



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**TRABALHO DE DISSERTAÇÃO:  
MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (MCC):  
ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO EM UMA SISTEMÁTICA DE MANUTENÇÃO  
PREVENTIVA CONSOLIDADA**

**ENON LAÉRCIO NUNES**

**Orientador: Prof. Dr. Osmar Possamai**

**FLORIANÓPOLIS**

**2001**

**ENON LAÉRCIO NUNES**

**TRABALHO DE DISSERTAÇÃO:  
MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (MCC):  
ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO EM UMA SISTEMÁTICA DE MANUTENÇÃO  
PREVENTIVA CONSOLIDADA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

**FLORIANÓPOLIS**

**2001**

**MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (MCC):  
ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO EM UMA SISTEMÁTICA DE MANUTENÇÃO  
PREVENTIVA CONSOLIDADA**

**ENON LAÉRCIO NUNES**

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Engenharia, Especialidade Engenharia de Produção, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação.

---

Prof. Ricardo M. Barcia, PhD.  
Coordenador do Programa

Banca Examinadora:

---

Prof. Osmar Possamai, Dr.  
Orientador

---

Prof. Acires Dias, Dr.

---

Prof. Luiz Veriano Dalla Vallentina, Dr.

Florianópolis, 25 de outubro de 2001.

Dedico este trabalho aos meus  
filhos Daniela e Gustavo, sementes  
preciosas de minha vida.

## AGRADECIMENTOS

O trabalho para empreender uma dissertação, embora individual, só pode ser bem sucedido com a colaboração de outras pessoas e instituições. Nessa oportunidade, torna-se necessário explicitar o agradecimento por algumas contribuições, em especial:

À Itaipu Binacional pelo suporte e confiança, fatores importantes para a realização deste trabalho;

Ao Prof. Dr. Osmar Possamai, pela orientação sempre segura, precisa e desafiadora;

Aos professores doutores Acires Dias e Luiz Veriano Dalla Valentina, pelas expressivas sugestões e participação na banca examinadora;

À inestimável colaboração da Prof<sup>a</sup>. Dra. Angelise Valladares Monteiro, bem como dos membros de sua equipe Shandi, Carla, Cairo e Cleber;

Aos colegas da Superintendência de Manutenção da Itaipu, representados por Guerra e Gilvan, pela ativa participação nas discussões técnicas;

À Rosângela, Valdecyr e Fernando Lopes, pelo suporte na montagem deste trabalho, bem como ao Castella por seu apoio na revisão final do texto;

Aos amigos que sempre me incentivaram e que, ao ler este trabalho, reconhecerão a relevância de seu apoio;

Aos meus filhos e a minha família, suporte indispensável e permanente ao meu desenvolvimento pessoal, profissional e acadêmico;

A Deus, por Sua proteção e Sua luz.

*Um dos espetáculos mais belos do mundo é ver um adulto que aproveita todos os ensejos de preencher as lacunas da sua educação intelectual e que emprega todos os lazes e serões trabalhando para se tornar um homem de mais iniciativa, mais consciente, melhor preparado para o cumprimento da sua missão.*

Orison Swet Marden

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>IX</b>
<b>LISTA DE QUADROS.....</b>	<b>X</b>
<b>LISTA DE REDUÇÕES.....</b>	<b>XI</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>XIII</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XIV</b>
<b>CAPÍTULO 1.INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVOS .....	4
1.2 RESULTADOS ESPERADOS .....	5
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	6
<b>CAPÍTULO 2.MANUTENÇÃO INDUSTRIAL.....</b>	<b>7</b>
2.1 BREVE HISTÓRICO.....	7
2.2 FORMAS DE MANUTENÇÃO .....	11
2.3 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE – MCC .....	16
<b>2.3.1 Origem e conceitos básicos da MCC .....</b>	<b>16</b>
<b>2.3.2 Diagramas de aplicação da MCC.....</b>	<b>20</b>
<b>2.3.3 Mecanismos de degradação da função .....</b>	<b>30</b>
<b>CAPÍTULO 3.A SISTEMÁTICA DE MANUTENÇÃO DE ITAIPU.....</b>	<b>35</b>
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	35
3.2 HISTÓRICO DE IMPLANTAÇÃO DO SOM.....	37
3.3 SISTEMA DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO - SOM.....	38
3.4 DIRETRIZES E OBJETIVOS GERAIS DO SOM.....	40
3.5 ABRANGÊNCIA DO SOM.....	41
3.6 ESTRUTURA DO SOM .....	43
<b>3.6.1 Macro-funções do SOM.....</b>	<b>43</b>
<b>3.6.2 Manuais do SOM.....</b>	<b>44</b>
<b>3.6.3 Subsistemas do SOM .....</b>	<b>47</b>

<b>CAPÍTULO 4.MODELO DE IMPLANTAÇÃO DA MCC</b> .....	<b>50</b>
4.1 ETAPAS DO MODELO DE IMPLANTAÇÃO DA MCC .....	51
4.1.1 Etapa 1 - Delimitação e Definição de Fronteiras .....	52
4.1.2 Etapa 2 - Funções e Falhas Funcionais .....	53
4.1.3 Etapa 3 - Análise dos Modos e Efeitos da Falha .....	54
4.1.4 Etapa 4 - Diagramas de Decisão e Seleção de Tarefas .....	54
4.1.5 Etapa 5 - Plano de Manutenção .....	55
<b>CAPÍTULO 5.APLICAÇÃO DA MCC</b> .....	<b>61</b>
5.1 ETAPAS DA APLICAÇÃO NO SOM.....	61
5.1.1 Escolha e Delimitação do Objeto do Estudo.....	61
5.1.2 Funções e Falhas Funcionais.....	63
5.1.3 FMEA.....	65
5.1.4 Seleção de Tarefas .....	65
5.1.5 Plano de Manutenção .....	68
5.2 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS PLANOS DE MANUTENÇÃO .....	70
5.3 COMPARAÇÃO ENTRE O SOM E A MCC.....	72
<b>CAPÍTULO 6.CONCLUSÕES</b> .....	<b>75</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>80</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>85</b>
<b>ANEXO 1 - DESENHO ESQUEMÁTICO DO SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE</b> .....	<b>86</b>
<b>ANEXO 2 - LISTAGEM DOS COMPONENTES DO EQUIPAMENTO D01</b> .....	<b>88</b>
<b>ANEXO 3 - PLANILHA DE FALHAS FUNCIONAIS PREENCHIDA</b> .....	<b>91</b>
<b>ANEXO 4 - PLANILHA FMEA PREENCHIDA</b> .....	<b>96</b>
<b>ANEXO 5 - PLANILHA DE SELEÇÃO DE TAREFAS PREENCHIDA</b> .....	<b>123</b>

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Formas de Manutenção .....	14
Figura 2 - Diagrama de Decisão.....	26
Figura 3 - Árvore Lógica de Decisão .....	27
Figura 4 - Diagrama de Seleção de Tarefas.....	28
Figura 5 - Diagrama EDF .....	29
Figura 6 - Curva da Banheira – Equipamentos Eletrônicos.....	31
Figura 7 - Curva da Banheira – Equipamentos Mecânicos .....	31
Figura 8 - Novos Padrões de Falha.....	32
Figura 9 - Participação de Itaipu na produção de energia.....	35
Figura 10 – Modelo do SOM .....	45
Figura 11 – Etapas de Implantação da MCC.....	52
Figura 12 – Planilha de falhas funcionais .....	56
Figura 13 - Planilha de Análise de Modos e Efeitos de Falhas - FMEA .....	57
Figura 14 - Planilha de Seleção de Tarefas .....	58
Figura 15 - Exemplo de Planilha de Falhas Funcionais Preenchida .....	64
Figura 16 - Exemplo de Planilha FMEA Preenchida .....	66
Figura 17 - Exemplo de Planilha de Seleção de Tarefas Preenchida .....	67

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Diferenciação entre Falha e Defeito .....	12
Quadro 2 - Previsão crescimento consumo energia elétrica 2000/2009 .....	36
Quadro 3 - Nível de atendimento dos equipamentos .....	42
Quadro 4 - Manuais Gerais do SOM .....	46
Quadro 5 - Manuais Específicos do SOM .....	46
Quadro 6 - Tarefas de Manutenção - Plano MCC .....	69
Quadro 7 - Tarefas de Manutenção - Plano Atual/SOM .....	70
Quadro 8 - Comparação entre o SOM e a MCC .....	73

## LISTA DE REDUÇÕES

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ABRAMAN - Associação Brasileira de Manutenção  
BCHYDRO - *British Columbia Hydro*  
CA - Corrente Alternada  
CC - Corrente Contínua  
CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais  
CHESF - Companhia Hidroelétrica do São Francisco  
COPEL - Companhia Paranaense de Energia  
CPPE - Companhia Portuguesa de Produção de Eletricidade  
EDE - *Electricité De France*  
ELETROBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras  
ELETRONORTE - Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A.  
EPRI - *Electric Power Research Institute*  
FAA - *Federal Aviation Agency*  
FAST - *Function Analysis System Technique*  
FEI - Formulário de Envio de Informações  
FMEA - *Failure Modes and Effect Analysis*  
FP&C - *Florida Power and Light*  
G02 - Terminologia de Operação e Manutenção  
G03 - Procedimentos Operacionais do Som  
G04 - Codificação de Equipamentos e Estruturas  
G05 - Cadastro de Equipamentos  
GCOI-SCM - Grupo Coordenador para Operação Interligada - Subcomitê de Manutenção  
GO1 - Descrição Geral do Som  
HMA - Histórico de Manutenção Aperiódica  
HMP - Histórico de Manutenção Periódica  
IDM - Instrução de Desmontagem e Montagem  
IM - Instrução de Manutenção  
ITAIPU - Itaipu Binacional  
LMR - Lista de Material de Reserva  
M01 - Inspeção e Controle

M02 - Descrição de Funcionamento  
M03 - Instrução de Manutenção  
M04 - Desmontagem e Montagem  
M05 - Materiais de Reserva  
MBC - Manutenção Baseada em Confiabilidade  
MCC - Manutenção Centrada em Confiabilidade  
MECEP - *Méthode de Controle Et Déntretien Préparé*  
MSG - *Maintenance Steering Group*  
MTBF - Tempo Médio Entre Falhas  
OMC - Otimização de Manutenção pela Confiabilidade  
ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico  
PIC - Planilha de Inspeção e Controle  
RCM - *Rebiality Centeud Maintenance*  
RV - Regulador de Velocidade  
SAC - Subsistema de Análise de Custos  
SAM - Sistema de Acompanhamento da Manutenção  
SAO - Sistema de Acompanhamento da Operação  
SEQ - Subsistema de Cadastro de Equipamentos  
SMA - Subsistema de Manutenção Aperiódica  
SMP - Subsistema de Manutenção Periódica  
SMR - Subsistema de Materiais de Reserva  
SOM - Sistema de Operação de Manutenção  
SSA - Solicitação de Serviço Aperiódico  
SSP - Solicitação de Serviço Periódico  
TD - Tabela de Dados  
TPM - *Total Productive Maintenance*  
TVA - *Tennessee & Valley Authority*

## RESUMO

O desenvolvimento das chamadas novas tecnologias tem promovido mudanças fundamentais na estrutura e nos processos de trabalho. A adoção mais intensa de sistemas automatizados e modernos equipamentos tem levado as áreas de manutenção a uma posição estratégica, em face da importância da disponibilidade operacional para o resultado global das empresas. O objetivo geral deste trabalho é avaliar o impacto da aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), um método que enfatiza a análise das funções dos equipamentos e conseqüências das falhas, na sistemática de manutenção da Central Hidrelétrica de Itaipu, particularmente no Sistema de Operação e Manutenção (SOM). De modo a atender o objetivo geral, foram identificados os princípios conceituais das diferentes formas de manutenção, com foco na MCC; a sistemática SOM foi descrita e analisada; foi apresentado o modelo de implantação da MCC; e foi realizada uma aplicação deste método em um dos principais equipamentos de Itaipu. Os resultados permitem concluir que a Manutenção Centrada em Confiabilidade é adequada a uma sistemática de manutenção consolidada como o Sistema de Operação e Manutenção. A MCC, portanto, possibilita melhorias significativas no desempenho da função manutenção e ganhos para a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, ao apresentar uma forma estruturada para a definição do plano de manutenção.

## ABSTRACT

The development of the so-called new technologies has promoted fundamental changes in working structures and processes. The more intense adoption of automated systems and modern equipment has led the maintenance areas to occupy a strategic position in view of the importance of equipment availability to the overall operating results of company activities. The general objective of this study is to evaluate the impact of the application of Reliability-Centred Maintenance (RCM), a method that emphasizes the analysis of the equipment functions and of the consequences attending failures in the maintenance systems of the Itaipu Power Plant, and particularly in the System of Operation and Maintenance (SOM). In order to fulfill this objective, the conceptual principles of the different maintenance techniques were identified with particular focus on RCM, leading to the description and analysis of the SOM system. A model was prepared of the implantation of RCM and applied to one of the principal items of Itaipu power equipment. The results of this model application permit concluding that Reliability-Centred Maintenance is adequate for a consolidated maintenance system, such as the System of Operation and Maintenance (SOM). The RCM, therefore, involves significant improvements in the performance of the maintenance function, and an increase in equipment reliability and availability due to the definition of the maintenance programme in a structured form.

## Capítulo 1. INTRODUÇÃO

O acirramento da concorrência, presente no ambiente empresarial, tem provocado transformações profundas nos sistemas produtivos. Neste cenário, adiciona-se a impressionante evolução tecnológica, o movimento inexorável da globalização e o seu potencial incentivo à competitividade das organizações. Está assim instituído o quadro de mudanças que a sociedade industrial atualmente vivencia.

Nesse âmbito, a expectativa e a exigência dos clientes em relação aos requisitos de qualidade dos produtos tornam-se cada vez maiores. Pinto (1998), dentre outros autores, comenta que os requerimentos da atualidade estão a demandar uma mudança fundamental nas posturas e na compreensão do trabalho, especialmente por parte dos gerentes, construída com base em “uma visão de futuro e regida por processos de gestão onde a satisfação plena de seus clientes seja resultante da qualidade intrínseca dos seus produtos e serviços” (p.8).

As empresas têm ampliado sobremaneira o uso de novas tecnologias. Em vista disso, a modernização dos equipamentos, a automação dos sistemas e processos, a diversidade e a quantidade de componentes e acessórios utilizados crescentemente nas instalações industriais tendem a favorecer o aumento da probabilidade de ocorrência de falhas. Mobley e Castro (1999) concordam com esse posicionamento, quando observam que uma performance eficaz e efetiva de todos os processos produtivos depende de sistemas confiáveis, que operem no seu melhor nível de desempenho projetado.

Nesse sentido, pode-se afirmar que, em todos os segmentos industriais, os períodos de indisponibilidade dos equipamentos afetam a capacidade produtiva de uma empresa, aumentando os custos operacionais e, em consequência, interferindo na qualidade do produto final e no atendimento aos clientes.

As falhas em equipamentos podem representar grandes perdas econômicas e humanas, apresentando, em muitos casos, comprometimentos significativos para a imagem institucional das empresas. Na literatura especializada podem ser encontrados alguns exemplos de ocorrências de falhas, com repercussões trágicas para as organizações envolvidas e para o ambiente físico e social, tais como: *Bhopal, Chernobil, Challenger, Virginia Electric and Power Company, Three Miles Island*. Essas ocorrências confirmam a relevância, nos dias de hoje, de se considerarem estratégicos os aspectos de segurança e de conservação do meio ambiente na manutenção.

No Brasil esses aspectos ganham ainda mais importância, à medida que o sistema elétrico é totalmente interligado, tanto nacional como internacionalmente. Tal fato pode levar a repercussões muito maiores em uma eventual ocorrência de falhas. Uma vez que a continuidade do fornecimento de energia elétrica é crítica, a indisponibilidade operativa pode representar, em termos de custos, muitas vezes mais do que o que custaria reparar a própria falha.

Deve ser considerado, ainda, que tem aumentado o nível de exigência dos consumidores, industriais e residenciais. A previsão de crescimento total de consumo de energia elétrica no país, para o período entre 2000 e 2009, por exemplo, é da ordem de 4,7% ao ano, ou seja, dos atuais 64.300 MW para 109.400 MW, incluindo-se as parcelas de energia importadas através de interligações com países vizinhos (ELETROBRÁS, 2000).

