



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

MANUTENÇÃO PLANEJADA PARA A REDUÇÃO DE FALHAS E
DEFEITOS QUE OCORREM EM EQUIPAMENTOS DE UMA EMPRESA
DO SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA.

Fábio do Nascimento Silva

Belém – PA
2013

**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**



FÁBIO DO NASCIMENTO SILVA

**MANUTENÇÃO PLANEJADA PARA A REDUÇÃO DE FALHAS E
DEFEITOS QUE OCORREM EM EQUIPAMENTOS DE UMA EMPRESA
DO SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Renato Martins das Neves, Dr.

Belém – PA
2013



Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Silva, Fábio do Nascimento, 1961-

Manutenção planejada para a redução de falhas e defeitos que ocorrem em equipamentos de uma empresa de energia elétrica. / Fábio do Nascimento Silva. - 2013.

Orientador: Renato Martins das Neves.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Belém, 2013.

1. Manutenção produtiva total. 2. Manutenção - Planejamento. 3. Usina Hidrelétrica de Tucuruí. 4. Usinas hidrelétricas - Manutenção e reparos. I. Título.

CDD 23. ed. 620.0046

**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**



**MANUTENÇÃO PLANEJADA PARA A REDUÇÃO DE FALHAS E
DEFEITOS QUE OCORREM EM EQUIPAMENTOS DE UMA EMPRESA
DO SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA.**

Autor:

FÁBIO DO NASCIMENTO SILVA

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL NA ÁREA DE ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL.

APROVADA EM: / /

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. RENATO MARTINS DAS NEVES
Orientador

Prof. Dr. MANOEL RIBEIRO FILHO
Membro Externo

Prof. Dr. ANDRÉ AUGUSTO AZEVEDO MONTENEGRO DUARTE
Membro Interno

VISTO:

Prof. Dr. CLAUDIO JOSÉ CAVALCANTE BLASNCO, Ph. D
Coordenador do PPGEC / ITEC / UFPA

Dedico este trabalho a meus filhos Fabiane e Alex como forma de estimulá-los a perseguir este mesmo caminho e até ir mais além.

Agradecimentos,

- ✓ A Deus, por nos dar o dom da vida e sabedoria.
- ✓ Ao meu orientador, Prof. Renato pelo empenho e afinco na condução deste trabalho.
- ✓ Aos membros da banca, prof^{os}. André e Manoel, por aceitarem nossa avaliação.
- ✓ A todos os meus colegas da Eletronorte, pelos anos de companheirismo e trabalhos que enfrentamos juntos, sempre com o mesmo objetivo.
- ✓ A Eletronorte por meio de sua Superindentência de Geração Hidráulica – OGH em Tucuruí, por ter nos permitido realizar nosso trabalho.

"Se você pode sonhá-lo,
você pode fazê-lo acontecer".
Walt Disney

RESUMO

A preocupação com as rotinas de manutenção normalmente está relacionada à falha de um processo ou equipamento (manutenção corretiva). O controle sistemático da manutenção e operação dos ativos é considerado um alto ponto de redução de custos e aumento da disponibilidade operacional para o planejamento estratégico.

Como resultado, tem-se na área de manutenção, uma grande quantidade de métodos, software, modelos e ferramentas de gestão disponíveis. Dentre eles, dois métodos se destacam: o RCM (Reliability Centered Maintenance ou Manutenção Centrada em Confiabilidade), de origem norte-americana, e o TPM (Total Productive Maintenance ou Manutenção Produtiva Total), de origem japonesa.

Desta forma, o objetivo principal deste trabalho é estudar a sistemática do planejamento estratégico e da manutenção planejada para a redução de falhas e defeitos que ocorrem em equipamentos, a partir das metodologias propostas pelos principais autores da área de planejamento estratégico e manutenção, com o intuito de propor melhorias na utilização desta ferramenta. Com base no referencial teórico (Amendola, Berndt, Coimbra, Certo, Copser, Nakajima, Mendes, Moreira, Moubray, Oliveira, Kaplan entre outros) estudado, foi possível iniciar a compreensão do planejamento da gestão da manutenção planejada da Usina Hidrelétrica de Tucuruí e suas práticas de desempenho em relação às práticas de referência e dos principais indicadores estratégicos destacados por esses autores. Esta pesquisa possibilitou avaliar que o atual procedimento adotado em Tucuruí está alinhado com todos os pensadores estudados, bastando apenas à melhor disseminação de todos os conceitos entre todos os níveis hierárquicos de planejamento e execução.

Palavras-Chave: Disponibilidade, Indicadores, TPM, RCM e Manutenção Planejada.

ABSTRACT

The concern with routine maintenance is usually related to a failure of process or equipment (corrective maintenance). The systematic control of maintenance and operation of machinery and equipment is considered a high point for reducing costs and increasing operational readiness for strategic planning.

As a result, it has been in service area, a large number of methods, software models and management tools available. Among them, two methods stand out: the RCM (Reliability Centered Maintenance and Reliability Centered Maintenance) of U.S. origin, and TPM (Total Productive Maintenance and Total Productive Maintenance), of Japanese origin.

Thus, the main objective of this work is the systematic study of strategic planning and planned maintenance to reduce failures and defects that occur in equipment from the proposed methodologies by leading authors in the area of strategic planning and maintenance, in order to propose improvements in the use of this tool. Based on the theoretical (Amendola, Berndt, Coimbra, Right, Coser, Nakajima, Mendes Moreira, Moubray, Oliveira, Kaplan and others) studied, could begin to understand the planning of the management of planned maintenance of the Tucuruí Hydroelectric Plant and their practices in relation to the performance practices of reference and key strategic indicators highlighted by these authors. This research allowed to evaluate the current procedure adopted at Tucuruí is aligned with all the thinkers studied by simply spreading the best of all concepts hierarquics between all levels of planning and execution.

Keywords: Availability, Indicators, TPM, RCM and Planned Maintenance.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE GRÁFICOS	xiii
LISTA DE IMAGENS	xiv
LISTA DE ESQUEMAS	xv
LISTA DE QUADROS	xvi
LISTA DE FLUXOGRAMAS	xvii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xviii
1- INTRODUÇÃO	1
1.1- Justificativa	1
1.2- Problematização	3
1.3- Questões de pesquisa.....	4
1.4- Objetivo.....	4
1.5- Hipóteses	5
1.6- Metodologia	5
1.7- Delimitações.....	9
1.8- Estrutura do trabalho	9
2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1- Planejamento estratégico e manutenção.....	11
2.2- Metodologia de planejamento estratégico.....	17
2.2.1- Metodologia apresentada por OLIVEIRA (2003).....	17
2.2.2- Metodologia apresentada por THOMPSON JR. & STRICKLAN D III (2000).....	19
2.3- Indicadores de perfomance.....	23
2.3.1- Indicadores de desempenho	23
2.3.2- Indicadores de desempenho para o gerenciamento da manutenção	28
2.3.3- O Balanced Scorecard	34
2.3.4- O BSC no gerenciamento da manutenção.....	36
2.4- Roteiro para planejamento da manutenção	39
2.4.1- Introdução à manutenção	39
2.4.2- Definição de manutenção	39
2.4.3- Evolução da manutenção.....	40
2.4.4- Tipos de manutenção.....	44
2.4.5- Total Productive Maintenance (TPM)	49

2.4.6- RCM - Reliability Centered Maintenance.....	59
3- ESTUDO DE CASO	79
3.1- Característica da empresa.....	79
3.2- Planejamento estratégico.....	86
3.3- Evolução da manutenção (implantação do TPM)	87
3.4- Controle da manutenção.....	91
3.5-Aperfeiçoamento da manutenção	92
3.6- Planejamento de falha e defeito zero	93
3.7- Implantação da metodologia RCM	94
3.8- Resultados	97
3.9- Análise dos dados.....	101
4- CONCLUSÕES.....	103
5- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	107
6- ANEXOS.....	112

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Hierarquia do planejamento nas organizações.....	12
Figura 2 - Relação entre estratégia organizacional numa empresa de um único produto.	14
Figura 3 - Relação entre os indicadores técnicos.	34
Figura 4 - Síntese da aplicação das metodologias de manutenção.....	42
Figura 5 - Evolução da Manutenção.....	42
Figura 6 - Métodos de Manutenção Planejada.	44
Figura 7 - Figura7- Formulas para se calcular o OEE.....	59
Figura 8 - Intervalo P-F.	62
Figura 9 - Padrões de Falha.	65
Figura 10 - Exemplo de Planilha de Funções e falhas funcionais do RCM.	72
Figura 11 - Exemplo de Planilha de Análise dos Modos de Falha e Efeitos.....	74
Figura 12 - Planilha de Decisão do RCM.....	77
Figura 13 - Dados principais da Eletronorte em 2011.....	80
Figura 14 - Principais dados da Usina hidrelétrica de Tucuruí em 2011.	85
Figura 15 - Mapa estratégico da Eletronorte, alinhado com a metodologia do TPM.....	90
Figura 16 - Mostra o objetivo geral da manutenção planejada para buscar falha zero.	94

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Evolução da geração / Evolução das linhas de transmissão.....	82
Gráfico 2 - Evolução de transformação / Redução de empregados.....	83
Gráfico 3 - Aumento da capacidade de geração com as 3 usinas juntas.	86
Gráfico 4 - Gráfico com a evolução de falhas zero nos principais equipamentos.....	97
Gráfico 5 - Índice de geração de UHE Tucuruí.....	97
Gráfico 6 - Evolução da disponibilidade de energia assegura de UHE Tucuruí.	98
Gráfico 7 - Índice de indisponibilidade forçada com destaque para falhas inéditas.	98
Gráfico 8 - Índice de indisponibilidade programada que se mantém dentro do previsto.....	98
Gráfico 9 - Índice de satisfação dos clientes externos em evolução constante.	99
Gráfico 10 - Índice de Tempo Médio de Reparo.....	99
Gráfico 11 - Índice de Tempo Médio entre Falhas.....	100

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1 - Área de atuação da ELN ante da Lei 10.848 e após a Lei.	81
Imagem 2 - Crescimento da demanda de energia elétrica.	82
Imagem 3 - Estrutura Organizacional da Eletronorte.	84
Imagem 4 - Mostra as principais características da usina de Tucuruí desde sua implantação.	85
Imagem 5 - Configuração da usina virtual gerenciada pela OGH.	87
Imagem 6 - Evolução da implantação da metodologia do TPM.	88
Imagem 7 - Correlação dos indicadores de performance (KPI).	91
Imagem 8 - Metodologia do loop infinito da Eletronorte.	92
Imagem 9 - Evolução no aprimoramento da metodologia do TPM.	93
Imagem 10 - RCM no sistema de circulação de óleo do mancal de guia do gerador.	95
Imagem 11 - Aumento da disponibilidade e redução do custo com a implantação do RCM.	96

LISTA DE ESQUEMAS

Esquema 1 - Papéis da medição	25
Esquema 2 - A estrutura do sistema de indicadores do <i>Balanced Scorecard</i>	35

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Níveis de medidas de desempenho da manutenção.	30
Quadro 2 - Comparação das Sistemáticas para aplicação do RCM.	70

LISTA DE FLUXOGRAMAS

Fluxograma 1 - Fluxograma do delineamento da pesquisa	7
Fluxograma 2 - Mostra o processo de elaboração, implementação e controle de estratégias. .	17
Fluxograma 3 - As cinco tarefas da gerência estratégica.	19
Fluxograma 4 - Fatores que moldam a escolha da estratégia nas empresas.....	22
Fluxograma 5 - Processo de gerenciamento estratégico do desempenho da manutenção.....	37
Fluxograma 6 - Processo de Implantação do BSC.	38
Fluxograma 7 - Etapas do Processo FMEA.....	69
Fluxograma 8 - Diagrama de Decisão do RCM.	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRAMAN- Associação Brasileira de Manutenção

BSC- Balanced Scorecard

ELN- Eletronorte

ERP – Enterprise Resource Planning

FMEA- Failure Mode and Effect Analysis

KPI- Key Performance Indicator

NBR- Norma Brasileira Regulamentadora

OEE- Overall Equipment Effectiveness

OEG- Superintendência de Engenharia da Geração

OGH- Superintendência de Geração Hidráulica

PMP- Plano de Manutenção Planejada

PMA- Plano de Manutenção Autônoma

PNQ- Prêmio Nacional da Qualidade

RCM- Reliability Centered Maintenance ou Manutenção Centrada em Confiabilidade

SAP R/3-PM- Software do tipo ERP (Enterprise Resource Planning) que utiliza técnica de tempo real em três dimensões – Plant Maintenance

TPM- Total Productive Maintenance ou Manutenção Produtiva Total

TI- Tecnologia da Informação

UHE- Unidade Hidrelétrica de Energia

UGH- Unidade Geradora Hidráulica

1- INTRODUÇÃO

1.1- Justificativa

A preocupação com as rotinas de manutenção normalmente está relacionada à falha de um processo ou equipamento (manutenção corretiva). O controle sistemático da manutenção e operação de máquinas e equipamentos é considerado um alto ponto de redução de custos e aumento da disponibilidade operacional para o planejamento estratégico segundo Kardec et al. (2009) define a estratégia de manutenção sob uma ótica do Balanced Scorecard: “A manutenção, para ser estratégica precisa estar voltada para os resultados empresariais da organização”.

Os programas como a **ISO9000**, **TPM (Total Productive Maintenance ou Manutenção Produtiva Total)** e **RCM (Reliability Centered Maintenance ou Manutenção Centrada em Confiabilidade)**, permitem que os equipamentos operem por mais tempo e a intervenção ocorra com base em dados e não em suposições, exigindo uma rotina de manutenção assertiva, com controles de processos que fiquem registrados para futura rastreabilidade de seu histórico. As empresas que começam a controlar sua rotina de manutenção e operação acabam em curto prazo reduzindo as paradas não programadas.

Outro fator importante a ser considerado é a evolução clara e expressiva da manutenção centrada na Tecnologia da Informação (TI), forçada a princípio pelo advento de novos equipamentos, instrumentos e ferramentas ou de técnicas que vêm sempre com o objetivo claro de maximizar os recursos disponíveis e conseqüentemente minimizar as despesas envolvidas com os processos produtivos.

A Tecnologia da Informação (TI) evoluiu de uma orientação tradicional de suporte administrativo para um papel estratégico dentro da organização. Porém, a tecnologia da informação, por si só, não é capaz de trazer ganhos para o negócio. Para que ela proporcione resultados efetivos é preciso que esteja integrada à estratégia da organização - ou seja, a infraestrutura e os investimentos de TI devem estar diretamente associados aos objetivos globais da organização, contribuindo para ampliar o seu alcance.

O uso da manutenção preventiva está relacionado à programação estratégica, com foco nas periodicidades de cada evento, (por exemplo, inspeções programadas mensais, bimestrais,

semestrais, entre outras.) visando assim o melhor aproveitamento do valor imobilizado em máquinas, ou seja, aproveitar ao máximo a vida útil de cada equipamento e deixar sempre produzindo segundo a NBR 5462 (1994):

“[...] manutenção é a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”.

O ganho real do uso da manutenção preventiva é o aumento da produtividade, a diminuição dos custos e o monitoramento do que está acontecendo com a vida útil dos equipamentos. As indústrias da atualidade devem se preocupar com todo e qualquer indicativo de economia que possibilite seu produto a ter mais competitividade.

O controle de qualidade dentro da manutenção visa garantir o cumprimento das especificações técnicas, o trabalho preventivo e corretivo, a padronização dos trabalhos com qualidade e segurança. Deve sempre estar presente entre mantenedores e gerentes de qualidade, pois mesmo atuando com responsabilidades bem definidas e diferentes, o resultado esperado é o mesmo: aumento da disponibilidade e redução de custos.

As tendências atuais, analisando as empresas que são *benchmark*¹ no ramo de manutenção (ABRAMAN, 2012), indicam a adoção cada vez maior de técnicas preditivas e manutenção centrada na confiabilidade, isto é um conjunto de atividades de acompanhamento dos equipamentos, de modo sistemático, visando definir a necessidade ou não de intervenção.

Para as organizações se tornarem mais competitivas nos dias atuais, estão requerendo também um maior envolvimento das pessoas e do trabalho em equipe com objetivos empresariais mais desafiadores. A manutenção nesse contexto deve ser encarada como um processo de negócio, tendo então função chave no planejamento da organização. Conforme cita Pinto (2003), “para que a manutenção possa contribuir efetivamente para que a empresa caminhe rumo a excelência empresarial, é preciso que a sua gestão seja feita com uma visão estratégica”.

¹ Segundo Robert C. Camp, "Benchmarking é simplesmente o método sistemático de procurar os melhores processos, as ideias inovadoras e os procedimentos de operação mais eficazes que conduzam a um desempenho superior"

Nesse contexto as empresas precisam desenvolver ações para prevenção de defeitos e falhas ou definição de ações que as antecipem, ou seja, desenvolver uma manutenção planejada proativa, ou ainda, avaliar a qualidade dos serviços levando-se em conta à necessidade de orientação e adequação dos esforços de manutenção e operação ao processo crítico, visando melhorar o nível de confiabilidade, manutenibilidade e operacionabilidade dos equipamentos mais importantes.

1.2- Problematização

Segundo Xenos (1998), através do gerenciamento da manutenção produtiva, os gerentes das áreas de manutenção e produção de vários tipos de organização encontrarão orientações práticas e confiáveis sobre os métodos para melhorar os resultados das atividades de manutenção, obtendo alta confiabilidade operacional de sistemas produtivos.

Conhecer o que alavanca o desempenho de determinado processo produtivo em uma organização é uma necessidade primária e essencial para se ter domínio real da situação que envolve as atividades e rotinas (MOREIRA, 2002).

Kardec (2009) possui uma abordagem mais estratégica que tem como linha básica a concepção de que a função manutenção tem o significado de inovar, participar das decisões do negócio, posicionar-se como gestora dos ativos, proporcionando a melhor rentabilidade com a maior eficiência, utilizando-se de indicadores de desempenho que possibilitem demonstrar o grau de maturidade da manutenção.

As razões principais que levaram as organizações de produção a gerirem efetivamente as operações de manutenção decorrem da crescente competição, que exigiu um controle irrestrito de custo, haja vista a crescente participação da manutenção nos custos operacionais (MENDES, 2002).

O fator humano também deve ser analisado, pois contribui para os resultados positivos numa organização. Muito tem se discutido sobre o fator humano influenciando diretamente nos resultados e no desempenho das empresas e/ou setores. Esses fatores que por sua vez estão diretamente associados a outras situações, tais como níveis de *turnover* e programas de treinamentos e que compõem uma miscelânea de ações basicamente relacionadas com aspectos comportamentais ou motivacionais da equipe.

Esses fatores podem fazer a diferença para obtenção dos resultados pretendidos. Kondo (1991), afirma que “por mais excelente que seja a organização que se cria, ela será inútil, ou mesmo contraproducente, se as pessoas não se sentirem motivadas”. Segundo Figueiredo (1999) quem faz as empresas são as pessoas e que elas são movidas pela emoção, desta maneira a empresa está, toda ela, baseada no sentimento humano.

Neste sentido, a presente dissertação busca através da pesquisa teórica e das usuais técnicas e práticas da qualidade analisar a sistemática do planejamento estratégico e da manutenção planejada na usina hidrelétrica de Tucuruí, considerando suas particularidades quanto aos aspectos de redução de falhas e defeitos que ocorrem em seus equipamentos.

1.3- Questões de pesquisa

Portanto, este trabalho busca responder as seguintes questões de pesquisa.

- Como sistematizar o planejamento estratégico e a manutenção planejada junto à unidade produtiva?
- Como gerenciar e avaliar o atual sistema de indicadores e resultados operacionais?

1.4- Objetivo

O objetivo principal deste projeto é analisar a implementação do RCM para reduzir ocorrências de manutenção na área de abrangência da Divisão de Engenharia de Manutenção da Usina Hidrelétrica de Tucuruí, a partir das metodologias propostas pelos principais autores da área de planejamento estratégico e manutenção.

1.5- Hipóteses

1.5.1- A sistemática de planejamento da manutenção planejada não está priorizando o atendimento dos processos críticos de produção, dados ou informações e seus indicadores não são adequados;

1.5.2- Não existe um comprometimento da força de trabalho quanto à realização dos trabalhos de manutenção planejada e não estão alinhados ou treinados com a priorização dos trabalhos;

1.6- Metodologia

1.6.1- Segundo Gil (2006), a pesquisa pode ser classificada de acordo com os objetivos do trabalho, como:

- Pesquisa exploratória que visa buscar maior familiaridade com o tema em questão, aprimorar idéias, descrever e classificar fatos e variáveis.
- Pesquisa aplicada ou descritiva que tem por objetivo definir as características de determinado fenômeno e a relação entre as variáveis.
- Pesquisa explicativa visa identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos, explicando a razão e o porquê das coisas, aprofundando o conhecimento da realidade.

Foram analisados os investimentos tecnológicos e de treinamentos adotados e os resultados obtidos nos últimos três anos operacionais;

Foi adotado um questionário composto por perguntas básicas desdobradas em itens com critérios de avaliação da qualidade da engenharia de manutenção e operação entre órgão normativo e unidade regional. Nesse questionário pudemos identificar o grau de satisfação do cliente interno e como a operacionalização dos serviços é vista pela unidade produtiva.

Este trabalho não esgota a pesquisa e discussões sobre o RCM e sim contribui para a base teórica capaz de facilitar a sua operacionalização.

1.6.2- Método de trabalho

1.6.2.1- Objeto de estudo

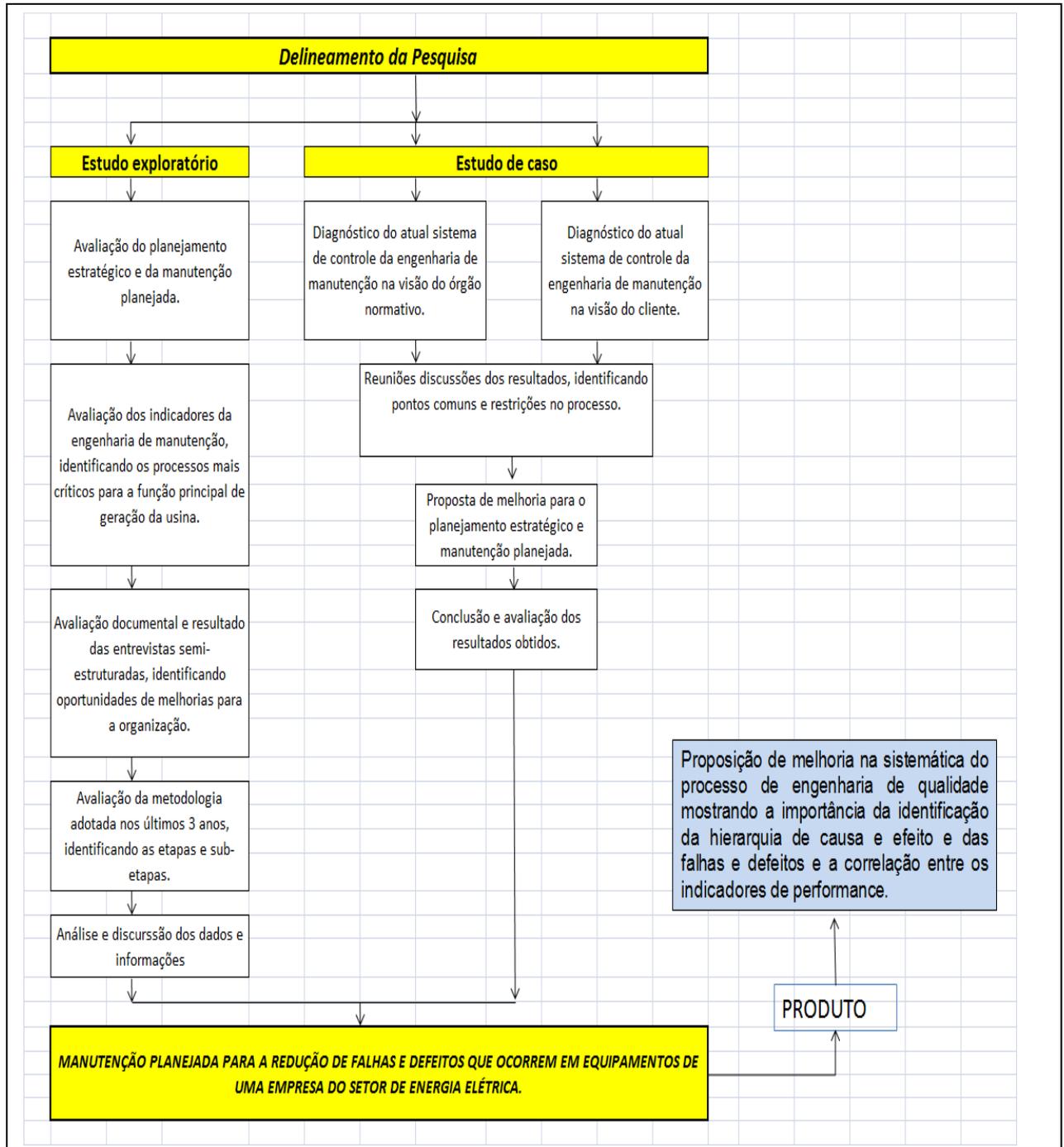
Foi realizado um estudo de caso na Superintendência de Geração Hidráulica de Tucuruí, especificamente na Divisão de Engenharia da Manutenção. Segundo Yin (2001), o estudo de caso contribui de forma inigualável para compreensão de se evitar os fenômenos individuais, organizacionais, sociais e políticos. A principal tendência em todos os tipos de estudo de caso, é que ela tenta esclarecer uma decisão ou um conjunto de decisões, o motivo pelo qual foram tomadas, como foram implementadas e com quais resultados;

Este estudo permitiu a coleta de informações necessárias de tal forma que os resultados obtidos foram descritos, tabulados e analisados.

A metodologia utilizada para atingir os objetivos foi uma revisão bibliográfica sobre o tema, visando conhecer o pensamento original de diversos autores, onde foram consultadas obras técnicas, didáticas, científicas e artigos.

1.6.3- Delineamento da pesquisa

Fluxograma 1 - Fluxograma do delineamento da pesquisa



Conforme demonstrado na figura anterior destacamos que após a revisão bibliográfica o trabalho foi desenvolvido por dois caminhos:

Estudo exploratório, com as seguintes etapas:

1- Avaliação do Planejamento Estratégico e Manutenção Planejada

Nesta avaliação consideramos as características estratégicas, táticas e operacionais no curto, médio e longo prazo. Observando e analisando os principais componentes das atividades, áreas e tarefas específicas e avaliamos também os fatores externos que geraram ameaças e oportunidades e os pontos fortes e fracos internos da área. Os insumos desta fase foram os relatórios de gestão, as normas dos órgãos normativos e legais e o manual de organização da empresa com suas atribuições, visão e missão.

2- Avaliação dos indicadores da engenharia de manutenção, identificando os processos mais críticos para a função principal de geração da usina.

A metodologia adotada foi do *Balanced Scorecard* e analisamos estes indicadores se estavam alinhados com as quatro perspectivas da metodologia que são: Financeiro, Processos Internos, Aprendizado e Crescimento e Cliente. Foi avaliado também quais outros fatores são utilizados além do foco no econômico-financeiro, como por exemplo: desempenho dos processos internos, pessoas, inovação, tecnologia e outros.

3- Avaliação dos documentos e resultado das entrevistas semi-estruturada, identificando oportunidades de melhorias para a organização.

A gestão analisada é baseada na integração do modelo de excelência da qualidade, por intermédio do Prêmio Nacional de Qualidade – PNQ e da Manutenção Produtiva Total – MTP. Analisamos quais foram às mudanças ocorridas no processo produtivo e nas atividades do dia-a-dia das pessoas. Como foi a correlação estabelecida com as duas metodologias.

4- Avaliação da metodologia adotada nos últimos três anos, identificando as etapas e sub-etapas.

Em função de alteração no Sistema Eletrobrás, houve a necessidade da alteração da estrutura hierárquica da empresa, para poder integrar ao sistema juntamente com as outras

empresas do mesmo ramo. Como foi esta adaptação para seus processos produtivos e quais inter-relações aconteceram para não se perder o foco de manter a disponibilidade alta com baixo custo.

No caminho denominado estudo de caso, trabalhamos com duas etapas distintas:

- 1- Diagnóstico do atual sistema de controle da engenharia de manutenção na visão do órgão normativo.

Na estrutura hierárquica da área, ela está subordinada à um órgão normativo localizado na sede da empresa em Brasília, a qual emiti relatório de desempenho mensal para a mesma, e deve retornar com informações de ações que devem desenvolver para melhorar os indicadores abaixo da meta e neste contexto analisamos quais ações, resultados e forma são utilizados pela área.

- 2- Diagnóstico do atual sistema de controle da engenharia de manutenção na visão do cliente.

O cliente principal da área é a Divisão de Operação da usina que é responsável por manter em operação contínua todas as unidades geradoras sob sua responsabilidade. Analisamos quais produtos são esperados por eles da manutenção e quais pontos precisam ser melhorados.

1.7- Delimitações

O presente trabalho estudou o planejamento estratégico e da manutenção planejada, relacionando com os resultados esperados nos indicadores empresariais especificamente na Divisão de Engenharia de Manutenção da Usina Hidrelétrica de Tucuruí, procurando identificar os fatores críticos de sucesso que interferem no desempenho dos equipamentos ou sistema.

1.8- Estrutura do trabalho

Esta dissertação apresenta cinco capítulos, com conteúdos delineados a seguir.

O Capítulo 1 apresenta informações relevantes para a compreensão do trabalho. São apresentada a justificativa, problematização, questões de pesquisa, objetivos, hipóteses, o método de pesquisa empregado na realização do trabalho, as delimitações e a estrutura da dissertação.

O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica onde é abordado o planejamento estratégico, apresentando os conceitos definidos por OLIVEIRA e THOMPSON JR. & STRICKLAN e a relevância do planejamento estratégico como ferramenta de competitividade nas empresas. Destaca a importância de indicadores de desempenho com o uso do *BALANCED SCORECARD*, explorando o roteiro para o planejamento da manutenção com destaque para a Total Productive Maintenance (TPM) ou Manutenção Produtiva Total e Reliability Centred Maintenance ou Manutenção Centrada em Confiabilidade, com ênfase no pilar manutenção planejada e procedimentos para implementação do RCM.

O capítulo 3 apresenta o estudo de caso propriamente dito, onde o RCM é aplicado para melhorar a manutenção planejada do TPM na área Divisão de Engenharia de Manutenção da Usina Hidrelétrica de Tucuruí.

No capítulo 4 é apresentado à análise dos dados coletados no trabalho de campo com o principal objetivo de descrever o processo de planejamento encontrado na empresa e a aplicação do roteiro em todas as suas etapas e atividades.

O capítulo 5 é reservado para a apresentação dos resultados e conclusões referentes ao trabalho.

2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1- Planejamento estratégico e manutenção

O objetivo do planejamento estratégico é definido como o desenvolvimento de processos, técnicas e atitudes administrativas, que proporcione uma situação viável para avaliar as implicações futuras das decisões presentes em função dos objetivos organizacionais previamente estabelecidos, que facilitarão a tomada de decisão, no futuro e de modo mais rápido (THOMPSON JR. e STRICKLAND III, 2000). Desta forma, o planejamento estratégico contínuo tende a reduzir a incerteza envolvida no processo decisório e, conseqüentemente, a provocar o aumento da probabilidade do alcance dos objetivos da organização (OLIVEIRA, 2003).

Esse mesmo autor define o planejamento estratégico como uma metodologia gerencial que permite estabelecer a direção a ser seguida pela organização, visando um melhor grau de interação com o ambiente, considerando a capacitação da organização para este processo de adequação. Este processo é de grande valia para os gerentes, tendo em vista o alcance da otimização da empresa, sendo necessário haver um esforço para se antecipar aos possíveis problemas, bem como estar capacitado para lidar com as oportunidades que poderão surgir.

2.1.1- Níveis de estratégias nas empresas

De acordo com Certo e Peter (1993) e Thompson Jr. e Strickand III (2000), as estratégias empresariais podem ser classificadas em níveis que, por sua vez, devem ser sincronizados e coordenados.

É importante ressaltar que o planejamento empresarial não se resume ao processo de planejamento estratégico, podendo ser definido como o conjunto das atividades de planejamento que se estendem a todos os níveis da empresa. O planejamento estratégico, por sua vez, é o processo que ocorre no nível estratégico da estrutura da organização e deve nortear as atividades de planejamento nos demais níveis hierárquicos (FERREIRA et al., 1997), conforme figura 1.

Figura 1 - Hierarquia do planejamento nas organizações.
(adaptado de DAFT (1999))



Abaixo as definições destes níveis e tipos de planejamento.

- ✓ **Planejamento estratégico:** é um processo gerencial que examina as questões principais da organização, considerando a análise do ambiente externo e interno, determinando um rumo amplo e generalizado para a organização. De forma geral, o planejamento estratégico possui um horizonte de tempo longo e sua elaboração é responsabilidade dos níveis mais altos da empresa, embora a participação de outros níveis seja fundamental para que o plano seja condizente com a realidade da organização e, ainda, para que este envolvimento diminua a resistência à sua implantação.
- ✓ **Planejamento tático:** pressupõe um período de tempo mais curto que o planejamento estratégico e seu objetivo são examinar mais especificamente determinadas áreas de resultado, como principais divisões, funções empresariais etc. O processo do planejamento tático realiza-se dentro da estrutura do plano estratégico e se desenvolve em um nível organizacional inferior.
- ✓ **Planejamento operacional:** tem como resultado cronogramas, tarefas específicas e alvos mensuráveis, envolvendo gerentes de cada unidade onde são desenvolvidos os planos. Seu horizonte de tempo é mais curto que o do planejamento tático, podendo ser mensal, semanal ou até mesmo diário.

A estratégia corporativa estabelece posições comerciais, em diferentes indústrias, que possibilitam melhorar o desempenho do grupo de negócios em que a empresa se diversificou. Segundo *THOMPSON JR & STRICKLAND III* (2000), a elaboração deste tipo de estratégia é realizada nos mais altos níveis da administração e, para uma empresa diversificada, envolve quatro tipos de iniciativa: fazer mudanças para executar a diversificação, iniciar ações para reforçar o desempenho combinado dos negócios nos quais a empresa se diversificou descobrir maneiras de conquistar a sinergia entre as unidades de negócio correlatas, transformando-a em vantagem competitiva, e estabelecer prioridades de investimento, direcionando os recursos corporativos para as unidades de negócio mais atrativas.

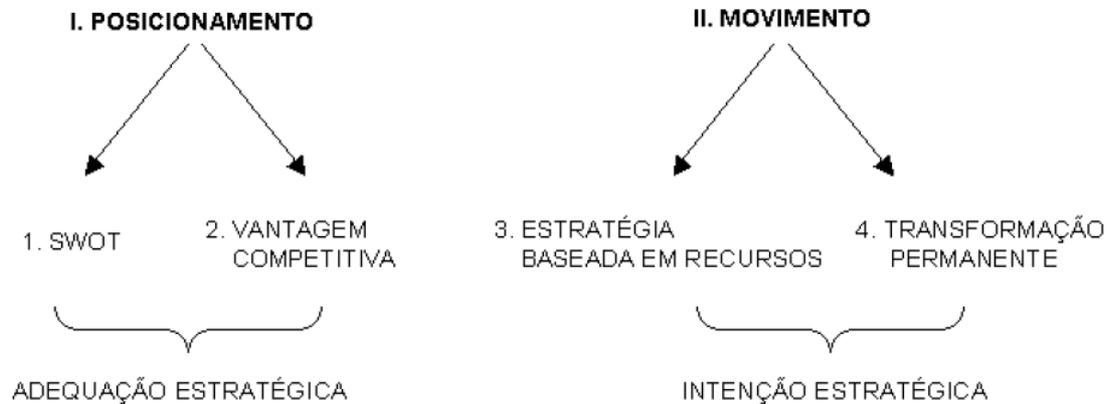
É importante ressaltar que a distinção entre estratégia organizacional e estratégia de negócio é relevante somente se a empresa for diversificada e de grande porte, sendo que as empresas de um único negócio não possuem este nível de estratégia.

Na evolução do pensamento sobre estratégia organizacional podemos distinguir dois momentos principais: (a) o momento do posicionamento e, (b) o momento do movimento (figura 2).

No primeiro momento a estratégia organizacional é associada a princípios de adaptação e posicionamento, isto é, a estratégia organizacional pressupõe uma adaptação ao meio envolvente para deste modo adquirir uma posição dominante e proceder seguidamente à sua defesa. Este momento inicia-se com a análise das oportunidades, ameaças, pontos fortes e fraquezas (a análise SWOT). É precisamente nesta análise que se baseia a reflexão sobre as vantagens competitivas que culminaram com os trabalhos, bem conhecidos, de Michael Porter.

O segundo momento da estratégia organizacional assume-se como uma ruptura, colocando em evidência uma estratégia centrada na intenção e no movimento. Neste segundo momento, a estratégia visa essencialmente à transformação permanente do jogo concorrencial e da própria empresa.

Figura 2 - Relação entre estratégia organizacional numa empresa de um único produto.



