

**UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E URBANISMO**  
**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DOS RESULTADOS DA MANUTENÇÃO  
CENTRADA EM CONFIABILIDADE NO DESEMPENHO DE UM  
EQUIPAMENTO INDUSTRIAL**

**STRAUSS SYDIO DE SOUZA**

ORIENTADOR: PROF. DR. Carlos Roberto Camello Lima

SANTA BÁRBARA D'OESTE

2003

**UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E URBANISMO**  
**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DOS RESULTADOS DA MANUTENÇÃO  
CENTRADA EM CONFIABILIDADE NO DESEMPENHO DE UM  
EQUIPAMENTO INDUSTRIAL**

**STRAUSS SYDIO DE SOUZA**

ORIENTADOR: PROF. DR. Carlos Roberto Camello Lima

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Produção.

SANTA BÁRBARA D'OESTE

2003

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DOS RESULTADOS DA MANUTENÇÃO  
CENTRADA EM CONFIABILIDADE NO DESEMPENHO DE UM  
EQUIPAMENTO INDUSTRIAL**

**STRAUSS SYDIO DE SOUZA**

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, em 28 de Agosto de 2003,  
pela Banca Examinadora constituída pelos Professores:

Prof. Dr. Carlos Roberto Camello Lima

UNIMEP

Prof. Dr. Olívio Novaski

UNICAMP

Prof. Dr. Paulo Augusto Cauchick Miguel

UNIMEP

“ O homem é pacífico por natureza.  
Existem animais, como o tigre e o leão,  
que devem matar para sobreviver.  
A natureza lhes deu então presas e garras.  
Mas o homem não tem presas nem garras.  
Para sobreviver ele precisa de ar,  
de água e de comida, mas sobretudo  
da amizade dos próprios semelhantes.  
Todos necessitamos de amigos e não de inimigos.  
Todos devemos compreender que quem não  
sorri aos outros não pode pretender  
que os outros lhe sorriam, e que a verdadeira  
amizade se conquista com simplicidade e  
a generosidade do coração”

(Dalai Lama)

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Raimundo Rodrigues de Souza e Marly Sydio de Souza pelo incentivo em todos os momentos de minha vida,

Ao professor Carlos Roberto Camello Lima pela orientação e ajuda que me ofereceu no transcorrer de meu trabalho,

Aos professores Felipe Araújo Calarge e Paulo Augusto Cauchick Miguel pelas sugestões de melhorias do trabalho durante o processo de qualificação,

Ao amigo João Celso Balarini pelo incentivo para a realização do trabalho,

Aos meus amigos e companheiros de trabalho, que anonimamente colaboraram para que este trabalho fosse realizado,

E principalmente a Deus, por me ter dado a oportunidade de realizar mais um sonho na minha vida.

Este trabalho não poderia ser terminado sem ajuda de diversas pessoas às quais expresso meus agradecimentos pela verdadeira amizade, pelo estímulo e solidariedade do início ao fim desta aventura.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b> .....	<b>VIII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>X</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>XI</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XII</b>
<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1. RELEVÂNCIA DO TEMA .....	1
1.2. OBJETIVOS .....	3
1.3. METODOLOGIA .....	3
<b>CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>6</b>
2.1. INTRODUÇÃO .....	6
2.2. CONFIABILIDADE, DISPONIBILIDADE E MANUTENABILIDADE .....	7
2.3. HISTÓRICO DA MANUTENÇÃO .....	10
2.4. CLASSIFICAÇÃO DA MANUTENÇÃO .....	15
2.4.1. MANUTENÇÃO CORRETIVA NÃO PLANEJADA .....	17
2.4.2. MANUTENÇÃO CORRETIVA PLANEJADA .....	18
2.4.3. MANUTENÇÃO PREVENTIVA .....	19
2.4.4. MANUTENÇÃO PREDITIVA .....	20
2.4.5. MANUTENÇÃO DETECTIVA .....	23
2.4.6. MANUTENÇÃO DE MELHORIAS .....	23
2.5. MANUTENÇÃO DE CLASSE MUNDIAL .....	24
2.5.1. ASPECTOS ORGANIZACIONAIS DA MANUTENÇÃO .....	25
2.5.2. CAPACITAÇÃO E POLIVALÊNCIA .....	28
2.5.3. PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO E MEDIDA DE DESEMPENHO .	29
2.5.4. SISTEMA DE GERENCIAMENTO - INFORMATIZAÇÃO NA MANUTENÇÃO .....	32
2.5.5. MANUTENÇÃO PREDITIVA OU SOB CONDIÇÃO .....	32
2.5.6. NOVAS POLÍTICAS DE ESTOQUES E SOBRESSALENTE	33
2.5.7. TPM - MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL .....	34
2.5.8. RCM - MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE .....	35
2.5.9. TERCEIRIZAÇÃO NA MANUTENÇÃO .....	35
2.5.10. MELHORIA CONTÍNUA .....	36
<b>CAPÍTULO 3 - MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE - RCM</b> .....	<b>38</b>
3.1. AS SETE PERGUNTAS BÁSICAS DA METODOLOGIA .....	38
3.2. ETAPAS DO PROCESSO DE IMPLANTAÇÃO DO RCM .....	39
ETAPA 1 - SELECIONAR ÁREA DO PROCESSO PRODUTIVO .....	39
ETAPA 2 - DEFINIR AS FUNÇÕES E PARÂMETROS .....	40
ETAPA 3 - DETERMINAR AS FALHAS FUNCIONAIS .....	42

ETAPA 4 - DETERMINAR O MODO DE FALHA , SEUS EFEITOS E CONSEQUÊNCIAS .....	48
ETAPA 5 - SELECIONAR O TIPO DE MANUTENÇÃO .....	48
ETAPA 6 - FORMULAR E IMPLEMENTAR O PLANO DE MANUTENÇÃO .....	54
ETAPA 7 - MELHORIA CONTÍNUA .....	57
3.3. EQUIPE MULTIDISCIPLINAR DA METODOLOGIA RCM .....	57
3.4. OS BENEFÍCIOS QUE SE ESPERA DO RCM .....	59
<b>CAPÍTULO 4 - UM ESTUDO DE CASO DE RCM .....</b>	<b>62</b>
4.1. PERFIL DA EMPRESA DO ESTUDO DE CASO .....	62
4.2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO QUÍMICO .....	64
4.3. DETALHES DO SISTEMA DE HOMOGENEIZAÇÃO .....	65
4.4. DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA RCM .....	68
ETAPA 1 - TREINAMENTO NAS TÉCNICAS DO RCM .....	68
ETAPA 2 - DETERMINAÇÃO DAS FUNÇÕES DO SISTEMA DE HOMOGENEIZAÇÃO .....	69
ETAPA 3 - APLICAÇÃO DO FORMULÁRIO DE COLETA DE INFORMAÇÕES DO RCM .....	70
ETAPA 4 - APLICAÇÃO DO FORMULÁRIO DE DECISÕES DO RCM .....	71
ETAPA 5 - IMPLANTAÇÃO DAS RECOMENDAÇÕES DO RCM .....	71
4.5. RESULTADOS E DISCUSSÕES DA ANÁLISE DO RCM .....	72
4.6. RESULTADOS E DISCUSSÕES DA IMPLANTAÇÃO DO RCM .....	77
<b>CAPÍTULO 5- CONCLUSÕES .....</b>	<b>85</b>
5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	87
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>88</b>
<b>ANEXOS</b>	
ANEXO 1 - FORMULÁRIO USADO NA METODOLOGIA FMEA .....	95
ANEXO 2 - RELAÇÃO ENTRE OS TAGS DA FIGURA 22 E OS TAGS DO PROCESSO .....	100
ANEXO 3 - FORMULÁRIOS DE INFORMAÇÕES DO RCM DO ESTUDO DE CASO .....	101
ANEXO 4 - FORMULÁRIO DE DECISÕES DO RCM DO ESTUDO DE CASO .....	120

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABRAMAN	Associação Brasileira de Manutenção.
FMEA	<i>Failure Mode And Effect Analysis</i> (Análise de Modos de Falha e Seus Efeitos).
ISSO	<i>International Organization for Standardization</i> .
NPR	Número de Prioridade de Risco.
PDCA	<i>Plan, Do, Control, Act</i> (planejar, fazer, controlar, agir).
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i> (Manutenção Produtiva Total).
WCM	<i>World Class Manufacturing</i> (Manufatura de Classe Mundial).
RCM	<i>Reliability Centered Maintenance</i> .
SMRP	<i>Society for Maintenance &amp; Reliability Professional</i> . (Associação dos Profissionais de Manutenção de Confiabilidade).
RCFA	<i>Root Cause Failure Analysis</i> (Análise da Causa Raiz da Falha).
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i> (Sociedade Americana de Engenheiros Automotivos)

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	EXPECTATIVA DA MANUTENÇÃO .....	12
Figura 2	MUDANÇAS DE VISÃO DA FALHA DO EQUIPAMENTO .....	14
Figura 3	TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO EM MODIFICAÇÃO .....	15
Figura 4	CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE MANUTENÇÃO .....	16
Figura 5	PROCESSO DE DETERIORAÇÃO QUE LEVA À FALHA .....	22
Figura 6	ORGANOGRAMA ORGANIZACIONAL TÍPICO .....	26
Figura 7	UM ITEM PÁSSIVEL DE MANUTENÇÃO .....	41
Figura 8	UMA SITUAÇÃO NÃO PASSÍVEL DE MANUTENÇÃO .....	42
Figura 9	DEFINIÇÃO DE FALHA FUNCIONAL .....	42
Figura 10	ATIVO COM DETERIORAÇÃO QUE AINDA ESTÁ FUNCIONANDO .....	43
Figura 11	PADRÃO DE DESEMPENHO, LIMITE SUPERIOR E INFERIOR .....	44
Figura 12	VISÕES DIFERENTES SOBRE A FALHA .....	45
Figura 13	TIPOS DE CURVAS DE FALHAS .....	46
Figura 14	DIAGRAMA DE DECISÕES DOS EFEITOS DAS FALHAS .....	49
Figura 15	TIPOS DE MANUTENÇÃO: FALHAS QUE AFETAM A SEGURANÇA .....	50
Figura 16	TIPOS DE MANUTENÇÃO PARA PREVENIR AS FALHAS OCULTAS .....	51
Figura 17	TIPOS DE MANUTENÇÃO : FALHAS OPERACIONAIS E ECONÔMICAS ..	52
Figura 18	VISÃO INTEGRADA DA CLASSIFICAÇÃO DA FALHA FUNCIONAL .....	53
Figura 19	FORMULÁRIO DE INFORMAÇÕES DO RCM .....	55
Figura 20	FORMULÁRIO DE DECISÕES DO RCM .....	56
Figura 21	UMA EQUIPE MULTIDISCIPLINAR TÍPICA .....	58
Figura 22	FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE EMULSÕES .....	66
Figura 23	HOMOGENEIZADOR GAULIN-TREU .....	67
Figura 24	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO – VÁLVULA DE HOMOGENEIZAÇÃO ..	67
Figura 25	DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DA CLASSIFICAÇÃO DOS EFEITOS DA FALHA .....	73
Figura 26	DISPONIBILIDADE DO SISTEMA DE HOMOGENEIZAÇÃO .....	78
Figura 27	CONTROLE DO TOTAL DE HOMEM / HORA PARA MANUTENÇÃO .....	78

**LISTA DE TABELAS**

Tabela – 1	CLASSIFICAÇÃO DOS EFEITOS DA FALHA DO ESTUDO DE CASO ....	72
Tabela – 2	ESTRUTURA DAS TAREFAS DE MANUTENÇÃO DO ESTUDO DE CASO .....	73
Tabela – 3	PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA .....	97
Tabela – 4	SEVERIDADE .....	97
Tabela – 5	PROBABILIDADE DE DETECÇÃO .....	98
Tabela – 6	RELAÇÃO ENTRE OS TAGS DA FIGURA 22 E OS TAGS DO PROCESSO .....	100

SOUZA, Strauss Sydio de. **Estudo da influência dos resultados da manutenção centrada em confiabilidade no desempenho de um equipamento industrial**. 2003. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Barbara d’Oeste.

## RESUMO

Dentre as várias práticas adotadas pelas empresas de classe mundial, como forma de melhorar a sua competitividade no mercado, está a prática da metodologia da manutenção centrada em confiabilidade - RCM (*Reliability Centered Maintenance*). Este trabalho apresenta um estudo sobre esta metodologia e, também, um estudo de caso. Neste estudo de caso, aplicou-se os conceitos da metodologia da manutenção centrada em confiabilidade em um ativo físico do sistema de fabricação de emulsões de uma empresa química, para verificar em que medida a aplicação da metodologia RCM traz efetivos resultados em termos de desempenho operacional e redução de custos. Tais resultados podem ser relacionados a um melhor planejamento das tarefas de manutenção, com a eliminação de atividades desnecessárias que não agregam confiabilidade no desempenho da função. Os resultados obtidos neste estudo de caso geraram, ainda, várias propostas de melhorias, objetivando melhorar o desempenho do departamento de manutenção e, conseqüentemente, aumentar a competitividade desta empresa.

**PALAVRAS-CHAVE:** RCM, Manutenção, Confiabilidade, Competitividade, Manutenção Classe Mundial.

SOUZA, Strauss Sydio de. **Estudo da influência dos resultados da manutenção centrada em confiabilidade no desempenho de um equipamento industrial.** 2003. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Barbara d'Oeste.

### **ABSTRACT**

*Among a number of practices adopted by world class manufacturers, as a way of improving their market competitiveness, there is the practice of reliability centered maintenance (RCM). This work presents a study of this methodology and a case study. In this case study, the concepts of reliability centered maintenance were applied to a physical asset of a production system of emulsions of a chemical industry in order to verify in what measure the application of the RCM methodology brings effective results in terms of operational performance and costs reduction. Such results can be related to a better planning of maintenance tasks with the elimination of unnecessary activities that do not add reliability to the function performance. The results obtained in this case study generated several improvement proposals, aiming at improving the performance of the maintenance department and consequently increasing the competitiveness of the company.*

**KEYWORDS:** RCM, Maintenance, Reliability, Competitiveness, World Class Maintenance.

## **CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO**

## 1.1 RELEVÂNCIA DO TEMA

A Função Manutenção tem passado, nos últimos tempos, por grandes transformações gerenciais. Estas transformações sempre aconteceram nos momentos em que as empresas enfrentavam desafios competitivos. Como desafios, pode-se entender: competir no mercado cada vez mais globalizado, buscando o melhor atendimento às demandas de seus clientes ou mercados, buscando sempre os melhores índices de desempenho no atendimento desta demanda. Estas empresas buscam alta qualidade nos seus produtos e serviços, alta disponibilidade no seu sistema produtivo, custos competitivos, altos índices de confiabilidade nas instalações e comprometimento em preservar o meio ambiente.

Pode-se observar que estas empresas, para serem mais competitivas, buscam a excelência nos serviços e produtos de sua competência. Para buscar esta excelência, as empresas buscam sempre inovações e procuram estar na vanguarda da aplicação da tecnologia no seu processo produtivo e, principalmente, na gestão do seu maior patrimônio que são os seus colaboradores internos e externos.

Estas empresas buscam, também, nos Departamentos de Manutenção, os resultados positivos de desempenho do seu sistema produtivo para garantir ganhos em produtividade e qualidade, simultaneamente com a redução de custos de manutenção. Desta forma, a manutenção passa a ser considerada como um departamento de função estratégica que agrega valor ao produto.

Novas práticas, métodos e inovações tecnológicas para melhorar a gestão da manutenção têm sido bastante difundidas e disponibilizadas. Por um lado, estes novos métodos e inovações enriquecem a organização manutenção, por outro, podem trazer uma grande confusão e ocasionar a perda dos objetivos. Cabe ao gestor da manutenção selecionar as melhores práticas, de acordo com a sua necessidade de resultados.

Dentre as práticas adotadas por estas empresas, como forma de garantir a sua competitividade e a conseqüente perpetuação no mercado, está a prática de RCM (*Reliability Centered Maintenance*) ou MCC (Manutenção Centrada em Confiabilidade).

A metodologia de manutenção centrada em confiabilidade nasceu na indústria aeronáutica, nos anos 60, e tem sido adaptada e aplicada em praticamente todas as áreas do empreendimento humano. O crescente reconhecimento mundial do papel chave realizado pelo RCM na formulação de estratégias de gerenciamento de ativos físicos levou a Sociedade Americana de Engenheiros Automotivos a publicar a Norma SAE- JA1011, em 1999. Esta norma apresenta os critérios de avaliação de processos de manutenção voltados à confiabilidade RCM.

A metodologia RCM é utilizada para aumentar a eficiência do planejamento da manutenção. A análise dos resultados obtidos com o RCM propicia ao gestor da manutenção requisitos técnicos para que a melhor prática de manutenção seja adotada para que o item físico analisado continue a cumprir a suas função no sistema produtivo. Para gerar estes resultados, a metodologia RCM analisa as funções e os padrões de desempenho dos itens, nos seus contextos operacionais: de que forma ele falha, o que causa cada falha, o que ocorre quando acontece a falha e o que pode ser feito para prevenir a falha (RAUSAND, 1998). Nenhuma técnica, comparável ao RCM, existe para identificar um mínimo de tarefas verdadeiras e seguras que devem ser feitas para preservar as funções dos ativos físicos, especialmente em situações críticas e perigosas (MOUBRAY, 2000).

## **1.2 OBJETIVOS**

A partir da justificativa e contextualização apresentadas no item anterior, o trabalho tem os seguintes objetivos:

- v O objetivo principal deste trabalho é verificar em que medida a aplicação da metodologia RCM traz efetivos resultados em termos de desempenho operacional e conseqüente redução de custos.
- v Como objetivos complementares, pretende-se avaliar a efetividade das ferramentas do RCM na eliminação de atividades desnecessárias de manutenção e no aumento da confiabilidade dos equipamentos.

### 1.3 METODOLOGIA

Este trabalho, para atingir o objetivo pretendido, contempla a seguinte metodologia de pesquisa, que compreende:

#### $\pi$ Pesquisa bibliográfica:

A pesquisa bibliográfica tem o objetivo de conhecer os materiais já elaborados em livros e artigos científicos sobre o assunto de manutenção centrada em confiabilidade. As fontes bibliográficas consultadas na realização do trabalho foram: a base de Dados *Compendex*, *Probe* e *Web of Science*, através da biblioteca da área de Engenharia – BAE – UNICAMP, *sites* específicos da *Internet*, livros técnicos, revistas técnicas, periódicos, dissertações de mestrado e teses de doutorado.

#### $\pi$ Pesquisa de campo:

A técnica da pesquisa de campo utilizada foi a Observação Direta Intensiva (Pesquisa-Ação). Esta pesquisa caracteriza-se pelo envolvimento ativo do pesquisador e a ação por parte das pessoas ou grupos envolvidos na análise do problema (GIL, 1996).

O trabalho é baseado em um estudo de caso onde o autor atuou de forma direta na elaboração, coordenação e análise dos trabalhos. O objetivo desta pesquisa de campo foi o de colher as informações de problemas operacionais de uma equipamento industrial, tal como ocorreram, listar estes problemas e analisá-los. Todas as informações colhidas foram registradas em formulários próprios, sugeridos pela metodologia RCM, e que podem ser encontrados na literatura. Todo este processo foi realizado por uma equipe multidisciplinar, que é a forma mais correta para assegurar que todos os diferentes pontos de vista estão sendo levantados e considerados (MARCONI; LAKATOS, 1996).

Para atender o objetivo deste trabalho, essa dissertação é dividida nos seguintes capítulos:

- Neste capítulo (capítulo 1), busca-se apresentar a justificativa da realização deste trabalho, assim como os objetivos a serem alcançados e a metodologia de pesquisa.
- O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica da área de manutenção industrial, visando, inicialmente, entender o histórico da evolução da manutenção industrial e conhecer as melhores práticas de gerenciamento adotadas na área de manutenção de classe mundial.
- O capítulo 3 apresentar a metodologia utilizada no estudo de caso. Esta metodologia está baseada nos roteiros de implantação sugeridos por SMITH (1993) e LAFRAIA (2001), que é baseada em sete etapas. Também apresenta os resultados vistos como benefícios, obtidos por quem aplica corretamente esta metodologia da manutenção centrada em confiabilidade.
- O capítulo 4 apresenta o estudo de caso, realizado em um equipamento do sistema de fabricação de emulsões de uma empresa multinacional do ramo químico, para verificar em que medida a aplicação da metodologia RCM

traz efetivos resultados em termos de desempenho operacional e redução de custos.

- Finalmente, o capítulo 5 apresenta as conclusões do presente trabalho e as sugestões para trabalhos futuros.

## **CAPITULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA**

Nos últimos anos a atividade de manutenção tem passado por muitas mudanças. Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica da área de manutenção industrial, visando, inicialmente, entender o histórico da evolução da manutenção industrial e conhecer as melhores práticas de gerenciamento adotadas na área de manutenção das empresas de classe mundial.

## **2.1 INTRODUÇÃO**

O que significa a palavra manutenção? De acordo com o dicionário (Aurélio Buarque de Holanda, 1986), o termo “manutenção” significa “o ato ou efeito de manter” isto é, “o conjunto de revisões e operações normais na conservação de um equipamento em uso”. Se definida a palavra manutenção do ponto de vista de engenharia, pode-se entendê-la como sendo o conjunto de atividades para conservar o equipamento ou ativo físico, para que ele continue a fazer tudo o que o seu usuário deseja que ele faça (MOUBRAY, 2000). Para se conceituar hoje a manutenção, pode-se entendê-la como uma missão estratégica de um departamento que busca atender a três conjuntos de clientes: os proprietários dos ativos, os usuários e a sociedade. Os proprietários dos ativos estarão satisfeitos se o retorno do investimento for satisfatório. Os usuários dos ativos estarão satisfeitos ao assegurarem que os ativos farão tudo o que eles desejam que ele faça, com desempenho satisfatório. Finalmente, a sociedade estará satisfeita se os ativos não falharem para preservação do meio ambiente.

## **2.2 CONFIABILIDADE, DISPONIBILIDADE E MANUTENABILIDADE**

A seguir, serão definidos os termos manutenibilidade, confiabilidade e disponibilidade. São termos utilizados neste trabalho e que são empregados nas organizações de manutenções modernas, onde se busca facilitar e obter rapidez pela execução da manutenção, o aumento de tempo do equipamento em regime de produção e a confiabilidade operacional.

A *manutenibilidade* é a característica de um equipamento ou conjunto de equipamentos que permite, em maior ou menor grau de facilidade, a execução dos serviços de manutenção (PINTO; XAVIER, 2001). O maior ou menor grau de facilidade em executar a manutenção de um equipamento é medido pelo Tempo Médio Para Reparo (*Mean Time To Repair* ou MTTR). É representado matematicamente pela expressão:

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^N TR_i}{N} \quad [1]$$

Onde: TR= somatório dos intervalos de tempo de reparo de cada ocorrência de falha “i” a “N”; N= número de falhas ocorridos no intervalo de tempo estudado.

Outros autores definem manutenibilidade com sendo a qualidade das feições e características combinadas do projeto de equipamentos que permite ou realça a realização de manutenção por pessoa de média especialização sob condições naturais e ambientais em que irá operar (TAVARES, 1996). Sob o ponto de vista matemático, tem-se uma definição mais objetiva: Manutenibilidade é a probabilidade do equipamento ser recolocado em condições de operar dentro de um dado período de tempo quando a ação de manutenção é executada de acordo com os procedimentos prescritos. A ação de manutenção pode ser tanto preventiva, como corretiva (LAFRAIA, 2001).

