

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**Campus Ponta Grossa**

**GILBERTO CARLOS KOSUIRESKO**

**MONOGRAFIA**

**PONTA GROSSA**

**2013**

	<p style="text-align: center;">Ministério da Educação UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ CAMPUS PONTA GROSSA Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação Curso de Especialização em Engenharia de Produção</p>	
---	--	---

## TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

**ESTUDO DE CASO DE APLICAÇÃO DE ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE**

por

**Gilberto Carlos Kosulresko**

Esta monografia foi apresentada no dia 07 de dezembro de 2013 como requisito parcial para a obtenção do título de ESPECIALISTA EM ENGENHARIA DA PRODUÇÃO. O candidato foi argüido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

**Luis Mauricio Resende**

Lourival Aparecido de Góis  
Orientador

Visto do Coordenador:

---

**Luis Mauricio Resende**  
Coordenador  
UTFPR – Câmpus Ponta Grossa



Ministério da Educação  
 Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
 Pró-Reitoria de Graduação e Educação Profissional  
 Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
 Sistema de Bibliotecas

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO DE TRABALHOS DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO E ESPECIALIZAÇÃO, DISSERTAÇÕES E TESES NO PORTAL DE INFORMAÇÃO E NOS CATÁLOGOS ELETRÔNICOS DO SISTEMA DE BIBLIOTECAS DA UTFPR**

Na qualidade de titular dos direitos de autor da publicação, autorizo a UTFPR a veicular, através do Portal de Informação (PIA) e dos Catálogos das Bibliotecas desta Instituição, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9.610/98, o texto da obra abaixo citada, observando as condições de disponibilização no item 4, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, visando a divulgação da produção científica brasileira.

1. Tipo de produção intelectual: ( ) TCC<sup>1</sup> (x) TCCE<sup>2</sup> ( ) Dissertação ( ) Tese

2. Identificação da obra:

Autor<sup>3</sup>: Gilberto Carlos Kosuieresko

RG<sup>3</sup>: 5961089 9 CPF<sup>3</sup>: 83043543904 Telefone<sup>3</sup>: (42) 99721851

e-mail<sup>3</sup>: gilberto.kosuieresko@yahoo.com.br

Curso/Programa de Pós-graduação: Engenharia de Produção

Orientador: Lourival Aparecido Gois

Co-orientador: \_\_\_\_\_

Data da defesa: 07/12/2013

Título/subtítulo (português): O ESTUDO DE CASO DE APLICAÇÃO DE ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE.

Título/subtítulo em outro idioma: MAINTENANCE RELIABILITY CASE STUDY APPLICATION.

Área de conhecimento do CNPq: \_\_\_\_\_

Palavras-chave: ; RCM (Reliability Centred Maintenance). MCC (Manutenção Centrada na Condição). TPM (Total Production Managment). Confiabilidade. Melhoria contínua.

Palavras-chave em outro idioma: RCM (Reliability Centred Maintenance). TPM (Total Production Managment). Reliability. Continuous Improvement

3. Agência(s) de fomento (quando existir): \_\_\_\_\_

4. Informações de disponibilização do documento:

Restrição para publicação: ( ) Total<sup>4</sup> ( ) Parcial<sup>4</sup> (x) Não Restringir

Em caso de restrição total, especifique o por que da restrição: \_\_\_\_\_

Em caso de restrição parcial, especifique capítulo(s) restrito(s): \_\_\_\_\_

30/04/2014  
 Local e Data

Gilberto Carlos Kosuieresko  
 Assinatura do Autor<sup>3</sup>

\_\_\_\_\_  
 Assinatura do Orientador

<sup>1</sup> TCC – monografia de Curso de Graduação.

<sup>2</sup> TCCE – monografia de Curso de Especialização.

<sup>3</sup> Para os trabalhos realizados por mais de um aluno, devem ser apresentados os dados e as assinaturas de todos os alunos.

<sup>4</sup> A restrição parcial ou total para publicação com informações de empresas será mantida pelo período especificado no Termo de Autorização para Divulgação de Informações de Empresas. A restrição total para publicação de trabalhos que forem base para a geração de patente ou registro será mantida até que seja feito o protocolo do registro ou depósito de PI junto ao INPI pela Agência de Inovação da UTFPR. A íntegra do resumo e os metadados ficarão sempre disponibilizados.



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
 Pró-Reitoria de Graduação e Educação Profissional  
 Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
 Sistema de Bibliotecas

## DECLARAÇÃO DE AUTORIA

Autor<sup>1</sup>: Gilberto Carlos Kosuiresko

CPF<sup>1</sup>: 83043543904 Código de matrícula<sup>1</sup>: 00800872

Telefone<sup>1</sup>: (42) 99721851 e-mail<sup>1</sup>: gilberto.kosuiresko@yahoo.com.br

Curso/Programa de Pós-graduação: Engenharia de Produção (PPGEP)

Orientador: Lourival Aparecido Gois

Co-orientador: \_\_\_\_\_

Data da defesa: 07/12/2013

Título/subtítulo: O ESTUDO DE CASO DE APLICAÇÃO DE ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE

Tipo de produção intelectual: ( ) TCC<sup>2</sup> (x) TCCE<sup>3</sup> ( ) Dissertação ( ) Tese

Declaro, para os devidos fins, que o presente trabalho é de minha autoria e que estou ciente:

- dos Artigos 297 a 299 do Código Penal, Decreto-Lei nº 2.848 de 7 de dezembro de 1940;
- da Lei nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, sobre os Direitos Autorais,
- do Regulamento Disciplinar do Corpo Discente da UTFPR; e
- que plágio consiste na reprodução de obra alheia e submissão da mesma como trabalho próprio ou na inclusão, em trabalho próprio, de idéias, textos, tabelas ou ilustrações (quadros, figuras, gráficos, fotografias, retratos, lâminas, desenhos, organogramas, fluxogramas, plantas, mapas e outros) transcritos de obras de terceiros sem a devida e correta citação da referência.

  
 \_\_\_\_\_  
 Assinatura do Autor<sup>1</sup>

30/04/2014  
 \_\_\_\_\_  
 Local e Data

<sup>1</sup>Para os trabalhos realizados por mais de um aluno, devem ser apresentados os dados e as assinaturas de todos os alunos.

<sup>2</sup>TCC – monografia de Curso de Graduação.

<sup>3</sup>TCCE – monografia de Curso de Especialização.

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**Campus Ponta Grossa**

**GILBERTO CARLOS KOSUIRESKO**

**MONOGRAFIA**

**ESTUDO DE CASO DE APLICAÇÃO DE ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE**

Monografia , apresentado como requisito parcial para o programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, sob orientação do Profº Lourival Aparecido de Gois

**PONTA GROSSA**

**2013**

## RESUMO

Ao passar dos anos, o conceito de manutenção tem mudado, talvez mais do que qualquer outra área de gerenciamento. As mudanças dão-se devido ao enorme crescimento no número e variedades das instalações, equipamentos e construções em geral, que devem ser conservados por técnicas de manutenção. Os *designs* são cada vez mais complexos e as novas técnicas de manutenção alavancam a necessidade de inovações e gerenciamento da manutenção.

Este trabalho tem por objetivo apresentar um estudo de caso de implantação de Manutenção Centrada na Confiabilidade aplicada a um determinado equipamento de uma empresa que tem a metodologia de TPM, *Total Production Management* totalmente implantada. Será abordado neste estudo a análise de viabilidade de melhoria contínua proposto pelo TPM para a aplicação de MCC, (Manutenção Centrada em Confiabilidade).

A linha de produção estudada neste trabalho apresenta baixa taxa de falhas e altíssimo desempenho de produção, porém, devido ao objetivo de atingir excelência, acredita-se e exige-se que o conceito de zero quebra seja atingido neste ambiente. A implantação de Manutenção Centrada na Confiabilidade ou RCM (*Reliability Centred Maintenance*) é o método utilizado em empresas modelos em manutenção com conceitos preditivos, tais como as aeroespaciais.

O estudo tem foco na ambição natural das empresas atuais que é atingir zero perda e máxima produtividade. Em que contexto isto é possível? Qual a ferramenta ideal a ser aplicada? O que é confiabilidade de sistemas? Como atingir zero quebra?

A otimização nos resultados visa que o retorno financeiro e os benefícios previstos na implantação da engenharia de manutenção proposta pela ferramenta MCC ocorram de acordo com o esperado.

**Palavras Chaves** – RCM (*Reliability Centred Maintenance*). MCC (Manutenção Centrada na Condição). TPM (*Total Production Management*). Confiabilidade. Melhoria contínua.

## ABSTRACT

Actually the conception of maintenance has been changing, may be more than every other management areas. The changes are because of the huge progress and variety of the installations, assets and buildings that must be kept by maintenance techniques. The designs are much more complex and the new technology encourages the necessity of innovation among management and techniques of maintenance.

The objective of this work is to present a Reliability Centred Maintenance implementation study of case, applied at a production line in one enterprise that has TPM (Total Productive Management) implanted. Also this work will analyse if this continuous improvement environment which is the TPM proposal is ideal for RCM implementation.

The studied production line at this work presents low failure rate and high production performance, although, due to the aim to achieve the excellence award, it is believed that zero breakdown can be a reality. The RCM implementation is the most used method by benchmark companies in predictive maintenance as well as the aircraft manufactures ones.

The studies focus in the company's natural ambition to achieve zero defects and maximum productivity. Is it possible? What is the best tool? What is an ideal tool? What does reliability mean?

The optimization of the results aims the payback and benefits, with the introduction of the reliability engineering proposed by RCM, occurs according to the awaited.

**Key Words** – RCM (Reliability Centred Maintenance). TPM (Total Production Management). Reliability. Continuous Improvement.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>08</b>
1.1. OBJETIVO GERAL.....	12
1.2. OBJETIVO ESPECÍFICO.....	12
1.3. ESTRUTURA DO PROJETO.....	12
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 O CONCEITO DE CONTROLE TOTAL DA PRODUÇÃO – TPM.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 NECESSIDADE DE APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS AVANÇADAS EM UM AMBIENTE DE MELHORIA CONTÍNUA.....</b>	<b>17</b>
<b>2.4. A IMPLANTAÇÃO DE RCM RELIABILTY CENTRED MAINTENANCE.....</b>	<b>18</b>
2.4.1 O QUE É MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE.....	18
2.4.2 CONCEITO DO RCM.....	23
2.4.3. CONCEITOS DE CONFIABILIDADE.....	25
<b>2.4.3.1. Conceito de Falha .....</b>	<b>25</b>
<b>2.4.3.2. Confiabilidade.....</b>	<b>26</b>
<b>2.4.3.3. Indicadores Chave de Desempenho.....</b>	<b>26</b>
2.4.4. DIRETRIZES PARA IMPLEMENTAÇÃO.....	27
2.4.5 EM QUAL CONTEXTO DEVE SER APLICADO O RCM?.....	28
2.4.6 A EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO.....	29
2.4.7 FUNÇÃO DA MANUTENÇÃO NA VISÃO DO RCM.....	31
2.4.8 AS FASES DO RCM.....	31
<b>2.4.8.1. Seleção do sistema e coleta de informações.....</b>	<b>31</b>
<b>2.4.8.2. Descrição do sistema.....</b>	<b>33</b>

<b>2.4.8.3. FMECA - esquema informativo.....</b>	<b>35</b>
<b>2.4.8.4. Diagrama Decisional.....</b>	<b>39</b>
<b>2.4.8.5. Esquema Decisional.....</b>	<b>40</b>
<b>2.4.8.6. Plano de Manutenção.....</b>	<b>43</b>
<b>3. ESTUDO DA APLICAÇÃO DO RCM.....</b>	<b>44</b>
3.1 EMPRESA PESQUISADA.....	45
3.2 SÍNTESE DO PROBLEMA.....	46
3.3 PLANEJAMENTO DAS ATIVIDADES GERADAS.....	52
<b>4. CONCLUSÃO.....</b>	<b>53</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>54</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O contexto atual das grandes empresas tende à missão única de produzir de forma sustentável e lucrativa. Os objetivos corporativos tendem a operar com liderança em seu ramo de atuação com forte desempenho e adicionando constantemente valor ao cliente, com flexibilidade, soluções inovadoras e um engajamento contínuo.

Também ter como característica a flexibilidade para aceitar os desafios e rapidamente responder às mudanças, ainda, melhorar com criatividade os processos existentes para sustentar o negócio vislumbrando o sucesso contínuo e sólido.

Soluções inovadoras devem ser construídas com idéias e conhecimento para novas e melhores desempenhos. Ser cada vez melhor a todo o momento e sempre comprometidos com a qualidade do produto e serviços.

A inovação e o pioneirismo devem enfatizar que não é uma boa prática ser seguidos apenas o caminho da criatividade e inovação, mas marcar a história como referências.

As grandes corporações atuais olham para o futuro com foco nas pessoas através do desenvolvimento, engajamento e dando responsabilidades. Desta forma se comportam como incubadoras de talentos internos a serem aproveitados vastamente dentro do próprio grupo.

A parceria com os clientes e fornecedores são chaves para sustentar a fidelidade dos negócios mesmo em épocas de crises.

Neste ínterim as empresas buscam metodologias e filosofias de trabalho que proponham inovações e controle total.

As economias emergentes de destaque (Brasil, China, Índia, Rússia) estão entre os países mais dinâmicos do mundo. Recentemente, o Brasil ultrapassou o Reino Unido e agora ocupa o 6º lugar entre as maiores economias do globo.

PIB 2011\* e 2012\*\* (US\$ trilhões e % a.a.)

	PIB de 2011*, em US\$ trilhões	Crescimento do PIB em 2012**, em % a.a.
Estados Unidos	15,1	1,8
China	7,0	8,2
Japão	5,9	1,7
Alemanha	3,6	0,3
França	2,8	0,2
Brasil	2,6	4,5
Reino Unido	2,5	0,6
Itália	2,2	-2,2
Rússia	1,9	3,3
Índia	1,8	7,0

Dados em: 2011: US\$ trilhões, 2012: % a.a.

\* PIB de 2011: FMI

\*\* Crescimento do PIB em 2012: WEO/FMI atualizado em janeiro de 2012. Para o Brasil, estimativas do Ministério da Fazenda

Fonte: FMI e The Economist

Elaboração: Ministério da Fazenda

Figura 01: Gráfico PIB 2011 e 2012 Unidade em US\$ trilhões e % a.a.  
Fonte: FMI e The Economist. Elaboração: Ministério da Fazenda

O cenário Mundial vem apresentando uma nova revolução na tecnologia de comunicação e informação desta forma a redução dos custos de transporte por multimodalidade a redução de barreiras comerciais vem sendo um busca constante. A implementação de novos modelos de negócios em escala global, e uma série de outras inovações em processos, políticas e tecnologias vem sendo a atual tendência. Nos últimos 20 anos, os mercados globais tornaram-se mais integrados e como consequência expandiu brutalmente o fluxo de bens, serviços e capitais entre os países, envolvendo milhares de novas empresas no mundo dos negócios internacionais e as mudanças nos papéis das diversas economias nacionais, como a China, Índia e Brasil, desta forma não é esperado apenas um ambiente internacional competitivo para a integração no papel dos líderes em diversos mercados, é esperado também que as estratégias de boas práticas de produtividades sejam compartilhadas. Neste ínterim, as técnicas avançadas como TPM (*Total Production Management*) e RCM (*Reliability Centred Maintenance*) são um exemplo claro.