A estratégia de negócios envolve a tomada de decisões em nível de divisão ou unidade de negócios, ou seja, para cada negócio em que a empresa atua, deve ser consistente com a estratégia corporativa da organização. A estratégia de negócios tem como objetivo visar um desempenho bem sucedido em uma linha de negócio específica, bem como formar e/ou reforçar uma posição competitiva de longo prazo, que produza uma vantagem competitiva para a empresa. Segundo THOMPSON JR & STRICKLAND III (2000), para produzir vantagem competitiva, a estratégia de negócios deve: decidir sobre onde a empresa tem a melhor chance de obter vantagem competitiva, desenvolver atributos do produto/serviço que despertem um forte interesse do consumidor e coloquem a empresa em posição de destaque em relação aos concorrentes e neutralizar as mudanças competitivas das empresas rivais. Assim, as abordagens competitivas mais utilizadas na elaboração da estratégia de negócios são: lutar para ser o produtor de baixo custo da indústria, buscar a diferenciação baseada em vantagens como qualidade, desempenho, serviço, estilo, superioridade e competitiva.

As estratégias funcionais são formuladas por especialistas em cada área funcional da empresa (marketing, recursos humanos, finanças, pesquisa e desenvolvimento, operações etc.), descrevendo as tarefas específicas que devem ser executadas para se implementar a estratégia da empresa. Assim, os administradores da área de negócios e funcionais devem coordenar suas atividades, para garantirem que todas as estratégias sejam consistentes. A estratégia funcional possui uma abrangência mais restrita e adiciona detalhes relevantes ao plano geral do negócio, estabelecendo as ações, abordagens e práticas para a operação de um departamento ou função do negócio. Os objetivos da estratégia funcional são os seguintes:

fornecer apoio para a estratégia geral de negócios e para a abordagem competitiva da empresa e descrever como a área funcional vai atingir seus objetivos e sua missão.

A estratégia operacional é direcionada, às unidades operacionais básicas, tais como fábricas, distritos e regiões de vendas e departamentos dentro de áreas funcionais. As estratégias operacionais estão relacionadas com iniciativas estratégicas e abordagens mais restritas ao gerenciamento de unidades operacionais chave e para o tratamento de tarefas operacionais diárias, que tenham significado estratégico, acrescentando detalhes e complementos às estratégias funcionais e ao plano geral do negócio.

2.1.2- Planejamento estratégico como ferramenta competitiva

O ambiente globalizado das empresas levou basicamente a dois caminhos: seguir as transformações da sociedade, acompanhando a direção das mudanças e tendências de mercado, ou procurar prever estas tendências e se antecipar a elas (BERNDT e COIMBRA, 1995).

Por esta razão, para se ter uma organização que possa ser competitiva, que aproveite oportunidades, que se previna de ameaças e que procure se manter ativa e próspera em um mundo globalizado, modificável a todo momento, é necessário haver um planejamento estratégico sério, ativo, contínuo e criativo. Caso contrário, a administração estará apenas reagindo ao seu ambiente.

Destacamos abaixo algumas razões para uma empresa desenvolver o planejamento estratégico:

- ✓ O avanço tecnológico e as rápidas transformações no mercado tornaram mais complexas à gestão das empresas. O planejamento estratégico pode ajudar o empresário a prever e reagir rapidamente às mudanças mercadológicas, a aproveitar as oportunidades, assim como identificar áreas de negócios promissoras;
- ✓ Apenas o controle financeiro não é suficiente para garantir o sucesso da empresa nos negócios. Complementando o orçamento, o planejamento estratégico indica a direção futura da empresa através dos objetivos de longo prazo;

- ✓ A empresa utiliza o planejamento estratégico para envolver os funcionários em todas suas áreas de atividade, disseminando os objetivos por toda a organização;
- ✓ A empresa pode utilizar o planejamento estratégico para apresentar seu negócio a acionista e credores;
- ✓ O planejamento estratégico poderá ser útil no relacionamento com fornecedores, anunciantes, procuradores, auditores, contadores, investidores e consultores.

De acordo com *MEGGINSON ET AL.* (1986), o planejamento estratégico proporciona vantagens para a competitividade das empresas, tais como:

- ✓ Auxilia na cristalização de acordos sobre assuntos de importância;
- ✓ Capacita os administradores a enxergarem o quadro operativo com maior clareza;
- ✓ Ajuda a estabelecer mais precisamente as responsabilidades;
- ✓ Ajuda a realizar a coordenação entre as várias partes da organização;
- ✓ Tende a tornar os objetivos mais específicos e conhecidos;
- ✓ Minimiza as tentativas de acertos e,
- ✓ Poupa tempo, esforços e recursos financeiros.

E as seguintes desvantagens para a organização:

- ✓ Envolve um trabalho que pode exceder suas verdadeiras contribuições;
- ✓ Pode causar demora nas ações;
- ✓ Pode restringir indevidamente o exercício da iniciativa e a inovação da administração e,
- ✓ Possibilita que poucos planos sejam consistentemente seguidos.

De acordo com OLIVEIRA (2003), quando utilizado adequadamente, o planejamento estratégico, em seu aspecto central, impulsiona toda a empresa na direção do crescimento e desenvolvimento, da diversificação e inovação.

2.2- Metodologia de planejamento estratégico

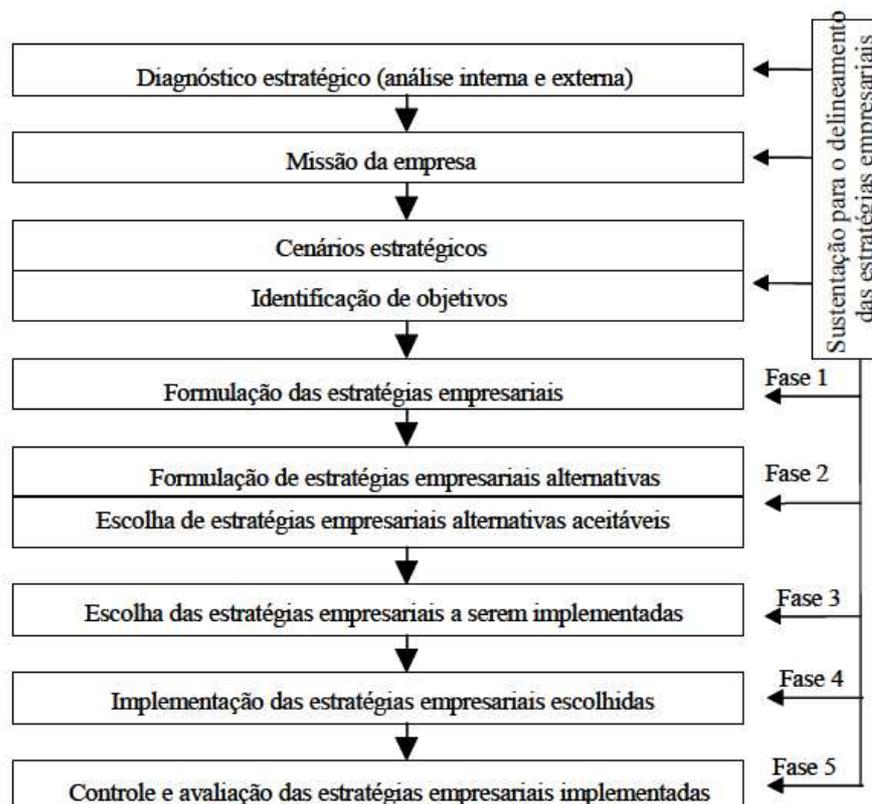
2.2.1- Metodologia apresentada por OLIVEIRA (2003)

A metodologia de planejamento estratégico admite as seguintes possibilidades:

- ✓ Definir-se primeiramente “aonde a empresa quer chegar” para, em seguida estabelecer-se “como a empresa está” para alcançar a situação desejada;
- ✓ Considerar simultaneamente a definição de “aonde se quer chegar” e de “como se chegar lá”.

Assim, o processo de planejamento estratégico é realizado em cinco fases, apresentadas no fluxograma 2. No entanto, antes de se iniciar a primeira fase do processo de elaboração e implementação de estratégias empresariais, o autor considera a realização das atividades de diagnóstico estratégico, estabelecimento da missão da empresa, desenvolvimento de cenários estratégicos e identificação de objetivos, uma vez que, estas atividades fornecem a sustentação do processo.

Fluxograma 2 - Mostra o processo de elaboração, implementação e controle de estratégias.
Fonte: OLIVEIRA (2003)



Todas as atividades envolvidas nas fases são a sustentação das estratégias da empresa e devem ser conduzidas conforme a seguir:

- ✓ Diagnóstico estratégico: esta atividade determina “como se está” ou “onde se está” e correspondente a duas análises que devem ser realizadas de forma interna e externa. Na análise interna verifica os pontos fortes, fracos e neutros e na externa verificam-se as ameaças e oportunidades que estão no ambiente da empresa e como evitá-las.
- ✓ Missão da empresa: esta atividade determina “aonde a empresa quer ir”. O dono da empresa estabelece os propósitos da empresa e a sua postura estratégica. Deve-se explicitar onde atuará na missão e qual a forma mais adequada para alcançar seus propósitos na postura estratégica, respeitando a sua situação interna e externa, identificado no diagnóstico estratégico.
- ✓ Cenários estratégicos: representam critérios e medidas para a preparação do futuro da empresa, que possibilitam identificar o que pode acontecer na sua área de atuação e como poderá ser afetada. Devem demonstrar determinado momento no futuro ou sua evolução com sequência de eventos prováveis de acontecer.
- ✓ Identificação de objetivos: Identifica a meta ou objetivo a ser alcançado, ou seja, mostra o caminho onde serão desenvolvidos seus esforços.

Fase 1: Formulação das estratégias empresariais

Na formulação das estratégias deve-se trabalhar com os altos executivos da empresa de forma que os mesmos conheçam as forças que controlam os concorrentes do seu setor, as oportunidades e as ameaças, permitindo assim identificar os pontos fortes, os pontos fracos, a missão e os objetivos da empresa.

Fase 2: Formulação e escolha de estratégias empresariais alternativas

Com base na análise do ambiente e objetivos da organização, consegue-se definir alternativas de estratégias definindo possíveis configurações que possam existir entre a empresa e seus concorrentes, avaliando sua aceitabilidade, considerando os valores, ideologia

da organização e seus recursos. Estas ações identificam quais estratégias à empresa poderá usar para aproveitar o máximo de oportunidades.

Fase 3: Escolha das estratégias empresariais a serem implementadas

Nesta fase, a seleção da estratégia é mais importante para a melhor interação entre a empresa e o seu ambiente, equilibrando o risco mínimo com o máximo potencial de lucros, de acordo com os recursos e as perspectivas da empresa.

Fase 4: Implementação das estratégias empresariais escolhidas

Exige alterações internas na empresa, em sua estrutura organizacional, sistema de informações e recursos para evitar problemas quanto aos resultados esperados.

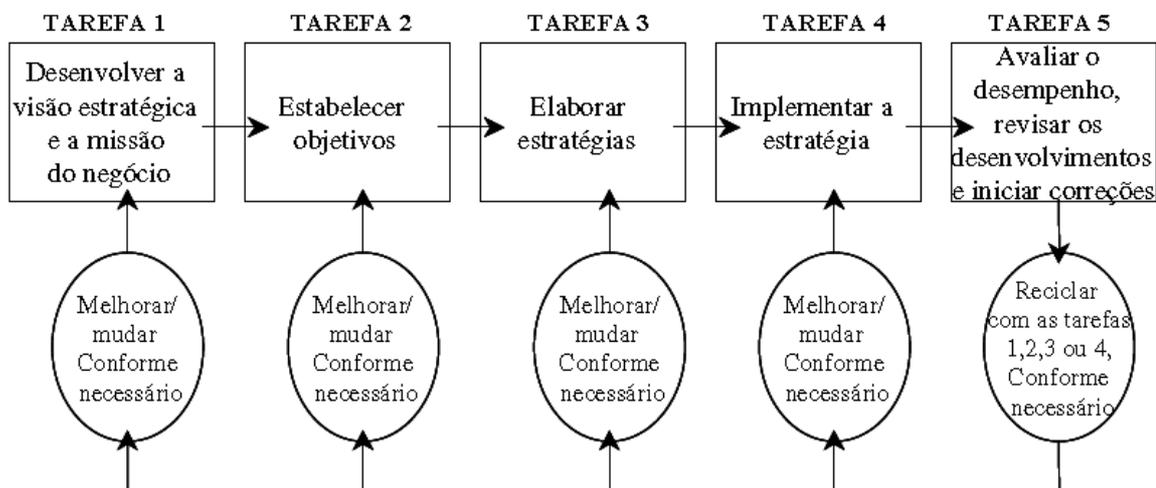
Fase 5: Controle das estratégias empresariais implementadas

Nesta fase verifica-se “como a empresa está indo” para a situação desejada. Devem-se adotar ações que assegurem a realização dos objetivos e metas avaliando e comparando o desempenho atual com o que foi estabelecido, analisando os desvios tomando as ações corretivas necessárias e acompanhando a eficiência das mesmas.

2.2.2- Metodologia apresentada por *THOMPSON JR. & STRICKLAND D III* (2000)

A elaboração da estratégia compreende o desenvolvimento de uma visão e missão estratégicas, o estabelecimento de objetivos e o refinamento da estratégia para produzir os resultados esperados, definido em cinco tarefas, conforme fluxograma 3.

Fluxograma 3 - As cinco tarefas da gerência estratégica.
Fonte: THOMPSON JR. & STRICKLAND III (2000)



Desta forma, o processo de elaboração e implementação de estratégias é composto das seguintes tarefas gerenciais inter-relacionadas, explicadas a seguir.

TAREFA 1: Desenvolver a visão e a missão estratégica do negócio

A visão estratégica da empresa pode ser definida como a visão do tipo de empresa que a gerência está tentando criar. Implica a intenção da gerência de manter uma posição comercial específica, fornecendo respostas para “o que somos, o que fazemos e para onde vamos”, deixando claro o rumo de longo prazo da organização, para onde a gerência pretende conduzir a empresa.

A maneira de descrever a visão estratégica é redigi-la na forma de declaração de missão. Uma declaração de missão deve definir o negócio da empresa sucintamente, fornecendo uma visão clara do que a empresa está tentando fazer para seus clientes. As declarações de missão melhor elaboradas são simples, concisas, claras e geram entusiasmo pelo rumo que a gerência estabeleceu.

TAREFA 2: Converter a visão e a missão estratégica em objetivos da empresa

Os objetivos representam o compromisso gerencial de produzir resultados específicos por determinado tempo, indicando valores, quantidades, prazos e responsabilidades. Existem dois tipos de objetivos que devem ser definidos, os financeiros e os estratégicos.

Os objetivos financeiros podem ser definidos como sendo metas estabelecidas pela gerência para o desempenho financeiro da organização, enquanto os objetivos estratégicos referem-se a metas estabelecidas pela gerência para reforçar a posição geral da organização e a vitalidade competitiva. Desta maneira, o objetivo estratégico é essencial para sustentar e melhorar a posição de mercado e a competitividade de longo prazo da empresa.

TAREFA 3: Elaborar a estratégia para atingir os resultados desejados

A estratégia é necessária para a empresa como um todo, para cada negócio em que a empresa está inserida e para cada parte funcional do negócio. Portanto, a elaboração da estratégia deve abordar os elementos que determinam uma posição competitiva para a empresa, enquanto os elementos de menor prioridade e rotineiros não são básicos para a estratégia, embora sejam importantes para o desenvolvimento dos negócios.

A estratégia deve estar voltada para a ação (o que fazer, quando fazer, de quem é a responsabilidade por fazer etc.) e ser passível de evoluir com o tempo, o que faz com que a tarefa de elaboração da estratégia seja contínua, pois envolve uma monitoração da situação para se fazerem os ajustes necessários.

As empresas diversificadas, ou seja, empresas que possuem diversos negócios deverão elaborar as estratégias: corporativa, de negócios, funcional e operacional.

Muitos fatores situacionais entram na elaboração de uma estratégia, sendo que o entrelaçamento destes e a influência que cada um exerce sobre o processo de elaboração da estratégia variam de empresa para empresa.

Assim, o ponto de partida para a elaboração da estratégia é o dimensionamento de todos os fatores situacionais, internos e externos.

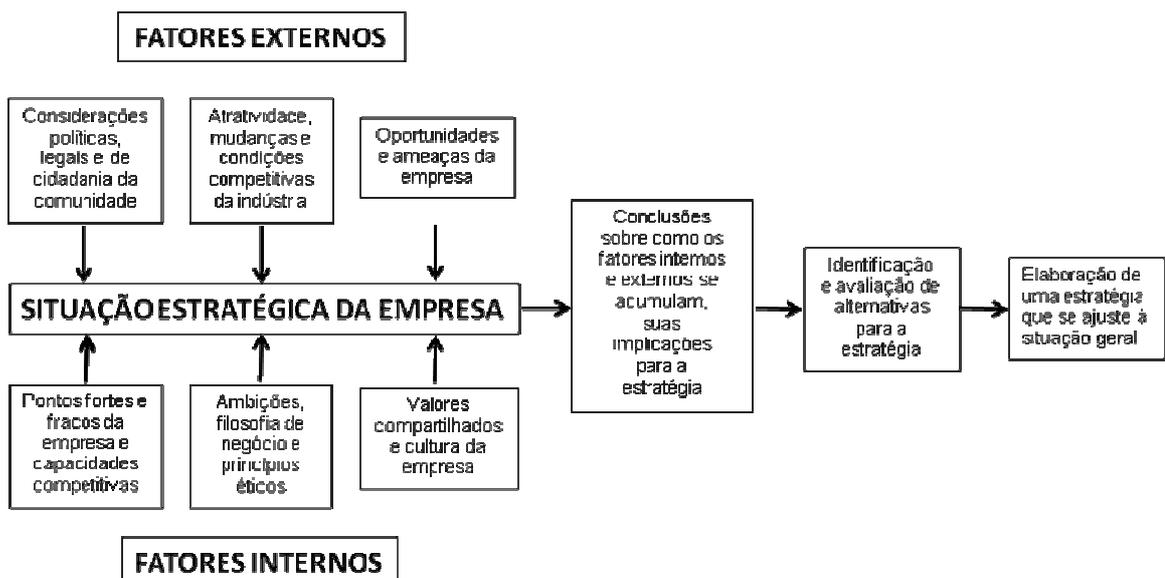
Os principais fatores que influenciam a elaboração da estratégia estão apresentados no fluxograma 4 e detalhados a seguir.

- ✓ Considerações sociais, políticas, legais e de cidadania: delimitam as ações estratégicas que uma empresa pode adotar. Assim, uma análise dos valores e das prioridades sociais, dos problemas comunitários e regulamentos fazem-se necessária no processo de elaboração da estratégia.
- ✓ Atratividade da indústria e condições competitivas: abrange o macro ambiente da empresa. A análise destes fatores consiste em verificar: as características econômicas dominantes da indústria; a intensidade das suas forças competitivas; as mudanças na sua estrutura competitiva; a identificação da posição das suas empresas rivais no mercado; as mudanças estratégicas dos seus concorrentes; os fatores-chave do sucesso competitivo da indústria e a sua atratividade em termos da perspectiva de lucro acima da média.
- ✓ Oportunidades e ameaças da empresa: a estratégia deve captar as melhores oportunidades de crescimento da empresa e promover a defesa do desempenho futuro contra ameaças externas. É importante ressaltar que a empresa deve perseguir

oportunidades da indústria que sejam relevantes e viáveis.

- ✓ Pontos fortes e pontos fracos da empresa e capacidades competitivas: a estratégia deve ser combinada com os pontos fortes (o que a empresa faz bem), os pontos fracos (as dificuldades) e as capacidades competitivas da empresa (o que a empresa faz especialmente bem em relação aos concorrentes).
- ✓ Ambições pessoais, filosofias de negócio e crenças éticas dos gerentes: as ambições, filosofias de negócios e crenças éticas pessoais dos gerentes normalmente estão presentes nas estratégias que elaboram e, por este motivo, devem ser analisadas e consideradas.
- ✓ Influência de valores compartilhados e da cultura da empresa na estratégia: as ações estratégicas refletem a cultura e os valores da empresa, chegando a definir as mudanças estratégicas. A estratégia da empresa deve ser ética, ou seja, deve ter uma responsabilidade ética em relação aos proprietários, empregados, clientes, fornecedores e à comunidade.

Fluxograma 4 - Fatores que moldam a escolha da estratégia nas empresas.
Fonte: THOMPSON JR & STRICKLAND III (2000)



TAREFA 4: Implementar e executar a estratégia escolhida eficiente e eficazmente

A implementação da estratégia, para ser bem sucedida, depende da supervisão, da motivação e do trabalho dos funcionários, para se criar uma afinidade forte entre o modo como a organização opera seu negócio e as necessidades de uma boa execução da estratégia. Desta forma, para que a estratégia seja convertida em ação e bons resultados fazem-se necessário ter habilidade para: direcionar a mudança organizacional, projetar e supervisionar os processos do negócio, gerenciar pessoas e atingir os objetivos de desempenho.

TAREFA 5: Avaliar o desempenho, revisar os novos desenvolvimentos e iniciar as ações corretivas

As etapas anteriores estão sujeitas a modificações à medida que ocorrem mudanças nas condições ambientais e surgem necessidades de melhoria e ajustes corretivos. Assim, é comum que ocorram alterações nas definições estabelecidas, uma vez que a missão da empresa, os objetivos, a estratégia e a abordagem da implementação nunca são finais. Os ajustes são tidos como normais e necessários no processo estratégico da organização.

A gerência estratégica é um processo contínuo e, por esta razão, a tarefa de avaliar o desempenho, revisar os novos desenvolvimentos e iniciar as ações corretivas representa, ao mesmo tempo, o fim e o início do ciclo do processo estratégico.

2.3- Indicadores de performance

2.3.1- Indicadores de desempenho

Em decorrência das rápidas mudanças do efeito da globalização e da necessidade das organizações em atingir o conceito de empresa classe mundial, a literatura especializada e as empresas têm procurado as melhores técnicas para o controle e a avaliação de seus processos, implantados a partir de seus planos estratégicos, buscando um diferencial competitivo para assegurar o sucesso das organizações. Neste sentido, tem havido consenso em que um dos fatores chaves para o gerenciamento é a medição.

2.3.1.1. Sistemas de medição

Em qualquer planejamento organizacional, o sistema de medição, também chamado de sistema de avaliação ou de acompanhamento de desempenho, deve estar presente, pois sem

medição não há avaliação e sem avaliação não há planejamento e sem planejamento não há gerenciamento.

O primeiro passo para a validação de uma medida, é que ela deve estar medindo o que é necessário, de acordo com os objetivos da organização, e para que isto ocorra deve-se é saber o que deve estar sendo medido de acordo com os objetivos da organização.

Uma vez adquirida, por parte da organização, a consciência da própria realidade no contexto onde está inserida e, posteriormente, elaborados os objetivos a serem alcançados, dá se início a implementação da estratégia.

É necessário, portanto, que se monitore o progresso alcançado desta estratégia comparando e avaliando os parâmetros que apontam o desempenho ao longo do tempo. Segundo Kaplan e Norton (1997), as empresas que conseguem traduzir a estratégia em sistemas de mensuração, têm muito mais probabilidades de executar sua estratégia porque conseguem transmiti-la em objetivos e metas.

Ainda segundo estes mesmos autores, “a distinção entre um sistema de indicadores e um sistema gerencial é sutil, porém crucial”. O sistema de indicadores deve ser utilizado para se alcançar uma meta ainda mais importante. Enquanto que um sistema gerencial deve permitir aos executivos, tanto a implementação como a obtenção do *feedback* de sua estratégia.

Sink e Tuttle (1993) consideram os papéis da medição, apresentados n esquema 1, como uma cadeia que contribui para a gestão das organizações em geral.

Esquema 1 - Papéis da medição
(Adaptado de Sink e Tuttle, 1993)



O emprego e as finalidades dos sistemas de medição foram se modificando ao longo do tempo, resultando em uma evolução benéfica, não só para aqueles que executam as tarefas, ou seja, os trabalhadores, como também, para aqueles que gerenciam e, em última análise, para as organizações.

Sink e Tuttle (1993) relacionam os seguintes paradigmas como agentes de dificuldade à implantação dos sistemas de medição:

- ✓ A medição é ameaçadora;
- ✓ A precisão é essencial à medição útil;
- ✓ Enfoque em um único indicador;
- ✓ Ênfase excessiva em produtividade da mão de obra;
- ✓ Os padrões funcionam como teto para a performance;
- ✓ As medidas subjetivas não são confiáveis.

A tarefa de gerenciar o desempenho estratégico torna-se ainda mais complexa, quando existe uma predominância de capacidades e ativos intangíveis na unidade ou organização, ou ainda, quando existe uma predominância de atividades intelectuais e criativas no processo produtivo da unidade ou organização. Nestes casos, tem-se a impressão de que as medidas obtidas no processo de implantação de um sistema de medição serão subjetivas e, portanto, não confiáveis.

Neste sentido, é importante considerar o paradigma apontado por Sink e Tuttle (1993), sobre a não confiabilidade das medidas subjetivas. Pois, segundo estes autores confunde-se não objetividade com não confiabilidade, e acrescentam: “[...] *a tecnologia de medição associada a atitudes e percepções está bem desenvolvida e pode levar a uma medida confiável e válida. Este tem sido o domínio da psicologia industrial por várias décadas*”.

O sistema de medição da produtividade das unidades organizacionais e da organização como um todo, pode ser um instrumento efetivo de gestão quando, além de utilizado para medição e melhoria da produtividade, também for empregado para o acompanhamento da consecução dos objetivos estratégicos da organização.

Para que isto ocorra, a medida da produtividade deve ser gerada por objetivos e indicadores, que estejam alinhados com os objetivos estratégicos estabelecidos pela organização, tornando-se, assim, consistente. Para ser eficaz, qualquer sistema de medição de produtividade necessita de avaliação.

E esta avaliação deve ser prontamente entendida, simples de se implementar, fácil de administrar e a um custo-benefício que compense. Para tudo isto há, no entanto, que se dispor de indicadores, como será visto a seguir.

2.3.1.2. Indicadores de desempenho

A precisão dos sistemas de medição depende da estruturação dos indicadores empregados. Eles permitem acompanhar a divulgação dos resultados das atividades realizadas, dos recursos empregados, da quantificação das melhorias implementadas e da comparação do desempenho das atividades da empresa em relação às existentes em empresas

de seu ramo e de outros ramos. Esta comunicação deve ser facilmente compreendida por qualquer pessoa dentro e fora da organização, demonstrada por meio de relatórios e gráficos.

Os indicadores possibilitam o estabelecimento de referências quanto ao cumprimento de metas e o seu desdobramento na organização, bem como a análise crítica do desempenho organizacional, para as tomadas de decisões. E o seu acompanhamento, deve permitir visualizar níveis, tendências e comparações (TAKASHINA & FLORES, 1996).

Em decorrência do grande número de definições do termo indicador, faz-se necessário, além de buscar uma definição abrangente, também diferenciar o termo indicador do termo medida. Para Moreira (2002), medida é “um atributo, qualitativo ou quantitativo, usado para verificar ou avaliar algum produto por meio de comparação com um padrão (grandeza de referência)”, enquanto que indicador é “o resultado de uma ou mais medidas que tornam possível a compreensão da evolução do que se pretende avaliar a partir dos limites (referências ou metas) estabelecidos”.

Cabe ainda ressaltar que na classificação dos tipos de indicadores Moreira (2002) os classifica em:

- ✓ **Indicadores qualitativos** - indicando um juízo de valor e pode contar com um critério sim ou não, passa ou não passa, aceita ou rejeita;
- ✓ **Indicadores quantitativos** – que relatam um processo empresarial a partir da coleta de valores numéricos representativos do processo considerado.

Uma das etapas importantes na implantação dos sistemas de medição é a geração dos indicadores. Este processo deve possuir critérios norteadores, evitando medições inexpressivas, de difícil entendimento e a um custo elevado.

Para evitar estes inconvenientes, Takashina e Flores (1996), apontam para alguns critérios norteadores na geração de um indicador, tais como:

- ✓ Critério da seletividade ou importância, que procura captar uma característica chave do produto ou do processo;

- ✓ O critério da simplicidade e clareza, que facilita a compreensão e aplicação em diversos níveis da organização, numa linguagem acessível;
- ✓ O critério da abrangência, que torna o indicador suficientemente representativo, inclusive em termos estatísticos, do produto ou do processo a que se refere;
- ✓ O critério da rastreabilidade e acessibilidade, que permite o registro e a adequada manutenção e disponibilidade dos dados, resultados e memórias de cálculo, incluindo os responsáveis envolvidos. Este critério é essencial à pesquisa dos fatores que afetam o indicador;
- ✓ O critério da comparabilidade, que facilita a comparação com referências apropriadas, tais como o melhor concorrente, a média do ramo e o referencial de excelência;
- ✓ O critério da estabilidade e rapidez de disponibilidade, que leva a uma condição perene. Gerado com base em procedimentos padronizados, incorporados às atividades dos executantes, este critério permite fazer uma previsão do resultado quando o processo está sob controle;
- ✓ O critério do baixo custo de obtenção, que procura utilizar unidades adimensionais ou dimensionais simples, tais como proporção ou percentual, unidade de tempo, taxa de variação, relação entre dois fatores etc.

2.3.2- Indicadores de desempenho para o gerenciamento da manutenção

As decisões da manutenção em três categorias: estratégica, tática e operacional. Decisões estratégicas da manutenção são feitas na seleção de opções de projeto para um sistema de gestão ou para o desenvolvimento de um produto, ou na planta e maquinário que deve ser adquiridos compatíveis com a estratégia de negócio da organização. Decisões táticas da manutenção estão relacionadas à formulação de políticas para o uso efetivo e eficiente dos recursos disponíveis. Decisões operacionais são tomadas para adquirir um alto nível de eficácia e eficiência nas atividades da manutenção.

Muitos indicadores para o desempenho da manutenção discutidos na literatura foram desenvolvidos para dar suporte às decisões operacionais. Estes indicadores, na melhor das hipóteses, sinalizam que alguma ação deve ser tomada. Quando a eficiência está na utilização de regras para tomada de decisão compatível com os objetivos da organização, de maneira que as ações possam ser tomadas com base nos valores dos indicadores.

Para facilitar a detecção de tendências na variação do nível das atividades, ou para comparação com a operação de outras organizações é frequente o uso de índices como indicadores de desempenho da manutenção. A classificação dos indicadores de desempenho para manutenção, mais comumente usados, em três categorias baseadas nos seguintes focos:

- ✓ **Indicadores de desempenho do equipamento:** disponibilidade, confiabilidade, eficácia global do equipamento (OEE);
- ✓ **Indicadores de desempenho do custo:** suporte a operação e manutenção e custo de materiais;
- ✓ **Indicadores de desempenho do processo:** razão do trabalho planejado e não planejado, grau de programação;

Em muitos casos, estes indicadores são utilizados pelas seguintes razões:

- ✓ Estes indicadores foram usados pela organização no passado;
- ✓ Alguns deles são usados por *benchmarking* com outras organizações;
- ✓ Os dados requeridos são fáceis de coletar; ou
- ✓ Alguns deles são designados pelo regulamento da corporativa da empresa.

Contudo, o impacto por trás destes indicadores não é frequentemente considerado quando os resultados são interpretados.

Tsang (1999) propõe classificar os indicadores de desempenho em uma hierarquia de acordo com suas conseqüências implícitas no sistema de manutenção do negócio. Existem cinco níveis na hierarquia, indicando o progresso nos fatores de sucesso do negócio que são controlados ou influenciados pela manutenção (quadro 1).

Quadro 1 - Níveis de medidas de desempenho da manutenção.
(Adaptado de TSANG 1999)

Nível	Indicadores Típicos	Consequências
1. Impacto na linha de produção	Custos diretos da Manutenção	Impacto da ação da manutenção em paradas, qualidade, rendimento e custos futuros da manutenção são desprezados
		Custos de manutenção são controláveis dentro do período contábil
2. Prejuízos e impacto do custo na performance	Custo direto da Manutenção (Tempo despendido) X \$/hs	Impacto das ações de manutenção na qualidade, rendimento e custos futuros da manutenção são desprezados
		Custos de manutenção e de paradas são controláveis dentro do período contábil
3. Medidas instantâneas de eficácia	Custos de Manutenção, Utilização, Disponibilidade, Confiabilidade, OEE	Impacto da manutenção no negócio é controlável dentro do período contábil
		Somente os eventos ocorridos agora ocorrerão no futuro
4 . Auditoria do sistema	Relação de trabalho planejado/não planejado, comparação das ações tomadas com a estratégia, tendências de backlog, % de manutenção induzida, falhas e auditoria da manutenção.	Sistema de excelência implica na melhor performance possível
		As estratégias e técnicas utilizadas são efetivadas
5. Medidas de performance relacionadas ao Tempo	Valor base de medida	Projeções para demandas futuras e obsolescência são apuradas

As medidas do quinto nível reconhecem que perdas incluem depreciação de recursos de ativos fixos, o valor do qual depende a demanda futura, inovações tecnológicas, e a conveniência de várias ações da manutenção. Elas também permitem que as ações da manutenção sejam julgadas a respeito de fatores como a vida do equipamento, processo ou produto.

A aplicação de indicadores de desempenho na análise da função manutenção possibilita a obtenção dos parâmetros de produtividade da organização. A estruturação do conjunto de indicadores para monitoramento deve ser desenvolvida visando a interligação entre os níveis hierárquicos da mesma. A classificação dos indicadores de desempenho para monitorar-se efetivamente o desempenho da função manutenção, é:

- a) Indicadores corporativos
- b) Indicadores de desempenho financeiro

- c) Indicadores de eficiência e eficácia produtiva
- d) Indicadores de desempenho tático
- e) Indicadores de desempenho funcional

Para análise da produtividade na função manutenção industrial, o conjunto de indicadores deve ser analisado em diferentes níveis. E a partir desta estruturação em níveis, forma-se um sistema com a dimensão interna, relativa à eficiência na aplicação dos insumos, e externa, relativa à eficácia desta forma de aplicação de recursos traduzida em resultados satisfatórios.

A manutenção é uma função de suporte essencial na cadeia de valores das organizações. Ela contribui para o sucesso do negócio da organização e pode ser analisada como uma função de quatro variáveis:

- ✓ O custo da ação;
- ✓ O efeito da parada causada pela necessidade de manutenção;
- ✓ O efeito no desempenho do equipamento entre as ações da manutenção; e
- ✓ A capacidade de ação afetar a vida do ativo.

Uma avaliação da situação com respeito a estas dimensões determina as ações de manutenção apropriadas que afetarão a linha de produção. Esta análise, em troca, determinará as medidas relevantes de desempenho que deverão ser usadas. Por exemplo, quando uma companhia excede a capacidade de produção, as paradas terão pouca correlação com o sucesso. Neste caso, qualquer medida relacionada a paradas não será apropriada.

Ainda que estas quatro variáveis descrevam o impacto da manutenção ao nível do equipamento, outros indicadores que medem o desempenho do sistema de manutenção devem ser implantados. Estas medidas de desempenho do sistema são tipicamente projetadas para detectar se o trabalho planejado tem sido executado e completado no tempo certo, ou para rastrear os recursos consumidos pelo sistema. Novamente, estas medidas somente são apropriadas se elas tiverem uma relação causa-efeito com desempenho do negócio.

As atividades de manutenção determinam as opções futuras disponíveis para satisfazer a demanda. A disponibilidade em lidar com eventos incertos, como as quebras de equipamento, são também influenciadas pelas decisões do gerenciamento da manutenção.

Com base nestas características Tsang (1999) identifica as seguintes perdas de desempenho comumente encontradas na indústria:

- ✓ O conceito de risco não é utilizado;
- ✓ O foco está no imediato em lugar da necessidade global;
- ✓ As medidas não são relacionadas às necessidades do negócio.

2.3.2.2. Indicadores técnicos

Os indicadores técnicos estão relacionados com a qualidade da gestão da manutenção, que permitem ver o comportamento operacional das instalações, sistemas, equipamentos e dispositivos, além de medir a qualidade dos trabalhos e o grau de cumprimento dos planos de manutenção. Amendola (2005) cita os “Índices de classe mundial” utilizados em vários países como os principais indicadores técnicos, demonstrado na figura 3. Atualmente, a manutenção possui seis índices considerados de classe mundial que avaliam o desempenho da manutenção. Os demais são relacionados com mão de obra, custos e gestão de equipamentos, conforme afirma Tavares (1999). São eles:

Tempo Médio até a Falha ou *Mean Time To Fail* (MTTF): este indicador mede o tempo que o equipamento é capaz de operar em plena capacidade sem interrupções dentro do período considerado; constitui um indicador indireto de confiabilidade do equipamento ou sistema. O MTTF também é conhecido como “Tempo Meio de Operação” ou “Tempo Médio até a Falha”.

