, programa de manutenção inadequado, decisão gerencial de rodar até quebrar.

O diagrama de decisão da figura 39, capítulo 7.4, ilustra os critérios que foram utilizados para análise de Beta e as prováveis causas.

Portanto, a manutenção preventiva deve ser empregada quando se tem taxas de falhas crescentes, típicas de desgaste e de fadiga, este é o caso pelo que apresenta a análise de Weibull.

## 8.11 Árvore funcional

A árvore funcional é importante ferramenta na análise e entendimento do funcionamento dos sistemas intrínsecos da máquina, por ser basicamente um diagrama organizacional, torna fácil a compreensão das funções de cada componente dentro do sistema analisado. A figura 38 simboliza as entradas e saídas de uma ponteadeira.

**DIAGRAMA DE BLOCOS DE UMA PONTEADEIRA**



Figura 38- Diagrama de bloco da ponteadeira

Na figura 39, é mostrado a divisão da máquina em sistemas, sub-sistemas e componentes, que irá ajudar na análise do FMEA.

## DIAGRAMA ORGANIZACIONAL da Ponteadeira

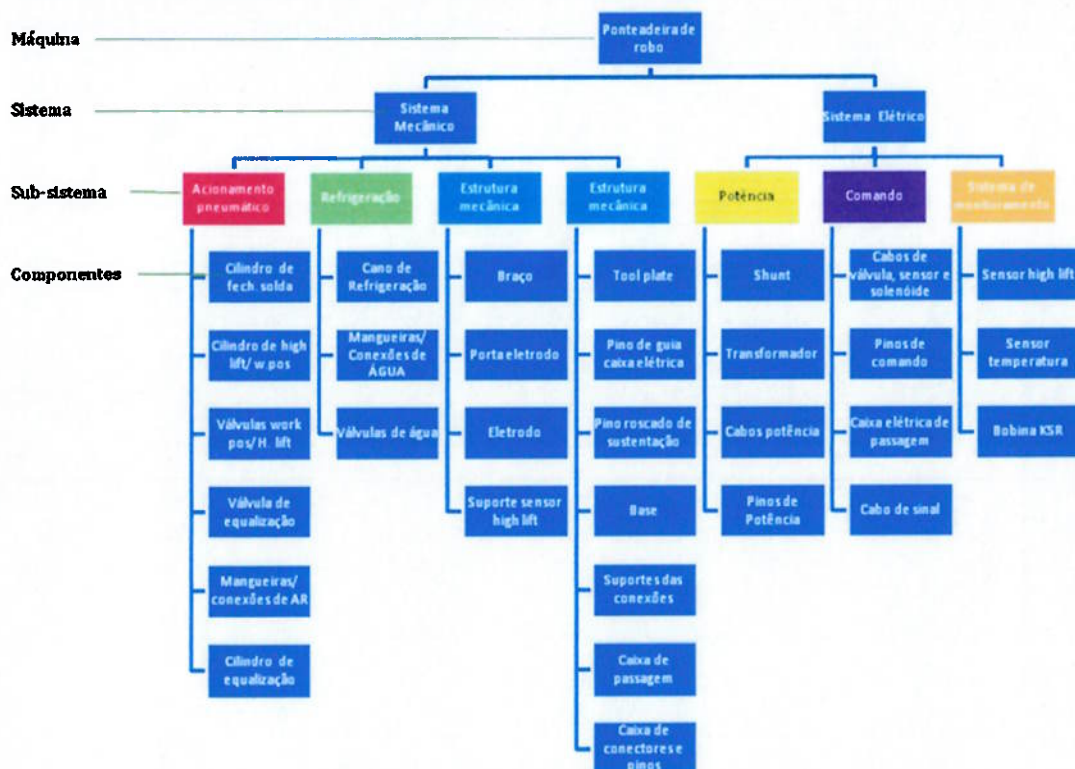


Figura 39- Diagrama organizacional da ponteadeira

A figura 39 ilustra o esquema físico e a inter-relação com outros periféricos que tanto quanto a ponteadeira influenciam diretamente o resultado da solda..

## ESQUEMA FISICO DE UMA PONTEADEIRA

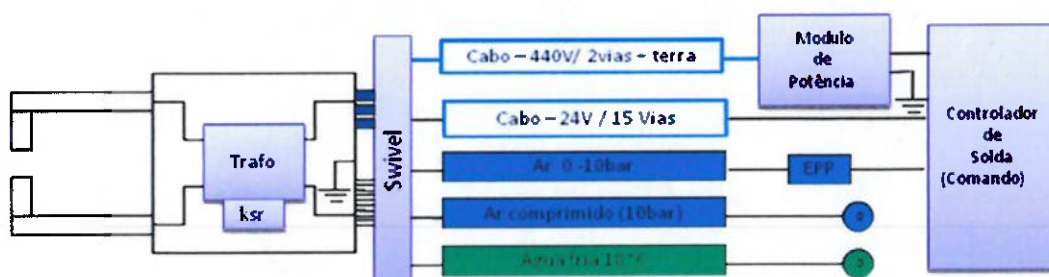


Figura 40- Esquema físico da ponteadeira

Para gerenciar a sequência de eventos para soldagem, é necessária a existência de um controlador de solda conforme figura 41, que por sua vez controla o fechamento dos eletrodos, os disparos dos tiristores, a corrente de solda, o tempo da descarga elétrica e a pressão de fixação das chapas entre os eletrodos. Para que isso ocorra, cada parâmetro, como tempo, corrente e pressão, devem ser precisamente definidos para uma soldagem com qualidade.