Se considerarmos a globalização como uma rede de relações entre as empresas de todos os tipos em diferentes países, as oportunidades para melhorar a desempenho de seus produtos, a fim de identificar formas de aumento de qualidade e produtividade de seus processos bem como métodos para aumentar a rentabilidade de seus ativos são inúmeras. Sempre tendo como base que a disponibilidade de fornecedores e satisfação dos clientes ao redor do mundo sejam cada vez mais padronizadas. É impossível sustentar estratégias competitivas entre as empresas, independentemente da sua dimensão e foco, independentemente dos

perigos e oportunidades, decorrente de relações com o ambiente internacional sem que haja uma integração e compartilhamento de padrões mínimos aceitáveis.

Esse cenário reflete para economia globalizada das empresas brasileiras, especialmente as pequenas e médias, um grande desafio: Se organizar quanto às ameaças dos mais distantes países concorrentes que competem conosco agora em nossos mercados e, ao mesmo tempo, defender e aproveitar como grande oportunidade de crescimento a variedade de formas de gerar novos mercados, fornecedores, conhecimento, tecnologias, relações humanas e outros recursos e interferências que podem acessar o ambiente internacional.

Na verdade, a resposta a este desafio é o desenvolvimento da economia e suas habilidades profissionais em um ambiente internacional de trabalho competitivo como exportadores de produtos finais ou intermediários, como importadores de matérias-primas, componentes e sistemas ou como operadores de unidades estratégicas de negócios em todos os setores montagem, fabricação, vendas, serviços, compras, etc.

Como o mercado interno está aquecido, há uma grande oportunidade para as empresas brasileiras se internacionalizarem, enquanto as mudanças no sistema de exportação o qual o governo está incentivando o crescimento. Então, "não podemos perder o trem da história", que pode mover-se muito rapidamente.

Diante de um ambiente altamente competitivo, com seus conceitos de logística eficiente, tem-se desenvolvido de forma intensa a necessidade das empresas melhorarem continuamente seus processos. Isto para atender à crescente demanda cada vez mais exigente em termos de tempo e qualidade.

No entanto, dada a escassez de recursos naturais, um fator muito importante que deve ser também uma vertente ampla ao foco de estudos para as empresas que tem como ambição serem competitivas é a de liderar mercados de seus segmentos. Neste contexto, o foco é o de trabalhar com soluções de negócios englobando principalmente a satisfação dos usuários finais. Este trabalho tem como objetivo estudar a busca de desenvolvimento sustentável, reduzindo os custos, que é também um dos novos cenários do mercado atual.

O fato econômico que marcou o cenário global em 2011 foi o enfraquecimento das economias avançadas e a constatação de que a recuperação continuará lenta por mais alguns anos, dada a complexidade dos desequilíbrios financeiros europeus.

Como resultado, o FMI reduziu o crescimento econômico projetado para o mundo 3,3% em 2012, contra a previsão anterior de 4%. Com a contração esperada do PIB na área do euro (-0,5% em 2012) e um baixo crescimento em os EUA (1,8%), estima-se um acréscimo de apenas 1,2% nos países avançados, em comparação com 5,4% nas economias emergentes. No curto prazo, embora não haja uma alta concentração de dívida com vencimento em grandes economias europeias no primeiro semestre de 2012, o que ocorreu foi uma situação confortável. No médio prazo, o cenário é o crescimento econômico no mundo impulsionado pelo dinamismo dos mercados emergentes, incluindo o Brasil.

### Perspectiva de crescimento dos países do G20



Figura 02: Gráfico PIB Perspectiva de Crescimento dos Países G20  
 Fonte: FMI, IBGE e Ministério da Fazenda. Elaboração: Ministério da Fazenda

A proposta deste trabalho é um estudo de caso de uma empresa do ramo de embalagem que aplica uma metodologia de trabalho TPM a fim de otimizar a produtividade a níveis ideais e garantir a liderança no seu nicho de mercado. O foco é o Pilar de Manutenção Planejada em um projeto desenvolvido nesta empresa, sendo que este pilar é um dos oito considerados básicos dentro da metodologia TPM.

#### 1.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é analisar a aplicação da metodologia de manutenção centrada na confiabilidade, em um processo específico da empresa

pesquisada, como forma de gerenciar a sua implantação, visando antecipar problemas que possam ocorrer ao longo do mesmo e minimizar os seus efeitos, seja em relação ao prazo de execução, ao custo e também na obtenção dos resultados referentes ao aumento de eficiência e redução de perdas dentro do prazo planejado.

Abordar conceitos relativos à metodologia do pilar de manutenção planejada do programa TPM abrangendo as suas premissas e boas práticas de implantação como um alicerce para sua execução.

## 1.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

A proposta deste trabalho é um estudo de caso de uma empresa que aplica uma metodologia de melhoria contínua e que está consolidada e com níveis de perdas baixas e sobre controle. Desta forma tem por objetivos específicos:

- Analisar como era a situação antes da aplicação do RCM.
- Por que motivo a empresa empregou o RCM para atingir seus objetivos.
- Verificar quais os problemas encontrados durante as fases de aplicação do programa e como esses problemas podem ser evitados em implantações futuras.
- Avaliar a eficácia da implantação do programa após a execução das ações geradas.

## 1.3. ESTRUTURA DO PROJETO

O projeto será composto por:

### 1.3.1 introdução

Onde foi apresentado de forma sucinta a importância do assunto a ser abordado neste trabalho e também identificado os objetivos gerais e específicos do mesmo.

### 1.3.2. O conceito de controle total da produção – TPM

Onde será abordada a teoria de manutenção produtiva total, usando-se para isso a pesquisa bibliográfica.

### 1.3.3. Necessidade de aplicação de ferramentas avançadas em um ambiente de melhoria contínua

Onde será abordada a teoria sobre essa metodologia e as premissas para a sua aplicação.

#### **1.3.4. A implantação de RCM – Reliability Centred Maintenance**

Neste tópico será apresentada uma visão geral e histórica do programa de manutenção centrada em confiabilidade.

#### **1.3.5. Estudo da aplicação do RCM**

Onde será apresentado um estudo de caso da aplicação da metodologia de RCM em um projeto executado em uma empresa mostrando como foi a sua implantação e quais os pontos que afetaram positivamente ou não no seu resultado.

#### **1.3.6. Conclusão**

Onde serão apresentadas as considerações finais avaliando a aplicação e seus efeitos no resultado da empresa.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 O CONCEITO DE CONTROLE TOTAL DA PRODUÇÃO - TPM**

O TPM, é um conceito primeiramente usado no Japão nos anos 80 como uma maneira de melhorar o desempenho das companhias. A criação de indicadores-chaves de desempenho servem para medir e comparar a eficiência operacional entre companhias e até mesmo filiais por filiais.

TPM idealmente prega o aumento contínuo da satisfação do cliente alavancando assim a competitividade no mercado.

O conceito de TPM engloba competitividade, mas somente se isso for entendido e adotado através da organização.

A função do TPM é pregar uma nova metodologia aonde depende principalmente da mudança da maneira de pensar das pessoas, só desta forma será possível começar a fazer mudanças nos processos.

São exemplos de KPIs, (*Key Performance Indicators*):

- Reclamações do cliente- O foco é na qualidade
- Precisão das entregas

- Volume de produção
- Eficiência dos Equipamentos de produção
- Valor de custo operacional
- Perdas
- Ativos fixos
- Investimentos
- Acidentes
- Sugestões de melhoria.

A definição de TPM para Suzuki (1994), é que: visto que as atividades precoces de TPM eram alvo nos departamentos de produção, TPM originalmente foi definido pelo JIPM (*Japan Institute of Plant Maintenance*) de forma a incluir as seguintes cinco estratégias:

- maximizar a eficácia do equipamento em geral;
- Estabelecer um sistema compreensivo de MP (Manutenção Planejada), cobrindo a duração do equipamento;
- Envolver todos os funcionários desde gerenciamento até operários;
- Envolver todos os departamentos
- Promover MP através de gerenciamento de motivação. O grande exemplo é o conceito de Manutenção Autônoma e pequenos grupos de trabalho.

Agora, entretanto, TPM é aplicado por muitas organizações e em muitos departamentos de pré-produção e de desenvolvimento de produtos e também em departamentos administrativos e de vendas. Para refletir sobre essa tendência, o JIPM introduziu uma nova definição de TPM em 1989.

A forma utilizada é o melhoramento dos métodos de manufatura, utilizando e efetuando manutenção em equipamentos. Seu propósito é maximizar a eficiência dos sistemas de produção de uma maneira abrangente.

Para melhor gerenciar as atividades do TPM, o mesmo é dividido em Pilares, desta forma, para Suzuki (1994), os oito Pilares da Manutenção Produtiva Total são:

- Melhorias focadas;
- Manutenção Autônoma
- Manutenção planejada
- Educação e treinamento
- Gestão antecipada

- Manutenção da qualidade
- Departamento administrativo (*Office*)
- Segurança e meio ambiente

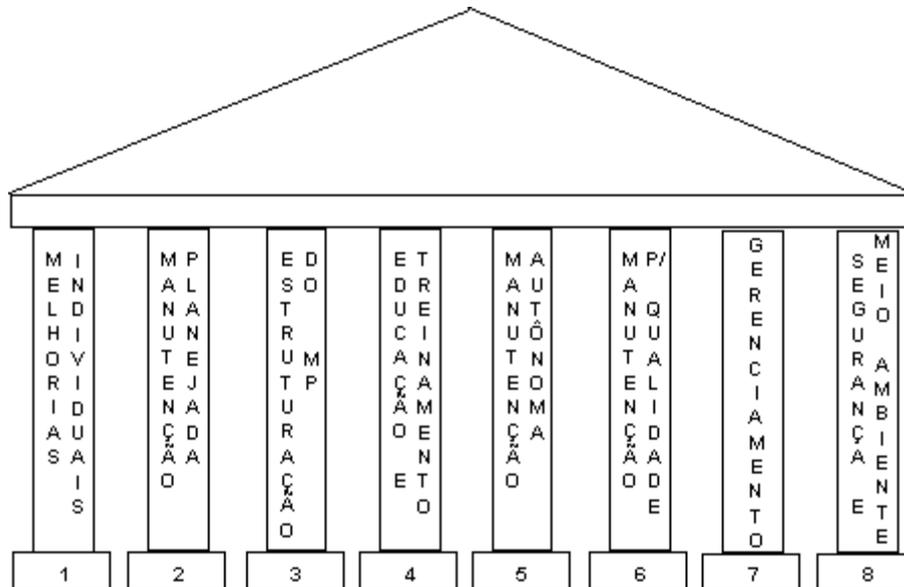


Figura 3: Estrutura de Pilares do TPM

Fonte: Suzuki, Tokutaro. TPM in Process Industries. Portland (OR - USA) Productivity Press, Inc., 1994, p. 12.

O estudo de caso proposto visa a aplicação de melhoria contínua em um cenário em que as perdas de uma determinada linha vem afetando negativamente o desempenho da empresa devido a geração de refugos, perda de produtividade e material de má qualidade devido a falta de confiabilidade do equipamento.

Será avaliado como a aplicação da metodologia TPM somado de suas ferramentas de avançadas veio a trazer o entendimento da situação atual, restaurar as condições básicas estabelecer as condições ótimas e propor melhorias a fim de atingir o objetivo desejado.

## 2.2 NECESSIDADE DE APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS AVANÇADAS EM UM AMBIENTE DE MELHORIA CONTÍNUA

A disposição à mudança domina quase tudo o que tem sido atualmente escrito sobre gerenciamento. Todas as disciplinas estão sendo modificadas para se adaptar as mudanças no projeto da organização, na tecnologia, nas habilidades de liderança, nas comunicações – de fato, em virtualmente todos os aspectos do trabalho.

Talvez em nenhum lugar isto seja sentido mais amplamente e profundamente que no campo do gerenciamento de ativos físicos.

Uma característica contundente deste fenômeno é o número de mudanças que ocorreram juntas. Algumas ocorreram em um nível estratégico – quase filosófico – enquanto outras são mais táticas – ou técnicas – em sua natureza. Até mesmo mais contundente é a abrangência das mudanças. Não somente elas envolvem mudanças radicais de direção, mas algumas nos obrigam a avançar para termos com conceitos inteiramente novos.

Podem ser abordadas diversas áreas chave de mudança. Cada uma delas em si mesma é suficientemente de ampla influência para merecer uma grande atenção na maioria das organizações. Juntas elas somam um completo novo paradigma. Considerar esta mudança de paradigma significa que para muitos dos seus representantes, o gerenciamento de ativos físicos está caminhando para se tornar um monumental exercício de mudar o gerenciamento nos próximos anos.

Este novo tempo e características de produção das empresas onde a redução de custos é determinante para a sobrevivência, a Gestão de Manutenção, cada vez mais têm uma importância fundamental nas características e formas de gerir um sistema. O objetivo primário da manutenção é otimizar a disponibilidade da planta ao mínimo custo. Com uma nova abordagem, passa a ser definido como:

Manutenção afeta todos os aspectos do negócio: segurança, integridade ambiental, eficiência energética e qualidade do produto, não somente a disponibilidade da planta e custo.

Uma definição concentra o esforço em resumir o modo como as coisas costumam ser, enquanto a outra resume o caminho como as coisas agora são ou deveriam ser.

Manutenção afeta todos os aspectos do negócio: segurança, integridade ambiental, eficiência energética e qualidade do produto, não somente a disponibilidade da planta e custo.

(ALADON, 2000. p 2).

## **2.4. A IMPLANTAÇÃO DE RCM – RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE**

### **2.4.1 O QUE É MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE**

Uma visão geral dos conceitos básicos de Manutenção Centrada em Confiabilidade, análise (RCM), é que fornece um quadro estruturado para a análise das funções e falhas potenciais para um ativo físico (como um avião, uma linha de produção de fabricação, etc.), com foco em funções do sistema preservando, em vez de apenas concertar o equipamento. RCM é usado para desenvolver planos de manutenção programada que irá fornecer um nível aceitável de operacionalidade, com um nível aceitável de risco, de forma eficiente e rentável.