Alguns princípios podem ser considerados como fundamentais na busca da melhoria da manutenibilidade (PINTO; XAVIER, 2001):

- a) A manutenibilidade deve sempre estar associada aos seguintes conceitos fundamentais: qualidade, segurança, custo e tempo.
  - Qualidade do serviço a ser executado e entregue.
  - Segurança do pessoal que executa o serviço e da instalação.
  - Custos envolvidos, incluindo perdas de produção
  - Tempo ou indisponibilidade do equipamento.
- b) A manutenibilidade será melhor se os seguintes critérios relacionados à área de suprimentos forem adotados:
  - Intercambiabilidade;
  - Padronização de sobressalentes;
  - Padronização de equipamentos na planta.
- c) Sistemas de detecção e indicadores de desgastes, condições anormais ou falhas (monitoramento) fazem parte da melhoria da manutenção da planta, pois permitem atuação do pessoal da manutenção.

*A confiabilidade* é definida como sendo a probabilidade de que um item possa desempenhar uma função requerida, por um intervalo de tempo estabelecido e sob condições definidas de uso (MOUBRAY, 2000). Encontra-se outras definições de confiabilidade e observa-se que as definições são praticamente idênticas. Elas levam em consideração as quatro estruturas: probabilidade, função requerida, condições de uso e período de uso. Estas estruturas são caracterizadas a seguir (MOUBRAY, 2000):

- Probabilidade pode ser definida como a razão entre o número de casos favoráveis sobre o número de casos possíveis associada a um intervalo de tempo. Portanto, a confiabilidade é uma medida numérica que varia de zero a um, ou de 0 a 100%. Zero para ausência total de confiabilidade e um para confiabilidade total.
- Função requerida pode ser traduzida pelo patamar de admissibilidade abaixo do qual a função não é mais satisfatória. Função requerida é a mesma coisa que atender o desempenho desejado.
- Condições definidas de uso representam a que condições operacionais está submetido o equipamento. Isso quer dizer: ambiente em que está instalado, incluindo suas variações e grau de agressividade, solicitações mecânicas, físicas, químicas, etc. O mesmo equipamento sujeito a duas condições diferentes apresentará confiabilidade diferente.
- Intervalo de tempo é o período de tempo definido e medido. Como a probabilidade varia com o tempo, a confiabilidade para um intervalo de tempo  $t_1$  é diferente para um intervalo de tempo  $t_2$ . O intervalo de tempo é considerado fundamental, já que itens que apresentam confiabilidade de 95% para 6.000 horas, por exemplo, são melhores do que itens de mesma confiabilidade para intervalos de tempos inferiores.

Existem várias formas de apresentar índices de confiabilidade de equipamentos; a mais comum é apresentar o Tempo Médio Entre Falhas (MTBF). E representado matematicamente pela expressão:

$$MTBF = \frac{\sum_{i=1}^N}{[2]}$$

Onde  $\sum_{i=1}^N$  são intervalos de tempo de bom funcionamento entre cada ocorrência de falha “1” a “N”; N= número de falhas ocorridos no intervalo de tempo estudado.

A *disponibilidade* é definida como sendo o percentual de tempo considerado em que um equipamento ou sistema funciona com sucesso (NAGAO, 1998). Hoje, a missão da manutenção é garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a demanda de a um processo de produção com segurança operacional e custos adequados. Desta forma, pode-se calcular a disponibilidade conforme a formula a seguir (PINTO; XAVIER, 2001):

$$D = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} \quad [3]$$

Onde: D= disponibilidade; MTBF= tempo médio entre falhas; MTTR= tempo médio para reparos.

### 2.3 HISTÓRICO DA MANUTENÇÃO

A aplicação prática de uma descoberta científica, a força elástica do vapor de água, alavancou a revolução industrial por volta de 1750, na Inglaterra. Isto permitiu libertar o homem da tarefa primária de utilização da força muscular para moldar e utilizar as suas ferramentas. Esta libertação permitiu-lhe canalizar energias no sentido da criação de novos utensílios e de novos desenvolvimentos. Nesta mesma época, surgiram as necessidades dos primeiros trabalhos de manutenção (SANTOS, 1979).

A evolução da manutenção acompanha o desenvolvimento tecnológico e industrial da humanidade. Desde os anos 30, a evolução da manutenção pode ser investigada através de três gerações (MOUBRAY, 2000), como será descrito a seguir.

A primeira geração abrange o período até a Segunda Guerra Mundial. Nesta época, as indústrias eram pouco mecanizadas, a maioria dos equipamentos era simples e, muitos deles, super dimensionados. Isto os tornava confiáveis e simples de consertar. Neste período, não existia a preocupação com a produtividade nas fábricas e os gerentes não tinham a preocupação de trabalhar na prevenção da falha. Conseqüentemente, não era necessário uma manutenção sistematizada, apenas serviços de limpeza, lubrificação e reparo após a quebra. A manutenção era fundamentalmente corretiva e a necessidade de habilidades era menor que hoje.

A segunda geração abrange o período da Segunda Guerra Mundial até os anos 60. As pressões do período de guerra mudaram muito o cenário mundial. Houve um aumento na demanda de todos os tipos de produtos, ao mesmo tempo em que o contingente de mão de obra industrial diminuiu sensivelmente. Como conseqüência, neste período houve forte aumento da mecanização, bem como da complexidade das instalações industriais.

Com esta complexidade das instalações e a necessidade de produtividade, começa a se evidenciar a necessidade de evitar as falhas nos equipamentos. isto é, a necessidade de maior confiabilidade para se obter maior produtividade. Nesta época, começam a aparecer os conceitos de manutenção preventiva, que consistia em fazer a manutenção nas máquinas em intervalos fixos.

O custo de manutenção também começou a se elevar muito em comparação com outros custos operacionais. Isto conduziu ao crescimento dos sistemas de planejamento e controle de manutenção. Isto ajudou a colocar a manutenção sob controle e, hoje, são parte integrante da prática da manutenção moderna.

Finalmente, a quantidade de capital investida em equipamentos, juntamente com o nítido aumento do custo do capital levaram as empresas a começarem a buscar meios para aumentar a vida útil dos equipamentos.

Sobre a terceira geração, a partir da década de 70, o processo de mudança na indústria começou a ganhar velocidade. As alterações ocorridas nas indústrias podem ser classificadas como: novas expectativas, novas pesquisas e novas técnicas.

Está representado na Figura 1 como as expectativas da manutenção cresceram com o passar do tempo até os dias de hoje.

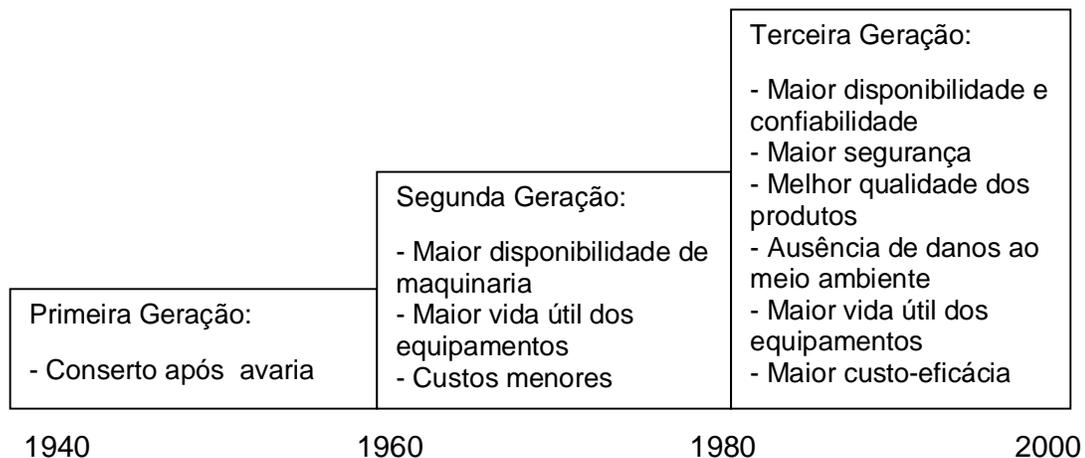


FIGURA 1 – Expectativa da manutenção (MOUBRAY, 2000)

As paradas não programadas na produção sempre afetaram a capacidade produtiva por reduzirem a quantidade produzida, aumentando os custos operacionais, diminuindo a qualidade dos produtos e interferindo com o serviço ao cliente. Para as fábricas, estes períodos de paralisações foram se agravando com as políticas de comercialização no sistema “*just in time*”, onde estoques reduzidos para a produção em andamento significavam que pequenas paradas na produção poderiam parar a produção da fábrica inteira.

O crescimento recente com a automação passou a indicar que a confiabilidade e disponibilidade tornaram-se pontos chave em setores tão diversos quanto saúde, processamento de dados, telecomunicação e gerenciamento predial. Maior automação significa que, cada vez mais, as

falhas freqüentes afetam a capacidade de se manter padrões de qualidade estabelecidos.

Cada vez mais, as falhas têm conseqüências sérias para a segurança e o meio ambiente. Com o aumento dos padrões e exigências de segurança, as empresas estão se conscientizando da necessidade de preservar os equipamentos para assegurar confiabilidade operacional.

Cada vez mais fica-se dependente dos equipamentos para a produtividade projetada. Para assegurar o retorno do capital investido, é preciso manter os equipamentos operando o tempo necessário, com confiabilidade operacional.

Finalmente, o custo da manutenção em si está aumentando, em termos absolutos e proporcionalmente aos gastos totais. Nos últimos trinta anos, o custo da manutenção passou a ser um dos maiores custos operacionais (PINTO; XAVIER, 2001). Visto isto, a racionalização dos custos passou a ser prioridade para o gestor da manutenção.

Está representado, na Figura 2, a evolução das pesquisas na análise das falhas. Primeiramente, a concepção mais antiga, onde com o envelhecimento dos equipamentos eles estavam mais propensos às falhas. Uma crescente conscientização das falhas típicas de partida, levou à crença generalizada da segunda geração, que é mais conhecida como a "curva da banheira", devido ao seu formato. Esta curva, cuja forma já é bastante conhecida pelos profissionais da área de manutenção industrial, apresenta três regiões características: a região do início da curva corresponde às falhas precoces ou infantis, a região do meio da curva ou região da vida útil do equipamento e a parte final da curva que corresponde ao período de envelhecimento do equipamento.

As pesquisas na terceira geração revelaram que são seis os padrões de falha que efetivamente ocorrem na prática. Uma importante conclusão saiu desta pesquisa: a conclusão de que se deveria repensar as tarefas de manutenção para verificar as reais necessidades das manutenções

preventivas, de acordo com o tipo de falha esperada no equipamento. Isto é, verificar se o trabalho que a manutenção está fazendo é o correto. Estes seis padrões de falhas serão abordados neste trabalho.

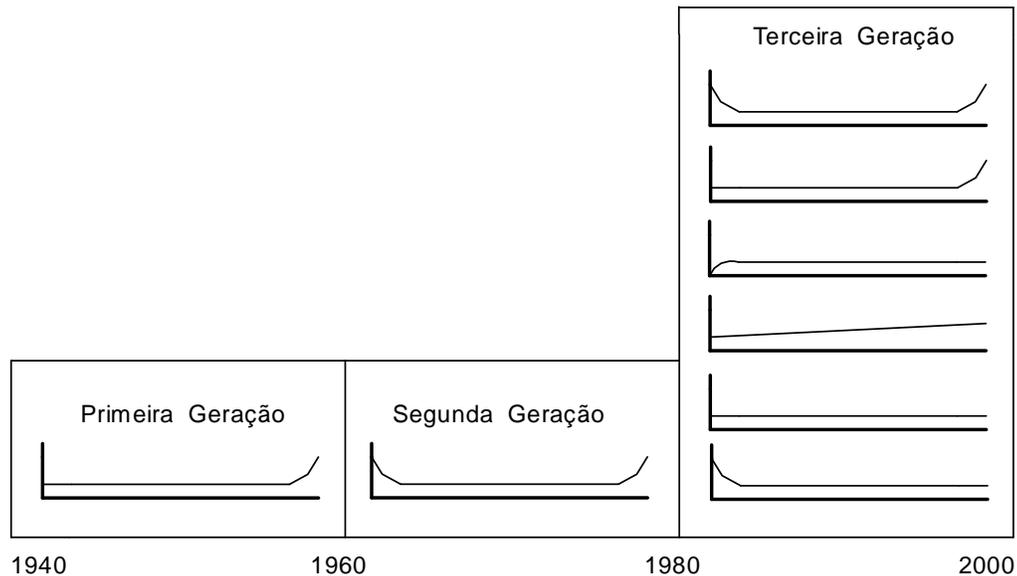


FIGURA 2 – Mudanças de visão da falha do equipamento (MOUBRAY, 2000)

No últimos anos, várias técnicas de manutenção foram desenvolvidas. Está representado na Figura 3 como o desenvolvimento da manutenção cresceu em diferentes campos. Segundo MOUBRAY (2000), os campos de desenvolvimento incluem:

- Ferramentas de suporte às decisões, tais como estudos sobre riscos, modos de falha e análise dos efeitos, e sistemas especialistas.
- Novas técnicas de manutenção, tais como monitoramento de condições.
- Projeto de equipamento com ênfase muito maior na confiabilidade e na manutenibilidade.
- Uma forte mudança no pensamento empresarial em relação à participação, trabalho em equipe e flexibilidade.

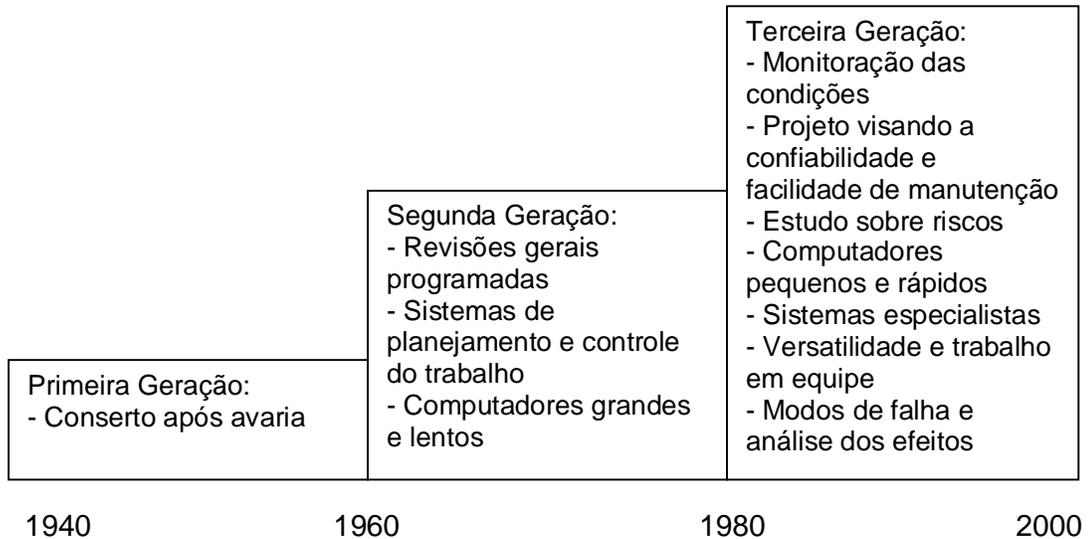


FIGURA 3 – Técnicas de manutenção em modificação (MOUBRAY, 2000)

O grande desafio que o pessoal de manutenção está enfrentando é identificar qual das várias técnicas gerenciais de manutenção disponíveis melhor se aplica à sua necessidade. Simplesmente a aplicação destas técnicas não é sinônimo de sucesso. Por isso, só um estudo de avaliação das reais necessidades de um departamento de manutenção é que indicará a melhor técnica gerencial para alcançar os resultados esperados.

## 2.4 CLASSIFICAÇÃO DA MANUTENÇÃO

A manutenção pode ser classificada, basicamente, como manutenção corretiva e manutenção preventiva. A manutenção corretiva corresponde a todas as ações tomadas para que um sistema retorne do seu estado falho para o estado operacional ou disponível. A manutenção preventiva corresponde a todas as ações tomadas para a prevenção de ocorrência de falhas, isto é, preservar um sistema em seu estado operacional ou disponível (CATTINI, 1992).

Existem várias classificações sobre os tipos de manutenção. Neste trabalho, a manutenção está classificada de uma forma prática. A Figura 4 mostra a classificação da manutenção com uma visão global de uma instalação fabril.

<b>MANUTENÇÃO GLOBAL</b>					
MANUTENÇÃO PLANEJADA					MANUTENÇÃO NÃO PLANEJADA
CORRETI VA	PREVENTI VA	PREDITIV A	DETECTI VA	MELHORIA S	CORRETIVA

**FIGURA 4 – Classificação dos tipos de manutenção (MIRSHAWKA;**

Esta classificação apresentada na Figura 4, é uma apresentação prática e global da manutenção e as definições dos vários tipos de manutenção são apresentadas a seguir. Entretanto, não se pode confundir as várias ferramentas aplicadas pelos gestores da manutenção que levam a palavra manutenção. Estas ferramentas não são novos tipos de manutenção, mas ferramentas que permitem a aplicação dos seis tipos de manutenção apresentados na Figura 4. Dentre estas ferramentas, destacam-se:

- Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) ou *Reliability Centered Maintenance (RCM)*.
- Manutenção Produtiva Total ou *Total Productive Maintenance (TPM)*.

#### 2.4.1 *MANUTENÇÃO CORRETIVA NÃO PLANEJADA*

A manutenção corretiva não planejada é a ação tomada para corrigir uma falha que ocorreu de forma aleatória. A frequência deste tipo de manutenção é determinada pela confiabilidade do equipamento. A ação deste tipo de manutenção não pode ser planejada, e normalmente ocorre quando não se deseja.

Este tipo de ação da manutenção corretiva não planejada não é necessariamente uma manutenção de emergência. Convém observar que existem duas condições específicas que levam à manutenção corretiva (KRONER, 1999):

- Desempenho deficiente, apontado pelo acompanhamento das variáveis operacionais.
- Ocorrência da falha.

Embora possa ser considerada a mais perniciosa forma de fazer manutenção, a triste realidade é que este tipo de manutenção ainda é aplicado em larga escala, tanto em empresas de porte pequeno, quanto de porte grande. Efetivamente, podem existir casos onde a manutenção corretiva não planejada pode ser a única alternativa aplicável. Isto é inadequado, porque ela ocorre de forma imprevista e, como tal, leva à perda de produção, perda da qualidade do produto em momentos inoportunos, podendo gerar altos custos.

Além disso, quebras aleatórias podem ter conseqüências bastante graves para o equipamento ou para uma seqüência de equipamentos que operem em um processo de produção contínuo, isto é, a extensão dos danos pode ser bem maior. Interromper processos de forma abrupta e aleatória para reparar um determinado equipamento compromete a qualidade de outro que vinha operando adequadamente, levando-os a apresentar falha após o reinício da produção.

Com a manutenção corretiva não planejada, fica difícil um controle de paradas de equipamentos e, também, um controle de estoque de peças sobressalentes, devido a não se saber exatamente o que será trocado na próxima parada. Com isso, os tempos de paradas se tornam maiores e os prejuízos também. Para os críticos, que falam que a manutenção custa muito dinheiro, cabe comparar os custos da mão de obra e materiais gastos em manutenção com os custos de máquinas paradas, respectivamente, o custo da produção perdida. Este custo pode implicar de 2 a 15 vezes o custo de manutenção, podendo considerar como razoável uma média de 4 vezes (KRONER, 1999). Para exemplificar, para cada R\$10.000,00 gastos em manutenção, o custo efetivo pode chegar a R\$50.000,00, considerando-se R\$ 40.000,00 o custo do equipamento parado.

#### **2.4.2 MANUTENÇÃO CORRETIVA PLANEJADA**

A manutenção corretiva planejada é a correção de desempenho menor do que o esperado, ou da falha, por decisão gerencial, isto é, pela atuação em função de acompanhamento preditivo ou pela decisão de operar até a quebra (LAFRAIA, 2001).

A eficácia da manutenção corretiva planejada é função da qualidade das informações obtidas no monitoramento do equipamento. Todo trabalho de manutenção feito de forma planejada será sempre mais otimizado, seguro e de qualidade do que um trabalho feito de forma não planejada. Deixar o equipamento funcionar até a quebra é uma decisão gerencial muito comum, mas esta decisão pode ser feita sempre com algum planejamento (TAVARES, 1996).

A adoção de uma política de manutenção corretiva planejada pode estar relacionada com vários fatores (KELLY; HARRIS, 1978):

- Possibilidade de compartilhar a necessidade da intervenção com os interesses da produção.
- Aspectos relacionados com a segurança – a falha não provoca qualquer situação de risco para o pessoal ou para a instalação.
- Melhor planejamento dos serviços.
- Garantia da existência de sobressalentes, equipamentos e ferramental.
- Existência de recursos humanos com a tecnologia necessária para a execução dos serviços e em quantidade suficiente, que podem, inclusive, ser buscados externamente à organização.

#### **2.4.3 MANUTENÇÃO PREVENTIVA**

Manutenção preventiva é a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo (LAFRAIA, 2001).

A manutenção preventiva em intervalos fixos deve, geralmente, ser usada somente se a sua utilização criar uma oportunidade para reduzir falhas que não podem ser detectadas antecipadamente ou se for imposta pela exigências da produção ou segurança (por exemplo, em aeronaves).

As tarefas de manutenção realizadas a intervalos fixos deverão seguir as recomendações do fabricante do equipamento e a experiência acumulada em equipamentos operando em condições similares ao equipamento analisado. A manutenção realizada em tempos fixos leva à existência de duas situações operacionais (TAVARES, 1996):

- Ocorrência da falha antes de completar o período estimado, pelo manutentor, para a intervenção.

- Manutenção do equipamento com reposição de componentes prematuramente.

Outro ponto questionado com relação à manutenção preventiva é a introdução de defeitos não existentes no equipamento devido a (TAVARES, 1996):

- Falha humana;
- Falha de sobressalentes;
- Contaminações introduzidas no sistema de óleo;
- Danos durante partida e parada;
- Falhas dos procedimentos de manutenção.

Os seguintes fatores devem ser levados em consideração para a adoção de uma política de manutenção preventiva (KRONER, 1999):

- Quando não é possível a manutenção preditiva.
- Aspectos relacionados com a segurança pessoal ou da instalação que tornam mandatória a intervenção, normalmente para substituição de componentes.
- Por oportunidade em equipamentos críticos de difícil liberação operacional.
- Riscos de agressão ao meio ambiente.
- Em sistemas complexos e/ou de operação contínua. Por exemplo: petroquímicas, siderúrgicas, indústria automotiva, etc.

A manutenção preventiva será tanto mais conveniente quanto maior for a simplicidade na reposição, quanto mais altos forem os custos de falhas, quanto mais as falhas prejudicarem a produção e quanto maiores forem as implicações das falhas na segurança pessoal e operacional (KRONER, 1999).

#### 2.4.4 MANUTENÇÃO PREDITIVA

A manutenção preditiva, também conhecida por manutenção sob condição, pode ser definida como a intervenção realizada com base em modificações de parâmetros de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática (MOBLEY, 1990).

A manutenção preditiva consiste, então, na coleta de dados com relação às variáveis de interesse, comparar tais dados em função do tempo de funcionamento e interpretar tais variáveis e informações, visando intervir no momento adequado, evitando a pane ou parada inesperada. Este momento adequado para a intervenção é determinado em função de variáveis econômicas, associadas à segurança e confiabilidade de operação (NEPOMUCENO, 1989).