Com o panorama institucional do setor elétrico brasileiro em processo de migração, prevê-se uma participação crescente e expressiva do setor privado, por meio da licitação das concessionárias, estaduais e federais, e da competição na implantação de novos projetos de geração, transmissão e distribuição. Neste novo modelo, é esperado que ocorra a oportunidade de instituírem-se mudanças econômicas nos segmentos de geração e comercialização da energia elétrica e o livre acesso aos sistemas de transmissão e distribuição. Sobre o assunto, Neiva (1999, p.4) ressalta que “o ambiente do setor elétrico agora deixou de ser um ambiente puramente técnico, para ser um ambiente de negócios, de empresas que querem viver de seus resultados”.

A função manutenção tem presença significativa em todos os segmentos do negócio, por exemplo, segurança, integridade ambiental, eficiência energética, qualidade do produto, disponibilidade, confiabilidade e custos operacionais. Em função disso, a responsabilidade a ser assumida pelas áreas de manutenção tende a ser bem mais abrangente. Essas áreas devem buscar a melhoria contínua no gerenciamento dos processos de trabalho. Assim, a manutenção representa uma das atividades fundamentais no processo produtivo organizacional, ao ser vista como mola propulsora, que pode levar uma empresa a destacar-se, a partir de diferenciais competitivos, como indicam Chavez e Medeiros (1998).

Cabe destacar que, no tocante as empresas de energia elétrica, a década de 60 marcou o início dos esforços ordenados na estruturação de uma sistemática de manutenção, que permitisse atender a três compromissos básicos: garantia da continuidade de suprimento; garantia da qualidade de energia e minimização dos custos de suprimento.

Nos anos 70, devido à preocupação com o número e a conseqüência das falhas e acidentes das empresas aéreas, a complexidade dos projetos e o tamanho das frotas aéreas comerciais, a autoridade americana *Federal Aviation Agency* (FAA) incentivou o desenvolvimento de uma nova metodologia para a manutenção. A esse respeito, Brauer e Brauer (1987) observam que o intuito foi de se estabelecer um processo racional e sistemático de análise, que permitisse a definição de tarefas de manutenção de equipamentos, para garantir a confiabilidade e a segurança.

A Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) foi desenvolvida para auxiliar as empresas aéreas a elaborar seus programas de manutenção. A MCC enfatiza, em sua análise e aplicação, as funções dos equipamentos e sistemas, e realiza uma criteriosa avaliação das conseqüências das falhas para a segurança, meio ambiente e para a produção, visando obter o máximo benefício com redução dos custos operacionais. Isto assegura, conforme Mata Filho et al. (1998), maiores índices de segurança e confiabilidade, com os menores custos possíveis.

Como um dos maiores empreendimentos realizados para a geração de energia, num trabalho conjunto entre o Brasil e o Paraguai, no sentido de melhor aproveitar os recursos hídricos do rio Paraná, foi construída, a partir da década de 70, a Usina Hidrelétrica de Itaipu. No ano de 2000, a usina “produziu cerca de 93.428 GWh, suprimindo 24% das necessidades de energia elétrica do Brasil e 95% dos requisitos do Paraguai” (ITAIPU BINACIONAL, 2001, p.4). A magnitude dos investimentos e dos equipamentos e a representatividade de Itaipu no mercado de produção de energia elétrica permitem inferir que a função de manutenção tem assumido um papel estratégico para a excelência do desempenho organizacional.

A sistemática de manutenção adotada em Itaipu, denominada Sistema de Operação e Manutenção (SOM), é essencialmente baseada no conceito de manutenção preventiva, ou seja, toda a manutenção é realizada com o propósito de reduzir a probabilidade de ocorrência de falha, em um determinado equipamento. O SOM tem como meta definir procedimentos de manutenção, que contemplem intervenções previstas, definidas e programadas, antes da data provável da ocorrência da falha.

A importância de se avaliar a aplicabilidade de um método capaz de agregar valor à sistemática de manutenção, adotada em Itaipu, motivou a realização desta pesquisa. Nesses termos, busca-se de algum modo auxiliar técnicos e especialistas a enfrentarem os desafios impostos pela necessidade crescente de melhoria do desempenho operacional dos equipamentos e dos processos de manutenção, a custos adequados.

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o impacto da adoção da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) no Sistema de Operação e Manutenção (SOM), da Central Hidrelétrica de Itaipu.

Em termos de objetivos específicos, pretende-se:

- Identificar os princípios conceituais das diferentes formas da função manutenção, com ênfase na metodologia da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC);
- Apresentar a estrutura e conceitos básicos da sistemática de manutenção adotada em Itaipu, denominada Sistema de Operação e Manutenção (SOM);
- Apresentar o modelo de implantação da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), identificando suas principais características;
- Aplicar a MCC em um dos principais equipamentos envolvidos na produção de energia de Itaipu e desenvolver análises comparativas entre essas duas sistemáticas de manutenção.

## 1.2 RESULTADOS ESPERADOS

Com a realização deste estudo, espera-se contribuir com as empresas do setor elétrico, que possuem uma sistemática de manutenção implantada e consolidada, como Itaipu, orientadas para a manutenção preventiva dos equipamentos e sistemas, fornecendo subsídios para a tomada de decisão e a priorização de estratégias funcionais para a área de manutenção.

Além disso, espera-se:

- Validar a hipótese de adequação da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) com a sistemática de manutenção de Itaipu, ou seja, Sistema de Operação e Manutenção (SOM);
- Dispor de um modelo de implantação da MCC em uma sistemática de manutenção consolidada;
- Identificar as possíveis adaptações a serem implementadas, visando a integração das duas sistemáticas (MCC e SOM), à luz dos requisitos e pontos sensíveis levantados.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho encontra-se estruturado em seis capítulos.

No segundo capítulo é desenvolvida a fundamentação teórica, onde a manutenção industrial é abordada, por meio de uma breve referência a sua evolução histórica e a terminologia a ela aplicada. Essa terminologia abrange os conceitos e concepções relacionadas à função de manutenção, como também a definição de suas diferentes formas. Na seqüência, apresenta-se a origem, a filosofia e as principais aplicações da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC).

Os pressupostos, diretrizes e abrangência da sistemática de manutenção adotada na Central Hidrelétrica de Itaipu, o Sistema de Operação e Manutenção (SOM), são apresentados no terceiro capítulo. Logo depois, a sua estruturação é apresentada, a partir de documentos técnicos, denominados manuais, e a sua estrutura funcional, apoiada em subsistemas informatizados.

No quarto capítulo é desenvolvida uma análise mais detalhada da aplicação da MCC, apresentando-se as etapas de implantação dessa metodologia, as planilhas desenvolvidas para a aplicação e os diagramas de decisão. Algumas outras considerações ainda são feitas em relação à aplicação em Itaipu.

A aplicação piloto em equipamentos mecânicos do sistema de regulação de velocidade da unidade geradora compõe o quinto capítulo. Neste, são apresentadas as planilhas preenchidas na aplicação da MCC em Itaipu e é realizada uma análise comparativa das tarefas de manutenção definidas pelo SOM e aquelas obtidas pela aplicação da MCC.

As conclusões fazem parte do sexto capítulo, onde uma avaliação mais global da potencialidade da MCC é elaborada para as áreas de manutenção das empresas, com base no resultado obtido em Itaipu. Por fim, são apresentadas algumas recomendações, sejam de melhoria, ou mesmo limitações dos métodos estudados com proposições para pesquisas futuras.

## Capítulo 2. MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

### 2.1 BREVE HISTÓRICO

O termo 'manutenção', na literatura especializada, tem origem no vocabulário militar, cujo sentido é manter, nas unidades de combate, o efetivo e o material em um nível constante. Já a definição sobre 'manter' é indicada, em vários dicionários, como causar continuidade ou reter o estado atual. Isto sugere que 'manutenção' significa preservar algo. A esse respeito, Monchy (1989) apresenta a conceituação da Associação Francesa de Normatização, na qual a "manutenção é o conjunto de ações que permitam manter ou restabelecer um bem, dentro de um estado específico ou na medida para assegurar um serviço determinado" (p.1).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, na norma TB-116 de 1975, definia manutenção como o conjunto de todas as ações necessárias para que um item seja conservado ou restaurado de modo a poder permanecer de acordo com uma condição especificada. Já em uma versão revisada de 1994, designada NBR-5462, a manutenção é indicada 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.

De forma mais abrangente, o termo manutenção engloba os conceitos de prevenção (manter) e correção (restabelecer). Sendo assim, o estado específico ou serviço determinado implica na predeterminação do objetivo esperado, com quantificação dos níveis característicos. Monchy (1989) comenta ainda sobre a lacuna deixada por grande parte das definições, ao não fazerem referência ao aspecto econômico envolvido na realização de uma manutenção eficiente, que deveria assegurar que suas atividades conduzissem a um custo global otimizado.

Sobre o assunto, cabe também observar o posicionamento de Moubray (2000). Para o autor, 'manter' significa continuar em um estado existente, ou seja, a manutenção é o conjunto de técnicas de atuação para que os ativos físicos (equipamentos, sistemas, instalações) cumpram ou preservem sua função ou funções específicas.

Autores como Slack et al. (1997), por sua vez, observam que a 'manutenção' é o termo usado para abordar a forma pela qual as organizações tentam evitar as falhas, cuidando de suas instalações físicas. Esta abordagem enfatiza a prevenção e a recuperação de falhas, uma importante área de atuação da manutenção, embora se entenda que não envolve a sua completa amplitude. Em linhas gerais, pode-se afirmar que as causas e os efeitos das falhas merecem atenção especial e permanente, assim como o desenvolvimento de ações pró-ativas, com vistas a minimizar a ocorrência e as conseqüências das falhas, caso ocorram.

A crença de que o aumento da produção depende de mais e melhores equipamentos, remonta à época da Revolução Industrial. Ao introduzir a preocupação extrema com a tarefa e a padronização dos métodos e procedimentos operacionais, Taylor confirmou essa premissa. Fayol, na seqüência, apresentou seus estudos com ênfase na estrutura e no processo. Somente mais tarde, no início da década de 30, surge a preocupação com a variável humana como elemento crítico no processo produtivo (FERREIRA, 2000). Neste cenário, deve-se considerar que nenhum processo produtivo deveria ser indiferente às falhas. Contudo, cabe comentar que, em certos casos, é vital que produtos, serviços, ou ambos, não falhem. Alguns exemplos podem ser citados, tais como nas áreas: aeronáutica, médica, produção de energia.

Como pode ser observado, existem muitas definições e conceitos apresentados para o termo 'manutenção'. Na maioria dos casos são enfocados os aspectos de prevenção do estado de funcionamento e a recuperação, no caso da ocorrência de falhas. Além disso, constata-se que, mais recentemente, os aspectos de custos e a dimensão humana das equipes de manutenção têm sido crescentemente considerados nessas definições.

A evolução das técnicas na condução da manutenção tem origem no período da Segunda Guerra Mundial. Naquela época, a indústria era predominantemente artesanal, não se creditando qualquer importância à prevenção das falhas, uma vez que a estratégia de manutenção era considerada como conserto após a avaria. Ao mesmo tempo, a maioria dos equipamentos era simples e muitos deles superdimensionados, apresentando facilidade de reparo e alguma confiabilidade. Nesse panorama, não havia necessidade de manutenção sistematizada, nem raramente era requerido pessoal especializado para a sua execução. Como descrevem Mata Filho et al. (1998), de maneira geral, a indústria não era mecanizada e existia pouca preocupação com a produtividade, ou seja, esta não era considerada tão relevante.

Esse contexto se modifica, no entanto, com o aumento da mecanização na década de 50, após a Segunda Guerra Mundial. As indústrias passaram a depender cada vez mais das máquinas, que começaram a se multiplicar e modificar em tipo, quantidade e complexidade. Desse modo, prevenir a eventual paralisação das máquinas tornou-se cada vez mais relevante. Ainda de acordo com Moubray (2000), já nos anos 60, a manutenção consistiu basicamente de revisões gerais dos equipamentos executados em intervalos físicos. Segundo alguns autores, nesse período, começou a ser estruturado o conceito de 'manutenção preventiva'.

Um outro fator que passou a exigir uma nova postura da gestão da manutenção foi o seu custo. Este tornou-se representativo frente aos demais custos operacionais. Sistemas de planejamento e controle surgiram nesse momento, visando um melhor controle das ações de manutenção, desde aquela época indispensável para a eficácia de um processo de manutenção. Os primeiros sistemas informatizados foram esboçados e com o advento do computador, tornaram-se realidade.

No início da década de 70, a quantidade de capital investido em reparos e o custo do próprio capital direcionaram as ações para o aumento da vida útil dos equipamentos e das instalações. Preocupação que se transformou na base para o desenvolvimento de novas técnicas de manutenção, nessa oportunidade,

suportadas por computadores de grande porte. Mata Filho et al. (1998, p.2) relatam que “a partir de então a dependência das máquinas operarem continuamente sem falhas, é cada vez maior e qualquer interrupção devido a falhas tomava proporções críticas”.

Mais recentemente, as grandes transformações experimentadas pelo setor tecnológico e industrial exigiram uma atenção muito mais intensa aos efeitos dos períodos de paralisação da produção, por exemplo, em face da tendência mundial de se trabalhar com estoques reduzidos (técnicas associadas ao *just-in-time*). Aliado a isso, a complexidade cada vez maior dos equipamentos, com a aceleração da automação, transformou a confiabilidade e a disponibilidade em fatores primordiais para o desempenho operacional, refletidos diretamente nas atividades de manutenção.

Os padrões de qualidade, tanto nos serviços quanto nos produtos, passaram a ser extremamente exigentes e a análise das falhas e, principalmente, de suas conseqüências para a segurança e o meio-ambiente, representaram, em muitos casos, a garantia de sobrevivência das empresas, tamanha é a vigilância e a cobrança da sociedade. Nesse sentido, o aspecto econômico, sempre presente na vida das organizações, deve ainda ser focado, considerando-se o compromisso com o retorno do capital investido, com montantes cada vez maiores e escassos.

A evolução histórica da manutenção e dos processos industriais é abordada por Moubray (2000) com base em três gerações distintas. A primeira geração representou a ênfase no conserto após a falha. A segunda geração, por sua vez, esteve associada ao surgimento de maiores exigências com relação à disponibilidade operativa e a vida útil dos equipamentos, a custos menores. Já a terceira geração, que se refere aos tempos atuais, diz respeito aos requisitos característicos, como: maior disponibilidade, confiabilidade, segurança e vida útil, com ausência de danos ao meio-ambiente e ações de manutenções eficazes, aliadas aos custos envolvidos.

Em linhas gerais, pode-se afirmar que toda evolução tecnológica dos equipamentos, processos e técnicas de manutenção, a necessidade de controles cada vez mais eficientes e de ferramentas de apoio à decisão, o desenvolvimento de estudos relativos ao desgaste e controle das falhas e suas conseqüências, a dependência de equipes treinadas e motivadas para enfrentar estes desafios, o desenvolvimento de novas técnicas e, conseqüentemente, os custos de manutenção em termos absolutos e proporcionalmente as despesas globais, transformaram as áreas de manutenção em um segmento estratégico para o sucesso empresarial.

Cumpra-se considerar também que a falha pode ocorrer, a despeito dos esforços no sentido de prevenir sua ocorrência, ou seja, em tese, se não existissem falhas não haveria manutenção. Sendo assim, a tecnologia de manutenção deve ser desenvolvida para identificar as possíveis falhas, além de gerenciar suas conseqüências, com técnicas economicamente adequadas a serem aplicadas em cada situação específica.

## 2.2 FORMAS DE MANUTENÇÃO

Um grande número de variações na terminologia sobre as formas de manutenção tem surgido na literatura corrente. Mesmo esta diversidade de denominações não traz maiores dificuldades para a comunidade da manutenção nos diversos segmentos industriais, seja na área elétrica, petroquímica, indústrias de transformação, dentre outras. Normalmente, estas áreas mantêm entre si razoável padronização e a terminologia adotada, não apresentando diferenças conceituais relevantes.

Segundo GCOI-SCM (1998), apresentam-se as seguintes definições básicas para a sistemática de manutenção dos equipamentos, indicadas no Quadro 1, a seguir.

### Quadro 1 - Diferenciação entre Falha e Defeito

Função Requerida	Conjunto de condições de funcionamento para o qual o equipamento foi projetado, fabricado ou instalado.
Falha	É toda alteração física ou química no estado de funcionamento do equipamento que impede o desempenho de sua função requerida e o leva invariavelmente à indisponibilidade.
Defeito	É toda alteração física ou química no estado de funcionamento de um equipamento que não o impede de desempenhar sua função requerida, podendo o mesmo operar com restrições.