De acordo com a o padrão SAE JA1011, que descreve os critérios mínimos que um processo deve cumprir para ser chamado de "RCM", um processo de Manutenção Centrada em Confiabilidade responde as sete seguintes perguntas:

1. Quais são as funções e padrões associados desejados de desempenho do equipamento em seu contexto operacional presente (funções)?
2. Em que forma ele pode deixar de cumprir suas funções (falhas funcionais)?
3. Qual a definição para cada falha funcional (modos de falha)?
4. O que acontece quando cada falha ocorre (efeitos de falha)?
5. Qual a maneira que cada falha ocorre (conseqüências da falha)?
6. O que deve ser feito para prever ou prevenir cada falha (tarefas pró-ativas e intervalos de tarefas)?
7. O que deve ser feito se uma tarefa proativa adequada não pode ser encontrada (ações padrão)?

Este trabalho fornece uma breve descrição geral das técnicas Manutenção Centrada em Confiabilidade e suas exigências e procedimentos de análise básica.

Embora exista uma grande quantidade de variação na aplicação do RCM, a maioria dos procedimentos incluem alguns ou todos os seguintes passos:

**Preparação para a Análise** - Tal como acontece com praticamente qualquer projeto, algum trabalho preliminar será necessário para se preparar para a análise RCM. Alguns importantes atividades chaves incluem a montagem de uma equipe multifuncional apropriado, certificando-se de que todos os membros da equipe de análise são capazes de compreender e aceitar as regras do jogo e as condições da

análise (por exemplo, o escopo da análise, definição de "falha", etc.), coleta e revisão de documentação, etc.

**Seleção do equipamento a ser analisado** – Devido a análise RCM requerer um investimento de tempo e recursos, a organização pode querer concentrar os recursos e as análises para apenas partes selecionadas do equipamento, com base na segurança, considerações legais, econômicos e outros. Desta forma as Questões de Seleção e Fatores de Criticidade são os dois métodos de seleção de equipamentos que são comumente empregados.

O Método de seleção consiste em um conjunto de perguntas baseado em respostas diretas, sim ou não, que são projetados para identificar se a análise RCM é indicado para um determinado equipamento. Por exemplo, há quatro perguntas em uma das diretrizes usadas para desenvolver planos iniciais de manutenção programada para a indústria aeronáutica. Se o analista responde "Sim" para pelo menos uma das perguntas, então a análise detalhada é indicada para o equipamento.

A seleção da criticidade é um método que consiste de um conjunto de fatores, destinados a avaliar a criticidade do equipamento, em termos de segurança, de manutenção, operações, o impacto ambiental, controle de qualidade, etc. Cada fator é classificado de acordo com uma escala pré-definido (por exemplo, 1 a 5 ou 1 a 10), onde classificações mais elevadas indicam maior criticidade. Os valores que um equipamento atinge de criticidade pode então ser usado como uma classificação ou então como um valor limite.

Outros métodos, tais como análise de Pareto do equipamento com base na falta de confiabilidade ou tempo de máquina parada, ou outras medidas relevantes, podem também ser aplicados. Qualquer que seja o método (ou combinação de métodos) escolhidos, o objetivo é concentrar os recursos de análise de RCM no equipamento que irá proporcionar o máximo benefício para a organização em termos de segurança, as prioridades legais, operacionais, econômicos e afins.

**Identificar funções e potenciais falhas funcionais** - Um dos princípios da abordagem de Manutenção Centrada em Confiabilidade é que as atividades de manutenção devem ser focadas no sentido de preservar a funcionalidade do

equipamento. Portanto, segue-se que o primeiro passo na análise de uma peça específica do equipamento é o de identificar a função, (ou as funções), para então seguir a frente com as análises. Uma das referências do RCM é a de recomendar, incluindo requisitos de desempenho específicos em descrições de funções, o que ajudará a identificar especificamente falhas funcionais. Por exemplo, "para fornecer pressão hidráulica de 300bar +/- 10 bar".

Falhas funcionais descrevem as formas que o equipamento pode deixar de desempenhar as suas funções pretendidas. Isto pode incluir a incapacidade de realizar uma função, o mau desempenho de uma função, realização de uma função não intencional, etc. Como mencionado acima, os limites de desempenho que foram identificados para a função podem fornecer um guia para a análise funcional e a sua descrição precisa. Por exemplo, "Fornecer pressão hidráulica de mais de 310 bar" ou ainda "Fornecer pressão hidráulica menor que 290 bar", etc.

**Identificar e Avaliar os efeitos da falha** - Identificar e avaliar os efeitos da falha vai ajudar a equipe a priorizar e escolher a estratégia de manutenção apropriada para tratar de uma falha potencial. Muitas referências de RCM contêm diagramas lógicos que podem ser usados para avaliar e classificar os efeitos da falha. Estas estruturas lógicas tem o objetivo de diferenciar efeitos evidentes bem como as falhas oculta e se o problema tem relação com segurança, impactos ambientais, operacionais ou ainda conseqüências econômicas.

**Identificar as causas da falha** - A causa da falha, (por vezes também designado por modo de falha), representa a causa específica da falha funcional no nível de processo. Isto é, o nível a que seja possível a aplicação de uma estratégia de manutenção para tratar a falha potencial. Essa determinação se baseia no julgamento de engenharia e conta com a experiência da equipe e habilidade com o processo de análise de RCM. Como aconselham as normas e padrões, uma boa orientação para identificação de causas da falha pode ser como a apresenta abaixo a qual é uma demonstração útil dos vários níveis de hierárquicos que podem ser utilizadas para descrever os modos de falha. Por exemplo:

- O conjunto de bombeamento falha.
- A bomba falha

- O conjunto de selagem falha
- A porca de aperto afrouxa
- Não aplicado torque suficiente
- Erro de montagem

As recomendações afirmam que "os modos de falha devem ser descritos em detalhes suficientes para que seja possível selecionar uma política de manutenção adequada, mas não em tantos detalhes e em quantidades excessivas de tempo a ponto de não tornar viável a execução" , de acordo com Moubray (1999).

**Seleção das tarefas de manutenção** - Depois de ter identificado as funções que o equipamento se destina a executar, as formas que eles pode deixar de executar as funções pretendidas e as avaliadas das conseqüências destas falhas, o próximo passo é definir a estratégia de manutenção apropriada para o equipamento. A decisão da equipe de análise RCM de que a estratégia, (ou estratégias), para empregar para cada falha potencial pode ser baseada no julgamento e também na experiência, tem como orientação um diagrama de lógica pré-definido, (ligado à categorização do efeito da falha). E pode ser baseado ainda em comparações de custos ou uma combinação de fatores.

Muitas orientações de RCM incluem diagramas lógicos de tarefa de seleção baseado na categorização e no Efeito de Falha. Quando a segurança não é um problema, a outra orientação é a de comparar os valores de custos normalizados para as estratégias de manutenção disponíveis e selecionar a tarefa de manutenção que fornece o nível desejado de disponibilidade para o custo mínimo. Por exemplo, se o custo por tempo de atividade para realizar uma manutenção corretiva única, ou seja, eliminar a falha, é menor do que o custo por tempo de atividade de realizar um reparo programado ou substituição, e a corrida para a abordagem falha fornece um nível aceitável de disponibilidade do equipamento, então a equipe pode recomendar a não execução de tarefas programadas de manutenção para o equipamento.

**Definição das tarefas de manutenção** - Uma vez que as tarefas de manutenção e adequados cronogramas foram identificados, o passo final é a definição das atividades de manutenção em um plano de manutenção viável. Isso

pode envolver a escolha de intervalos de tempo em que grupos de tarefas podem ser realizados de forma mais eficaz e eficiente.

Há uma série de diretrizes publicadas e outras referências para descrever os princípios e requisitos de Manutenção Centrada em Confiabilidade que podem variar do tipo de produto foco da empresa até o nível de confiabilidade desejado como objetivo a implantação.

#### 2.4.2 CONCEITO DO RCM

As empresas que aplicam conceitos de melhoria contínua, tal como TPM, visam entender e estratificar todas as perdas em uma empresa e através da aplicação da metodologia encontrar onde está o maior problema, desta forma, utilizar mensurar e ter o entendimento dos fenômenos causadores das perdas.

Uma vez compreendidos os problemas, o próximo passo é eleger a Ferramenta da Qualidade mais adequada para aplicar de forma a analisar os fatores que constituem as causas mais prováveis e gerar ações para a eliminação das causas raízes. Nesta seqüência ocorre a análise da execução das ações de ataque as causas raiz dos problemas.

Começa então o monitoramento do novo desempenho das instalações após implementação das melhorias.

Desta forma estes são os conceitos para a definição de um ambiente de melhoria contínua.

Nos dias de hoje a manutenção em um contexto industrial procura como objetivo principal atender as principais demandas das grandes organizações que se resume em:

Dar manutenção nos equipamentos e instalações com um custo tecnicamente viável e economicamente adequado e ainda garantir a disponibilidade dos equipamento e instalações a fim de atender a demanda de mercado que tende a ser com menores estoques e fornecimento *Just in time*.

O histórico da manutenção em um contexto global é dividida em três gerações.

A Primeira Geração da Manutenção é baseado na manutenção a quebras, desta forma o equipamento apenas recebe atenção da manutenção quando ocorre uma falha ou disfunção inesperada, ou seja, manutenção a quebra. Esse tipo de

manutenção é até hoje aplicável em linhas de produção de importância insignificante para um processo industrial produtivo também chamados linhas de classe c.

A Segunda Geração da Manutenção foi o advento da manutenção baseado na confiabilidade. A manutenção preventiva é baseada principalmente em estabelecer uma vida útil para os equipamentos focados em componentes e atuar antes que os mesmos apresentem um tipo de falha funcional. Normalmente envolvem substituição de peças e componentes sem ter idéia real do seu estado funcional ótimo. É uma manutenção eficiente para evitar danos inesperados, porém, o MTBF (*Mean Time Between Failure*), nem sempre é padrão para todos os casos tornando assim em algumas situações uma manutenção cara e desnecessária.

Terceira Geração da Manutenção é a fase marcada por um tipo de manutenção capaz de prever as falhas dos equipamentos e componentes antes que o mesmo ocorra. Baseado no princípio que a maioria dos componentes dão um sinal mensurável de que estão prestes a falhar este tipo de técnica de manutenção é chamado de manutenção preditiva.

Esta terceira geração da manutenção também é marcada pelo ambiente de melhoria contínua dentro das organizações tendo como principal exemplo o TPM e manutenção baseada em confiabilidade que somam uma preocupação tendenciosa às melhorias de meio ambiente, segurança dos funcionários e sustentabilidade.

Desta forma é demonstrada a evolução nos conceitos e técnicas de manutenção nos últimos anos impulsionado pela necessidade de aperfeiçoamento das indústrias aeronáuticas e naval em um âmbito global na década de 70 e vem se aperfeiçoando até os dias de hoje.

Uma das vertentes tecnológicas a atenderem essa demanda é o estudo do RCM que é o foco deste trabalho sendo este uma consideração sistemática de um determinado sistema seus modos de falhas e os critérios de priorização para definição de uma política de manutenção técnica e economicamente viável. Levando então a uma nova abordagem de manutenção tendo como foco:

- Uma efetividade maior e abrangente na implementação de novas técnicas de manutenção.
- Uma visão sistêmica objetivando zero quebras e zero defeitos.
- Priorização da linhas máquinas e sub-máquinas que compõem uma planta com base na complexidade.

- Uma abordagem considerando a padronização dos procedimentos operacionais e melhores práticas de processos e manutenção.

### 2.4.3. CONCEITOS DE CONFIABILIDADE

Para a aplicação do RCM algumas premissas são requeridas e a principal abordagem são os conceitos de manutenção baseada em confiabilidade.

#### 2.4.3.1. Conceito de Falha.

Um sistema falha quando o sistema não cumpre a sua função básica dentro de um processo.

-Tempo Médio entre Falhas: Do Inglês, *Mean Time Between Failure* que é o cálculo que pode ser realizado tomando-se em conta o período considerado como tempo de operação, sendo então dividido pelo número de falhas no período. É expressado pela seguinte fórmula:

$$MTBF = \frac{EE}{\#BD - 1}$$

Onde:

EE= Tempo destinado à produção

#BD= Número de quebras em um período

#### 2.4.3.2. Confiabilidade

Para se entender os conceitos de confiabilidade são necessários a definição de taxa de falha e taxa de reparo.

-Taxa de Falha: É matematicamente expressado como o inverso do tempo médio entre falhas. É expresso pela equação:

$$\text{Taxa de Falha} = 1/MTBF$$

Equação 01

Onde:

MTBF= *Mean Time Between Failure*, ou seja, tempo médio entre falhas.

-Taxa de reparos: É matematicamente expressado como o inverso do tempo médio de reparo. Representa a velocidade com que os reparos são executados. É expresso pela equação:

$$\text{Taxa de Reparo} = 1/MTTR$$

Equação 2

Onde:

MTTR= *Mean Time To Repair*, ou seja, tempo médio para reparar.

### 2.4.3.3. Indicadores Chave de Desempenho

Também é chamado de KPI's (*Key Performance Indicators*). São definidos para eleger dentro de uma organização unidades de medição para serem comparadas e traçadas metas para serem atingidas e conquistadas.

“Se você pode medir aquilo do que fala e exprimi-lo por um número, é porque conhece alguma coisa do assunto. Em caso contrário o seu conhecimento é precário”. Lorde Kelvin (PAULI, 1978, p. 4).

Desta forma tomamos a premissa que só pode ser melhorado o que pode ser medido.

Dentro de processos de manutenção são considerados os principais KPI's:

-BD: Numero de quebras

-MTBF: Tempo médio entre falhas

-Taxa de falhas: Número de falhas por tempo de operação

-Impacto no EE: Impacto de quebras na eficiência dos equipamentos.

-MDT: Tempo médio de falhas

-Custo: A manutenção preventiva sempre deve custar menos do que a manutenção à quebra.

### 2.4.4. DIRETRIZES PARA IMPLEMENTAÇÃO DO RCM

O RCM engloba a necessidade de encontrar em um sistema ou processo o seu funcionamento ideal, ou seja, ter zero falhas através da identificação das funções de todos os componentes que fazem uma linha de produção ou sistema de controle.

Também é esperado identificar as falhas funcionais de tais processos.

Os modos de falhas são o objetivo da análise, uma vez que é neles que são encontrados a causa raiz dos problemas que são o foco do estudo do RCM.

O efeito dessas falhas é o que impulsiona a necessidade de um trabalho focado a eliminação das mesmas. Ainda, o efeito das falhas sempre é atrelado a perdas e prejuízos sempre indesejáveis para todas as organizações que visam lucratividade total.

Esses conceitos são a base teórica para a implementação da manutenção baseada na confiabilidade uma vez que sempre as organizações que objetivam alto desempenho esperam prever a consequência das falhas nos equipamentos produtivos.

As políticas de manutenção estão relacionadas com o conceito de manutenção planejada, que é um dos pilares do TPM a definição das políticas de manutenção é classificada através da prioridade das linhas, que podem ser A, B ou C. A classificação ABC é ministrada pela metodologia TPM e ela visa priorizar as linhas de produção pela sua importância relacionada a segurança produtividade e manutenibilidade.