A manutenção preditiva traz para os trabalhos de manutenção um tratamento científico, onde se tem uma tecnologia baseada na inspeção e avaliação do desempenho de um equipamento *on-line*. O objetivo é prevenir as falhas nos equipamentos ou sistemas através de acompanhamento de parâmetros diversos, permitindo a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível.

As características principais deste tipo de manutenção são (KRONER, 1999):

- Inspeções são feitas sem parar ou desmontar o equipamento.
- Eventuais intervenções são feitas em função das reais condições do equipamento.
- As informações obtidas pelos mais modernos meios recebem tratamento científico.
- Os resultados obtidos são tanto qualitativos, como quantitativos.

A Manutenção Preditiva tem a característica de poder medir um parâmetro de desempenho diretamente e obter-se uma correlação com a iniciação da falha. Este tipo de manutenção é tecnicamente viável quando (MIRSHAWAKA, 1991):

- É possível se identificar claramente o processo de deterioração;
- O tempo para a falha é razoavelmente determinável;
- O intervalo para as medições é menor que o intervalo para falha;
- O tempo para a falha após a medição é suficiente para prevenir ou evitar as conseqüências da falha operacional.

Exemplos de técnicas preditivas usadas manutenção são:

- Medição de espessura;
- Medição de vibração;
- Termografia;
- Análise de óleo lubrificante;
- Ensaio não destrutivo;
- Monitoramento de corrosão.

A Figura 5 procura descrever, de forma gráfica, o processo de deterioração das condições que levam à falha. Após o início do processo de falha, uma técnica de manutenção preditiva qualquer poderá detectar o processo de falha (ponto P). A manutenção preditiva será efetiva quando é possível determinar, com precisão, o intervalo PF (tempo para a falha). Se o intervalo de inspeção for maior que o intervalo PF, a manutenção preditiva será ineficiente, pois a falha ocorrerá em ocasião indesejável.

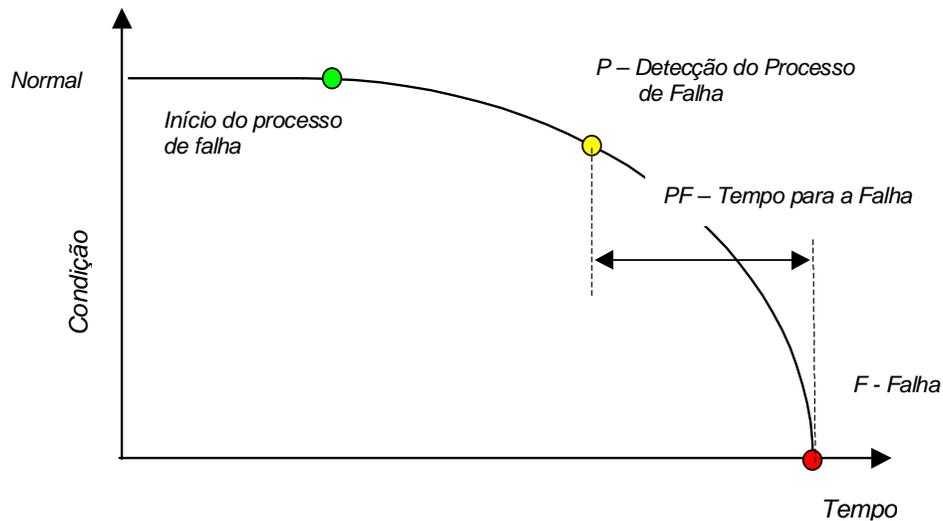


FIGURA 5 - Processo de deterioração que leva à falha (MOUBRAY, 2000)

#### 2.4.5 MANUTENÇÃO DETECTIVA

A manutenção detectiva é a atuação efetuada em sistemas de proteção, buscando detectar as falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção (PINTO; XAVIER, 2001).

Um exemplo prático deste tipo de manutenção, para descobrir as falhas ocultas, são as verificações periódicas da pressão do pneu reserva dos carros. Na indústria, pode-se destacar os seguintes serviços de manutenção detectiva (KRONER, 2001):

- Testes em válvulas de bloqueio que somente são usadas em paradas do sistema.
- Testes em motogeradores reservas.
- Testes em alarmes, detectores e moto bombas de combate a incêndio.
- Testes em alarmes de níveis.

São vários os exemplos deste tipo de manutenção e, normalmente, esta manutenção é realizada sem tirar o equipamento de operação. Detectar as falhas ocultas é primordial para garantir a confiabilidade de um sistema produtivo.

#### **2.4.6 MANUTENÇÃO DE MELHORIAS**

A manutenção de melhorias é a manutenção que busca a melhoria contínua, com o objetivo de se reduzir ou eliminar totalmente a necessidade da manutenção em um equipamento. É deixar de ficar consertando continuamente, para procurar as causas básicas, modificar situações permanentes de mau desempenho, deixar de conviver com problemas crônicos, melhorar padrões e sistemáticas, desenvolver a manutenibilidade, dar *feedback* ao projeto, interferir tecnicamente nas compras (KRONER,1999).

Nas empresas chamadas de “classe mundial”, as intervenções para manutenção nos equipamentos são vistas como uma oportunidade de se aumentar a confiabilidade de projeto (XAVIER, 2000). Assim, aplicam-se técnicas para melhorar e aumentar os tempos de produção dos equipamentos no sistema produtivo.

#### **2.5 MANUTENÇÃO DE CLASSE MUNDIAL**

A empresa de classe mundial é aquela empresa capaz de competir no mercado globalizado, buscando os melhores níveis de desempenho no atendimento às demandas de seus clientes (NAGAO, 1998). Ainda segundo o mesmo autor, isto reflete uma empresa com alta qualidade de produtos e

serviços, custos competitivos, instalações confiáveis, alta disponibilidade do processo produtivo, respeito ao meio ambiente e altos índices de segurança.

Uma empresa só será reconhecida como empresa de classe mundial se todos os seus departamentos também forem de classe mundial. O departamento de manutenção nesta empresa deve ser organizado para minimizar os custos da não eficácia (CNE) no sistema produtivo, contribuindo, desta forma, para a competitividade dos produtos fabricados pela empresa (MIRSHAWKA; OLMEDO, 1993).

Para minimizar os custos da não eficácia, os departamentos de manutenção, nas empresas de classe mundial, buscam a melhoria contínua dos seus serviços aplicando as melhores práticas conhecidas de gerenciamento da manutenção. As melhores práticas conhecidas, que sintetizam a excelência em manutenção industrial são (XAVIER, 2000):

- Aspectos Organizacionais da Manutenção;
- Capacitação e Polivalência;
- Planejamento Estratégico e Medidas de Desempenho;
- Sistema de Gerenciamento – Informatização na Manutenção;
- Manutenção Preditiva;
- Novas Políticas de Estoques e Sobressalentes;
- TPM – Manutenção Produtiva Total;
- RCM – Manutenção Centrada em Confiabilidade;
- Terceirização na Manutenção.
- Melhoria Contínua

Estas práticas, que sintetizam a excelência em manutenção de classe mundial, serão brevemente descritos, a seguir.

### 2.5.1 Aspectos Organizacionais da Manutenção

Não existe uma estrutura organizacional ideal para a atividade de manutenção. Por isso, tanto a sua estrutura, como sua subordinação na hierarquia das empresas podem ter variações em virtude das atividades e porte das empresas. Portanto, cada estrutura organizada de manutenção deve ter por base os princípios da teoria da administração com organogramas e responsabilidades bem definidos.

Dados fornecidos pela ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção, mostram que, no Brasil, em 80% das empresas pesquisadas, a Manutenção se subordina à Diretoria ou Superintendência, como ilustra a Figura 6 (ABRAMAN, 2001).

A forma de atuação da manutenção depende do tamanho e do tipo de atividade da empresa. Por isto, a atividade da manutenção pode ser centralizada, descentralizada ou mista (TAVARES, 1996).

A manutenção centralizada é o tipo de manutenção encontrada, geralmente, em pequenas e médias empresas. É centralizada pelas características geográficas da empresa, isto é, a manutenção tem um único responsável e está localizada em uma única área.

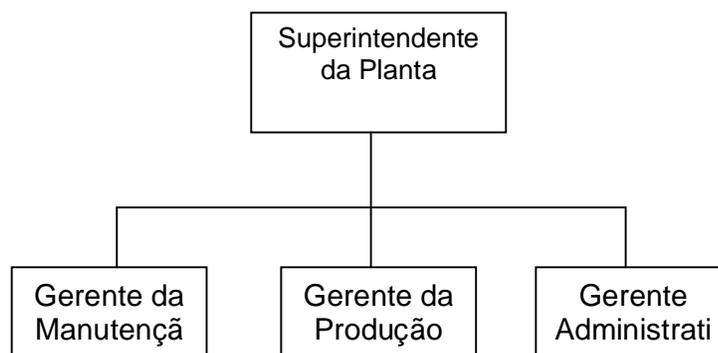


Figura 6 – Organograma organizacional típico

A manutenção descentralizada é encontrada em grandes empresas, com grandes distâncias entre as diversas linhas de produção. Este tipo de manutenção é encontrado, em geral, em usinas siderúrgicas e companhias petrolíferas, ou seja, existe dentro destas empresas várias áreas de manutenção estratégica de acordo com o grau de complexidade das áreas produtivas.

A manutenção mista é a combinação das duas anteriores. Este tipo de manutenção é muito aplicado em muitas empresas grandes, pois proporciona as vantagens da manutenção centralizada e da descentralizada.

A manutenção centralizada apresenta as seguintes vantagens (VERRI, 1995):

- A eficiência global é maior do que a da manutenção descentralizada, pela maior flexibilidade na alocação da mão de obra em vários locais da planta;
- O efetivo da manutenção tende a ser bem menor;
- A utilização de equipamentos e instrumentos é maior e, normalmente, podem ser adquiridos em menor número do que na manutenção descentralizada;
- A estrutura de supervisão é muito mais enxuta.

Mas, a manutenção centralizada apresenta as seguintes desvantagens (VERRI, 1995):

- A supervisão dos serviços costuma ser mais difícil, pela necessidade de deslocamento a várias frentes de serviço, por vezes distantes umas das outras;
- O desenvolvimento de especialistas que entendam os equipamentos com a profundidade necessária demanda mais tempo do que na descentralizada;

- Maior custo com facilidades, como transporte, em plantas que ocupam maiores áreas;
- Menor cooperação entre produção e manutenção. Na manutenção descentralizada, o espírito de equipe, pela convivência diária das mesmas pessoas, favorece o espírito de cooperação;
- Favorece a aplicação da polivalência.

Uma quarta forma de atuação é a tendência moderna de formação de times multifuncionais alocados por unidades para fazer um pronto atendimento das necessidades de manutenção. Esta é uma tendência nas empresas que querem atingir a excelência e a competitividade. Nestes times, tem-se funcionários da manutenção e produção compartilhando experiências e produzindo excelentes resultados nas análises de: falhas, problemas crônicos, desempenho de equipamentos, planejamento de serviços e até na programação diária. Essa forma de trabalhar apresenta as seguintes vantagens (VERRI,1995):

- Entrosamento das diversas especialidades;
- Aumento da produtividade e da qualidade;
- Maior compreensão, mútua, dos problemas e dificuldades;
- Respostas mais rápidas na solução dos problemas;
- Desenvolvimento de um relacionamento aberto e honesto entre a produção e a manutenção.

#### **2.5.2 CAPACITAÇÃO E POLIVALÊNCIA**

O treinamento é uma atividade dinâmica e contínua, pois as necessidades dentro das empresas mudam continuamente. Com o crescente aumento da complexidade do parque industrial, aliado à necessidade de melhores índices de desempenho, as empresas de classe mundial apostam no

treinamento e na polivalência do seu corpo funcional como uma das formas de aumentar a sua competitividade.

Dentro desta postura moderna, as atividades de manutenção que eram feitas por um especialista passaram a ser executadas, também, por outras especialidades, com a mesma qualidade. Para que isso ocorresse, foi necessário dar treinamento, para criar habilidades, e motivar o trabalhador. A seguir, está relacionada uma lista de habilidades que o trabalhador moderno deve ter para ser treinado (TAVARES, 1996):

- Disposição e força de vontade para descobrir novas habilidades.
- Conhecimento da estrutura organizacional da empresa e do mercado.
- Conhecimentos e habilidades de trabalhar com sistemas informatizados.
- Habilidades interpessoais para trabalhar com todos os níveis da empresa.
- Atitudes proativas, iniciativas, espírito de colaboração e opinião própria.

Além das disciplinas técnicas do treinamento, é importante, também, que as empresas estejam comprometidas com a sua responsabilidade social. Isto é, complementar a formação do trabalhador nas áreas de relacionamento humano, liderança, negociação, técnicas de resolução de problemas em grupo, formação cultural e de cidadania. Com isto, o trabalhador estará sempre feliz e produtivo, e a sociedade mais justa.

### **2.5.3 PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO E MEDIDAS DE DESEMPENHO**

O planejamento estratégico da manutenção, em uma empresa de classe mundial, está baseado na missão da manutenção, isto é, deve estar voltado para a gerência e a solução dos problemas na produção, de modo que a

empresa melhore os seus índices de desempenho e seja competitiva no mercado (PIRES, 1995).

Os índices de desempenho são indicadores que permitem acompanhar a eficácia da função manutenção e medir o desempenho da atividade industrial. Na literatura técnica, encontram-se várias listagens de indicadores de desempenho que podem ser usados pelo gestor da manutenção. A listagem, a seguir, aponta uma série de itens de técnicas e atividades que são do interesse do gerenciamento da manutenção para obtenção dos indicadores de desempenho (SLACK, 1993):

- distribuição da atividade por tipo de manutenção: corretiva, preventiva, preditiva, detectiva e manutenção de melhorias;
- estoque de materiais sobressalentes;
- coordenação e planejamento da manutenção: ordens de serviços, cumprimento do planejamento, tempo médio entre falhas, tempo médio de reparo, disponibilidade, retrabalho;
- treinamento de pessoal;
- produtividade;
- custos: custo da mão de obra, custo de materiais, despesas de serviços de terceiros, perdas operacionais, ganhos operacionais;
- moral do pessoal;
- segurança das pessoas e instalações.

Estes indicadores de desempenho são brevemente descritos a seguir.

O indicador de desempenho *distribuição da atividade por tipo de manutenção* revela qual o percentual da aplicação de cada tipo de manutenção

está sendo desenvolvido. Nas empresas de classe mundial, as manutenções preditiva e detectiva são privilegiadas.

O indicador *estoque de materiais sobressalentes* revela a importância do controle total dos materiais sobressalentes. Por isso, deve-se medir o giro do estoque e conhecer os itens de sobressalentes para se ter controle dos custos e dos prazos de entrega dos materiais mais críticos, isso é, ter um estoque confiável.

A *coordenação e planejamento da manutenção* é um indicador muito importante, por que com uma correta coordenação e um planejamento adequado, pode-se otimizar todo recurso disponível da manutenção. Os indicadores mais utilizados são: quantificar corretamente as ordens de serviços, medir o cumprimento dos serviços planejados e serviços realizados, estabelecer indicadores de tempo médio entre falhas e tempo médio de reparo para determinados equipamentos, calcular o índice de disponibilidade dos equipamentos da planta, e identificar o índice de retrabalho da manutenção.

O *treinamento de pessoal* é um indicador importante e mostra a preocupação da empresa em manter o nível de competitividade do seu negócio. Isso significa treinar pessoal de manutenção para ser capaz de fazer análises e diagnósticos através das técnicas preditivas, ter habilidades para analisar e bloquear as falhas.

O indicador de *produtividade* é a razão entre as horas efetivamente trabalhadas sobre a jornada total de trabalho. Ele indica a necessidade de melhoria nos métodos de trabalho, visa facilitar a vida do executante e, em

conseqüência, reduzir os tempos de manutenção para aumentar a disponibilidade dos equipamentos.

O acompanhamento dos *custos da manutenção* é fundamental para medir a eficácia da manutenção. Os custos de mão de obra, custos de materiais, despesas de serviços de terceiros, perdas operacionais originadas por problemas de manutenção, e todas as melhorias com ganhos operacionais devem ser medidos.

Os indicadores mais utilizados para verificação do *moral do pessoal* são o absenteísmo, a maior incidência de licenças médicas e aspectos relacionados ao atraso e saídas antecipadas.

A *segurança* das pessoas e instalações é obrigação primordial para todos os níveis dentro de uma organização. Os indicadores clássicos são: o número total de acidentes, o números de acidentes sem e com afastamento. Algumas empresas estão adotando uma nova filosofia de se medir os indicadores de segurança. Estas empresas estão medindo as quantidades de ações tomadas para se evitar acidentes. Estas ações são para evitar acidentes com pessoal, equipamentos e ao meio ambiente (GUNN, 1993).

A importância dos indicadores de desempenho é inquestionável, do ponto de vista, de se medir a eficácia da manutenção. Mas cabe, ao gestor da manutenção (SOURIS, 1992):

- selecionar os melhores indicadores que refletem a sua necessidade para alcançar os objetivos da manutenção;

- estabelecer metas a serem alcançadas;
- fazer uma ampla divulgação dos trabalhos para toda a empresa;
- montar um painel para que todos possam ver e acompanhar os gráficos do desenvolvimento dos trabalhos.

O planejamento estratégico da manutenção deve ser um processo participativo e interfuncional, estruturado, porém menos formal, enfocando a missão da manutenção. O planejamento estratégico tem como característica o alinhamento dos esforços, recursos e pessoas para atingir as metas planejadas.

#### **2.5.4 SISTEMA DE GERENCIAMENTO - INFORMATIZAÇÃO NA MANUTENÇÃO**

A utilização de sistemas informatizados no gerenciamento da manutenção objetiva maximizar a capacidade produtiva dos serviços prestados pela manutenção. Além de registrar todos os dados, estes sistemas fornecem gráficos que facilitam o gerenciamento e permitem a tomada de decisões para correções de desvios de metas traçadas.

Além dos registros de ocorrências, um sistema informatizado de controle de manutenção se destina a emitir as solicitações de serviços para as manutenções corretivas/preventivas, programações de trabalhos, avaliação de problemas. Como finalidade principal, deve ser destacado que um sistema de controle de manutenção visa, em última análise, ajudar a aumentar a disponibilidade das instalações, diminuir os custos diretos de manutenção e garantir um melhor aproveitamento da mão de obra, tanto da própria manutenção, como da produção (PARLACHIO, 2002).

### **2.5.5 MANUTENÇÃO PREDITIVA OU SOB CONDIÇÃO**

As empresas de classe mundial privilegiam a manutenção preditiva ou sob condição, isto é, a manutenção é executada no momento adequado e antes que se processe o rompimento ou a falha do equipamento. Esta prática da manutenção preditiva é destinada à detecção do início da falha ou do sintoma da falha (LAFRAIA, 2001).

Na prática, pode ser notado que as empresas adotam o método mais eficaz par atender às suas necessidades de confiabilidade no sistema produtivo. Elas aplicam uma combinação de todos os tipos de manutenção para assegurar a estratégia da prevenção das falhas e assegurar o sucesso do empreendimento (KRONER, 1999).

### **2.5.6 NOVAS POLÍTICAS DE ESTOQUES E SOBRESSALENTES**

O custo anual para se manter uma peça em estoque pode atingir cerca de 30 a 40% do valor da peça estocada (MARTINS, 2001). É um paradoxo que tem que ser administrado quando se estabelece como objetivo zero de estoque e, ao mesmo tempo, busca-se a máxima disponibilidade de peças e materiais utilizados na manutenção.

Os materiais mais utilizados devem ser mantidos em estoque. Igualmente, devem ser mantidos em estoque aqueles materiais e peças de reserva com longo prazo de entrega e que, eventualmente, causariam significativas perdas de produção. O estoque, em princípio, deve ser o mínimo possível para se evitar riscos.

Pode-se concluir como condições desejáveis as seguintes ações (XAVIER, 2000):

- 100% de confiabilidade no controle de estoque.
- Giro do estoque > 1 por ano.
- Eliminação de materiais sem consumo.
- Materiais e sobressalentes em consignação.
- Parceria estratégica com fornecedores.

#### **2.5.7 TPM - MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL**

O TPM pode ser considerado como prática básica na manutenção moderna. A prática do TPM é uma estratégia empresarial e uma nova filosofia de trabalho, onde se busca eliminar as perdas crônicas e identificar os potenciais de falha, por meio da manutenção autônoma e da manutenção planejada, realizadas em atividades de pequenos grupos, para atingir a quebra-zero e defeito-zero nos equipamentos (NAKAJIMA, 1988).

Pelo TPM, a afirmação “da minha máquina cuido eu” é adotada pelos operadores que passam a dispensar ao(s) equipamento(s) uma atenção especial, coisa totalmente diferente do descaso que ainda se verifica em muitas indústrias. No bojo desta atitude em relação às máquinas estão a observação do desempenho, a limpeza, organização e atividades de manutenção. À medida que os operadores executam tarefas elementares de manutenção, tais como lubrificação, engaxetamento e reaperto, os mantenedores podem se dedicar a tarefas mais complexas e atividades de análise e melhoria da planta (BALARINI, 2002).

O TPM está sendo definido, nos dias de hoje, como um modelo de gerenciamento envolvendo outros departamentos da empresa com o objetivo de levá-la a altos níveis de produtividade e competitividade. O modelo gerencial do

TPM está definido em pilares de sustentação e os pilares básicos do desafio da “quebra zero” são os seguintes (NAGAO, 1998):

- Incorporação de melhorias nos equipamentos;
- Manutenção autônoma ou voluntária;
- Manutenção planejada e programada;
- Capacitação técnica e operacional;
- Gerenciamento dos equipamentos (dados e históricos)

Alguns autores destacam mais três pilares para buscar o rendimento global das organizações (INGALLS, 2002):

- Qualidade na manutenção;
- TPM nas áreas administrativas;
- Segurança, saúde e meio ambiente.

#### **2.5.8 RCM - MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE**

O RCM – Manutenção Centrada em Confiabilidade, é um processo usado para determinar os requisitos de Manutenção de qualquer item físico no seu contexto operacional. Para isso, o processo analisa o seguinte (SMITH, 1993):

- Funções e padrões de desempenho.
- De que forma o item e falha.
- O que causa cada falha.
- O que ocorre quando acontece a falha.
- O que pode ser feito para prevenir a falha.

Como resultado se obtém (SMITH, 1993):

- Otimização do programa de manutenção preventiva e preditiva.
- Otimização do investimento feito nesses programas.
- Aumento da disponibilidade, o que permite aumento de produção.

ESTA METODOLOGIA DO RCM SERÁ APRESENTADA COM MAIS DETALHES MAIS  
ADIANTE NESTE TRABALHO.

#### **2.5.9 TERCEIRIZAÇÃO NA MANUTENÇÃO**

A terceirização tem sido uma das estratégias empresariais para o aumento da competitividade. Verifica-se uma forte tendência à terceirização desde que as empresas perceberam que devem centrar seus esforços na atividade fim, ou seja, no seu negócio.

Uma série de atividades, que não são atividades fins da empresa, pode ser terceirizada. Exemplos clássicos são as áreas de alimentação, vigilância, usinagem, limpeza, dentre outras. Existem empresas no mercado cuja atividade fim e vocação é fazer alimentação, vigilância etc., e, normalmente, o fazem bem melhor.