Fonte: adaptado de GCOI-SCM (1998).

Conforme o Dicionário de Termos de Manutenção, Confiabilidade e Qualidade (Branco Filho, 1996, p.43), “uma falha é o término da capacidade de um equipamento desempenhar a função requerida e um defeito não torna o equipamento indisponível”. Cabe comentar que, embora a falha e o defeito sejam também encontrados na literatura como sinônimos, esses termos são considerados de modo diferenciado pelas empresas do Setor Elétrico Brasileiro, como Itaipu, Chesf, Cemig, Eletronorte, Copel, dentre outras. Observa-se que também a norma NBR-5462 (1994), já citada, apresenta essa diferenciação. Neste sentido, caracteriza-se a manutenção corretiva quando se apresentam situações de estado de falha e, manutenção preventiva, quando se apresentam situações de defeito.

A manutenção corretiva pode ser entendida como todo trabalho de manutenção realizado após a falha do equipamento, visando restabelecê-lo à sua função requerida, eliminando o estado de falha. Associado a essa concepção, a manutenção corretiva pode ser subdividida em dois tipos: paliativa, que compreende as intervenções corretivas executadas provisoriamente, a fim de colocar o equipamento em funcionamento, para, a seguir, executar o reparo definitivo); e, curativa, que compreende as intervenções típicas de reparo em caráter definitivo, a fim de restabelecer o equipamento à fruição requerida.

A manutenção preventiva, por sua vez, é definida para a situação em que não se caracterizou um estado de falha. Sendo assim, essa forma de manutenção é aquela realizada em um equipamento com a intenção de reduzir a probabilidade de ocorrência da falha. É uma intervenção de manutenção prevista, preparada ou programada antes da data provável do aparecimento da falha.

A atividade de manutenção preventiva sistemática é aplicada quando a lei de degradação é conhecida. Essa lei diz respeito ao conhecimento sobre a evolução do desgaste do equipamento, à medida em que é utilizado. Esse processo ocorre de modo mais acelerado se o equipamento for operado inadequadamente.

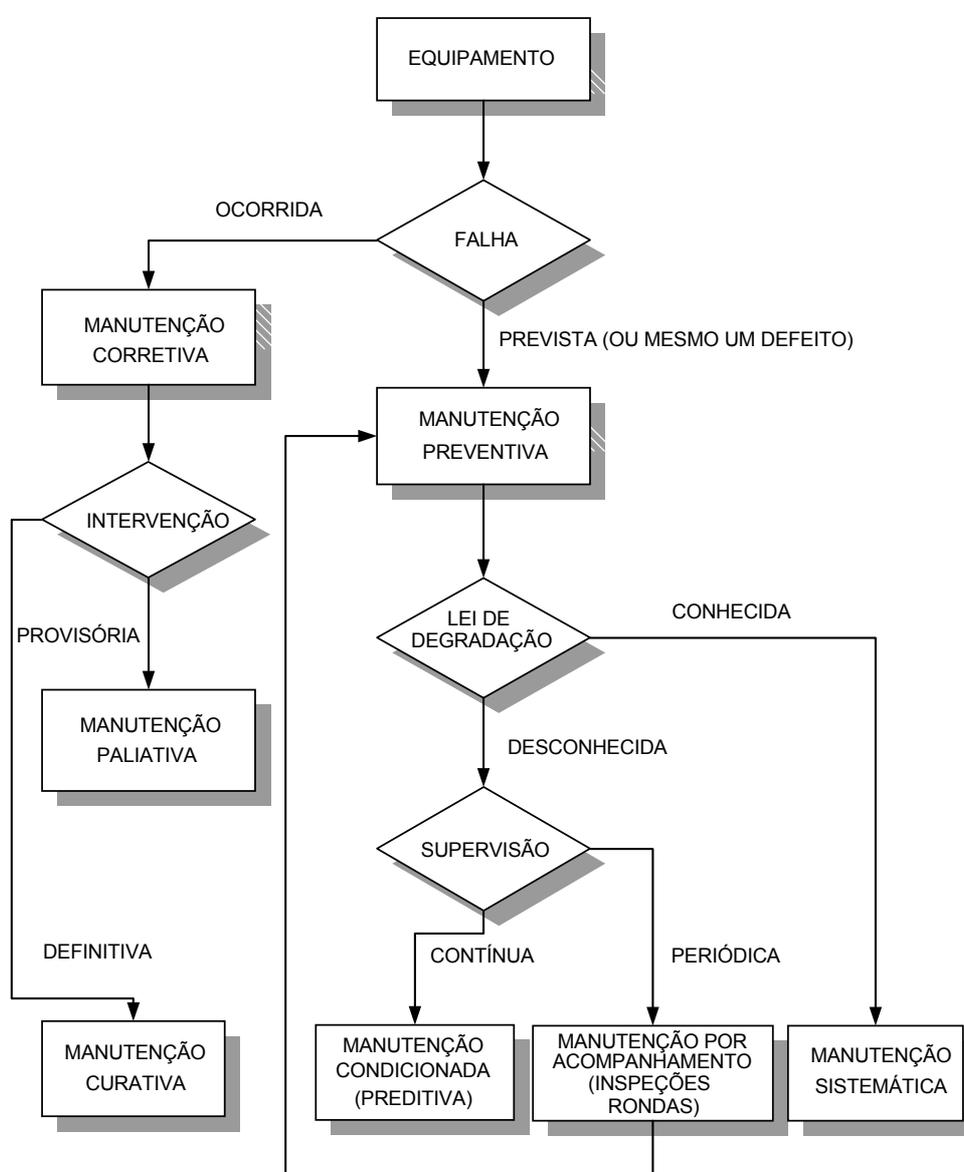
Por outro lado, caso a lei de degradação seja desconhecida, a manutenção preventiva definida na condição e no tempo, se subdivide respectivamente em preditiva ou por acompanhamento. A manutenção preventiva preditiva ocorre quando se aplica supervisão contínua dos parâmetros de controle. Para Nepomuceno (1989, p.41), “manutenção preditiva ou monitoramento sob condição é a manutenção executada no momento adequado e antes que se processe o rompimento ou falha do componente”. Já a manutenção preventiva ‘por acompanhamento’ é definida quando se utilizam inspeções ou rondas periódicas.

Na literatura técnica, também encontra-se a denominação de técnicas preditivas e não de manutenção preditiva, por se entender que esta forma de atuação estaria englobada pela manutenção preventiva. Este é o caso das empresas do Setor Elétrico Brasileiro, conforme GCOI-SCM (1998), no seu Manual do Usuário do Sistema Estatístico da Manutenção. Esta forma de manutenção não apenas seria aplicada em situações de supervisão contínua, mas também no acompanhamento da performance do equipamento em operação (medições de vibração, temperatura, e outros), e mesmo para o acompanhamento dos parâmetros de controle obtidos a intervalos regulares (análise físico-química de óleo isolante e lubrificante, por exemplo).

Geralmente, a manutenção corretiva é aplicada como complemento residual à manutenção preventiva, pois qualquer que seja a natureza ou nível de

prevenção executado, sempre existirá um grupo de falhas residuais que necessariamente irão exigir uma ação corretiva. Esta avaliação também deve considerar o aspecto de custo envolvido, quando reparar corretivamente pode ser mais econômico que intervenções do tipo preventivas.

Para melhor ilustrar as formas de manutenção Monchy (1989,p.35) apresenta um diagrama, estruturado como um fluxo, onde com base em cada situação se define a forma de manutenção a ser adotada, conforme a Figura 1.



**Figura 1 - Formas de Manutenção**

Fonte: adaptado de Monchy (1989).

Outras variações de denominação existem, mas todas elas de alguma maneira estão associadas ao que já foi apresentado. As mais freqüentes, encontradas nos dicionários de termos técnicos são, para manutenção corretiva – manutenção forçada, manutenção por falha, manutenção por quebra e manutenção de melhoria. Para manutenção preventiva – manutenção planejada e manutenção programada, e, para a manutenção preditiva, além da variação para técnicas preditivas, como já comentado, tem-se manutenção preventiva não-sistemática ou manutenção preventiva por estado.

Sobre este último conceito, Moubray ( 2000) propõe a definição de uma outra forma de manutenção, denominada manutenção detectiva. Esta forma de manutenção compreende verificações funcionais ou tarefas de busca de falhas, que são atividades desenvolvidas para checar ou testar se algum equipamento ainda funciona. Todavia, considerando os conceitos já apresentados, esta atividade poderia ser classificada como manutenção preventiva.

Com menor ocorrência, são encontradas: manutenção por oportunidade (tarefa de manutenção preventiva, na maioria das vezes, aproveitando a disponibilidade operativa do equipamento), e manutenção em funcionamento ou manutenção permitindo o funcionamento (tarefa de manutenção preventiva sem indisponibilidade do equipamento).

Para definir a melhor estratégia a ser adotada em um plano de manutenção, considerando-se as várias formas de manutenção, é necessário desenvolver uma análise de custo-benefício. Em vista disso, utiliza-se concomitantemente, em uma instalação, as diferentes formas de manutenção, avaliando a função desempenhada pelo equipamento, sua importância no contexto operacional e as conseqüências das possíveis falhas, que o equipamento possa gerar ao falhar.

De maneira mais abrangente, como uma filosofia de manutenção, também pode ser citada a Manutenção Produtiva Total (em inglês é *Total Productive Maintenance* - TPM), desenvolvida no Japão. Conforme Nakajima (1989), primordialmente, esta filosofia busca maximizar a eficiência do equipamento

através do envolvimento e participação de gerentes, de profissionais de manutenção e operação, e de clientes, utilizando-se das formas de manutenção, já anteriormente citadas. A este respeito, Moore e Rath (2001) enfatizam que, devido a sua origem japonesa, esta metodologia estabelece um alto valor para a equipe de trabalho, com base no consenso e melhoria contínua.

Novas metodologias têm surgido, mais recentemente, com o intuito de otimizar os processos de execução da manutenção e da performance operacional dos equipamentos. Uma delas é a Manutenção Centrada na Confiabilidade – MCC. Este método, apresentado no item a seguir, foi desenvolvida inicialmente para a área aeronáutica, e migrou mais tarde para outros segmentos industriais, conforme comentam Dias e Santos (1999).

## 2.3 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE – MCC

### 2.3.1 Origem e conceitos básicos da MCC

No final dos anos 50, a indústria de aviação comercial americana estava particularmente preocupada com a falta de uma metodologia para otimizar sua manutenção preventiva, conforme afirma Moss (1985). Com relação a essa questão, Netherton (2001) comenta que, naquela época, a aviação comercial ao redor do mundo sofria mais de 60 acidentes por milhão de decolagem, sendo dois terços desses acidentes causados por falha de equipamento. Esta estatística representaria, para os dias de hoje, dois acidentes de avião de 100 assentos ou mais, diariamente.

Moubray (2000), por exemplo, observa que, em 1960, a *Federal Aviation Agency* (FAA) constituiu uma força tarefa, denominada *Maintenance Steering Group* (MSG), com a participação das companhias aéreas americanas, para estudar os planos de manutenção até então utilizados. O primeiro resultado foi alcançado em 1965, e posteriormente apresentado em 1967, durante o Encontro Internacional sobre Operação e Projetos de Aeronaves Comerciais. O documento elaborado recebeu a denominação de MSG-1, cujo conteúdo foi utilizado na manutenção do Boeing 747.

Cerca de dois anos mais tarde, uma outra versão foi elaborada, com a denominação de MSG-2, e aplicada no desenvolvimento dos programas de manutenção dos aviões *Lockheed 1011*, S-3 e P-3, *Douglas DC 10* e *MCDonnell F4J*. Cabe comentar também que, com base nesses estudos, a indústria europeia emitiu documento similar aplicado nos programas de manutenção do Airbus A-300 e do Concorde.

A partir dos documentos MSG-1 e MSG-2, Nowlan e Heap (1978) desenvolveram um outro estudo mais detalhado, encomendado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, para a determinação de normas e procedimentos de manutenção, com base numa ampla análise estatística. Os autores denominaram o documento de *Reliability Centered Maintenance* (RCM), que foi traduzido para Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC). Este documento, conhecido como MSG-3, tornou-se o marco para a manutenção da indústria aeronáutica. Por exemplo, para se ter autorização para voar no espaço aéreo americano, os projetos devem ter seu plano de manutenção embasado nesse documento.

A Manutenção Centrada em Confiabilidade é conhecida na Europa como Otimização da Manutenção pela Confiabilidade (OMC), conforme Azevedo (1998). No Brasil, outra denominação utilizada é Manutenção Baseada em Confiabilidade (MBC).

A busca por melhorias nos processos de manutenção possibilitou novas perspectivas, segundo Mata Filho et al. (1998), dentre as quais destaca-se que revisões preventivas programadas afetam muito pouco o nível de confiabilidade do equipamento, a menos que um item possua um modo predominante e característico de falha, e, em conseqüência, pode se afirmar que não existe manutenção preventiva eficaz aplicável a determinados itens.

No setor elétrico mundial, especificamente, existem referências de aplicações da MCC no segmento da geração nuclear, na França, pela *Electricité De France* (EDF), primeiro produtor mundial de energia nuclear civil; e, em *San Diego*, nos Estados Unidos, pelo *Electric Power Research Institute* (EPRI), além

da utilização em algumas usinas nucleares no mundo, como citam Moubray (2000) e *Smith* (1992). Outros exemplos de aplicação são encontrados em *Vizzoni* (1998) e *Aupied et al.* (1997), respectivamente, na *Florida Power and Light* (FP&L) e na EDF, em um bay de uma subestação de 400 kV.

Azevedo (1998) observa que existe um número crescente de projetos de aplicação da MCC, por exemplo, em 18 centrais nucleares da EDF, e em centrais térmicas a óleo combustível e carvão, na Companhia Portuguesa de Produção de Eletricidade (CPPE). O autor cita também trabalhos desenvolvidos no setor automobilístico – na Renault; e, no setor de petróleo – na *Exxon Chemical* e na *Elf Production Exploration*, para as plataformas off-shore do Mar do Norte e do Golfo de Guiné.

Já no setor elétrico brasileiro, são conhecidas aplicações da MCC na área de subestações, em Furnas Centrais Elétricas (VIZZONI, 1998); na área de geração hidráulica e transmissão, na Companhia Paranaense de Energia (Copel), como apresentam Souza e Márquez (1998); e na área de geração hidrelétrica na Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig), conforme Sarmiento (2001).

A literatura aponta a MCC como uma ferramenta de manutenção, que visa racionalizar e sistematizar a determinação das tarefas adequadas a serem adotadas no plano de manutenção, bem como garantir a confiabilidade e a segurança operacional dos equipamentos e instalações ao menor custo. Nesses termos, para Branco Filho (2000, p.41), a MCC “com sua ênfase em otimização, documentação, rastreabilidade e continuidade está sintonizada com as mudanças gerenciais que vêm se processando ultimamente na indústria em geral”.

De acordo com *Smith* (1992), a MCC tem o propósito de "preservar as funções do sistema, identificar os modos de falha que afetam essas funções, determinar a importância das falhas funcionais [...] e selecionar as tarefas aplicáveis e efetivas na prevenção das falhas" (p.51). Valendo-se das diferentes formas de manutenção, a MCC pretende resguardar a função do equipamento, em seu contexto operacional, a partir da determinação das necessidades de manutenção de cada equipamento.

A definição do contexto operacional tem por base, segundo Moubray (2000), a consideração de certos fatores, tais como: o tipo de processo industrial (se existem redundâncias ou equipamentos em *stand-by*), o nível de exigência a ser atendido pela produção, os riscos de segurança operacional a serem assumidos, os padrões de meio ambiente; o ciclo operativo dos equipamentos, a logística de manutenção disponível, dentre outros.

A mesma exigência e o conjunto de atividades de produção e manutenção, não são requeridos de maneira semelhante para todos os equipamentos e sistemas. A avaliação deve considerar a dependência funcional e as conseqüências da perda da função para a produção, na eventualidade de ocorrer uma falha. É importante frisar que preservar a função não é o mesmo que preservar a operação do equipamento, como afirma Smith (1992).

Mais especificamente, a MCC analisa se a função desempenhada pelo equipamento não está atendida, a ocorrência das falhas e, principalmente, suas conseqüências. Como definem Fleming et al. (1997), a MCC envolve:

uma consideração sistemática das funções do sistema, a maneira como essas funções falham e um critério de priorização explícito baseado em fatores econômicos, operacionais e de segurança para a identificação das tarefas de manutenção aplicáveis tecnicamente e custos eficientes no combate a essas falhas (p.53).