## DIAGRAMA GERAL DE SOLDAGEM



Figura 41- Diagrama funcional e interfaces entre Ponteadeira, Robô e Controlador de Solda

As figuras 42 a 44, mostram cada sub-sistemas de forma detalhada, foi necessário desenvolvê-los para facilitar a compreensão dos circuitos fechados e abertos, pois muitas falhas estavam relacionadas a estes circuitos.

### Diagrama de controle da máquina

#### • Circuito de controle de solda e Refrigeração (Malha fechada)

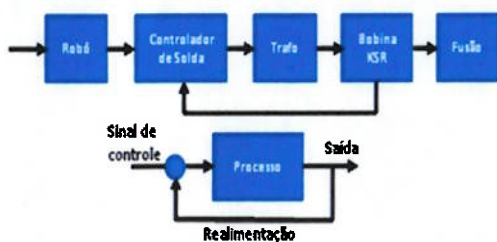


Figura 42- Diagrama de controle da corrente de solda e da Refrigeração

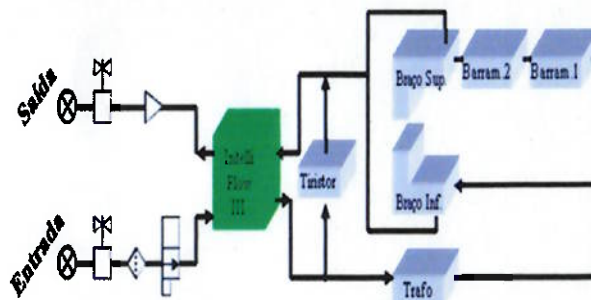


Figura 43- Esquema do circuito de refrigeração

#### • Circuito de controle de Pressão (Malha aberta)



Figura 44- Diagrama de controle de pressão



## 8.13 Análise de modo e efeito de falha - FMEA

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)												
Número de Identificação: AX2R1Z8				Elaborado por: Jean		Pág. de Pág.: Classificação ABC = A		Regime de Trabalho =		MTTR = MTBF = Dispon =		
Equipamento: Pontesdeira manipulada por robô												
Item	Sub-sistema	Componentes	Função	Tipo de falha potencial	Causa de falha potencial	Efeito / consequência de falha potencial	Forma de Detecção	Severidade	Ocorrência	Detecção	IRF	
1	Atuador Pneumático	Válvula de work position/high lift	Acionar cilindros	Travamento	Sujeira	Não avançar / recuar	Falha no display do robo	2	3	1	6	
2		Válvula de equalização	Evitar amassamento das chapas	Desregulagem / vazamento	vibração / trava solta / sujeira	Amassar painel	Amassamento da região soldada	2	6	5	60	
3		Cilindro de fechamento solda	Comprimir os eletrodos p/ soldagem	Trinca / Quebra	Desregulagem da equalização	Amassar painel	Pontos retorcidos	5	2	5	90	
4		Cilindro de work position/ high lift	Aproximar/Recuar eletrodos p/ solda	Folga	Desgaste	desalinhamento dos eletrodos	Pontos retorcidos	3	5	2	30	
5		Cilindro de equalização	Evitar amassamento das chapas	Desregulagem / vazamento	vibração / trava solta / sujeira	Amassar painel	Amassamento da região soldada	2	3	5	30	
6	Braços	Mangueiras Ar	Conduzir ar pressurizado	Vazamento	Fadiga/ colisão / esticamento	má qualidade de solda / falha na peça de ferramenta	Ruído	1	4	2	6	
7			Conduzir água p/ refrigeração		Parafusos fixação soltos	desalinhamento dos eletrodos	Pontos retorcidos	2	4	5	40	
8			Conduzir corrente elétrica	desalinhamento	Dimensões de Diam. / compr. fora do especificado	Dificuldade troca	Durante a troca prev. ou corret	1	4	1	4	
9			Suportar porta-eletrodos		Espanar rosca fixação do p. eletrodo	Desaquecimento do porta eletrodo	Pontos retorcidos	2	4	5	40	
10			Suportar os eletrodos		Defeito do material	Vazamento d'água / má qualidade de soldagem	No produto	2	3	4	24	
11	Porta-eletrodos		Conduzir água p/ refrigeração	Trinca / Vazamento	Rosca danificada	Desalinhamento	No produto	3	3	3	27	
12			Conduzir corrente elétrica		Dimensões fora do especificado	Baixa vazão água e aquecimento do eletrodo	Durante a troca prev. ou corret	1	4	1	4	
13				desalinhamento	Colisão / parâmetros de solda incorretos / má fixação	Má qualidade da solda / colagem dos eletrodos	No produto	1	6	3	16	
14					Sujeira/ Mal fixado			2	3	4	24	
15					Deficiência na refrigeração			1	4	7	28	
16	Eletrodos		Formar a geometria do ponto de solda	Grudar	Má qualidade do material	Má qualidade da solda / colagem dos eletrodos	No produto	1	2	9	16	
17					Sequência entre pressão de fechamento e disparo de corrente errada			2	5	7	70	
18			Conduzir corrente elétrica	Escapar	Angulidade dos cones inadequada			1	6	3	16	
19			Cano de refrigeração	Conduzir a água até o eletrodo	Rompimento/ vazamento	Desrosquear	Má qualidade de solda / escapar eletrodo	Falha no fluxo d'água / falha no display	3	6	5	90
20				Ertupimento/ obstrução	Danificar durante a troca de eletrodo			2	6	2	24	
21	Válvula d'água		Conduzir água entre swivel e a pontesdeira	Vazamento	Sujeira/ Mal fixada	Curto-circuito / baixa isolamento / colisão	Nenhum eficiente	2	4	6	64	
22	Mangueiras d'água		Conduzir água para refrigerar eletrodos	Vazamento	Fadiga/ colisão / esticamento	curto-circuito/ baixa isolamento nas partes elétricas	Nenhum eficiente	2	5	1	10	