Para haver uma diferenciação entre a manutenção aplicada em empresas que visam a produtividade total, técnicas de manutenção inovadoras são requeridas. Exemplos destas técnicas estão listados a seguir:

- Manutenção preventiva: essa técnica deve estar precisamente aplicada no ambiente da empresa, ou seja, o TBM (*Time Based Maintenance*), deve atender as necessidades cruciais para a continuidade do processo produtivo em condições normais. Entendendo-se que não à predições de falhas.

- Manutenção preditiva: abrange diversas técnicas voltadas ao estudo de que todo o componente gera um sinal antes de chegar ao ponto de falha. Este sinal é um evento físico que, contando com as tecnologias atuais, pode ser detectado e analisado. Os níveis emitidos por um componente ativo podem ser comparados com valores padrão do que seria um valor ideal. Desta forma tendo um valor padrão e um valor medido podemos avaliar uma tendência negativa. A análise de uma tendência fisicamente monitorável pode prever a falha de um componente.

Podemos assumir então que a manutenção preditiva é a atividade de manutenção mais técnica e economicamente viável para a prevenção de falhas.

#### 2.4.5 EM QUAL CONTEXTO DEVE SER APLICADO O RCM?

O gráfico 3 mostra que o cenário ideal para a aplicação do RCM é o qual o numero de quebras repetitivas estão absolutamente controladas e as quebras esporádicas ainda ocorrem e não são previsíveis. Desta forma, em um cenário assim, não é possível afirmar que zero quebras ou falhas foram conquistadas. Numa

organização em que se é desejado o zero falhas e perdas algo a mais é procurado, ou seja, a eficiência total.

Nesse ambiente desafiador o que é desejado é a antecipação as quebras e perdas. Neste ínterim, ferramentas mais complexas e avançadas são requeridas. O RCM é uma metodologia aplicável neste caso

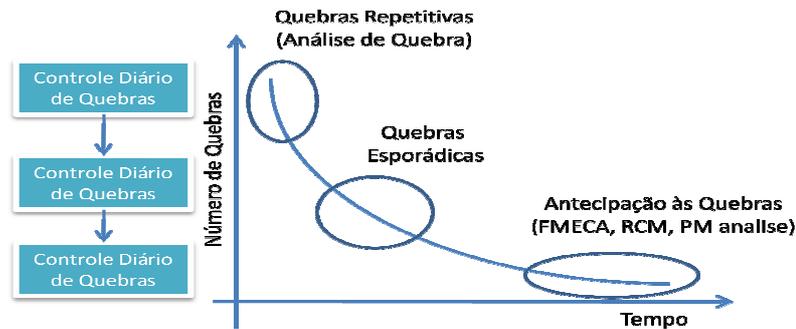


Figura 4: Gráfico de Evolução de cenário de quebras

Fonte: New TPM Implementation Program for Renovation of Production. Fig 5.21. PAg 345 Kunio Shirose

#### 2.4.6 A EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO E DO PADRÃO DE FALHAS.

Conforme apresentado na Figura 05 abaixo, as décadas de 40 e 50 caracterizaram a primeira geração da manutenção a onde os equipamentos eram de complexidade relativamente baixa e uma taxa de mortalidade pequena no inicio da vida útil dos componentes e uma acentuada curva de falha ao final da vida útil, sempre caracterizada por desgaste excessivo e inesperado. O tipo de manutenção aplicado é o concerto após a quebra. Nesta fase era entendido que o manutentor é quem concerta e o operador é quem opera e ainda máquina operando é sinônimo de equipe de manutenção parada. Não é apresentado nenhuma preocupação com o meio ambiente e ainda uma baixa exigência de gerenciamento de custo de manutenção.

Nos anos 60 e 70 fica caracterizado segunda geração da manutenção tendo como conceito o aumento da confiabilidade e iniciado as técnicas de manutenção preventiva baseada em tempo. A características dos equipamentos nessa fase eram de apresentar um grau médio de sofisticação com o objetivo de terem uma maior vida útil. As atividades básicas de manutenção, tais como, limpeza, lubrificação e inspeções, começam a ser transferidas para operador ficando para a equipe de manutenção as tarefas mais técnicas. É marcado o inicio dos movimentos

ambientais e também uma pressão sobre o controle de custos e planejamentos de manutenção.

A terceira geração da manutenção vem dos anos 80 até a atualidade e tem como a maior característica a escolha da política correta da manutenção. Nos dias de hoje os componentes e equipamentos apresentam um alto grau de complexidade e sofisticação. Apresentam também uma menor relação idade operacional e probabilidade de falha o que possibilita ter uma manutenção previsível e dependente de uma alta especialização de mão de obra. O comportamento das equipes operacionais de processo e de manutenção apresentam-se igualmente responsáveis pelo produto, caracterizando o termo manutenção produtiva. Uma grande parte das atividades da manutenção são executadas com máquina rodando. Exige-se ainda um alto nível de planejamento para as atividades de máquina parada. O meio ambiente passa a ser encarado como responsabilidade social da empresa e custo passa a ser sinônimo de sobrevivência.

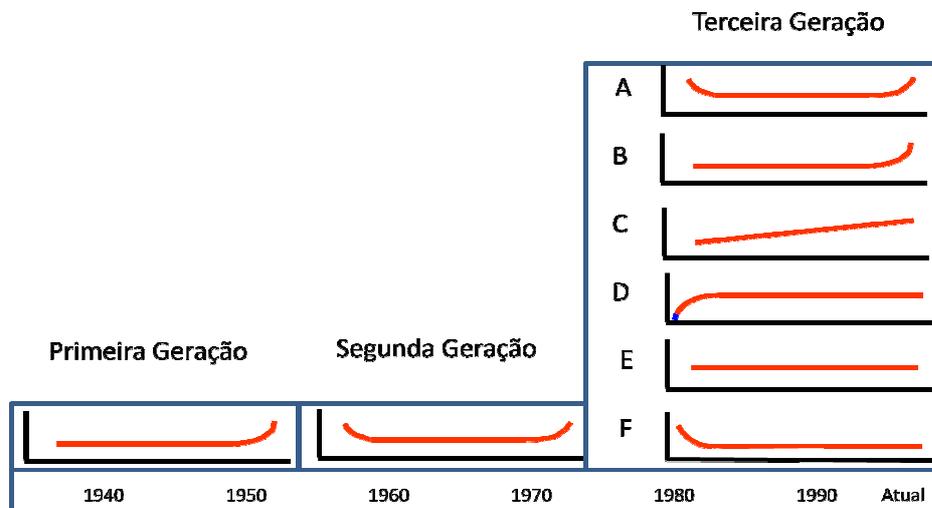


Figura 05: Gráfico de Evolução da Manutenção X Evolução de Falhas

Fonte: Moubray, John (1997, p. 3)

#### 2.4.7 FUNÇÃO DA MANUTENÇÃO NA VISÃO DO RCM

A função da manutenção é garantir que um equipamento atenda as funções para o qual foi concebido. A manutenção só pode recuperar o desempenho ou confiabilidade de qualquer equipamento não significando poder aumentar o desempenho. O conceito da manutenção centrada em confiabilidade assegura uma

aplicação adequada para escolher a melhor política de manutenção respeitando o cenário atual.

Por definição RCM é um processo para determinar o que precisa ser feito para que um item continue a desempenhar as funções para o qual foi concebido.

## 2.4.8 AS FASES DO RCM

### 2.4.8.1. Seleção do sistema e coleta de informações

É a determinação do que será analisado e em que nível (planta, conjunto, Componente). Inicia-se selecionando equipamentos de classe A considerando o seu histórico de quebras. Neste contexto as quebras devem ser analisadas sistematicamente e os técnicos de manutenção devem conhecer profundamente o equipamento. É convencionado uma frequência abaixo de uma quebra por mês.

Os sistemas selecionados terão seus conjuntos e componentes críticos identificados baseados na hipótese de que podem levar a uma parada de máquina, pertencem a um conjunto de difícil diagnose, tem elevado custo de reparação e potencial de impactar na segurança meio ambiente e qualidade.

Um método eficaz para classificar equipamentos quanto a sua criticidade em um processo é o diagrama de classificação ABC mostrado na figura 06.

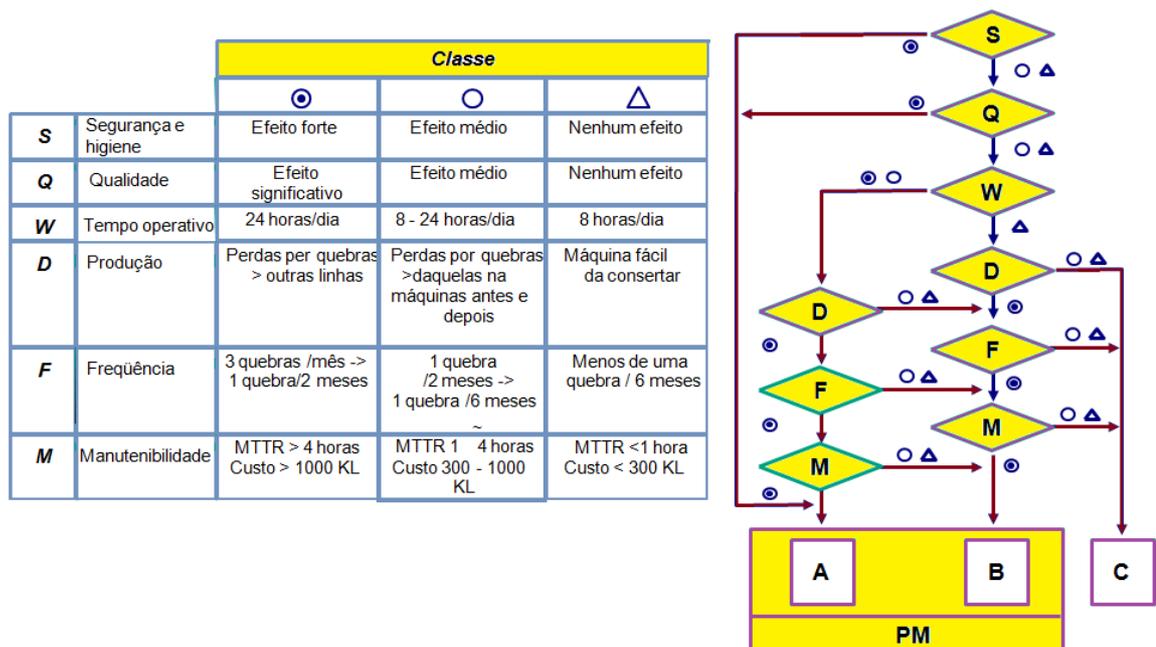


Figura 06: Classificação ABC de equipamentos

Fonte: Efeso Consulting (RCM Training, pag. 13)

Após a seleção do sistema é necessário definir graus de criticidade para os componentes. Será pontuado em nível de gravidade com relação ao impacto sobre segurança, qualidade, produtividade. A figura 07 é uma forma de organizar e classificar as partes do sistema quanto ao grau de criticidade.

CONJUNTO	DESB.	BOMBA	ROTOR	.....
GRAVIDADE	△	△	△	
MTTR	△	△	⊙	
MTBF	⊙	△	⊙	
CUJSTO	○	△	△	
TOT.	10	4	12	

△ → 1      ○ → 3      ⊙ → 5

GRAVIDADE= IMPACTO SOBRE SEGURANÇA/QUALIDADE/PRODUTIVIDADE

Figura 07: Diagrama de Determinação de Criticidade

Fonte: Efeso Consulting (RCM Training, pag. 18)

Com o intuito de analisar apenas parte do sistema com maiores criticidades utiliza-se o Pareto de Criticidades e uma linha de corte apontando para um nível de criticidade aceitável dependendo da característica do processo produtivo, conforme mostrado na Figura 08

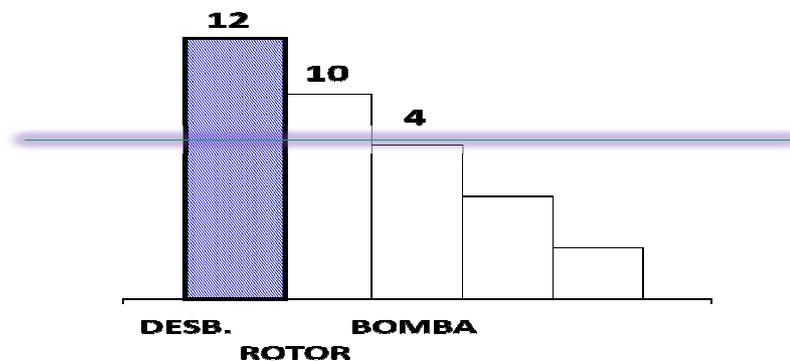


Figura 08: Pareto de Criticidade

Fonte: Efeso Consulting (RCM Training, pag. 18)

### 2.4.8.2. Descrição do sistema

A descrição do sistema, mostrado na figura 09, é útil para o entendimento das funcionalidades e conhecimento de todas as partes integrantes. Os dados técnicos são adquiridos através dos manuais do fabricante catálogos técnicos e expertise da equipe. A ferramenta de diagrama de bloco deve ser utilizada de forma a organizar esquematicamente o sistema em níveis que pode ser máquina, conjunto, subconjunto e componente. A figura 10 mostra como cada nível é codificado a fim de facilitar sua identificação nos passos subsequente do trabalho para cada nível identificado e também para a lista de componentes são colocados os dados funcionais que caracterizam sua importância no processo e ainda ajuda a não cometer erros na atribuição das falhas. Então ferramentas visuais tais como, dados, diagrama de blocos, listas de componentes e histórico, são essenciais para a descrição do sistema.