Nesse processo, é preciso ter muito cuidado para não se fazer uma empreiteirização, que caracteriza uma contratação mal feita, com firmas inidôneas ou sem a capacitação para execução dos serviços. Para Pereira e Faria (1997), a terceirização pressupõe:

- Parceria.
- Confiança.
- Ganhos estratégicos.
- Enfoque na qualidade.

- Cooperação e objetivos comuns.

Quando isso é completado, ambos, contratantes e contratada, têm os mesmos objetivos e convivem numa relação “ganha-ganha”. No caso da manutenção, o objetivo de ambos será aumentar a disponibilidade da planta, e ambos ganharão se isso for obtido, não interessando se a quantidade de serviços executados caiu. Afinal, maior disponibilidade vai implicar em menor intervenção na planta (XAVIER, 2000).

#### **2.5.10 MELHORIA CONTÍNUA**

A melhoria contínua, também conhecida como *kaizen*, deve ser uma preocupação constante das organizações e das pessoas. Essa melhoria atinge os métodos, processos, pessoas, ferramentas, máquinas, enfim tudo que se relaciona com as atividades no dia a dia.

A busca da melhoria tem que estar baseada nos indicadores de desempenho e relacionados com os *bechmarks*. Conhecendo os indicadores de desempenho e o posicionando no mercado, as empresas podem se posicionar para uma correção de rumo na direção das empresas de classe mundial.

Todas estas práticas citadas são as melhores práticas conhecidas e usadas pelas empresas de classe mundial. Segundo Castro (1997), o que diferencia as empresas de classe mundial das demais empresas são, também, os atributos que freqüentemente não são encontrados nas demais empresas. Resumidamente, os atributos são os seguintes:

- Tratam cada evento de manutenção como uma oportunidade para implementar alguma melhoria, a fim de estender os tempos de operação;
- Aplicam os fundamentos mais importantes de manutenção preditiva para determinar quando e como executar manutenção preditiva;
- Não toleram práticas do tipo reparos rápidos e de baixa qualidade em função da pressa em retornar o equipamento para a operação;
- Realizam autênticas análises de causas fundamentais de falhas e monitoram sua evolução, mediante a manutenção de dados precisos de estatísticas de falha;
- Têm implementado um íntimo relacionamento de trabalho e cooperação, principalmente entre as áreas de operação, manutenção e engenharia;
- Levam a sério o treinamento orientado a resultados dos seus profissionais com programas de treinamentos bem estruturados.

### **CAPÍTULO 3 - MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE-RCM**

Segundo Rausand (1998), a metodologia RCM, *Reliability Centered Maintenance* ou Manutenção Centrada em Confiabilidade, foi definida, inicialmente, pelos funcionários da United Airlines, Stanley Nowlan e Howar Heap, nos anos 60. Os resultados deste trabalho podem ser observados hoje no setor da aviação com avanços muito positivos do aumento da segurança do transporte aéreo. Esta metodologia foi adaptada e aplicada em outros setores industriais, principalmente nas áreas de petróleo, petroquímica, usinas nucleares, siderúrgicas. Devido aos riscos inerentes a estas áreas, elas buscam aumentar o nível de segurança de suas atividades (RAUSAND, 1998).

Este capítulo apresenta a metodologia utilizada no estudo de caso. Esta metodologia está baseada nos roteiros de implantação sugeridos por Smith (1993) e Lafraia (2001), que é definida em sete etapas. Também apresenta os

resultados vistos como benefícios por quem aplica corretamente esta metodologia RCM.

### **3.1 AS SETE PERGUNTAS BÁSICAS DA METODOLOGIA RCM**

A metodologia RCM é um processo usado para determinar o que deve ser feito para assegurar que qualquer ativo físico continue a fazer o que seus usuários querem que ele faça, no seu contexto operacional presente (MOUBRAY, 2000). Portanto, o RCM é uma metodologia de suporte às decisões gerenciais.

A metodologia RCM, para ser desenvolvida, implica em sete perguntas sobre cada item sob revisão ou sob análise crítica, para que seja preservada a função do sistema produtivo (SAE- JA1011, 1999). Estas perguntas são:

- 1) Quais são as funções e padrões de desempenho de um ativo, no seu contexto presente de operação?
- 2) De que forma ele falha em cumprir sua função?
- 3) O que causa cada falha funcional?
- 4) O que acontece quando ocorre cada falha?
- 5) De que modo cada falha importa?
- 6) O que pode ser feito para prever ou prevenir cada falha?
- 7) O que deve ser feito se não for encontrada uma tarefa pró-ativa apropriada?

Dependendo das respostas dadas às perguntas feitas pela metodologia, o RCM vai direcionar o replanejamento do programa de manutenção, de modo a se estabelecer o nível de desempenho aceitável por quem aplica esta metodologia.

### **3.2 ETAPAS DO PROCESSO DE IMPLANTAÇÃO DO RCM**

Estão relacionadas, a seguir, as sete etapas básicas para um processo de implantação do RCM. Para cada etapa do processo de implantação desta metodologia, agrega-se conceitos e métodos técnicos de análise para o melhor entendimento de cada etapa de implantação da metodologia.

É importante frisar que existem outros esquemas de implantação e métodos de análise que apresentam algumas variações em relação ao resumido neste trabalho, que foi essencialmente baseado em Smith (1993) e Lafraia (2001). Entre as variações mais importantes vale citar as propostas de diagramas de decisões de Moubray (2000) e a utilização de árvores de falhas para a determinação dos modos de falha dominantes utilizadas no trabalho de Rausand (1998). A seguir, são apresentadas as etapas de implantação da metodologia RCM, dos trabalhos de Smith (1993) e Lafraia (2001).

#### **Etapa 1: Selecionar a área do processo produtivo adequado para a aplicação do RCM**

Esta etapa deve identificar os ativos da empresa que serão submetidos à metodologia do RCM. Também deve organizar todas as informações dos ativos e fazer um meticuloso planejamento para a implantação. Os elementos chaves para o processo de planejamento são (PICKNELL, 2002):

- Decidir quais ativos são mais prováveis de se beneficiar do processo RCM e, se assim for, exatamente como eles irão se beneficiar.
- Estimar os recursos requeridos para aplicação do processo nos ativos selecionados.
- Nos casos onde os prováveis benefícios justificam o investimento, decidir em que detalhe quem realizará e quem auditará cada análise, quando e onde, e arranjar para receberem o treinamento adequado.
- Assegurar que o contexto operacional do ativo esteja claramente entendido.

## **Etapa 2: Definir as funções e parâmetros de desempenho desejados**

Antes que a metodologia RCM determine o que deve ser feito para assegurar que o ativo físico continue a fazer o que os seus usuários querem que ele faça, no seu contexto operacional atual, deve-se fazer duas coisas (MOUBRAY, 2000):

- Determinar o que o usuário quer que ele faça: desempenho desejado.
- Assegurar que ele é capaz de fazer o que os seus usuários querem fazer, ou capacidade intrínseca, isto é, ter a capacidade tecnológica produtiva.

Cada item físico tem funções que podem ser classificadas em funções primárias e funções secundárias (MOUBRAY, 2000):

- Funções primárias: são as funções que justificam porque o item foi adquirido. Esta categoria de função cobre questões tais como de velocidade, quantidade, capacidade de transporte ou armazenagem, qualidade do produto e serviços ao cliente.
- Funções secundárias: são funções reconhecidas e desejadas para que o item faça, além das suas funções principais. Os usuários também têm expectativas nas áreas de segurança, controle, conforto, economia e outros.

Na prática, muitos ativos são adequadamente projetados e construídos. Por isso, é possível desenvolver programas de manutenção que assegurem que tais ativos continuem a fazer o que seus usuários esperam. Tais ativos são passíveis de manutenção, como mostra a Figura 7.

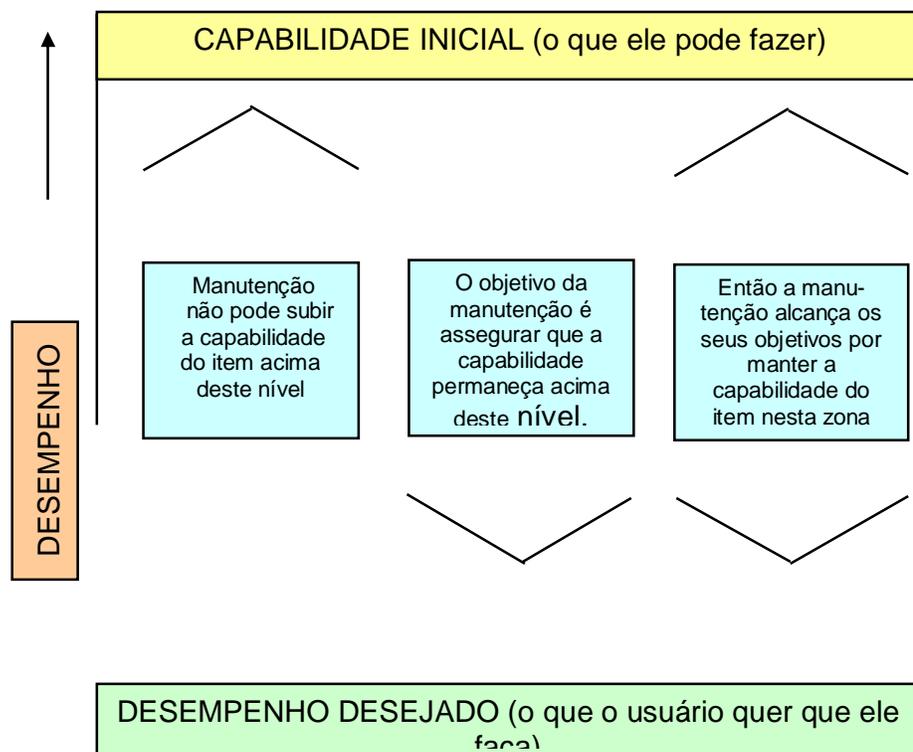


FIGURA 7 – Um item passível de manutenção (MOUBRAY, 2000)

Por outro lado, se o desempenho desejado exceder a capacidade inicial, nenhum tipo de manutenção pode levar ao desempenho desejado. Ou seja, tais ativos não são passíveis de manutenção, como mostra a Figura 8.

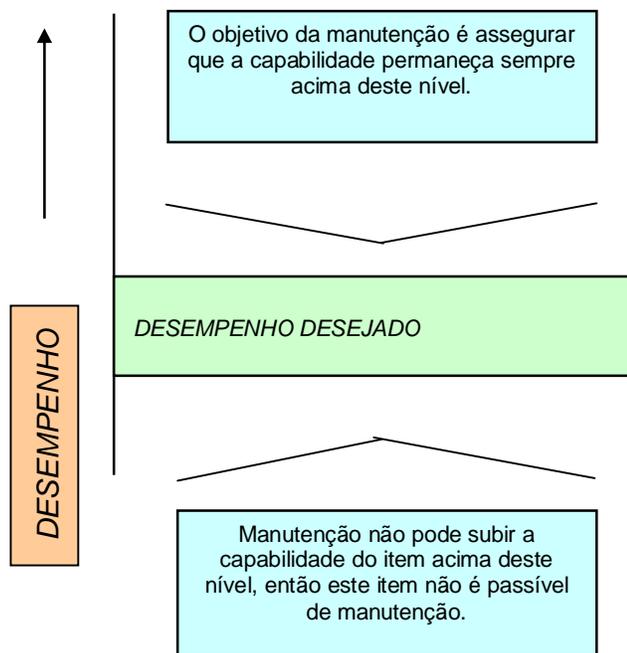


FIGURA 8 – Uma situação não passível de manutenção (MOUBRAY, 2000)

### Etapa 3: Determinar as falhas funcionais

Uma falha é definida como a perda da função. Uma falha funcional é definida como a incapacidade de qualquer ativo de cumprir uma função, para um padrão de desempenho que é aceitável pelo usuário. Os padrões de desempenho devem ser definidos em conjunto pelos departamentos de engenharia, produção e manutenção (LATINO, 1999). Na Figura 9, está representada a definição da falha funcional do ativo.

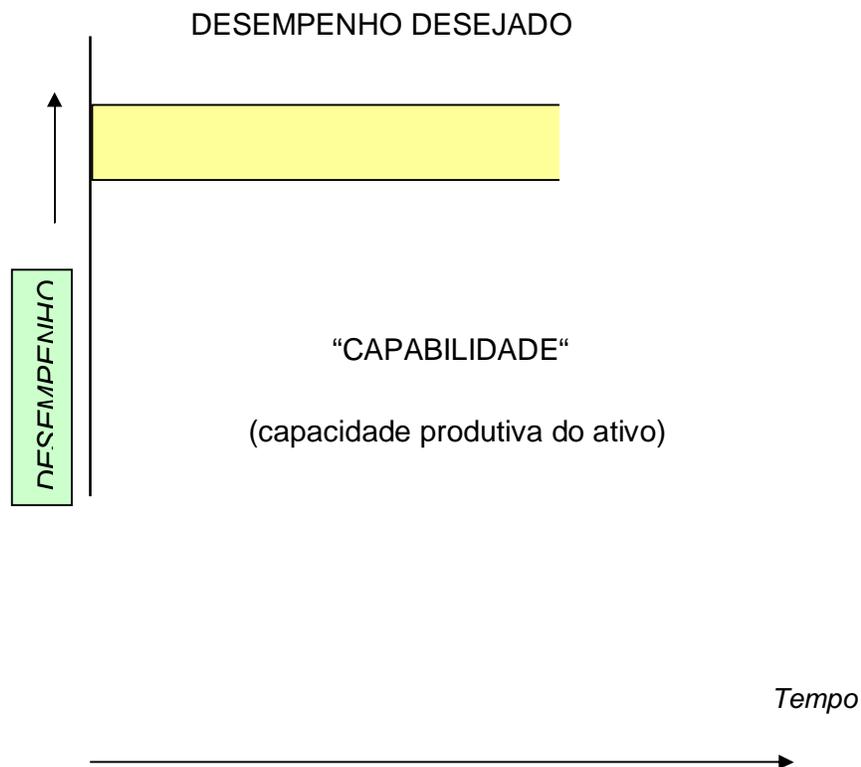


FIGURA 9 – Definição da falha funcional (MOUBRAY, 2000)

O desempenho desejado do ativo é maior que a sua capacidade. Isto é, maior que a capacidade produtiva do ativo.

Todas as falhas funcionais que afetam cada função devem ser registradas.

As falhas funcionais podem ser classificadas em falhas parciais e totais, falhas limites inferiores e superiores e falhas contexto operacional.

A definição de falha funcional total significa perda total da função. Nesta situação, o ativo pode ainda funcionar, mas fora dos limites aceitáveis. A falha parcial é causada de forma diferente da falha total, isto é, o ativo está falhando, mas ainda funciona dentro dos limites aceitáveis de desempenho requerido pelo usuário. Na Figura 10, está representado o ativo que ainda está funcionando, mesmo com alguma deterioração.

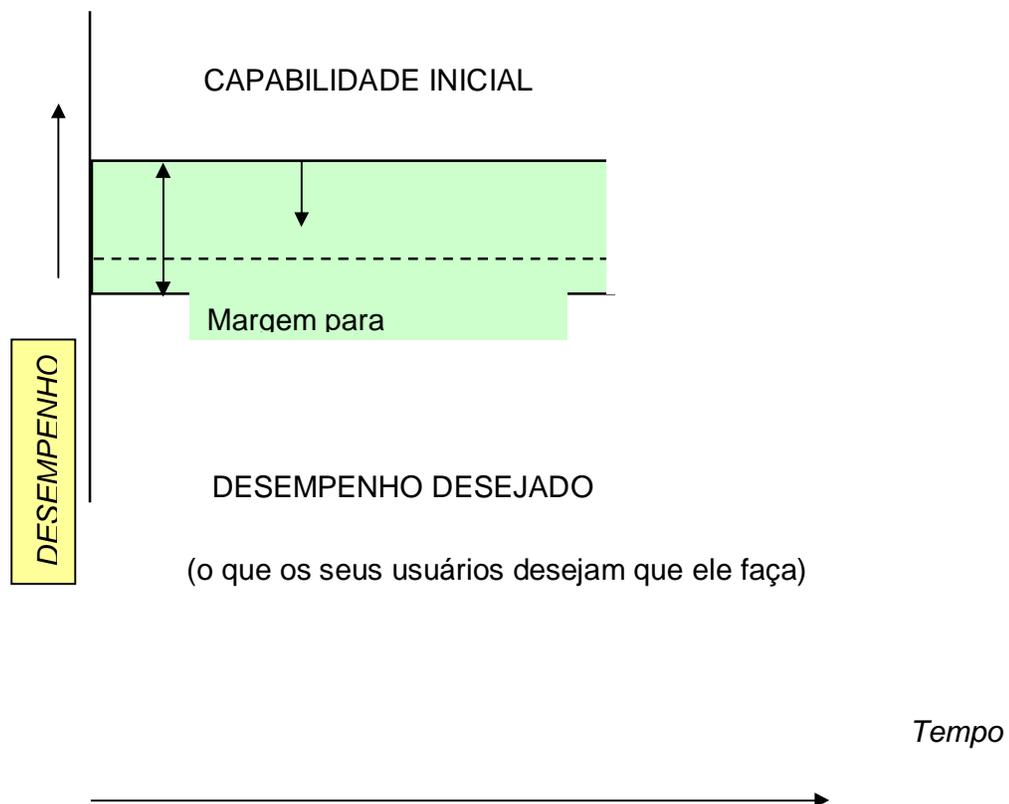


FIGURA 10 – Ativo com deterioração que ainda está funcionando (MOUBRAY, 2000)

As falhas funcionais são relacionadas a uma faixa de desempenho, isto é, o desempenho é associado a alguma função, que pode variar entre um limite inferior e um limite superior. Um ativo estará na condição de falha se trabalhar abaixo do limite inferior e ou acima do limite superior. Nestes casos, as duas situações de falha devem ser investigadas separadamente, porque elas podem ter os modos de falhas e conseqüências diferentes. Na Figura 11 estão representados os padrões de desempenho associados aos limites inferior e superior.

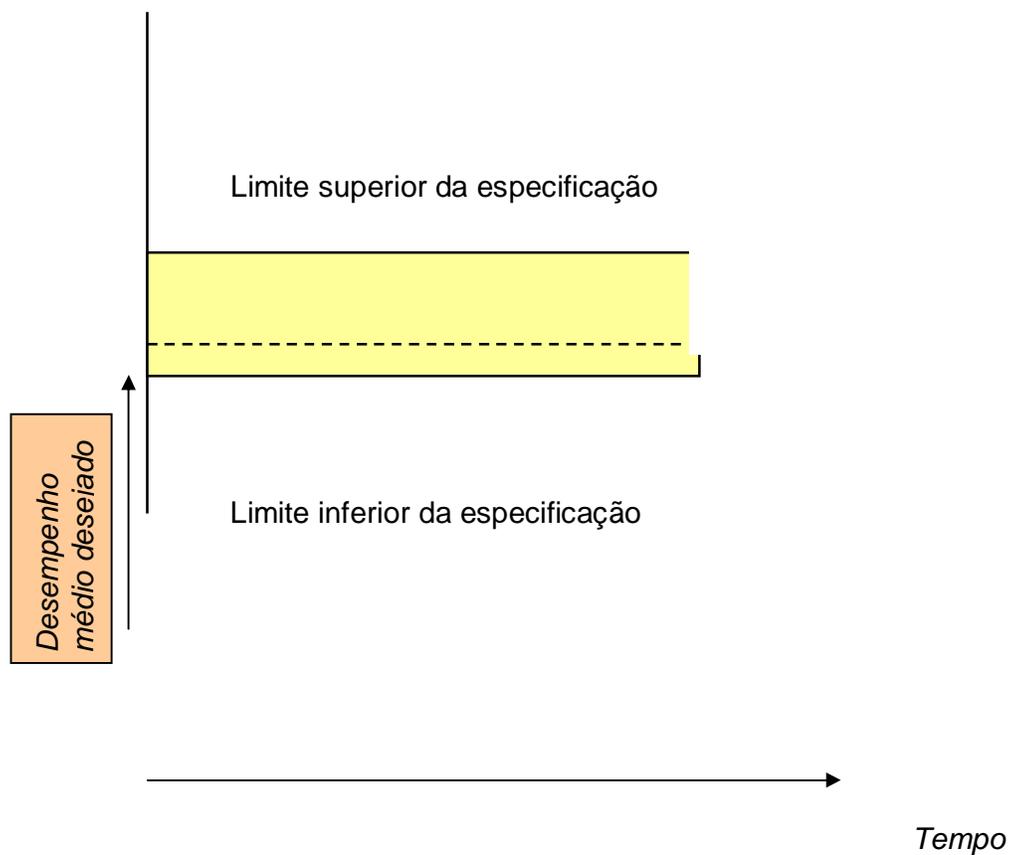


FIGURA 11– Padrão de desempenho; limites superior e inferior (MOUBRAY, 2000)

A definição da falha no contexto operacional leva a várias visões da falha. No exemplo tradicional, para exemplificar este estado de falha, uma máquina do sistema produtivo tem um sistema hidráulico para desempenhar sua função. Este sistema hidráulico começa a ter um vazamento de óleo hidráulico. Este vazamento é observado no contexto operacional por vários departamentos envolvidos no processo produtivo. Na Figura 12 estão representadas as visões diferentes sobre a falha.

Analisando a condição da Figura 12, para um técnico de segurança pode-se dizer que a falha funcional ocorreu se o vazamento criar uma poça de óleo no chão, onde as pessoas podem escorregar e cair ou pode possibilitar risco de incêndio. Por outro lado, o gerente de manutenção pode sugerir que uma falha funcional ocorreu se o vazamento causou consumo excessivo de óleo hidráulico durante um longo período.

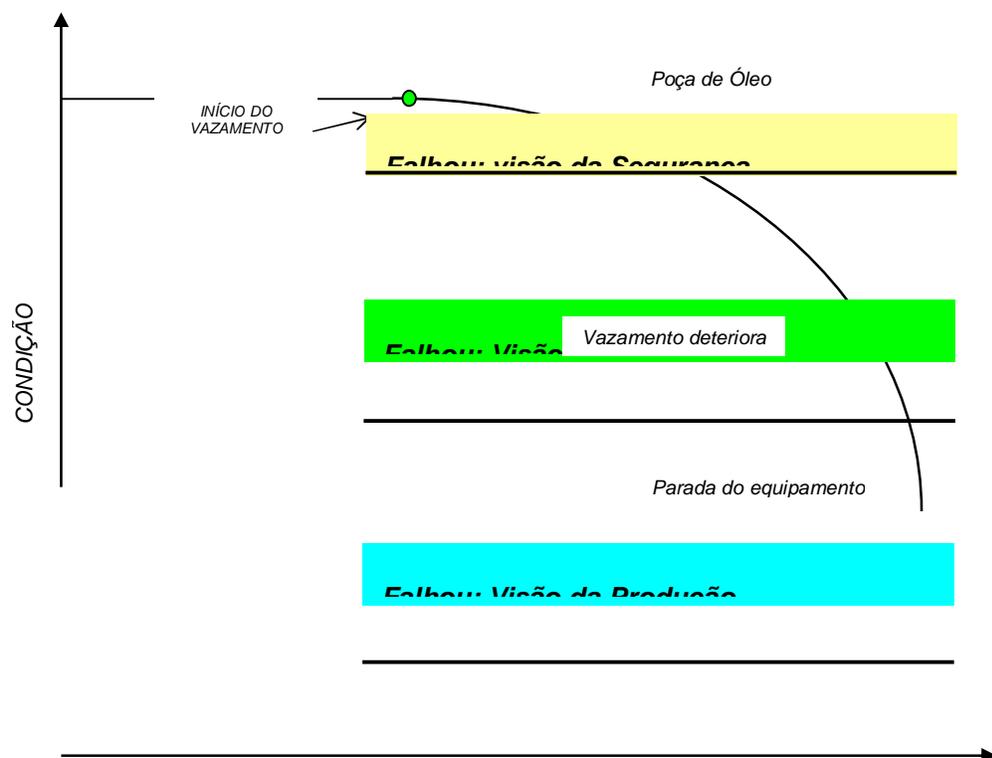


FIGURA 12 – Visões diferentes sobre a falha (LAFRAIA, 2001)

O gerente de produção considera o vazamento como falha funcional se o vazamento pode parar totalmente o equipamento. O enfoque multidisciplinar do RCM exige uma discussão e definição de qual visão da falha é relevante no contexto operacional.