Tabela 8-5- Aplicação do FMEA

23	Tool plate	Manter posicionamento da ponteadeira	Folga	desgaste / mal encaixe de pega ou depósito	mal qualidade de solda / necessidade de reprogramação	Variação na programação	2	4	8	64
24	Pino de guia caixa elétrica	Guiar encaixe entre partes	Quebra	Mal encaixe de pega ou depósito	Desalinhamento no encaixe da caixa elétrica com o tool plate / danificar pino sinal e pot.	Nenhuma	4	4	8	128
25	Pino de guia roscaado tool plate	Sustentar ponteadeira	Quebra do paraf do pino de sustentação da ponteadeira	Mal encaixe de pega ou depósito	Queda da ponteadeira	Parada no processo	7	1	1	7
26	Base	Fixar os componentes da máquina	Esparar roscas	Aperdo excessivo	Colisão/ desalinhamento	Nenhuma	2	1	7	14
27		Apoiar mancal p/ articulação dos braços	Folga nas articulações	Desgaste natural	Má qualidade de solda	No produto	4	2	5	40
28	Suporte do sensor high lift	Fixar sensor e mantê-lo na posição	Amassar	Colisão	Falha na detecção do High lift	No display do robo	1	1	1	1
29	Suporte das conexões	Fixar as válvulas d'água	Folga	Parafusos fixação soltos	vazamento d'água	Nenhuma	5	4	6	120
30	Caixa de conectores e pinos (Pontead c/ swivel)	Fixar pinos e conectores elétricos	Excesso de folga	Destravamento da porca de fixação	Deformação nos aros pino e tomadas elétricas	Nenhuma	5	2	10	100
31		Proteger as partes elétricas contra infiltração de pó e água	Umidade nos contatos	Vedação ineficiente	Leitura errada dos sinais / curto circuito	No display do robo	3	3	6	54
32	Transformador	Converter energia para solda	Não Solda	Baixa Isolação	parada do processo	Equipamento não solda	8	2	10	180
33	Cabos de potência	Conduzir energia para soldagem	rompimento/ baixa isolação	Fadiga / umidade / colisão	Curto-circuito / não soldar / queima de circuitos eletrônicos	Falha no display do robo/ desarme do disjuntor	3	1	3	9
34	Shunt	Conduzir corrente de solda, permitindo a movimentação dos braços	rompimento/ baixa isolação	Fadiga / umidade / colisão	Curto-circuito / não soldar / queima de circuitos eletrônicos	Falha no display do robo/ desarme do disjuntor	5	2	3	30
35	Pinos de potência	Conduzir energia para soldagem	Folga/ baixa isolação	Fadiga / umidade	Falha de sinal / duplo sinal	Falha no display do robo/ led das placas de I/O	3	3	3	27
36	Solenóide	Atuar válvulas	Isolamento	Tempo de uso	Válvula não atuar	Falha no display do robo	3	1	1	3
37			Queda da porca de fixação	vibração / trava solta	Válvula não atuar	Falha no display do robo	1	8	2	12
38	Cabos de válvula, sensor e solenóide	Acionar válvulas, sensores e solenóides	rompimento/ baixa isolação	Fadiga / umidade / colisão	Falha de sinal / duplo sinal / colisão da ponteadeira / queda de peça	Falha no display do robo/ led das placas de I/O	3	4	2	24
39	Caixa de passagem	Fornecer estrutura e proteção para a passagem dos sinais	Mal contato	Fio solto	Parada do processo	No display do robo	5	1	3	15
40	Cabo de sinal (TP <-> Cx Passagem)	Conduzir sinais de comando	Rompimento/ baixa isolação	Fadiga / umidade / colisão	Falha de sinal / duplo sinal / colisão da ponteadeira / queda de peça	Falha no display do robo/ led das placas de I/O	3	5	1	15
41	Pinos de comando	Conduzir sinais de comando	Baixa isolação / mal contato	Fadiga / umidade	Falha de sinal / baixa intensidade do sinal	Falha no display do robo/ falha na soldagem	4	5	3	60
42	Sensor high lift	Checar posição do braço em high-lift	Queimar	Causa aleatória	parada do processo	No display do robo	2	7	2	28
43	Sensor de temperatura	Monitorar a temperatura do braço	Queimar	Causa aleatória	parada do processo	No display do robo	2	1	1	2
44	Bobina KSR	Medir a corrente de solda no secundário	Queimar	Causa aleatória	parada do processo	No display do robo	5	2	2	20

Tabela 8-6- Aplicação do FMEA continuação.