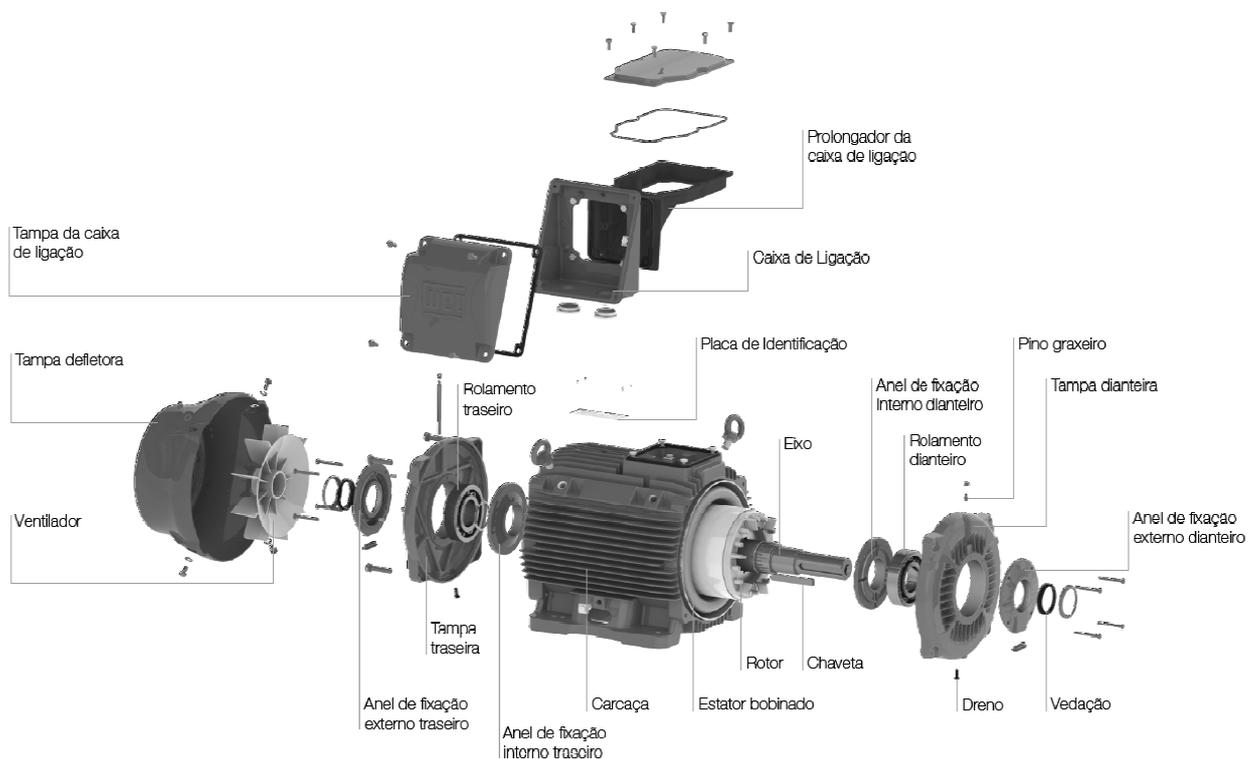


Figura 09: Exemplo de Descrição de um Sistema

Fonte: Extraído de <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-w22-motor-trifasico-explodido-50009253-guia-rapido-portugues-br.pdf> (Acesso em 08 out. 2012)

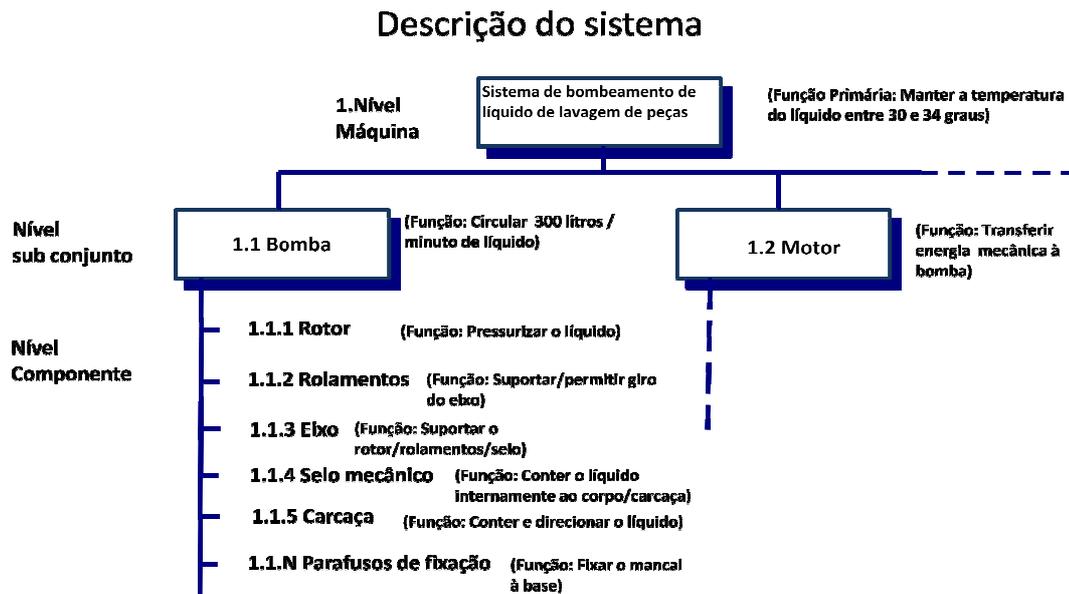


Figura 10: Descrição do Sistema.

Fonte: Efeso Consulting (RCM Training, pag. 20)

#### 2.4.8.3. FMECA - Esquema Informativo

É um método eficaz para a identificação das funções dos componentes suas falhas funcionais, modos de falha e efeitos dentro de um processo. É calculado um nível de risco que será um fator para eleger um item para a análise no diagrama decisional.

Por definição é um método de análise usado para identificar todos os possíveis modo potenciais de falhas e determinar o efeito de cada um sobre o desempenho do sistema. O FMECA responde às seguintes perguntas:

- Quais são as funções e padrões de desempenho do item?
- Quais são os modos de falha já ocorridos ou não?
- Que partes do sistema são afetados por este modo de falha?
- Quais são os efeitos das falhas, sua extensão e os danos causados ao sistema?
- Quais são as conseqüências das falhas, em termos de segurança, perdas operacionais e perdas econômicas?

A figura 11 mostra um exemplo de esquema informativo .

Sub conjunto Bomba		Código 1.1		Preenchido por:		Data:					
Componente Rolamentos		Código 1.1.2		Aprovado por:		Data:					
Função (F)		Falha funcional (FF)		Modos de falha (MF)		Efeitos da falha		Risco			
N.	Descrição	N.	Descrição	N.	Descrição	Descrição	S	O	D	Risco	DD
1	Suportar/permitir giro do eixo.	A	Eixo gira excêntrico, desbalanceado	1	Desgaste das esferas	Quebra dos rolamentos e/ou eixo parando a Bomba e consequentemente o sistema de resfriamento e Sistema principal, com perda de 16 horas de produção.	4	3	4	48	S
				2	Trinca na pista.		4	1	4	16	N
				3	Pista riscada por poeira do ambiente e retentores falharam		4	1	4	16	N
				4	Rolamento girou no eixo, por montagem irregular		4	3	3	36	S
		B	Eixo gira excêntrico	1	Eixo construído excêntrico	Idem	4	1	4	16	N

Figura 11: Esquema Informativo

Fonte: Efeso Consulting (RCM Training, pag. 20)

Os conceitos e termos utilizados no esquema informativo se fazem importantes e suas definições devem ser claramente padronizadas, como se segue:

-Funções: É uma definição que começa com o verbo no infinitivo, deve conter um objeto e pelo menos um padrão de desempenho. Exemplo: Acionar o eixo a uma velocidade de 600 RPM. A descrição deve expressar o desempenho requerido e não o desempenho projetado.

-Função primária: É a função para qual o componente foi projetado ou colocado em serviço.

-Função secundária: São as funções menos críticas que as funções primárias cuja falhas podem também ter sérias conseqüências com o impacto econômico, ambiental, estrutural, etc.

-Falha funcional: É quando um componente perde a sua função. É também definida como sendo a incapacidade de um equipamento em realizar um padrão de desempenho desejado. Exemplo: Não acionar o eixo, acionar a uma velocidade maior que 600 RPM.

-Modo de falha: É o fenômeno físico que origina a falha ou perda de função, ex.: cisalhamento, fadiga mecânica ou térmica. O processo de antecipar, prevenir, detectar ou corrigir falhas é aplicado a cada modo de

falha individualmente. Ou seja, para se obter os melhores resultados na prevenção de falhas, a manutenção sempre deve ser gerenciada ao nível individual de cada modo de falha.

-Causas Primárias de Falhas: As causas primárias de falhas podem ser representadas pelos seguintes sintomas: Desgaste “normal” (fadiga, corrosão, abrasão, erosão, etc.); Sujeira; Lubrificação inadequada; Folgas/desmontagens/montagens incorretas; Configurações (setup) ou operação incorreta; Processos ou materiais incorretos, etc.

-Efeitos da Falha: É a expressão do que efetivamente acontece quando cada modo de falha ocorre. Desta forma necessitasse encontrar fatores capazes de definir o que registrar quando descrever os efeitos da falha; qual a evidência de que a falha ocorreu; de que modo pode ameaçar a segurança ou o meio ambiente; de que modo pode afetar a produção ou as operações; que dano físico é causado pela falha;

É muito importante que durante as análises, as descrições dos efeitos da falha tenham uma profundidade afim de permitir que os grupos de análise crítica do RCM avaliem as conseqüências das falhas. As descrições de efeitos de falhas devem ser ao mesmo tempo, sucintas, completas e exatas.

São exemplos de critérios a serem considerados: Danos à Segurança e ao Meio Ambiente; Aumento do risco de fogo ou explosões; Escape de produtos químicos agressivos; Queda de objetos; Explosões (vasos de pressão e sistemas hidráulicos); Exposição à materiais muito quentes ou fundidos; Desintegração de componentes rotativos; Acidente com veículos ou descarrilamentos; Exposição à perfis cortantes ou máquinas móveis; Aumento dos níveis de ruído; Colapso de estruturas; Crescimento de bactérias; Contaminação de alimentos ou produtos farmacêuticos; Enchentes, etc.

- Efeitos das falhas em um processo produtivo: A descrição do efeito da falha deverá indicar como a produção é afetada, (se for), e por quanto tempo. O tempo de paralisação, (*downtime*), no contexto do RCM significa o total de tempo que o equipamento estaria fora de serviço, em função de uma determinada falha. Deve ser definido o que fazer em caso de parada de uma linha, ou seja, encontrar pessoa para executar o reparo e diagnose e

encontrar materiais para reparar a falha e revalidar testes para retorno a produção.

#### 2.4.8.3.1- Cálculo do risco

Faz-se necessário calcular um nível de risco para definir quais itens receberão atividades de manutenção focados em sua confiabilidade.

O conceito de severidade é o impacto na capacidade operativa, segurança e qualidade tendo sua avaliação através de níveis de impacto que vai de valores numéricos do menor para o maior representando sem impacto até impacto na segurança, respectivamente. A freqüência das ocorrências de falha são medidas pelas taxas de falha. A detectabilidade é a facilidade de diagnostico das falhas que vai do nível fácil por inspeção até impossível por inspeção representado por um valor numérico.

Risco (R) caracteriza-se pelo produto da severidade (S) pela freqüência de falha (O) pela detectabilidade (D), matematicamente fica:

$$\text{Risco (R)} = \text{S} \times \text{O} \times \text{D}$$

Equação 03

A figura 12 representa uma tabela com definição de níveis de risco. Estas definições podem variar conforme a realidade de cada processo.

FATORES	AVALIAÇÃO
<b>Severidade (S) = impacto na capacidade operativa, segurança, qualidade</b>	Sem impacto = 1 Impacto leve = 2 Impacto médio = 3 Impacto alto = 4 Impacto na segurança = 5
<b>Freqüência de Ocorrência da falha (O)</b>	Taxa de falhas da ordem de $10^{-4}$ = 1 Taxa de falhas da ordem de $10^{-3}$ = 2 Taxa de falhas da ordem de $10^{-2}$ = 3 Taxa de falhas da ordem de $10^{-1}$ = 4 Taxa de falhas da ordem de $10^0$ = 5
<b>Detectabilidade (D) = facilidade de Verificação da falha</b>	Fácil por inspeção = 1 Razoável por inspeção = 2 Difícil por Inspeção = 3 Muito difícil por inspeção = 4 Impossível por inspeção = 5

Figura 12: Tabela de análise de Risco

Fonte: Efeso Consulting (RCM Training, pag. 29)

#### 2.4.8.3.2- Tomada de decisão para análise

O fator de risco pode atingir valores máximos no resultado de seu cálculo. Quanto maior o fator de risco maior a necessidade de analisá-lo.

Supondo que o fator de risco possa atingir o valor Máximo de 130 pontos, é apresentado os critérios para decisão de quais modo de falhas analisar no Diagrama Decisional, que é o próximo passo da metodologia.

A Figura 13 mostra o Fluxo de tomada de decisão para análise de Risco.

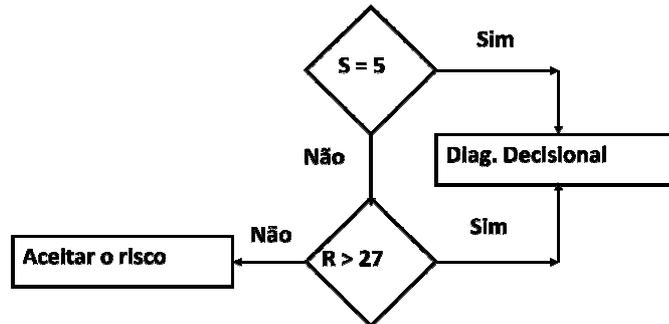


Figura 13: Fluxo de tomada de decisão para análise de Risco

Fonte: Efeso Consulting (RCM Training, pag. 30)

#### 2.4.8.4. Diagrama Decislonal

O diagrama decislonal é a caracterização das falhas funcionais de acordo com suas conseqüências. Consiste em um diagrama que mapeará o modo de falha considerando as suas informações técnicas e conseqüências de suas falhas, identificando a tarefa de manutenção técnica e economicamente viável para se anteceder a falha. O esquema decislonal, mostrado na figura 14, vai conter também os dados de planejamentos das atividades que irão compor o plano de manutenção.



prevenir as falhas. Se uma falha provoca sérias conseqüências faremos o máximo para evitá-la.

No esquema decisional, visto na figura 15, os tipos de falhas são também determinados, conforme se segue, em:

-Falhas ocultas (H): É quando a perda de função provocada por um modo de falha, não evidente para os operadores em condições normais. Os dispositivos de proteção devem ser especialmente robustos às falhas ocultas.

-Conseqüências na Segurança e no Meio-Ambiente(S-E): É quando como conseqüência da falha alguém poderia ser ferido ou a falha poderia violar qualquer padrão regulamentação ambiental.

-Conseqüências Operacionais(O): É quando afetam a produção, operação, qualidade, serviço e custos operacionais.

-Conseqüências não Operacionais(N): Envolve apenas o custo direto do reparo.

Sub conjunto Bomba		Código 1.1			Preenchido por:		Data:											
Componente Rolamentos		Código 1.1.2			Aprovado por:		Data:											
Informações	conseqüências	H1	H2	H3	Tarefas Padrão	Tarefas de Manutenção	Freq.	Resp.	Duração	Maq. parada								
		S1	S2	S3														
		O1	O2	O3														
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4						
1	A	1	N	N	N	S	S							Medir nível de vibração, valor máximo de aceleração =5 mm/s <sup>2</sup>	M	Mecânico	5 min	não
														Plano de Manut.				

Figura 15: Esquema Decisional

Fonte: Efeso Consulting (RCM Training, pag. 30)

#### 2.4.8.5.2. Dispositivos de proteção

Os dispositivos de proteção têm a função de prevenir, ou pelo menos reduzir, as conseqüências das falhas. Normalmente encontramos 5 diferentes tipos de Dispositivos de Proteção:

-Chamar a atenção dos operadores para alertar sobre condições anormais de funcionamento;

-Desligar um equipamento, em caso de falha;

-Eliminar ou amenizar condições anormais, que provocam uma falha, ou que poderiam causar danos mais sérios;

-Assumir o controle de uma função que falhou;

-Prevenir situações perigosas.