A complexidade crescente dos equipamentos tem levado a considerável mudança na natureza das falhas. As pesquisas revelam que são seis os tipos de curvas padrões de falhas que efetivamente ocorrem, na prática. O conceito de que quanto mais velho, mais os equipamentos falham não é verdadeiro. Acreditava-se nisso pela freqüente associação do aumento de número de ciclo e desgaste com o tempo (MOUBRAY, 2000).

As seis curvas das falhas, mostradas na Figura 13, referem-se à probabilidade condicional de falha, traçada contra o tempo de operação, para uma grande variedade de componentes mecânicos e elétricos de aviões, mas são perfeitamente válidas para outros tipos de produtos. Estudos feitos em aviões civis mostram que 4% dos itens comportam-se de acordo com o modo de falha A, 2% com B, 5% com C, 7% com D, 14% com E e 68% com F (SMITH, 1993). É oportuno observar que equipamentos de outros ramos industriais não se comportam necessariamente como os da aviação. Porém, à medida que a complexidade dos equipamentos cresce, os modos E e F tornam-se mais predominantes (MOUBRAY, 2000).

Padrão de Falha	% Idade	Idade / Probabilidade de Falha	Varição Segundo a Probabilidade de Falha
A	4		Curva da banheira (mortalidade infantil)
B	2		Acentuada na zona de desgaste
			Aumento gradual mas não

FIGURA 13 - Tipos de Curvas de falhas (SMITH, 1993)

Uma breve análise das curvas, na Figura 13, indica que (PINTO; XAVIER, 2001):

- O padrão A é a “curva da banheira”. Por este padrão, há uma elevada ocorrência de falhas no início de operação do equipamento – mortalidade

infantil ou falhas de início de funcionamento – seguida de uma frequência de falha constante e um aumento devido à degradação ou desgaste do equipamento. Esse modo está associado, geralmente, a uma combinação de modos de falhas, desde a mortalidade infantil, passando por falhas aleatórias e culminando com uma fase de desgaste acentuado. Portanto, componentes com mais de um modo de falha, podem ter falhas de B a F, dando, no conjunto, a curva da banheira.

- O padrão B apresenta probabilidade constante de falha, seguida de uma zona de desgaste ao final da vida útil. Pode, também, apresentar, em vez de probabilidade constante de falhas, um aumento gradual.
- O padrão C apresenta um aumento lento e gradual na probabilidade de falha sem que haja uma idade definida ou identificada de desgaste.
- O padrão D indica uma baixa probabilidade de falha no equipamento novo, seguida de um rápido aumento para um patamar de probabilidade de falha constante.
- O padrão E apresenta probabilidade constante de falha para qualquer idade do equipamento, ou seja, o equipamento apresenta falha aleatória.
- O padrão F apresenta alta probabilidade de falha no início (mortalidade infantil), quando o componente é novo ou imediatamente após restauração, que cai para uma situação de probabilidade constante para as demais idades. Pode apresentar, também, um aumento lento e gradual, em vez de probabilidade constante.

Os padrões das curvas A, B e C representam falhas típicas por fadiga ou corrosão. Os padrões D, E e F representam falhas típicas em equipamentos complexos, como, por exemplo, hidráulicos ou eletrônicos.

#### **Etapa 4: Determinar o modo de falha, seus efeitos e conseqüências**

Uma vez que cada falha funcional foi identificada, o próximo passo é tentar identificar todos os eventos prováveis (modo de falha) que causam cada falha

funcional, os efeitos e as conseqüências de cada falha funcional.

Para determinar os modos, efeitos e conseqüências da falha utiliza-se uma técnica indutiva, estruturada e lógica para identificar e/ou antecipar a(s) causa(s), efeitos e conseqüências de cada modo de falha de um item do sistema produtivo (MIGUEL, 2001).

Esta técnica é conhecida como FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis* ou Análise de Modos de Falha e Seus Efeitos). Para a aplicação da técnica FMEA, numa investigação de uma falha funcional de um item, a metodologia utiliza um formulário com várias perguntas, conforme mostrado no Anexo 1.

Estas perguntas geram informações que poderão conduzir o gestor do processo a optar por um determinado tipo de ação para eliminar a causa da falha, amenizar o efeito da falha e/ou, até, amenizar as conseqüências da falha.

## **Etapa 5: Selecionar o tipo de manutenção**

Após a conclusão da FMEA, selecionar o tipo de manutenção preventiva tecnicamente adequado para assegurar que a falha não acontecerá e, se acontecer, que os seus efeitos sejam adequadamente tratados.

As tarefas de manutenção preventiva que podem ser adotadas são (LAFRAIA, 2001): baseada no tempo, baseada na condição e baseada em testes para descobrir a falha. Conforme mencionado anteriormente, as conseqüências das falhas influem decisivamente na definição sobre a adoção ou não de ações preventivas. Se as conseqüências da falha são significativas, algum tipo de prevenção deve ser feito para evitar sua ocorrência ou minimizar suas conseqüências.

Para isso, o objetivo do RCM é, justamente, estabelecer os efeitos causados pela falha e determinar o tipo de atividade de manutenção mais adequado. A Figura 14 representa um diagrama de decisões de como os efeitos das falhas podem ter influência (SMITH, 1993):

- Sobre a segurança ou o meio ambiente: o meio ambiente, o público ou o pessoal de operação podem ser atingidos e/ou qualquer legislação pode ser violada.
- Operacional: o nível de produção, a continuidade operacional ou a qualidade são afetados. Envolve altos custos operacionais.
- Econômica: são despesas associadas diretamente com o reparo da falha.

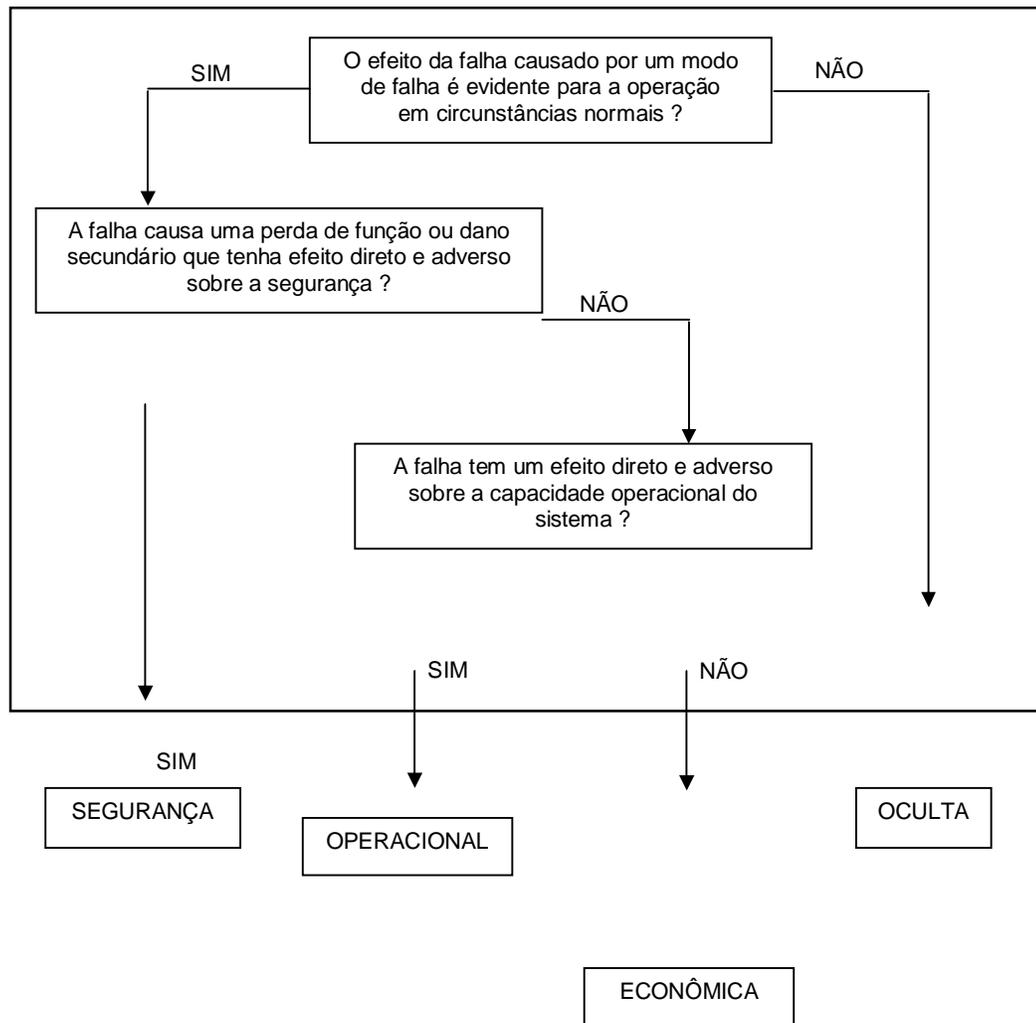


FIGURA 14 – Diagrama de decisão dos efeitos das falhas (LAFRAIA, 2001)

Para falhas que afetam a segurança, são aplicáveis as seguintes tarefas de manutenção (LAFRAIA, 2001):

- Manutenção preventiva tipo inspeção
- Manutenção preventiva tipo restauração programada
- Manutenção preventiva tipo substituição programada
- Modificação de projeto
- Quantificação dos riscos

A Figura 15 apresenta o diagrama de decisão da política de manutenção a ser adotada para falhas que afetam a segurança.

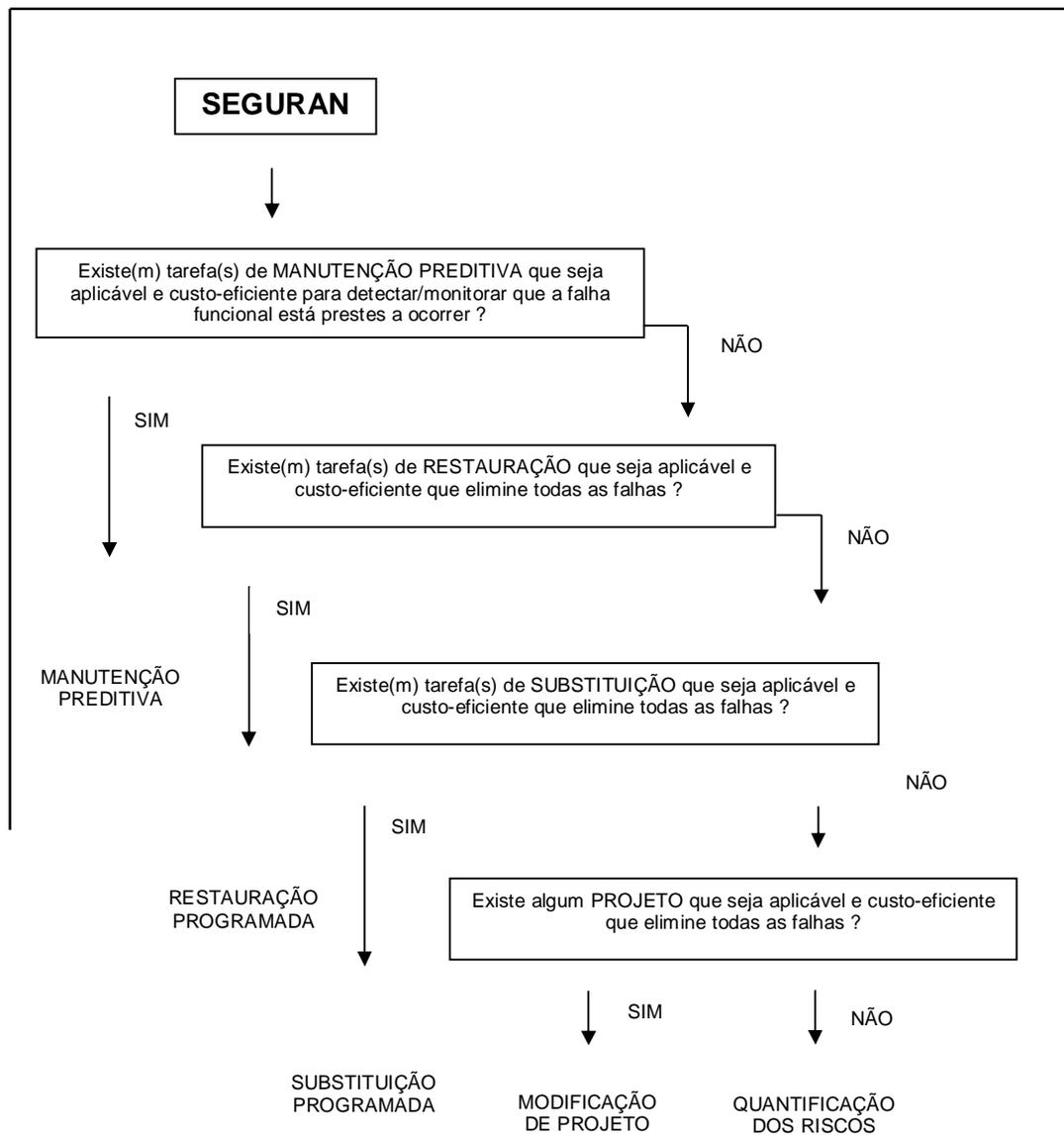
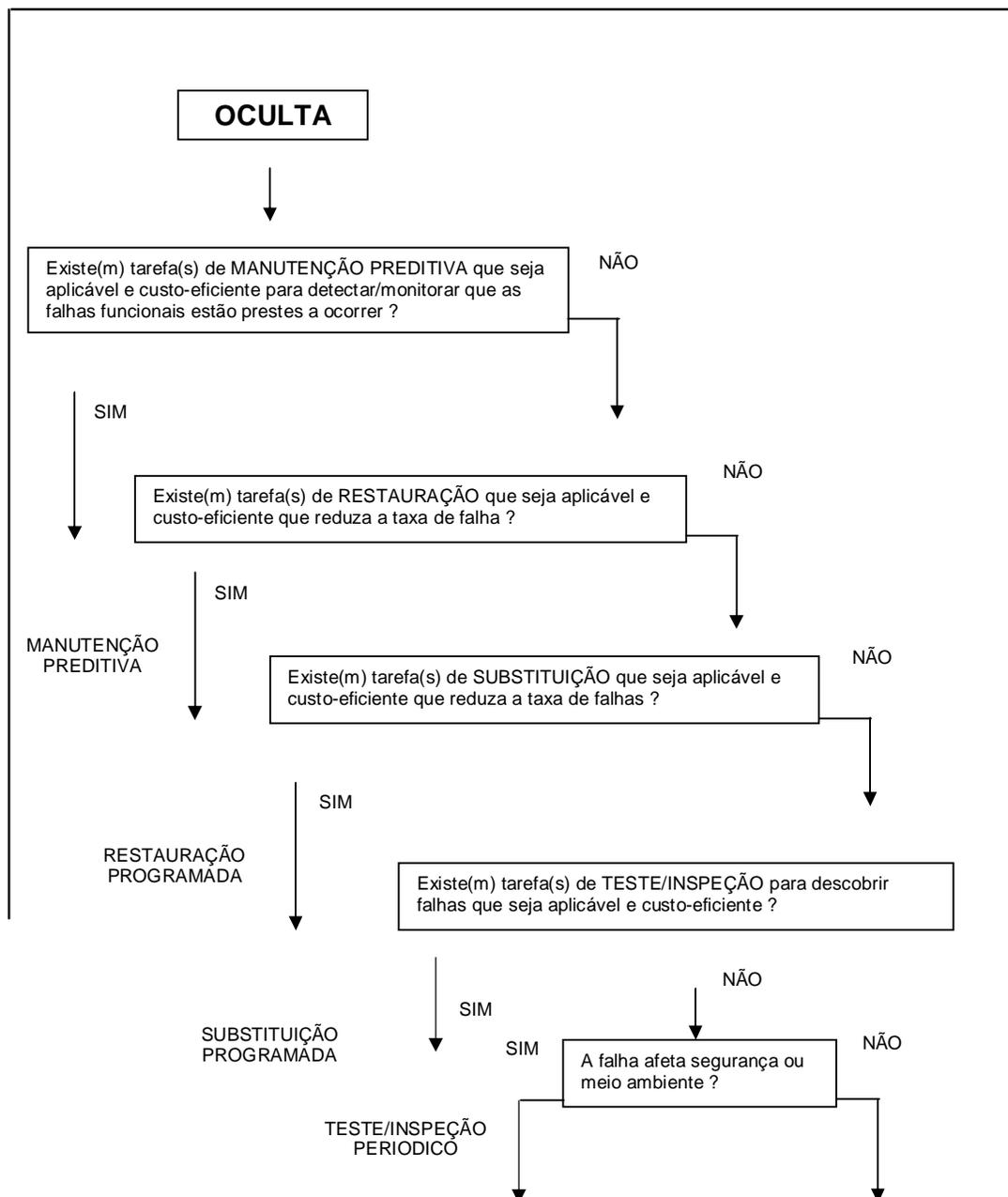


FIGURA 15 – Tipos de manutenção para as falhas que afetam a segurança (LAFRAIA, 2001)

As falhas ocultas são aquelas que não se tornam evidentes ao operador ou à equipe, em condições normais de operação.

A Figura 16 apresenta o diagrama de decisão da política de manutenção a ser adotada para falhas ocultas.



MODIFICAÇÃO  
DE PROJETOMANUTENÇÃO  
CORRETIVA

---

FIGURA 16 – Tipos de manutenção para prevenir as falhas ocultas (LAFRAIA,2001)

Para falhas ocultas, são aplicáveis as seguintes tarefas de manutenção:

- Manutenção preditiva
- Manutenção preventiva tipo restauração programada
- Manutenção preventiva tipo substituição programada
- Manutenção preventiva tipo teste/inspeção periódicas
- Modificação de projeto
- Manutenção corretiva

Quando a falha afeta adversamente a capacidade operacional (quantidade, qualidade, atendimento e custo), o seu efeito é classificado como operacional. As tarefas de manutenção valem a pena se, num dado período, elas custarem menos do que os custos das perdas operacionais mais o custo das falhas. Para as falhas operacionais ou econômicas, são aplicáveis as seguintes tarefas mostradas no diagrama de decisões da na Figura 17:

- Manutenção preditiva
  - Manutenção preventiva tipo restauração programada
  - Manutenção preventiva tipo substituição programada
  - Manutenção corretiva
- 

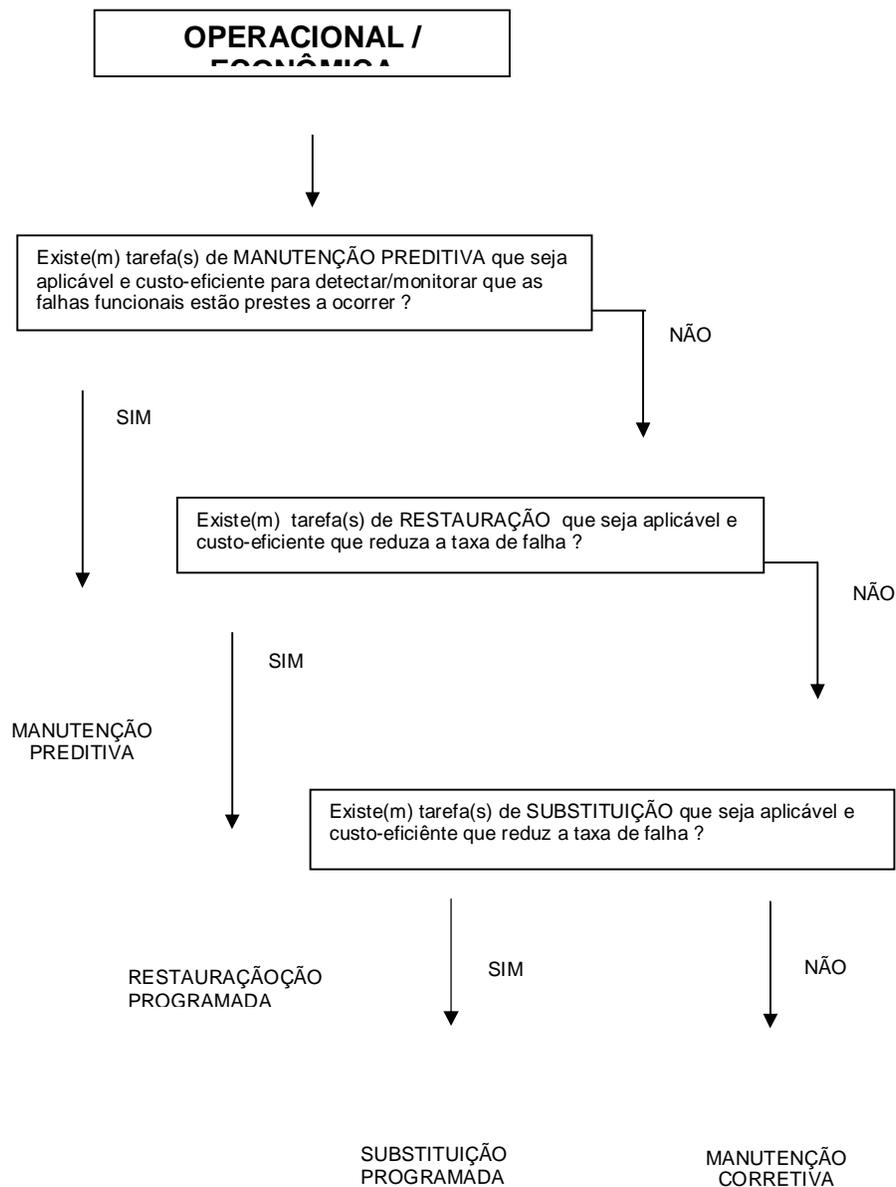
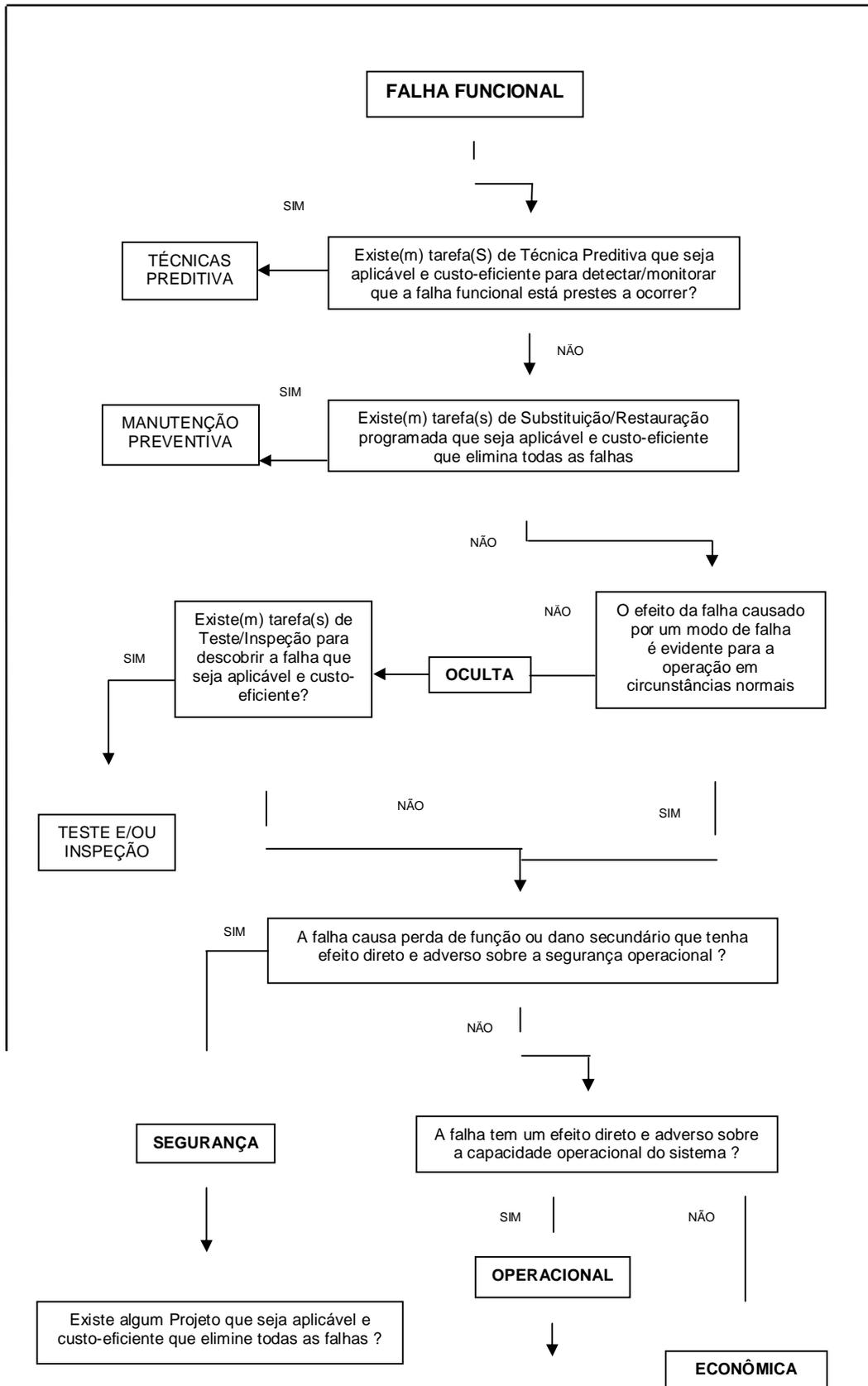


FIGURA 17 – Tipos de manutenção para prevenir falhas operacionais e econômicas (LAFRAIA, 2001)

Quando se analisa as falhas em segurança, operacional, econômica ou oculta, classifica-se com relação a sua evidência. Mas, existe uma similaridade entre estas classificações. A Figura 18 procura dar uma visão integrada das Figuras 14, 15, 16 e 17.