A tabela 8-5, ilustra a aplicação do estudo da análise do modo e efeito de falha “FMEA”, para a ponteadeira AX2R1Z8. Basicamente foram respondidas as 7 perguntas da teoria apresentada no capítulo 7.6 e pontuada na coluna IRF (Índice de Risco de Falhas).

O gráfico 14 auxilia na interpretação do FMEA e apresenta de forma visual os componentes que estão na área de baixa, média e alta prioridade relacionados ao risco de falha.

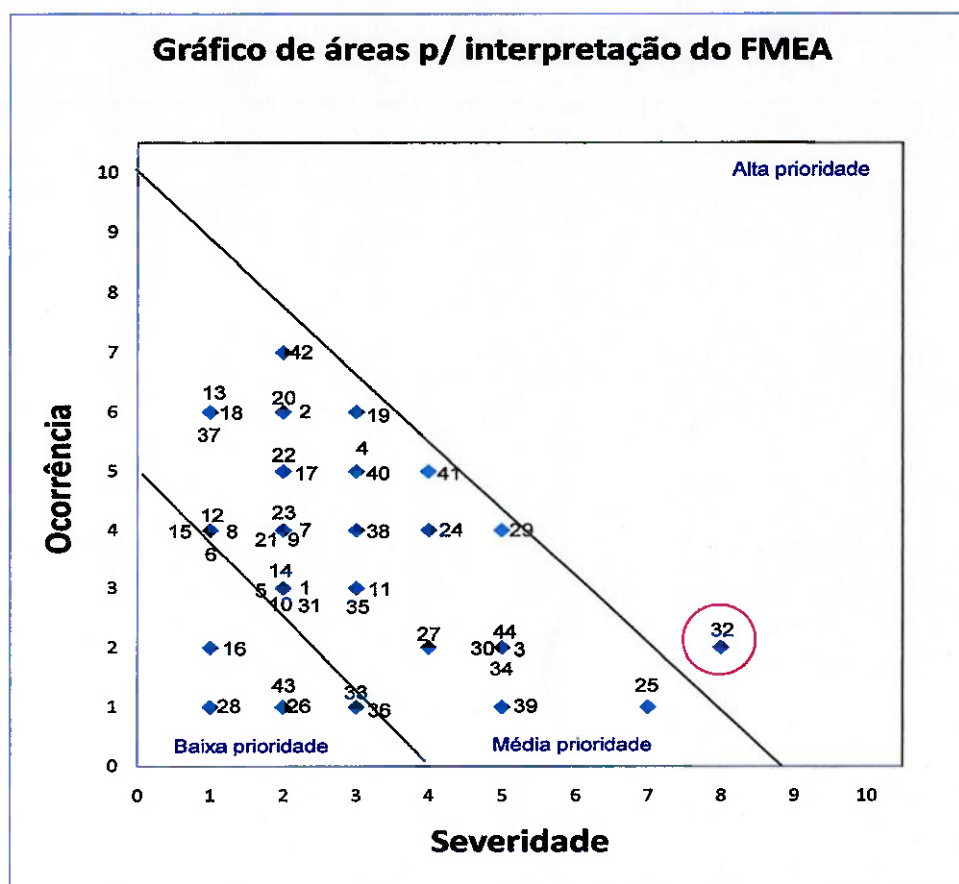


Gráfico 14- Interpretação da criticidade dos componentes

O item de alta prioridade deve ser priorizado na escolha da política de manutenção a ser adotada, para com isso aumentar a confiabilidade do equipamento.

**Item 32 – Queima do transformador devido a baixa isolamento**

A manutenção preditiva pode ser aplicada para este tipo de componente, pois é possível medir a constante dielétrica do trafo (isolação), seu valor deve estar acima de 100MΩ (valor limite), se estiver igual ou abaixo o trafo deve ser trocado preventivamente, para evitar uma manutenção corretiva, se estiver entre 100MΩ e 500MΩ, sua frequência de inspeção deve ser aumentada, a árvore de decisão do fmea de falha oculta, ajudou a determinação desta prática.

## 8.14 Política de Manutenção

Definidos os modos de falha e sua priorização, analisa-se as causas das falhas conforme figuras 28 e 29 do capítulo 7.6, a fim de selecionar a prática de manutenção mais adequada para reduzir ou eliminar o risco de falha.

Este conjunto de ações de manutenção associadas ao equipamento é denominado **política de manutenção**.

Para cada componente foi adotado uma política específica como segue:

Alta prioridade.

Item	Componente	Tipo de Manut	Frequência	Atividade
32	Transformador	Preditiva	Semestral	Medir a isolação, diminuir periodicidade quando encontrada isolação < 500MΩ e trocar com < 100MΩ
		Preventiva	Semestral	Verificar conexões hidráulicas e mangueiras quanto a vazamento

Segue na tabela 8-8 as demais práticas aplicadas a cada item analisado do fmea.