Tempo Médio até o Reparo ou *Mean Time to Repair* (MTTR): é a medida do tempo necessário para reparo de um equipamento ou sistema. Este indicador mede a efetividade em restituir a unidade em condições ótimas de operação uma vez que esta se encontra fora de serviço por falha, dentro de um determinado período. O MTTR é um parâmetro de medição associado à manutenibilidade, descreve a execução da manutenção. A manutenibilidade é definida como a probabilidade de restabelecer o equipamento as condições operativas em certo tempo utilizando procedimentos prescritos. Esta propriedade é uma

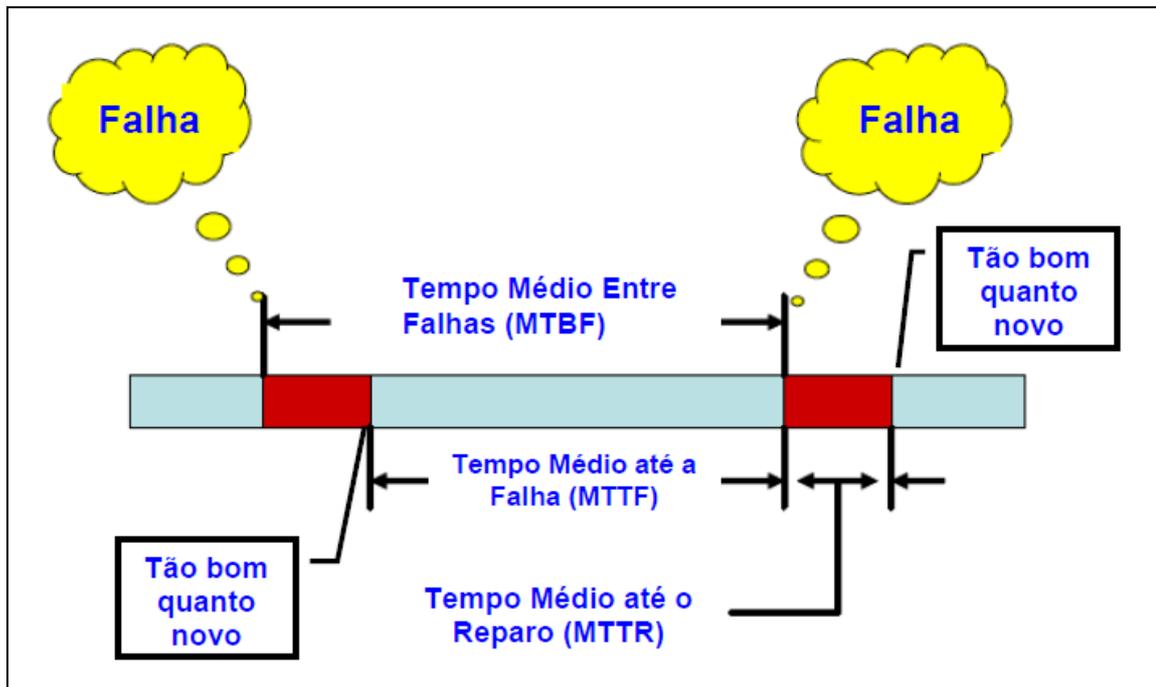
função de fatores do projeto do equipamento como acessibilidade, modularidade, padronização e facilidade de diagnóstico. Para um dado projeto, se os reparos são realizados por pessoal qualificado e com ferramentas, documentos e procedimentos prescritos, o tempo de reparo dependerá da natureza da falha e das características do projeto.

Tempo Médio Entre Falhas ou *Mean Time Between Failures* (MTBF): indica o intervalo de tempo mais provável entre o início da operação e o aparecimento da falha; descreve o tempo médio transcorrido até a chegada do evento “falha”. Quanto maior seu valor, maior é a confiabilidade no equipamento. O MTBF constitui um dos parâmetros mais importantes utilizados no estudo da confiabilidade, e por esta razão deve ser tomado como o indicador que mais representa o comportamento de um equipamento. Assim, para determinar o valor deste indicador, deverá ser utilizado o histórico deste equipamento armazenado no sistema de informação desde o início de sua operação.

Disponibilidade: é a função que permite estimar de forma global a porcentagem total de tempo que se pode esperar que um equipamento esteja disponível para cumprir a função pela qual foi destinado. Através do estudo dos fatores que influenciam sobre a disponibilidade, o MTTF e o MTTR, é possível para gerência avaliar as alternativas de ação para obter os aumentos necessários de disponibilidade.

Confiabilidade: é a probabilidade de que um equipamento cumpra uma missão específica sob condições de uso determinadas, em período determinado. O estudo de confiabilidade é o estudo das falhas de um equipamento ou componente. Quando se tem um equipamento sem falha, diz-se que este equipamento é 100% confiável ou que tem uma probabilidade de sobrevivência igual a 1. Ao realizar uma análise de confiabilidade em um equipamento ou sistema, obtemos uma informação valiosa acerca das condições do mesmo, ou seja, probabilidade de falha, MTTF, e a etapa da vida em que se encontra o equipamento.

Figura 3 - Relação entre os indicadores técnicos.
 Fonte: Adaptado de AMENDOLA (2005)



2.3.3- O Balanced Scorecard

Kaplan e Norton (1997) definem o *Balanced Scorecard* (BSC) como um novo instrumento que integra as medidas derivadas da estratégia. Sem menosprezar as medidas financeiras do desempenho passado, ele incorpora os vetores do desempenho financeiro futuro. Esses vetores, que abrangem as perspectivas do cliente, dos processos internos e do aprendizado e crescimento, nascem de um esforço consciente e rigoroso de tradução da estratégia organizacional em objetivos e medidas tangíveis.

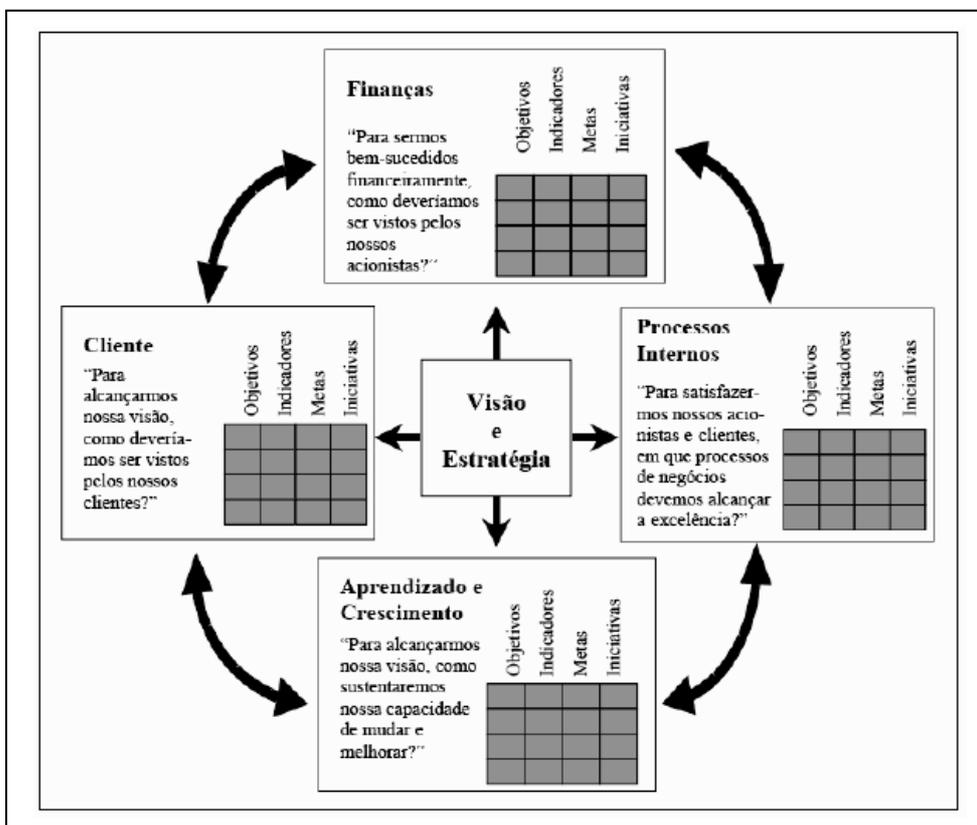
Conforme se verifica no esquema 2, o BSC coloca no centro a visão e a estratégia da empresa e não o controle. Da mesma forma, os indicadores não só controlam, mas também se destinam a congregar as pessoas em busca da visão geral, induzindo a empresa a olhar e a movimentar-se para frente ao invés de para trás, ou seja, o BSC deve ser utilizado como um sistema de comunicação, informação e aprendizagem, não como um sistema de controle.

Em virtude da complexidade do gerenciamento das organizações de hoje, Kaplan e Norton (1997) lembram a importância de os gerentes terem condições de visualizar o

desempenho da empresa sob as quatro importantes perspectivas e obterem respostas a quatro questões básicas:

- a) como somos vistos por nossos clientes? (**dimensão do cliente**);
- b) em que devemos ser os melhores? (**dimensão interna**);
- c) como atingir a visão, mantendo o potencial de crescer e inovar? (**dimensão do aprendizado e crescimento**);
- d) como somos vistos por nossos acionistas? (**dimensão financeira**).

Esquema 2 - A estrutura do sistema de indicadores do *Balanced Scorecard*.
(Adaptado de KAPLAN e NORTON, 1997)



Na **perspectiva clientes**, busca-se definir em qual mercado e segmento de consumidores que as unidades de negócios irão competir. Após esta etapa, identificam-se as medidas de desempenho referentes aos segmentos alvos estabelecidos.

Na **perspectiva dos processos internos**, as medidas são escolhidas de maneira à alavancar a excelência nos processos que são críticos para atingir a estratégia estabelecida.

Na perspectiva do aprendizado e crescimento busca-se estabelecer a infra-estrutura necessária para suportar os objetivos elaborados pelos processos internos. Entre os elementos que compõem o aprendizado e crescimento organizacional estão as capacidades dos funcionários, as capacidades dos sistemas de informação e o alinhamento dos procedimentos e rotinas organizacionais.

Dentro da **perspectiva financeira**, os objetivos financeiros representam a meta de longo prazo da empresa: gerar retornos superiores em relação ao capital investido nas unidades de negócios. A partir deles, todos os objetivos e medidas das outras perspectivas do *scorecard* deverão estar relacionadas à consecução de um ou mais objetivos desta perspectiva.

Toda medida selecionada para um *scorecard* deve fazer parte de uma cadeia de relações de causa e efeito que termina com objetivos financeiros e, representa um tema estratégico para a unidade de negócios.

2.3.4- O BSC no gerenciamento da manutenção

A abordagem do BSC segundo Tsang (1999) define uma estrutura holística para estabelecer um sistema de gerenciamento estratégico do desempenho da corporação ou unidade de negócio. Quando a abordagem é aplicada para gerenciar o desempenho das operações da manutenção, o processo deve envolver os seguintes passos (ver Fluxograma 5).

1 – Formular a estratégia para a operação da manutenção - opções de estratégia como desenvolver a capacidade interna, terceirizar a manutenção, capacitar operadores para manutenção autônoma, desenvolver uma equipe de manutenção multidisciplinar, e implementar a Manutenção Baseada na Condição ou *Condition-Based Maintenance* (CBM) são considerações e decisões feitas através de um processo participativo.

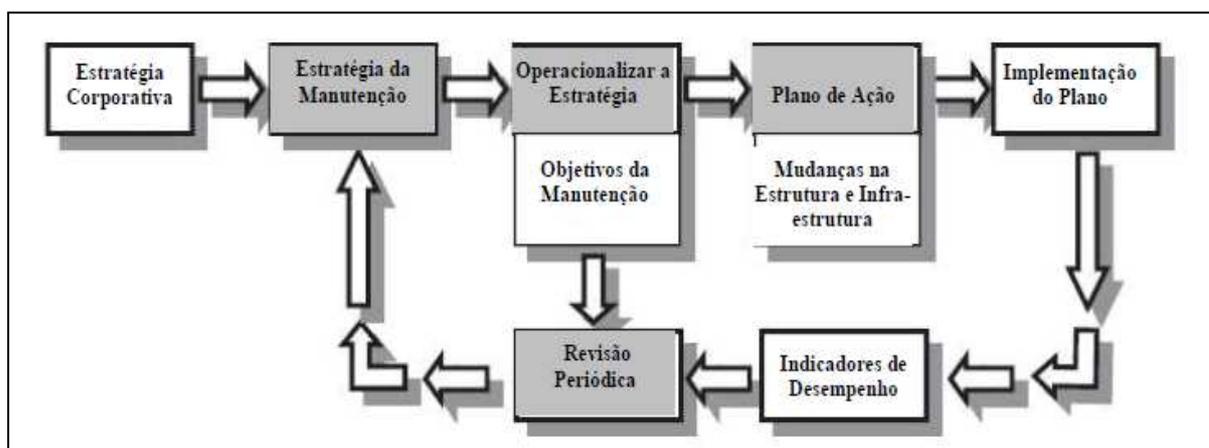
2 – Operacionalizar a estratégia - a estratégia da manutenção é traduzida em objetivos de longo prazo. Os relevantes indicadores chaves de desempenho ou *Key Performance Indicators* (KPIs) são incluídos no BSC e então identificados e suas metas são estabelecidas. Supondo a terceirização da manutenção e reparo de equipamentos comuns e genéricos, TSANG exemplifica os KPIs e metas relacionadas a este objetivo estratégico

como: “terceirizar 20% do trabalho da manutenção” e “reduzir 30% dos custos da manutenção”. O primeiro indicador pertence a perspectiva do “Processo Interno” e o segundo a perspectiva de “Finanças”. Para adquirir um alinhamento vertical, estes objetivos, KPIs e metas são desdobrados em metas individuais e por equipes.

3 – Desenvolvimentos de planos de ação - estes são os meios para atingir as metas estabelecidas no passo “2”. Para atingir as metas dos trabalhos terceirizados descritos no exemplo acima a companhia deve decidir por desenvolver habilidades nas seguintes três áreas necessárias para o processo de terceirização: negociação de contrato, gestão de contratos, e a capacidade de capitalizar as oportunidades surgidas de inovações tecnológicas e de mudanças no ambiente competitivo da manutenção. Estes planos de ação devem também abranger qualquer mudança necessária na infra-estrutura de suporte da organização, como a estrutura de trabalho, sistema de gestão de informação, recompensa e reconhecimento, mecanismos de alocação de recursos, etc.

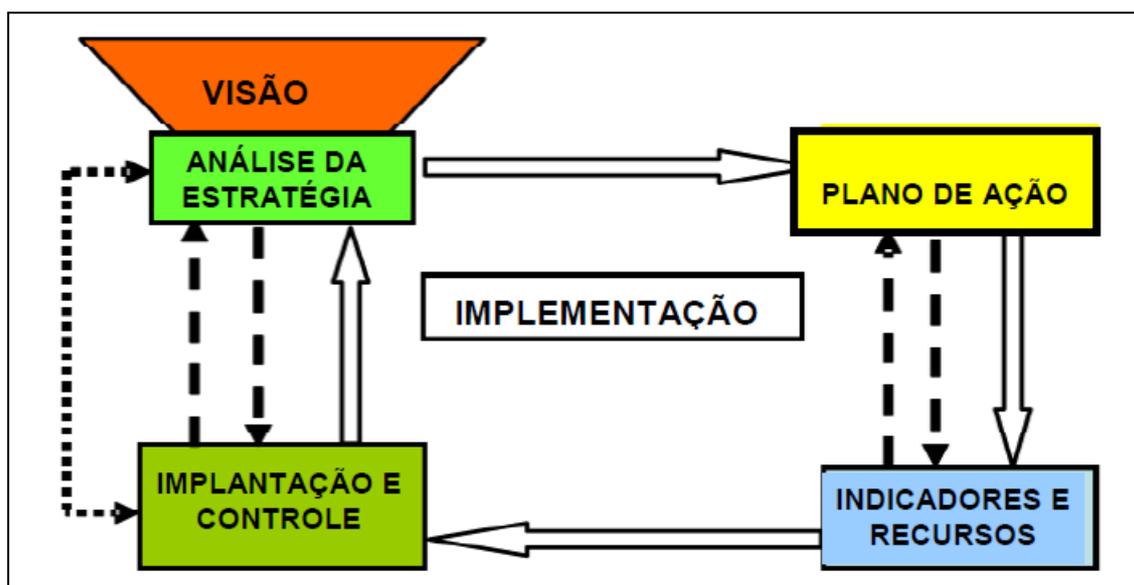
4 – Revisões periódicas do desempenho e da estratégia – o progresso feito com os objetivos estratégicos conhecidos são fixados e a relação de causa entre as medidas é validada em intervalos definidos. O resultado da revisão pode indicar a necessidade de formular novos objetivos estratégicos, modificação nos planos de ação e revisão dos indicadores.

Fluxograma 5 - Processo de gerenciamento estratégico do desempenho da manutenção.
Fonte: TSANG (1999)



De forma semelhante Amendola (2005) esboça o plano de implementação do BSC na gestão da manutenção no fluxograma 6 partindo da visão e aonde se pretende chegar com ela. Posteriormente se estabelece os planos de ação, os objetivos e o impacto financeiro para atingir as metas da visão. Neste passo são especificadas as práticas ou iniciativas específicas que serão implementadas e como. O pessoal é informado sobre a visão e os planos. São definidos os indicadores para estabelecer metas concretas e para monitorar o progresso. São identificados os recursos e pessoas responsáveis para acometer ações específicas e o tempo para atingi-las. O avanço será revisado periodicamente e informado a toda organização.

Fluxograma 6 - Processo de Implantação do BSC.
Fonte: AMENDOLA (2005)



Cabe ressaltar que a revisão periódica possibilita redesenhar e inovar os processos e atividades aproveitando as oportunidades latentes da melhoria contínua e da reengenharia do processo para cumprir as expectativas do cliente, otimizar custos, melhorar a eficiência do processo e fazer uso adequado dos ativos. Esta atividade de análise deve ser reforçada e comunicada a partir do estabelecimento de objetivos e indicadores, os quais devem enfatizar as atividades de permanente renovação e melhoramento dos processos.

A implantação deve ser documentada incorporando todos os planos estratégicos da manutenção, procedimentos, indicadores, inventários, contratos, gestão de recursos humanos

e outros aspectos relevantes na gestão dos processos de trabalho, tecnologia e especialidades. Segundo Amendola a vantagem primordial está em considerar as quatro perspectivas simultaneamente e as relações entre elas, e desta forma possibilitar estabelecer uma cadeia causa-efeito que permite tomar as iniciativas necessárias em cada nível. A ligação das quatro perspectivas constitui o que se chama de *Balanced Scorecard* fornecendo, segundo analogia proposta pelos seus próprios autores Kaplan e Norton, um “painel de controle”.

2.4- Roteiro para planejamento da manutenção

2.4.1- Introdução à manutenção

A manutenção surgiu com o início da indústria mecanizada no final do século XIX, sendo então realizada sem qualquer organização e planejamento. Com o início da produção seriada por Henry Ford, surgiu a necessidade de a manutenção organiza-se e ser mais elaborada (TAVARES, 1999).

Segundo Moubrey (2000), nos últimos quinze anos, a manutenção evoluiu talvez mais do qualquer outra disciplina de gerenciamento. A justificativa para isto deve-se a um grande aumento no número e diversidade de itens físicos (instalações, equipamentos e construções) a serem mantidos, além do aumento na complexidade dos projetos de equipamentos e sistemas produtivos.

A manutenção também está reagindo a: (i) crescente conscientização do quanto uma falha de equipamento afeta a segurança e o meio ambiente; (ii) um aumento na conscientização da relação entre manutenção e qualidade do produto; e (iii) a uma maior pressão para se atingir alta disponibilidade da instalação e conter custos.

2.4.2- Definição de manutenção

Segundo Ferreira (1994), manutenção significa: “Ato ou efeito de manter (-se). As medidas necessárias para a conservação ou a permanência de alguma coisa ou de uma situação”. Para a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, na norma NBR 5462 (1994) define o termo manutenção “como a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um

estado no qual possa desempenhar uma função requerida. Sendo que *item* é qualquer parte, componente, dispositivo, subsistema, unidade funcional, equipamento ou sistema que possa ser considerado individualmente”.

Conforme Tavares (1999) e Xenos (1998), manutenção é o conjunto de ações e recursos aplicados aos ativos para mantê-los nas condições de desempenho de fábrica e de projeto, visando garantir o alcance de suas funções dentro dos parâmetros de disponibilidade, de qualidade, de prazos, de custos e de vida útil adequados. Pinto e Nasif (2003) salientam, ainda, que a função da manutenção também é preservar o meio ambiente.

Dessa forma podemos definir que a manutenção depende de diversos aspectos enfocando-a como uma atividade gestora e executora, que visa garantir disponibilidade e confiabilidade de um item físico, de modo que as funções do sistema sejam mantidas no desempenho mínimo esperado, observando a segurança humana, integridade ambiental, com custos diretos e indiretos aceitáveis.

2.4.3- Evolução da manutenção

Até a Primeira Guerra Mundial, a manutenção era realizada pelo próprio pessoal de produção, sem treinamento específico e com os recursos disponíveis. Já durante este período, as empresas necessitaram garantir volumes mínimos de produção e começaram a necessitar reparos nas máquinas no menor tempo possível, surgindo, então, as primeiras equipes de manutenção ou “setores de manutenção”. As manutenções eram puramente corretivas (ZAIIONS, 2003; PALARCHIO, 2002).

Durante a Segunda Guerra Mundial, a carência de mão de obra e o aumento no consumo de bens de consumo motivaram o surgimento da manutenção preventiva e a atividade de manutenção passou a ter uma estrutura tão importante quanto a de operação (PALARCHIO, 2002).

A partir dos anos 60, as condições de funcionamento das máquinas passaram a ser inspecionadas e monitoradas regularmente, de modo a prever o fim de sua vida útil, surgindo a Manutenção Baseada na Condição ou, como é conhecida atualmente, Manutenção Preditiva. Os critérios de previsão de falhas tornaram-se viáveis a partir do desenvolvimento de algumas

áreas, tais como: (i) engenharia da confiabilidade; (ii) engenharia econômica e estatística; e (iii) sistemas de informação com o surgimento dos computadores. Segundo Ebeling (1997), foi nesta época que iniciou a Manutenção Centrada em Confiabilidade ou *Reliability Centred Maintenance* (RCM).

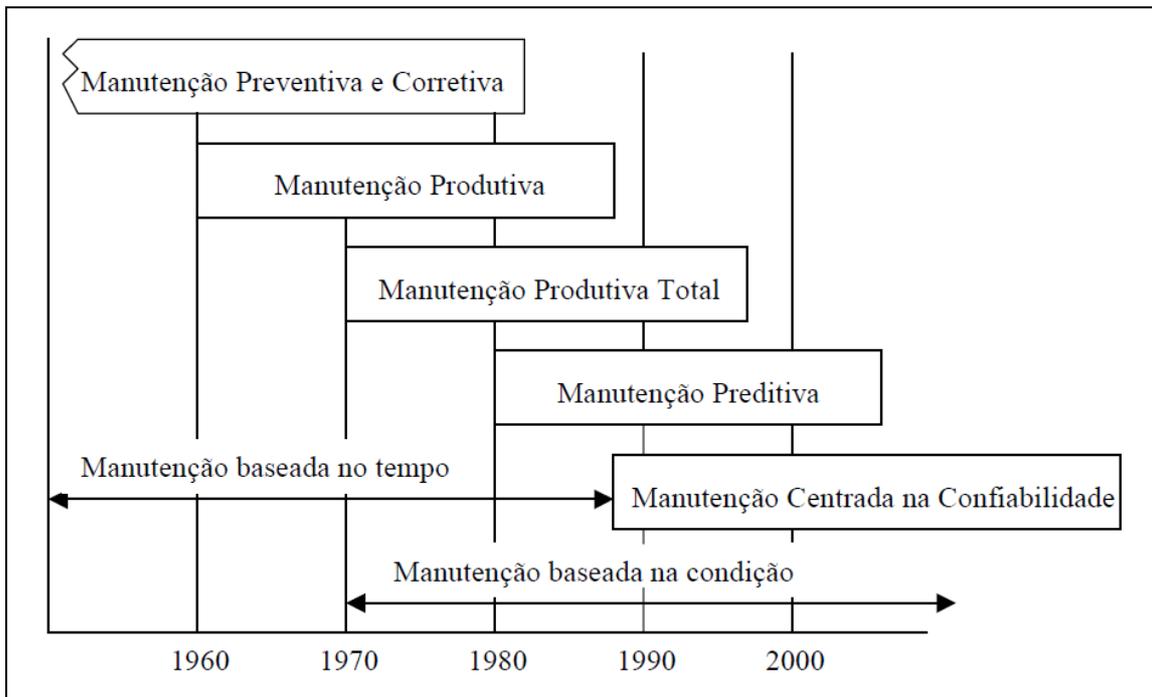
No início dos anos 70, surgiu no Japão a TPM (*Total Productive Maintenance* ou Manutenção Produtiva Total), adequando-se perfeitamente às exigências de disponibilidade integral das máquinas nos sistemas de produção sem estoques. A TPM promove a integração total entre homem, máquina e empresa, onde a manutenção dos meios de produção passa a constituir-se em preocupação e ação de todos (NAKAJIMA, 1993).

Nos anos 80 e 90, computadores começaram a ser usados para planejar a manutenção preventiva através da geração de ordens de serviço, controles de inventário, informações históricas, suporte logístico, etc. Além disto, os computadores e os sistemas computadorizados de manutenção proveram um importante suporte à manutenção preditiva (MIRSHAWKA, 1991).

Nos últimos 20 anos, a necessidade pelo aprimoramento contínuo da qualidade dos produtos e serviços frente à crescente onda de globalização fez com que atividade de manutenção passasse a ser abordada como estratégica. Tal ênfase vem sendo reforçada pela preocupação crescente com a integridade ambiental por parte dos gestores de empresas (ZAIONS, 2003).

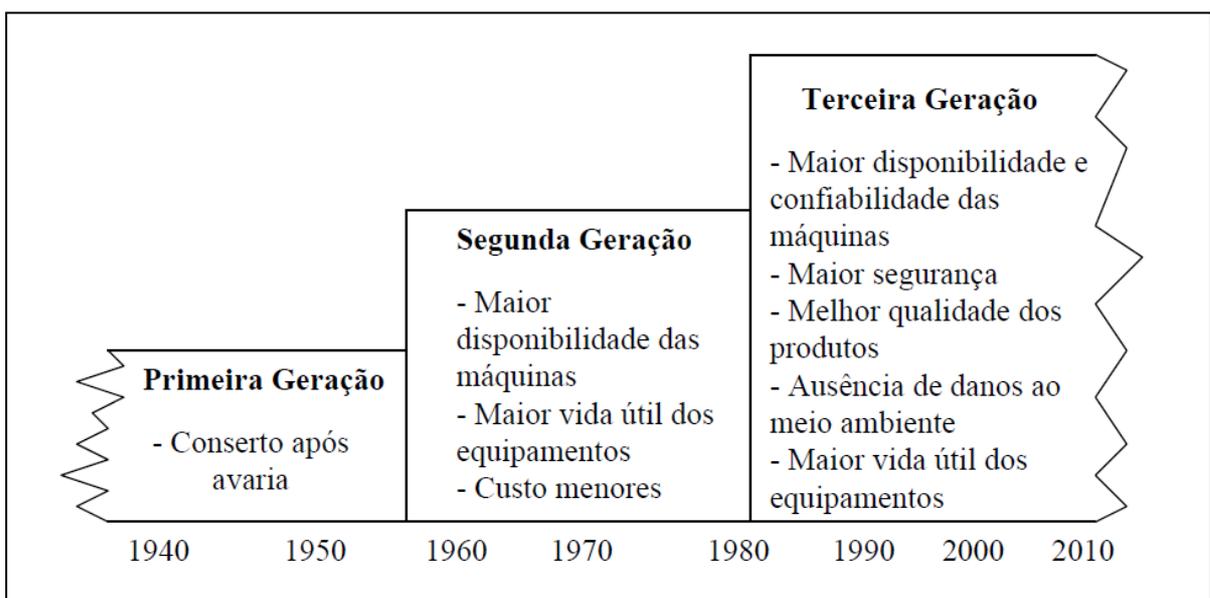
A Figura 4 ilustra a evolução temporal das técnicas de manutenção nas indústrias (LAFRAIA, 2001).

Figura 4 - Síntese da aplicação das metodologias de manutenção.
Fonte: Lafraia (2001)



Segundo Moubray (2000) e Lafraia (2001), a análise do histórico dos últimos 70 na OS da manutenção permite observar que o enfoque dado comporta uma divisão em três gerações, conforme ilustrado na Figura 5 (MOUBRAY, 2000).

Figura 5 - Evolução da Manutenção.
Fonte: Moubray (2000)



Na primeira geração da manutenção, a indústria não era altamente mecanizada, portanto, os períodos de paralisação à espera de recuperação de falhas não eram muito importantes. A maioria dos equipamentos eram simples, e muito deles superdimensionados, tornando-os confiáveis e fáceis de consertar. Conseqüentemente não era necessária uma manutenção sistemática e a necessidade de habilidades era menor do que é hoje.

Durante a Segunda Guerra Mundial, a demanda por bens de consumo aumentou significativamente, enquanto que a disponibilidade de mão-de-obra industrial diminuiu. Este fato levou a um aumento na mecanização e à chegada da segunda geração na evolução da manutenção, segundo Moubrey (2000) e Lafraia (2001).

Por volta da década de 1950, máquinas de todos os tipos eram mais numerosas e complexas e a indústria começava a depender delas. Verificou-se que as falhas dos equipamentos poderiam e deveriam ser evitadas, resultando então no conceito de manutenção preventiva.

Nessa segunda geração da manutenção, o custo de manutenção começou a se elevar muito em comparação com os outros custos operacionais, dando início aos sistemas de planejamento e controle de manutenção. O aumento do custo do capital e a quantidade de capital investida em ativos levaram à busca de meios para aumentar a vida útil dos ativos.

Na terceira geração da manutenção, os efeitos dos períodos de paralisação dos equipamentos foram se agravando na manufatura, principalmente pela tendência mundial de utilizar sistemas “*just in time*”, onde estoques reduzidos para a produção em andamento amplificavam o efeito de pequenas paradas na produção.

Segundo Moubrey (2000) e Lafraia (2001), os fatores que motivaram o surgimento de uma terceira geração são: (i) novas expectativas quanto aos itens físicos como a confiabilidade, disponibilidade, integridade ambiental, segurança humana e ao aumento dos custos totais de manutenção; (ii) novas pesquisas que evidenciaram a existência de seis padrões de falhas de equipamentos; e (iii) surgimento de novas ferramentas e técnicas, tais como o monitoramento de condições dos equipamentos, projeto de equipamento com ênfase na manutenção e ênfase no trabalho em equipe.

2.4.4- Tipos de manutenção

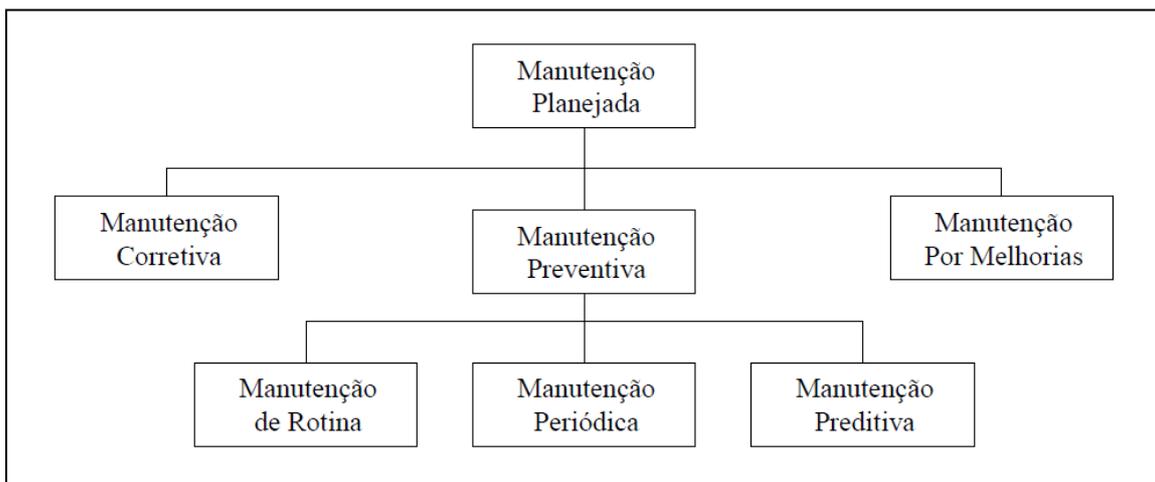
Os tipos de manutenção indicam de que maneira a intervenção nos equipamentos é realizada. Na literatura, encontram-se diversas maneiras de classificar os tipos de manutenção.

Segundo Zaions (2003), a classificação mais apropriada para o enfoque do RCM é a de Patton (1995), onde existem a manutenção não planejada e a planejada.

A manutenção não planejada é estritamente corretiva e gera perdas de produção, perdas de qualidade do produto e elevados custos. A manutenção planejada é aquela na qual há diminuição ou eliminação da perda de produção, minimização do custo e do tempo de reparo.

A manutenção planejada pode ser dividida em: (i) manutenção corretiva; (ii) manutenção preventiva; e (iii) manutenção por melhorias. A Figura 6 ilustra, além dessa classificação, a subdivisão da manutenção preventiva em: (i) manutenção de rotina; (ii) manutenção periódica; e (iii) manutenção preditiva.

Figura 6 - Métodos de Manutenção Planejada.
Fonte: Zaions (2003)



2.4.4.1 Manutenção Corretiva

Manutenção corretiva é aquela em que os consertos e reformas são realizados quando o objeto, máquina, equipamento ou veículo já estão quebrados. Segundo Viana *apud* Wyrebski (1997), a manutenção corretiva é a atividade que existe para corrigir falhas decorrentes dos desgastes ou deterioração de máquinas ou equipamentos. São os consertos das partes que sofreram a falha, podendo ser: reparos, alinhamentos, balanceamentos, substituição de peças ou substituição do próprio equipamento.

Para Fitch *apud* Zaions (2003), o uso do método de manutenção corretiva apresenta alguns aspectos negativos, dentre os quais: (i) a falha ocorre aleatoriamente e geralmente no período mais inoportuno; e (ii) a falha inesperada de um componente pode causar perigo para outros componentes, acarretando custos adicionais.

Um aspecto fundamental, mesmo no caso da manutenção corretiva, é o esforço para identificar precisamente as causas fundamentais da falha e bloqueá-las, evitando sua reincidência (XENOS, 1998).

2.4.4.2 Manutenção Preventiva

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

Como definição complementar, a manutenção preventiva corresponde à ação tomada para manter um item físico em condições operantes por meios de inspeções, detecção, prevenção de falhas, reformas e troca de peças (XENOS, 1998).

O objetivo final da manutenção preventiva é obter a utilização máxima do equipamento nas tarefas de produção, com a correspondente redução do tempo de máquina parada e custos da manutenção (ZAIIONS, 2003).

Conforme Wyrebski (1997), a manutenção preventiva apresenta as seguintes vantagens: (i) assegura a continuidade do funcionamento das máquinas, só parando para consertos em horas programadas; e (ii) a empresa terá maior facilidade para cumprir seus programas de produção. As desvantagens são: (i) requer um programa bem-estruturado; (ii) necessita de uma equipe de mecânicos eficazes e treinados; (iii) requer um plano de manutenção; e (iv) que peças sejam trocadas antes de atingirem seus limites de vida. Possamai (2002), também cita que peças e componentes dos equipamentos são trocados ou reformados antes de atingirem seus limites de vida, tornando, assim, a manutenção preventiva uma modalidade cara de manutenção.

Conforme Smith (2002) e Palarchio (2002), a maior dificuldade para que a manutenção preventiva atinja seus objetivos é definir com qual frequência cada atividade deve ser realizada. Existem ainda outras potenciais dificuldades, tais como: (i) pouca capacitação do pessoal envolvido; (ii) falta de atualização dos planos de manutenção ao longo da vida útil do equipamento; (iii) falta de cumprimento parcial ou total do plano de manutenção, por vários motivos, entre eles a não liberação da produção para a manutenção; (iv) falta de informações nas planilhas de manutenção preventiva para os técnicos de campo; e (v) falta de análise das intervenções anteriores no equipamento.

Conforme citado anteriormente, a manutenção preventiva se divide em manutenção de rotina, manutenção periódica e manutenção preditiva, descritas na seqüência. Conforme Mirshawka *et al.* (1993) e Branco Filho (2000), a *manutenção de rotina* é aquela normalmente associada a intervenções leves, efetuadas em intervalos de tempos predeterminados. A responsabilidade pela manutenção de rotina não é somente do pessoal de manutenção, mas também de todos os operadores dos itens físicos. As tarefas de manutenção de rotina normalmente são executadas no dia-dia para evitar a degradação dos itens físicos (XENOS, 1998; BRANCO FILHO, 2000).

A manutenção de rotina também é chamada de manutenção detectiva e é definida como a atuação efetuada em sistemas de proteção, buscando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção (PINTO *apud* CASTELLA, 2003).

A manutenção periódica constitui-se em uma evolução natural da manutenção preventiva e implica a existência histórica de registros que vão permitir a elaboração de

gráficos de controle estatístico das máquinas. Através da manutenção periódica, obtém-se, teoricamente, uma melhor utilização dos equipamentos em termos de tempos necessários entre as manutenções (periodicidade), uma vez que a análise estatística permite ampliar o conhecimento sobre as falhas nos equipamentos. No entanto, geram-se custos adicionais para a execução da tomada de dados utilizados para elaborar a manutenção periódica (TAVARES *apud* POSSAMAI, 2002). É possível encontrar-se, na literatura, a conceituação de manutenção periódica como sistemática ou programada, assim como a manutenção periódica sendo a própria manutenção preventiva e não uma de suas subdivisões, a qual este trabalho se propõe a apresentar (BRANCO FILHO, 2000).