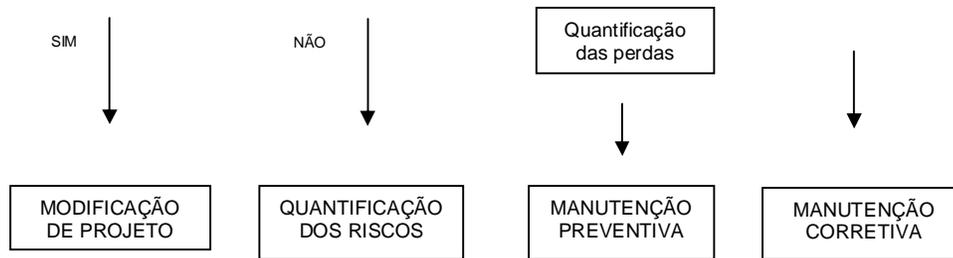


FIGURA 18 – Visão integrada da classificação da falha funcional (LAFRAIA, 2001)

A metodologia do RCM, nesta etapa, sugere o preenchimento de um formulário denominado Formulário de Decisões. Neste formulário, devem ser registradas todas as respostas às questões dos diagramas de decisões ilustrados anteriormente. Deve ser registrado:

- que rotina de manutenção (se houver alguma) deve ser feita, a frequência e por quem;
- quais falhas são suficientemente sérias para justificar um reprojeto;
- casos onde uma decisão deliberada tem de ser tomada para deixar a falha acontecer.

No estudo de caso, proposto neste trabalho, será aplicado um formulário denominado Formulário de Informações. A Figura 19, a seguir, mostra este formulário. Este formulário de informações é muito utilizado em análise de confiabilidade, pois ele é uma forma simplificada do formulário de análise de modo de falhas e efeitos - FMEA.

O formulário de decisões do RCM, representado a seguir na Figura 20 , é o segundo dos dois documentos mais importantes da metodologia. O

primeiro é o formulário da análise de modos de falhas e efeitos – FMEA, representado no Anexo 1.

### **Etapa 6: Formular e implementar o plano de manutenção**

Ao iniciar a formulação do plano de manutenção e posterior implantação das recomendações registradas no formulário de decisões do RCM, é conveniente comparar estas recomendações com as atividades de manutenção já existentes no programa de manutenção. A questão, então, é decidir se devem ser feitas novas atividades, mudar as atividades existentes ou, até mesmo, eliminar algumas atividades de manutenção.

Algumas ações devem ser efetivadas para garantir que as decisões tomadas se tornem efetivas. Isto pode significar (JARDINE, 1999 e DUNN, 1999):

- Questionar os cronogramas de manutenção;
- Desenvolver ou revisar as atividades;
- Especificar peças ou ajustar níveis de estoque;
- Adquirir equipamentos de teste ou diagnose;
- Revisar procedimentos e a própria operação de manutenção;
- Especificar procedimentos de reparos ou restauração;
- Proceder ao treinamento nos novos procedimentos.

### **Etapa 7: Melhoria contínua**

O pessoal que participa deste processo de implantação do RCM aprende muito a respeito de como o equipamento trabalha e como ocorrem as falhas funcionais. Isso, freqüentemente, leva os participantes a mudarem seus comportamentos de modo a melhorar consideravelmente o desempenho dos equipamentos. No entanto, com o intuito de conseguir o máximo benefício do RCM, a longo prazo, revisões periódicas são mandatórias (MOUBRAY, 2000). O objetivo destas atividades contínuas de revisão periódica é reduzir as falhas, aumentar a qualidade da manutenção e a disponibilidade dos recursos, identificar a necessidade de expandir o programa do RCM, reagir a mudanças na indústria e nas condições econômicas.

### 3.3 EQUIPE MULTIDISCIPLINAR DO RCM

Com as questões levantadas na primeira parte deste capítulo, as sete perguntas da metodologia, é preciso considerar quem deve participar da equipe multidisciplinar para a análise do item sob revisão e responder as sete perguntas básicas.

Devem constar nesta equipe multidisciplinar, como mostra a Figura 23, pessoas da Operação, da Manutenção, um especialista no assunto específico em análise, Engenharia e um Facilitador.



FIGURA 21 – Uma equipe multidisciplinar típica

Para assegurar que todos os diferentes pontos de vistas estão sendo levantados e considerados, somente uma equipe multidisciplinar é capaz de fazer esta análise adequada de um item, equipamento ou sistema sob análise da metodologia RCM.

Para que esta equipe multifuncional funcione, recomenda-se que ela tenha as seguintes características (JARDINE, 2002):

- Seja uma equipe pequena.
- Tenha habilidades complementares.
- Tenha propósito comum.
- Possua um conjunto de objetivos de desempenho, normalmente traduzidos por indicadores.
- Conjunto de princípios comuns a outros grupos da planta.
- Tenha responsabilidade mútua.

O Facilitador é um especialista, com treinamento na metodologia RCM. Ele tem as atribuições de orientar os trabalhos e garantir que a metodologia seja aplicada corretamente.

Para garantir bons resultados na aplicação da metodologia RCM, recomenda-se que (MOUBRAY, 2000):

- Os participantes da equipe não devem ser substituídos enquanto a análise estiver sendo feita.
- Seja elaborado um calendário para as reuniões e distribuído aos participantes e seus respectivos gerentes.
- As reuniões não devem durar mais do que 4 horas.

### 3.4 OS BENEFÍCIOS QUE SE ESPERA DO RCM

Os resultados vistos como benefícios obtidos pela prática da Manutenção Centrada em Confiabilidade são vários, e podem ser traduzidos como os benefícios listados a seguir:

- **Maior Segurança e Proteção Ambiental:** no conjunto de benefícios do RCM, a segurança operacional e a integridade do meio ambiente são os principais benefícios obtidos com a metodologia. Estes benefícios são resultados das informações geradas pelo RCM, para identificar todos os possíveis riscos de falha nos equipamentos. Estas informações são tratadas pelos gestores da metodologia, para se aplicar as melhores práticas de manutenção, para eliminar ou reduzir ao máximo a probabilidade da falha. Se a falha ocorrer, várias ações são sistematizadas para reduzir ao máximo os efeitos e as conseqüências da falha (MORTELARI, 2002; MOUBRAY, 2000; NOUR *et al.*, 1998).
- **Desempenho Operacional Melhorado:** o desempenho operacional é melhorado porque os gestores do programa têm as informações técnicas para escolher as melhores práticas de manutenção para garantir uma maior disponibilidade dos equipamentos no sistema produtivo. Isto é, fazer a manutenção sob condição para garantir uma maior disponibilidade do equipamento. O aumento da disponibilidade dos equipamentos pode ser visto, também, como uma redução no tempo de reparo. Isto é, a metodologia cria uma planilha que relacione todas os modos de falha com as falhas funcionais e que quando estas falhas ocorrerem todos os recursos para repará-las estejam disponíveis (MORTELARI, 2002; DHILLON, 1999; CROCKER; KUMAR, 1999).

- Eficiência Maior de Manutenção: com as informações técnicas obtidas pelo RCM, os gestores do programa podem adotar as melhores práticas de manutenção, para garantir que o capital investido na manutenção tenha o melhor retorno, isto é, o melhor efeito no desempenho do sistema produtivo. A metodologia RCM bem aplicada, reduz a manutenção de rotina, aumentando os intervalos para manutenção. Devido à capacitação dos manutentores, o diagnóstico das falhas e a detecção de falhas potenciais, antes que se tornem falhas funcionais, são mais rápidos. Estima-se que o RCM corretamente aplicado aos sistemas de manutenção existentes reduza de 40 a 70% a quantidade de trabalho de rotina, e trabalhos de emergência entre 10 e 30%, do total de trabalhos (GERAGHET, 2002; PUJADAS; CHEN, 1996).
  
- Aumento da vida útil dos equipamentos: a adoção das melhores práticas de manutenção garantem que o equipamento faça tudo o que o seu usuário quer que ele faça, e que ele fique por mais tempo disponível no seu contexto operacional. O resultado desta manutenção garante que cada componente do equipamento receba a manutenção necessária para cumprir a sua função, garantir uma vida mais longa do equipamento (MOUBRAY, 2000; PEDROSO; 2002; MORTELARI, 2002).
  
- Banco de Dados de Manutenção Melhorado: os registros gerados pelo RCM proporcionam a obtenção de um excelente banco de dados para uso tanto pela manutenção como pela operação, inspeção e projeto. Estes dados fornecem informações para: identificar as necessidades de habilidades dos

manutentores, decidir qual a melhor política de estoques de peças sobressalentes e manter os desenhos e manuais atualizados. Isso possibilita a criação de uma memória, disponível a todos em qualquer tempo, que reduz os efeitos causados pela rotatividade de pessoal experiente e facilita a adaptação dos planos existentes, em função de modificações ou adaptações no processo, sistemas ou equipamentos (DHILLON, 1999; PUJADAS; CHEM, 1996).

- Trabalho em Equipe – Motivação: as pessoas ficam mais motivadas para o trabalho quando participam da análise e soluções dos problemas do dia a dia. A metodologia RCM promove esta integração, quando reúne equipes multifuncionais para a análise e solução dos problemas. Isto aumenta o grau de comprometimento e compartilhamento de toda a organização da empresa na solução dos problemas (MOUBRAY, 2000; DHILLON, 1999).
  
- Social: a sociedade é a grande beneficiária dos resultados obtidos pela implantação correta do RCM, que tem como objetivo eliminar ou reduzir ao máximo as probabilidades das falhas funcionais e criar procedimentos adequados para minimizar os efeitos e conseqüências das falhas. Com isso, os recursos naturais para as atividades industriais serão usados mais racionalmente, sem desperdício, e os possíveis acidentes com agressão ao meio ambiente serão evitados. O RCM é um gerador de riquezas pois ganham os donos dos ativos, por terem o retorno do capital investido e a sociedade, por ter mais fonte de trabalho e uma atividade econômica mais próspera (CAMPBELL, 1999; MOUBRAY, 2000).

#### **CAPÍTULO 4 - UM ESTUDO DE CASO DE RCM**

Neste capítulo é apresentado o estudo de caso, realizado em um equipamento do sistema de fabricação de emulsões de uma de uma empresa multinacional do ramo químico, para verificar em que medida a aplicação da metodologia RCM traz efetivos resultados em termos de desempenho operacional e redução de custos

#### **4.1 PERFIL DA EMPRESA DO ESTUDO DE CASO**

A empresa química, onde se realizou o estudo de caso, é uma empresa multinacional de pequeno porte. O volume de produção, de um somatório de quinze produtos diferenciados para colagem de papel, é de, aproximadamente, cinco mil toneladas/mês. O sistema produtivo é semi automatizado e a maioria do processo é de produção por bateladas. O quadro funcional desta empresa é de quarenta e cinco funcionários e o sistema produtivo trabalha em regime de turnos. O departamento de manutenção é semi informatizado, com controles desenvolvidos pelos próprios funcionários, e o quadro de funcionários da manutenção totaliza cinco funcionários. Uma das conquistas importantes desta empresa, para se alinhar com os níveis competitivos de qualidade internacionais, foi a certificação pela norma ISO 9002. Esta certificação introduziu na empresa um cultura organizacional administrativa e um senso de responsabilidade para resultados, criando continuamente ações pró-ativas para a melhoria contínua da competitividade.

O mercado onde esta empresa atua é muito dinâmico e competitivo. Por isso, esta empresa tem várias competências competitivas para se manter líder de mercado. Ter preço, qualidade, flexibilidade de produção, confiabilidade de entrega dos produtos e um bom serviço de pós venda, são as competências que fazem dela uma empresa líder de mercado. Esta flexibilidade de produção, aliada à confiabilidade de entrega e ao serviço de pós venda, se tornaram os fatores mais importantes de competição. Isto devido à própria desorganização dos clientes, que dificilmente programam corretamente a compra dos produtos, e a garantia de um boa assistência técnica, que orienta o cliente quanto ao uso

e desempenho do produto adquirido. Um outro fator importante para reduzir custos é a política de estoques. Os estoques, nessa empresa, são mantidos em níveis baixos e nos limites para ser ter o menor custo de inventário.

Dentro desta realidade empresarial, pode-se dizer que um dos pilares que sustentam a competitividade desta empresa é a manutenção. Pode-se, facilmente, identificar a responsabilidade dos serviços de manutenção para manter e criar níveis sempre mais altos de disponibilidade dos equipamentos e instalações para atender a um programa de produção cada vez mais dinâmico e exigente. Esta análise de manutenção centrada em confiabilidade, realizada em um equipamento importante do sistema produtivo, vem reforçar esta realidade de se preservar o ativo no seu contexto operacional para que ele continue a atender às demandas sempre crescentes de produção, com segurança operacional.

Neste estudo de caso, a metodologia da manutenção centrada em confiabilidade foi aplicado na análise de um equipamento de homogeneização para fabricação de emulsões desta empresa química. O objetivo foi verificar em que medida a aplicação da metodologia RCM trouxe efetivos resultados em termos de desempenho operacional e redução de custos. Isto deveria resultar do melhor planejamento das tarefas de manutenção, com a eliminação de atividades desnecessárias que não agregam confiabilidade no desempenho da função.

Foi escolhido o homogeneizador para análise de RCM, conforme o processo industrial descrito a seguir, porque é o equipamento mais crítico do processo de fabricação de emulsões, devido às suas condições de trabalho. Este equipamento trabalha homogeneizando uma mistura de produtos com uma pressão de 350 bar, a uma temperatura de 180 °C.

Este estudo de caso foi desenvolvido em cinco etapas, conforme o trabalho de Nour *et al.* (1998), já que foi definido o equipamento do processo produtivo adequado para aplicação do RCM. As cinco etapas são as seguintes:

- Etapa 1: criar a equipe multidisciplinar e treiná-la nas técnicas da metodologia da Manutenção Centrada em Confiabilidade.
- Etapa 2: determinar as funções do equipamento no seu contexto operacional atual.
- Etapa 3: usar o formulário de informações do RCM, para listar as falhas funcionais associadas a cada função do equipamento, listar as causas da falha que são prováveis de causar cada falha funcional.
- Etapa 4: usar o formulário de decisões do RCM, para selecionar uma estratégia apropriada para se lidar com cada causa da falha.
- Etapa 5: Implementar as recomendações do RCM para se lidar com cada causa da falha.

#### **4.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO QUÍMICO**

A Figura 22, a seguir, mostra o fluxograma de processo de uma unidade de produção de emulsões. Esta unidade é composta de dois tanques T-356-A e T-356-B, onde são armazenados e mantidos à pressão atmosférica os produtos P-1 e P-2. O produto P-1 é uma solução aquosa de polímeros e é mantido no tanque a uma temperatura de 80 °C. O produto P-2 é uma resina e é mantido no tanque a uma temperatura de 190 °C. O produto P-1 é bombeado pela bomba P-356-A/B, passa pelo trocador de calor E-307, aonde atinge uma temperatura de 150 °C. O produto P-2 é bombeado pela bomba P-314-B. Os dois produtos P-1 e P-2 se encontram antes do misturador estático M-1. Após a passagem pelo misturador estático, a mistura formada pelos produtos P1 e P2, será homogeneizada no homogeneizador M-301. Após a homogeneização, a emulsão entra em um reciclo de refrigeração, que reduz a temperatura para 30 °C. Após a refrigeração, a emulsão segue para os tanques de trabalho T-359-A e T-359-B. Nestes tanques de trabalho, são feitos os ajustes finais da

especificação técnica do produto antes que ele seja enviado para os tanques de estocagem e posterior remessa para os clientes.

No Anexo 2, é mostrado, a descrição dos equipamentos e instrumentos de controle do processo, relacionados na Figura 22, com os equipamentos e instrumentos instalados no processo produtivo. Esta unidade tem uma capacidade de produção de 4,5 m<sup>3</sup> de emulsões por hora e funciona 24 horas por dia, 5 dias por semana e durante o ano todo. Como esta unidade não funciona nos sete dias da semana, manutenções programadas são agendadas para estes intervalos livres de 2 dias.

### 4.3 DETALHES DO SISTEMA DE HOMOGENEIZAÇÃO

O sistema de homogeneização funciona em processo semi automático e o operador monitora todo o sistema em uma sala de controle. A emulsão gerada é a base de água, por isso não é inflamável. A capacidade de produção da unidade está vinculada à produção do homogeneizador M-301 que é de 4,5 m<sup>3</sup>/h.

Conforme é mostrado na Figura 23, o homogeneizador é, essencialmente, uma bomba de pistões de alta pressão (350 bar) provida de uma válvula especial de estrangulamento, denominada válvula homogeneizadora. O produto entra por um orifício na sede da válvula, cuja saída é fechada por um êmbolo pelo aperto de um pistão hidráulico. Pela pressão do produto, o êmbolo recua uma fração de milímetro e o produto sai por esta folga com uma velocidade extremamente elevada, até 300 m/s, batendo contra um anel de impacto disposto em volta da válvula. Pela queda brusca de pressão e o impacto, as partículas de sólidos ou líquidos, suspensas no produto, se fracionam em partículas extremamente pequenas, tipicamente na faixa de 0,1 a 10 *micra*, conforme as condições de operação (PANDOLF; FLAMINI, 1997). Este sistema de válvulas de homogeneização de produtos está representado na Figura 24.

#### **4.4 DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA RCM**

Conforme mencionado anteriormente, a metodologia foi desenvolvida em cinco etapas como segue:

##### **ETAPA 1: TREINAMENTO NAS TÉCNICAS DO RCM**

A primeira etapa deste trabalho teve início com um treinamento durante 2 dias, totalizando 4 horas, ministrado pelo Engenheiro de Manutenção, para a Equipe Multidisciplinar responsável pela análise crítica do equipamento de homogeneização. Os objetivos deste treinamento foram o de nivelar os conceitos gerais de manutenção, apresentar as técnicas da Manutenção Centrada em Confiabilidade e a explanação sobre o funcionamento do homogeneizador no seu contexto operacional. Ficou definido que o processo de decisão das análises do RCM deve buscar o consenso entre os elementos da equipe. Caso isso não ocorra, o coordenador do grupo será o responsável pela tomada de decisões.

A Equipe Multidisciplinar, formada para esta atividade, está relacionada a seguir e foi constituída por profissionais das áreas envolvidas com o equipamento.

- 1 (um) Engenheiro de Manutenção (Coordenador)
- 1 (um) Supervisor de Manutenção
- 1 (um) Técnico em Instrumentação
- 1 (um) Técnico de Manutenção Mecânica
- 4 (quatro) Técnicos de Operação

**ETAPA 2: DETERMINAÇÃO DAS FUNÇÕES DO SISTEMA DE HOMOGENEIZAÇÃO**

Após o treinamento da equipe multidisciplinar, iniciou-se as reuniões de trabalho no ritmo de uma reunião por semana, com duas horas de duração. Nesta etapa, a equipe multidisciplinar listou todas as funções primárias e secundárias do sistema de homogeneização e os parâmetros desejados no seu contexto operacional.

As funções listadas pela equipe multidisciplinar, do sistema de homogeneização, são as seguintes:

- 1- Homogeneizar uma mistura a uma vazão fixa de 4,5 m<sup>3</sup>/h;
- 2- Homogeneizar a mistura a uma pressão de 350 bar;
- 3- Homogeneizar a mistura sem vazamentos no cabeçote;
- 4- Trabalhar com a pressão entre 6,0 a 10 bar na entrada do homogeneizador;
- 5- Manter o sistema de lubrificação do homogeneizador com uma pressão entre 2,0 a 4,0 bar;
- 6- Impedir que objetos estranhos e partículas maiores que 2000 micrômetros atinjam as bombas e o homogeneizador;
- 7- Fazer uma emulsão de alta qualidade;
- 8- Ser capaz de soar o alarme, se o homogeneizador parar de funcionar;
- 9- Ser capaz de acionar a válvula três vias;
- 10- Ser capaz de ligar o homogeneizador quando for solicitado;
- 11- Ser capaz de desligar o homogeneizador quando for solicitado;
- 12- Operar o sistema de emulsão em automático;
- 13- Ser capaz de manter a bomba P-356-B ligada, quando operando em automático;

- 14- Ser capaz de ligar a bomba P-314-B, quando o homogeneizador estiver desligado;
- 15- Ser capaz de desligar a bomba P-314-B, quando o homogeneizador for desligado;
- 16- Permitir a movimentação do operador perto do homogeneizador;
- 17- Ter uma aparência aceitável.