Tabela 8-7- Política de manutenção dos itens analisados

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)							
Numero de Identificação: AX2R128							
Equipamento: Ponteadeira manipulada por robô							
Item	Sub-sistema	Componentes	Controles		Tipo de Manutenção	MP / MPO	Atividade
			Prevenção	Frequência			
1	Acionamento Pneumático	Válvula de work position/high lift	Revisão	Anual	Preventiva	MP	Troca da válvula por reserva revisada
2		Válvula de equalização	Inspeção	Trimestral	Preventiva	MP	Verificar se o regulador está travado e se a ponteadeira está equalizada (vide LPP 001)
3		Cilindro de fechamento solda	Revisão	Anual	Preventiva	MP	Revisar cilindro ou trocar por reserva revisado
4		Cilindro de work position/ high lift	Revisão	Anual	Preventiva	MP	Revisar cilindro ou trocar por reserva revisado
5		Cilindro de equalização	Inspeção	Trimestral	Preventiva	MP	Verificar se o regulador está travado e se a ponteadeira está equalizada (vide LPP 001)
6		Mangueiras Ar	Inspeção	Trimestral	Preventiva	MP	Verificar vazamento, trocar se necessário
7	Refrigeração	Braços	Inspeção	Anual	Preventiva	MP	Verificar e reapertar fixações
8			Inspeção	Anual	Preventiva	MP	Verificar a superfície do encaixe
9			Inspeção	Anual	Preventiva	MP	Verificar e trocar conforme necessidade
10		Porta-eletrodos	Troca / Inspeção	Imediata/ programada	Preventiva	MP	Troca conforme quantidade de eletrodos trocados/ ou conforme detecção
11			Troca / Inspeção	Imediata/ programada	Preventiva	MP	Troca conforme quantidade de eletrodos trocados/ ou conforme detecção
12			Troca / Inspeção	Imediata/ programada	Preventiva	MP	Troca conforme quantidade de eletrodos trocados/ ou conforme detecção
13			Troca / Inspeção	Imediata/ programada	Preventiva	MP	Troca conforme quantidade de eletrodos trocados/ ou conforme detecção
14		Eletrodos	Troca / Inspeção	diária	Corretiva	MPO	Troca conforme necessidade
15			Troca / Inspeção	diária	Corretiva	MPO	Troca conforme necessidade
16			Troca / Inspeção	diária	Corretiva	MPO	Troca conforme necessidade
17			Inspeção	Semestral	Preditiva	MP	Medir atraso entre pressão máxima de fechamento de eletrodos e disparo de solda
18			Troca / Inspeção	diária	Corretiva	MPO	Troca conforme necessidade
19		Cano de refrigeração	Inspeção mensal	Conforme troca de porta ou semestral	Preventiva	MP	Verificar fixação, estado físico e comprimento do cano de refrigeração
20			Inspeção	diária	Preventiva	MPO	Verificar fixação, estado físico e comprimento do cano de refrigeração
21		Válvula d'água	Troca / Inspeção	Trimestral	Preventiva	MP	Verificar vazamento durante engate e desengate, trocar se necessário
22		Mangueiras d'água	Troca / Inspeção	Trimestral	Preventiva	MP	Verificar vazamento durante engate e desengate, trocar se necessário
23	Estrutura Mecânica	Tool plate	Troca / Inspeção	Trimestral	Preventiva	MP	Verificar a folga com o swivel, trocar acima de 5mm em 1 metro
24		Pino de guia caixa elétrica	Troca / Inspeção	Trimestral	Preventiva	MP	Verificar fixação, estado físico e trocar se estiver quebrado
25		Pino de guia roscado tool plate	Troca / Inspeção	Trimestral	Preventiva	MP	Verificar fixação, estado físico e programa de pega
26		Base	Troca / Inspeção	Trimestral	Preventiva	MP	Verificar aperto dos parafusos ou parafusos espanados
27			Troca / Inspeção	Trimestral	Preventiva	MP	Verificar Folga nas articulações
28		Suporte do sensor high lift	Troca / Inspeção	Trimestral	Preventiva	MP	Verificar aperto dos parafusos e estado físico
29		Suporte das conexões	Troca / Inspeção	Trimestral	Preventiva	MP	Verificar aperto dos parafusos e estado físico
30		Caixa de conectores e pinos (Pontead c/ swivel)	Troca / Inspeção	Anual	Preventiva	MP	Verificar fixação, folga e utilizar cola anti- vibração
31			Troca / Inspeção	Anual	Preventiva	MP	Verificar o estado físico das borrachas de vedação, trocar se necessário

Tabela 8-8- Política de manutenção dos itens analisados – continuação

32	Potência	Transformador	medição da isolamento semestral	Semestral	Preditiva	MP	Medir a isolamento, diminuir periodicidade quando encontrada isolamento < 500MΩ e trocar com < 100MΩ
			Inspeção semestral	Anual	Preventiva	MP	Verificar conexões hidráulicas e mangueiras quanto a vazamento
33		Cabos de potência	Troca / Inspeção	Anual	Preventiva	MP	Verificar estado físico, medir isolamento, encontrada isolamento < 500MΩ trocar o cabo
34		Shunt	Troca / Inspeção	Anual	Preventiva	MP	Verificar estado físico e trocar se necessário
35		Pinos de potência	Troca / Inspeção	Anual	Preventiva	MP	Verificar estado físico e trocar se necessário
36	Comando	Solenóide	Inspeção	Anual	Preditiva	MP	Verificar o campo magnético com uma chave de fenda e medir a isolamento, deve estar entre 20Mohm, trocar se necessário
37			Troca / Inspeção	Trimestral	Preventiva	MP	Verificar a fixação do anel elástico
38		Cabos de válvula, sensor e solenóide	Troca	Anual	Preventiva	MP	Trocar
39		Caixa de passagem	Troca / Inspeção	Anual	Preventiva	MP	Verificar estado físico e trocar se necessário
40		Cabo de sinal (TP <-> Cx Passagem)	Troca / Inspeção	Anual	Preventiva	MP	Verificar estado físico e trocar se necessário
41	Sistema de monitoramento	Pinos de comando	Troca / Inspeção	Anual	Preventiva	MP	Trocar
42		Sensor high lift	Troca / Inspeção	Trimestral	Preventiva	MP	Verificar estado físico e trocar se necessário
43		Sensor de temperatura	Troca / Inspeção	Trimestral	Preventiva	MP	Verificar estado físico e trocar se necessário
44		Bobina KSR	Troca / Inspeção	Trimestral	Preditiva	MP	Verificar estado físico e trocar o transformador se necessário