Moss (1985), por sua vez, observa que a MCC está estruturada com o princípio fundamental de que toda tarefa de manutenção deve ser justificada, antes de ser executada. O critério de justificativa corresponde a segurança, a disponibilidade e a economia em postergar ou prevenir um modo específico de falha. Este critério compreende a principal característica da aplicação da MCC, ou seja, a partir de uma avaliação acurada das funções desempenhadas, por cada componente de um sistema produtivo ou equipamento, são estabelecidas as tarefas de manutenção mais adequadas para a garantia do desempenho operacional da instalação.

### 2.3.2 Diagramas de aplicação da MCC

No processo de aplicação da MCC, devem ser sistematicamente identificadas e avaliadas, como primeiro passo, as funções e o padrão de desempenho dos equipamentos em seu contexto operacional. Em seqüência, devem ser definidas as falhas funcionais e seus respectivos modos de falha, bem como o efeito ou conseqüências dessas falhas. Esta análise se completa, com a determinação das tarefas de manutenção adequadas, técnica e economicamente, para prevenir cada falha. Nesse sentido, a metodologia recomenda o reprojeto do equipamento (ou mesmo assumir o fato de que o sistema irá operar até a falha), caso não possa ser encontrada uma tarefa preventiva adequada para a prevenção da falha.

Uma importante ferramenta de confiabilidade utilizada na aplicação da MCC é a de *Failure Modes and Effect Analysis* (FMEA), que foi traduzido para Análise de Modos e Efeitos das Falhas. Esta ferramenta tem um papel vital no desenvolvimento dos programas de qualidade e de confiabilidade das organizações, conforme Palady (1997), utilizada com freqüência na análise de falhas e riscos, na indústria nuclear, espacial, de processos químicos, de produção de bens de consumo e de serviços.

A FMEA pode ser considerada uma ferramenta de análise de projetos, com o intuito de caracterizar os prováveis modos de falha potenciais e estabelecer seus efeitos sobre o desempenho do sistema, com base em raciocínio dedutivo (HELMAN e ANDEREY, 1995). Em linhas gerais, conforme COTNAREANU (1999), pode-se afirmar que a FMEA constitui-se em uma abordagem simples, sistemática e direta para a identificação das fontes básicas de falhas, suas causas e conseqüências, verificando os métodos existentes para a detecção ou controle dessas falhas, e, definindo as ações corretivas necessárias para eliminar as causas ou reduzir seus efeitos.

A partir da caracterização da falha, na aplicação da FMEA, devem ser identificados os modos de falha, ou seja, a maneira pela qual um determinado item deixa de executar sua função. Modo de falha é definido na norma militar

americana Mil-Std 1629A, citada por Oliveira e Diniz (2001), como a maneira pela qual a falha é observada. Cabe destacar, contudo, que para cada modo de falha são relacionadas as respectivas causas das falhas, podendo um mesmo modo de falha ter mais de uma causa.

Nesses termos, com a finalidade de avaliar o impacto da ocorrência de falha para o desempenho do sistema ou equipamento, em análise, são associados aos modos de falha, os efeitos ou conseqüências das falhas. As conseqüências das falhas, portanto, podem afetar a produção, a qualidade do produto ou serviço a ser oferecido, a segurança, o meio ambiente, apresentando reflexos nos custos operacionais, ou mesmo prejudicando a imagem institucional. Caso essas conseqüências sejam relevantes, a empresa deve se empenhar com vigor na direção de prevenir aquela falha, evitando a ocorrência do modo de falha a ela associado. Mas, se as conseqüências não são importantes, é aceitável que nenhuma ação seja requerida.

Dessa forma, para a MCC, são as conseqüências que mais fortemente influenciam o processo de prevenção de cada falha, a ponto de Moubray (2000, p.91) afirmar que:

as conseqüências das falhas são mais importantes que suas características técnicas [...] a principal razão para fazer qualquer tipo de manutenção pró-ativa é evitar, reduzir ou eliminar a conseqüência das falhas [...] isto ajuda a assegurar que qualquer gesto em manutenção será onde trará o maior benefício.

Portanto, a estratégia de manutenção não deve somente estar dirigida para prevenir as falhas, mas sim, principalmente, para evitar ou minimizar as conseqüências dessas falhas. Sobre o assunto, Nowlan e Heap (1978, p.25) enfatizam que os equipamentos “são compostos por um número muito grande de partes e acessórios. Todos estes itens podem falhar em determinado momento, mas algumas falhas trazem conseqüências mais sérias do que outras”.

É imperiosa uma avaliação detalhada do processo produtivo, então, visando reconhecer com a maior precisão possível, as conseqüências das falhas,

ou seja, “a consequência da falha funcional determina a prioridade de esforço da manutenção” (NOWLAN e HEAP, 1978, p.25). Complementando essa idéia, Slack et al. (1997) ressaltam que os gerentes de produção precisam aceitar que as falhas ocorrem apesar de todo o esforço para preveni-las.

Na literatura especializada encontram-se vários relatos a respeito das consequências, às vezes com repercussões trágicas, da ocorrência das falhas e da administração ineficiente de destas consequências, como, por exemplo, nos acidentes na *Hoechst* e *Chernobyl*, citados por Slack et al. (1997), ou *Amoco Cadiz*, *Bhopal* e *Piper Alpha*, citados por Moubray (2000).

As consequências das falhas, segundo Nowlan e Heap (1978), podem ser classificadas em: com consequências de falhas ocultas, com consequências para a segurança ou meio ambiente, e com consequências operacionais ou não operacionais. Para a MCC, as falhas ocultas e aquelas com consequências para a segurança ou meio ambiente são mais importantes que as falhas com consequências operacionais. Esta é uma visão diferenciada dos demais métodos de manutenção que, normalmente, priorizam as falhas com consequências operacionais.

A MCC atribui alta prioridade à avaliação e prevenção da falha oculta. Este conceito de falha oculta está associado a uma função cuja falha não se torna evidente para o operador ou profissional de manutenção. Isto é, algumas falhas podem ocorrer sem que seja 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 as instalações à possibilidade de ocorrência das chamadas falhas múltiplas. Ou seja, uma falha ocorre quando um dispositivo de proteção, que deveria proteger a instalação em relação a aquela falha, já havia falhado. Por exemplo, como dispositivos de proteção têm-se os diversos sensores, dispositivos de supervisão, botoeiras de comando, relés de proteção, sistemas anti-incêndio, equipamentos instalados em *stand-by*. Dessa forma, a consequência dessas falhas, por envolver dispositivos de proteção, pode ser muito séria, transformando-se, em alguns

casos, em um evento catastrófico, com reflexos significativos para a imagem institucional.

Uma tendência natural, ao se avaliar os riscos associados e as conseqüências das falhas ocultas, é deduzir-se que a única forma de minimizar o risco de falha múltipla seja a adoção de equipamentos redundantes, mais confiáveis e modernos. Moubray (2000) enfatiza, sobre o assunto, que é necessário um cuidado especial nesta área, porque funções extras instaladas com esta finalidade também tendem a ser ocultas.

Nesse sentido, Oliveira e Diniz (2001) recomendam que, para reduzir a probabilidade de sua indisponibilidade, esses dispositivos devam ser testados periodicamente. Observa-se, porém, que para a realização desta tarefa de busca de falha, deve-se interferir o mínimo possível na instalação, para não se introduzir um problema durante a remontagem ou reinstalação. Este aspecto torna-se relevante, na medida em que, frente a uma situação de falha oculta, não é possível saber se o equipamento passará a operar em estado de falha. Por esta razão, deve-se desenvolver meios para testar a funcionalidade dos dispositivos de proteção durante o processo de manutenção, evitando-se desconectá-los, ou mesmo alterar alguma de suas características operativas.

De acordo com a prioridade que a MCC confere à falha oculta, Moubray (2000) apresenta como calcular o intervalo a ser aplicado em uma tarefa de busca de falha, em dispositivos de proteção, nos seguintes termos: a probabilidade de uma falha múltipla ocorrer em qualquer período de tempo é dada pela probabilidade com que a função protegida possa falhar, enquanto o dispositivo de proteção estiver em estado de falha neste mesmo período.

Assim,

$$\left[ \begin{array}{l} \text{Probabilidade de} \\ \text{uma falha múltipla} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{l} \text{Probabilidade de falha} \\ \text{da função protegida} \end{array} \right] \times \left[ \begin{array}{l} \text{Indisponibilidade Média do} \\ \text{dispositivo de proteção} \end{array} \right]$$

A literatura técnica, citada por Moubray (2000), apresenta uma correlação linear entre o intervalo de busca de falha e a confiabilidade do dispositivo de proteção, para o caso da indisponibilidade requerida igual ou menor que 5%, conforme segue:

$$\text{Indisponibilidade} = \frac{0,5 \times \text{Intervalo de Busca de Falha}}{(\text{MTBF}) \text{ Tempo Médio Entre Falhas}}$$

A MCC apenas apresenta uma sugestão de cálculo para a determinação da periodicidade das falhas ocultas, o que não ocorre para as demais tarefas baseadas no tempo e na condição. Para estas tarefas, são encontradas recomendações, no sentido de analisar o histórico de falhas, pesquisar bancos de dados genéricos, obter informações com os fabricantes, e de equipamentos similares, conforme indicam Oliveira e Diniz (2001). Existem autores, como Resnikoff, citado por Moubray (2000), que apresentam questionamentos contundentes à necessidade de análise de dados históricos para a definição da política de manutenção. Moubray ainda comenta citando Resnikoff, que em relação à atenção dedicada a coleta de dados de falhas, a inferência estatística com objetivo de prevenção da ocorrência das falhas, fica prejudicada, pois as falhas mais importantes são menos freqüentes.

Moubray (2000) sugere a adoção de um intervalo inicial, para a periodicidade de inspeção das formas de manutenção, diferentes das tarefas de busca de falha, a ser refinado a partir da execução da manutenção ao longo do tempo. Tal recomendação reforça a afirmativa que a MCC apresenta indicação de cálculo apenas para a periodicidade das tarefas de busca de falha. A esse respeito, Smith (1992), Nowlan e Heap (1978) confirmam que a freqüência das inspeções deve evoluir com a experiência da realização da manutenção, ou seja, a MCC define a tarefa, mas não define a sua periodicidade.

A coleta e análise dos dados de falha é importante para auxiliar na definição das periodicidades das inspeções, apesar da metodologia MCC

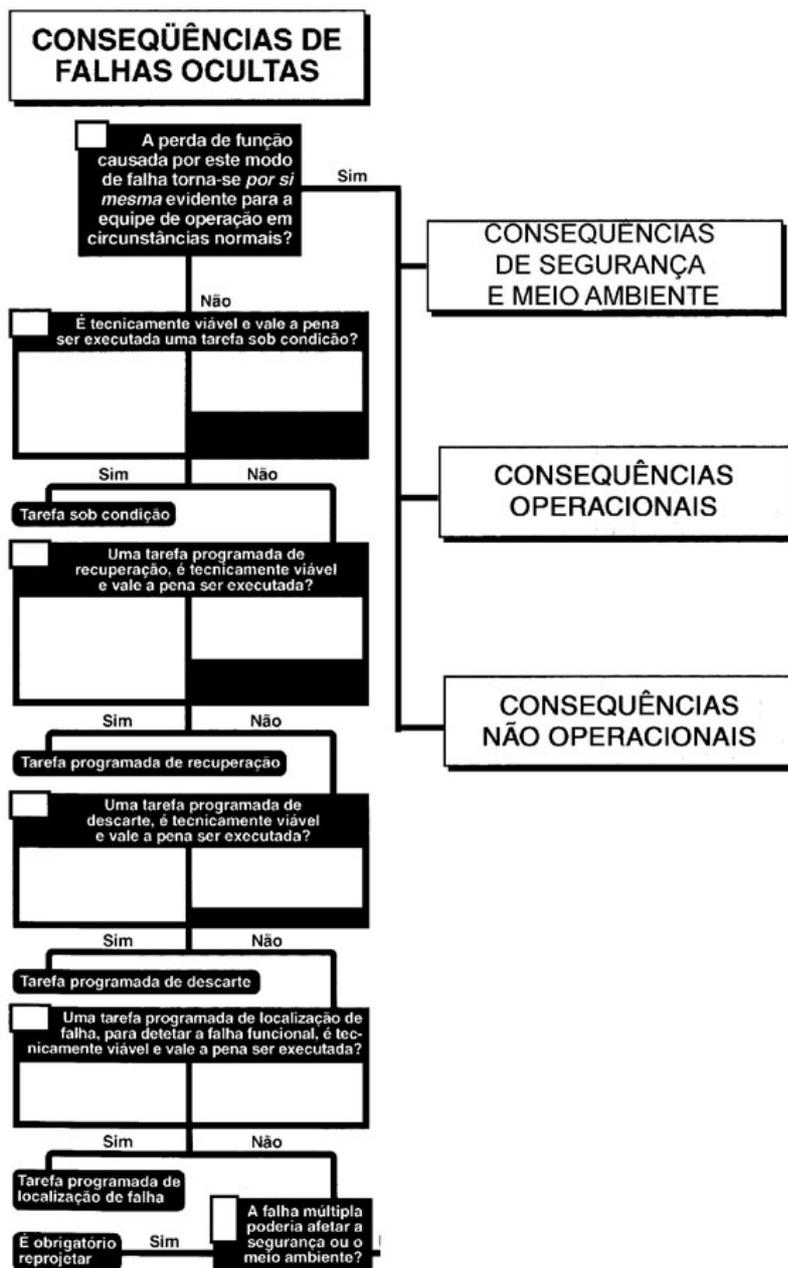
fundamentar-se na análise qualitativa. Grandezas como taxa de falhas, frequência de inspeções, análise das falhas ocorridas, tempo médio entre falhas e tempo médio entre reparos, estão entre os principais dados que podem auxiliar a aplicação da MCC. Cabe observar que, mesmo que estes dados não estejam disponíveis, a aplicação da MCC é viável.

Em outro caso, ao ser instalado um equipamento ou sistema novo é possível aplicar a MCC, valendo-se de informações disponíveis em banco de dados genéricos de falhas em equipamentos e componentes similares, bem como de referências dos fabricantes.

O processo de aplicação da MCC compreende uma seqüência de etapas, utilizando-se planilhas e diagramas de decisão, condicionando a indicação da tarefa de manutenção mais adequada. Fleming et al. (1997) comentam que o diagrama de decisão utiliza um conjunto de perguntas do tipo 'sim ou não', para classificar as conseqüências dos modos de falha e, em seguida, buscar as tarefas de manutenção que sejam aplicáveis e eficazes na prevenção ou mitigação destas falhas. Um conjunto de questões sistematizadas pode também ser utilizado para a aplicação da MCC, conforme apresentado por Moss (1985).

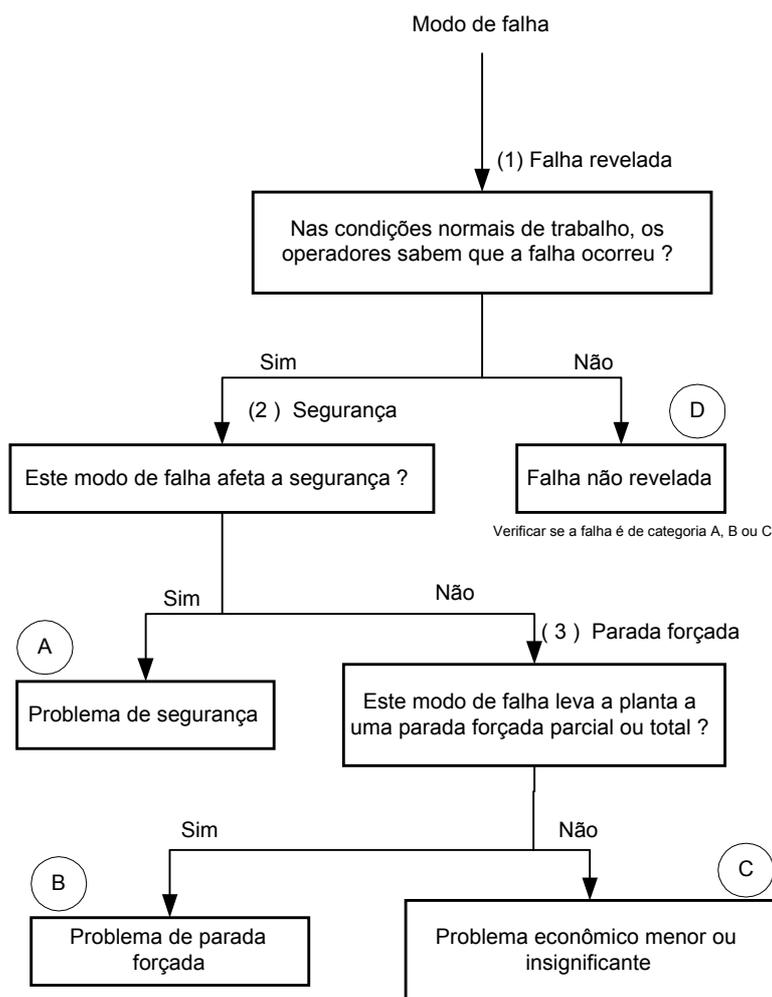
Moubray (2000) propõe, para a aplicação da MCC, um diagrama lógico, apresentado na Figura 2, a seguir, conforme a classificação de conseqüências de falhas desenvolvida por Nowlan e Heap (1978).