**ETAPA 3: LISTAR AS FALHAS FUNCIONAIS ASSOCIADAS A CADA FUNÇÃO E LISTAR AS CAUSAS DA FALHAS QUE SÃO PROVÁVEIS DE CAUSAR CADA FALHA FUNCIONAL. APLICAÇÃO DO FORMULÁRIO DE COLETA DE INFORMAÇÕES DO RCM**

Nesta etapa, a equipe multidisciplinar usou o formulário de coleta de informações da metodologia RCM. Neste formulário, foram listadas todas as funções do equipamento de homogeneização, registradas na etapa anterior. Para cada função (F) listada, formulou-se uma ou várias falhas funcionais (FF). Para cada falha funcional, formulou-se o que poderia causar as falhas funcionais (Causa da Falha - CF). Para cada causa de falha, registrou-se o efeito da falha, isto é, o que acontece quando ocorre a falha analisada.

Os formulários de coletas das informações, preenchidos pela equipe multidisciplinar, estão apresentados no Anexo 3.

**ETAPA 4: LISTAR AS FALHAS FUNCIONAIS PARA SELECIONAR UMA ESTRATÉGIA APROPRIADA PARA SE LIDAR COM CADA FALHA FUNCIONAL. APLICAÇÃO DO FORMULÁRIO DE DECISÕES DO RCM**

Nesta etapa, a equipe multidisciplinar usou o formulário de decisões da metodologia RCM. Neste formulário, foi analisada cada causa de falha (CF) do formulário de informações. Nesta análise das causas das falhas, a equipe multidisciplinar desenvolveu o seguinte trabalho:

- Classificou as influências dos efeitos das falhas, segundo o diagrama de decisão integrada da Figura 18, em: Segurança e Meio Ambiente (S), Operacional (OP), Econômico (E) e Oculta (OC).
- Determinou o tipo de manutenção mais apropriado para cada causa de falha.
- Descreveu as atividades de manutenção mais adequadas para cada tipo de causa de falha.
- Determinou a frequência com que cada atividade de manutenção deverá ser desenvolvida para se evitar a falha.
- Determinou os responsáveis para realizar as atividades de manutenção, para se evitar cada falha funcional.

Os formulários de decisões, preenchidos pela equipe multidisciplinar, estão apresentados no Anexo 4.

#### **ETAPA 5: IMPLANTAR AS RECOMENDAÇÕES DO RCM PARA LIDAR COM CADA CAUSA DA FALHA.**

Após o preenchimento do formulário de decisões, as recomendações do RCM foram aplicadas, com o objetivo de verificar em que medida a aplicação da metodologia RCM traz efetivos resultados em termos de desempenho operacional e redução de custos.

#### **4.5 RESULTADOS E DISCUSSÕES DA ANÁLISE DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE**

Os resultados do trabalho de aplicação da metodologia da Manutenção Centrada em Confiabilidade sobre o sistema de homogeneização são discutidos a seguir. Como resumo geral, obteve-se:

- Foram determinadas 17 funções do sistema de homogeneização
- Foram listadas 18 falhas funcionais
- Foram identificadas 93 causas das falhas (modo de falha)

*A classificação dos efeitos das falhas é mostrada na Tabela 1.*

**TABELA 1 - Classificação dos efeitos da falha do estudo de caso**

Quantidade	<i>Classificação dos efeitos das falhas</i>
07	Têm conseqüências sobre a segurança
25	Têm conseqüências operacionais
26	Têm conseqüências econômicas
09	São modos de falhas ocultos
05	São modos de falhas ocultos e relações com Segurança
18	São modos de falhas ocultos com relações operacionais
03	São modos de falhas ocultos com relações econômicas

*Para que a empresa continue a atender os crescentes níveis de produção com segurança operacional, após a aplicação do RCM, chegou-se a um programa de ações pró-ativas a ser implantado e a estrutura das tarefas de manutenção está mostrada na Tabela 2.*

**TABELA 2 - Estrutura das tarefas de manutenção do estudo de caso**

Quantidade	<i>Estrutura das tarefas de manutenção</i>
43	São tarefas de manutenção programadas
29	São tarefas sem manutenção programada (Corretiva)
09	São tarefas de busca de falha
12	Preventivas: recondicionamento periódico (Segurança)
0	Não identificado tarefas de projeto

Na implementação do RCM, foram relacionadas 93 modos de falhas no sistema analisado e, deste total, pode-se observar que: 10% das falhas são ocultas, 13% das falhas têm conseqüências com segurança, 31% das falhas têm conseqüência econômica e 46% das falhas têm conseqüências operacionais. Com relação à classificação dos efeitos das falhas, a Figura 25 mostra a distribuição percentual da classificação destes efeitos.

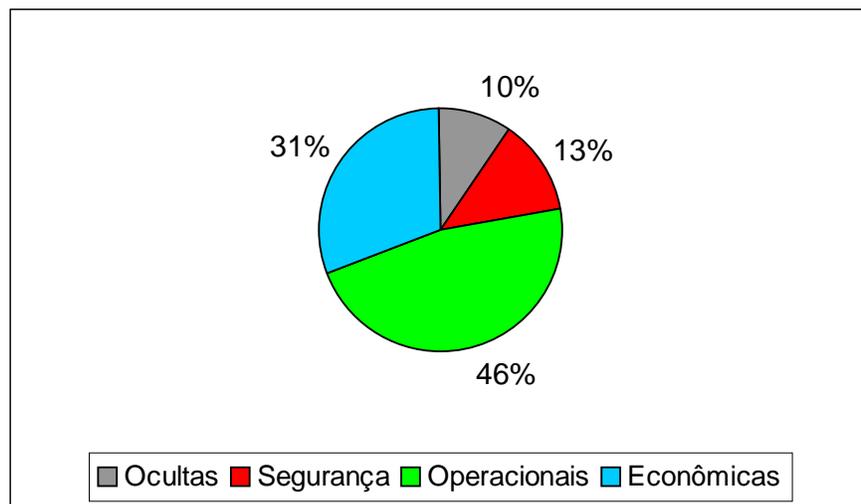


FIGURA 25 – Distribuição percentual da classificação dos efeitos da falha

As observações sobre esta distribuição da classificação das falhas são comentadas a seguir.

$\pi$  Quantidade de falhas relacionadas com segurança:

Foram relacionadas 12 falhas cujos efeitos podem colocar em risco os operadores e o meio ambiente. Os riscos a que os operadores estão expostos são:

- Riscos de queimaduras: devido a vazamentos de produtos durante o processo; a temperatura do processo é de 180 °C.

- Riscos de serem atingidos por algum elemento metálico: devido à pressão de operação do sistema que é de 350 Bar.

Os riscos a que o meio ambiente está exposto são:

- Vazamento de produtos: devido ao rompimento de algum sistema de vedação.
- Perda de matéria prima e energia, uso não racional dos recursos ambientais.

Esta análise está registrada no Anexo 4, onde se classificou os efeitos das falhas como sendo segurança. Dentre estas falhas relacionadas com o item segurança, estão relacionadas cinco falhas ocultas que têm relação com segurança. Estas falhas devem ter uma atenção especial, porque não são evidentes ao operador em condições normais de produção. Na descrição das atividades, pode-se observar as ações preventivas recomendadas para se prevenir estes tipos de falha. São ações que passam pela revisão dos procedimentos de manutenção, treinamento e avaliação dos materiais utilizados.

Várias ações já foram tomadas para se evitar e proteger os operadores de queimaduras provenientes de vazamentos ou por qualquer elemento que se desprenda do sistema pressurizado. Todo o sistema de produção esta confinado em uma área com dique de contenção, tendo toda a drenagem da área para o sistema de tratamento de efluentes industriais.

Com estas constatações, o gestor da manutenção deve fazer, junto com a equipe multidisciplinar, uma avaliação dos procedimentos de manutenção existentes e adequá-los às recomendações da análise de confiabilidade realizada no sistema de homogeneização. Estas ações pró-ativas, definidas na análise do RCM, são para eliminar as causas das falhas ou amenizar os efeitos e conseqüências da falha.

$\pi$  Quantidade de falhas relacionadas com a operação:

Foram relacionadas 43 falhas com conseqüências operacionais. As falhas classificadas como operacionais são falhas que afetam diretamente a capacidade produtiva, reduzindo níveis de produção e a qualidade dos produtos, gerando altos custos operacionais. A quantidade de falhas relacionadas com a operação é muito grande e, dentre estas falhas, 18 são falhas ocultas, isto é, falhas que não são evidentes ao operador em circunstâncias normais durante o processo produtivo. É uma quantidade muito alta de falhas, em que o operador somente identificará o efeito da falha quando um grande volume de produto já tiver sido produzido e fora de especificação, necessitando de retrabalho ou qualquer outro tipo de ação para adequar o produto ao uso. Para se evitar estas falhas, a metodologia sugeriu várias ações pró-ativas. São elas:

- Reduzir os tempos entre as análises durante o ciclo de produção. Deve-se analisar e registrar os teores de sólidos e o tamanho da partículas da emulsão. Estas duas análises identificam uma grande parte de falhas operacionais ocultas do sistema de produção de emulsões.
- Realizar inspeções mais freqüentes no sistema produtivo, observar, vibrações anormais, ruídos estranhos e registrar e analisar as pressões e as temperaturas do processo. Deve-se observar principalmente a pressão do sistema de homogeneização, já que o sistema não alarma esta condição de falha.

Como forma de se evitar as falhas operacionais, várias ações preventivas estão registradas no Anexo 4. Cabe ao gestor da manutenção e à equipe multidisciplinar implantar as recomendações da análise do RCM e acompanhar a efetividade das ações sugeridas, para avaliação das ações tomadas e para promover uma contínua melhoria da produtividade.

$\pi$  Quantidade de falhas relacionadas como econômicas:

Foram relacionadas 29 falhas em que as conseqüências são econômicas. As falhas menos importantes são as falhas econômicas. São falhas com conseqüências associadas diretamente com o reparo da falha e não interferem na segurança e na capacidade operacional do sistema. A ação pró-ativa recomendada pela metodologia RCM é de não fazer nenhuma manutenção programada, isto é, fazer manutenção corretiva se a falha ocorrer. Ênfase deve ser dada a uma boa execução de manutenção corretiva.

$\pi$  Quantidade de falhas relacionadas como ocultas:

As 9 falhas classificadas como falhas ocultas são falhas que podem ser evitadas com uma simples inspeção periódica no sistema produtivo. São tarefas como: inspeção e limpeza nos filtros de linha, testes nas válvulas de segurança e pressostatos do sistema.

Na análise de RCM, não se identificou nenhuma tarefa que justificasse o reprojeto de algum item do sistema de homogeneização. O motivo, talvez, de não ter aparecido uma sugestão de reprojeto, é que o sistema de homogeneização analisado é um sistema que entrou em operação faz 5 anos, e, neste período, ocorreram várias falhas. Estas falhas foram devidamente investigadas e tratadas. Foram feitas algumas alterações de projeto e criados procedimentos de manutenção para se evitar as falhas ocorridas e prevenir outras possíveis falhas.

Na verdade, todos os efeitos de falhas, não importa se operacionais ou econômicos, levam a perdas no sistema produtivo. Mas, as falhas que envolvem a segurança operacional são, com certeza, a maior preocupação das organizações industriais responsáveis. O objetivo do RCM é eliminar ou reduzir ao máximo as probabilidades das falhas. Com isso, a segurança do funcionário é aumentada e os recursos naturais, para as atividades industriais, serão

usados mais racionalmente, sem desperdício, e os possíveis acidentes com agressões ao meio ambiente poderão ser evitados.

#### **4.6 RESULTADOS E DISCUSSÕES DA IMPLANTAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE**

Os primeiros resultados obtidos com a implantação do RCM podem ser observados e comparados com a situação anterior de operação do sistema de homogeneização. Os parâmetros de disponibilidade operacional e de custo de mão de obra aplicado à manutenção planejada e não planejada podem ser observados nas Figuras 26 e 27, respectivamente.

No parâmetro disponibilidade, apresentado na Figura 26, pode-se constatar um discreto aumento de 3,6% da disponibilidade do equipamento de homogeneização no sistema produtivo após a implantação do RCM, que ocorreu no mês de setembro/2002.

O índice de disponibilidade do sistema de homogeneização, no mês de fevereiro/2003, foi 78,6%. O motivo deste valor, tão baixo, foi o rompimento da serpentina do trocador de calor E-307. A posição deste equipamento pode ser observada no fluxograma do processo de emulsões, na Figura 22. O problema

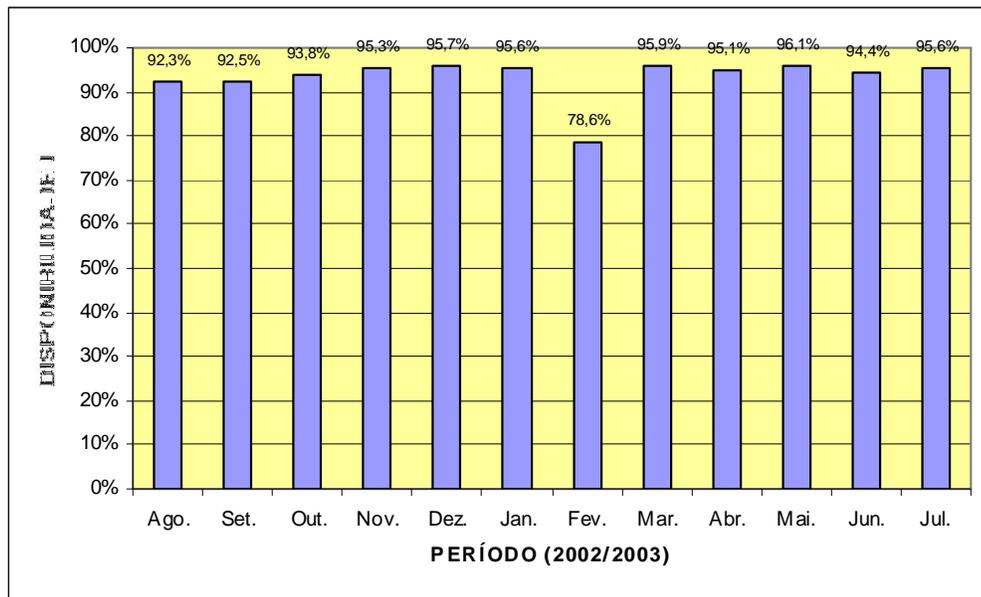


FIGURA 26 – Disponibilidade do sistema de homogeneização

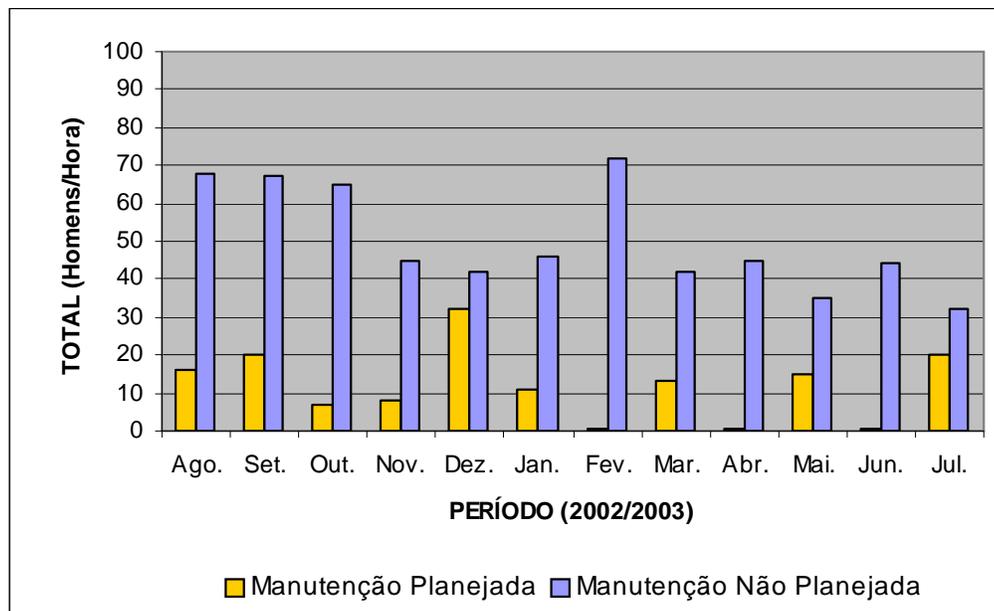


FIGURA 27 – Controle do total de Homem /Hora para manutenção que ocasionou a corrosão e rompimento da serpentina foi investigado e o resultado foi o reprojeto do equipamento.

Os resultados também confirmaram as tarefas do plano de manutenção existente e criaram uma nova abrangência para algumas tarefas de manutenção, que não tinham sido observadas no plano de manutenção atual. Isso pode ser observado na Figura 27. Antes do período de implantação das recomendações sugeridas pela análise de RCM, o nível de manutenção não planejada realizada no sistema de homogeneização era, aproximadamente, de 60 homens-hora/mês. Após a implantação, que ocorreu no mês de setembro/2002, o nível de manutenção não planejada foi reduzido para, aproximadamente, 40 homens-hora/mês.

Em contra partida, a expectativa inicial de se reduzir os custos da manutenção planejada, eliminando tarefas que não agregavam confiabilidade operacional ao sistema, não ocorreu. Foram criadas mais atividade de ações preventivas para assegurar mais confiabilidade ao sistema. Mas, um resultado importante, que o estudo de confiabilidade apresentou, foi o aumento dos intervalos de ações preventivas para garantir a confiabilidade do sistema. O aumento dos intervalos de manutenções preventivas pode ser explicado pelo longo tempo de operação do sistema, que opera há cinco anos. Neste período, as pessoas envolvidas na operação e manutenção adquiriram um bom domínio do sistema operacional e este domínio foi reforçado com um estudo mais técnico do sistema operacional realizado pela metodologia RCM.

#### v **Outros Resultados da Implementação do RCM**

Pode-se destacar outros resultados importantes observados durante a realização deste trabalho de aplicação da metodologia da Manutenção Centrada em confiabilidade no sistema de homogeneização:

- Este trabalho proporcionou à equipe multidisciplinar um conhecimento mais profundo do funcionamento do sistema de homogeneização, de suas falhas funcionais, causas e os efeitos das falhas.

- Com os resultados obtidos na análise do sistema de homogeneização, a equipe multidisciplinar sugeriu mudanças no procedimento operacional, para melhorar a segurança e a desempenho operacional do sistema.
- Este trabalho desenvolveu, na equipe multidisciplinar, um senso altamente positivo de equipe. As pessoas se mostraram motivadas por terem a oportunidade de participar de um trabalho voltado para estudar e resolver os problemas operacionais.
- Houve uma mudança de comportamento por parte dos operadores, uma vez que eles participaram deste trabalho. Os operadores estão mais conscientes e contribuindo mais nas tarefas de monitoramento sob condição, acompanhando o funcionamento de alguns componentes que sinalizam quando estão em estado de falha, e interagindo mais com o departamento de manutenção.
- Com este trabalho, deu-se início a um programa mais ambicioso, que é o treinamento dos Técnicos Operacionais para começarem a fazer algumas tarefas de manutenção no sistema de homogeneização.
- Com a motivação da equipe multifuncional e os primeiros resultados positivos deste trabalho, outras análises de confiabilidade em outros sistemas operacionais da empresa serão alavancados.

Estes ganhos em confiabilidade do sistema refletem os benefícios esperados por quem implementa o RCM. Estes resultados, vistos como benéficos por quem aplica o RCM, são confirmados nos seguintes trabalhos abaixo:

- Nour *et al.* (1998), retratam em seu artigo as melhorias no programa de manutenção provenientes da implementação do RCM na *Aluminerie Luralco Inc.*, produtora de alumínio. Também destacam o melhor conhecimento técnico dos equipamentos críticos do processo para prevenir falhas operacionais e danos ambientais. Eles destacam a importância das

análises do RCM, que ajudarão a empresa a ser certificada pela norma ISO 14000.

- Pujadas e Chen (1996), destacam três grandes benefícios com a implantação do RCM. Primeiro, destacam o melhor conhecimento das funções primárias e secundárias do sistema operacional. Segundo, a riqueza de detalhes das análises de FMEA e RCM, na investigação das falhas funcionais. Terceiro, com a implementação das ações provenientes do RCM, o departamento de manutenção pode redistribuir as tarefas de manutenção com mais riqueza de detalhes, melhorando o atendimento às prioridades operacionais e aumentando a confiabilidade do sistema.
- Pedroso (2002) retrata, no artigo sobre aplicação do RCM em turbo-soprador da refinaria Replan, todo o processo de implantação e os resultados da aplicação do RCM, onde foram identificadas 34 funções do sistema analisado, 51 falhas operacionais e relacionados 165 modos de falhas. Segundo o autor, com a aplicação do RCM houve uma melhora no planejamento das tarefas de manutenção, identificando as falhas que teriam consequências no equipamento e no processo, observando o seu contexto operacional. Esta análise também sinalizou a necessidade de 27 reprojatos de redundância e 14 reprojatos de mudança física.
- Mortelari (2002) também descreve, no seu artigo sobre a aplicação de RCM na Effem Brasil, todo o processo de implantação e os resultados obtidos com o RCM. A análise de RCM foi realizada em uma máquina empacotadora de chocolates, que tem uma capacidade operacional de 800 toneladas por ano. Foram analisadas 36 funções da empacotadora e suas respectivas possibilidades de falhas, que se desdobraram em 340 modos de falhas e seus respectivos efeitos. Segundo o autor, o RCM aumentou a disponibilidade operacional em 12,5%, que significa um aumento de 8 toneladas de produtos empacotados por mês. O autor informa outros resultados tidos como benefícios, tais como o aprimoramento da segurança, operacionalidade e aumento considerável de conhecimento sobre o

comportamento do equipamento por parte das equipes de manutenção, produção e engenharia.

- Vituzzo (2001) destaca em seu artigo, que a empresa Kodak - Brasil adotou o RCM como ferramenta para garantir competitividade. O autor destaca que o plano de manutenção está sendo todo reestruturado e que, com o início da implementação do RCM, a unidade fabril já reduziu em 0,5% o índice de paradas e esta marca está sendo uma referência mundial em manutenção para a empresa.

Após a análise dos resultados obtidos com a aplicação da metodologia da Manutenção Centrada em Confiabilidade no sistema de homogeneização, pode-se fazer algumas recomendações, para que o departamento de manutenção desta empresa continue a melhorar seu desempenho, e esteja mais integrado ao processo produtivo, contribuindo mais decisivamente para que a empresa caminhe rumo à excelência. As recomendações apresentadas são simples e levam em conta a realidade da empresa:

- Privilegiar a manutenção preditiva e detectiva, fazendo: análise de vibrações nos mecanismos de acionamento, análise do óleo lubrificante e análise termográfica nos mecanismos de acionamento e instalações elétricas.
- Utilizar um sistema informatizado para facilitar o controle dos serviços e para obter dados mais confiáveis dos índices de desempenho do departamento de manutenção.
- Criar um procedimento para investigar as falhas ocorridas nos equipamentos mais importantes ou críticos do sistema produtivo. Estas informações devem ser continuamente coletadas e mantidas em um banco de dados de confiabilidade da instalação. Nesta situação, pode-se recorrer às técnicas da metodologia RCFA (*Root Cause Failure Analysis* – Análise

da Causa Raiz da Falha). Esta técnica pode ser pesquisada no livro de Helman e Andrey (1995).