## 8.15 Resultados obtidos

A aplicação da ferramenta MCC sobre o estudo do grupo de máquinas Ponteadeiras automáticas, demonstrou que para alcançar melhores índices de disponibilidade e confiabilidade é necessário readequar a política de manutenção.

O gráfico 3 abaixo, ilustra e corrobora a conclusão acima, foram filtrados em cada ano as falhas ocorridas que deixaram o processo fora de operação, sendo contemplado os períodos entre os anos de 2004 à 2009, vale ressaltar que em 2009 a empresa adotou um novo sistema, porém estas informações também foram exportadas para o excel e analisadas com o mesmo critério.

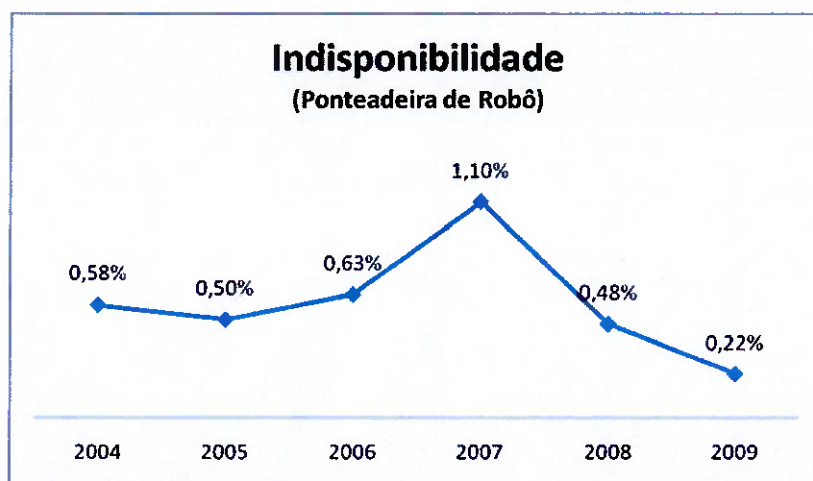


Gráfico 15- Percentual de indisponibilidade das Ponteadeiras de robô

Comparando os resultados percentuais acumulados do gráfico 16, nota-se uma oscilação do percentual da indisponibilidade, após 2005 houve um aumento da indisponibilidade chegando a 1,1%, porém em 2007 houve o retorno ao patamar de 0,48% e em 2009 até maio, o índice está em 0,22% (excelente).

Vale ressaltar que em 2008 iniciou-se um forte trabalho de manutenção condicionada, utilizando a inspeção de rotina e a inspeção com medição como base, estas práticas ajudaram a melhorar a qualidade do serviço da manutenção e aumentar a disponibilidade operacional do processol, este trabalho teve como premissa o estudo aprofundado do funcionamento dos equipamentos.

Com a aplicação da metodologia MCC, o estudo da máquina ficou mais estruturado, focado nas funções do equipamento, isto abriu a visão do grupo e auxiliou a definir novas práticas de manutenção ainda não pensadas, resultando por fim em uma nova política de manutenção.

A tabela 8-10 mostra um exemplo de inspeção preventiva utilizado na empresa, foram realizadas inspeções simples e medições com aparelhos especiais, estas ações levam as reais necessidades de substituição dos componentes, assim são trocados somente os que necessitam. Esta mudança de prática, além de otimizar os custos de manutenção, ajudou maximizar os resultados da disponibilidade.