A *manutenção preditiva* enfoca um conceito moderno de manutenção em que se acompanha o comportamento de determinados elementos do equipamento ou identifica-se um componente com desempenho diferente do esperado e, uma vez constatada a anomalia, realiza-se a manutenção.

Para Tavares (1996) e Branco Filho (2000), entende-se, por controle preditivo de manutenção, a determinação do ponto ótimo para executar a manutenção preventiva num equipamento, ou seja, o ponto a partir do qual a probabilidade de o equipamento falhar assume valores indesejáveis.

A manutenção preditiva é uma forma evoluída da preventiva, colocando o material sob supervisão contínua. Para isso, algumas das técnicas utilizadas são: (i) ferrografia para análise do desgaste de componentes via presença do ferro nos óleos de lubrificação; (ii) análise de vibrações; (iii) termografia; e (iv) análise de tensões via utilização de *strain gages* (MONCHY, 1989; ANTUNES, 1998 e; PALMER, 2002).

Conforme Wyrebski (1997), a vantagem da manutenção preditiva é aproveitar ao máximo a vida útil dos elementos da máquina, podendo-se programar a reforma e substituição somente das peças comprometidas. As desvantagens desta manutenção são a necessidade de acompanhamento e inspeções periódicas através de instrumentos específicos de monitoração, e a necessidade de profissionais altamente especializados.

A manutenção preditiva traz ótimos resultados, mas não atinge todos os benefícios que poderia, devido principalmente aos seguintes fatores potenciais: (i) falta de um banco de

dados para histórico das análises, sendo que o acompanhamento histórico é a base da manutenção preditiva; (ii) as organizações adquirem equipamentos sofisticados mas não implementam um programa consistente de manutenção, apenas casos isolados são atendidos; (iii) as organizações investem em equipamentos, porém esquecem-se de treinar os técnicos para realizar a sua manutenção e (iv) a área de manutenção não divulga as vantagens e potencialidades da manutenção preditiva para o resto da organização. Assim, quando a manutenção indica que um equipamento deve sair da linha de produção, pois está prestes a quebrar, a área produtiva não vê necessidade de agendar, no futuro, uma ação corretiva.

2.4.4.3 Manutenção por Melhorias

Na manutenção por melhorias, os equipamentos são melhorados gradativamente e continuamente para além de suas especificações originais. Por exemplo, ao invés de simplesmente retornar os equipamentos às suas condições originais após a ocorrência das falhas, é preciso melhorar continuamente os equipamentos, alterando, conforme necessário, seu projeto, seus padrões de operação e manutenção. Este é um dos pontos fracos da manutenção nas empresas brasileiras, onde geralmente a manutenção é considerada completa ao se consertar o defeito e restituir o item à sua condição operacional (XENOS *apud* POSSAMAI, 2002; PALMER, 2000).

Palmer (2000) cita que, em algumas organizações, a área de manutenção apenas resolve emergencialmente o problema, ou seja, apenas remove o sintoma da falha, mas não corrige a causa do problema. Já outras organizações treinam os técnicos de manutenção para analisarem as causas da falha na própria ordem de atendimento do problema, e, após definirem a causa-raiz, sugerirem melhorias. Segundo Branco Filho (2000), causa raiz é a razão original para uma condição, também denominada causa básica ou causa primária.

Segundo Palmer (2000), a maioria das melhorias implementadas em equipamentos são pequenas e de baixo custo; por exemplo, uma troca de fornecedor ou a utilização de um material mais apropriado para a aplicação em questão. Em compensação, existem também melhorias que necessitam significativas mudanças no equipamento ou até mesmo no processo de produção.

Conforme Lima *apud* Zaions (2003), a manutenção por melhoria é aplicável nos seguintes casos: (i) quando a vida útil do equipamento é curta, com alta frequência de falhas e alto custo de manutenção; (ii) quando o tempo de reparo é elevado e há possibilidade de propagação da falha; e (iii) quando a dispersão do tempo médio entre falhas é grande, acarretando dificuldades de avaliação e inspeção.

Palmer (2000) sugere que uma forma de reduzir problemas simples que gerarão um grande volume de falhas e necessidade de melhorias é envolver a área de manutenção no projeto de fabricação das máquinas quando possível, e ser rigoroso na especificação técnica e escolha dos fornecedores.

2.4.5- Total Productive Maintenance (TPM)

A TPM é um dos conceitos mais mal entendidos e mal aplicados nas organizações modernas. A TPM não é apenas uma iniciativa da manutenção ou um programa de melhorias, mas uma filosofia operacional estratégica e que envolve toda a organização, desde os operadores até o nível hierárquico mais alto.

Atividades de pequenos grupos, uma característica peculiar no Japão, tais como atividades de Círculo de Controle da Qualidade (CCQ), atividades dos grupos ZD (Zero Defeito) e atividades JK (*Jishu Kanri* – Controle Autônomo) passaram a ser amplamente definidas, consolidando a idéia de que o serviço deve ser autocontrolado. Em outras palavras, tais iniciativas deram origem à proposta da “manutenção autônoma”, uma das características da TPM.

A TPM surgiu no Japão no início dos anos 70, como uma alternativa à tradicional manutenção corretiva, adequando-se perfeitamente às exigências de disponibilidade integral das máquinas nos sistemas de produção sem estoques.

Os Estados Unidos sempre desempenharam papel de destaque na inovação tecnológica. A partir da observação e evolução dos princípios de manufatura americanos, o Japão passou a produzir automóveis, eletrodomésticos e relógios, e a exportá-los para todos os países do Mundo. Assim, o estilo japonês de administração passou a ser almejado por países que buscam a excelência em qualidade e produtividade.

Os primeiros contatos das empresas japonesas com técnicas americanas de manutenção ocorreram no início da década de 1950, com a apresentação e adoção da manutenção preventiva. Na década subsequente, a manutenção preventiva evoluiu para o sistema de manutenção da produção à maneira japonesa, a TPM.

Aperfeiçoado pelo JIPM – “*Japan Institute of Plant Maintenance*”, a TPM foi implementado na indústria japonesa a partir de 1971, na Nippon Denso (pertencente ao grupo Toyota).

De acordo com Nakajima (1993), a evolução do sistema de manutenção, no Japão, se processou em 4 fases distintas: (i) Manutenção Corretiva, (ii) Manutenção Preventiva; (iii) Manutenção do Sistema de Produção e (iv) TPM.

A TPM dirigiu sua atenção para a redução de custos do equipamento no seu ciclo de vida, combinando manutenção preventiva com melhorias sustentáveis e projeto de manutenção preventiva.

2.4.5.1 Conceito da TPM

Segundo Tavares (1996), o conceito básico da TPM é a reformulação e a melhoria da estrutura empresarial a partir da reestruturação e melhoria das pessoas e dos equipamentos, com envolvimento de todos os níveis hierárquicos e a mudança da postura organizacional.

Conforme Banker (1995), a TPM cria um autogerenciamento no local de trabalho, uma vez que os operadores assumem a propriedade de seu equipamento e passam a mantê-los.

A TPM se baseia no respeito à inteligência e ao potencial de conhecimento de todos os empregados da empresa.

Segundo Branco Filho (2000), a TPM é um sistema de organização do trabalho, no qual parte da manutenção é realizada pelo operador do equipamento ou máquina. Dentre as atividades realizadas pelo operador, pode-se citar: (i) limpezas; (ii) lubrificações; (iii) ajuste e troca de ferramentas; (iv) pequenos reparos; e (v) verificações e inspeções visuais.

Conforme Nakajima (1993), a definição da TPM, proposta em 1971 pela JIPM (*Japan Institute of Plant Maintenance*), foi revista em 1989, estabelecendo-se uma nova exposição, que se constitui dos cinco itens descritos a seguir: (i) a busca da maximização do rendimento operacional das máquinas e equipamentos; (ii) sistema total que engloba todo o ciclo de vida útil da máquina e do equipamento; (iii) um sistema onde participam a gerência, a produção e a manutenção; (iv) um sistema que congrega a participação de todos, desde a alta direção; e (v) movimento motivacional na forma de trabalho em grupo, através da condição das atividades voluntárias.

Cada uma das letras da TPM possui um significado próprio, como descrito a seguir (NAKAJIMA, 1989):

- “T” significa “*TOTAL*”, no sentido de eficiência global, de ciclo total de vida útil do sistema de produção e na participação de todos os departamentos;
- “P” significa “*PRODUCTIVE*”. Trata-se da busca do sistema de produção até o limite máximo da eficiência, atingindo “zero acidente, zero defeito e quebra/falha zero”, ou seja, a eliminação de todos os tipos de perda até chegar ao nível zero;
- “M” significa “*MAINTENANCE*”, isto é, manutenção no sentido amplo, tendo como objeto o ciclo total de vida útil do sistema de produção.

A TPM pode ser definida como uma manutenção preventiva mais ampla, baseada na aplicabilidade econômica vitalícia de equipamentos, matrizes e gabaritos que desempenham os papéis mais importantes na produção.

Os benefícios da TPM são: (i) multifuncionalidade dos operadores e mecânicos; (ii) envolvimento dos operadores na rotina de manutenção, criando um senso de responsabilidade; (iii) redução no tempo de reparo; e (iv) integração entre operadores e mecânicos.

Segundo Nakajima (1989), os principais objetivos da TPM são o aumento da confiabilidade dos equipamentos, a eliminação das quebras e melhorias do índice de disponibilidade das máquinas. Asseguram-se, assim, o fluxo contínuo do processo de

manufatura e a garantia de qualidade dos produtos através de um gerenciamento integrado homem e máquina para a melhoria da produtividade industrial e, conseqüentemente, para o aumento da lucratividade e a competitividade.

Para atingir os objetivos da TPM citados acima, investe-se no treinamento das pessoas de maneira a capacitá-las tecnicamente e conscientizá-las sobre a importância do desempenho do equipamento e as conseqüências para elas e para a empresa.

Os treinamentos estão orientados basicamente para os seguintes focos: (i) capacitar os operadores para, de forma espontânea e autônoma, cuidarem da conservação das máquinas; (ii) capacitar os operadores e a equipe de manutenção para que cuidem das atividades de manutenção em equipamentos com base na Mecatrônica (mecânica + eletrônica); e (iii) capacitar os engenheiros para projetarem e desenvolverem equipamentos que não exijam intervenções de manutenção.

Após o desenvolvimento das pessoas, o próximo passo é a melhoria dos equipamentos existentes, introduzindo modificações que aumentem o seu desempenho e confiabilidade. A melhoria dos equipamentos abrange os seguintes pontos: (i) atingir a eficiência global mediante melhoria da qualidade dos equipamentos em uso; e (ii) elaborar o projeto LCC (*Life Cycle Cost* ou Custo do Ciclo de Vida) de novos equipamentos e promover a sua entrada imediata na produção (NAKAJIMA, 1989).

Para atingir a eficiência global do equipamento, a TPM visa à eliminação das perdas que a prejudicam, corrigindo as deficiências do equipamento, do operador, dos materiais e dos métodos.

Nakajima (1989) apontou seis grandes perdas responsáveis pela redução do rendimento operacional global dos equipamentos e que são o foco da atuação da TPM. Este grupo de perdas é uma tradução particular ou desdobramento das 7 grandes perdas do STP (Sistema Toyota de Produção).

As seis grandes perdas da TPM, citadas por Nakajima (1989), são:

1. Perda por parada acidental

As perdas por parada acidental podem ser divididas em dois tipos: perda total da capacidade, quando a máquina quebra e não opera mais, e perda parcial de capacidade, quando o desgaste da máquina começa a reduzir as condições originais do equipamento.

2. Perda por parada durante a mudança da linha

Essa perda surge sempre que há uma mudança de produto na linha. São as perdas originadas quando um equipamento é utilizado para produzir vários produtos e, a cada mudança de produtos, necessitam de regulagens e ajustes.

3. Perda por operação em vazio ou por pequenas paradas

São as paradas momentâneas resultantes de um problema qualquer que não constitui quebras. São as interrupções devido aos controles existentes na máquina e que bloqueiam seu funcionamento. Normalmente, com a intervenção do operador, basta dar reinício ao ciclo e o equipamento volta a operar normalmente.

4. Perda por queda de velocidade

Essa perda se dá quando ocorre a queda da velocidade normal de trabalho ocasionada por problemas mecânicos, problemas relativos à qualidade ou a outros fatores que obrigam a produzir com velocidade reduzida.

5. Perda por defeito no processo

Compreende todas as operações relativas a retrabalhos ou mesmo à eliminação de produtos defeituosos gerados durante o processo de fabricação.

6. Perda por defeito no início da produção

Esse tipo de perda é também denominado de perda para entrada em regime de produção.

Pode ser considerado como o tempo gasto para que a produção inicie o processo normal e pode ser ocasionado pela instabilidade da própria operação, por ferramentas inadequadas, falta de manutenção, problemas de domínio técnico do operador ou falta de matérias-primas.

O JIPM (*Japan institute of Plant Maintenance*) cita 11 novas perdas em adição às aquelas descritas acima, totalizando 17 grandes perdas. São elas: (i) perdas por manutenção planejada; (ii) perdas por paradas curtas; (iii) perdas por falhas administrativas; (iv) perdas por falhas operacionais; (v) perdas por desorganização; (vi) perdas de logística; (vii) perdas de utilização da mão-de-obra; (viii) perdas por espera; (ix) perdas de energia; (x) perdas de eficiência de matrizes e gabaritos; e (xi) perdas de rendimento.

O segundo ponto para melhoria dos equipamentos, citado por Nakajima (1989), é a *elaboração do LCC de novos equipamentos*. O LCC descreve o custo total de um item, equipamento, componente ou peça ao longo de sua vida, incluindo as despesas de aquisição, montagem, testes, operação, manutenção, melhorias, modificação, remoção e alienação.

Segundo Nakajima (1989), de acordo com os princípios da Engenharia de Confiabilidade, as causas das falhas nos equipamentos variam ao longo do tempo, fazendo com que as contramedidas também sejam modificadas ao longo do tempo. A elaboração do LCC objetiva obter o máximo retorno econômico do equipamento, na medida em que o tempo de vida do equipamento aumenta.

2.4.5.2 Metodologia de Implantação do TPM

Para eliminação das grandes perdas do TPM, sugere-se a implementação de atividades designadas pilares de sustentação do desenvolvimento do TPM.

O TPM foi concebida segundo Nakajima (1989) com cinco pilares ou atividades, estabelecidos como básicos para dar sustentação ao desenvolvimento da metodologia. O JIPM introduziu mais três pilares aos cinco de Nakajima (1989) com o objetivo de aumentar o envolvimento do TPM nas empresas e potencializar a capacidade de ganhos e redução de custos. Os oito pilares são descritos a seguir.

1. Melhoria individual dos equipamentos para elevar a eficiência

Nessa etapa, busca-se elevar ao máximo a eficiência do processo produtivo, eliminando as 17 grandes perdas. Deverão ser estruturados grupos de trabalho, de modo a incorporar todas as possíveis soluções e promover a quebra zero/falha zero como uma meta atingível.

Este pilar através da palavra *kaizen*, indica a prática de melhorias contínuas obtidas por pequenas mudanças nos processos existentes, através de criatividade das pessoas que trabalham na empresa. Normalmente essas pequenas melhorias tornam o ambiente de trabalho melhor e não requerem investimentos significativos.

2. Elaboração de uma estrutura de manutenção autônoma do operador

Segundo Tavares (1999), as principais atividades de manutenção autônoma realizadas pelos operadores são: (i) limpeza; (ii) lubrificação; (iii) inspeção; (iv) pequenos ajustes; e (v) medições. Com os operadores executando essas atividades básicas, os grupos de manutenção poderão executar trabalhos mais técnicos e complexos, agregando mais valor à empresa.

Segundo Nakajima (1989), existem sete passos para consolidação da manutenção voluntária ou autônoma. A sua conclusão significa um domínio perfeito de todos os itens. Os passos são descritos a seguir.

Primeiro Passo – *Limpeza inicial* – através da limpeza, o operador passará a conhecer todos os detalhes da máquina. Neste passo, são eliminados resíduos, sujeira e poeira; além disso, o equipamento é lubrificado e reapertado.

Segundo Passo – *Eliminação dos locais de difícil acesso e combate aos causadores de problemas* – trata-se da eliminação de fontes de sujeira que dificultem a limpeza e exijam

menores intervalos de lubrificação. Uma vez eliminados os fatores geradores, o tempo consumido para efetuar a limpeza da máquina será menor.

Terceiro Passo – *Elaboração de padrões de limpeza e de lubrificação* – a elaboração dos padrões de limpeza, lubrificação e inspeção sobre o equipamento deve ser feita pelos próprios operadores. As pessoas envolvidas devem decidir com base em suas próprias observações, entender o seu papel, estabelecer seus padrões e entender a importância da lubrificação.

Quarto Passo – *Inspeção geral* – neste passo os operadores recebem treinamentos básicos de forma a executar inspeções nos equipamentos e identificar anomalias. Entre os treinamentos básicos, podem-se citar: lubrificação, pneumática, hidráulica, circuitos elétricos, sistema de transmissão e prevenção de incêndio.

Quinto Passo – *Inspeção voluntária ou autônoma* – antes da conclusão do quarto passo, a equipe deverá elaborar o cronograma das manutenções e os padrões a serem seguidos, considerando pontos de inspeção, critérios a serem seguidos nas inspeções, substituição, normas para desmontagem, etc. A inspeção voluntária busca a adequação do tempo consumido e a efetividade dos resultados, anotando os desvios que forem constatados, fazendo os ajustes necessários.

Sexto Passo – *Organização e gerenciamento do local de trabalho* – neste passo, se propõe uma revisão do papel reservado ao operador no que diz respeito à organização e ao gerenciamento do posto de trabalho. A postura do operador em relação às quebras, falhas, a produtos defeituosos e perdas diversas deve ser discutida e analisada, para verificar as carências e as necessidades de aprimoramento.

Sétimo passo – *Consolidação do autocontrole* – busca-se conciliar a capacitação do homem, seu desenvolvimento intelectual e um ambiente para desenvolver essas qualidades. O autocontrole acontece quando as pessoas adquirem autoconfiança.

3. Estruturação do setor de manutenção para condução da manutenção planejada

A manutenção deve-se estruturar em vários aspectos, tais como: (i) estoque de sobressalentes; (ii) sistema de manutenção computadorizado; (iii) sistema de manutenção preventiva; (iv) sistema de manutenção preditiva; (v) sistema de ordem de serviço; (vi) programação da manutenção; e (vii) histórico dos equipamentos.

Os métodos reativos de manutenção devem ser substituídos por métodos pró-ativos e que a equipe de manutenção deve ser utilizada para treinar os operadores na manutenção de seus equipamentos.

4. Capacitação técnica e busca de novas habilidades tanto para as equipes de manutenção como da produção

As pessoas envolvidas devem ser treinadas constantemente para aprimorar suas habilidades. Um programa para educação, treinamento e preparação do operador equivale a um investimento de alto retorno para a empresa. Todo o sistema participativo, como a TPM, baseia-se na atividade do homem e depende dele para o bom desenvolvimento e a obtenção dos resultados. Conferir ao operador os conhecimentos básicos de manutenção é essencial para que o mesmo seja capaz de executar a manutenção autônoma.

5. Estruturação para controle dos equipamentos já na fase inicial do funcionamento

Quando da concepção de um equipamento, seja desenvolvimento de um equipamento novo ou modificação de um equipamento existente, deve-se envolver a operação e a manutenção, visando facilitar a operacionalidade e manutenibilidade do equipamento.

6. Manutenção da qualidade

Foram introduzidas neste pilar as ferramentas necessárias ao desempenho da qualidade no posto de trabalho, a fim de garantir aos equipamentos as condições para que não se produzam itens deficientes em qualidade.

7. Áreas administrativas

As áreas administrativas são consideradas uma fábrica de informações. As perdas neste ambiente se manifestam a todo instante, refletem no setor produtivo e reduzem a sua produtividade.

8. Segurança, Higiene e Meio Ambiente

As atividades deste pilar são orientadas à detecção e principalmente à prevenção de acidentes do trabalho e poluição antes que eles ocorram. Para isso, é necessário o gerenciamento correto dos equipamentos tanto na fase de projeto como de operação, além de uma manutenção correta e eficaz.

2.4.5.3 Índice de Eficiência Global de Equipamentos (OEE – *Overall Equipment Effectiveness*)

Segundo Nakajima (1989), a eficiência global dos equipamentos (OEE) permite a medição objetiva do progresso da TPM. O OEE (figura 7) resulta da multiplicação dos índices de disponibilidade, desempenho e qualidade dos equipamentos. Segundo Dal *et al.* (2000), o OEE não deve ser tratado somente como uma medida operacional, mas como um indicador de melhoria de processo e do ambiente de manufatura.

O OEE é um indicador que procura revelar custos ocultos, permitindo visualizar todas as perdas resultantes das variabilidades existentes no equipamento e ao seu redor. Deste modo, é possível avaliar a capacidade dos equipamentos, levando em conta a influência de perdas relativas à disponibilidade, desempenho e qualidade. Antes do desenvolvimento do OEE, somente a disponibilidade era considerada na utilização dos equipamentos, resultando freqüentemente em um superdimensionamento de capacidade.

Figura 7 - Figura7- Formulas para se calcular o OEE.

$$\begin{aligned}
 \text{DISPONIBILIDADE} &= \frac{\text{TEMPO DE CARGA} - \text{TEMPO DE PARADAS}}{\text{TEMPO DE CARGA}} \\
 \text{DESEMPENHO} &= \frac{\text{CICLO TEÓRICO} \frac{\text{peças}}{\text{hora}} \times \text{QUANTIDADE PRODUZIDA}}{\text{TEMPO DE OPERAÇÃO}} \\
 \text{QUALIDADE} &= \frac{\text{PRODUÇÃO TOTAL} - \text{REFUGOS} - \text{RETRABAHO}}{\text{PRODUÇÃO TOTAL}} \\
 \text{OEE} &= \text{DISPONIBILIDADE} \times \text{DESEMPENHO} \times \text{QUALIDADE}
 \end{aligned}$$

Nakajima (1989) indica os seguintes valores como sendo ideais para o cálculo do índice de rendimento global: (i) o índice de disponibilidade deve estar acima de 90%; (ii) o índice de desempenho deve estar acima de 95%; e (iii) o índice de qualidade deve estar acima de 99%. Atingindo esses limites, o resultado do OEE dos equipamentos ficará em torno de 85%, o que pode ser considerado satisfatório.

2.4.6- RCM - Reliability Centered Maintenance

O RCM teve suas origens durante os anos 50, como resultado de vários estudos de confiabilidade desenvolvidos pela indústria da aviação civil americana. Entretanto, foi na década de 60 que os conceitos do RCM foram desenvolvidos pela indústria aérea americana como resposta a um novo cenário que surgia, ou seja, um crescente aumento dos custos de manutenção e a baixa confiabilidade na tradicional manutenção preventiva baseada no tempo (MOUBRAY, 2000).

A indústria aérea americana desenvolveu uma metodologia estratégica inovadora para assegurar que ativos continuem desempenhando a sua função. Esta metodologia ficou conhecida dentro da indústria da aviação como MSG3 e, fora dela, como RCM.

Segundo Moubray (2000), o 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 esperam em seu contexto operacional presente. O RCM é uma metodologia lógica de procedimentos que pretende estabelecer uma manutenção preditiva e preventiva para alcançar, de maneira efetiva e eficiente, os níveis de segurança e confiabilidade requeridas para cada equipamento.

As quatro características que definem e caracterizam o processo RCM são: (i) preservar a função do sistema; (ii) definir as falhas funcionais e especificar os modos de falha; (iii) priorizar por importância cada modo de falha; e (iv) escolher a manutenção mais efetiva para os modos de falha prioritários.

Conforme Moubray (2000), os resultados esperados com a implementação do RCM são: (i) maior segurança humana e proteção ambiental; (ii) melhoria do desempenho operacional em termos de quantidade, qualidade do produto e serviço ao cliente; (iii) maior efetividade do custo de manutenção; (iv) aumento da vida útil dos itens físicos mais dispendiosos; (v) criação de um banco de dados completo sobre a manutenção; (vi) maior motivação do pessoal envolvido com a manutenção; e (vii) melhoria do trabalho em equipe.

2.4.6.1 Definições

O processo de RCM e a utilização das ferramentas de apoio exigem, inicialmente, um perfeito entendimento de uma série de definições associadas a falhas e desempenhos dos itens físicos. Nesta seção, são apresentadas as definições e informações fundamentais para o desenvolvimento do RCM.

A **função** é a finalidade para a qual um dispositivo, um equipamento, um sistema ou uma instalação foi desenhada, projetada ou montada. Conforme Moubray (2000), uma definição de função deve consistir de um verbo, um objeto e o padrão de desempenho desejado.

As funções podem ser divididas em funções principais e funções secundárias. A função principal de um item físico está associada principalmente à razão pela qual o ativo foi adquirido. Na maioria das vezes, os itens físicos realizam outras funções além das funções

principais, as quais são chamadas de secundárias, podendo ser divididas nas seguintes categorias: (i) integridade ambiental; (ii) segurança/integridade estrutural; (iii) controle, contenção e conforto; (iv) aparência; (v) economia e eficiência; e (vi) supérfluas.

O objetivo da manutenção é assegurar que os ativos continuem fazendo o que seus usuários desejam deles. A expectativa do usuário em relação ao ativo pode ser definida como um mínimo *padrão de desempenho*. Dessa forma, qualquer máquina ou componente que for colocado em operação deverá ser capaz de produzir mais do que o padrão mínimo de desempenho desejado pelo usuário (MOUBRAY, 2000).

O *contexto operacional* está associado às condições nas quais o ativo físico irá operar.

O contexto operacional se insere inteiramente no processo de formulação estratégica da manutenção. A perfeita compreensão do contexto operacional requer que os seguintes fatores sejam considerados: (i) tipo de processo em lote ou em fluxo; (ii) redundância; (iii) padrões de qualidade; (iv) padrões ambientais e de segurança; (v) turnos de trabalho; (vi) trabalho em processo; (vii) tempo de reparo e peças de reposição; e (viii) demanda de mercado.

Falha é definida como a incapacidade de qualquer ativo de desempenhar aquilo que dele espera o usuário. Esta definição é vaga porque não distingue claramente entre o estado de falha (falha funcional) e os eventos que causam o estado de falha (modos de falha). Para descrever estados de falha ao invés de falha, é necessário saber que a fronteira entre desempenho satisfatório e falha é especificado pelo padrão de desempenho. Portanto, *falha funcional* é definida como a incapacidade de qualquer ativo de cumprir uma função para um padrão de desempenho que é aceitável pelo usuário (MOUBRAY, 2000).

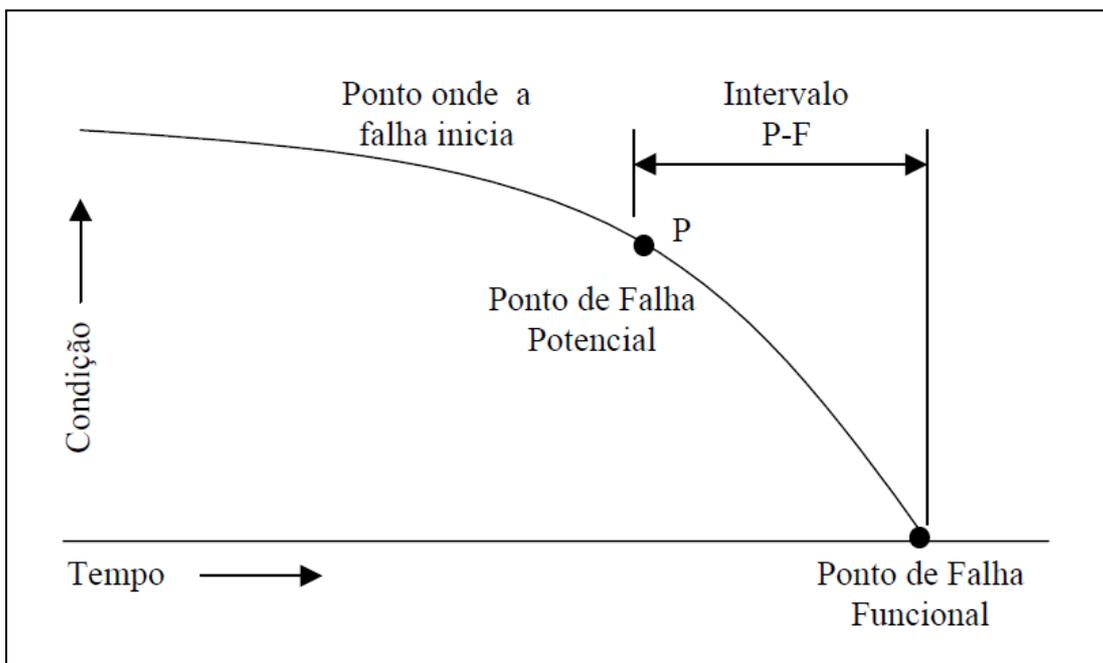
Falha potencial é uma condição identificável que indica se a falha funcional está para ocorrer ou em processo de ocorrência. Segundo Xenos (1998), o conceito de falha funcional leva em conta o fato de que muitas falhas não acontecem repentinamente, mas se desenvolvem ao longo do tempo.

A Figura 8 permite identificar a relação entre falha potencial e falha funcional. Na figura, pode-se identificar três períodos de tempos distintos na ocorrência de uma falha: (i) um período de tempo entre uma condição normal de operação até o início da falha; (ii) um

segundo período de tempo entre o início da falha até o aparecimento de um sinal da falha; (iii) um terceiro período de tempo que se estende desde o aparecimento do sinal da falha até a sua ocorrência. Moubray (2000) define o ponto “P” no processo de falha, onde é possível detectar se a falha está ocorrendo ou está para ocorrer, correspondendo ao conceito de falha potencial.

O ponto “F” representa o ponto de falha funcional. Assim, o intervalo P-F corresponde ao intervalo entre o ponto onde a falha torna-se detectável até a sua ocorrência.

Figura 8 - Intervalo P-F.
Fonte: Moubray (2000)



Segundo Branco Filho (2000) e Hoyland *et al.* (1993), **modo de falha** é a maneira como a falha pode ocorrer, ou seja, a maneira como pode ocorrer uma perda de função.

Segundo Moubray (2000), modo de falha é qualquer evento que causa uma falha funcional. A melhor maneira de mostrar a conexão e a distinção entre estados de falha e os eventos que podem causar é listar primeiro as falhas funcionais e depois enumerar os modos de falha que poderiam causar cada falha funcional.

Os seguintes aspectos devem ser considerados na identificação dos modos de falha: (i) todos os modos de falha possíveis que causam cada falha funcional devem ser identificados; (ii) os modos de falha devem ser identificados até o nível que possibilite a escolha de uma política adequada de manutenção; (iii) a lista deve incluir modos de falha que já ocorreram

antes, modos de falha que estão sendo prevenidos pela manutenção preventiva e modos de falha que nunca ocorreram mas são possíveis de ocorrer; e (iv) a lista de modos de falha deve incluir qualquer evento ou processo que cause uma falha funcional, incluindo os modos de falha típicos: deterioração, fratura, deformação, corrosão, desbalanceamento, rugosidade, desalinhamento, má montagem, etc.

A *causa da falha* representa os eventos que geram (provocam, induzem) o aparecimento do modo de falha, e que pode ser detalhada em diferentes níveis para diferentes situações. A causa da falha pode estar associada: (i) à falha de projeto; (ii) aos defeitos do material; (iii) às deficiências durante o processamento ou fabricação dos componentes; (iv) aos defeitos de instalação e montagem; (v) às condições de serviço não previstas ou fora de projeto; (vi) às deficiências da manutenção; ou (vii) à operação indevida.

Conforme Moubrey (2000), os *efeitos de falhas* descrevem o que acontece quando um modo de falha ocorre. Alguns efeitos típicos em máquinas e equipamentos em geral são: (i) esforço de operação excessivo; (ii) vazamento de ar; (iii) desgaste prematuro; (iv) consumo excessivo, etc.

A descrição dos efeitos da falha deve incluir todas as informações necessárias para a avaliação das conseqüências da falha. Especificamente quando descrever os efeitos de uma falha, devem ser lembrados (MOUBRAY, 2000): (i) evidência (se alguma) que a falha tenha ocorrido; (ii) de que modo (se algum) a falha pode ameaçar a segurança do meio ambiente; (iii) de que maneira (se alguma) a falha afeta a produção ou a manutenção; (iv) que dano físico (se algum) é causado pela falha; e (v) o que precisa ser feito para reparar a falha.

Cada vez que uma falha ocorrer, a empresa que usa o item é afetada de alguma forma. Algumas falhas afetam a produção, a qualidade do produto ou o serviço de atendimento ao usuário. Outras afetam a segurança ou o meio ambiente. Algumas aumentam os custos operacionais, como, por exemplo, aumento no consumo de energia elétrica.

A natureza e a severidade destes efeitos orientam a maneira como é vista a falha pela empresa. O impacto preciso em cada caso depende do contexto operacional, dos padrões de desempenho que se aplica a cada função e os efeitos físicos de cada modo de falha. Se as

conseqüências da falha forem muito severas para a empresa, grandes esforços deverão ser realizados para evitar ou reduzir a falha.

Porém, falhas que provocam pequenas conseqüências não requerem que medidas pró-ativas sejam tomadas. Nesses casos, é mais sensato corrigir a falha após a ocorrência (MOUBRAY, 2000). A análise da manutenção por essa ótica sugere que as conseqüências da falha são muito mais importantes do que suas características técnicas. Dessa forma, qualquer tarefa só deve ser aplicada se tratar com sucesso as conseqüências da falha e os meios de evitá-las. A análise das conseqüências da falha requer que essas sejam divididas em falhas evidentes e ocultas.

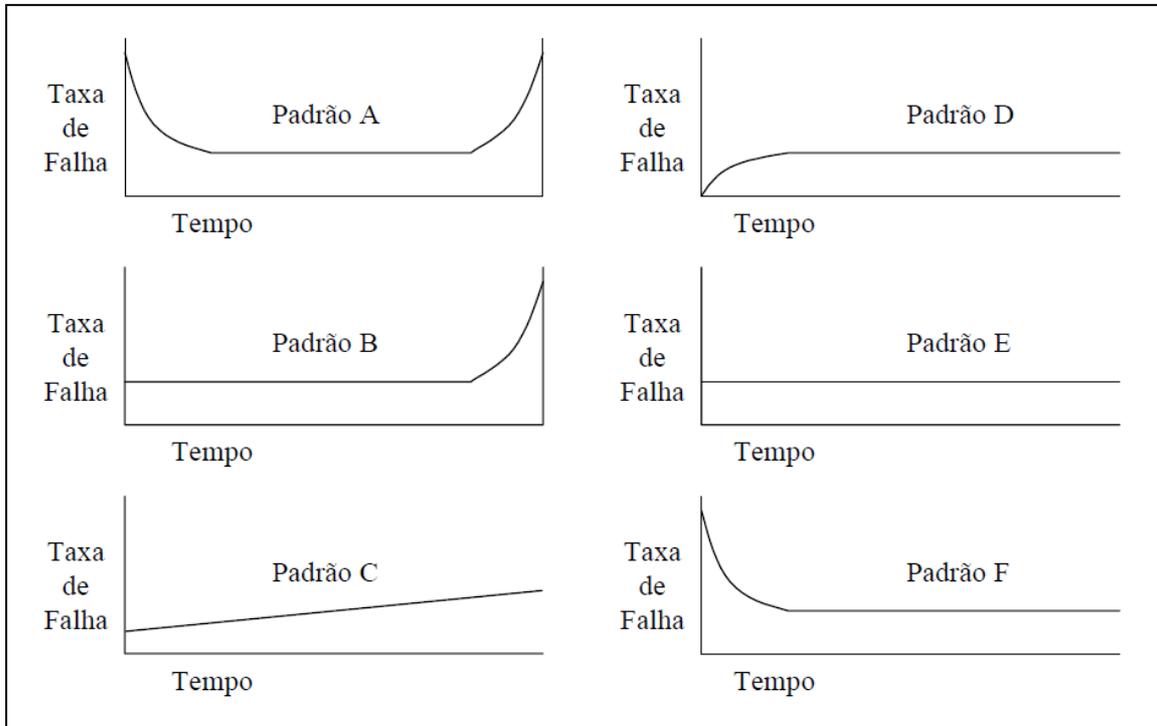
Uma *falha evidente* é aquela que, quando ocorrer, torna-se aparente para o grupo de operação ou manutenção sob condições normais. Essas falhas podem provocar a parada da máquina, a perda da qualidade do produto ou ainda podem estar acompanhadas de efeitos físicos como odor incomum, ruído elevado, escape de vapor, gotejamento de água ou óleo, dentre outros. As falhas evidentes são classificadas em três categorias (MOUBRAY, 2000): (i) com conseqüências sobre a segurança humana e ambiental; (ii) com conseqüências operacionais; e (iii) com conseqüências não operacionais.

A *falha oculta* se refere a uma função cuja falha não se torna evidente para o operador ou o profissional de manutenção. As falhas ocorrem de tal modo que não é possível perceber que determinado item está em estado de falha, a menos que outra falha ocorra.