Smith (1992), por sua vez, sugere dois outros diagramas de decisão. O diagrama denominado Árvore Lógica de Decisão com Categorias de Falhas por Conseqüências está apresentado na Figura 3, e outro denominado Diagrama de Seleção de Tarefas apresentado na Figura 4. Observa-se que este autor apresenta a seguinte classificação: falhas com conseqüências para a segurança e meio ambiente, falhas com conseqüências operacionais e falhas com conseqüências econômicas, diferente daquela utilizada por Moubray (2000). Destaca-se que a ocorrência de falha oculta pode estar associada a cada uma das conseqüências de falha definidas.



**Figura 2 - Diagrama de Decisão**

Fonte: adaptado de Moubray (2000).

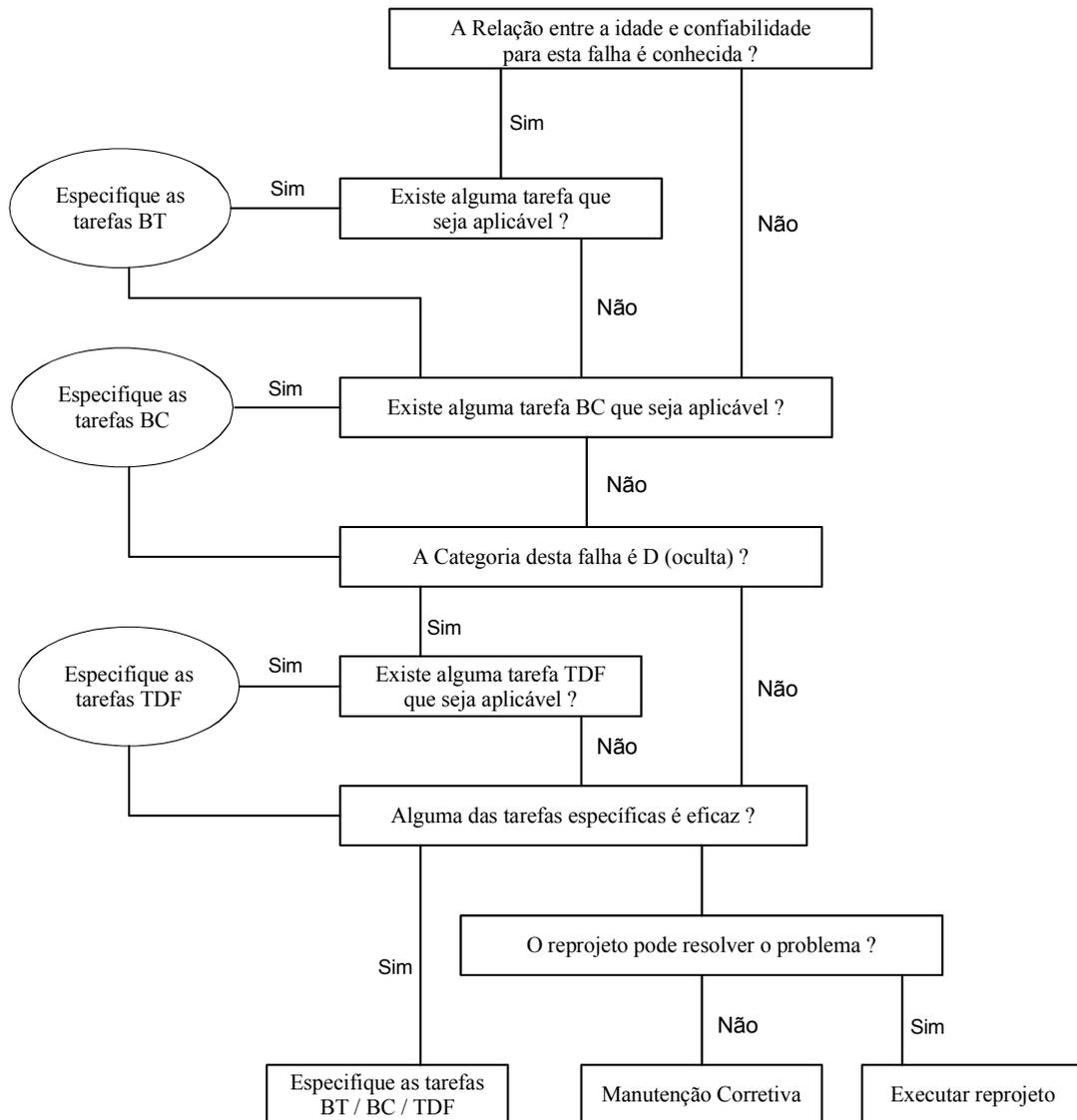


#### LEGENDA

- A - Falha relacionada à Segurança ou Meio Ambiente
- B - Falha Operacional
- C - Falha relacionada à aspectos económicos
- D - Falha Oculta

### Figura 3 - Árvore Lógica de Decisão

Fonte: Smith (1992, p.95).



#### LEGENDA

BT - manutenção baseada no tempo

BC - manutenção baseada na condição

TDF - tarefa de busca de falha

MC - manutenção corretiva

E os modos de falha.

A - falhas com consequências para a segurança ou meio ambiente

B - falhas com consequências operacionais

C - falhas com consequências econômicas

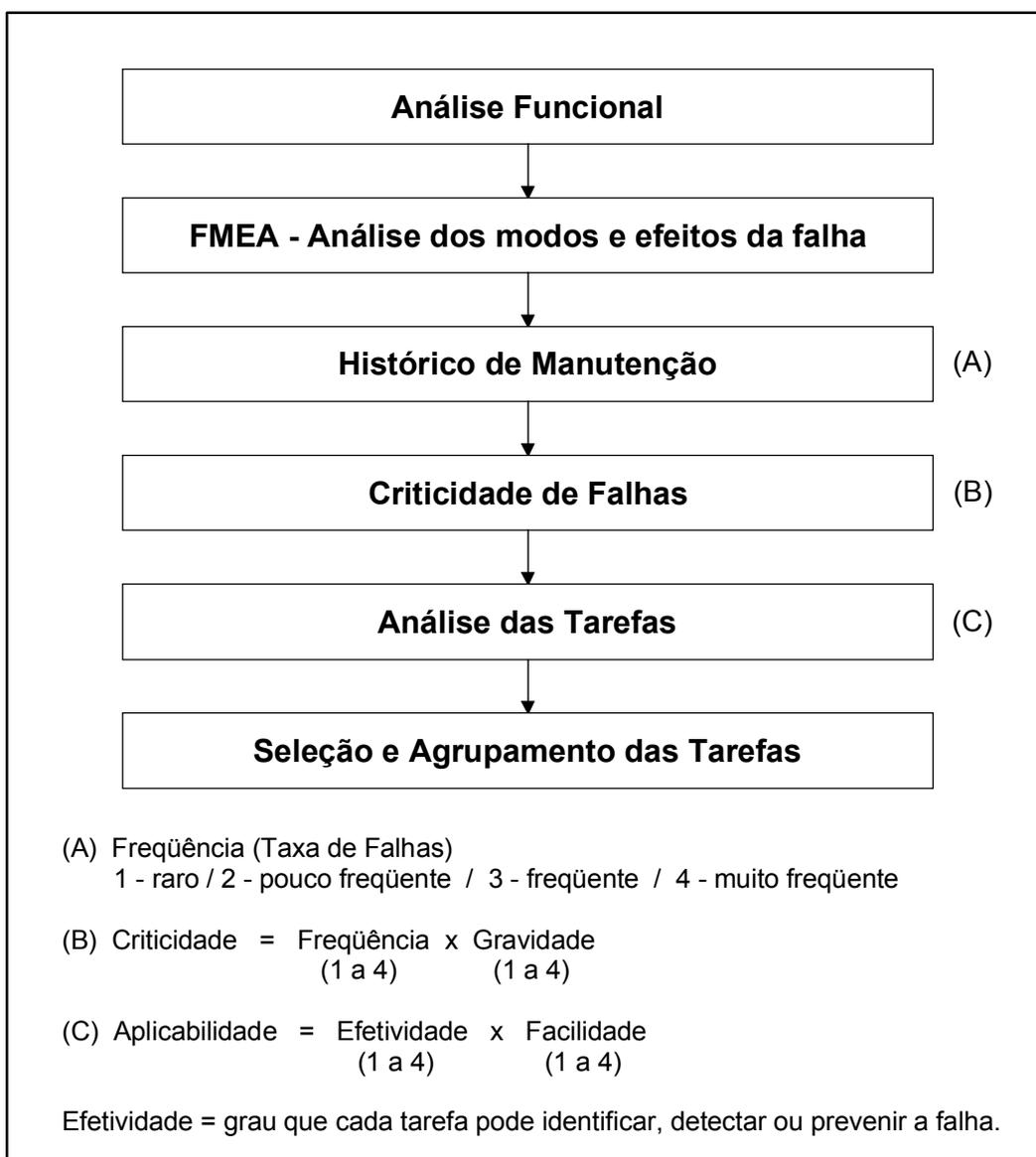
ou D/A, D/B, D/C se a falha for oculta com as respectivas consequências.

### Figura 4 - Diagrama de Seleção de Tarefas

Fonte: Smith (1992, p.96)

Aconselha-se a utilização de planilhas de apoio para o registro dos dados obtidos, devido ao grande volume de informações geradas pela aplicação dos diagramas de decisão. Algumas iniciativas já estão sendo observadas no sentido de desenvolver programas computacionais para o tratamento dessas informações.

Aupied et al. (1997) utiliza uma outra forma de aplicação apresentada na Figura 5.



**Figura 5 - Diagrama EDF**

Fonte: Aupied et al. (1997, p.4)

Portanto, na aplicação da MCC são desenvolvidas as seguintes etapas: definição das funções dos equipamentos, em seu contexto operacional; análise das falhas funcionais associadas, a aplicação da FMEA; e, seleção das tarefas de manutenção. Independente da forma de aplicação da MCC, devem ser consideradas e respondidas, seqüencialmente, as sete perguntas básicas preconizadas na norma SAE JA 1011, quais sejam:

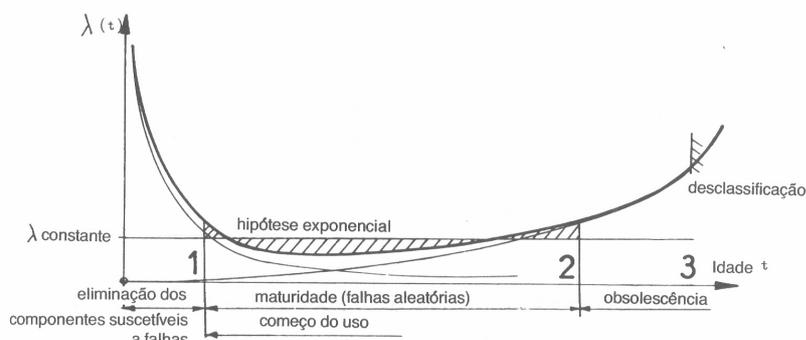
- Quais são as funções e padrões de desempenho de um ativo no seu contexto presente de operação?
- De que forma ele falha em cumprir suas funções?
- O que causa cada falha funcional?
- O que acontece quando ocorre cada falha?
- De que forma cada falha importa?
- O que pode ser feito para predizer ou prevenir a falha?
- O que deve ser feito se não for encontrada uma tarefa pró-ativa apropriada?

Na definição da tarefa de manutenção mais adequada, é importante considerar também o mecanismo de degradação da função. Isto é, a denominada vida útil do equipamento e a caracterização da 'idade' em que pode ocorrer um aumento perceptível da probabilidade desse equipamento apresentar uma falha. Este conceito está associado a clássica 'curva da banheira'.

### **2.3.3 Mecanismos de degradação da função**

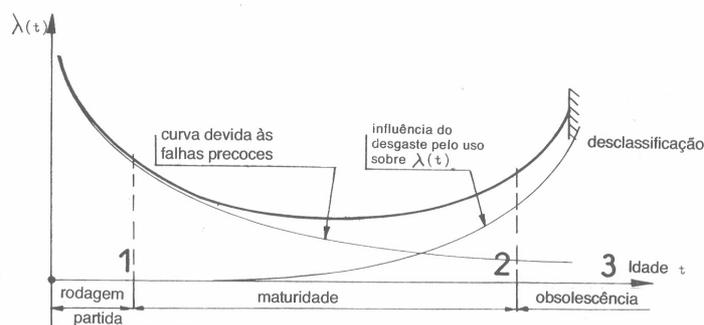
Por muito tempo, os planos e procedimentos de manutenção foram definidos com base no pressuposto, que a maioria dos equipamentos podem operar, por um determinado período de tempo, com probabilidade de falha constante (período de vida útil). No período inicial de operação, conhecido como 'mortalidade infantil', a probabilidade de falha é alta até atingir a de vida útil, devido a um processo de 'amaciamento'. Mais tarde, em consequência do natural 'envelhecimento', a probabilidade de falha aumenta, novamente.

As curvas de variação da taxa da falha para equipamentos eletrônicos e mecânicos, denominada de 'curva da banheira', são apresentadas por Monchy (1989), como demonstrado, respectivamente, na Figura 6 e Figura 7.



**Figura 6 - Curva da Banheira – Equipamentos Eletrônicos**

Fonte: Monchy (1989, p. 81 )



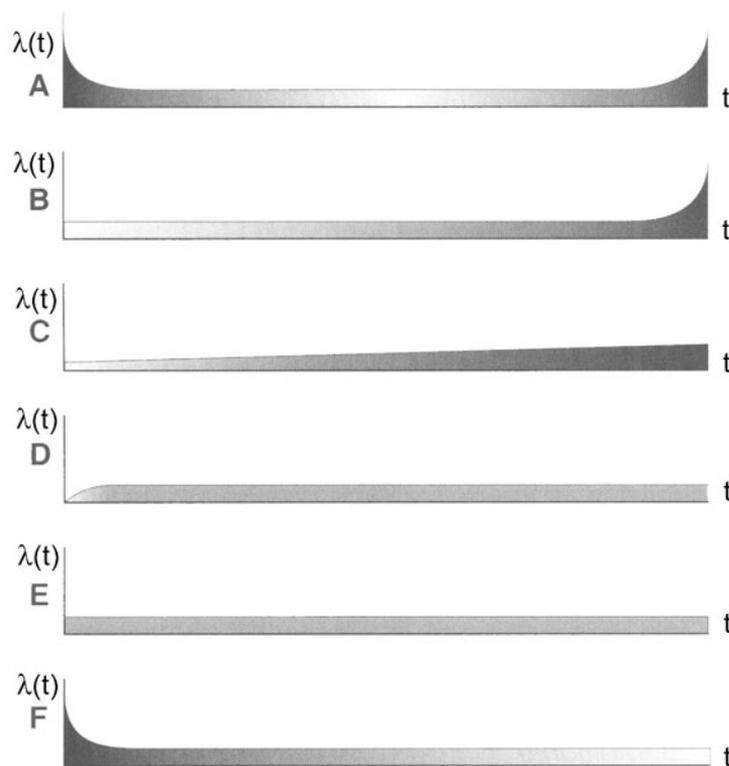
**Figura 7 - Curva da Banheira – Equipamentos Mecânicos**

Fonte: Monchy (1989, p. 81 )

Castro (1997) observa que a idade operacional não está necessariamente associada à confiabilidade, fato este que conforme o autor foi confirmado pela indústria aeronáutica que obteve maus resultados de desempenho operacional ao acreditar que a extensão e a freqüência das intervenções programadas eram indispensáveis para garantia dessa confiabilidade.

A esse respeito, Moubroy (2000) comenta que as características de desgaste são freqüentemente encontradas somente em equipamentos que entram em contato direto com o produto.