Tabela 8-9- Exemplo de inspeção em ponteadeiras

Ponteadeiras	Tipo Gun	KIT DE REPARO CILINDRO										Piloto solen	Sensor	Cabo sensor	Cabo solenoide	Pino de polencia	Tomada de sinal	Transformador	Isolação	
		HPR01063	HPR01064	HPR01067	HPR02025	HPR05003	HPR02043	HPR01016	HPR05001	Bucha Graf	Bucha Graf	Raspador								
AX1 R01 Z01	RC				X		X			X	X	X	X	X	X	X	X	53	NM	
AX2 R01 Z01	RX	X						X					X	X	X	X	X	53	80M	
AX3 R01 Z01	RX	X						X					X	X	X	X	X	53	<1M	
AX6 R01 Z01	RC				X		X			X	X	X	X	X	X	X	X	53	30M	
AX2 R02 Z01	RX							X					X	X	X	X	X	MF	1G	
AX1 R03 Z01	RX	X						X					X	X	X	X	X	53	15M	
AX2 R03 Z01	RX	X						X					X	X	X	X	X	53	20M	
AX3 R03 Z01	RX			X				X					X	X	X	X	X	53	150M	
AX1 R01 Z06	RZ					X			X				X	X	X	X	X	75	1G	
AX2 R06 Z08	RZ					X			X				X	X	X	X	X	MF	NM	
AX6 R01 Z08	RX																			
AX1 R02 Z08	RZ					X			X				X	X	X	X	X	75	1,5G	
AX2 R02 Z08	RC												X	X	X	X	X	48	2G	
AX3 R02 Z08	RC												X	X	X	X	X	48	2G	
AX4 R02 Z08	RX			X				X					X	X	X	X	X	53	1,5G	
AX5 R02 Z08	RC												X	X	X	X	X	53	1,2G	
AX1 R03 Z08	RZ					X			X				X	X	X	X	X	75	1,5G	
AX2 R03 Z08	RC												X	X	X	X	X	48	1G	
AX3 R03 Z08	RC												X	X	X	X	X	48	1,5G	
AX4 R03 Z08	RX			X				X					X	X	X	X	X	53	2G	
AX5 R03 Z08	RC												X	X	X	X	X	53	1,5G	
AX2 R04 Z08	RC												X	X	X	X	X	48	1,5G	
AX3 R04 Z08	RC												X	X	X	X	X	48	2G	
AX4 R04 Z08	RC												X	X	X	X	X	48	1,5G	
AX5 R04 Z08	RC												X	X	X	X	X	48	1,5G	
AX2 R05 Z08	RC												X	X	X	X	X	48	1,5G	
AX3 R05 Z08	RC												X	X	X	X	X	48	850M	
AX4 R05 Z08	RC												X	X	X	X	X	48	800M	
AX5 R05 Z08	RC												X	X	X	X	X	48	1G	
AX1 R06 Z08	RX												X	X	X	X	X	48	1,5G	
AX3 R06 Z08	RC												X	X	X	X	X	32	1,5G	
AX4 R06 Z08	RC				X					X	X	X	X	X	X	X	X	48	2G	
AX5 R06 Z08	RX		X					X					X	X	X	X	X	48	2G	
AX1 R07 Z08	RX		X										X	X	X	X	X	48	1,5G	
AX3 R07 Z08	RC												X	X	X	X	X	32	1,5G	
AX4 R07 Z08	RC				X					X	X	X	X	X	X	X	X	48	2G	
AX5 R07 Z08	RX		X					X					X	X	X	X	X	48	2G	
TOTAL		4	3	3	4	4	2	10	4	4	4	4	72	36	36	72	108	9		
ESTOQUE		3	3	3	3	3	2	3	3	4	4	0	7	9	14	5	25	9		
FALTA		1	0	0	1	1	0	7	1	0	0	4	65	27	22	67	83	0		

Além da manutenção preventiva, estas atividades utilizaram os conceitos do PCM, que auxiliou no planejamento para compra de materiais e previsão dos demais recursos.

O resumo da tabela 8-9 representa a política de manutenção utilizada para o grupo de ponteadeiras antes do estudo e depois do estudo da MCC.

## Resultados ANTES da aplicação do método da MCC

Tabela 8-10- Resultados antes do FMEA

Manutenção Preventiva		Manutenção Preditiva	Manutenção Corretiva	Total
Revisão	Inspecção	Base condição	MPO	
4	5	1	5	10

RESUMO ANUAL					
	Quantidade	Periodicidade / ano	N. Intervenções / Ano	Tempo estimado hs/ int	Tempo estimado hs/ ano
Revisão anual	4	1	4	10	10
Revisão Trimestral			0		0
Inspecção Trimestral	5	4	20	2	8
Inspecção Anual			0		0
Manutenção Preditiva Trimestral			0		0
Total			24		18

Cálculo da quantidade de colaboradores para cumprir este planejamento:

Colab.Necess. = (Quant. máquinas total x Tempo est. HH/ano) / (dias úteis x HH/dia)

Quantidade de Colab. Necessário =  $(65 \times 18) / 240 \times 8 = \underline{0,61}$

## Resultado DEPOIS da aplicação do método da MCC

Tabela 8-11 - Resultados depois do FMEA

Manutenção Preventiva		Manutenção Preditiva	Manutenção Corretiva	Total
Revisão	Inspecção	Base condição	MPO	
9	27	4	5	45

RESUMO ANUAL					
	Quantidade	Periodicidade / ano	N. Intervenções / Ano	Tempo estimado hs/ int	Tempo estimado hs/ ano
Revisão anual	5	1	5	10	10
Revisão Trimestral	4	4	16	2	8
Inspecção Trimestral	16	4	64	4	16
Inspecção Anual	11	1	11	3	3
Manutenção Preditiva Trimestral	4	4	16	2	8
Total			112		45

Cálculo da quantidade de colaboradores para cumprir este planejamento:

Colab.Necess. = (Quant. máquinas total x Tempo est. HH/ano) / (dias úteis x HH/dia)

Quantidade de Colab. Necessário =  $(65 \times 45) / 240 \times 8 = \underline{1,52}$

Os resultados mostram que para executar o planejado após a aplicação do MCC, será necessário o valor 2925 Homen Hora / Ano, cuja relação é aproximadamente 1,5 ou 2 pessoas/ ano nesta atividade. Na prática atualmente é

gasto aprox. 800 Homens Hora/ano nestas atividades, o que é bem próximo das 1170 Homens Hora/ano calculadas antes da MCC.

O fator que justifica este aumento de Mão de Obra, é a diminuição do número de paradas do processo, que se pagaria com a diminuição de 30 min de paradas não planejadas por mês.