#### 4.8.5.3. Políticas de Manutenção:

O RCM reconhece 3 categorias principais de tarefas preventivas (pró-ativas):

- Manutenção programada sob condição;

-Manutenção programada de restauração (revisão/recuperação em intervalos fixos, independente da sua condição);

- Manutenção programada de descarte (substituição em intervalos fixos, independente da sua condição)

Destas, a Manutenção Sob Condição é a mais técnica e economicamente viável. Baseia-se no fato que as falhas fornecem algum tipo de aviso de que estão prestes a ocorrer, estes avisos são conhecidos por Falhas Potenciais.

Intervalo PF, mostrado no Figura 16, é determinado pela experiência, na maioria dos casos, o intervalo de medição ou inspeção deve ser no máximo de 1/2 PF, os sentidos humanos estão mais próximos de F.

P = Falha Potencial (SINTOMA)

F = Falha Funcional (OCORRÊNCIA)

SINTOMA =Vibração, ruído, temperatura, vibração, ruído, temperatura

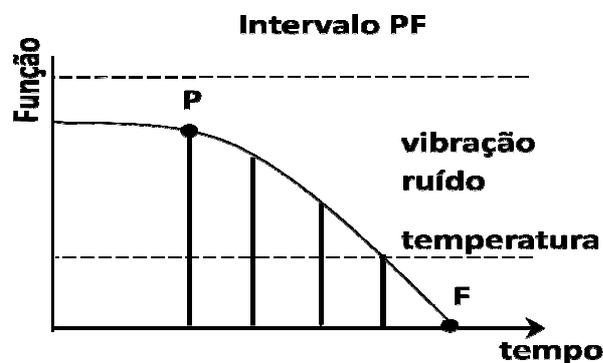


Figura 16: Intervalo PF

Fonte: Efeso Consulting (RCM Training, pag. 38)

### 2.4.8.6. Plano de Manutenção

Plano de manutenção consiste na seleção das tarefas de manutenção técnica e economicamente viável. As Tarefas Padrão normalmente são definidas por ações executadas caso uma tarefa pró-ativa não seja encontrada:

1. Localização de Falhas: verificação periódica de funções ocultas
2. Reprojetar: Alterar o equipamento ou processo
3. Nenhuma manutenção programada: Manutenção à quebra, onde falhas não têm conseqüências operacionais.

A Atividades de Manutenção devem descrever o intervento de Manutenção escolhido, de forma detalhada e bastante precisa. Por exemplo:

- Atividade: substituição do filtro de ar na entrada do sistema de ventilação forçada (Instrução. 342/96);
- Frequência: Mensal;
- Máquina: Operando;
- Tempo requerido: 10 min;
- Especialidade: 1 eletricista;

A lista de atividades compõem então o plano de manutenção, que é uma lista organizada pelas principais etapas e que normalmente é gerenciada por um sistema de informação de manutenção, como um MRP (*Material Requirement Planning*). A figura 17 mostra um exemplo de plano de manutenção.

Item	Descrição	Atividade	Ref.	Freq.	Especial.	Duração	Máquina
1	<b>Rolamento 6002</b>	<b>Medir nível vibração</b>		<b>1 M</b>	<b>Mecânico</b>	<b>5 min</b>	<b>Opera</b>
2							
3							
n							

Figura 17: Fluxo de tomada de decisão para análise de Risco

Fonte: Efeso Consulting (RCM Training, pag. 38)

## 3. METODOLOGIA - ESTUDO DA APLICAÇÃO DO RCM

Yin (1990) apresenta a melhor explicação de como os estudos de casos podem ser feitos. Como estratégia de pesquisa, utiliza-se o estudo de caso em

muitas situações, para contribuir com o conhecimento que temos dos fenômenos individuais, organizacionais, sociais, políticos e de grupo, além de outros fenômenos relacionados. De forma não surpreendente o estudo de caso tem se constituído uma estratégia comum de pesquisa em todas as áreas de desenvolvimento. Em todas estas situações, a clara necessidade pelos estudos de casos surge do desejo de se compreender fenômenos complexos. Em resumo, o estudo de caso permite uma investigação para se preservar as características significativas da situação real. Ainda segundo Yin (1990), as características importantes do estudo de caso podem ser de duas maneiras o escopo de um estudo de caso e a investigação de um estudo de caso.

O estudo de caso como estratégia de pesquisa compreende um método que abrange o todo tratando da lógica de planejamento, da coleta de dados e da análise dos mesmos.

### 3.1 EMPRESA PESQUISADA

A empresa pesquisada é líder mundial no seguimento em que atua sendo portanto uma grande multinacional. Em uma de suas fabricas no Brasil iniciou a implantação da metodologia TPM no ano de 1999 tendo recebido até o ano de 2011, quatro prêmios do JIPM (*Japanese Institute of Planned Maintenance*), que é o órgão mundial que originou o TPM. Estes prêmios estão dentro de uma escala de cinco prêmios que vai até o título de fabrica padrão mundial. Um deles é o “*Advanced Special*”, quarto na escala e que é possuído por um numero muito pequeno de empresas no cenário mundial.

A implementação do TPM se deu de forma progressiva iniciando-se primeiramente pelos pilares fundamentais que são: manutenção autônoma, manutenção planejada, melhorias focadas e manutenção da qualidade.

Hoje além dos oito pilares básicos do TPM esta empresa também conta com mais três pilares com suas metodologias especificas que são pilar de custo, pilar de logística e pilar de gestão antecipada predial. Dentro dessa evolução o pilar da Manutenção Planejada (PM – *Planned Maintenance*), foi um dos pilares fundamentais para o programa e iniciou em 1999.

Os passos da evolução do pilar de manutenção planejada são:

Passo 1 – Entender a situação atual

Passo 2 – Atacar as perdas

Passo 3 – Criar um sistema informatizado

Passo 4 – Implementar Manutenção Baseada em Tempo

Passo 5 – Implementar manutenção baseada em condição

Passo 6 – Controle de custo e manutenção dos resultados

A empresa pesquisada possui ainda 14 indicadores chave de desempenho que vão desde números de produtividade até números de reclamações de clientes.

### 3.2 SÍNTESE DO PROBLEMA

O projeto onde a metodologia do RCM foi aplicada e que foi foco deste estudo de caso, trata-se de um projeto para redução de quebras em uma máquina classe A de uma linha de produção considerada gargalo na empresa pesquisada. O contexto geral é que os passos da manutenção planejada foram idealmente aplicados e atingiram os objetivos propostos ou seja uma redução acentuada na taxa de quebra porém sem o atingimento das metas desejadas, tornando dessa forma um ambiente propício para a aplicação de uma técnica mais avançada suportada pelo programa TPM que neste caso é o RCM.

A perda relacionada a quebra acumula uma das maiores vozes no impacto produtivo da empresa, além disso existe uma tendência mundial a redução continua de quebras visando zero de interrupções não planejadas no processo.

O Figura 18, demonstra quais eram os motivos de perda de EE (*Equipment Efficiency* – Eficiência do Equipamento), antes da execução do projeto. Especificamente as quebras eram a segunda maior voz de perdas de tempo na máquina de produção.

Nesse projeto, que a partir de agora denominaremos como “RCM da Desbobinadeira”, o objetivo principal é de reduzir em 70% o impacto de quebras na eficiência da linha principal. Além desse objetivo principal, outros objetivos foram traçados: redução das atividades da manutenção baseada em tempo que idealmente devem migrar para atividades de manutenção baseada em condições, inspeções dinâmicas ou até mesmo reprojets.

A implementação do trabalho de melhoria da confiabilidade baseada na otimização das técnicas de manutenção aplicados na desbobinadeira da empresa pesquisada baseou-se na metodologia do RCM.

Este trabalho começou a partir da estratificação macro dos maiores problemas de perda da empresa onde se evidenciou a linha gargalo como portadora das maiores perdas de impacto na eficiência global da produtividade da empresa. Entre as vozes de perda uma das maiores eram as pequenas paradas, representando 2,12% do impacto no OEE (*Overall Equipment Efficiency*). Das pequenas paradas 17% são relacionadas com a desbobinadora e das pequenas paradas relacionadas a desbobinadora 41% são relacionadas com falha no sistema de tensão que é o foco do trabalho.

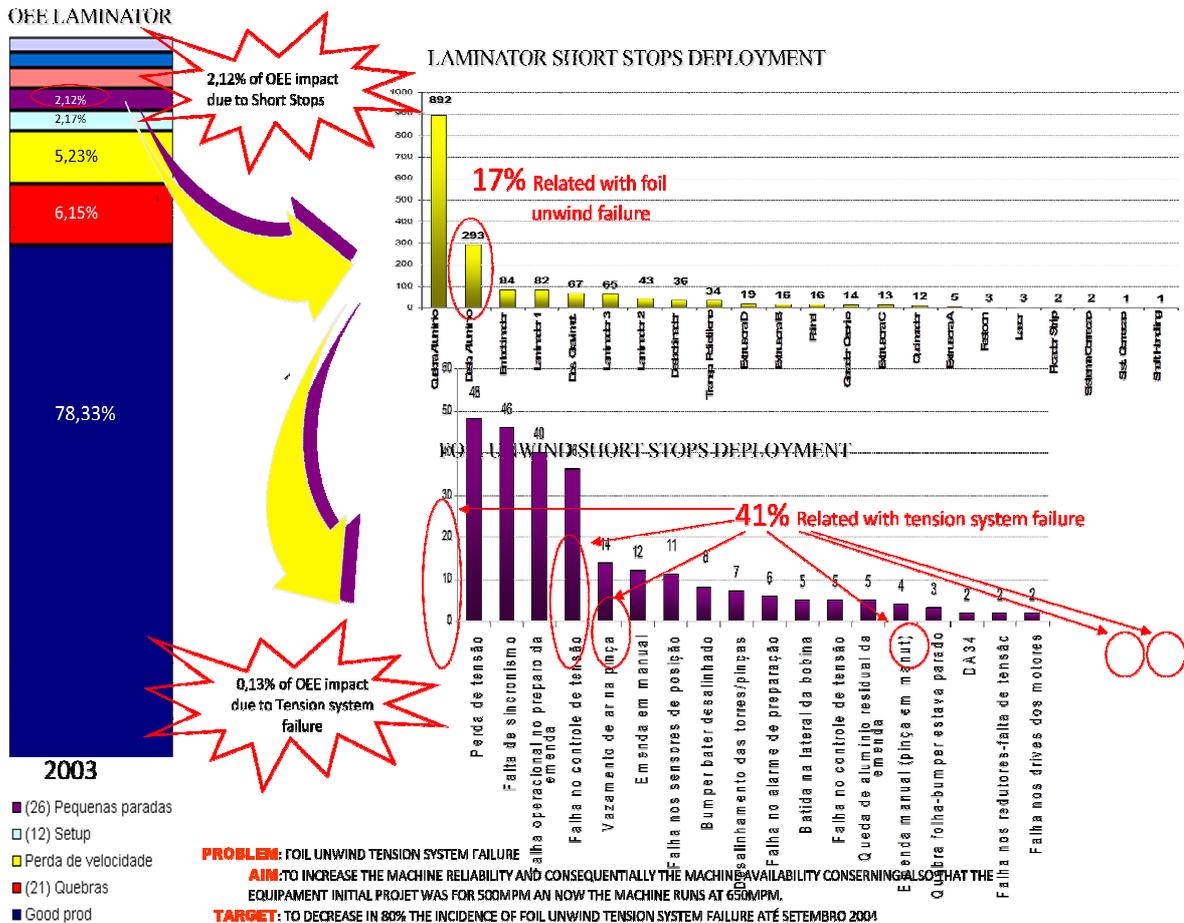


Figura 18: Estratificação do Problema

Fonte: Empresa pesquisada

Desta forma, por convenção, o problema fica definido por: Falha no tensionamento do material na desbobinadeira. E o objetivo fica definido por: aumentar a confiabilidade e conseqüentemente a disponibilidade da máquina para a produção. A meta do grupo foi a de reduzir em 80% a incidência de problemas relacionados com falha no tensionamento da desbobinadeira.

A rotina de RCM utilizada partiu da premissa de que o equipamento escolhido através da estratificação de perdas é uma máquina de classe A e que apresenta incidência de falhas esporádicas e rotinas de manutenção preventivas pré estabelecidas, porém apresenta um descontrole de sua eficiência operacional. Em resumo os sistemas da máquina foram divididos em subconjuntos. Foram analisados os níveis de criticidade dos sistemas e definido as listas de componentes chaves a serem analisados. Foi aplicado a técnica do esquema informativo, diagrama decisional e esquema decisional, para então eleger o que são as melhores práticas de tarefas de manutenção técnicas e economicamente viáveis. E por fim criado um plano mestre de execução destas atividades. Será abordado agora a implementação do RCM para este caso passo a passo:

- Seleção do sistema: este passo foi caracterizado pela análise do histórico de quebras e impactos na eficiência e demonstrado na figura 19 abaixo a localização da máquina dentro da linha de produção. No processo de produção da empresa pesquisada a linha gargalo é formada de diversas etapas e máquinas específicas sendo a desbobinadeira uma de suas principais integrantes, representado na figura 19. Uma falha na desbobinadeira tem como conseqüência imediata uma parada na linha de produção e geração de refugo.

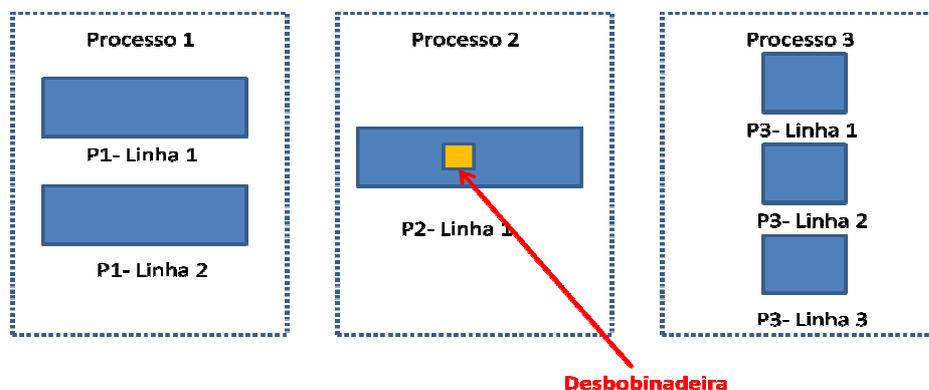


Figura 19: Localização da Desbobinadeira

Fonte: Empresa pesquisada

- Descrição do sistema: A descrição do sistema tem por objetivo construir um entendimento ideal das partes e funções envolvidas no sistema. Neste caso a desbobinadeira tem como principal função desbobinar a folha do produto com uma tensão de 150N a uma velocidade que varia de 10 MPM [1] até 650 MPM. A desbobinadeira é composta por 2 estações e um sistema de troca automática da bobina de produto que está em espera. No momento das trocas e rampas de aceleração e desaceleração da máquina o controle de tensão deve manter-se estável e fiel ao valor de referencia independente da espessura ou largura do produto. Para descrever o sistema todas as ferramentas de gestão visual devem ser utilizadas tais como: desenhos, filmagens, descrições e maquetes.