Os estudos de Nowlan e Heap (1978) questionaram a tradicional 'curva da banheira' e apresentam seis padrões, para representar a probabilidade de falha em relação à idade operacional dos equipamentos complexos, atualmente em uso, com grande variedade de componentes elétricos, eletrônicos e mecânicos, como indicado na Figura 8.



**Figura 8 - Novos Padrões de Falha**

Fonte: Nowlan e Heap (1978, p.46.sec 2.8)

Observa-se que o padrão de falha 'A' é a própria 'curva da banheira'. Já os padrões 'B' e 'C', representam equipamentos com falhas relacionadas com o tempo de operação. Para o padrão 'B', fica caracterizado uma zona de desgaste, o que não ocorre para o padrão 'C'. Neste caso, tem-se um lento aumento de probabilidade de falha. A característica do padrão 'D' é a ocorrência de uma baixa probabilidade de falha, quando o equipamento é novo; ocorre mais tarde um rápido aumento dessa probabilidade até atingir um nível constante. Os equipamentos com taxa de falha constante, independente de seu tempo de

operação, seguem o padrão 'E'. Por último, tem-se o padrão 'F', que apresenta um período inicial característico de mortalidade infantil, após o que a taxa de falha se mantém constante ao longo do tempo.

Os mesmos estudos de Nowlan e Heap (1978) indicaram que 4% dos equipamentos obedecem o padrão 'A'; 2% o padrão 'B'; 5% o padrão 'C'; 7% o padrão 'D'; 14% o padrão 'E'; e 68% o padrão 'F'. Dessa maneira, 89% dos equipamentos não apresentam falhas associadas a idade operacional. Com relação aos padrões, ainda, Moubray (2000) observa que o número de vezes que ocorrem nas aeronaves não é necessariamente o mesmo que ocorre na indústria em geral. Contudo, o autor afirma não ter dúvida que, como os equipamentos tornam-se mais complexos, recaem cada vez mais nos padrões 'E' e 'F'.

Com base nos padrões apresentados, a estratégia de manutenção adotada de substituir periodicamente algum equipamento ou componente, na pretensa intenção de aumentar a confiabilidade operativa, não é adequada. Como pode se observar, em muitos casos, a probabilidade de ocorrência de falha estaria aumentando, além dos custos envolvidos na manutenção realizada. Castro (1997, p.117) comenta:

duas descobertas foram especialmente surpreendentes: para determinados equipamentos que operam com uma taxa de falha mais ou menos constante isto é, sem um modo de falha dominante, as chamadas intervenções programadas além de desnecessárias e evasivas, na maioria das vezes só contribuem para diminuir a confiabilidade mediante a introdução de mortalidade infantil e distúrbios em sistemas a princípio estáveis; e para muitos equipamentos simplesmente não existem práticas eficazes de manutenção programada.

Constata-se, portanto, que a aviação comercial americana encomendou os estudos, que culminaram com o desenvolvimento da metodologia MCC, devido a concepção vigente à época, de realizar a manutenção preventiva, associada a intervalos de tempo pré-definidos. Essas manutenções, comumente associadas a substituições de componentes e equipamentos, apresentavam custos operacionais altos, sem a contrapartida do aumento esperado de confiabilidade e disponibilidade, ao contrário, com o indesejável aumento da ocorrência de falhas,

características do período de 'mortalidade infantil'. August (1999) confirma esta afirmação, ao destacar que a confiabilidade não aumenta pela simples substituição, na verdade pode diminuir, enquanto os custos aumentam.

Em resumo, verifica-se existir uma variedade muito grande de terminologia associada aos conceitos de manutenção, e que também, a própria manutenção tem evoluído nos últimos tempos de uma visão de execução de reparos para uma postura de prevenção das falhas, valendo-se das diferentes formas de atuação.

Pode-se observar que a MCC enfatiza a análise das funções e conseqüências das falhas, muito mais que nos equipamentos e na própria falha em si, procurando definir as tarefas de manutenção mais adequadas, técnica e economicamente, utilizando as diferentes formas de manutenção. Adicionalmente, de maneira objetiva, esse método preconiza a adoção de manutenção corretiva, ou seja, operar até a falha, quando as conseqüências de uma falha não são representativas.

Ainda com base nos estudos de Nowlan e Heap (1978), os padrões de probabilidade de falha até então representados apenas pela 'curva da banheira' direcionam o plano de manutenção para um número mínimo necessário de tarefas, sendo que na aplicação da MCC, a ferramenta FMEA é utilizada para o desenvolvimento da análise dos modos e efeitos das falhas, a partir de um sequenciamento estruturado, para a definição das tarefas de manutenção. Prioriza-se, nessa análise as falhas ocultas, ou seja aquelas que não se tornam evidentes a partir de sua ocorrência, entendendo-se que essas falhas podem trazer, em alguns casos, conseqüências desastrosas para a instalação.

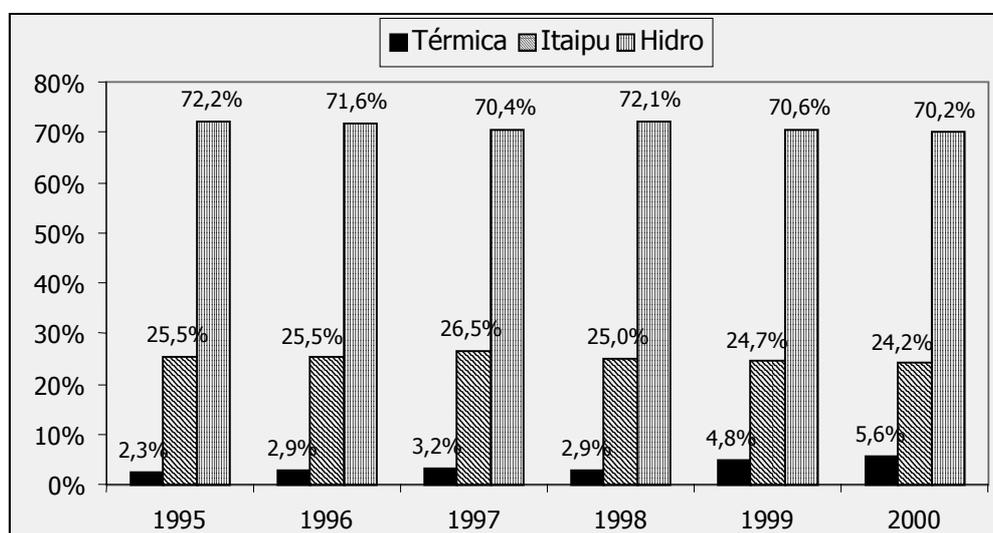
A metodologia de manutenção desenvolvida pelas empresas do setor elétrico brasileiro confirma a ênfase na prevenção das falhas, a partir da aplicação de uma estratégia apoiada na manutenção preventiva, utilizando as diferentes formas de manutenção apresentadas. O plano de manutenção é definido a partir da experiência das principais empresas, e aprimorado com base na execução da manutenção em seus próprios equipamentos, com ênfase para a composição e análise do histórico de manutenção preventiva e corretiva.

## Capítulo 3. A SISTEMÁTICA DE MANUTENÇÃO DE ITAIPU

### 3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A importância estratégica da Central Hidrelétrica de Itaipu na geração de energia elétrica para o Sistema Interligado Brasileiro e Paraguai é confirmada pela participação percentual nos mercados de produção de energia. No ano 2000, por exemplo, em cada um dos sistemas elétricos nacionais que a central atende, sua participação foi de 24% da energia produzida no Brasil, sendo 30% consumida na região Sul-Sudeste e Centro-Oeste, e 91% no Paraguai.

Itaipu Binacional, portanto, tem expressiva participação na produção de energia elétrica brasileira, tendo sua importância estratégica confirmada ao se avaliar ainda o percentual de suprimento para o sistema interligado nacional, como pode ser constatado na Figura 9:



**Figura 9 - Participação de Itaipu na produção de energia**

Fonte: ONS e Itaipu Binacional (2000)

Deve-se destacar que, em face das dificuldades apresentadas para o atendimento do mercado de energia deverão ser alocados recursos para investimento no aumento da capacidade de produção hidrelétrica no país. Existe

também a expectativa, de um crescimento da participação termelétrica na matriz energética de 9,2 % para 25 %, nos próximos 10 anos, devendo ser instalados cerca de 49 mil quilômetros de linhas de transmissão e 92 mil MVA em subestações.

Mesmo assim, de acordo com Ventura Filho (1998), no Brasil a expansão do sistema de geração esperada até o ano 2015, manterá predominante a opção pela hidroeletricidade, alcançando cerca de 80% do total de produção de energia elétrica, naquele ano. As principais razões que levaram o parque gerador brasileiro a ser predominantemente hidrelétrico continuam válidas, portanto, no contexto da expansão do sistema, segundo o mesmo autor, e seriam: a disponibilidade de recursos hidrelétricos, a competitividade do potencial hidrelétrico, a energia hidrelétrica ser uma fonte renovável, a tecnologia nacional brasileira, a minimização de agressão ao meio ambiente, e a possibilidade de usos múltiplos destes empreendimentos.

A seguir, no Quadro 2, é apresentada a previsão de crescimento do mercado de energia elétrica para um consumo total de energia firme de 290 Twh em 1999, para 464,5 Twh em 2009.

#### Quadro 2 - Previsão crescimento consumo energia elétrica 2000/2009

	1999/2004	2004/2009	1999/2009
CRESCIMENTO ECONÔMICO (PIB) % a. a.	4,3	5,2	4,7
CRESCIMENTO DO CONSUMO (%) a. a.	4,7	4,7	4,7

CRESCIMENTO POR SISTEMA ELETRICO	(% a. a. )	CRESCIMENTO POR CLASSE DE CONSUMO	(% a. a. )
Norte Isolado	8,9	Residencial	5,5
Norte/Nordeste	5,8	Comercial	6,0
Sul/Sudeste/Centro-Oeste	4,3	Industrial	3,7
<b>Brasil</b>	<b>4,7</b>	<b>Brasil</b>	<b>4,7</b>

Fonte: Plano Decenal de Expansão 2000/2009 – Eletrobrás

Deve-se ainda, considerar que as instalações de geração hidrelétrica, bem como o sistema de transmissão associado, são compostas por um número muito grande de equipamentos e sistemas mecânicos, elétricos, eletrônicos e estruturas civis, com tecnologia bastante variada, constituindo conjuntos altamente complexos, diversificados e interdependentes.

Ao analisar este panorama, fica evidente a necessidade de adoção de uma sistemática de manutenção eficaz, que otimize a exploração dos recursos hídricos para geração de energia elétrica, garantindo a continuidade do fornecimento com qualidade e confiabilidade, firmemente comprometida com a minimização das interrupções imprevistas.

A sistemática de manutenção de Itaipu, denominada Sistema de Operação e Manutenção (SOM), foi concebida com a visão integrada das áreas de operação e manutenção (neste trabalho é apresentada somente a função manutenção). Esta sistemática, considera a grande variedade de equipamentos e sistemas instalados, e prioriza a capacitação dos técnicos na execução dos serviços de forma homogênea e padronizada, como principais elementos do processo de análise de desempenho desses equipamentos e sistemas. Desta forma, as atividades de manutenção são definidas, analisadas, programadas e controladas, com ênfase em ações pró-ativas baseadas na aplicação de manutenção preventiva, corretiva e técnicas preditivas.

### 3.2 HISTÓRICO DE IMPLANTAÇÃO DO SOM

A década de 60 caracterizou-se pela ocorrência dos primeiros esforços ordenados de empresas de porte, em todo o mundo, no sentido de estruturar um sistema de manutenção adaptado às suas realidades, e que contribuísse para a consecução de três compromissos básicos de uma empresa de eletricidade: garantia de continuidade de fornecimento, garantia de qualidade da energia e minimização dos custos da energia gerada.

Empresas como a EDF - *Electricité De France*, BC HYDRO - *British Columbia*, HYDRO QUEBEC, e TVA - *Tennessee & Valley Authority* constataram

que a pretensa evolução da manutenção corretiva em preventiva se restringia a esforços setoriais de algumas equipes locais. Essas empresas entendiam que, a manutenção deveria utilizar uma metodologia adequada, executada por profissionais qualificados, e dispor de instruções técnicas precisas.

Neste ambiente, a EDF, através da Diretoria de Geração Hidráulica, decidiu desenvolver um método de manutenção que incorporasse a experiência acumulada da empresa, utilizasse seus melhores recursos técnicos e o desenvolvimento da tecnologia dos fabricantes. Como resultado desse trabalho, surgiu o *Méthode De Controle Et D'entretien Préparé* (MECEP), implementado com sucesso a partir de 1966.

No Brasil, o MECEP foi introduzido na década de 70, sendo enriquecido com informações e conceitos incorporados por outros métodos utilizados em empresas norte-americanas e canadenses. O processo de adaptação para sua utilização nas empresas brasileiras foi bastante influenciado pela natural evolução da área de informática, considerando que o registro e processamento dos dados de manutenção eram inicialmente realizados de forma manual.

A partir dos conhecimentos adquiridos pelos profissionais de Itaipu, técnicos e engenheiros oriundos de empresas do setor elétrico brasileiro, aliada a experiência na utilização de sistemáticas de manutenção com origem no MECEP, concebeu-se o SOM para o gerenciamento de todo o processo de manutenção da Central de Itaipu.

### 3.3 SISTEMA DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO - SOM

O SOM é uma sistemática de normatização, planejamento, acompanhamento, controle e avaliação das atividades de operação e manutenção das áreas elétrica, mecânica e civil, com base em modernas técnicas e processos de manutenção, consolidados a partir da experiência adquirida por empresas do setor elétrico brasileiro, e também acumulada pelo próprio corpo técnico de Itaipu.

O SOM baseia-se no controle permanente de equipamentos e estruturas, objetivando detectar qualquer alteração nas condições normais de operação, antes que se transforme em falha ou restrições operativas indesejáveis.

Dessa forma, prioriza a análise das ocorrências, através do histórico de manutenções periódicas e aperiódicas, apoiado em análises estatísticas, acompanhamento da performance operativa dos equipamentos e sistemas, e da avaliação dos custos de manutenção. Pretende identificar, com a antecedência adequada, a evolução do desgaste ou alguma deficiência operativa, subsidiando a decisão da época mais propícia para a execução da intervenção da manutenção.

Deve-se considerar também, que essa sistemática foi desenvolvida considerando-se a multiplicidade e complexidade dos equipamentos que constituem uma Central Hidrelétrica e a necessidade de se compilar dados acumulativos de desempenho de equipamentos similares ao longo tempo, que leva a um tratamento diferenciado dos equipamentos com diferentes impactos na continuidade operativa da instalação.

Com relação ao tratamento das informações técnicas advindas das inspeções de manutenção, o SOM contempla o manuseio dessas informações técnicas obtidas nos diversos níveis de inspeção, a avaliação da eficácia das intervenções de manutenção periódica e aperiódica, e a caracterização de falhas sistemáticas que inviabilizam ou exijam adequações em equipamentos.

Em face desta multiplicidade de equipamentos e equipes envolvidas, o SOM leva em consideração, em todo o processo de manutenção, a existência de equipes pluridisciplinares, em atividades que devem se complementar, e a necessidade de reprogramação de serviços, analisando a consistência dos dados resultantes de inspeções feitas em um mesmo equipamento, em épocas e por equipes distintas.

Com base na evolução tecnologia, seja dos equipamentos ou dos processos de manutenção, a aplicação de uma sistemática deve acompanhar o constante desenvolvimento e melhoria das técnicas de inspeção, estudos e

análises de ocorrências, a necessidade do estabelecimento e enriquecimento de dados técnicos sobre equipamentos, como também o desenvolvimento de novos procedimentos de manutenção.

O SOM ainda promove, uma avaliação quantitativa e qualitativa das equipes de manutenção, dos instrumentos e ferramentas necessários ao adequado desenvolvimento das atividades e peças sobressalentes, realizando uma análise dos custos de manutenção de todas as atividades de manutenção.

O SOM também desenvolve um permanente controle e revisão dos relatórios referentes à continuidade do atendimento e funcionamento de todas as instalações, com ênfase nas ações que envolvem a integração do planejamento e programação dessas áreas, tendo sua aplicação tanto na área de manutenção como na de operação da Central Hidrelétrica de Itaipu.