As falhas ocultas não têm impacto direto na produção, mas expõem a instalação à possibilidade de ocorrências de falhas múltiplas, normalmente com conseqüências sérias para o processo produtivo, pois a maioria destas falhas estão associadas a dispositivos de proteção (tais como sensores, dispositivos de supervisão, botoeiras de comando, relés de proteção, sistemas anti-incêndio e equipamentos *stand-by*).

Os *padrões de falha* representam a freqüência de ocorrência das falhas em relação à idade operacional de um equipamento. O RCM adota um modelo no qual seis padrões de falha são utilizados para caracterizar a vida dos equipamentos. Os seis padrões são ilustrados na Figura 9 e designados pelas letras A, B, C, D, E, e F (MOUBRAY, 2000; PINTO, 2003).

Figura 9 - Padrões de Falha.
Fonte: Pinto (2003)



O padrão A é conhecido como curva da banheira, assim designada devido ao seu formato característico. Nesse padrão, há uma elevada ocorrência de falhas no início de operação do item físico (mortalidade infantil), seguido de uma frequência de falhas constante e, posteriormente, de um aumento na frequência devido à degradação ou desgaste do equipamento.

O padrão B apresenta uma taxa de falha constante, seguida de uma zona de acentuado desgaste no fim da sua vida útil. Esse padrão descreve falhas relacionadas com a idade dos componentes. Componentes em equipamentos podem se comportar dessa maneira, principalmente aqueles que deterioram naturalmente com o tempo, que estão sujeitos a esforços cíclicos e repetitivos ou que entram em contato direto com a matéria prima ou produto final.

O padrão C apresenta um aumento lento e gradual da taxa de falha, porém sem uma zona definida de desgaste. Uma possível causa para a ocorrência de padrões de falha tipo C é a fadiga. O padrão D mostra baixa taxa de falha quando o item é novo e sofre posteriormente

um rápido aumento da taxa de falha para um nível constante. O padrão E mostra uma taxa de falha constante em qualquer período.

A forma da curva do padrão F de falhas indica que uma maior taxa de falhas ocorre quando o componente é novo ou imediatamente após restauração. O padrão F inicia com uma alta mortalidade infantil, que eventualmente cai para uma taxa de falha constante. Pode apresentar também um aumento lento e gradual em vez de taxa de falha.

Pode-se concluir, pela análise dos parágrafos anteriores, que os padrões de falha A,B e C podem estar geralmente associados à fadiga e corrosão. Os padrões A e B são típicos de componentes ou peças de máquinas individuais e simples. Já os padrões D, E e F são típicos de itens mais complexos.

A diferenciação entre os padrões de falhas de itens simples e complexos tem importância significativa na manutenção. Peças e itens simples freqüentemente apresentam relação direta entre confiabilidade e idade, particularmente quando fatores como a fadiga e o desgaste mecânico estão presentes ou quando os itens são descartáveis. Já os itens complexos apresentam algum tipo de mortalidade infantil, seguida de um aumento gradual na taxa de falha ou de uma taxa e falha estacionária.

Segundo Moubray (2000), as ações a serem tomadas para tratar as falhas podem ser divididas em duas categorias: (i) tarefas pró-ativas; e (ii) ações *default*. As categorias são definidas a seguir.

As tarefas pró-ativas são aquelas executadas antes de ocorrer a falha com a intenção de prevenir o ativo de entrar em um estado de falha. Compreendem o que é tradicionalmente conhecido como manutenção preditiva e preventiva, embora o RCM use o termo restauração planejada, descarte planejado e manutenção sob condição. Já as ações *default* tratam do estado da falha e são escolhidas quando não é possível identificar uma tarefa pró-ativa efetiva. Ações *default* incluem busca de falha, reprojeto e rodar até falhar.

Segundo Moubray (2000), uma tarefa somente é adequada se for útil e tecnicamente viável. Nesse contexto, uma tarefa pró-ativa é útil se reduzir as conseqüências da falha o suficiente para justificar os custos diretos e indiretos associados à sua realização.

O principal critério empregado na seleção de tarefas preventivas é que sejam aplicáveis e eficazes. O termo aplicável designa tarefas que possibilitem prevenir ou minimizar uma falha, descobrir o início de um processo de falha ou descobrir uma falha oculta. O termo eficaz designa tarefas que sejam econômicas dentre as tarefas consideradas aplicáveis.

A seguir serão definidos os três tipos de manutenção pró-ativa e os requisitos necessários para a viabilidade técnica de cada uma delas (MOUBRAY, 2000).

A *restauração programada* implica restaurar a capacidade inicial de um ativo ou componente existente antes ou no limite de tempo especificado, sem considerar sua condição aparente no momento. Os requisitos para a viabilidade técnica desse tipo de restauração são: (i) há uma idade identificável na qual o ativo mostra um rápido crescimento na probabilidade de falha; (ii) a maioria dos ativos sobrevivem a esta idade; e (iii) a tarefa restabelece o ativo à capacidade original.

As *tarefas de descarte programado* implicam descartar um ativo ou componente antes ou no limite especificado de idade, sem considerar a sua condição no momento da análise. Os requisitos para a viabilidade técnica desse tipo de iniciativa são: (i) há uma idade identificável na qual o ativo mostra um rápido crescimento na frequência da falha; e (ii) a maioria dos ativos sobrevivem a esta idade. Neste caso, não há necessidade de saber se a tarefa restabelece o ativo à capacidade original, já que o ativo é substituído por um novo.

As *tarefas sob-condição* são inspeções que verificam as condições das falhas potenciais, para que uma ação possa ser tomada para prevenir a falha funcional ou evitar as suas conseqüências.

Os requisitos de viabilidade técnica dessa iniciativa são: (i) ser possível definir uma condição de falha potencial clara; (ii) o intervalo P-F é razoavelmente consistente; (iii) ser viável monitorar o item a intervalos menores que o intervalo P-F; e (iv) o intervalo P-F ser suficientemente longo para a ação ser tomada para reduzir ou eliminar as conseqüências da falha funcional.

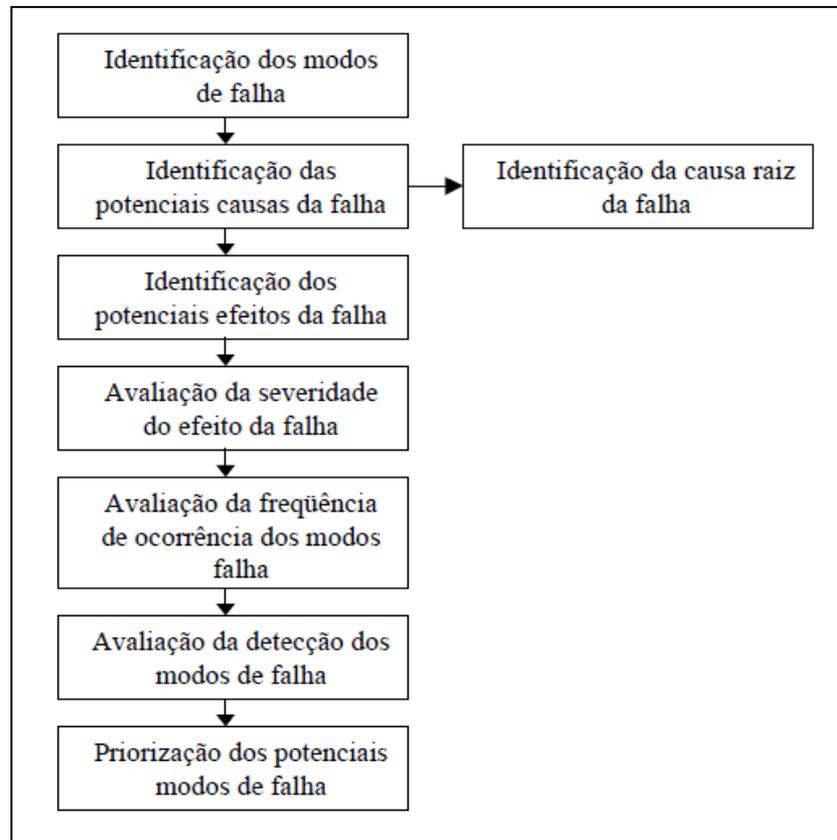
Se não existir uma tarefa pró-ativa que reduza o risco de falha para um nível aceitável, a tarefa de busca de falha periódica deve ser realizada. Se uma tarefa de busca apropriada não puder ser encontrada, então a decisão *default* secundária é a de que o item deve ser reprojetoado. A ação *busca de falha* programada consiste em verificar uma função a intervalos regulares para descobrir a falha. Os requisitos para a ação busca da falha são: (i) é possível fazer a tarefa; (ii) a tarefa não aumenta o risco de falha múltipla; e (iii) é prático fazer a tarefa no intervalo requerido.

A *Análise de Modos e Efeitos de Falhas*, traduzido do inglês FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*), é uma ferramenta utilizada para efetuar uma análise de como uma máquina ou sistema pode falhar, ao enumerar todas as possibilidades de falhas, todas falhas possíveis, e todos os graus de reações adversas que podem resultar de tais falhas analisadas. É uma técnica que visa melhorar a confiabilidade de uma máquina ou sistema com a indicação de procedimentos para atenuar o efeito de uma falha.

A FMEA é reconhecida como uma das ferramentas mais empregadas na Engenharia de Confiabilidade, devido, principalmente, à sua praticidade e aplicação quantitativa. Os seguintes objetivos da FMEA: (i) assegurar que todos os modos de falha e seus efeitos sobre o sistema sejam considerados; (ii) listar potenciais falhas e a magnitude de seus efeitos; e (iii) prever bases para estabelecer prioridades nas ações corretivas.

Para a condução de uma análise de um sistema ou subsistema utilizando a FMEA, algumas etapas devem ser seguidas. O processo de análise deve ser realizado por uma equipe multidisciplinar, com conhecimento sobre o sistema a ser estudado. O processo da FMEA resume-se nas atividades listadas no Fluxograma 7.

Fluxograma 7 - Etapas do Processo FMEA.
Fonte: Pinto (2003)



2.4.6.2- Metodologia de Aplicação do RCM

O processo de implementação do RCM compreende basicamente 7 etapas associadas ao item físico ou sistema sob manutenção. Tais etapas, elaboradas a partir das abordagens no quadro 2, são detalhadas nas próximas seções.

Quadro 2 - Comparação das Sistemáticas para aplicação do RCM.

Fonte: Moubray (2000)

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

2.4.6.2.1 Seleção do Sistema

Dois aspectos devem ser considerados para seleção do sistema; são eles: (i) quais sistemas são mais prováveis de se beneficiar do processo RCM, se comparado com a manutenção tradicional; e (ii) qual nível será analisado: planta industrial, sistema, itens físicos ou componentes.

A seleção do sistema deve-se basear nos seguintes critérios: (i) sistemas com elevado volume de tarefas de manutenção preventiva ou elevados custos de manutenção preventiva; (ii) sistemas que sofreram um grande número de intervenções corretivas nos últimos anos; (iii) sistemas com elevada contribuição nas paradas da produção nos últimos anos; e (iv) sistemas que apresentam risco à segurança humana e ambiental.

2.4.6.2.2 Definição das Funções e Falhas Funcionais

Os principais objetivos desta etapa são: *(i)* identificação das interfaces de entrada e saída do sistema; *(ii)* identificação e descrição das funções do sistema; *(iii)* descrição dos padrões de desempenho; e *(iv)* definição de como o sistema pode falhar.

Para a melhor realização desta etapa, deve-se elaborar o diagrama de blocos do sistema. Esse diagrama permite subdividir o sistema em partes menores para facilitar a análise nas etapas seguintes do processo. Os diagramas de blocos ilustram a operação, inter-relações e interdependência das unidades funcionais do sistema. São diagramas construídos para gerar conhecimentos para a definição das funções dos diversos níveis do sistema.

Existem dois tipos de diagrama de blocos: diagramas de blocos funcionais e diagramas de blocos de confiabilidade. No entanto, a literatura associada ao RCM indica com mais frequência a utilização do diagrama de blocos funcionais.

O diagrama de blocos funcionais do sistema permite, além de identificar as referidas funções do sistema, interligar as entradas e saídas com suas respectivas funções. Essas interfaces de entrada e saída cruzam as fronteiras do sistema. As interfaces de entrada podem ser sinais de calor, potência, fluidos, gases, etc., que entram pelas fronteiras do sistema, auxiliando na operação de suas funções. Já as interfaces de saída constituem-se naquelas que são o motivo da existência do sistema e, dessa forma, tornam-se o foco do princípio da preservação da função do sistema.

Uma vez transformadas em funções e associadas aos seus respectivos padrões de desempenho, as interfaces de saída devem ser listadas apropriadamente nas Planilhas de Funções e Falhas Funcionais, conforme sugere Moubray (2000) e ilustrado na Figura 20.

Após definidas as funções e os padrões de desempenho, podem-se definir as falhas funcionais. Preservar as funções do sistema significa evitar falhas funcionais. As falhas funcionais podem ser encaradas como uma negação das funções anteriormente definidas, ou seja, a incapacidade ou inabilidade de um item físico em atender ao desempenho desejado em relação ao contexto operacional.

Conforme Moubray (2000) sugere, as falhas funcionais devem ser listadas na segunda coluna da Planilha de Funções e Falhas Funcionais e codificadas em ordem alfabética, como ilustrado na Figura 10.

Figura 10 - Exemplo de Planilha de Funções e falhas funcionais do RCM.
Fonte: Moubray (2000)

RCM		PLANILHA DE FUNÇÕES E FALHAS FUNCIONAS			
		SISTEMA:	TURBINA DE 5MW		
		SUB-SISTEMA:	SISTEMA DE EXAUSTÃO		
		DATA:	22/11/2000	EQUIPE:	
FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL (Perda de função)			
1	Canalizar todo o gás quente da turbina sem restrições a um ponto fixo de 10m acima do telhado	A	Incapaz de canalizar o gás		
		B	Fluxo de gás restrito		
		C	Falha para conter o gás		
		D	Falha para levar o gás a 10m acima do telhado		
2	Reduzir os níveis de ruído até a taxa de ruído da ISO 30 a 150m	A	O nível de ruído excede a taxa de ruído da ISO 30 a 150m		
3	Assegurar que a temperatura superficial da tubulação na sala da turbina não passe de 60°C	A	A temperatura superficial da tubulação passa de 60°C		

2.4.6.2.3 Seleção dos Itens Físicos Críticos

O objetivo desta etapa é identificar os itens físicos que são potencialmente críticos com relação às falhas funcionais identificadas na etapa anterior. A separação em itens físicos críticos não deve ser feita, pois pode excluir alguns itens físicos importantes do foco de atenção. A seleção de itens críticos é importante para direcionar a análise a itens que trarão um retorno financeiro significativo.

Nas etapas de implementação definidas por Moubray (2000), não consta a etapa de seleção dos itens críticos. O autor, porém, cita, na etapa de preparação, que um dos elementos

chave do processo de planejamento é decidir quais ativos são mais prováveis de se beneficiar do processo RCM, havendo assim uma forma de seleção dos itens críticos.

Os equipamentos críticos devem ser escolhidos considerando a sua relevância no processo, seu grau de redundância e impacto nos custos de manutenção, além da experiência dos especialistas. Como exemplo destaca-se a Boeing que selecionou os sistemas com maior potencial de melhoria nas práticas de manutenção e utilizou a regra do 80-20, onde 80% das perdas da produção e custos de manutenção são gerados por 20% dos sistemas.

A regra 80-20 também é conhecida como Princípio de Pareto. Este princípio foi desenvolvido por Vilfredo Pareto, economista e sociólogo do século XIX. Pareto notou que 80% dos recursos de um povo pertencem a 20% das pessoas. Posteriormente, este princípio foi intensamente utilizado na indústria japonesa através de J.M. Juran. Em linhas gerais, esta regra diz que 80% dos problemas se devem a 20% das causas.

Deve-se elaborar uma planilha que correlacione falhas funcionais e itens físicos. A matriz de equipamentos *versus* falhas funcionais visa relacionar as falhas funcionais com os equipamentos e classificá-los em ordem de criticidade, a fim de estabelecer prioridades para aplicar a metodologia do RCM. Essa conexão entre as falhas funcionais e os itens físicos é avaliada pela opinião dos especialistas que definem a criticidade levando em consideração os seguintes aspectos: (i) conseqüências na segurança humana; (ii) conseqüências na integridade ambiental; (iii) conseqüências econômicas e operacionais; e (iv) dificuldade de realizar a manutenção.

2.4.6.2.4 Coleta e Análise de Informações

As informações para a análise do RCM podem ser divididas em três categorias: informações de projeto, informações operacionais e informações de confiabilidade.

Em algumas situações, têm-se poucas informações sobre os equipamentos, principalmente quando os equipamentos são novos. Nesses casos, devem-se procurar informações com os fabricantes de máquinas ou através de máquinas similares. O sucesso da implantação do RCM depende muito do volume de informações disponíveis, tanto qualitativamente como quantitativamente. Para obter sucesso na implantação do RCM, é

fundamental dispor de históricos dos tipos de falhas, frequência das falhas e as causas básicas das falhas, para que a implantação não seja baseada em suposições.

2.4.6.2.5 Definição dos Modos e Efeitos de Falha

Esta etapa visa identificar os modos de falha que são provavelmente a causa de cada falha funcional e apurar os efeitos da falha associados a cada modo de falha. Isto é feito realizando as análises de modos e efeitos de falha (MOUBRAY, 2000).

Há no mínimo três fontes de informações às quais o analista poderá recorrer para determinar os modos de falha de um item físico: (i) histórico dos equipamentos; (ii) experiência das pessoas envolvidas com o equipamento; e (iii) a FMEA de projeto ou literatura especializada que contenha informações sobre os modos de falha normalmente associados ao item em estudo.

Moubray (2000) sugere a utilização de uma planilha conforme figura 11, denominada Planilha de Análise dos Modos de falha e Efeitos, onde os modos e efeitos das falhas são listados e correlacionados a funções e falhas funcionais.

Figura 11 - Exemplo de Planilha de Análise dos Modos de Falha e Efeitos.
Fonte: Moubray (2000)

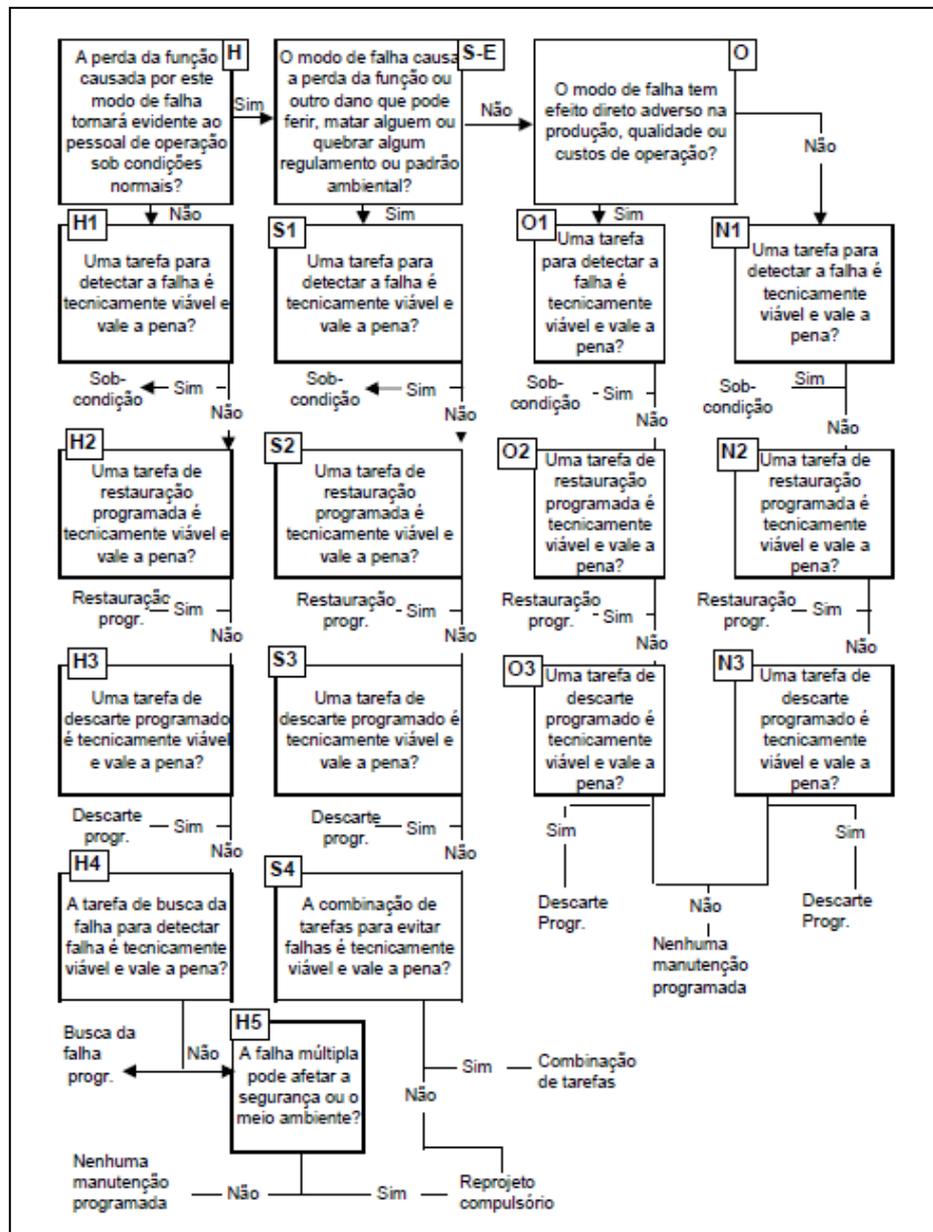
PLANILHA DE ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS				
RCM	SISTEMA:		TURBINA DE 5MW	
	SUB-SISTEMA:		SISTEMA DE EXAUSTÃO	
	DATA:	22/11/2000	EQUIPE:	
FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODOS DE FALHA	EFEITO DA FALHA	
1 Canalizar todo o gás quente da turbina sem restrições a um ponto fixo de 10m acima do telhado	A Incapaz de canalizar o gás	1 Suportes do silenciador corroídos	O conjunto do silenciador desmorona e cai no fundo da chaminé. A pressão faz a turbina subir violentamente e parar. O tempo de paralisação para repor o silenciador, até quatro semanas.	
		1 Parte do silenciador solta-se devido à fadiga	Dependendo da natureza do bloqueio, a temperatura de exaustão pode subir até desligar a turbina. Parte da turbina pode ser danificada.	
		1 Os parafusos que prendem a chaminé são cisalhados pela corrosão	A chaminé fica escorada por cabos antes de cair, mas pode inclinar-se um pouco. Se cair, há uma grande probabilidade de atingir uma estrutura onde há pessoas. Tempo de reparo alguns dias a algumas semanas.	

2.4.6.2.6 Seleção das Tarefas de Manutenção Preventiva

Esta etapa descreve o Diagrama de Decisão do RCM, que integra todos os processos de decisão em uma estratégia única. Com esse diagrama, busca-se responder às seguintes questões (MOUBRAY, 2000): *(i)* que rotina de manutenção (se houver alguma) deve ser adotada; *(ii)* quais falhas são suficientemente sérias para justificar um reprojeto; e *(iii)* casos onde uma decisão deliberada tem de ser tomada para deixar a falha acontecer.

O Diagrama de Decisão para seleção de tarefas é utilizado para especificar as tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas. No fluxograma 8 mostra um diagrama sugerido por Moubray (2000), que consiste em uma série de perguntas. As respostas dadas pelos analistas conduzem à especificação de uma tarefa ou de uma nova pergunta. As perguntas buscam identificar modos de falha *(i)* ocultos para o operador, *(ii)* com potencial impacto à segurança humana, *(iii)* que têm impacto sobre o meio ambiente e *(iv)* que têm impacto sobre a produção, qualidade ou custo do produto. Após esta identificação, as demais questões têm o objetivo de identificar qual tarefa é a mais adequada para tratar a falha.

Fluxograma 8 - Diagrama de Decisão do RCM.
Fonte: Moubray (2000)



As respostas são registradas na Planilha de Decisão, conforme modelo na figura 12. Tal planilha visa armazenar todas as informações e decisões realizadas durante o processo de seleção de tarefas (MOUBRAY, 2000).

Figura 12 - Planilha de Decisão do RCM.

Fonte: Moubray (2000)

PLANILHA DE DECISÃO DO RCM															
RCM		SISTEMA: TURBINA DE 5MW													
		SUBSISTEMA: SISTEMA DE EXAUSTÃO													
		DATA: 22/11/2000								EQUIPE:					
Referência Informação			Avaliação de Conseqüências			Tarefa Pro Ativa			Ação default			Tarefa Proposta	Frequência	Responsável	
F	FF	FM	H	S-E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4				
						S1	S2	S3							
						O1	O2	O3							
						N1	N2	N3							
			← Indica a função												
						← Indica a falha funcional									
									← Indica o modo de falha						

A Planilha de Decisão está dividida em dezesseis colunas. As colunas F, FF e FM identificam o modo de falha em consideração e são usadas para cruzar referências entre as Planilhas de Análise dos Modos da Falha e Efeitos e de Decisão. As colunas H, S, E e O são usadas para registrar as respostas às questões referentes às conseqüências de cada modo de falhas. A questão H objetiva identificar se a falha é oculta; as demais questões (S, E e O) são referentes, respectivamente, à segurança, meio ambiente e capacidade operacional. As respostas possíveis são negativas ou afirmativas, grafadas com os símbolos “S” e “N”, respectivamente.

O intervalo da oitava até a décima coluna da Planilha de Decisão é usado para registrar se uma tarefa pró-ativa foi selecionada. A coluna H1/S1/O1/N1 é usada para registrar se uma tarefa *sob-condição* pode ser encontrada para antecipar o modo de falha a tempo de evitar as conseqüências. A coluna H2/S2/O2/N2 é usada para registrar se uma tarefa adequada de *restauração programada* pode ser encontrada para prevenir as falhas.

A coluna H3/S3/O3/N3 é usada para registrar se uma tarefa adequada de *descarte programado* pode ser encontrado para prevenir as falhas. As colunas H4, H5 e S4 são usadas para registrar as respostas às três questões relativas às ações *default*. As últimas três colunas registram a tarefa selecionada, a freqüência com que é feita e quem foi selecionado para fazê-

la. A coluna “tarefa proposta” é também usada para registrar os casos onde o reprojeto é exigido ou onde foi decidido que o modo de falha não necessita de manutenção programada.

2.4.6.3 Definição da Frequência das Tarefas

Para a definição da periodicidade deve-se levar em consideração o tipo de tarefa sendo considerada. Segundo Moubray (2000), a periodicidade deve ser baseada nos intervalos de tarefa sob-condição, regidos pelo intervalo P-F, e nos intervalos de tarefa de descarte programado e restauração programada, os quais dependem da vida útil do item em consideração.

Para determinação do intervalo P-F deve-se entender como cada modo de falha se comporta, ou seja, definir quanto tempo decorre do momento que a falha potencial começa ser detectável até o momento que atinge a funcionalidade do estado de falha. Na análise de vibrações, por exemplo, acompanha-se a tendência dos níveis de vibração em relação aos níveis de alarme.

3- ESTUDO DE CASO

3.1- Característica da empresa

A usina hidrelétrica de Tucuruí, localizada no estado do Pará é uma unidade autônoma da Eletrobrás - Centrais Elétricas do Brasil S/A - ELB, especializada na geração de energia elétrica de origem hidráulica. A Eletronorte – Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A./ELN é uma Sociedade Anônima de Economia Mista criada em 20/06/73, subsidiária da Eletrobrás/ELB - Centrais Elétricas Brasileiras S/A e concessionária de serviços públicos de energia elétrica. A ELN atua no Setor Elétrico Brasileiro/SEB, tendo como finalidades principais a realização de estudos, projetos, construção e operação de Usinas Geradoras e Sistemas de Transmissão de energia elétrica, bem como a celebração de atos de comércio decorrentes dessas atividades. Na estrutura organizacional da empresa, a usina de Tucuruí é uma Superintendência da Diretoria de Operação/DO, denominada Superintendência de Geração Hidráulica – OGH.

A decisão do governo brasileiro de construir a UHE Tucuruí decorreu da política de instalação do pólo minero-metalúrgico do Pará e, particularmente, da política do alumínio. Ou seja, os projetos de instalação do pólo industrial do Pará requeriam a construção de um empreendimento hidrelétrico capaz de estimular e atender às novas indústrias pretendidas para a região e, como decorrência, as novas demandas urbanas, em Belém. Neste contexto, as obras da UHE Tucuruí foram iniciadas em 1976. A OGH foi criada em 31/07/1984, tendo iniciado sua operação comercial em 22/11/1984, integrando-se, na condição de *principal geradora*, ao Sistema Elétrico Interligado Norte-Nordeste. Em 1992 foi instalado o último gerador da C.F.1 e em março de 1999, com a conclusão da Linha de Transmissão Norte-Sul, a UHE Tucuruí passou a integrar o Sistema Interligado Nacional (SIN) e fazer parte da Rede Básica de Energia Elétrica Brasileira. Em 1998 foram iniciadas as obras de ampliação, com a construção da segunda casa de força (C.F.2), concluída em 2007, que adicionou 4.125 MW totalizando 8.370 MW de potência instalada (97,14% da potência instalada da OGH).

A ELN absorveu em 2005 os ativos da UHE Curuá-Una localizada na cidade de Santarém-PA criando a Divisão de Operação e Manutenção da UHE Curuá-Una (OGHC). A potência instalada da UHE Curuá-Una é de 30,3 MW (0,35% da OGH). Em 01/01/

2010 a OGH incorporou ao seu sistema produtivo a UHE Samuel, localizada no município de Candeias do Jamari/RO, com uma capacidade instalada de 216MW (2,51% da OGH).

A OGH atua no ramo de geração de energia elétrica, na condição de concessionária de serviços públicos. Sua competência básica é a disponibilização de capacidade de geração de energia elétrica para o Sistema Interligado Nacional (SIN), por meio da operação e manutenção de Unidades Geradoras Hidráulicas (UGH).

A ELN tem cerca de 9,3% de participação no mercado da energia assegurada do SIN, sede em Brasília/DF, e atua principalmente no Sub-Mercado Norte de Energia. Em 2010, sua receita com a comercialização de energia foi de R\$ 3,67 bilhões, seu quadro próprio de colaboradores totalizava 3.850 empregados, atendendo a 62% da população beneficiada com energia elétrica da Amazônia.

Institucionalmente, a OGH relaciona-se hierarquicamente com a Diretoria de operação - DO, e normativa e operacionalmente, com outras unidades da própria DO e das outras diretorias. No ano de 2011 a OGH respondeu por aproximadamente 95% de toda a geração de energia elétrica da empresa e por 92,8% da receita da ELN com venda de energia.

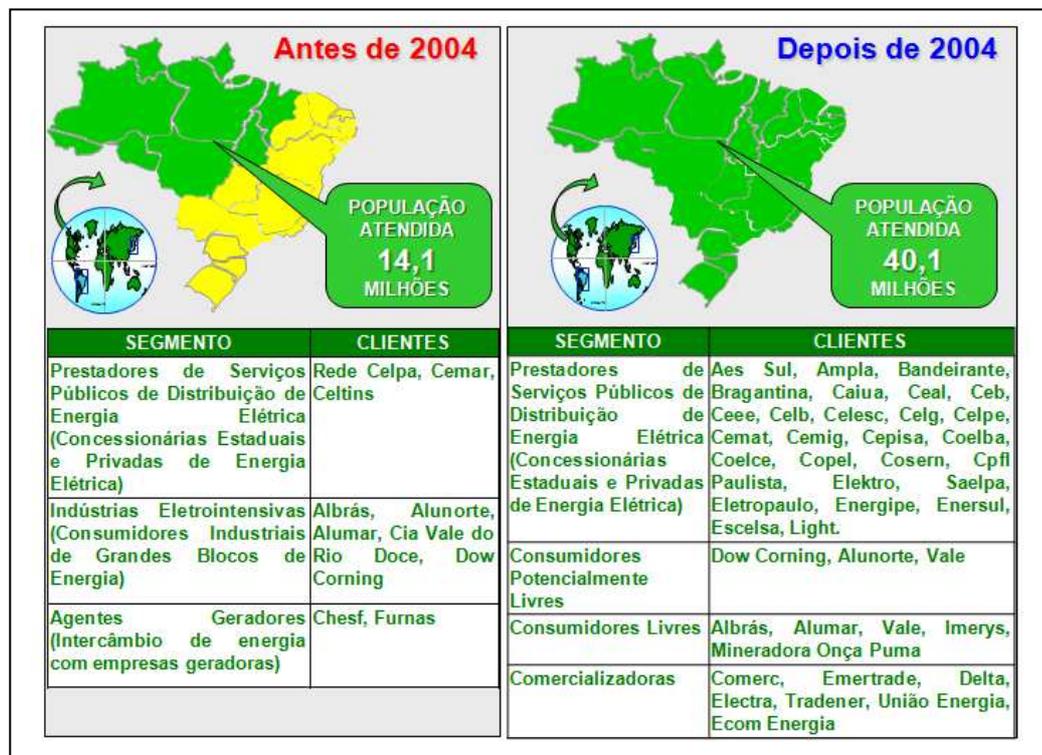
Na figura 13 são mostrados os principais dados da Eletronorte no ano de 2011.

Figura 13 - Dados principais da Eletronorte em 2011.

Fundação	20 de Junho de 1973
Ativo Total	R\$ 20,3 bilhões
Patrimônio Líquido	R\$ 10,2 bilhões
Faturamento Anual	R\$ 5,2 bilhões
Participação no Mercado	10% de Market Share
População Atendida	40 Milhões de Habitantes (22% da População Brasileira)
Área de Atuação	Todo Território Brasileiro
Número de Empregados	3.815

Até 2004, a área de atuação da Eletronorte concentrava-se nos estados da Amazônia legal e após a promulgação da **Lei 10.848 de 15/03/2004, regulamentada pelo Decreto 5.163 de 30/07/2004**, a Eletronorte passou a atuar em todo o Território Brasileiro, comercializando energia para os clientes dos Sistemas Isolado e Interligado. Na imagem 1 destacamos a situação de atendimento da Eletronorte antes da Lei e depois da Lei com seus segmentos e clientes.

Imagem 1 - Área de atuação da ELN ante da Lei 10.848 e após a Lei.



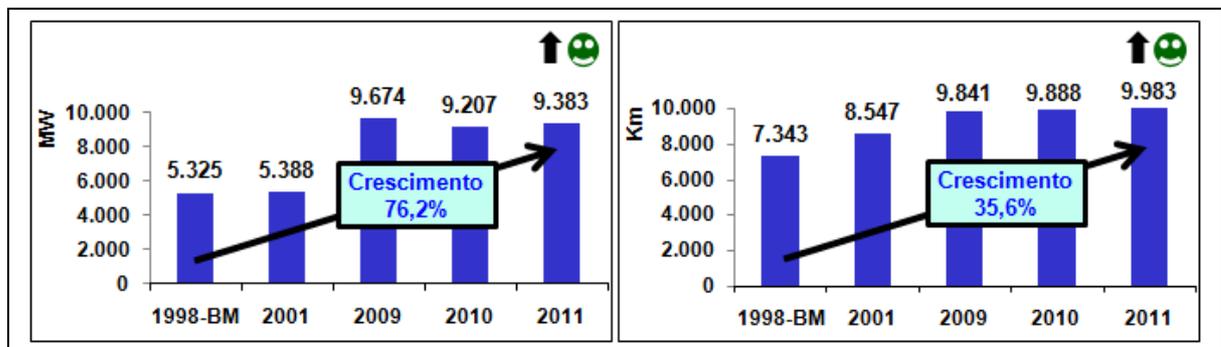
Toda energia elétrica assegurada (energia que a Eletronorte está autorizada a comercializar) da Superintendência de Geração Hidráulica (composta pelas UHE Tucuruí, UHE Curuá-Una e UHE Samuel). Na imagem 2 observa-se um crescimento consistente de 46,9% na energia elétrica (MW médio) contratada, de 210,8% no número de contratos com clientes, de 23,7% no número de clientes e de 105,6% no faturamento da Eletronorte com a comercialização de energia elétrica, no período de 2005 (ano de implantação do novo modelo do Setor elétrico Brasileiro) a 2011. Em 2013, com o término de alguns contratos de venda de energia, a Eletronorte voltará ao mercado de energia elétrica para comercializar a energia das três usinas da Superintendência de Geração Hidráulica do Sistema Interligado Nacional (SIN), imagem 2.

Imagem 2 - Crescimento da demanda de energia elétrica.



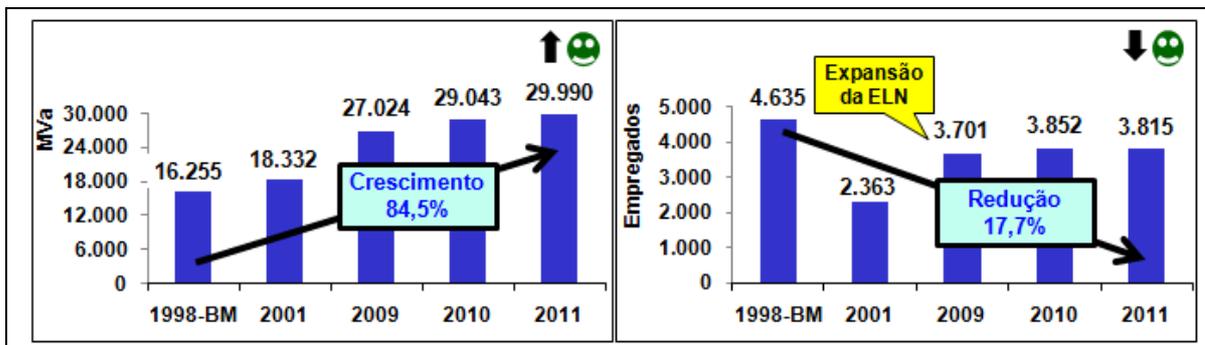
Outro destaque importante é a evolução da capacidade instalada de geração de energia elétrica e a evolução das linhas de transmissão em operação para suporte ao aumento da demanda de energia, mostrado no gráfico 1.