- Diagrama em blocos: nesta fase foi feita a discussão do sistema e detalhamento do seu funcionamento do ponto de vista técnico tendo como objetivo entender profundamente a função de todos os componentes. Para esta fase do trabalho foi utilizado o conhecimento técnico dos integrantes do grupo de trabalho, manuais técnicos dos equipamentos e consultas ao fabricante. Contou-se ainda com as lições aprendidas através das análises de falhas e histórico de falhas. Nesta fase quanto mais informação e experiência técnica conseguir reunir mais assertivo será o trabalho de análise.

A nomenclatura utilizada para identificar as partes e componentes deve seguir uma lógica hierárquica a fim de facilitar a identificação no decorrer do trabalho.

- Fluxograma decisional: como o RCM consiste em uma profunda análise da falha funcional dos equipamentos, foi levado em conta o fator de risco bem como os impactos com:

- \* Segurança e meio ambiente
- \* Produção e qualidade
- \* Custo do reparo

E, através de um fluxograma de decisão foi decidido o grau de criticidade, conforme mostrado na figura 20.

A principal característica desta fase é definir fatores de risco adequado para a

---

<sup>1</sup> MPM = Metros Por Minuto; é uma unidade de velocidade.

realidade da empresa considerando a natureza dos seus processos e o nível de qualidade exigido para seus produtos. As questões de segurança e meio ambiente variam entre as empresas podendo ser fatores que vão influenciar na concepção de nível de risco.

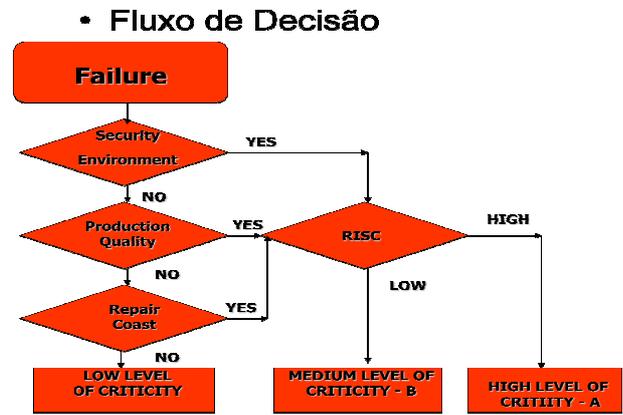


Figura 20: Fluxo Decisional

Fonte: Empresa pesquisada

Como o risco é o produto da freqüência pela conseqüência das falhas o histórico particular do equipamento em questão também deve ser analisado caso a caso. É comum termos tabelados o grau de conseqüência e freqüência a serem atribuídos baseando-se em padrões de falha globais, mostrado na figura 21.

Evaluation of the failure consequence

Conseqüência	Grau
Poluição Meio Ambiente de impacto máximo Causa morte ou parada total planta por diversos dias	10
Poluição Meio Ambiente altíssimo impacto Causa fechamento ou paralisação da planta por 1 dia	9
Poluição Meio Ambiente alto impacto Causa pequeno fechamento ou parada parcial da planta por 1 dia	8
Poluição Meio Ambiente impacto moderado Causa danos equipamento ou parada parcial da planta algumas horas	7
Poluição Meio Ambiente baixo impacto Causa pequeno dano equipamento ou parada total linha por 1 dia	6
Poluição Meio Ambiente baixíssimo impacto Causa dano componente ou parada parcial linha por 1 dia	5
Poluição Meio Ambiente quase nulo Causa pequeno dano componente ou parada parcial linha por 6 horas	4
Parada parcial linha por 1 hora	3
Parada parcial linha por alguns minutos	2
Não ocasiona parada parcial linha	1

Evaluation of the failure frequency

Freqüência	Gra u
Freqüência máxima: várias vezes ao dia	10
Freqüência muito elevada: 1 vez ao dia	9
Freqüência elevada: algumas vezes por semana	8
Freqüente: 1 vez por semana	7
Freqüência moderada: 1 vez por mês	6
Freqüência ocasional: 1 vez por semestre	5
Freqüência baixa: 1 vez por ano	4
Pouco freqüente: 1 vez a cada 2 anos	3
Muito pouco freqüente: 1 vez a cada 5 anos	2
Freqüência rara: extremamente remoto	1

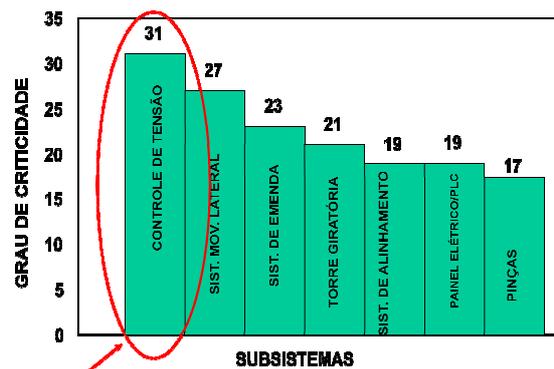
Figura 21: Tabelas de Freqüência e Conseqüência

Fonte: Empresa pesquisada

Desta forma a Concepção de risco é baseada no principio que quanto maior a freqüência e a conseqüência maior será a criticidade.

Uma vez que os sistemas receberam um nível de criticidade adequado foi determinado uma linha de corte para eleger quais sistemas serão analisados. Essa linha de corte é um nível de criticidade representado por um valor que é adequado a realidade da empresa. O Pareto de Criticidade é mostrado na Figura 22.

### PARETO DE CRITICIDADES DE SUBSISTEMAS do DESBOBINADOR



**Sistema mais crítico**

Figura 22: Pareto de Criticidades de subsistemas do Desbobinador

Fonte: Empresa pesquisada

- Esquema Informativo: É a análise de modos, efeitos e criticidade de falhas. Consiste no método de análise usado para identificar todos os possíveis modos potenciais de falha e determinar o efeito de cada um sobre o desempenho do sistema, também chamado de FMECA, conforme abordado no capítulo 4.8.3 e demonstrado na figura 11.

A coleta de dados foi baseada na função, falha funcional, modo de falha e conseqüências da falha na segurança, no ambiente e no aspecto operacional.

<b>PLAN-A</b>	<b>Processo:</b> Fabricação embalagem cartonada	<b>N.º:</b>	<b>Coord:</b>	<b>Data:</b>		
<b>PLANILHA</b>	<b>Linha:</b> Laminação embalagem cartonada	01/04		#####		
<b>DECISÃO</b>	<b>Equipamento:</b> Desbobinador de Alumínio	<b>Rev.:</b>	<b>Equipe:</b> Tetrapak - Ponta Grossa	<b>Folha:</b>		
<b>MCC</b>	<b>Conjunto:</b> Controlador de tensão	0		01/01		
<b>Descrição do Item:</b> O desbobinador de alumínio desbobina a folha com tensão aproximada de 150 N (ajustável) para a formação da camada de laminação. O desbobinador tem um sistema de troca automática da bobina de espera. O controle da tensão é feito pelo robô bailarino.						
FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	CONSEQUÊNCIAS DA FALHA			
			Descrição	S	MA	O
I Desbobinar o rolo de alumínio com tensão aprox. de 150 N e realizar a troca automática da bobina de espera, sem quebra da folha de alumínio, independente da velocidade da linha (0 a 650 m/mim).	A Falha no controle da tensão da folha de alumínio.	1 Falha do bailarino	A falha no controle da tensão ocasiona o rompimento da folha de alumínio, sendo necessário refazer a passagem manualmente e partir a máquina novamente, gerando refugo e perda de produção com tempo de parada aproximada de 10 minutos.	S	N	S
O controle de tensão é realizado através da posição do cilindro bailarino que dá uma referência para a correção da velocidade do rolo desbobinador. A velocidade de referência do rolo é dada pela velocidade da linha e corrigida de acordo com o diâmetro da bobina de alumínio e a posição do bailarino.		a. Travamento mecânico articulações b. Travamento do rolo bailarino b1. Falha rolamento (rolamento blindado) c. Cilindro pneumático do bailarino	Na passagem do alumínio nos cilindros de passagem da máquina, há necessidade de atocar 2 operadores. Risco de ocorrer queimaduras na mão/braço do operador na operação.			
		c1. Falha gaxetas do êmbolo c2. Desgaste conjunto retentor/raspador c3. Desgaste camisa c4. Desgaste da rótula da ponta da haste do pistão				
		c5. Falha na mangueira pneumática c6. Falha na conexão c6.1. Vazamento c6.2. Falha do engate rápido				
		c7. Falha na válvula proporcional do bailarino que mantém tensão da folha alumínio (2,5 +- 0,5 kgf/cm2) c7.1. Falha calibração c7.2. Erro na malha de	Não controle de tensão perde a tensão ou ocasiona excesso de tensão, rompendo a folha de alumínio.	S	N	S

Figura 23: Esquema informativo

Fonte: Empresa pesquisada

- Diagrama decisional: esta é a característica marcante de RCM. Baseia-se no princípio que todos os tipos da falha podem emitir algum tipo do sinal antes de ocorrerem, representado pela curva PF. O intervalo PF é determinado pela experiência na maioria dos casos e por determinação o intervalo de medição ou inspeção deve ser no Máximo  $\frac{1}{2}$  PF, ou seja é preciso conhecer a curva de falha característica do componente em questão. Comumente aparelhos sofisticados são aplicados para a medição dos sinais emitidos pelos componentes antes que eles entrem em falhas. Os tipos de sinais mais comuns a serem analisados são: ruídos, temperatura, vibração, corrente elétrica em motores elétricos e transformadores elétricos, entre outros.

A medição de sinais de vibração é a técnica mais aplicada em partes girantes de forma clássica análise de ruídos em rolamentos. Equipamentos chamados coletores de espectro de vibração são utilizados para coleta dos sinais de ruídos nesses componentes. Baseam-se no princípio de inserir em um ponto pré determinado da parte girante uma sonda que é um sensor físico elétrico na maioria das vezes conforme o ruído sensibiliza o material físico elétrico do sensor o mesmo emite sinais elétricos que são interpretados pelo aparelho de medição gerando gráficos de tendências que são comparados a limites pré estabelecidos, ou seja, estar próximo do ponto de falha.

A técnica da análise termográfica é baseada em câmeras infravermelho que na maioria das vezes é usado para identificar pontos de auto aquecimento em componentes elétricos. Identificando dessa forma pontos de mau contatos componentes com baixa isolação elétrica, ou com sobre carga. Identificando a necessidade de substituição ou reaperto antes que os componentes entrem em falhas ou perda parcial de suas funções.

São técnicas preditivas mais comuns:

- Termografia
- Análise de vibrações
- Análise de lubrificantes
- Propriedades físico-químicas
- Cromatografia gasosa
- Espectrometria
- Ferrografia
- Radiografia
- Energia acústica (ultra-som)
- Energia eletromagnética (partículas magnéticas, correntes parasíticas)
- Fenômenos de viscosidade (líquidos penetrantes)
- Radiações ionizantes (Raios-X ou Gamagrafia)
- Monitoria de processos
- Inspeção visual

Estas considerações de detecção de falhas através da curva PF são chamadas de técnicas preditivas de identificação de falhas. Esta técnica é também chamada de CBM, (*Condicional Based Maintenance*), ou seja, manutenção baseada na condição. Esta é a técnica mais eficiente e economicamente viável na prevenção de falhas de equipamentos sendo portanto a técnica mais aconselhada em um estudo de RCM.

É através do diagrama de fluxo decisional que nós elegemos a tarefa de manutenção que evitará a incidência do modo de falha:

- se é uma falha oculta;
- se há uma conseqüência ambiental;
- se existe conseqüência para produção ou qualidade;

- as tarefas foram adequadas à política da manutenção da empresa pesquisada;

Enfim, o diagrama decisional, baseado no esquema informativo elege as tarefas que serão filtradas como:

- Tarefas detectivas
- Tarefas de CBM
- Tarefas de TBM

Tarefas do projeto que seguem esta ordem de prioridade e são descritas em um diagrama conforme figura 24.

PLAN-B PLANILHA DECISÃO MCC		Processo: Fabricação embalagem cartonada Linha: Laminação embalagem cartonada		Nº.:	Coord:	Data:						
		Equipamento: Desbobinador de Alumínio		Rev.:	Equipe:	Folha:						
		Conjunto: Controlador de tensão			Tetrapak - Ponta Grossa	01/01						
REFERÊNCIA DA INFORMAÇÃO		FILTRO/TAREFA		RISCO = F x C		TAREFA PROPOSTA						
F	FF	MF										
I	A											
		1a	N	N	N	N	1	5	5	Acidental	-	-
		1b	N	S	N	N	2	5	10	Análise de vibração. Nivel global: velocidade, aceleração e envelope aceleração. Sugestão: aquisição coletor nivel global com software tipo Marlin da SKF.	mensal	Preditiva
			N	N	N	S				Utilização de rolamentos blindados com graxa poliuréia. Por exemplo NSK 6207DU EEM	Único	Rafael
											Sistemático	
		1c	N	S	N	N	2	3	6	Inspeção check list pelo operador	Semanal	Autônoma
			N	S	N	N				Inspeção detalhada pela manutenção.	Anual	Manutenção
		1c5								Inspeção check list pelo operador	Semanal	Autônoma
		1c6								Item		
		1c7	S	N	N	N	2	3	6	Verificação calibração da válvula e malha de controle.	Anual	Manutenção
		1c7.2	N	S	N	S	2	3	6	Instalação filtro absoluto 3 microns no circuito ar comprimido.	Única	Manutenção
										Verificação estado elemento filtrante. Troca filtro absoluto sob condição.	mensal	Manutenção
		1c7.3.3	S	N	N	S	3	3	9	Instalação medidor de ponto de orvalho após secador (recomendável)		
										Melhoria do sistema de secagem de ar comprimido. Verificar qual é o ponto de orvalho atual.		
		1c8.1	S	N	N	N	2	2	4	Calibração manômetro.	Anual	Manutenção
										Substituição do manômetro atual pelo manômetro digital.	abr/04	Manutenção
		1c9.1	S	N	N	N	2	2	4	Calibração manômetro.	Anual	Manutenção
										Aquisição bancada de teste em manômetros.	Única	Rafael
		1c9.2	N	N	N	S				Diminuir range do manômetro do controle visual TPM (faixa verde está hoje muito Substituição do manômetro atual pelo manômetro digital.	Única	Manutenção
											abr/04	Manutenção
		1d1	N	N	N	N	1	3	3	Já realizado travamento da fixação do carne.		
		1d2	N	N	N	N	1	3	3	Se estiver fora ajuste, o sistema perderá controle		
										Verificação do sinal/ajuste fino do sinal.	semestral	Manutenção
		e	N	N	N	S	10	3	30	Instalação de rolo duplo (benchmarking rolo do bailarino do festoon) ou prolongar o curso do braço existente.	mar/04	Manutenção
		f	S	N	N	S	3	3	9	Instalação alarme posição up down do bailarino.	mar/04	Manutenção
		2					6	3	18			
		2a	S	N	N	N	5	3	15	Verificação do sinal de referência.	mensal	Manutenção
										Alterar o sinal de referência do laminador 1 para o cilindro 32	ma/04	Manutenção
		2b	S	N	N	N	5	3	15	Verificação do sinal do encoder do motor do desbobinador	mensal	Manutenção
		2b1	N	N	N	N	1	3	3	Acidental		

Figura 24: Diagrama Decisional

Fonte: Empresa pesquisada

### 3.3 PLANEJAMENTO DAS ATIVIDADES GERADAS

Durante a implantação do RCM na empresa pesquisada, as análises e estudos tiveram como produto um conjunto de definições que ajudam a entender a onde estão as maiores necessidades de manutenibilidade do sistema. Sendo assim como resultado das análises foram encontradas:

- 2 falhas funcionais sendo elas falha no controle de tensão e falha na velocidade de sincronismo.