### 3.4 DIRETRIZES E OBJETIVOS GERAIS DO SOM

A filosofia básica do SOM é gerenciar todo o processo de manutenção e operação de Itaipu e possui como diretrizes gerais:

- Domínio do Processo de Produção, através do acompanhamento da performance dos equipamentos e estruturas ao longo de todo o ciclo de vida, compreendendo as fases de projeto, especificação, construção, montagem, comissionamento e operação comercial;
- Utilização de técnicas preventivas e preditivas, através de inspeções, testes e medições nos equipamentos e estruturas da instalação, onde os dados levantados constituem a matéria prima para a realização de análises sistemáticas de acompanhamento do desempenho dos equipamentos;
- Informatização do processo de planejamento, programação, controle e análise da operação e manutenção, visando o tratamento automatizado das informações;

- Documentação de instruções e normas, visando a padronização dos procedimentos e garantindo o amplo acesso às informações; e
- Integração das atividades de operação e manutenção, buscando a eficácia e a excelência da produção.

Ainda, o SOM possui os seguintes objetivos gerais:

- Controlar permanentemente a performance dos equipamentos e estruturas, a partir da análise sistemática do histórico de manutenção periódica e aperiódica, objetivando minimizar os riscos de ocorrência de falha, com a utilização plena da vida útil dos equipamentos;
- Racionalizar a execução das atividades de operação e manutenção, evitando-se a alternância de períodos de sobrecarga com outros de pouco serviço;
- Estabelecer procedimentos padronizados para todas as ações repetitivas que envolvem complexidade, riscos ou custos elevados;
- Acompanhar e otimizar os custos de produção; e
- Capacitar adequadamente o pessoal, propiciando o domínio completo das atividades de operação e manutenção.

Observa-se portanto, que o SOM procura atender todas as necessidades envolvidas na totalidade do processo de manutenção e operação de Itaipu, seja especificamente nessas áreas, como também na interação das demais atividades e áreas associadas com a área de manutenção.

### 3.5 ABRANGÊNCIA DO SOM

O SOM contempla a totalidade dos equipamentos e sistemas instalados na Central Hidrelétrica de Itaipu, quais sejam: as unidades geradoras, a subestação blindada com isolamento a gás, as linhas de transmissão e os serviços auxiliares em CA dos setores de 50 Hz e 60 Hz, o vertedouro, os serviços auxiliares em CC, os equipamentos de elevação e transporte, os sistemas de comunicação

operativa, de ventilação e de ar condicionado, as subestações convencionais, laboratório químico e eletroeletrônico, as instalações civis, as oficinas e almoxarifados, e as salas de controle centralizado e de despacho de carga.

Deve ser observado que em uma instalação, nem todos os equipamentos têm o mesmo grau de importância operacional, sendo necessário atribuir a cada um índices de criticidade ou nível de atendimento, a fim de distinguir aqueles de maior importância para o processo produtivo. Em vista disso, no SOM os equipamentos e sistemas são classificados conforme os níveis de atendimento, apresentados no Quadro 3:

### **Quadro 3 - Nível de atendimento dos equipamentos**

NÍVEL	TIPO DE EQUIPAMENTO
“A”	falha acarreta perda de geração
“B”	falha reduz a confiabilidade de geração
“C”	demais

Fonte: Itaipu Manual G01 - SOM

Além desta classificação, alguns equipamentos são classificados como 'prioridade zero', pois embora não estando diretamente relacionados com a geração de energia, comprometem a segurança e integridade física da Central Hidrelétrica de Itaipu.

Enquanto a MCC, por filosofia, enfatiza as funções e conseqüências das falhas analisando o equipamento em seu contexto operacional, o SOM tem seu foco direcionado para o equipamento em si. Não existe, portanto, como para a MCC, uma diferenciação das tarefas de manutenção devido a este contexto operacional.

Para o SOM, o contexto operacional é considerado na estruturação da codificação dos equipamentos, que condiciona a interdependência dos componentes do sistema de produção de energia e seus sistemas auxiliares; bem como na definição da criticidade destes equipamentos (nível de atendimento A, B,

C e prioridade zero), que se baseia na participação e inserção dos equipamentos e sistemas no processo produtivo.

Por sua vez, a MCC define as ações de manutenção com objetivo de garantir que o equipamento cumpra a função para a qual foi concebido, trazendo como resultado um plano de manutenção mais adequado ao desempenho operacional esperado da instalação.

### 3.6 ESTRUTURA DO SOM

O SOM foi implantado e desenvolvido de forma modular, podendo ser apresentado através da interação funcional de suas macro-funções, e da descrição de seus manuais e subsistemas informatizados.

#### 3.6.1 Macro-funções do SOM

As macro-funções do SOM são a metodologia e normatização, o planejamento da Produção, a programação, a execução, o acompanhamento e controle, e a análise de desempenho e custos.

A 'metodologia e normatização' é a macro-função de onde emanam as diretrizes básicas do SOM. Nela estão contidos a filosofia, a metodologia, as normas e regulamentos gerais e os critérios de operacionalização do SOM.

A macro-função 'planejamento da produção' compreende todas as atividades de definição e elaboração do plano de manutenção e operação, a partir das necessidades, recursos e restrições.

Na macro-função 'programação' estão contempladas todas as atividades de detalhamento do plano de operação e manutenção, gerando as informações básicas para a operacionalização da execução.

A 'execução' é definida como a macro-função onde são consideradas todas as atividades ligadas à realização dos trabalhos periódicos e aperiódicos da

operação e manutenção, alimentando o histórico com as informações advindas da execução destes trabalhos.

A macro-função 'acompanhamento e controle' agrupa as atividades de aquisição, avaliação, tratamento e armazenamento de todas as informações obtidas no processo de operação e manutenção.

E finalmente, a 'análise de desempenho e custos' é a macro-função que engloba as atividades de análise de todas as informações provenientes da aplicação do método, detectando desvios, diagnosticando problemas e propondo soluções.

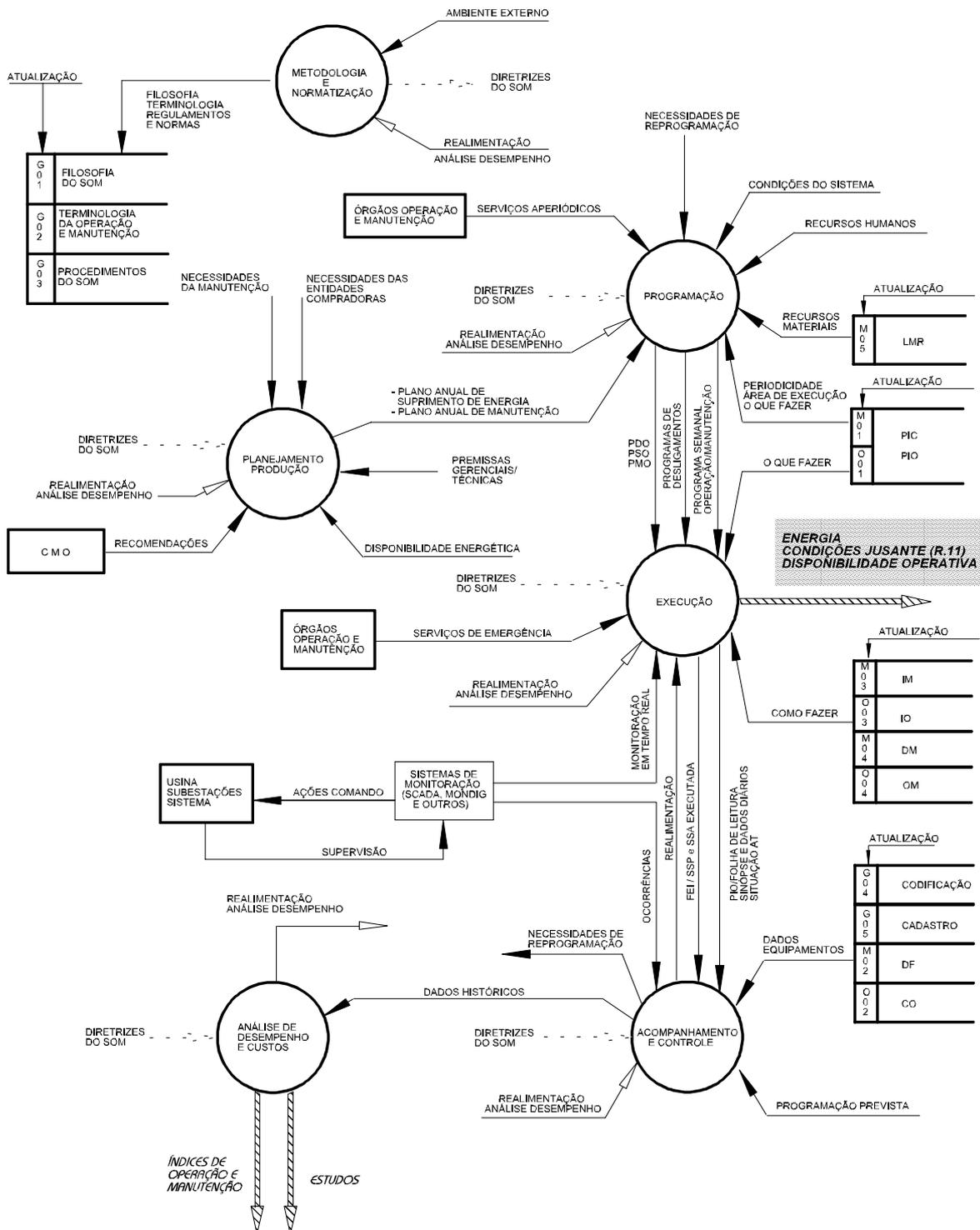
No modelo do SOM, apresentado na Figura 10, a seguir, é demonstrada a inter-relação entre estas macro-funções, caracterizando a maneira abrangente como o SOM engloba todas as atividades do processo de manutenção, com ênfase para a prevenção das falhas conforme observam Possamai et al. (2001).

Já o método MCC está relacionado, basicamente, apenas com a macro-função 'execução', por envolver a definição das tarefas de manutenção, ou seja, as atividades que caracterizam as ações que compõem o plano de manutenção. Todas as demais macro-funções estariam afetadas somente em consequência de uma revisão neste plano de manutenção, ao se aplicar a MCC.

### **3.6.2 Manuais do SOM**

Os Manuais do Som constituem a documentação que define a filosofia, objetivos, normas e procedimentos do método, sendo apresentada na forma de volumes textuais. Estes manuais foram classificados segundo dois grandes grupos: Manuais gerais e específicos

Os manuais gerais contemplam as diretrizes do SOM, fornecendo todas as informações gerais como a filosofia, conceitos básicos, estruturação, funcionamento, terminologia, procedimentos de operacionalização, codificação e cadastramento dos equipamentos da instalação.



**Figura 10 – Modelo do SOM**

Fonte : Itaipu Manual GO1 – SOM

Por sua vez, os manuais específicos fornecem informações específicas sobre métodos e processos de trabalho da manutenção, assim como os procedimentos e documentação utilizada em suas atividades. Esses manuais foram desenvolvidos visando a correta execução das ações de manutenção, para garantir a qualidade na realização do processo de manutenção.

Os quadros 4 e 5, a seguir, apresentam os manuais gerais e específicos, respectivamente.

#### **Quadro 4 - Manuais Gerais do SOM**

MANUAL	CONTEÚDO
G01	Filosofia e conceitos básicos, objetivos, estruturação(manuais e subsistemas), funcionamento(macro-funções), origem e abrangência.
G02	terminologia e expressões usuais da operação e da manutenção
G03	procedimentos de operacionalização, atribuições dos órgãos, atualização dos manuais e subsistemas, e padronização dos formulários
G04	codificação dos equipamentos e sistemas
G05	dados técnicos dos equipamentos e sistemas

Fonte: Itaipu Manual G01 - SOM

#### **Quadro 5 - Manuais Específicos do SOM**

MANUAL	CONTEÚDO
M01	roteiro de atividades de manutenção preventiva periódica (planilha de inspeção e controle - PIC).
M02	descrição do funcionamento dos equipamentos e sistemas
M03	Procedimentos técnicos para execução da manutenção preventiva e corretiva
M04	Procedimentos e seqüências de desmontagem e montagem dos equipamentos e estruturas
M05	Necessidades e especificação de materiais de reserva (lista de material de reserva - LMR).

Fonte: Itaipu Manual G01 - SOM

O critério de codificação adotado pelo SOM (Manual G04), se baseia na interdependência operativa, na similaridade da função desempenhada, e/ou na proximidade física dos equipamentos, com objetivo de racionalizar os trabalhos de manutenção e minimizar a indisponibilidade operativa, pois as atividades são programadas considerando essa codificação.

### **3.6.3 Subsistemas do SOM**

O SOM foi estruturado em 2 grandes sistemas: Sistema de Acompanhamento da Manutenção (SAM) e Sistema de Acompanhamento da Operação (SAO), com a finalidade de modularizar o acompanhamento e controle das áreas de operação e manutenção, sendo que cada sistema está dividido em subsistemas de apoio. O SAO não será apresentado por estar associado às atividades de operação, isto é, fora do escopo desse trabalho.

Nesta classificação, considera-se como subsistema o processo informatizado de aquisição, tratamento e geração de informações técnicas e gerenciais, visando atender a um objetivo específico, associado a uma das funções do método.

O SAM tem como objetivo o acompanhamento e controle dos serviços de manutenção preventiva periódica e de manutenções aperiódicas (preventivas e corretivas) dos equipamentos e estruturas da Central de Itaipu. Este sistema é subdividido em cinco subsistemas: Subsistema de Manutenção Periódica (SMP), Subsistema de Manutenção Aperiódica (SMA), Subsistema de Cadastro de Equipamentos (SEQ), Subsistema de Materiais de Reserva (SMR), e Subsistema de Análise de Custos(SAC).

O SMP processa as informações que envolvem as manutenções de caráter preventivo, com periodicidade de execução definida, dispondo do documento Solicitação de Serviço Periódico (SSP), através do qual são programadas e controladas as inspeções e ensaios periódicos dos equipamentos e estruturas da Central de Itaipu. Além do documento SSP, o subsistema SMP é constituído pelas Planilhas de Inspeção e Controle (PIC), seus formulários e instruções de apoio,

quais sejam, Tabelas de dados (TD), Formulário de Envio de Informações (FEI), Instrução de Manutenção (IM) e Instrução de Desmontagem e Montagem (IDM), As informações geradas por esses documentos compõem o banco de dados denominado Histórico da Manutenção Periódica (HMP).

O SMA processa as informações que tratam das manutenções corretivas, preventivas não periódicas e outros serviços afins, tais como ensaios especiais, melhorias e estudos, dispondo do documento denominado Solicitação de Serviço Aperiódico (SSA), através do qual são controlados todos os serviços de manutenção aperiódica da Central de Itaipu, sendo as informações geradas armazenadas no Histórico da Manutenção Aperiódica (HMA).

As informações de identificação e características técnicas dos equipamentos estão congregadas no SEQ, compondo o banco de dados que representa o cadastro dos equipamentos.

O equipamento, que é a menor unidade de controle do SOM, está individualizado através de uma codificação específica. O banco de dados, que relaciona cada equipamento com um código de localização e identificação e também compõe esse subsistema, é denominado Codificação dos Equipamentos do SOM.

Cabe ressaltar, que para minimizar a criação de um número muito grande de equipamentos são codificados como equipamento do SOM, alguns sistemas. Como exemplo, pode-se citar o sistema de frenagem e levantamento da unidade (que inclui pista de frenagem, macacos hidráulicos, tubulações, válvulas de ar de frenagem e válvulas de óleo e levantamento) que está codificado como se fosse um único equipamento.

No SMR encontra-se o processamento das informações contidas nas listas de materiais de reserva (LMR), e ainda o plano de manutenção e os procedimentos de armazenagem dos materiais de reserva.

O SAC, por sua vez, tem por finalidade estabelecer uma sistemática de apropriação e controle dos custos diretos e indiretos da manutenção, essenciais

para completar o processo da análise global da performance do sistema de produção. Seus principais produtos são a apropriação dos custos de manutenção, a análise dos custos de manutenção e os relatórios gerenciais.

Todos os subsistemas do SOM, conforme apresentado, respondem por determinada parte do processo de gerenciamento informatizado das atividades de manutenção, permitindo o tratamento de forma padronizada e ágil do grande volume de informações que são geradas.

O histórico de implantação do SOM reforça a premissa básica de transposição de experiência de empresas congênicas na definição da metodologia de manutenção para a Central Hidrelétrica de Itaipu. Essa metodologia é abrangente envolvendo a normatização, o planejamento, o acompanhamento, o controle e a avaliação das atividades e equipamentos sob responsabilidade da área de manutenção.