Gráfico 1 - Evolução da geração / Evolução das linhas de transmissão.



Ainda como suporte ao desafio do aumento da demanda, houve a necessidade de aumentar a capacidade instalada de transformação de energia elétrica, com redução da quantidade de Empregados por aposentadorias e incentivos a desligamentos voluntários como forma de contribuir para a redução de custos (gráfico 2).

Gráfico 2 - Evolução de transformação / Redução de empregados.



A Eletrobrás é uma empresa pública do Ministério de Minas e Energia. A Eletronorte é uma Sociedade Anônima de Economia Mista subsidiária da Eletrobrás (Centrais Elétricas Brasileiras S/A) e concessionária de serviços públicos de energia elétrica, sendo constituída por quatro Diretorias: Planejamento e Engenharia; Econômico-Financeira; Gestão Corporativa; e Operação.

A Diretoria de Operação gerencia os negócios de Transmissão e Geração. Dentro do negócio de geração, as Superintendências de Geração Hidráulica (OGH) e de Engenharia da Geração (OEG) gerenciam as plantas do sistema interligado de forma integrada, gerando o conceito de Planta Virtual (**Uma Só Planta; Um Só Modelo de Gestão; e 100% de Participação e Comprometimento**).

A partir de 2003, a Eletronorte iniciou sua participação nas **Sociedades de Propósito Específico (SPE)**. Em 2011 a empresa encontra-se participando de 21 Sociedades de Propósito Específico (SPE), sendo 2 de Construção, 13 de Transmissão e 6 de Geração, com destaque para a SPE Norte Energia (Complexo Belo Monte), no qual a Eletronorte é a maior acionista. A Superintendência de Geração Hidráulica (OGH) está se estruturando para a prestação de Serviços de O&M para o Complexo Belo Monte.

Sociedades de Propósito Específico é um modelo de organização empresarial pelo qual se constitui uma nova empresa limitada ou sociedade anônima com um objetivo específico.

A **SPE** é também chamada de Consórcio Societário devido às suas semelhanças com a tradicional forma de associação denominada Consórcio Contratual. A SPE, por sua vez, é uma sociedade com personalidade jurídica, escrituração contábil própria e demais características comuns às empresas limitadas ou S/As (imagem 3).

Imagem 3 - Estrutura Organizacional da Eletronorte.
Diretoria de Operação e
Superintendências de Geração Hidráulica (OGH) e de Engenharia da Geração (OEG)

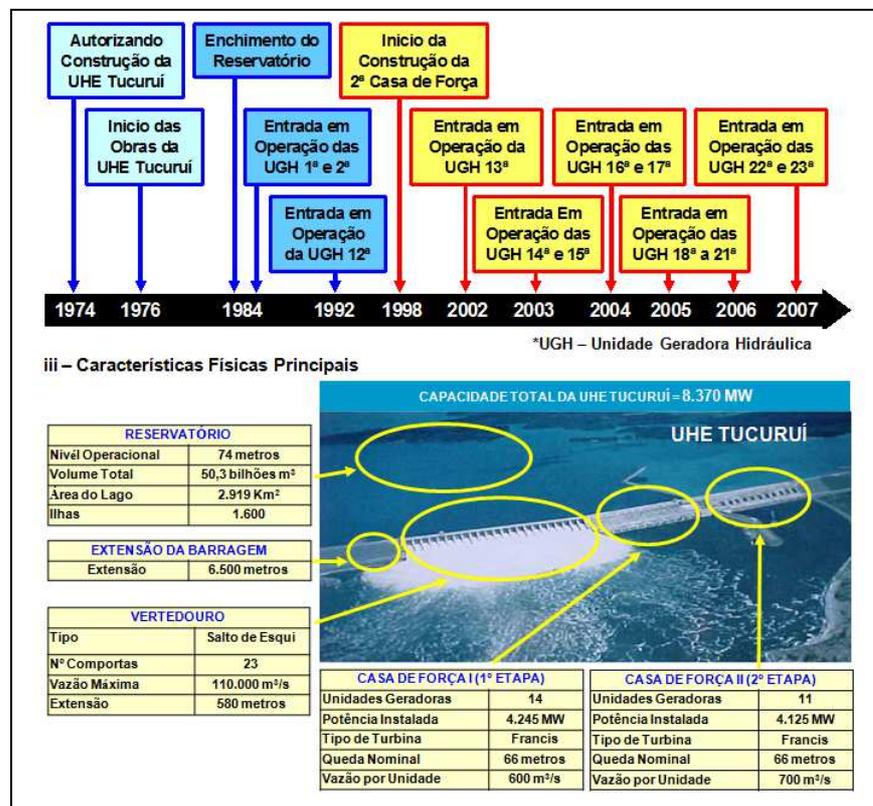


As três usinas possuem uma capacidade instalada de geração de energia elétrica de 8.616,3 MW, faturamento de R\$ 3.767 bilhões e 462 pessoas na força de trabalho (empregados + prestadores de serviço permanente) em 2011. A figura 14 destaca os principais dados de Tucuruí e a imagem 4 as principais características.

Figura 14 - Principais dados da Usina hidrelétrica de Tucuruí em 2011.

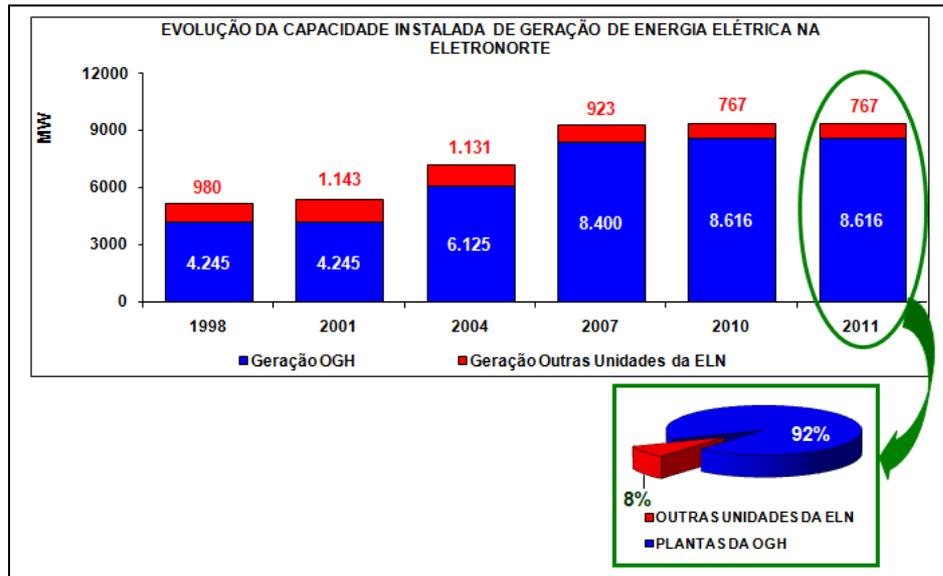
Nome	Usina Hidrelétrica Tucuruí
Localização	Tucuruí - Pará - Brasil
Início de Operação	22 de Novembro de 1984
Capacidade Instalada de Geração	8.370 MW
Faturamento Anual (2011)	R\$ 3,620 bilhões
População Atendida	36 Milhões de Habitantes (19,8% da População Brasileira)
Área de Atuação	Sistema Interligado Brasileiro
Força de Trabalho	363 (256 Empregados e 94 Terceiros)

Imagem 4 - Principais características da usina de Tucuruí desde sua implantação.



Desde 1998 as Plantas da OGH são responsáveis por um percentual significativo da Capacidade Instalada de Geração de Energia Elétrica da Eletronorte. Em 2011 as Plantas da OGH foram responsáveis por 92% da capacidade instalada (gráfico 3).

Gráfico 3 - Aumento da capacidade de geração com as 3 usinas juntas.



3.2- Planejamento estratégico

Mesmo estando distantes geograficamente as Plantas Superintendência de Geração Hidráulica passaram a atuar de forma cada vez mais integrada evoluindo para um “**Planta Virtual**” (imagem 5).

O conceito de “**Planta Virtual**” traz a idéia de que todas as plantas da Superintendência compõem, na verdade, uma grande e Única Planta composta por quatro casas de Força: Casas de Força I e II de Tucuruí e as UHE Curuá-Una e Samuel. Com potencial instalado de 8.616,3 MW esta planta única, está estruturada por um só sistema de gestão e conta com a participação e comprometimento de toda sua força de trabalho.

Imagem 5 - Configuração da usina virtual gerenciada pela OGH.



O foco da gestão da unidade passa a ser mais abrangente, pois evolui da visão de cada uma das plantas de forma segmentada para a Visão da Gestão de todo Processo de Geração interligada da Eletrobras Eletronorte envolvendo as Superintendências de Geração Hidráulica e de Engenharia da Geração.

3.3- Evolução da manutenção (implantação do TPM)

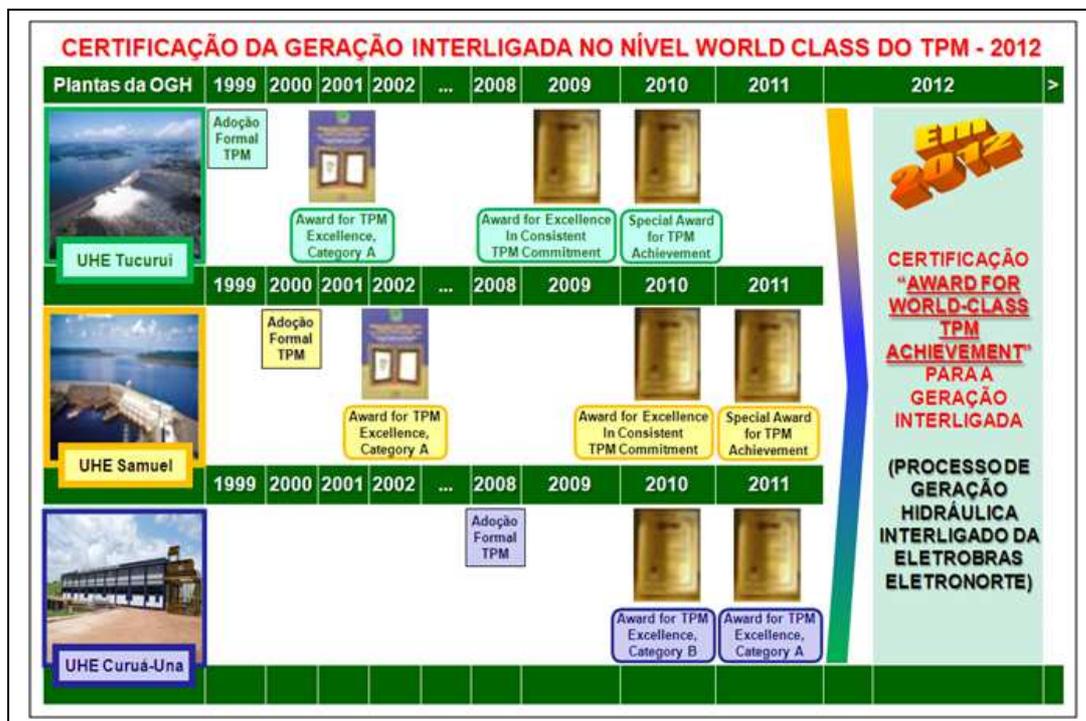
A implantação da Metodologia TPM na OGH tem início em 1997, na planta Tucuruí, sob orientação da consultoria da JIPM, resultando na obtenção do Prêmio Excelência em TPM – Categoria A, em 2001 (imagem 6).

A melhoria de Produtividade, Custos, Qualidade, Disponibilidade, Clima Organizacional e do relacionamento com fornecedores, clientes e sociedade em geral e, principalmente, o bom desempenho constante e crescente alcançado frente aos inúmeros

desafios que se apresentaram desde então motivaram a planta a prosseguir com a Metodologia aprimorando seus processos, alcançando resultado a resultado a excelência almejada, enquanto ancorada a base firme de uma metodologia que se perenizou por se tornar parte integrante de todos os processos, de todas as pessoas.

Então, em 2009, após mais de 10 anos de comprometimento com a metodologia e consistência na evolução dos resultados a UHE Tucuruí recebeu o Prêmio em Comprometimento Consistente em TPM.

Imagem 6 - Evolução da implantação da metodologia do TPM.



Ainda mais fortalecida pela aplicação cada vez mais consistente e abrangente da metodologia, a OGH após integrar as plantas Curuá-Una e Samuel, passa a exercer sobre as outras o papel de planta mãe, inclusive para disseminação da metodologia. Tendo alcançado excelentes resultados pela aplicação disseminada, a OGH vê em 2010 suas plantas, Curuá-Una, Samuel e Tucuruí, receberem as Premiações Excelência B, Comprometimento Consistente e Especial, respectivamente.

Curuá-Una expande a aplicação da metodologia e recebe, em 2010, o Prêmio Excelência A, enquanto Samuel passa a se aprofundar nos conceitos e prática da metodologia

recebendo neste mesmo ano o Prêmio Especial. Evoluem as plantas, evolui a interação entre elas. As experiências passam a ser compartilhadas e mais do que disseminação a palavra de ordem passa a ser integração. As plantas passam a ser vistas como uma única casa de força virtual e o Foco da gestão passa a ser o sistema de Geração Interligada da Eletronorte Eletronorte.

Lançando-se ao novo desafio de consolidar-se como um centro de geração capaz e pronto para atender a novas demandas, refinando seus processos de gestão e elevando-se a um nível superior de aplicação da metodologia, a Superintendência de Geração Hidráulica está, em 2012, de forma inovadora, submetendo a Geração Interligada da Eletronorte ao processo avaliativo visando o *Award for World-class TPM Achievement*.

Conforme determinação do Ministério de Minas e Energia - MME, os Planejamentos Estratégicos de todas as empresas do Sistema Eletronorte deverão ser desdobrados do Plano Estratégico da Holding, visando uma completa integração e alinhamento entre os mesmos, de forma coerente com sua Missão. Assim, foram utilizadas, na elaboração todas as análises e informações do macro ambiente, a identificação e análise das características do setor elétrico brasileiro e suas tendências; a análise do mercado de energia elétrica do Brasil e suas tendências e a análise do ambiente interno da Holding.

Abaixo relacionamos as demandas externas e internas, avaliadas pela Eletronorte para elaboração do seu planejamento estratégico:

DEMANDAS EXTERNAS

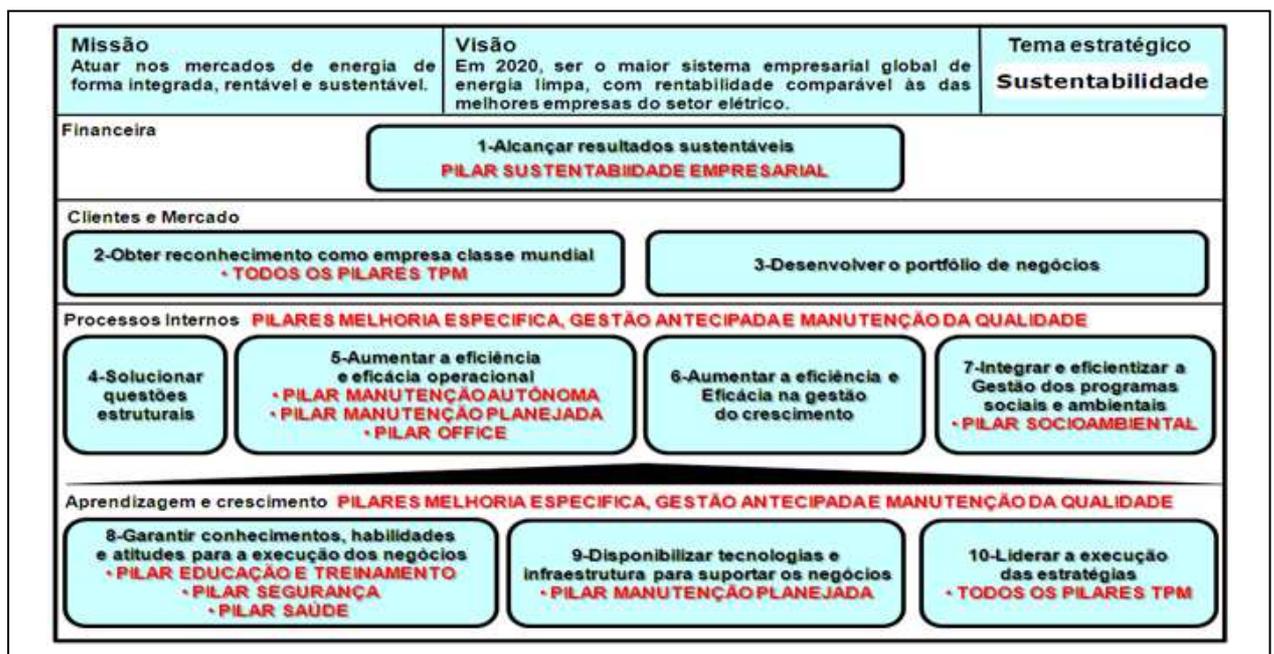
- ✓ Mudança do Governo Federal;
- ✓ Nova Legislação do Setor Elétrico Brasileiro;
- ✓ Controle rigoroso dos órgãos fiscalizadores e reguladores do Setor de Energia;
- ✓ Expansão do mercado de energia elétrica.
- ✓ Maior exigência de qualidade do produto.
- ✓ Crescimento da demanda de energia.
- ✓ Oferta de produtos a preços competitivos.
- ✓ Necessidade de controle e conservação do Meio Ambiente.
- ✓ Necessidade de obter crescimento sustentável

DEMANDAS INTERNAS

- ✓ Reduzir o índice de quebras e falhas em equipamentos;
- ✓ Evitar a degradação física do equipamento;
- ✓ Gestão para elevação da energia assegurada;
- ✓ Melhorar a gestão dos processos internos;
- ✓ Acompanhar Novas Tecnologias;
- ✓ Capacitar novos empregados contratados, a partir de 2004;
- ✓ Certificar os processos internos;
- ✓ Inovar no processo socioambiental;
- ✓ Revisar o Modelo de Gestão.

A partir desta análise foi definida a diretriz básica da OGH, alinhada com a metodologia de se alcançar 6,1% na relação Pessoal, Material, Serviço e outros por Receita Operacional Líquida, por meio do aumento de receita e da redução dos custos com PMSO, com foco nas três dimensões da Sustentabilidade Empresarial – Econômico-Financeira, Social e Ambiental, figura 15.

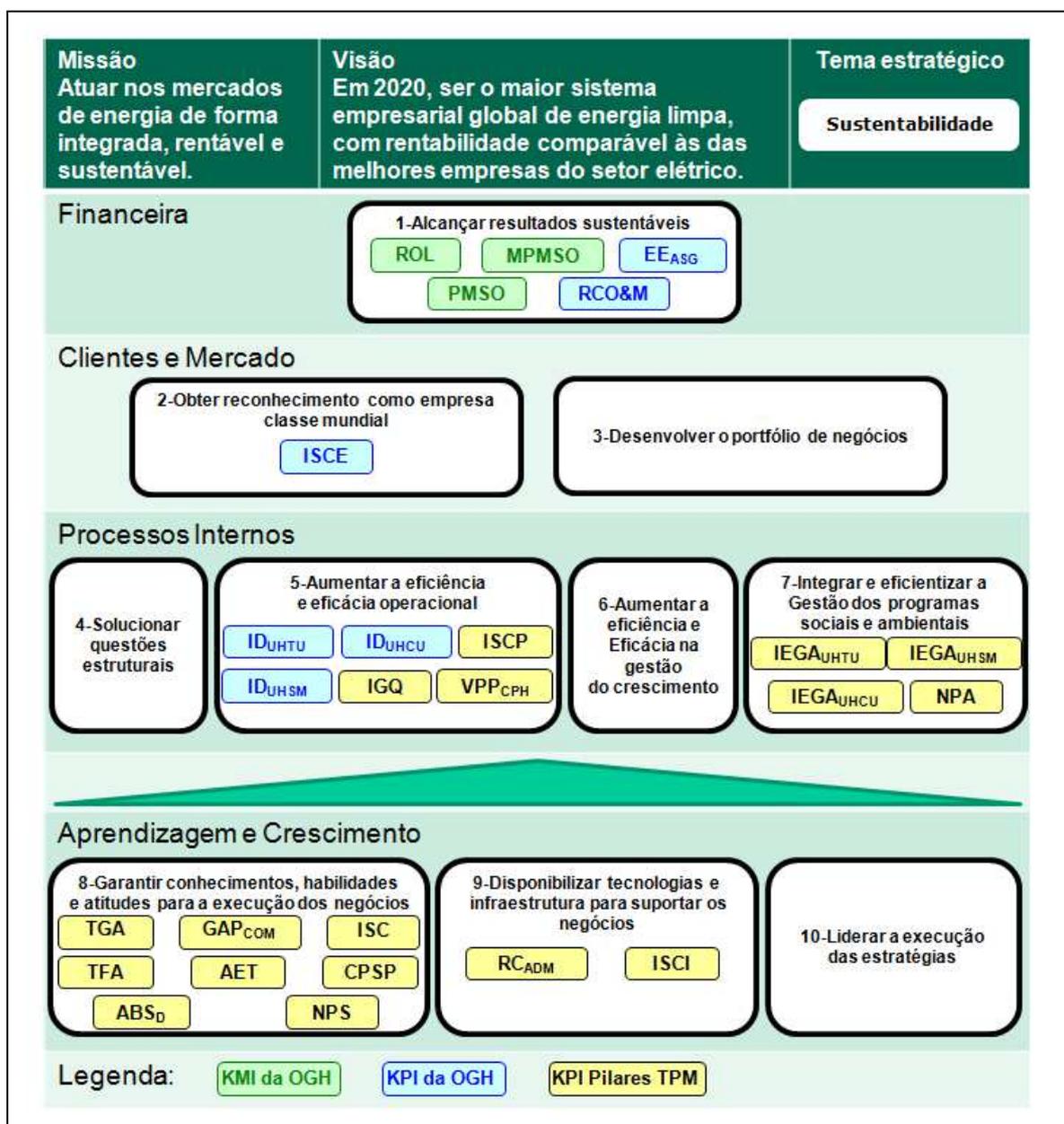
Figura 15 - Mapa estratégico da Eletronorte, alinhado com a metodologia do TPM.



3.4- Controle da manutenção

No Mapa Estratégico apresentado na imagem 7 se demonstra a correlação dos indicadores de Performance (KPI) dos Pilares TPM, dos indicadores de Performance (KPI) e de Gestão (KMI) da OGH com os Objetivos Estratégicos empresariais. Os Indicadores estão distribuídos segundo o Objetivo Empresarial ao qual mais se relacionam, e pode-se perceber que em todas as dimensões do Mapa (Financeira, Clientes e Mercado, Processos Internos e Aprendizagem e Crescimento) há ações do TPM sendo desenvolvidas e monitoradas.

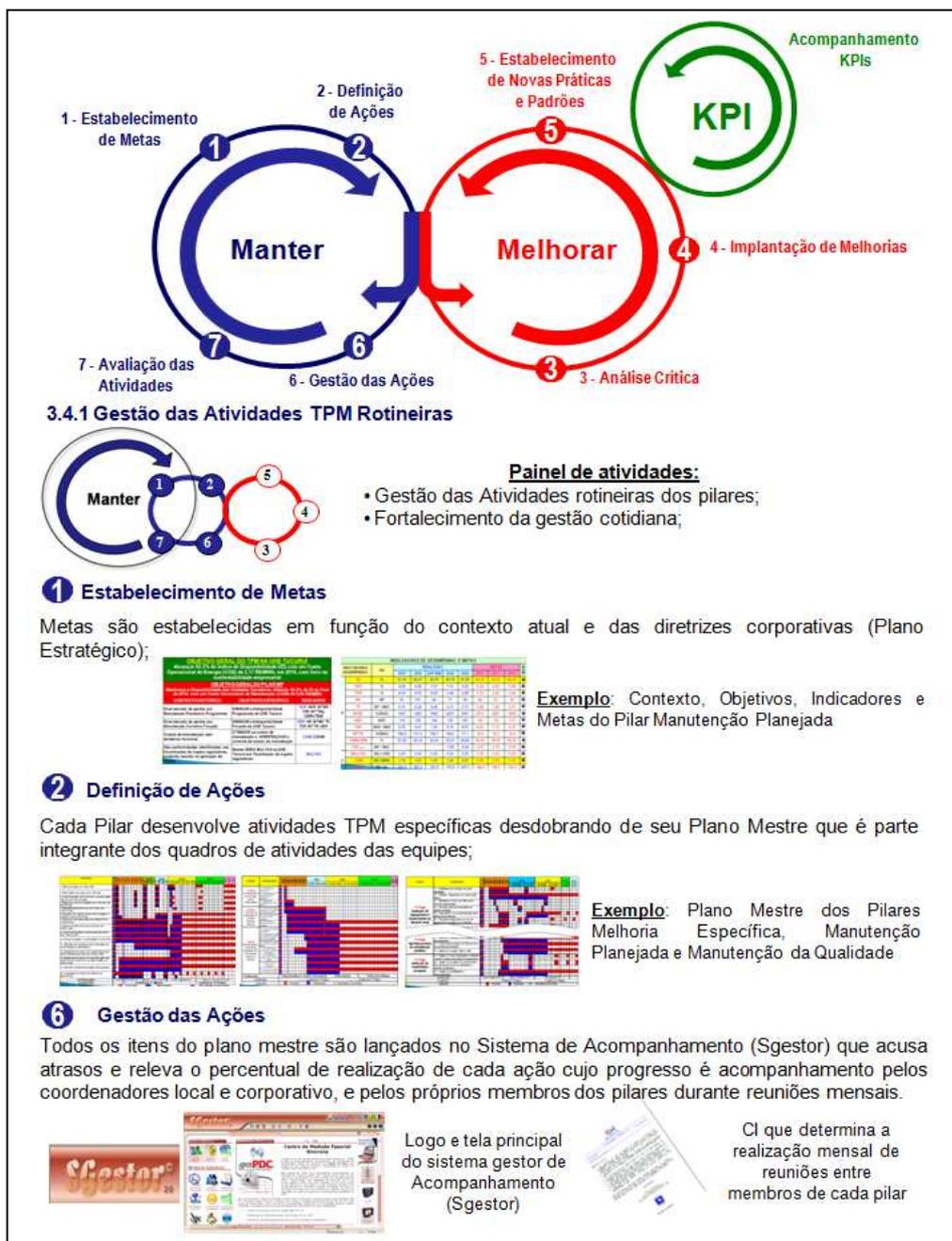
Imagem 7 - Correlação dos indicadores de performance (KPI).



3.5-Aperfeiçoamento da manutenção

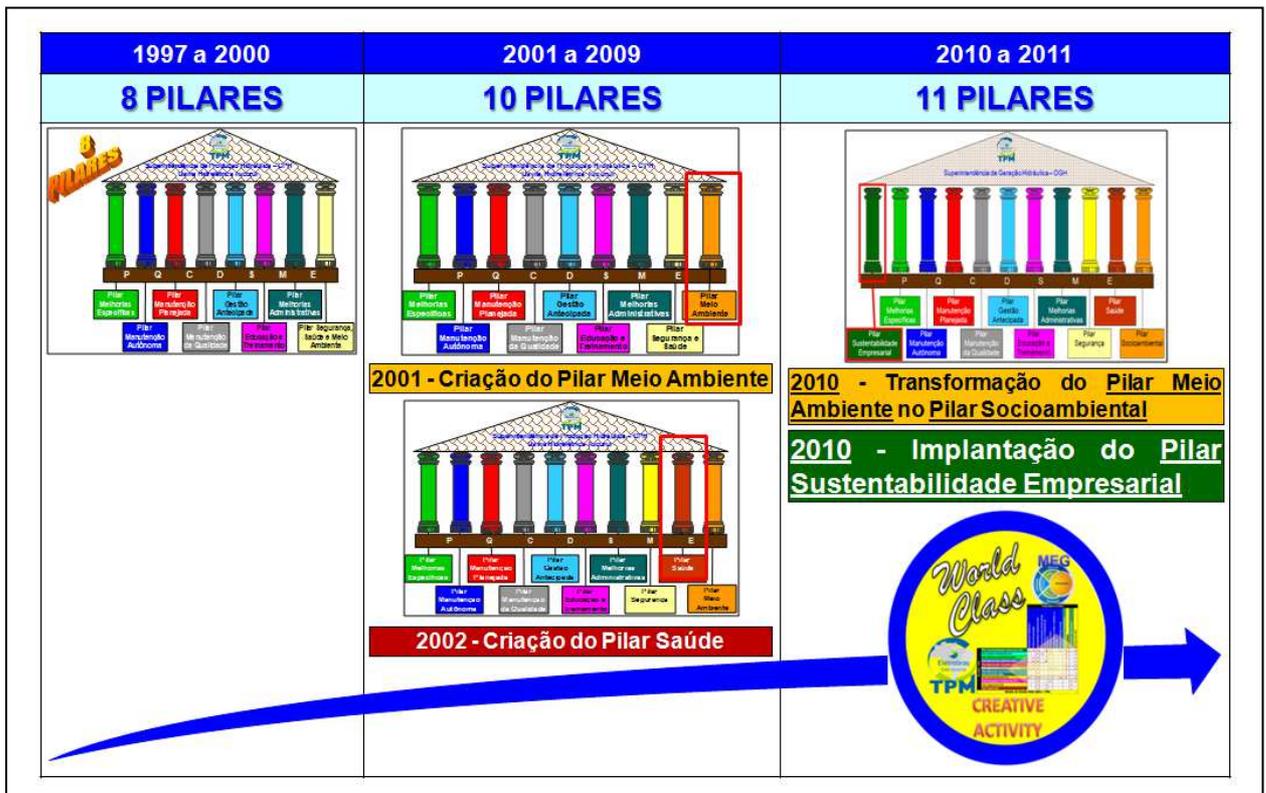
Para o aperfeiçoamento da manutenção a Eletronorte adota a metodologia do loop infinito, estabelecida pela própria empresa, que é uma ferramenta de avaliação constante para a melhoria do processo, baseada no PDCA. Na imagem 8 destacamos os principais pontos que são avaliados nesta etapa.

Imagem 8 - Metodologia do loop infinito da Eletronorte.



Na imagem 9 é demonstrado a evolução da metodologia do TPM com a criação de novos pilares ao longo de sua experiência adquirida e consolidada para melhor gerir a manutenção das 3 usinas hidrelétricas de forma única e criativa.

Imagem 9 - Evolução no aprimoramento da metodologia do TPM.
(Com a criação de novos pilares para gerir a manutenção de forma global)



3.6- Planejamento de falha e defeito zero

Quanto ao planejamento para buscar falha e defeito zero, a manutenção planejada avaliou seu contexto histórico e definiu vários objetivos visando o atingimento da falha zero em várias ações conjuntas (figura 16), estabelecendo ainda indicadores de acompanhamento.

Figura 16 - Mostra o objetivo geral da manutenção planejada para buscar falha zero.

OBJETIVO GERAL DO PILAR		
Eficientizar os processos de manutenção buscando continuamente falha e defeito "zero", contribuindo assim para a Sustentabilidade Empresarial, em especial nas dimensões Financeira e Ambiental.		
CONTEXTO HISTÓRICO	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	INDICADOR
Necessidade de otimizar as Manutenções Baseadas no Tempo (TBM).	Alterar periodicidade das TBM baseando-se no histórico operacional das Unidades Hidrogeradoras.	MTBP
Baixo nível de utilização de manutenção preditiva (CBM).	Expandir o uso da manutenção preditiva (CBM), utilizando as tecnologias de diagnóstico de equipamentos (sistemas de monitoramento).	CBM x TBM
Controle ineficiente dos custos de atividades de Manutenção.	Otimizar Custos e eliminar perdas no processo de Manutenção.	$\frac{\text{Custo}_{PR}}{\text{Custo}_{PP}}$, $\frac{\text{Custo}_{MR}}{\text{Custo}_{MP}}$, $\frac{\text{Custo}_{SR}}{\text{Custo}_{SP}}$, $\frac{\text{Custo}_{OR}}{\text{Custo}_{OP}}$
Sistemática não integrada de Eliminação de Causas das Falhas Inéditas / Reincidentes nas três Unidades Produtivas.	Integrar as práticas de análise e eliminação de falhas e defeitos inéditos e reincidentes.	NDF
Acompanhamento do Desempenho de manutenções executado de forma deficiente nas três Unidades Produtivas (Tempo _p xTempo _r , "retorno vertical", etc).	Sistematização da análise integrada de desempenho da manutenção.	NF, TEIP, hMR/hMP, NF _{PR} / T _{MFR}
Oportunidade de prestação de serviço de O&M .	Maximizar a utilização de recursos criando o Centro de Manutenção da Geração.	R\$ em contratos assinados, MWh/empregados da manutenção

3.7- Implantação da metodologia RCM

O RCM - *Reliability Centred Maintenance* ou Manutenção Centrada em Confiabilidade foi desenvolvido inicialmente para 3 equipamentos pilotos e mais críticos para a função geração da usina hidrelétrica de Tucuruí, sendo eles: Sistema de circulação de óleo do mancal de guia do gerador e da turbina e o sistema de regulação de velocidade.

Neste processo foi usado para determinar o que deve ser feito para assegurar que qualquer os sistemas continuassem a cumprir a sua principal função operacional.

Utilizou sete perguntas sobre cada um dos itens sob revisão ou sob análise crítica, como a seguir:

- Quais são as funções e padrões de desempenho de um ativo no seu contexto presente de operação?
- De que modo ele falha em cumprir suas funções?

- O que causa cada falha funcional?
- O que acontece quando ocorre cada falha?
- De que forma cada falha importa?
- O que pode ser feito para predizer ou prevenir cada falha?
- O que deve ser feito se não for encontrada uma tarefa pró-ativa?

Na imagem 10 está demonstrado às principais etapas e documental gerada na implantação do RCM no sistema de circulação de óleo do mancal de guia do gerador.

Imagem 10 - RCM no sistema de circulação de óleo do mancal de guia do gerador.



A aplicação do RCM nos mais variados setores industriais tem demonstrado claramente os grandes benefícios em relação às técnicas tradicionais. Alguns fatores em que o RCM obtém ganhos significativos são (MOUBRAY, 2000):

- Maior disponibilidade e confiabilidade
- Maior segurança

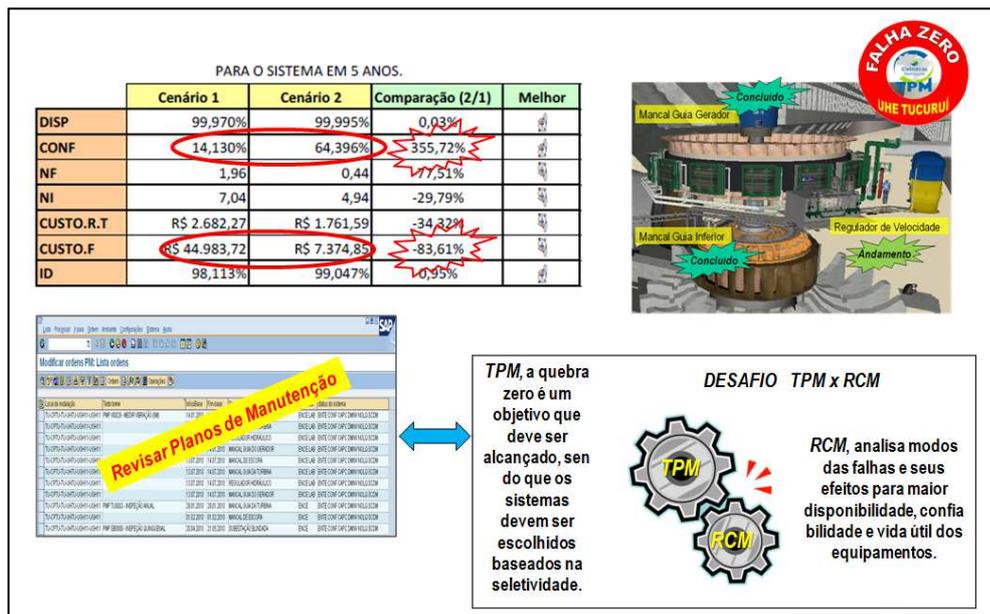
- Melhor qualidade dos produtos
- Ausência de danos ao meio ambiente
- Maior vida útil dos equipamentos
- Maior custo-eficácia

Segundo Moubray (2000), a aplicação do RCM promove o aprimoramento do desempenho operacional, pela adoção da política de manutenção mais eficaz para cada equipamento, com uma redução estimada de 40 % a 70% das tarefas programadas e de 10% a 30% nos trabalhos emergenciais.