- 6 modos de falhas distribuídos em 73 sub itens: falha no dancer, falha no controle de velocidade do motor, falha nas pinças, falha no controle eletrônico, são exemplos de modo de falhas identificados.

- Foram propostas 76 atividades de manutenção e através da análise foram eleitas 55 destas, sendo elas:

- 4 atividades de inspeções de manutenção;
- 3 atividades de inspeção de atividade autônoma;
- 23 atividades de manutenção baseada na condição;
- 6 atividades de manutenção baseada em tempo;
- 16 atividades de reprojeto;
- 3 atividades relacionada em melhorias no sistema de segurança:

Uma parte importante é a execução de um plano de ação: uma vez criada as tarefas e ações as mesmas precisarão ser executadas dentro de um planejamento com datas de execução pertinentes as possibilidades e necessidades da empresa uma vez que só poderão ser iniciados os monitoramentos de ganhos após a implementação de todas as ações propostas.

O plano de execução deve organizar as atividades através das suas prioridades e complexidades. As mais importantes e mais simples de execução obviamente devem ser realizadas primeiramente.

Todas as atividades devem conter um detalhamento dos passos para execução, os recursos materiais e os recursos técnicos para uma execução adequada os prazos inseridos devem ser factíveis e de acordo com a previsão de contribuição dentro de um planejamento estratégico dentro da empresa.

O diagrama da figura 25, mostra um exemplo de um plano mestre de execução de ações.

Data Inscrito	VERSÃO		DATA				Limpeza	Qualidade	Segurança	Identificação	Parâmetros	Entret	Manutenção
	N.º PSM	Item	Módulo	Submódulo	Equipamento	Atividade	Objetivo	Equipamento	Equipamento	EPI	Tempo	Estimado	Realizado
20/01/2011	1	00111111	SISTEMA DE CORTA	CITA DE CORTA	MARCA	MARCA	MARCA	DESEJO	DESEJO	DESEJO	DESEJO	DESEJO	DESEJO
20/01/2011	2	00111111	REDE DE ENER	CARRO DE ENER	SOLAR DE TUBO	SOLAR DE TUBO	MARCA	LIMPO	LIMPO	LIMPO	LIMPO	LIMPO	LIMPO
20/01/2011	3	00111111	ENBORGADO	REVELADO	FOTOCÉLULA DE SEGURAN	FOTOCÉLULA DE SEGURAN	ELETRICA	DESEJO	DESEJO	DESEJO	DESEJO	DESEJO	DESEJO
20/01/2011	4	00111111	ENBORGADO	REVELADO	FOTOCÉLULA DE ELECÇÃO	FOTOCÉLULA DE ELECÇÃO	ELETRICA	DESEJO	DESEJO	DESEJO	DESEJO	DESEJO	DESEJO
20/01/2011	5	00111111	REDE DE ENER	CONTROLE DE METRO	ENCODER	ENCODER	ENCODER	ENCODER	ENCODER	ENCODER	ENCODER	ENCODER	ENCODER
20/01/2011	6	00111111	REDE DE ENER	CONTROLE DE METRO	ENCODER	ENCODER	ENCODER	ENCODER	ENCODER	ENCODER	ENCODER	ENCODER	ENCODER
20/01/2011	7	00111111	ENBORGADO	REPARAMENTO	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE
20/01/2011	8	00111111	ENBORGADO	REPARAMENTO	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE
20/01/2011	9	00111111	REDE DE ENER	REPARAMENTO	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE
20/01/2011	10	00111111	SISTEMA DE ENER	REPARAMENTO	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE
20/01/2011	11	00111111	SISTEMA DE ENER	REPARAMENTO	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE
20/01/2011	12	00111111	TRANSFORMA	REPARAMENTO	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE	MOTOR DE

Figura 25: Plano de Ação de Atividades de Manutenção

Fonte: Empresa pesquisada

- Principais ações de melhorias: dentre as ações executadas para o sistema podemos dividir entre ações sistêmicas de manutenção que são os TBM e CBM e as ações de melhorias. As ações de melhorias estão normalmente relacionadas a reprojeto nos sistemas com o objetivo de aumentar a confiabilidade dos equipamentos. Em uma organização que pratica a metodologia TPM de forma consolidada utiliza as boas práticas de melhoria contínua para registrar o cenário da melhoria aplicada através de documentos chamados Lição de Um Ponto. Lição de Um Ponto é uma forma padronizada para registrar o antes e o depois de uma ação de melhoria em um equipamento, sistema ou processo. Seguem-se alguns exemplos de ações de reprojeto e melhoria indicadas pelo RCM na empresa pesquisada:

- Substituição de manômetros analógicos por manômetros digitais
  - Elaboração de tabela de relacionamento de tensão e pressão no sistema;
  - Automação e configuração de alarmes para identificar e gravar em histórico da IHM, (Interface Homem Máquina), as falhas potenciais dos equipamentos;
  - Reprojeto do eixo estriado do sistema de transmissão
  - Reprojeto das pinças com camisas com dupla vedação pneumática;
  - Especificação de um novo lubrificante para o sistema de transmissão;
  - Melhoria no sistema de “came” do atuador do sensor de posição do dancer;

- Reprojeto da malha do controle:
- Reprojeto do sistema do dancer para duplo cilindro:

Além dos resultados propostos em forma de ganhos no processo produtivo os objetivos voltados as tipologias de manutenção foram também atingidos melhorias, tais como:

- Diversas atividades de TBM existentes foram eliminadas e migraram para atividades CBM;
- Diversas atividades de TBM tiveram a sua freqüência reduzida;
- Atividades simples de manutenção migraram para inspeção de manutenção autônoma
- Atividades de manutenção preventiva que eram executadas com maquina parada passam a ser executada com maquina rodando
- Criação de padrões e instrução de trabalhos afim de tornar mais preciso os métodos de operação e de manutenção.

O Figura 26 apresenta o cenário de falhas antes, durante e depois da implantação das tarefas e atividades de manutenção propostas pelo projeto de RCM. É importante notar que o objetivo proposto foi atingido.

### SHORT STOPS DUE TO FOIL UNWINDER TENSION SYSTEM

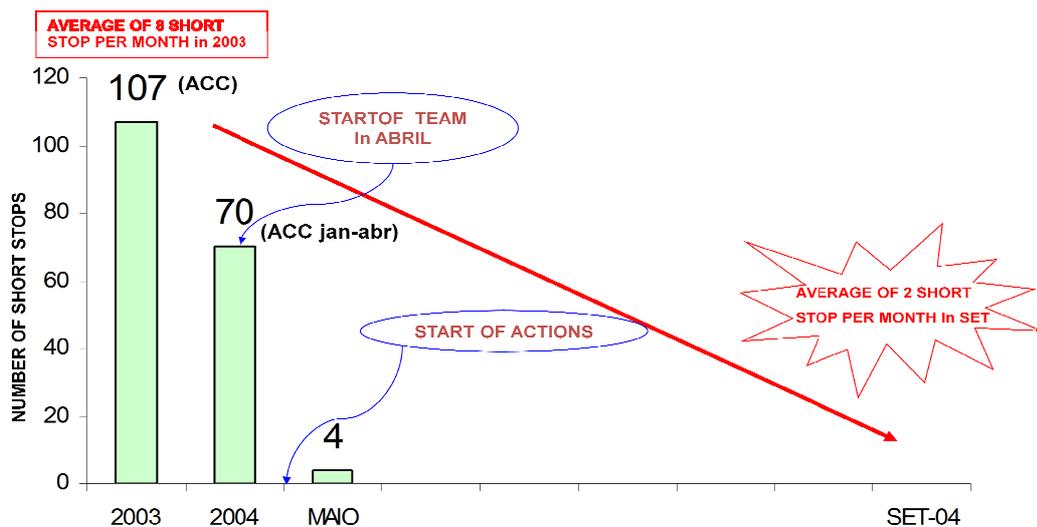


Figura 26: Gráfico da Medição e acompanhamento dos Resultado

Fonte: Empresa pesquisada

#### 4. CONCLUSÃO

A aplicação do TPM tem como objetivo encontrar maneiras de melhorar o desempenho das empresas. A criação de indicadores chaves de desempenho serve para medir e comparar a eficiência operacional entre companhias e até mesmo filiais por filiais. A aplicação destes princípios foi marcante para a empresa pesquisada identificar aonde aplicar os esforços.

Na análise comparativa a situação da empresa, vista no capítulo 3, apresentou uma situação não favorável ao atingimento de índice de falhas igual a zero em seus equipamentos conforme o objetivo estipulado. A empresa pesquisada possui 14 indicadores chave de desempenho que vão desde números de produtividade até números de reclamações de clientes. O conceito de TPM engloba a competitividade, mas somente se isso for entendido e adotado como uma política sadia através da organização. A função do TPM é pregar uma nova metodologia aonde depende principalmente da mudança da maneira de pensar das pessoas, só desta forma será possível começar a fazer mudanças nos processos. Uma organização com a metodologia TPM implantada completamente é um campo fértil para a aplicação de métodos avançados tais como RCM, que foi o foco deste trabalho. Portanto é uma regra a premissa de uma linha ou processo estar com suas condições básicas restauradas e possuir uma política de manutenção pré estabelecida para a implementação do RCM.

Desta forma o RCM se enquadrou como a escolha ideal para a empresa atingir seus objetivos de zero quebra, visto no capítulo 4. A função do RCM neste contexto será de melhorar e reduzir as tarefas de manutenção rotineiras através de conceitos de confiabilidade e com isso se antecipar às quebras. Isto só é possível através da utilização das técnicas de manutenção preditivas que são uma tendência atual e que caracterizam a nova geração da manutenção.

Os problemas encontrados foram verificados no capítulo 5, aonde foi concluído que o RCM deve ser adaptado à realidade da empresa e desta forma os principais ajustes foram executados na definição e nível de criticidade das falhas. Conforme a equipe de manutenção vai aplicando a técnica de RCM sistematicamente nas máquinas de classe A as correlações das atividades genéricas vão se enfatizando e a sua aplicação deixa de ser complexa e pontual

passando a ser sistêmica e mais abrangente. Nos dias de hoje os facilitadores da manutenção são aconselhados a tratar riscos ambientais da mesma forma que são tratados os riscos a segurança. Neste contexto o RCM é uma ferramenta ideal para as tendências mundiais exigidas na manutenção de ativos. Os setores nos quais projetos de RCM vem sendo implementados abrange quase todos os campos da atuação humana. Estes incluem mineração, manufatura, petroquímica, utilidades (eletricidade gás e água), transportes coletivos (especialmente metrô), predial e serviços prediais e forças armadas (exercito, marinha e aeronáutica).

A avaliação da eficácia da implantação do programa após a execução das ações geradas obtiveram os seguintes resultados: Conforme as atividades de melhorias executadas e as ações preditivas são inseridas na rotina dos equipamentos, o desempenho do sistema pode ser monitorado e comparado com o cenário antigo. Normalmente um gráfico de incidência de falhas, como mostrado no Figura 26, é utilizado e neste mesmo gráfico são apontados as melhorias executadas de acordo com a data da implementação. No caso do trabalho de RCM na empresa pesquisada é possível constatar que os objetivos propostos foram atingidos antes mesmo do termino da execução das atividades propostas.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALADOM, **Gerenciamento da Manutenção**. Curitiba, 2004, In: Congresso, ABRAMAM.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462**, Rio de Janeiro, 1994.

LIKER, Jeffrey K. **The Toyota Way**. McGraw – Hill. São Paulo. 2000.

MAIMON, Dalia. **ISO14000: passo a passo da implantação nas pequenas e médias empresas**. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 1999.

YIN, Robert K. **Case stud research**. Desing and methods. EUA: Sage Publications, 1990

WOMACK, James P.; **JONES**, Daniel T. A Mentalidade Enxuta nas Empresas. Editora Campus. São Paulo, 2002.

KOPRUSZYNSKI, Ivan. **A Utilização da Metodologia de Gestão Antecipada de Projetos: Um Estudo de Caso em um Empresa**. UTFPR BIBPG, 2005

TONELOTTO, Walter. **O Facilitador e o TPM**. Loss Prevention. São Paulo: 2003.

TPM Training – **Total Productive Managment** – Empresa Pesquisada – 2001

SUZUKI, T. **TPM in Process Industries**. New York: Productivity Press, 1994

NOWLAN, Stanley; HEAP Howard. **Manutenção Centrada em Confiabilidade**. F. F. da United Airlines. US, 1978.

NAVAIR 00-25-403. **Diretrizes para a Aviação Naval Centrada em Confiabilidade processo de manutenção**, 2005

SAE JA1011, **Critérios de Avaliação de Manutenção Centrada em Confiabilidade (RCM) Processos**, 1999.

SAE JA1012, **Um Guia para a Manutenção Centrada em Confiabilidade Standard (RCM)**, 2002.

MOUBRAY, John. **Manutenção Centrada em Confiabilidade**. Industrial Press Inc., 2001

SMITH, Anthony M.; **Manutenção Centrada em Confiabilidade: Gateway para Manutenção de Classe Mundial**; 1993.

**NASA; A NASA Centrada em Confiabilidade de Manutenção de Instalações e Equipamentos Colateral;** 2000.

SUZUKI, Tokutaro. **TPM in Process Industries.** Portland (OR - USA) Productivity Press, Inc., 1994.

RCM Training – **Reliability Centred Maintenance** – Efeso Consulting – 1999

PAULI - Lorde Kelvin - 1978, p. 4

SHIROSE, Kunio - **New TPM Implementation Program for Renovation of Production**

WEG - <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-w22-motor-trifasico-explodido-50009253-guia-rapido-portugues-br.pdf> (Acesso em 08 out. 2012)