Ainda não foi possível verificar o impacto da utilização da nova política de manutenção após a MCC, porém como os baixos índices de indisponibilidade até o momento, mostram que se seguirmos o plano proposto no estudo, a tendência é de melhora em disponibilidade e confiabilidade do grupo de máquinas.

Mesmo não sendo possível medir os resultados, após a aplicação da MCC, os estudos e detalhamento das máquinas que a metodologia submeteu, como o FMEA, Weibull, Árvore funcional e modo de falhas, leva a todos os envolvidos (operadores e manutentores) à um aprimoramento da compreensão do funcionamento dos equipamentos, proporcionando uma evolução na forma de enxergar e de definir as práticas de manutenção.

Entretanto, é preciso criar as condições necessárias para que este tipo de trabalho aconteça, não basta saber, é preciso colocar em prática, com recursos humanos e materiais necessários para obtenção dos resultados desejados.

## 9. CONCLUSÃO

Para o fechamento deste trabalho, iniciarei ressaltando o salto da metodologia da Manutenção Centrada na Confiabilidade, o quanto ela pode ajudar a determinar o melhor método de manutenção, desmistificando a pergunta de qual prática é melhor, agora sabemos que a melhor prática, é o “mix” de práticas, ou seja, o melhor sistema de manutenção é aquele adequado a sua própria instalação industrial.

Percebo que esta nova era de engenharia de manutenção chegou para ficar, as empresas estão percebendo que investir em uma manutenção mais qualificada traz bons resultados e lucros. O mercado está evoluindo muito rápido, as pessoas estão exigindo mais dos produtos e serviços que compram, a competitividade está em alta e para as empresas sobreviverem neste meio é necessário ser competitivo e para isto é preciso ser eficiente e eficaz para otimizar os custos das organizações.

A manutenção tem em mãos um grande potencial para ajudar o setor produtivo a se tornar mais eficiente, produtivo e lucrativo, tem condições de maximizar a disponibilidade e vida útil de seus bens ao menor custo possível, respeitando o meio ambiente e a segurança de seus funcionários.

Os diversos métodos de gestão me ajudaram junto com minha equipe a por em prática planejamentos simples como as manutenções condicionais e com isso a obter resultados rápidos e satisfatórios, com o mesmo quadro de efetivo em pouco espaço de tempo, conseguimos ser mais assertivos quanto a priorização dos equipamentos que estavam com probabilidade alta de falha. Ajustes no plano de manutenção sempre serão necessários, pois o ciclo PDCA lembra, para sempre checar os resultados e agir no planejamento, esta é a base da melhoria contínua.

Um fator importante que gostaria de destacar é o relato de TAVARES (2008), dizendo que a manutenção é a única função operacional que influencia e melhora os três fatores determinantes do desempenho industrial ao mesmo tempo, são: o custo, o prazo e a qualidade de produtos e serviços.

Foi muito satisfatório os resultados alcançados e o conhecimento adquirido, basta agora colocar em prática para ajudar a empresa e o Brasil a crescer.

Para finalizar este trabalho vou mencionar a frase de ROSA (2006), adaptado de PINTO & XAVIER (2001) que diz, “a principal função da manutenção é diminuir a necessidade de fazer manutenção”.

## **10. RECOMENDAÇÕES**

Recomenda-se para trabalhos futuros :

- Estudar o impacto da aplicação da metodologia MCC nos custos de manutenção para a família de ponteadeiras comparando o retorno frente diminuição da indisponibilidade;
- Aplicar a MCC aos demais equipamentos da curva ABC, para aumentar a disponibilidade e confiabilidade dos mesmos e de todo o processo;

## 11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Kardec, Alan; Nascif, Júlio. **Manutenção Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2007.

Xenos, Harilaus G., **Gerenciando a Manutenção Produtiva**, iNDG, 2004;

Tavares, Lourival., **Administração Moderna da Manutenção**, Novo Pólo Publicações, 2008;

Slack, N.; Chambers, S.;Jonhston, R., **Administração da Produção**, 2º Edição, São Paulo, Editora Atlas 2008

Souza, G.F.M.; **Apostila técnicas de manutenção para qualidade total**. São Paulo: PECE-USP, 2007.

Calegare, Álvaro J.A.**Os mandamentos da qualidade total**. Edição 2005, São Paulo, Editora Epse

Rosa, Eurycibiades B. **Indicadores de desempenho e sistema ABC**. Tese de doutorado, São Paulo, 2006

Siqueira, Iony P. **Manutenção Centrada na Confiabilidade**, São Paulo, 2005

ABNT NBR 5462. **Norma Regulamentadora**, 1994

Pinto & Xavier. **Benchmarking na Gestão Estratégica da Manutenção**, 2001

ARO, **Manual do fabricante** , 1993 [www.arotechnologies.com](http://www.arotechnologies.com)

AURÉLIO B. H., **Novo Dicionário da Língua Portuguesa**, editora Nova Fronteira, 1995.

Vaurio J. K., **Reliability and Nuclear Engineering**, 1997.

NAGAO S.K. **Manutenção Industrial, Análise, Diagnóstico e Propostas de Melhorias de Performance em Indústrias de Processo**. Departamento de Engenharia de Produção da escola Politécnica de São Paulo, a998, 219p (Dissertação de Mestrado).

ABRAMAN.-**Associação Brasileira de Manutenção**. Rio de Janeiro 2009  
[www.abraman.org.br/](http://www.abraman.org.br/)

Banco de dados RICAB da Montadora A