Na imagem 11, observamos que a equipe de implantação do RCM na OGH, obteve um aumento de confiabilidade de 355% do equipamento e uma redução dos custos de 83%, estando destes 2010 sem falha.

Outro item observado é o desafio que a equipe está tendo na definição quanto à quebra zero do TPM e zero falha do RCM. Observamos que os equipamentos que possuem redundância de componentes ficam fácil este entendimento, onde não possuem a equipe precisa definir muito claramente os modos e efeitos da falha para permitir identificar os componentes mais críticos que precisam ter seus sobressalentes prontos para substituição.

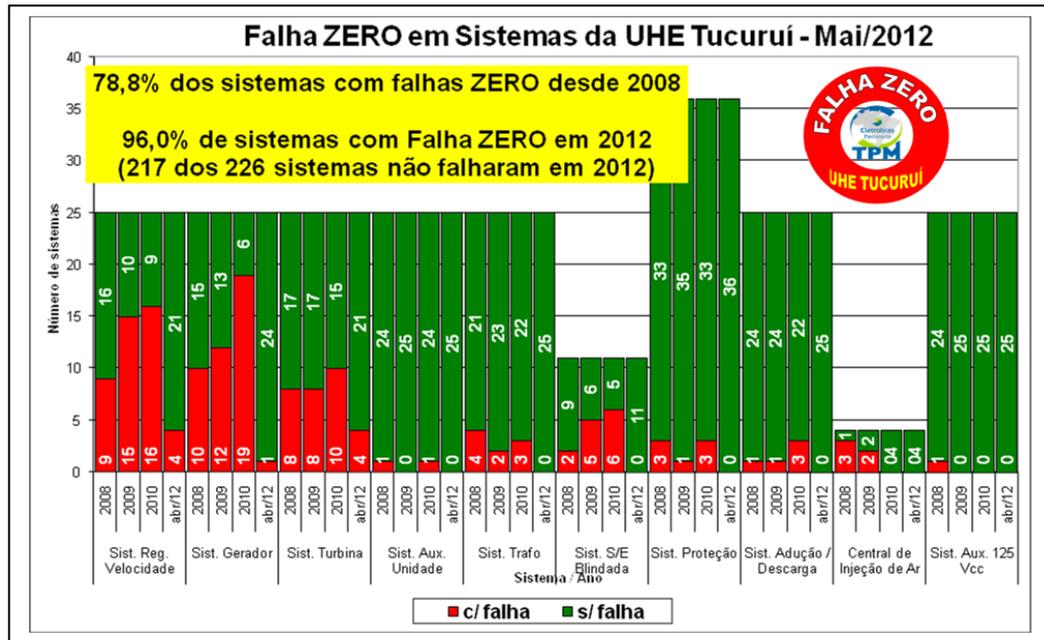
Imagem 11 - Aumento da disponibilidade e redução do custo com a implantação do RCM.



3.8- Resultados

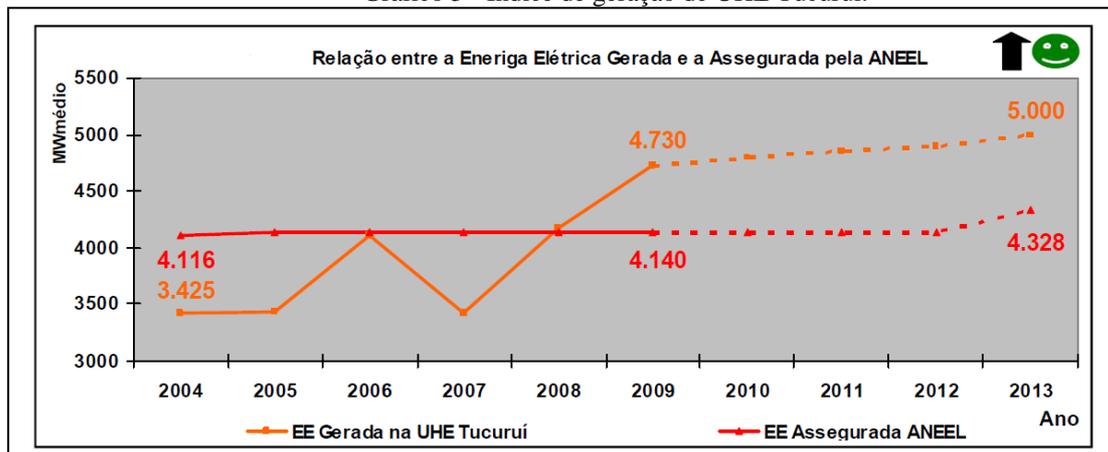
A seguir seguem os gráficos mostrando os principais resultados da empresa com a aplicação do planejamento da manutenção planejada.

Gráfico 4 - Gráfico com a evolução de falhas zero nos principais equipamentos.



No gráfico 5, observa-se que a geração de energia elétrica média da UHE Tucuruí tem-se mantido acima da energia assegurada, no período de 2008 a 2009. e que a meta para 2013 é de 5.000 MW médio. Com este planejamento a diretoria da Eletronorte propos junto a ANEEL, um aumento do valor da sua energia assegurada para 4.328 MW médio.

Gráfico 5 - Índice de geração de UHE Tucuruí.



No gráfico 6, que correlaciona a evolução do Índice de Disponibilidade (ID) com a Energia Assegurada da UHE Tucuruí, verifica-se que o aumento consistente do ID no período de 2004 a 2013 suporta o aumento da Energia Assegurada no mesmo período, propiciando a empresa a possibilidade de comercialização de 4.328 MW médio, em 2013, o que representa um acréscimo de 188 MW médio na energia assegurada atual, propiciando um receita adicional de R\$ 188 milhões por ano.

Gráfico 6 - Evolução da disponibilidade de energia assegura de UHE Tucuruí.

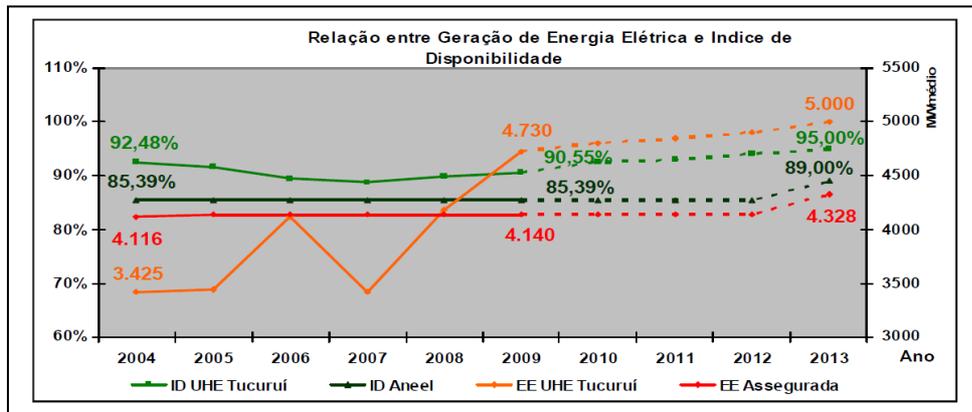


Gráfico 7 - Índice de indisponibilidade forçada com destaque para falhas inéditas.

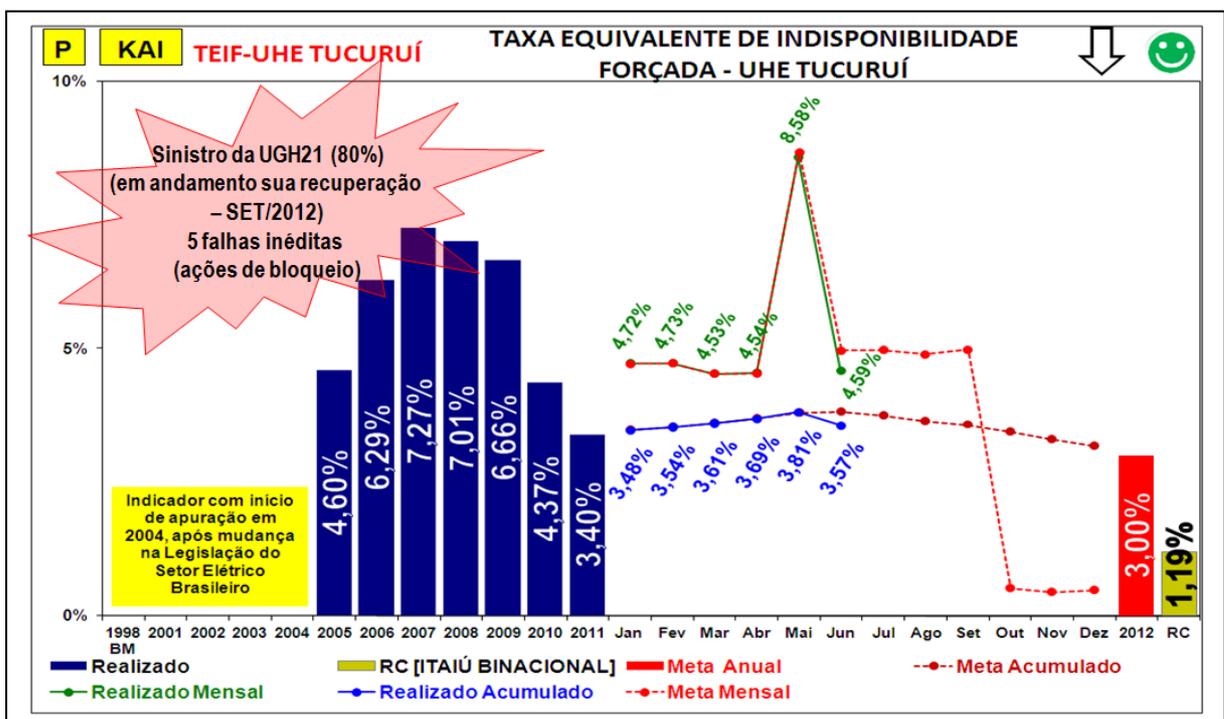


Gráfico 8 - Índice de indisponibilidade programada que se mantém dentro do previsto.

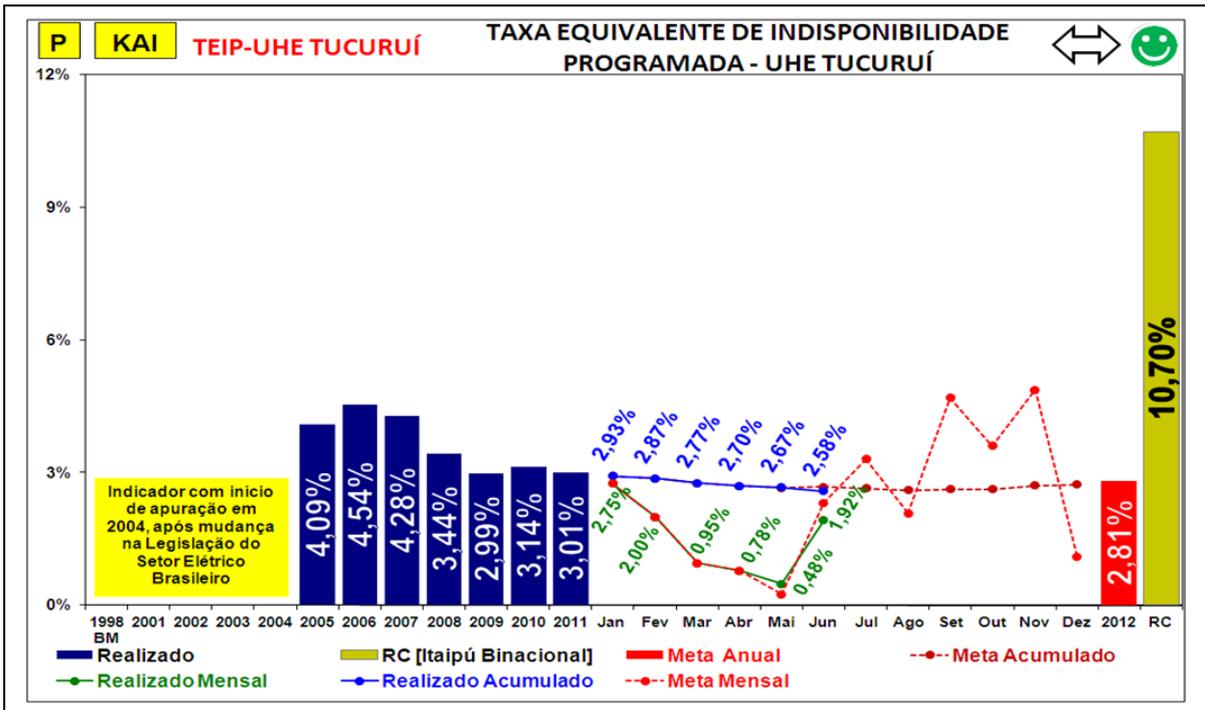


Gráfico 9 - Índice de satisfação dos clientes externos em evolução constante.

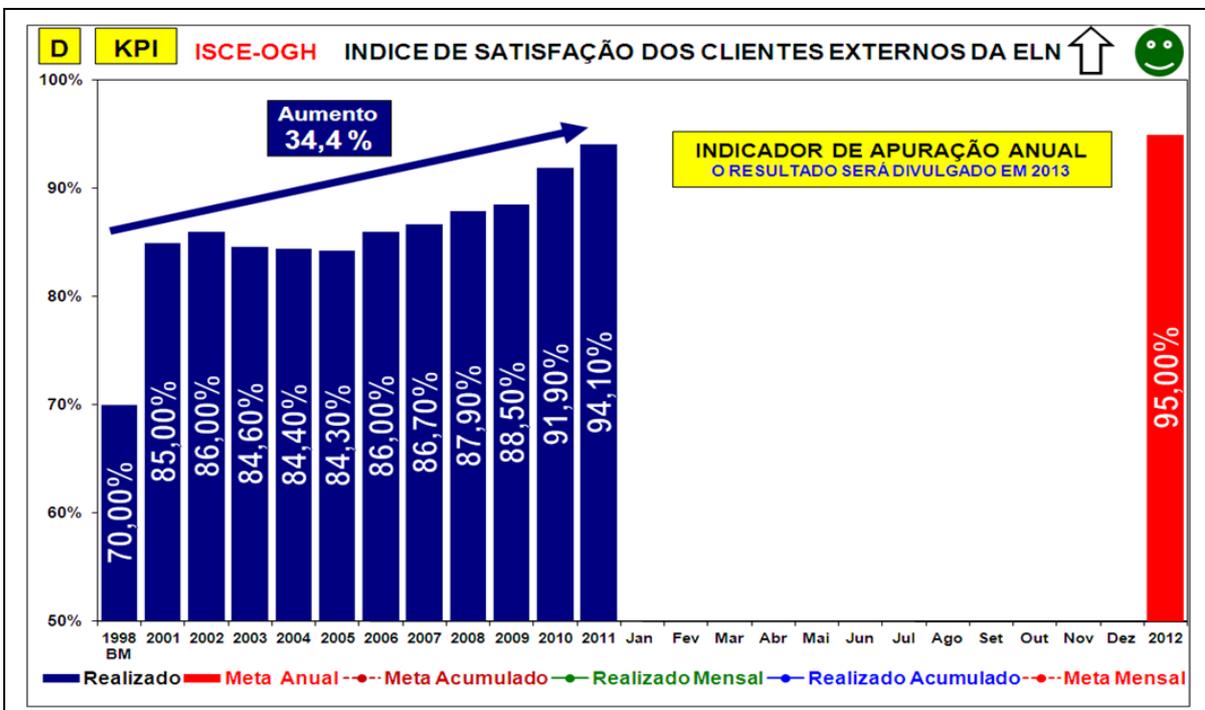


Gráfico 10 - Índice de Tempo Médio de Reparo.

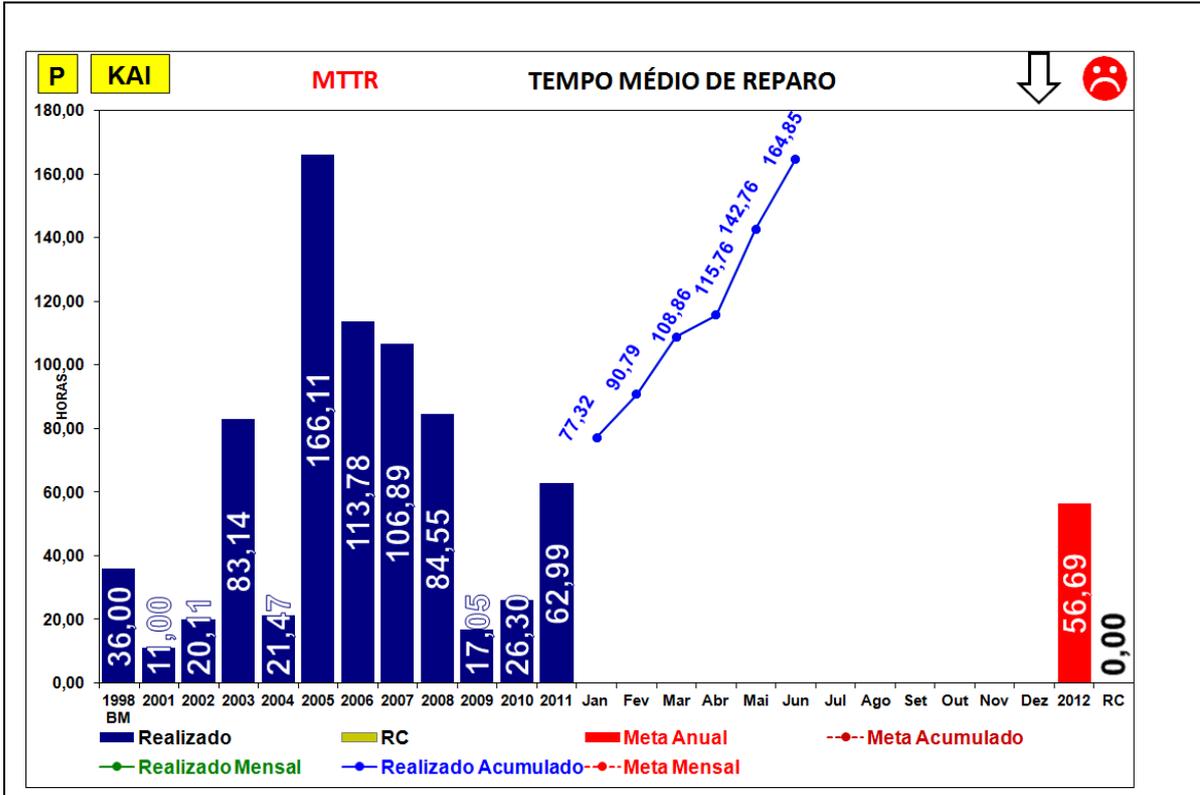
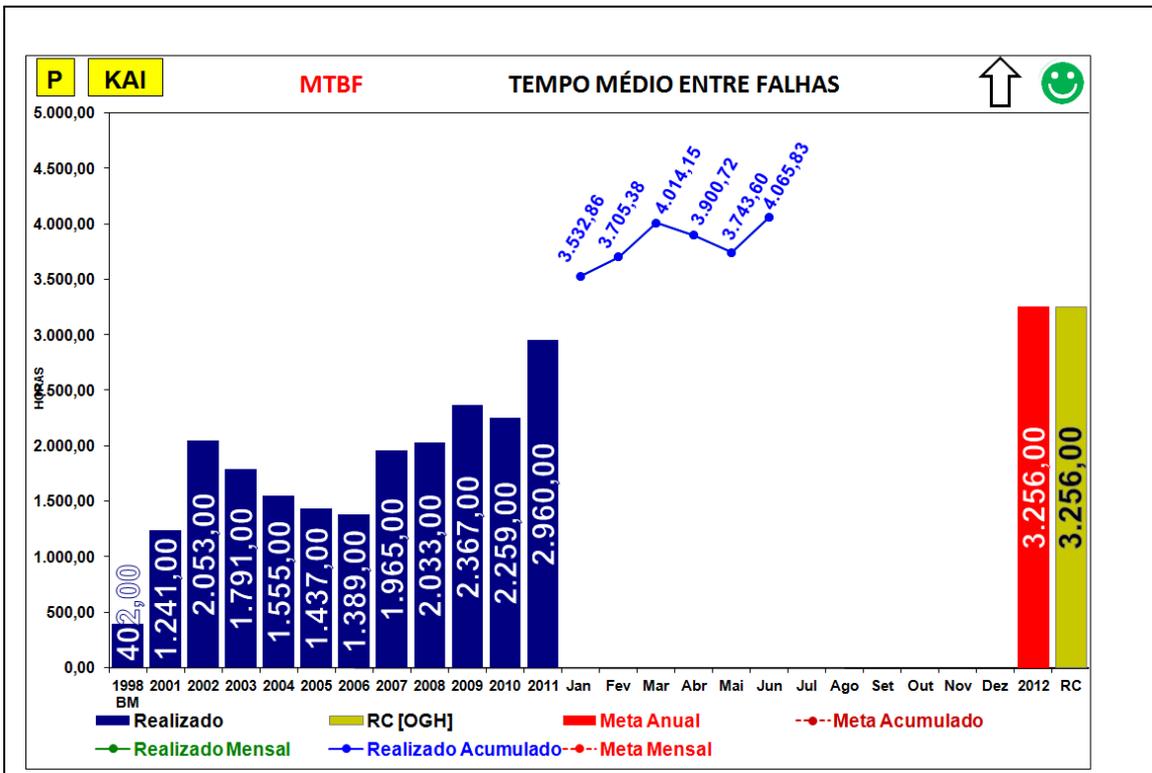


Gráfico 11 - Índice de Tempo Médio entre Falhas.



3.9- Análise dos dados

O plano de manutenção preventiva atual foi montado a partir do histórico dos equipamentos e pela experiência dos especialistas. Observamos que a ênfase atual da manutenção é direcionada à preservação do componente físico. Na implantação do RCM o foco foi preservar a função crítica do sistema, conduzindo a uma quantidade maior de tarefas de manutenção em comparação com aquelas efetuadas pelo plano de manutenção anterior. Essas tarefas são pró-ativas e não aumentaram o custo de manutenção, pois grande parte são rotinas de inspeção.

No plano de manutenção atual e o plano proposto pelo RCM para os sistemas pilotos notamos que o enfoque da manutenção atual visa substituir componentes físicos, enquanto que a manutenção baseada no RCM visa preservar as condições das funções do sistema. Além da manutenção preventiva, o RCM utiliza outros tipos de manutenção para preservar as funções do sistema, como por exemplo: a manutenção preditiva, de melhorias e opção de operar até a falha.

Além disso, o RCM identificou também potenciais modos de falha que não eram contemplados no plano de manutenção atual. Algumas tarefas indicadas pelo RCM já eram contempladas na manutenção autônoma.

Na implementação piloto realizada no sistema do mancal guia do gerador, verificamos que para as 23 funções avaliadas, foram identificadas 43 falhas funcionais, que indicaram 56 modos de falha. Também foram definidas 84 tarefas de manutenção.

Das 84 tarefas de manutenção propostas, 34 referem-se a modos de falha que não estavam contemplados no plano de manutenção atual. Em três tarefas propostas, definiu-se operar até a falha, e em dois casos, a metodologia proposta pelo RCM não encontrou nenhuma tarefa de manutenção adequada, sugerindo então um reprojeto.

Os resultados da aplicação do RCM, baseados na metodologia, mostrou-se adequados para implementação em um sistema crítico para a geração da unidade geradora de energia elétrica, mesmo limitando-se à definição das tarefas e dos planos de manutenção. A

metodologia também se mostrou eficiente para resgatar e documentar o conhecimento acumulado dos profissionais envolvidos no processo de manutenção.

No TPM não existe um critério ou definição de quais as estratégias de manutenção preventiva devem ser adotadas para cada equipamento ou sistema. Já com a metodologia de RCM analisada neste trabalho, pode-se observar a definição da estratégia mais adequada de maneira lógica e racional, utilizando o conceito da preservação da função do sistema, através do Diagrama de Decisão.

Verificando as definições do TPM e do RCM, pode-se notar uma contradição entre as duas ferramentas no que tange ao seu enfoque principal. Enquanto a TPM visa ações no equipamento, tendo como meta a quebra zero, o RCM visa preservar as funções do sistema, aceitando inclusive a parada corretiva, desde que esta parada tenha um custo-benefício melhor do que as ações para prevenir esta corretiva. Embora exista esta contradição teórica entre as duas metodologias, o RCM, através de critérios de seletividade, analisamos que pode ser usado para definir quais os equipamentos, sistemas ou subsistemas serão alvos de quebra zero. Vale salientar que a cooperação e o trabalho entre a manutenção e a operação são características presentes nas duas metodologias.

4- CONCLUSÕES

Para o combate às causas que impedem a quebra zero devem-se efetuar as seguintes medidas:

- Observar as condições básicas do equipamento: limpeza, lubrificação e aperto, pois as quebras são resultado da degradação decorrente do tempo de uso e da perda gradativa do desempenho sendo que ambos são acelerados devido à desobediência às condições operacionais e às recomendações de manutenção específica. Portanto deve-se sempre verificar a preservação do equipamento, realizar apertos e lubrificações, padronizar ações com auxílio de manuais ou das lições sobre um tema e delinear sua a área de trabalho, separando-a por critério definido.
- Observar as condições de uso do equipamento verificando se ele está operando dentro dos limites projetado e com seus parâmetros operacionais corretos. Deve-se sempre estabelecer os valores limites de carga e capacidade do projeto deixando estes valores bem claro e visíveis para o operador. Ele deve ser bem treinado e possuir manuais ou lições dos métodos de operações a serem realizados.
- Restaurar as condições iniciais de operação do equipamento, pois mesmo que ele trabalhe boas condições básicas e uso corretamente definido, têm-se a sua degradação natural pelo tempo. É importante que se façam um levantamento detalhado dos possíveis pontos de quebra para determinar o tempo de vida útil de cada componente, definindo procedimentos para manutenção, seja ela preventiva ou corretiva, prevendo e descobrindo possíveis as deteriorações e buscar melhorias do equipamento.
- Sanar os pontos falhos do projeto para evitar repetição futura de um mesmo problema, pois existem varias características que, às vezes, não são consideradas no projeto ou por se tratar de variáveis irrelevantes na época da formulação dos mesmos e a ausência de leis severas para as questões ambientais. Outro grande problema do projeto é que, em alguns casos, as máquinas foram desenvolvidas para trabalhar sobre uma determinada condição de trabalho (tempo, umidade e temperatura) e acabam sendo aproveitadas em outros campos de trabalho.

- Incrementar a capacitação técnica para com isso prevenir as falhas humanas. Treinamentos, manuais específicos (para operação e manutenção) e padronização de todas as atividades (operação e manutenção) são os métodos mais eficazes para combater este problema.

As máquinas estão condenadas a um envelhecimento compulsório mais ou menos acelerado. Portanto devem-se buscar meios de reduzir a velocidade de envelhecimento, eliminar as variáveis que provocam o envelhecimento obtendo assim um rejuvenescimento da máquina. Para obter estes resultados é crucial o desenvolvimento de quatro fases. São elas:

- ✓ A aplicação eficaz da manutenção preditiva, ou seja, a substituição do componente o mais próximo possível do término da sua vida útil. Para que isso seja viável é necessário basear-se num consistente banco de dados.
- ✓ Prolongamento da vida útil com manutenções adequadas para atingir a quebra zero e um estudo do equipamento especificando melhor os componentes da máquina bem como buscando novos componentes feitos de novos compostos.
- ✓ Restauração e estudos periódicos de melhoria incorporando com isso não somente o princípio da quebra zero como também o princípio da melhoria contínua.
- ✓ Definição da vida útil do equipamento através de técnicas de diagnósticos e análise de defeitos já ocorridos.

No desenvolvimento deste trabalho, na usina hidrelétrica de Tucuruí, verificou-se que a metodologia RCM para melhorar a manutenção planejada é adequada. A seleção de tarefas de manutenção baseada no Diagrama de Decisão e nos conceitos de cada tipo de manutenção evidenciaram a mudança de cultura da tradicional manutenção preventiva, focada na condição do componente, para a utilização de técnicas rotineiras de inspeção e de preditiva, que conduzem à prevenção e avaliação dos modos de falha. Essa mudança de cultura é fundamental para aperfeiçoar os recursos da manutenção através da política de manter as funções e não mais o item físico.

Outro aspecto importante constatado neste trabalho foi o resgate e preservação do capital intelectual da operação e da manutenção, pois grande parte do conhecimento acumulado pelos profissionais envolvidos aflorou nas reuniões e ficaram registrados na documentação do RCM.

A participação dos operadores e mantenedores envolvidos com esta implantação piloto contribuiu significativamente para um maior comprometimento e motivação do pessoal.

Além disso, comprovou a decisão da empresa na implementação do TPM anteriormente, pois foi constatado um excelente nível de entrosamento entre operadores e mantenedores.

Pode-se verificar que a metodologia aplicada configura-se em uma ferramenta para definição e priorização de peças e equipamentos reservas com boas perspectivas de aplicações práticas adicionais. Com base nos modos de falha, em seus efeitos, e nos planos de manutenção definidos a partir do diagrama de decisão, tem-se uma noção da criticidade e probabilidade da necessidade de peças sobressalentes estratégicas.

Entretanto, verificaram-se, neste trabalho algumas dificuldades, descritas a seguir:

A primeira dificuldade constatada foi à falta de capacitação do pessoal envolvido em relação aos conceitos e definições associados ao RCM. Isso se deve principalmente ao fato do RCM ser uma metodologia recentemente introduzida na usina e ter terminologias específicas à área de confiabilidade.

Outra constatação nesta implantação refere-se à dificuldade de manter o mesmo grupo nas diversas reuniões devido às atividades diárias de trabalho. Isso gera um atraso nas reuniões, despendendo tempo para atualização de informações e até mesmo para uniformização de conceitos e parâmetros.

Mesmo sendo uma implantação piloto, existem várias informações em diferentes tabelas e fases, fazendo com que as reuniões sejam cansativas e impossibilitando reuniões muito longas. A implantação foi realizada em 12 meses, com reuniões semanais de

aproximadamente 2 horas e meia. Assim, sugere-se, para futuras implementações, que a equipe que irá trabalhar na implantação seja fortemente capacitada em RCM.

Durante a etapa Análise de Modos e Efeitos da Falha, foram listados diversos modos de falha que poderiam afetar as funções do sistema. Porém, foi definido que somente os potenciais modos de falha seriam considerados. Uma dificuldade que a equipe encontrou foi para definir o nível de análise. Primeiramente, detalhou-se muito, fazendo com que as análises nas etapas seguintes da implantação se tornassem de difícil solução. Após várias discussões no grupo, foi revista e aplicada a sugestão de Moubray (2000) de que os modos de falha devem ser definidos com suficientes detalhes, para que seja possível selecionar uma adequada política de gerenciamento da falha.

Como sugestões para trabalhos futuros, propõem-se os seguintes temas:

- a) Utilização do método de análise da árvore de falhas como ferramenta de suporte para definição das falhas funcionais dos sistemas a serem priorizadas para a aplicação do RCM;
- b) Desenvolvimento de análise dos custos de manutenção para determinar a eficácia do RCM e;
- c) Desenvolvimento de análise para determinação de peças de reposição a partir das análises do LEAF- LIFESPAM ESTIMATED ANALYSIS BASED ON FAILURE MECHANISM, para análise do funcionamento dos equipamentos até o nível das suas peças críticas, determinando, por exemplo, qual o tempo de vida útil que lhe resta? Qual a peça que tem o menor tempo de vida útil disponível? Quando vamos fazer a reposição desta peça?

5- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- ABRAMAN. Documento Nacional: **A situação da manutenção no Brasil**. Disponível em: <http://www.abraman.org.br> acessado em Julho de 2012.
- 2- AMENDOLA, L., **Sistemas Balanceados de Indicadores en La Gestión de Activos “Maintenance Scorecard”**, 2005.
- 3- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA – ABNT: NBR5462; **Confiabilidade e Mantenabilidade**, Rio de Janeiro; 1994.
- 4- BANKER, Shailen. **The performance Advantage – Revitalizing the Workplace**. (s.l.): (s.ed.), ago. 1995.
- 5- BERNDT, A. ; COIMBRA, R. (1995). **As organizações como sistemas saudáveis**. *Revista de Administração de Empresas*. São Paulo, FGV.
- 6- BRANCO, Gil Branco Filho. **A Organização, o planejamento e o controle da manutenção**. 1º ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008.
- 7- CAMP, Robert C., **Benchmarking O caminho da Qualidade**, São Paulo, Pioneira, 1993.
- 8- CERTO, S. S.; PETER, J. P. (1993). **Administração estratégica: planejamento e implantação de estratégia**. São Paulo, Makron Books.
- 9- CARSTENS, LUCIANO (2007). **O papel da Gestão da manutenção na Estratégia de Operações**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Católica do Paraná, Curitiba.

- 10- COSER, M. **Indicadores para gestão estratégica: diagnóstico em uma empresa de energia elétrica.** 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2003.
- 11- DAL, Bulent; TUGWELL, Phil; GREATBANKS, Richard. **Overall Equipment Effectiveness as a Measure of Operational Improvement – A Practical Analysis.** MCB University press, 2000.
- 12- DAFT, R. L. (1999). **Administração.** Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos.
- 13- EBELING, Charles. **An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering.** New York: The McGraw-Hill Companies Inc, 1997. 466p.
- 14- FERREIRA, A.A.; REIS, A. C. F.; PEREIRA, M. I. (1997). **Gestão empresarial: de Taylor aos nossos dias: evolução e tendência da moderna administração de empresas.** São Paulo, Pioneira.
- 15- FIGUEIREDO, José Carlos. **O ativo humano na era da globalização.** São Paulo: Negócio, 1999.
- 16- GIL, Antonio Carlos. **Modelos e Técnicas de Pesquisa Social.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2006.
- 17- HOYLAND, Arnljot; RAUSAND, Marvin. **System Reliability Theory, Models and Statistical Methods.** Wiley-Interscience Publication. Holanda: Wiley & Sons INC. 1993.
- 18- KAPLAN, Robert S; NORTON, David P. **A estratégia em ação: Balanced Scorecard.** 7. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1997.
- 19- KONDO, Yoshio. **Motivação Humana – Um fator-chave para o gerenciamento.** AOTS. São Paulo: AOTS, 1991.

- 20- KARDEC, A., NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.
- 21- LAFRARIA, J. R. B. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.
- 22- MANHÃES, Julio César da Silva (2011) **Estruturação da Mudança pela Teoria das Restrições na Implementação do Gerenciamento de Projetos por Corrente Crítica – Estudo de Caso de uma Companhia de Energia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Campos, RJ. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, UENF/CCT/LEPROD, 264 p.
- 23- MENDES, A. L. S. **Gestão do valor nas operações de Manutenção**. 2002. 127f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2002.
- 24- MACHADO, JAIME (2010). **O PCP como fator estratégico de competitividade em uma ferramentaria de precisão: Um estudo de caso**. Dissertação (mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Paulista – UNIP.
- 25- MEGGINSON, L. C.; MOSLEY, D. C.; PIETRI JUNIOR, H. P. (1986). **Administração: conceitos e aplicações**. São Paulo, Harbra Ltda.
- 26- MIRSHAWKA, V. & OLMEDO, N.C. *Manutenção – combate aos custos na não-eficácia – a vez do Brasil*. São Paulo: Editora McGraw-Hill Ltda., 1993.
- 27- MOREIRA, Eduardo, **Proposta de uma sistemática para o alinhamento das ações operacionais aos objetivos estratégicos, em uma gestão orientada por indicadores de desempenho**. 2002. Tese de Doutorado - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.
- 28- MOUBRAY, John. **Manutenção Centrada em Confiabilidade**. São Paulo: Aladon Ltda, 2000.

- 29- MONCHY, F. **A função manutenção – Formação para a gerência da manutenção industrial** – São Paulo: Editora Durban, 1989.
- 30- NAKAJIMA, S. **Introdução ao TPM**, Tradução de Mario Nishimura, IMC Internacional Sistemas Educativos Ltda., São Paulo, 1989.
- 31- OLIVEIRA, Djalma de Pinho Rebouças de, **Planejamento estratégico: conceitos, metodologias e práticas**. 19 ed. São Paulo: Atlas, 2003.
- 32- PALMER, D. **Maintenance Planning and Scheduling Handbook**, MacGraw-Hill, New York, 1999.
- 33- PATTON, Jr, J.D. **Preventive maintenance**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1995.
- 34- PINTO, Alan Kardec; XAVIER, Júlio A. Nascif. **Manutenção: função estratégica**. Ed. 2, Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2003.
- 35- POSSAMAI, Roberto Jose. **A Implantação da Metodologia TPM num Equipamento Piloto na Adria Alimentos do Brasil Ltda**. Porto Alegre: UFRGS, 2002. Dissertação (Mestrado Pós Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.
- 36- SINK D. Scott e TUTTLE, Thomas C., **Planejamento e medição para performance**. Rio de Janeiro, Qualitymark, 1993.
- 37- SCATTOLINI, Renata – **Uso do Balanced Scorecard como Direcionador da Tecnologia da Informação**. 2007. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2007.
- 38- TAVARES, Lourival Augusto. **Excelência na Manutenção: Estratégias, Otimização e gerenciamento**. 2. ed. Casa da Qualidade. Salvador, BH. 1999.