- Ter um total controle sobre o estoque de peças no almoxarifado, porque 30% das peças deste sistema são importadas e com prazos longos de aquisição. A alternativa a ser estudada deverá ser a de desenvolver fornecedores nacionais para reduzir os custos, com os mesmos níveis de qualidade.
- Melhorar o entrosamento entre a manutenção e a produção para se criar equipes de trabalhos específicos que possam ser utilizados para análise conjunta de: problemas crônicos, desempenho de equipamentos e planejamento de serviços. Dovico (2001) descreve em seu artigo sobre a gestão compartilhada entre a manutenção e a produção, a experiência de sucesso deste entrosamento em uma fábrica de papel.
- Identificar as necessidade de treinamento dos manutentores para que possam acompanhar os avanços tecnológicos e a complexidade de manutenção dos equipamentos industriais.
- Desenvolver um programa de treinamento dos operadores para que eles possam realizar pequenos serviços de manutenção e ajudar no monitoramento da condição dos equipamentos. Nesta recomendação, pode-se aplicar a metodologia de um dos pilares do TPM, o pilar da manutenção autônoma. Esta metodologia pode ser pesquisada no livro de Takahashi e Osada (1993).

Como a manutenção é uma função estratégica dentro da organização, o seu desempenho afeta, diretamente, o desempenho da empresa. Logo, qualquer medida que implique em mudanças rumo à melhoria deve ter o ponto de partida na gerência. A aplicação e o sucesso destas recomendações só serão possíveis se todos participarem e, à medida que as melhorias começarem a aparecer, elas atuarão como impulsionadoras e motivadoras para mais mudanças. Também, os resultados positivos podem ser traduzidos por uma grande variedade de benefícios que passam pela permanência da

empresa no mercado, manutenção dos empregos, redução de horas extras e outros benefícios.

A empresa onde se realizou este estudo de caso está implantando um programa de excelência em manufatura e uma das chaves importantes deste programa é a chave da manutenção centrada em confiabilidade. O desenvolvimento deste trabalho está sendo visto pela matriz americana como um avanço na organização da manutenção na filial brasileira e a sustentação deste trabalho foi possível graças ao espírito de equipe gerado pela motivação de poder participar de um trabalho técnico como este.

## **1 Capítulo 5 - CONCLUSÕES**

O trabalho realizado mostrou a melhora do desempenho do equipamento do sistema de fabricação de emulsões após a implantação do RCM, que foi o objetivo deste trabalho. Portanto, com os resultados da implantação das atividades de manutenção propostas pelo RCM, pode-se destacar as seguintes conclusões:

- Obteve-se um aumento de aproximadamente 3,6% na disponibilidade operacional do sistema de fabricação de emulsões. Como o sistema analisado é um sistema de produção contínua e tem a capacidade operacional de 4,5 m<sup>3</sup>/h de emulsões, estes aumento de disponibilidade corresponde a um aumento de produção de 85 m<sup>3</sup> de emulsões por mês, se considerado o regime de trabalho da unidade. Este aumento de produtividade não é pouco se comparado com o regime atual de produção. Esta unidade já recebe uma manutenção adequada para cumprir a demanda de produção operacional. Se este resultado for projetado para equipamentos maiores, com volumes de produção superiores ao analisado, pode-se fazer uma projeção de quanto uma empresa lucraria com um aumento de 3,6% na disponibilidade operacional. Isto sem levar em conta o aumento da segurança operacional que, dependendo da atividade da empresa, terá valores difíceis de calcular. Se o sistema está mais tempo em regime de produção porque está falhando menos, pode-se concluir que obteve-se um aumento de confiabilidade operacional.
- Obteve-se uma redução das atividades de manutenção corretiva e um conseqüente aumento das atividades de manutenção preventiva. Pode-se prever que, com o melhor entendimento do sistema e o contínuo processo de aprendizado e revisão do processo RCM, estas atividades devem se reduzir para um ponto ótimo de operacionalidade. Portanto, devido à redução das atividades de manutenção corretiva e conseqüente redução de custos de produção, pode-se concluir que o RCM reduziu os custos operacionais da unidade de fabricação de emulsões.

- A confiabilidade operacional não está garantida com a simples utilização do RCM; confiabilidade operacional é um processo maior que envolve todas as fases da vida útil de uma instalação ou equipamento, desde a concepção do projeto, montagem, operação e descarte. Mas, se a metodologia for bem aplicada, colocará a empresa no caminho certo de resolvê-los. Apesar da argumentação de que a confiabilidade de um ativo é um atributo de projeto e a manutenção, na melhor das hipóteses, pode somente manter a confiabilidade deste ativo, não podendo de forma alguma aumentá-la, se pensado nas atividades de melhorias, que enfocam modificações de projeto como atividade de manutenção, isto não é verdadeiro. A atividade manutenção, no mundo atual, está trabalhando voltada para o aumento da confiabilidade dos ativos industriais, garantindo a confiabilidade inerente ou projetada. Acredita-se que exista um grande potencial de melhoria na confiabilidade dos componentes industriais. Estas melhorias podem consistir, basicamente, na substituição de componentes por outros mais “engenheirados” e/ou mediante a implementação de modificações no projeto original, a fim de reduzir as necessidades de manutenção e aumentar a confiabilidade operacional.
  
- Um dos pontos fundamentais do RCM é a realização do trabalho em equipe para analisar as falhas, definir ações para evitar ou minimizar a falha através de equipe multidisciplinar e assegurar que estas ações preventivas sejam as mais fáceis de atender, baratas e efetivas possíveis. A partir das considerações apresentadas neste trabalho, pode-se afirmar que o processo RCM é um forte instrumento para desenvolver conhecimento nas organizações, pelas suas características de concepção e aplicação, que envolve, necessariamente, a compreensão e a discussão por grupos de pessoas diretamente interessadas em alcançar objetivos comuns de desempenho operacional de determinados ativos físicos, no seu contexto operacional atual.

## 5.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

O trabalho aqui desenvolvido ainda não está terminado. Este tipo de trabalho não tem um ponto final. É um processo contínuo de treinamento, conhecimento e de melhorias em todas as áreas envolvidas no processo produtivo. Como primeira sugestão para um trabalho futuro, recomenda-se a simulação com revisão do estudo de RCM e ações definidas para manutenção, para se reavaliar as atividades de manutenção e o desempenho do sistema.

A segunda sugestão é o estudo matemático da função de falhas que representa a variação da probabilidade de falhas por unidade de tempo. Neste trabalho, foram enfocados os aspectos de gerenciamento para prevenir a falha. Nesta proposta para trabalho futuro, deveriam ser estudadas as estatísticas de falhas de equipamentos ou produtos, usando a distribuição de probabilidades representada graficamente, fazendo uso das relações matemáticas que podem ser as relações binomiais de Poisson, distribuição de Weibull, distribuição de Gauss, entre outras.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**ABRAMAN - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO**, Disponível em: <<http://www.abraman.org.br>>, acesso em: 10 Setembro 2002.

BALARINI, J. C. **O papel das equipes multifuncionais na fase inicial e preparatória da implantação do TPM – Um estudo de caso**. Santa Barbara D'Oeste, SP, Dissertação de Mestrado, Universidade Metodista de Piracicaba, 2002.

CAMPBELL, J. D. **Reliability: Past, present, future. Establishing the historical and theoretical framework of RCM**. The Reliability Handbook. Plant Engineering and Maintenance. A Clifford Elliot Publication, Volume 23, Issue 6, p.5- 6, December 1999. Disponível em: <<http://www.sqlbrasil.com.br>> – Link: Plant Maintenance Resource Center, acesso em: 05 março 2002.

CASTRO, D. A. **Implementando e praticando confiabilidade na manutenção**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO, 12., 1997, São Paulo. **Anais...**São Paulo, 1997. CD-ROM.

CATTINI, O. **Derrubando os mitos da manutenção**. São Paulo: STS Publicações, 1992.

CROCKER, J.; KUMAR, U. D. **Age-related maintenance versus reliability centered maintenance: a case study on aero-engines**. Paper of Centre for Management of Industrial Reliability, Cost and Effectiveness University of Exeter – Devon, 1999.

DHILLON, B.S. **Engineering maintainability: How to design for reliability and easy maintenance**, Gulf Publishing Co., Houston, 1999.

DOVICO, E. **Manutenção – Gestão compartilhada com a produção, uma experiência de sucesso na Votorantim Papel e Celulose**. In:

CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO, 16., 2001, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2001. CR-ROM.

DUNN S. **Integrating RCM with effective planning and scheduling – Part 1 and 2.** This Paper was presented to the West Australian Optimizing Maintenance Conference, Australia on 14 May 1999. Disponível em: <<http://www.sqlbrasil.com.br>> – Link: Plant Maintenance Resource Center, acesso em: 05 março 2002.

FLEMING, P. V.; FRANÇA, S. R. R. O. **Considerações sobre a implementação conjunta de TPM e MCC na industria de processo.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO, 12., 1997, São Paulo. **Anais...**São Paulo, 1997. CD-ROM.

GERAGHETY, T. **Obtendo efetividade do custo de manutenção através da integração das técnicas de monitoramento de condição, RCM e TPM.** Disponível em: <<http://www.manter.com.br>>, acesso em: 08 maio 2002.

GIL, A. C. **Como elaborar um projeto de pesquisa.** São Paulo: Editora Atlas, 1996.

GUNN, T. G. **As indústrias do século 21- Como preparar e conduzir sua indústria para atingir com sucesso e segurança o ano 2000.** Tradução José Carlos Barbosa dos Santos. Makron Books do Brasil Editora, São Paulo, 1993, 264p, Título original: 21 st. Century manufacturing.

HELMAN, H.; ANDREY, P.R.P., Ferramenta da Qualidade – **Análise de falhas (Aplicação dos métodos FMEA – FTA).** Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia – UFMG, Belo Horizonte, MG, 1995.

INGALLS, P. **TPM – Another three-letter program or a real improvement process?**, Disponível em: <<http://www.marshallinstitute.com>>, acesso em: 07 maio 2002.

JARDINE A. K. S. **The evolution of reliability. How RCM developed as a viable maintenance approach.** The Reliability Handbook. Plant Engineering and Maintenance. A Clifford Elliot Publication, Volume 23, Issue 6, p.7- 8, December 1999. Disponível em: <<http://www.sqlbrasil.com.br>> – Link: Plant Maintenance Resource Center, acesso em: 05 março 2002.

KELLY, A.; HARRIS, M. J. **Administração da manutenção industrial.** Tradução MARIO AMORA RAMOS, Rio de Janeiro: Ed. do Instituto Brasileiro de Petróleo, 1978, p. 4. Título original: Management of Industrial Maintenance.

KRONER, W. **Produtividade e qualidade na manutenção.** Apostila apresentada no curso para Gerenciamento da Manutenção – Weiland Kroner, São Paulo, 1999.

LAFRAIA, J. R.B. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade.** Qualitymark: Petrobras, Rio de Janeiro, 2001.

LATINO M. **RCFA + RCM = Formula for successful maintenance.** Published In Plant Engineering Magazine, December, 1999 Disponível em: <<http://www.sqlbrasil.com.br>> Link: Plant Maintenance Resource Center, acesso em: 08 março 2002.

MARCONI, M.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de pesquisas.** São Paulo: Editora Atlas, 1996.

MARTINS, E. **Contabilidade de custos**, 8<sup>o</sup> edição, São Paulo: Editora Atlas, 2001.

MIGUEL, P. A. C. **Qualidade: enfoques e ferramentas.** Artliber editora, São Paulo, 2001.

MIRSHAWKA, V. **Manutenção preditiva: caminho para zero defeitos.** São Paulo: Makron Books, 1991.

MIRSHAWKA, V; OLMEDO, N. L. **Manutenção combate aos custos da não eficácia: a vez do Brasil**. São Paulo: Makron Books, 1993.

MOBLEY, R. K. **An Introduction to predictive maintenance**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990.

MORTELARI, D. **Aplicação de RCM 2 na Effem Brasil**. Disponível em: <<http://www.confabilidade.com>>, acesso em: 10 junho 2002.

MOUBRAY, J. **Manutenção centrada em confiabilidade**. Tradução Kleber Siqueira, Edição Brasileira, São Paulo: ALADON, 2000, 426p. Título original: Reliability Centred Maintenance.

NAGAO, S. K. **Manutenção industrial: análise, diagnostico e propostas de melhoria de performance em indústrias de processo**. São Paulo,SP, Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 1998.

NAKAJIMA, S. **Introduction to TPM: Total Productive Maintenance**. Portland: Productivity Press, 1988.

NEPOMUCENO, L. X. **Técnicas de manutenção preditiva**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1989, vol. 1.

NOUR, G. A.; BEAUDOING, H.; OUELLET, P.; ROCHETTE, R.; LAMBERT, S. **A reliability based maintenance policy; A case study**. Paper of Department Industrial: Université du Québec à Trois-Rivières, Vol. 35, pp.- 591-594, Canada, Web of Science, 1998.

PANDOLF, B.; FLAMINI, R. **APV Homogenizer handbook – Processing of emulsions and dispersions by homogenization**. Chicopee, 1997.

PARLACHIO, G. – **A profissão de gerenciamento de ativos físicos em 2010**. Revista: Nova Manutenção y Qualidade, p. 8-9, Maio - 2002.

PEDROSO S. R. J. **Manutenção centrada em confiabilidade. Os benefícios da aplicação do RCM no turbe gerador SP-22501 da refinaria REPLAN.** Disponível em: <<http://www.manter.com.br>>, acesso em: 06 maio 2002.

PEREIRA, R. N.; FARIA, A. C. **Terceirizando com qualidade.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO, 12., 1997, São Paulo. Anais... São Paulo, 1997. CD-ROM.

PEREIRA, F. J. D.; SENA, F. M. V. **Modelo funcional de manutenção centrada na confiabilidade.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO, 16., 2001, Florianópolis. **Anais...**Florianópolis, 2001. CD-ROM.

PICKNELL J. V. **Is RCM the right tool for you ? Determining your reliability needs.** The Reliability Handbook. Plant Engineering and Maintenance. A Clifford Elliot Publication, Volume 23, Issue 6, p.23- 38, December 1999. Disponível em: <<http://www.sqlbrasil.com.br>> - Link: Plant Maintenance Resource Center, acesso em: 08 março 2002.

PINTO, A. K.; XAVIER, N. J. **Manutenção: função estratégica.** 2. Ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

PIRES, S. R. I. **Gestão estratégica da produção.** São Paulo: Editora Universidade Metodista de Piracicaba, 1995.

PUJADAS, W.; CHEN, F. F. **A reliability centered maintenance strategy for a discrete part manufacturing facility.** Paper of Department of Industrial & Systems Engineering of Florida International University – Miami, 1996.

RAUSAND, M. **Reliability Centered Maintenance.** Paper of Department of Production and Quality Engineering, Norwegian University of Science and Technology, n-7034 – Trondheim, Norway, 1998.

SAE – JA1011, **Critérios para avaliação para processos de manutenção baseados em confiabilidade (RCM)**. The Engineering Society For Advancing Mobility Land Sea Air and Space. Agosto, 1999. Disponível em: <<http://www.sae.org>>

SANTOS, J. J. H. **Automação Industrial**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1979.

SOURIS, J. P. **Manutenção industrial- Custo ou Benefício**. Tradução Elizabete Batista. Libel Edições Técnicas Ltda, Lisboa, 1992, 175p. Título original: La Maintenance, Source de Profits.

SLACK, N. **Vantagens técnicas em manufatura: atingindo competitividade nas operações**. Tradução Sônia Maria Corrêia. Câmara Brasileira do Livro Atlas, São Paulo, 1993, 193p . Titulo original: The Manufacturing Advantage: Achieving Competitive Manufacturing Operations.

SMITH, A. M. **Reliability centered maintenance**. New York: MacGraw-Hill, 1993.

TAKAHASHI, Y; OSADA, T. **Manutenção produtiva total**. São Paulo: IMAM, 1993.

TAVARES, L. **Excelência na manutenção- Estratégia para otimização e gerenciamento**. Salvador: Lis Gráfica Editora, 1996.

VITUZZO, M. A. B. **RCM – Metodologia Avançada para Alcançar o Máximo Desempenho**. Revista: Nova Manutenção y Qualidade, n.36, p. 30, Julho. 2001.

VERRI, L. A. **Gerenciamento pela qualidade total na manutenção industrial: aplicação prática**. Campinas, SP, Dissertação de Mestrado, Universidade de Campinas, 1995.

XAVIER, J. A. N. – **Manutenção classe mundial**. Revista: Nova Manutenção y Qualidade, n.29, p. 8-12, Maio. 2000.





	Campo 15	Campo 16	Campo 17	Campo 18	Campo 19	Campo 20	Campo 21
--	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Formulário usado na Metodologia FMEA (LAFRAIA, 2001)

A seguir, estão relacionadas, simplificadaamente, as perguntas para a análise de FMEA (LAFRAIA, 2001).

Campo 1- Identificação: Identificar o equipamento que será submetido à análise de FMEA.

Campo 2- Dados de registros: Registrar as informações básicas para posterior identificação do equipamento.

Campo 3- Item: Identificar a parte do equipamento que será submetido à análise de FMEA.

Campo 4- Componente: Identificar os elementos que constituem a parte do equipamento.

Campo 5- Funções: Identificar as funções que cada item desempenha.

Campo 6- Modo de falha: Descrever as maneira pela qual o item falha em cumprir com a sua função.

Campo 7- Efeitos da falha: Descrever como a falha se manifesta.

Campo 8- Causas: Buscar a causa fundamental da falha é fundamental para as ações de manutenção.

Campo 9- Meios de detecção: Registrar os meios atuais utilizados para prevenir a falha.

Campo 10- Ocorrência: Estabelecer uma nota de acordo com a probabilidade de ocorrência de cada falha. Esta nota pode variar de 1 a 10, conforme a probabilidade de ocorrência da falha, indicada na Tabela 3.

Campo 11- Severidade: Estabelecer uma nota, de acordo com a severidade do efeito da falha, assumindo que o tipo de falha ocorra. A atribuição do índice de severidade deve ser feita olhando para o efeito da falha e avaliando o quanto a falha pode incomodar o cliente. A severidade da ocorrência pode ser classificada conforme Tabela 4.

Probabilidade de Ocorrência		
Probabilidade de Falha	Ranking	Taxas de Falhas
Remota: A falha é improvável	1	< 1 em 10 <sup>6</sup>
Baixa: Relativamente poucas falhas	2	1 em 20.000
	3	1 em 4.000
	4	1 em 1.000
Moderada: Falhas ocasionais	5	1 em 400
	6	1 em 80

Altas: Falhas repetitivas	7	1 em 40
	8	1 em 20
Muito Alta: Falhas Quase que inevitáveis	9	1 em 8
	10	1 em 2

TABELA 3 – *Ranking* das Probabilidades de Ocorrência (LAFRAIA, 2001)

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

Descumprimento de requisitos legais.

10

TABELA 4 – *Ranking* das Severidade das Conseqüências (LAFRAIA, 2001)

Campo 12- Detecção: A nota da probabilidade de detecção avalia a probabilidade de a falha ser detectada antes que afete o sistema produtivo. Esta nota deve ser atribuída, conforme Tabela 5, olhando-se para o conjunto “ modo de falha – efeito ” e para os controles aplicados de detecção de falhas atuais.

Tabela de Detecção

Probabilidade de Detecção	<i>Ranking</i>
Muito Alta: A falha será certamente detectada durante o processo de montagem e ou operação.	1
Alta: Boa chance de detecção da falha.	2
Moderada: 50% de chances de determinar a falha.	3
Baixa: Não é provável que a falha seja detectável.	4
Muito Baixa: A falha é muito improvavelmente detectável.	5
Absolutamente Indetectável: A falha não será detectável com certeza.	6
	7
	8
	9
	10

TABELA 5 – *Ranking* das Probabilidades de Detecção (LAFRAIA, 2001)

Campo 13- Índice de risco – RPN: O índice de risco pode ser quantificado pelo conceito do RPN (*Risk Priority Number*), Número de Prioridade de Risco. O RPN pode ser obtido pela multiplicação dos índices de ocorrência, detecção e severidade, conforme equação abaixo:

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

O índice de risco é uma maneira simples e precisa de hierarquizar as falhas. As falhas com maior índice de risco deverão ser tratadas prioritariamente, e sobre elas deve ser feito um plano de ação para o estabelecimento de medidas preventivas.

Campo 14- Ações Corretivas e Preventivas: As ações para se reduzir os riscos, são as ações tomadas na direção de se aumentar a probabilidade de detecção, reduzir a probabilidade da ocorrência e reduzir a severidade das conseqüências. Registrar todas as ações que devem ser implementadas para o bloqueio da causa da falha ou a diminuição da sua gravidade ou ocorrência.

Campo 15- Ações Preventivas Adotadas: Devem ser anotadas todas as ações efetivamente adotadas e implementadas para as recomendações propostas na análise FMEA.

Os campos de (18 a 21) deverão ser preenchidos após ter sido concluída a análise via FMEA e implementadas as ações previamente recomendadas.

<b>TAGS</b>	<b>TAGS</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
<b>(FIGURA 22)</b>	<b>(PROCESSO)</b>	
PI-1	M-19	Indicador de pressão. Bomba P-356-A/B
PI-2	M-04-A	Indicador de pressão. Pressão de homogeneização.
PI-3	M-21	Indicador de pressão. Tubulação de fase aquosa.
PI-4	M-30	Indicador de pressão. Saída de emulsão para tanques.
PI-5	M-31	Indicador de pressão. Bomba P-359-A/B.

TT-1	TT-356-A	Transmissor de temperatura. Tanque T-356-A.
TT-2	TT-314-B	Transmissor de temperatura. Tanque T-314-B.
TT-3	TT-45	Transmissor de temperatura. Saída do trocador E-307.
TT-4	TT-08	Transmissor de temperatura. Entrada do Homogeneizador.
TT-5	TT-305	Transmissor de temperatura. Entrada do trocador E-305.
TT-6	TT-22	Transmissor de temperatura. Saída do trocador E-305.
TT-7	TT-30	Transmissor de temperatura. Entrada refrigeração E-305.
TT-8	TT-31	Transmissor de temperatura. Saída refrigeração E-305.
PT-1	PT-356	Transmissor de pressão. Tubulação fase aquosa.
PT-2	PIAL-M1	Transmissor de pressão. Entrada do homogeneizador.
PT-3	PT-371	Transmissor de pressão. Loop de refrigeração E-305.
FT-1	FIT-356	Transmissor de fluxo. Fase aquosa para homogeneizador.
FT-2	FIT-371	Transmissor de fluxo. Saída emulsão do loop-resfriamento
LT-1	LT-356-A	Transmissor de nível. Tanque T-356-A
LT-2	LT-314-B	Transmissor de nível. Tanque T-314-B
LT-3	LT-359-A	Transmissor de nível.
LT-4	LT-359-B	Transmissor de nível.
M-1	M-1	Misturador estático.
F-1, F-2, F-3	F-1, F-2, F-3	Filtros.
V-1	PCV-356	Válvula de controle.
V-2	PCV-371	Válvula de três vias.
V-3	V-3	Válvula de controle.
V-4	V-4	Válvula de controle.
V-5	V-5	Válvula três vias.
DP-1, DP-2	DP-1, DP-2	Amortecedor de pulso
SC	SC	Inversor de frequência

TABELA 6 – RELAÇÃO ENTRE OS TAGS DA FIGURA 22 E OS TAGS DO PROCESSO