- 39- TAKASHINA, Newton Tadachi; FLORES, Mario Cesar Xavier. **Indicadores da qualidade e do alto desempenho: como estabelecer metas e medir resultados**. Rio de Janeiro, Qualitymark, 1996.
- 40- THOMPSON JR., A. A.; STRICKLAND III, A. J. (2000). **Planejamento Estratégico: elaboração, implementação e execução**. São Paulo, Pioneira.
- 41- TSANG, A. H. C. (1999) – Measuring maintenance performance: a holistic approach. JIPM Vol.19 n.7.
- 42- WYREBSKI, JERZY. **Manutenção Produtiva Total – Um modelo adaptado**. 1997. Dissertação (M.sc.) - UFSC, Florianópolis, 1997.
- 43- XENOS, H. G. P. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. Belo Horizonte. Ed. Desenvolvimento Gerencial, 1998.
- 44- YIN, ROBERT K. **Estudo de Caso – Planejamento e Métodos**. Bookman, 2001.
- 45- ZAIONS, DOUGLAS R. **Manutenção Industrial com Enfoque na Manutenção Centrada em Confiabilidade**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Curso de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

6- ANEXOS

ANEXO A – Cronograma das atividades do projeto

Cronograma																															
Etapas	2010						2011						2012						2013												
	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	6	7	8	9	10	11	12	2	3	4	5	6
Revisão Bibliográfica	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Análise de ferramentas de qualidade	x	x																													
Definição do estudo de caso			x	x																											
Preparação da qualificação					x	x	x	x				x	x	x	x		x														
Apresentação da qualificação																											x				
Ajustes da qualificação																											x	x	x	x	
Pesquisa de campo																															
Coleta de dados																															
Análise e interpretação dos dados																															
Elaboração de pressupostos																															
Redação da dissertação																															
Defesa																															

ANEXO B - Árvore de equipamentos de uma UGH constante do SAP R/3 - PM.

▼	TU-CPTU-TU-UHTU-UGH14-UGH14	UNIDADE GERADORA HIDRÁULICA 14	
▶	10072575	SISTEMA DE ADUÇÃO E DESCARGA	M PA1E
▼	10057896	SISTEMA DA TURBINA	M PA1E
▶	10057899	TURBINA HIDRÁULICA	M F
▶	10057902	MANCAL DE ESCORA	M F
▶	10057903	MANCAL GUIA DA TURBINA	M F
▶	10057904	SISTEMA DE VEDAÇÃO DO EIXO DA TURBINA	M F
▶	10072577	SISTEMA DO DISTRIBUIDOR	M F
▶	10072578	SISTEMA DE ESTABILIZAÇÃO	M F
▼	10072579	SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE	M PA1E
▶	10057905	REGULADOR HIDRÁULICO	M F
▶	10057906	REGULADOR ELETRÔNICO	M F
▼	10057908	SISTEMA DO GERADOR	M PA1E
▶	10057911	GERADOR ELÉTRICO	M F
▶	10057913	CUBICULO DE NEUTRO	M F
▶	10057914	BARRAMENTO DE SAÍDA 13,8 kV	M F
▶	10057917	CUBICULO DE SURTOS	M F
▶	10057919	SISTEMA DE FRENAGEM E LEVANTAMENTO	M F
▶	10057920	MANCAL GUIA DO GERADOR	M F
▶	10057922	ARMARIO DE EXCITAÇÃO	M F
▶	10057924	ARMARIO DO TRANSFORMADOR DE EXCITAÇÃO	M F
▶	10057925	REGULADOR DE TENSÃO	M F
▶	10057952	SISTEMA DE CONTROLE	M PA1E
▶	10057950	SISTEMA DE MEDIÇÃO	M PA1E
▶	10057947	SISTEMA DE PROTEÇÃO	M PA1E
▶	10072574	SISTEMA DE MONITORAÇÃO	M PA1E
▶	10057939	SUBESTAÇÃO BLINDADA	M PA1E
▼	10097481	SISTEMA DO TRANSFORMADOR 500 kV	M PA1E
▶	10057931	TRANSFORMADOR DE POTENCIA 500 kV	M F
▶	10057935	BUCHA TRANSFORMADOR 500 kV FASE V	M F
▶	10057937	BUCHA TRANSFORMADOR 500 kV FASE B	M F
▶	10057938	BUCHA TRANSFORMADOR 500 kV FASE A	M F
▶	10097482	BUCHA TRANSFORMADOR 13.8 kV FASE A	M F
▶	10097483	BUCHA TRANSFORMADOR 13.8 kV FASE B	M F
▶	10097484	BUCHA TRANSFORMADOR 13.8 kV FASE V	M F

ANEXO C - Exemplo do preenchimento da Planilha de Informações do estudo.

PLANILHA DE INFORMAÇÕES RCM II	Empresa	Área	Setor	Realizado	Data	Número	
	Estudo	Código	Referência	Revisado	Data	Situação	
	Eletrobras Eletronorte	CPH	CPHEQ	GT RCM	20/07/2011	1	
	SISTEMA DE CIRCULAÇÃO DE ÓLEO DO MGG	MGG.1	SISTEMA DO GERADOR	P.IGOR	08/08/2011	CONCLUÍDO	
FUNÇÃO		FALHA FUNCIONAL		MODO DE FALHA (Causa da Falha)		EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha)	
1	CIRCULAR ÓLEO A UMA PRESSÃO DE 320 kPa, VAZÃO DE 9 m ³ /h, TEMPERATURA DE 40°C, ISENTO DE PARTÍCULAS MAIORES QUE 100 microns E VISCOSIDADE 0,05 N.s/m ²	A	NÃO CIRCULAR ÓLEO A UMA PRESSÃO DE 320 kPa, VAZÃO DE 9 m ³ /h, TEMPERATURA DE 40°C, ISENTO DE PARTÍCULAS MAIORES QUE 100 microns E VISCOSIDADE 0,05 N.s/m ²	1	MOTO-BOMBA PARADA	A MOTO-BOMBA EM SERVIÇO PARA, OCORRE UMA SINALIZAÇÃO DE PRESSÃO BAIXA NA SALA DE CONTROLE. A MOTO-BOMBA STAND-BY ENTRA EM OPERAÇÃO AUTOMATICAMENTE. TEMPO DE REPARO SERÁ 48 HORAS.	
1	CIRCULAR ÓLEO A UMA PRESSÃO DE 320 kPa, VAZÃO DE 9 m ³ /h, TEMPERATURA DE 40°C, ISENTO DE PARTÍCULAS MAIORES QUE 100 microns E VISCOSIDADE 0,05 N.s/m ²	A	NÃO CIRCULAR ÓLEO A UMA PRESSÃO DE 320 kPa, VAZÃO DE 9 m ³ /h, TEMPERATURA DE 40°C, ISENTO DE PARTÍCULAS MAIORES QUE 100 microns E VISCOSIDADE 0,05 N.s/m ²	2	FILTRO OBSTRUÍDO	OCORRE UMA SINALIZAÇÃO DO DIFERENCIAL DE PRESSÃO NA SALA DE CONTROLE. A EQUIPE DE OPERAÇÃO COMUTA PARA O FILTRO STAND-BY. TEMPO DE REPARO SERÁ 2 HORAS.	
1	CIRCULAR ÓLEO A UMA PRESSÃO DE 320 kPa, VAZÃO DE 9 m ³ /h, TEMPERATURA DE 40°C, ISENTO DE PARTÍCULAS MAIORES QUE 100 microns E VISCOSIDADE 0,05 N.s/m ²	A	NÃO CIRCULAR ÓLEO A UMA PRESSÃO DE 320 kPa, VAZÃO DE 9 m ³ /h, TEMPERATURA DE 40°C, ISENTO DE PARTÍCULAS MAIORES QUE 100 microns E VISCOSIDADE 0,05 N.s/m ²	3	TROCADOR DE CALOR ROMPIDO	OCORREM SINALIZAÇÃO DE BAIXO FLUXO, NÍVEL BAIXO DE ÓLEO, AUMENTO DA TEMPERATURA DO METAL. A EQUIPE DE OPERAÇÃO COMUTA PARA O TROCADOR DE CALOR STAND-BY. TEMPO DE REPARO SERÁ DE 120 HORAS.	
1	CIRCULAR ÓLEO A UMA PRESSÃO DE 320 kPa, VAZÃO DE 9 m ³ /h, TEMPERATURA DE 40°C, ISENTO DE PARTÍCULAS MAIORES QUE 100 microns E VISCOSIDADE 0,05 N.s/m ²	A	NÃO CIRCULAR ÓLEO A UMA PRESSÃO DE 320 kPa, VAZÃO DE 9 m ³ /h, TEMPERATURA DE 40°C, ISENTO DE PARTÍCULAS MAIORES QUE 100 microns E VISCOSIDADE 0,05 N.s/m ²	4	VÁLVULA PRV-14004G TRAVADA ABERTA	OCORRE SINALIZAÇÃO DE BAIXO FLUXO E AUMENTO DA TEMPERATURA DO METAL/ÓLEO. TEMPO DE REPARO SERÁ DE 6 HORAS E O TEMPO DE INDISPONIBILIDADE DE 6 HORAS.	

ANEXO D - Resumo dos tipos de atividades de manutenção.

Tarefa Proposta	Total	Percentual
Tarefa sob condição	16	19,28%
Tarefa programada de substituição	2	2,41%
Tarefa programada de recuperação	3	3,61%
Tarefa programada de busca de falha	14	16,87%
Nenhuma manutenção programada	29	34,94%
Reprojeto compulsório	3	3,61%
Reprojeto justificado	5	6,02%
(vazio)	11	13,25%
Total geral	83	100,00%

ANEXO E - Resumo das funções do sistema levantadas que auxilia numa futura especificação técnica para sistemas semelhantes.

FUNÇÃO – 23 FUNÇÕES LEVANTADAS
CIRCULAR ÓLEO A UMA PRESSÃO DE 320 kPa, VAZÃO DE 9 m ³ /h, TEMPERATURA DE 40°C, ISENTOS DE PARTÍCULAS MAIORES QUE 100 microns E VISCOSIDADE 0,05 N.s/m ²
CIRCULAR O ÓLEO DENTRO DOS PADRÕES ESPECIFICADOS EM CASO DE FALHA DA TROCADOR DE CALOR EM SERVIÇO
CIRCULAR O ÓLEO DENTRO DOS PADRÕES ESPECIFICADOS EM CASO DE FALHA DA MOTO-BOMBA EM SERVIÇO
CIRCULAR O ÓLEO DENTRO DOS PADRÕES ESPECIFICADOS EM CASO DE FALHA DA FILTRO EM SERVIÇO
CONTER TODO ÓLEO NO INTERIOR DO SISTEMA
ALARMAR SE A PRESSÃO DE ÓLEO FICAR ABAIXO DE 100 kPa
ALARMAR SE A PRESSÃO DE ÓLEO ULTRAPASSAR 600 kPa
ALARMAR SE A PRESSÃO DIFERENCIAL NO FILTRO EM SERVIÇO FOR MAIOR QUE 30 kPa
ALIVIAR A PRESSÃO EM CASO DE ELEVAÇÃO ACIMA DE 10% DO AJUSTE DO PRESSOSTATO DE PRESSÃO ALTA (660 kPa)
DESLIGAR A UNIDADE EM CASO DA TEMPERATURA DO METAL ACIMA DE 70°C.
DESLIGAR A UNIDADE EM CASO DE FLUXO ABAIXO DE 9 m ³ /h.
DIRECIONAR VAZAMENTOS EXCESSIVOS DE ÓLEO PARA O SISTEMA DE CAPTAÇÃO E SEPARAÇÃO
MANTER A LIMPEZA E CONSERVAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS NO SKID
ALARMAR EM CASO DE NÍVEL ALTO (NA mm) DE ÓLEO NA CUBA
ALARMAR EM CASO DE NÍVEL BAIXO (NB mm) DE ÓLEO NA CUBA
DESLIGAR A UNIDADE EM CASO DA TEMPERATURA DO ÓLEO ACIMA DE 60°C.
DESLIGAR EM CASO DE NÍVEL MUITO BAIXO (NMB mm) DE ÓLEO NA CUBA
EVITAR CHOQUE ELÉTRICO EM CASO DE ENERGIZAÇÃO DAS PARTES METÁLICAS
INDICAR VISUALMENTE PRESSÕES NOS TRECHOS DO SISTEMA
INDICAR VISUALMENTE QUE CONJUNTO MOTO-BOMBA ESTÁ EM SERVIÇO
INDICAR VISUALMENTE TEMPERATURAS NOS TRECHOS DO SISTEMA
MANTER O INTERIOR DO PAINEL ELÉTRICO COM BAIXA UMIDADE
MANTER O RUÍDO DO SISTEMA ABAIXO DE 79 dB A DISTÂNCIA DE 1 m.

ANEXO F - As falhas funcionais aqui descritas se referem tanto às falhas totais, quanto às parciais.

FALHA FUNCIONAL – 36 FALHAS FUNCIONAIS LEVANTADAS
NÃO CIRCULAR ÓLEO A UMA PRESSÃO DE 320 kPa, VAZÃO DE 9 m ³ /h, TEMPERATURA DE 40°C, ISENTO DE PARTÍCULAS MAIORES QUE 100 microns E VISCOSIDADE 0,05 N.s/m ²
CIRCULAR ÓLEO A UMA PRESSÃO INFERIOR A 320 kPa
CIRCULAR ÓLEO A UMA VAZÃO INFERIOR DE 9 m ³ /h
CIRCULAR O ÓLEO FORA DOS PADRÕES ESPECIFICADOS EM CASO DE FALHA DA TROCADOR DE CALOR EM SERVIÇO
NÃO CONTER TODO ÓLEO NO INTERIOR DO SISTEMA
NÃO CIRCULAR O ÓLEO DENTRO DOS PADRÕES ESPECIFICADOS EM CASO DE FALHA DA TROCADOR DE CALOR EM SERVIÇO
CIRCULAR O ÓLEO FORA DOS PADRÕES ESPECIFICADOS EM CASO DE FALHA DA MOTO-BOMBA EM SERVIÇO
CIRCULAR ÓLEO A UMA TEMPERATURA SUPERIOR A 40°C
NÃO CIRCULAR O ÓLEO DENTRO DOS PADRÕES ESPECIFICADOS EM CASO DE FALHA DA FILTRO EM SERVIÇO
CIRCULAR ÓLEO COM PARTÍCULAS MAIORES QUE 100 microns.
CIRCULAR ÓLEO COM VISCOSIDADE ABAIXO DE 0,05 N.s/m ²
NÃO ALARMAR SE A PRESSÃO DIFERENCIAL NO FILTRO EM SERVIÇO FOR MAIOR QUE 30 kPa
NÃO CIRCULAR O ÓLEO DENTRO DOS PADRÕES ESPECIFICADOS EM CASO DE FALHA DA MOTO-BOMBA EM SERVIÇO
NÃO DESLIGAR A UNIDADE EM CASO DA TEMPERATURA DO METAL ACIMA DE 70°C.
NÃO MANTER A LIMPEZA E CONSERVAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS NO SKID
ALARMAR SE A PRESSÃO DE ÓLEO FOR MAIOR QUE 100 kPa
ALARMAR SE A PRESSÃO DE ÓLEO FOR MENOR QUE 800 kPa
ALIVIAR A PRESSÃO EM CASO DE ELEVAÇÃO ABAIXO DE 10% DO AJUSTE DO PRESSOSTATO DE PRESSÃO ALTA (860 kPa)
CIRCULAR ÓLEO COM VISCOSIDADE ACIMA DE 0,05 N.s/m ²
DESLIGAR A UNIDADE EM CASO DE FLUXO ACIMA DE 9 m ³ /h.
INDICAR VISUALMENTE PRESSÕES NOS TRECHOS DO SISTEMA
INDICAR VISUALMENTE TEMPERATURAS NOS TRECHOS DO SISTEMA
NÃO ALARMAR EM CASO DE NÍVEL ALTO (NA mm) DE ÓLEO NA CUBA
NÃO ALARMAR EM CASO DE NÍVEL BAIXO (NB mm) DE ÓLEO NA CUBA
NÃO ALARMAR SE A PRESSÃO DE ÓLEO FICAR ABAIXO 100 kPa
NÃO ALARMAR SE A PRESSÃO DE ÓLEO ULTRAPASSAR 800 kPa
NÃO ALIVIAR A PRESSÃO EM CASO DE ELEVAÇÃO ACIMA DE 10% DO AJUSTE DO PRESSOSTATO DE PRESSÃO ALTA (860 kPa)
NÃO DESLIGAR A UNIDADE EM CASO DA TEMPERATURA DO ÓLEO ACIMA DE 80°C.
NÃO DESLIGAR A UNIDADE EM CASO DE FLUXO ABAIXO DE 9 m ³ /h.
NÃO DESLIGAR EM CASO DE NÍVEL MUITO BAIXO (NMB mm) DE ÓLEO NA CUBA
NÃO DIRECIONAR VAZAMENTOS EXCESSIVOS DE ÓLEO PARA O SISTEMA DE CAPTAÇÃO E SEPARAÇÃO
NÃO DIRECIONAR VAZAMENTOS EXCESSIVOS DE ÓLEO PARA O SISTEMA DE DRENAGEM
NÃO EVITAR CHOQUE ELÉTRICO EM CASO DE ENERGIZAÇÃO DAS PARTES METÁLICAS
NÃO INDICAR VISUALMENTE QUE CONJUNTO MOTO-BOMBA ESTÁ EM SERVIÇO
NÃO MANTER O INTERIOR DO PAINEL ELÉTRICO COM BAIXA UMIDADE
NÃO MANTER O RUÍDO DO SISTEMA ABAIXO DE 79 dB A DISTÂNCIA DE 1 m.

ANEXO G - A lista de modos de falha do sistema contempla possíveis causas das falhas funcionais. Alguns modos de falhas podem causar mais de um tipo de falha funcional, o que acarretaria sua repetição no quadro.

MODO DE FALHA (Causa da Falha) – 74 MODOS DE FALHA LEVANTADOS
BOMBA DESGASTADA
CONTAMINAÇÃO POR ÁGUA
FALHA NA ALIMENTAÇÃO VCA
FALHA NA EXECUÇÃO DO PROCEDIMENTO DE MANOBRA
FALHA NO MECANISMO DE MANOBRA PARA O TROCADOR DE CALOR STAND-BY
FILTRO PARCIALMENTE OBSTRUÍDO
PRESENÇA DE AR NO SISTEMA
ROLAMENTO DO MOTOR DESGASTADO
VÁLVULA DE ALÍVIO PRV-14004G DESREGULADA.
VAZAMENTO DE ÓLEO PELA CUBA
ACOPLAMENTO DA MOTO-BOMBA ROMPIDO
ACOPLAMENTO DA MOTO-BOMBA STAND-BY ROMPIDO
BOMBA STAND-BY DESGASTADA
CANALETA OBSTRUÍDA
CIRCUITO DE ÁGUA DO TROCADOR DE CALOR STAND-BY OBSTRUÍDO
CONFIGURAÇÃO INVERTIDA DOS TROCADORES DE CALOR
CONJUNTO MOTO-BOMBA DESGASTADO.
CONTAMINAÇÃO POR PARTICULADO
ELEMENTO FILTRANTE ESPECIFICADO PARA PARTÍCULAS MAIORES QUE 100 microns.
ELEMENTO FILTRANTE ROMPIDO
ELEMENTO FILTRANTE STAND-BY AUSENTE
ELEMENTO FILTRANTE STAND-BY OBSTRUÍDO
FALHA NA ALIMENTAÇÃO VCA E/OU VCC.
FALHA NA ALIMENTAÇÃO VCA NA MOTO-BOMBA STAND-BY
FALHA NA MALHA DE ACIONAMENTO AUTOMÁTICO DA MOTO-BOMBA STAND-BY.
FALHA NA RESISTÊNCIA DE AQUECIMENTO
FALHA NAS LÂMPADAS INDICATIVAS NO PAINEL
FALHA NO CIRCUITO DE ÁGUA DO TROCADOR DE CALOR
FALHA NO COMANDO E CONTROLE
FALHA NO MECANISMO DE COMUTAÇÃO
FILTRO OBSTRUÍDO
GERAÇÃO DE CALOR EXCESSIVA NO MGG
MALHA DE ATERRAMENTO EM ESTADO DE FALHA
MALHA DE CONTROLE DA TEMPERATURA DO METAL EM ESTADO DE FALHA
MALHA DE CONTROLE DA TEMPERATURA DO ÓLEO EM ESTADO DE FALHA
MALHA DE CONTROLE DE NÍVEL ALTO EM ESTADO DE FALHA
MALHA DE CONTROLE DE NÍVEL BAIXO EM ESTADO DE FALHA
MALHA DE CONTROLE DE NÍVEL MUITO BAIXO EM ESTADO DE FALHA
MALHA DE CONTROLE DE PRESSÃO ALTA EM ESTADO DE FALHA
MALHA DE CONTROLE DE PRESSÃO BAIXA DESCALIBRADA
MALHA DE CONTROLE DE PRESSÃO BAIXA EM ESTADO DE FALHA
MALHA DE CONTROLE DE PRESSÃO DESCALIBRADA
MALHA DO DIFERENCIAL DE PRESSÃO EM ESTADO DE FALHA
MALHA DO FLUXOSTATO DESCALIBRADA
MALHA DO FLUXOSTATO EM ESTADO DE FALHA
MALHA DO FLUXOSTATO FSL-14001G ATUADA INDEVIDAMENTE

ANEXO H - Continuação da lista de modos de falha do sistema.

MODO DE FALHA (Causa da Falha) – 74 MODOS DE FALHA LEVANTADOS
MALHA DO NIVOSTATO DE NÍVEL MUITO BAIXO ATUADA INDEVIDAMENTE
MALHA DO TERMOSTASTOS DO METAL ATUADO INDEVIDAMENTE
MALHA DOS TERMOSTASTOS DE ÓLEO ATUADA INDEVIDAMENTE
MANOMETROS DESCALIBRADOS
MONTAGEM INADEQUADA DA Sonda (RTD)
MONTAGEM INVERTIDA DOS CIRCUITOS DE ÓLEO E ÁGUA
MOTO-BOMBA PARADA
ROLAMENTO DO MOTOR STAND-BY DESGASTADO
SKID COM PINTURA AVARIADA
SKID SEM IDENTIFICAÇÕES
TERMÔMETROS DESCALIBRADOS
TROCADOR DE CALOR ROMPIDO
TROCADOR DE CALOR STAND-BY AUSENTE
TROCADOR DE CALOR STAND-BY COM BAIXA EFICIÊNCIA
TUBULAÇÃO ROMPIDA
VÁLVULA DE ALÍVIO DESCALIBRADA
VÁLVULA DE RETENÇÃO DA BOMBA EM SERVIÇO TRAVADA FECHADA
VÁLVULA PRV-14004G TRAVADA ABERTA
VÁLVULAS DE ISOLAMENTO FECHADAS INDEVIDAMENTE
VAZAMENTO DE ÓLEO NA TUBULAÇÃO, CONEXÕES OU TROCADORES DE CALOR
VAZAMENTO DE ÓLEO PELAS MOTO-BOMBAS
VAZAMENTO DE ÓLEO PELAS TUBULAÇÕES E CONEXÕES
VAZAMENTO DE ÓLEO PELO TANQUE DE DRENAGEM.
VAZAMENTO INTERNO DE ÁGUA PARA O ÓLEO
VAZAMENTO PELA MOTO-BOMBA EM SERVIÇO
VOLUME DO VAZAMENTO ACIMA DO NÍVEL DE CONTENÇÃO
VÁLVULA DE ALÍVIO TRAVADA FECHADA
QUEIMA DO INDICADOR DIGITAL

ANEXO I - Plano de manutenção extraído da planilha de decisão por meio de relatórios eletrônicos.

Frequência Inicial	Responsável	Equipamento	Descrição da Tarefa
1 dia	Operação	CUBA - MGG - GE	VERIFICAÇÃO DO NÍVEL DE ÓLEO NA CUBA DO MANCAL GÚIA DO GERADOR PARA REGISTRO E ACOMPANHAMENTO. OBS.: TODA REPOSIÇÃO DE ÓLEO SÓ DEVERÁ OCORRER APÓS INSPEÇÃO POR VAZAMENTOS NA CUBA E TUBULAÇÕES INTERNAS.
1 mês	Eletrônica	MOTO-BOMBA STAND-BY - MGG - GE	TESTE AUTOMÁTICO DA MALHA DE ACIONAMENTO DA MOTO-BOMBA STAND-BY. OBS.: NO CASO DE RETIRADA DO SISTEMA ESCALONAMENTO DE MOTO-BOMBAS
	Operação	SKID - MGG - GE	INSPEÇÃO VISUAL PARA IDENTIFICAÇÃO DE VAZAMENTO NAS TUBULAÇÕES E CONEXÕES INSPEÇÃO VISUAL PARA VERIFICAÇÃO DA LIMPEZA NO SKID DO SISTEMA DE CIRCULAÇÃO DE ÓLEO DO

ANEXO J - Plano de manutenção extraído da planilha de decisão por meio de relatórios eletrônicos
(continuação).

Frequência Inicial	Responsável	Equipamento	Descrição da Tarefa	
			MGG.	
1 ano		PAINEL ELÉTRICO - MGG - GE	TESTE DE FUNCIONAMENTO DO CONJUNTO DE LÂMPADAS DO PAINEL ELÉTRICO.	
			INSPEÇÃO VISUAL NO INTERIOR DO PAINEL ELÉTRICO EM BUSCA DE PONTOS DE CORROSÃO OBS.: DEVERÁ SER VERIFICADO O FUNCIONAMENTO DA ILUMINAÇÃO DO PAINEL.	
		MOTO-BOMBA EM SERVIÇO - MGG - GE	INSPEÇÃO VISUAL PARA IDENTIFICAÇÃO DE VÁZAMENTO NAS MOTO-BOMBAS.	
	Civil	Mecânica	SKID - MGG - GE	INSPECIONAR A CANALETA DE FORMA A GARANTIR O ESCOAMENTO DO FLUIDO. OBS.: A ATIVIDADE PODERÁ SER REALIZADA EM CONJUNTO COM A EQUIPE DE MEIO AMBIENTE E SEGURANÇA.
			CUBA - MGG - GE	COLETAR E ANALISAR O ÓLEO QUANTO A VISCOSIDADE
			FILTRO - MGG - GE	TESTAR A MALHA DO DIFERENCIAL DE PRESSÃO
				VERIFICAR A CONDIÇÃO DAS VÁLVULAS DE ISOLAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO.
				COMUTAR O SISTEMA PARA O FILTRO STAND-BY, VERIFICAR A INTEGRIDADE DO ELEMENTO FILTRANTE QUE ESTAVA EM SERVIÇO E RECOLOCÁ-LO EM SERVIÇO. OBS.: 01) NO MOMENTO DA LIMPEZA DO ELEMENTO FILTRANTE, REALIZAR INSPEÇÃO VISUAL PARA DETECTAR TRINCAS OU DEFORMAÇÕES
			MOTO-BOMBA STAND-BY - MGG - GE	INSPEÇÃO NO ACOPLAMENTO DA MOTO-BOMBA STAND-BY.
				TESTE MANUAL DA MOTO-BOMBA STAND-BY. OBS.: DEVERÁ INDICAR FALHAS POTENCIAIS NOS PARÂMETROS DE PRESSÃO E FLUXO.
			PRESSOSTATO DE ALTA - MGG - GE	AJUSTAR PRESSOSTATO DE ALTA DA MOTO-BOMBA EM SERVIÇO
			PRESSOSTATO DE BAIXA - MGG - GE	TESTAR A MALHA DE CONTROLE DE PRESSÃO BAIXA EM AMBAS AS MOTO-BOMBAS.
				VERIFICAR O AJUSTE PRESSOSTATO DE BAIXA DA MOTO-BOMBA EM SERVIÇO
			SKID - MGG - GE	INSPEÇÃO VISUAL PARA VERIFICAÇÃO DO ESTADO DA PINTURA DOS EQUIPAMENTOS E TUBULAÇÕES.
				TESTAR A MALHA DO FLUXOSTATO OBS.: A TAREFA PODERÁ SER EXECUTADA SOB CONVENIÊNCIA OPERATIVA.
TROCADOR DE CALOR - MGG - GE	TESTAR OS TROCADORES DE CALOR STAND-BY, OBSERVANDO OS PARÂMETROS DE OPERAÇÃO DO SISTEMA. OBS.: TAREFA EXECUTADA EM CONJUNTO COM A EQUIPE DE OPERAÇÃO.			
TANQUE AUXILIAR - MGG - GE	INSPEÇÃO VISUAL PARA IDENTIFICAÇÃO DE VAZAMENTO OU FONTE DE CONTAMINAÇÃO NO TANQUE DE DRENAGEM.			

ANEXO K - Plano de manutenção extraído da planilha de decisão por meio de relatórios eletrônicos
(continuação).

Frequência Inicial	Responsável	Equipamento	Descrição da Tarefa
		PAINEL - MGG - GE	TESTAR A MALHA DE TEMPERATURA ALTA DO ÓLEO. TESTAR A MALHA DE TEMPERATURA ALTA DO METAL.
		Segurança	SKID - MGG - GE MEDIR O RÚIDO DO SKID À DISTÂNCIA DE 1 m. OBS.: O PERIODICIDADE INICIAL FOI ESTIMADA DE ACORDO COM O EXAME MÉDICO PERIÓDICO.
	Elétrica	SKID - MGG - GE INSPECIONAR A INTEGRIDADE FÍSICA DOS ATERRAMENTOS.	
5 anos	Mecânica	CUBA - MGG - GE	TESTAR MALHA DO CONTROLE DE NÍVEL
		TERMOSTATO DO METAL - MGG - GE	VERIFICAR O LOCAL DE INSTALAÇÃO DA SONDA (RTD). OBS.: CALIBRAR A SONDA EM APROVEITAMENTO
		MANÔMETROS - MGG - GE	SUBSTITUIR MANÔMETROS DESCALIBRADOS POR MANÔMETROS CALIBRADOS.
		TERMÔMETROS - MGG - GE	SUBSTITUIR TERMÔMETROS DESCALIBRADOS POR TERMÔMETROS CALIBRADOS

ANEXO L - Melhorias sugeridas e compulsórias da análise dos modos de falha por meio do diagrama de decisão, foram direcionados para atividades de reprojeto (melhorias) alguns dos modos de falha que afetam a segurança ou o meio ambiente e que não há uma tarefa efetiva para prever ou prevenir sua ocorrência.

Tarefa Proposta	Responsável	Equipamento	Descrição da Tarefa
Reprojeto compulsório	Engenharia	CUBA - MGG - GE	DISPONIBILIZAR ALARME DE NÍVEL ALTO NA CUBA DO MANCAL GUIA DO GERADOR.
Reprojeto justificado	Engenharia	FLUXOSTATO - MGG - GE	AVALIAR A ADOÇÃO DE UMA DAS SEGUINTE OPÇÕES: 01) SUBSTITUIR FLUXOSTATO POR UM COM MAIOR CONFIABILIDADE INERENTE 02) INSTALAR OUTRO FLUXOSTATO REDUNDANTE (SISTEMA DE VOTAÇÃO)
Tarefa Proposta	Responsável	SKID - MGG - GE	AÇÕES SUGERIDAS: 01) VERIFICAR A EXISTÊNCIA DE VÁLVULA DE PURGA DE AR 02) CASO NEGATIVO, AVALIAR A IMPLANTAÇÃO
		TROCADORES DE CALOR - MGG - GE	SUGESTÕES: 01) MANTER VEDAÇÕES SOBRESSALENTES 02) MANTER PLAÇAS SOBRESSALENTES 03) NO CASO DE ALTERAÇÃO DAS VÁLVULAS GAVETA POR ESFERA, INSERIR ALÍVIO DE PRESSÃO.

ANEXO M - Plano de testes – tarefas de busca de falha uma categoria de tarefas de busca de falhas faz parte do diagrama de decisão RCM, tal categoria prescreve testes periódicos que devem ser realizados de forma a garantir que um dos modos de falha dominantes dos sistemas de proteção seja evidenciado, a “não atuação quando da necessidade” do sistema de proteção. Para tal, foram levantados os testes necessários ao sistema em estudo, os quais já estão contidos no plano de manutenção apresentado anteriormente.

Frequência Inicial	Responsável	Equipamento	Descrição da Tarefa
1 mês	Eletrônica	MOTO-BOMBA STAND-BY - MGG - GE	TESTE AUTOMÁTICO DA MALHA DE ACIONAMENTO DA MOTO-BOMBA STAND-BY. OBS.: NO CASO DE RETIRADA DO SISTEMA ESCALONAMENTO DE MOTO-BOMBAS
1 ano	Mecânica	FILTRO - MGG - GE	TESTAR A MALHA DO DIFERENCIAL DE PRESSÃO
			VERIFICAR A CONDIÇÃO DAS VÁLVULAS DE ISOLAMENTO DA INSTRUMENTAÇÃO.
			COMUTAR O SISTEMA PARA O FILTRO STAND-BY, VERIFICAR A INTEGRIDADE DO ELEMENTO FILTRANTE QUE ESTAVA EM SERVIÇO E RECOLOCA-LO EM SERVIÇO. OBS.: 01) NO MOMENTO DA LIMPEZA DO ELEMENTO FILTRANTE, REALIZAR INSPEÇÃO VISUAL PARA DETECTAR TRINCAS OU DEFORMAÇÕES
		MOTO-BOMBA STAND-BY - MGG - GE	INSPEÇÃO NO ACOPLAMENTO DA MOTO-BOMBA STAND-BY. TESTE MANUAL DA MOTO-BOMBA STAND-BY. OBS.: DEVERÁ INDICAR FALHAS POTENCIAIS NOS PARÂMETROS DE PRESSÃO E FLUXO.
Frequência Inicial	Responsável	Equipamento	Descrição da Tarefa
		PRESSOSTATO DE BAIXA - MGG - GE	TESTAR A MALHA DE CONTROLE DE PRESSÃO BAIXA EM AMBAS AS MOTO-BOMBAS.
		SKID - MGG - GE	TESTAR A MALHA DO FLUXOSTATO OBS.: A TAREFA PODERÁ SER EXECUTADA SOB CONVENIÊNCIA OPERATIVA.
		TROCADOR DE CALOR - MGG - GE	TESTAR OS TROCADORES DE CALOR STAND-BY, OBSERVANDO OS PARÂMETROS DE OPERAÇÃO DO SISTEMA. OBS.: TAREFA EXECUTADA EM CONJUNTO COM A EQUIPE DE OPERAÇÃO.
		PAINEL - MGG - GE	TESTAR A MALHA DE TEMPERATURA ALTA DO ÓLEO.
			TESTAR A MALHA DE TEMPERATURA ALTA DO METAL
5 anos	Mecânica	CUBA - MGG - GE	TESTAR MALHA DO CONTROLE DE NÍVEL

ANEXO N - Comparativo entre plano de manutenção atual x RCM. Foram levantadas as atividades atualmente previstas nos pma e pmp que envolvem o sistema em estudo.

De forma geral, considera-se que os PMA e PMP são robustos, estando registradas atividades que condizem com a sistemática de operação atual.

Avaliação do Plano de Manutenção Atual				Considerando um período de 10 anos			
PLANO DE MANUTENÇÃO - ATUAL	Pessoas	Dur. [h]	H.h	Tot. Interv.	Tot.Dur.	Tot.Indisp.	Tot.H.h.
PMA-MG-101-UHTU – Mancal Guia do Gerador							
Mensal (Casa de Força 2)	2	1,5	3	120	180	0	360
PMP-OI-101-UHTU – Coleta de óleo lubrificante							
Semestral	2	1,5	3	20	30	0	60
PMP-VI-101-UHTU – Medição de vibração							
Semestral	2	3	6	20	60	0	120
PMP-GR-101-UHTU – Sistema do Gerador							
<i>Mancal Guia do Gerador</i>							
Anual	3	4	12	8	32	32	96
Quinquenal	6	100	600	1	100	100	600
Decenal	6	100	600	1	100	100	600
Total				502	232	1836	
Considerando um período de 10 anos							

Avaliação do Plano de Manutenção RCM				Considerando um período de 10 anos			
PLANO DE MANUTENÇÃO - RCM	Pessoas	Dur. [h]	H.h	Tot. Interv.	Tot.Dur.	Tot.Indisp.	Tot.H.h.
PMA-MG-101-UHTU – Mancal Guia do Gerador							
Mensal (Casa de Força 2)	2	3	6	120	360	0	720
PMP-OI-101-UHTU – Coleta de óleo lubrificante							
Anual	1	1	1	20	20	0	20
PMP-GR-101-UHTU – Sistema do Gerador							
<i>Mancal Guia do Gerador</i>							
Anual	5	4,4	22	8	35,2	8	176
Quinquenal	3	10	30	2	20	20	60
Total				435,2	28	976	
Considerando um período de 10 anos							

ANEXO O - Os resumos e projeções são apresentados abaixo, onde se pode observar a expectativa de ganhos com o novo plano.

PERÍODO = 10 anos	ATUAL	RCM	% AUMENTO
DURAÇÃO TOTAL	502	435,2	-13,31%
INDISPONIBILIDADE TOTAL	232	28	-87,93%
H.H TOTAL	1836	976	-46,84%

PROJEÇÕES	1 MWh = R\$ 9,00
PERDA PRODUTIVA EVITADA*	R\$ 688.500,00
REDUÇÃO DO CUSTO DE MAO DE -OBRA	R\$ 86.000,00

*AGUARDANDO NOTA TÉCNICA