A abrangência do SOM considera todos equipamentos instalados em Itaipu, ou seja, equipamentos mecânicos, elétricos, eletroeletrônicos e civis.

O SOM se baseia em documentação técnica especificamente desenvolvida para aplicação e gestão da metodologia de manutenção, contando com aplicativos informatizados para o gerenciamento das informações e dados obtidos no processo de manutenção.

Em vista das informações apresentadas, ao analisar-se o estágio em que se encontra o desenvolvimento do SOM e a evolução tecnológica das técnicas de execução e análise da manutenção, aliada a permanente necessidade de melhoria contínua nos processos, vislumbra-se a oportunidade de avaliar a aplicabilidade da MCC na sistemática de manutenção de Itaipu, devido aos bons resultados que esta metodologia tem apresentado ao ser aplicada em outras instalações industriais.

## Capítulo 4. MODELO DE IMPLANTAÇÃO DA MCC

A definição da política de manutenção a ser adotada em uma organização, merece especial atenção em face aos novos desafios a serem superados para o atendimento aos requisitos de qualidade e expectativa dos clientes, bem como em função da complexidade dos sistemas e processos a serem mantidos. Deve-se considerar, além da própria experiência acumulada, preferencialmente com base em programas de manutenção bem sucedidos, a existência de novas metodologias de manutenção, capazes de agregar valor à metodologia utilizada pela empresa. Para Branco Filho (2000), a MCC está inteiramente de acordo com o princípio da melhoria contínua dos processos ao diagnosticar as causas das falhas funcionais, selecionar o tipo de tarefa de manutenção, analisar os dados de falha e revisar o plano de manutenção.

O SOM, ao definir seu plano de manutenção se baseou na experiência das empresas do setor elétrico, contando com atualizações e revisões, visando avaliar a efetividade das ações desenvolvidas, a partir da análise do histórico de manutenção preventiva e corretiva. Conforme afirma Moss (1985):

até recentemente, a única base para preparar as instruções de manutenção para novos produtos eram as instruções que haviam sido usadas para modelos anteriores de projetos similares.

Para facilitar a aplicação da MCC, recomenda-se desenvolver uma aplicação piloto em um ou mais equipamentos selecionados, para então promover futuras aplicações em outros equipamentos ou sistemas da instalação. A MCC, portanto, pode ser considerada uma metodologia focada, isto é, passível também de ser aplicada em parte de algum sistema ou da instalação.

É importante considerar as recomendações previstas na norma SAE JA 1011, editada em agosto de 1999, e denominada *Evaluation Criteria for Reliability – Centered Maintenance (RCM) Process*, que apresenta os critérios mínimos para uma aplicação ser considerada Manutenção Centrada em Confiabilidade.

O SOM, conforme apresentado no Capítulo 3, contempla todos os aspectos da gestão e da execução da manutenção, sejam eles de planejamento, programação, execução e análise, utilizando as formas de manutenção preventiva, corretiva e preditiva, e busca a eficiência do processo produtivo, com o pressuposto básico de minimização da ocorrência de falhas e análise de desempenho dos equipamentos.

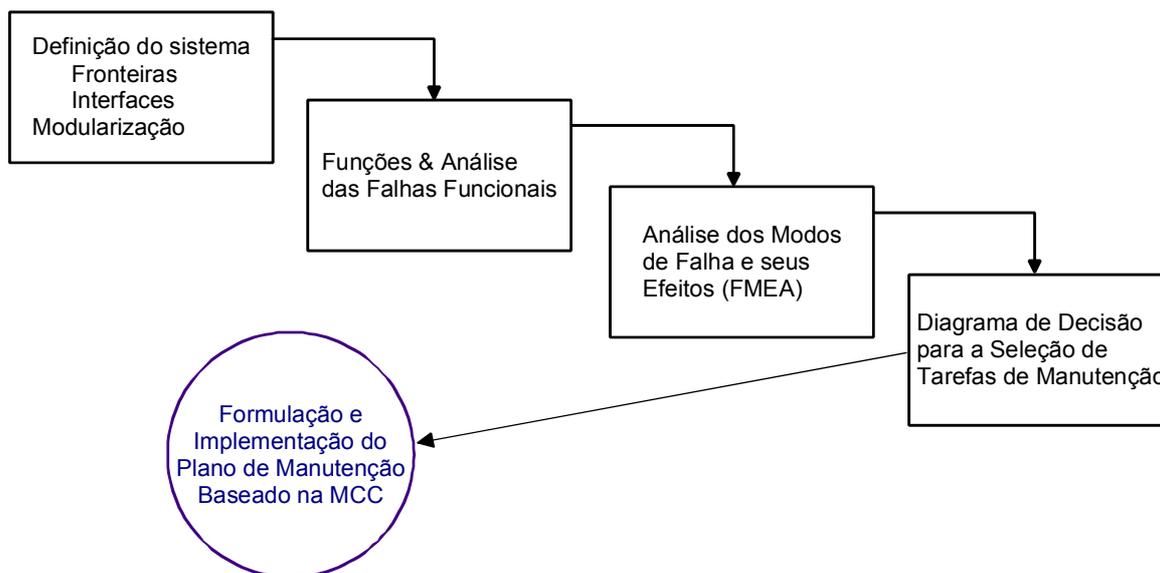
A MCC, por sua vez, como objetiva a determinação das tarefas para a composição do plano de manutenção, ao ser aplicada em Itaipu, enfocaria apenas a análise e revisão das planilhas de inspeção e controle (Manual M01 do SOM), ou seja, uma parte da sistemática de manutenção de Itaipu.

#### 4.1 ETAPAS DO MODELO DE IMPLANTAÇÃO DA MCC

Para a aplicação da MCC, uma seqüência de etapas deve ser seguida, que compreende: a delimitação do equipamento, objeto da aplicação; a definição das funções de todos os seus principais componentes e as possíveis falhas funcionais associadas a estas funções; e, a utilização da Análise dos Modos e Efeitos das Falhas (FMEA) aplicada as falhas funcionais anteriormente definidas. A seguir utiliza-se o diagrama de decisão com objetivo de identificar as tarefas de manutenção mais adequadas, para finalmente definir-se o plano de manutenção a ser adotado, com base na MCC.

Na Figura 11, apresentada a seguir, demonstra-se a visão geral do processo de implantação da MCC, sugerido por Fleming *et al.* (1997).

Deve ser destacado que, é de primordial importância para o sucesso do trabalho de aplicação da MCC, que para o desenvolvimento de todas as etapas, possa se contar com uma equipe de profissionais experientes e capacitados, com plenos conhecimentos do funcionamento e das atividades de manutenção, associadas ao sistema ou equipamentos escolhidos para análise.



**Figura 11 – Etapas de Implantação da MCC**

Fonte: Fleming *et al.* (1997, p.54)

#### 4.1.1 Etapa 1 - Delimitação e Definição de Fronteiras

Inicialmente o sistema a ser analisado deve ser delimitado, sendo que a partir da seleção dos sistemas ou equipamentos a serem analisados, definem-se as fronteiras e interfaces (entradas e saídas) do objeto da aplicação, tomando-se cuidado para que nada seja desconsiderado, concentrando e delimitando o estudo.

As fronteiras são fundamentais para o estabelecimento das interfaces com os demais sistemas ou equipamentos que compõem a instalação, não existindo regras definidas para seu estabelecimento. A experiência do grupo de análise e a lógica de funcionamento da instalação é que devem orientar esta definição.

Normalmente, no processo de delimitação da aplicação, se depara com um grupo de componentes que atuam conjuntamente no desempenho das funções a serem avaliadas. Devido a isto, é recomendável dividir-se o sistema ou equipamento em módulos funcionais. Assim, um módulo funcional consistirá em um grupo de componentes que atuam conjuntamente para desempenhar uma ou

mais funções deste próprio grupo. Esta estratégia permite analisar todas as funções do sistema de forma racional e estruturada, e também que todos os componentes estejam explicitamente relacionados com as funções identificadas.

Na literatura, como em Oliveira e Diniz (2001), encontram-se sugestões de critérios para seleção de sistemas 'candidatos' a aplicação da MCC, quais sejam, aqueles que apresentam maiores custos de manutenção preventiva, que apresentem muitas ações de manutenção corretiva, ou que sejam responsáveis por parte significativa da indisponibilidade da instalação, ou ainda que suas falhas tenham conseqüências, para a segurança ou meio ambiente, além daqueles sistemas que envolvam novos projetos.

#### **4.1.2 Etapa 2 - Funções e Falhas Funcionais**

Esta etapa compreende a definição clara e exaustiva de todas as funções e falhas funcionais associadas aos componentes e acessórios do equipamento delimitado para análise, sendo que normalmente os fluxos de saída, identificados na etapa anterior, estão associados a estas funções.

Na definição das funções, é importante considerar o contexto operacional do equipamento em relação à instalação. Moubrey (2000) observa que “a definição de uma função deve consistir de um verbo, um objeto e o padrão de desempenho desejado”.

Ainda deve-se observar que, as funções se dividem em principais ou primárias, e secundárias. A função principal representa a razão básica para a existência de um item. As secundárias são menos óbvias que as principais, nem por isso suas falhas podem não ter sérias conseqüências, conforme afirmam Oliveira e Diniz (2001).

Já as falhas funcionais são, em princípio, a negação das funções anteriormente definidas, e desta forma deve-se raciocinar para identificá-las. Em outras palavras, a falha funcional é a incapacidade ou inabilidade de um componente ou equipamento atender o desempenho desejado, em relação ao seu contexto operacional. Ou mesmo, realizar o que o usuário tem de expectativa

quanto ao desempenho de determinado item. Ainda deve-se considerar que, associada a uma função pode haver mais de uma falha funcional.

#### **4.1.3 Etapa 3 - Análise dos Modos e Efeitos da Falha**

Para desenvolver esta etapa utiliza-se a ferramenta FMEA - Análise dos Modos e Efeitos de Falha, com objetivo de identificar os modos de falha (maneira pela qual a falha é observada) e apurar os efeitos associados a cada um desses modos. Conforme afirmam Oliveira e Diniz (2001, p.15):

FMEA é a técnica de análise indutiva onde o raciocínio parte da perda da função (modo de falha) de um único componente até uma conclusão geral sobre o efeito correspondente no sistema como um todo.

Portanto, para o processo de aplicação da MCC, a FMEA fornece a caracterização dos modos de falha associados aos componentes e equipamentos, as causas das falhas e seus efeitos. A um modo de falha qualquer pode estar relacionada mais de um causa, bem como o efeito estar associado a um ou mais causas.

Nesta etapa, já é possível identificar que para alguns modos de falha, considerados não críticos, é recomendável aplicar a manutenção corretiva, para os casos de falhas com probabilidade de ocorrerem com freqüência remota e com conseqüência pouco relevante, ou com freqüência alta e conseqüência irrelevante.

#### **4.1.4 Etapa 4 - Diagramas de Decisão e Seleção de Tarefas**

A ferramenta básica para o desenvolvimento desta etapa é o diagrama de decisão que irá permitir de forma lógica e estruturada atingir-se o objetivo da MCC, qual seja, a definição das tarefas de manutenção. Na utilização do diagrama de decisão conta-se com o auxílio de planilhas para registro da análise de cada função.

Sugere-se a utilização dos dois diagramas propostos por Smith (1992), já que atendem plenamente aos objetivos de aplicação da MCC e as recomendações da norma SAE JA 1011, e que o diagrama de decisão proposto por Moubray (2000), patenteado pela Aladon Ltda, exige um grau de detalhamento muito grande, a partir da solicitação de várias informações referentes ao processo de evolução da falha. Deve-se considerar ainda que, os diagramas propostos por Smith (1992), apresentados na Figura 3 e na Figura 4, têm sido aplicados, com sucesso, em vários projetos de implantação da MCC, conforme comenta Fleming (1997).

Em vista disto, para a seqüência do processo de aplicação propõe-se a utilização das planilhas (Figura 12, Figura 13 e Figura 14), tomando como referência as planilhas apresentadas por Oliveira e Diniz (2001), em conformidade com os diagramas de decisão, já citados, propostos por Smith (1992).

Para o preenchimento desta planilha deve-se utilizar a Árvore Lógica de Decisão (Figura 3) e o Diagrama de Seleção de Tarefas (Figura 4), seguindo seqüencialmente as questões apresentadas, e respondendo 'SIM' ou 'NÃO', conforme o caso.

#### **4.1.5 Etapa 5 - Plano de Manutenção**

A última etapa prevista, também apresentada na Figura 11, é a implantação do plano de manutenção com as tarefas e respectivas freqüências definidas, onde realiza-se o agrupamento das tarefas, a exemplo do apresentado por Aupied *et al.* (1997) – Figura 5, com objetivo de otimizar a utilização dos recursos humanos e minimizar a eventual indisponibilidade associada à execução das atividades de manutenção.





Planilha de Seleção de Tarefas – MCC													FOLHA	
UNIDADE:						SUBUNIDADE:								
COMPONENTE:														
FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	E	S	O	C	1	2	3	4	5	6	7	TAREFA	
													ATIVIDADE	FREQ.

**Figura 14 - Planilha de Seleção de Tarefas**

- Obs.:** 1) as letras 'E', 'S', 'O', 'C' estão associadas à Árvore Lógica de Decisão (figura 3 – p. 27) e representam respectivamente se a falha é evidente, se envolve aspectos de segurança, se influem na continuidade operacional ou está associada a aspectos de custos;
- 2) os números de 1 a 7 indicam as respostas às perguntas apresentadas no Diagrama de Seleção de Tarefas (fig. 4 – p. 28).

Caso a falha seja oculta, o método MCC recomenda calcular o intervalo a ser aplicado para a tarefa de busca de falha, conforme fórmula matemática apresentada na página 24. Segundo Nunes e Souza (2001), e Possamai e Nunes (2001), é possível portanto, estabelecer a disponibilidade requerida e conhecido o tempo médio entre falhas do dispositivo de proteção determinar-se o intervalo adequado para a tarefa de busca de falha. O tempo médio entre falhas pode ser obtido com base no histórico de manutenção, ou caso não seja disponível, a partir da indicação dos fabricantes ou de um banco de dados de falha.

Para as demais falhas deve-se estimar um intervalo inicial para a frequência de manutenções e melhor definir este intervalo a medida em que se adquire experiência no decorrer do tempo, bem como valer-se do histórico de manutenção, se disponível.

Sobre esta questão, Fleming *et al.* (1997, p.56) comentam:

a importância de um banco de dados de falha e de reparo de onde se possa extrair as vantagens potenciais da MCC, particularmente no que concerne a determinação dos intervalos mais apropriados para a realização das diversas tarefas de manutenção.

De acordo ainda com os mesmos autores, se o número de intervalos de manutenção programada para os quais se tem dados é pequeno, o aumento no tempo entre inspeções deve ser feito gradualmente.

Outro aspecto a ser analisado é que as revisões periódicas do plano de manutenção ficam facilitadas, pelo fato de se contar com toda a documentação originada da implantação da MCC. Isto possibilita o resgate das considerações e premissas que levaram a decisão de adotar-se determinada tarefa ou forma de manutenção.

Adicionalmente, uma análise estruturada, com sólido embasamento técnico, poderá ser desenvolvida para os equipamentos reserva, bem como eventuais ações de manutenção aplicáveis a estes itens, objetivando garantir que estejam em perfeitas condições operativas.

Deve-se ainda, considerar que a partir da aplicação, contando com a esperada otimização das tarefas de manutenção, devem ser reduzidos os custos envolvidos na execução das atividades de manutenção, ou seja, obter-se um plano com tarefas de manutenção que apresentem a melhor relação de custo benefício, que é um dos objetivos.

O modelo de aplicação da MCC contempla 5 etapas sequenciadas, quais sejam, a delimitação dos sistemas ou equipamentos a serem objeto de estudo, a análise das funções e falhas funcionais, a aplicação da ferramenta FMEA, a seleção das tarefas de manutenção, e finalmente, a definição do plano de manutenção.

Utilizando-se diagramas de decisão previstos no método e seguindo as etapas citadas, num processo sistematizado e estruturado, podem ser atendidos os requisitos básicos para que a aplicação possa ser considerada como Manutenção Centrada na Confiabilidade, conforme preconiza a norma SAE JA 1011.

## **Capítulo 5. APLICAÇÃO DA MCC**

Para a aplicação da MCC na Sistemática de Manutenção de Itaipu – SOM foram seguidas, as etapas previstas e indicadas na Figura 11, para o que foi constituído um pequeno grupo de profissionais da área de manutenção, composto por 2 engenheiros e um técnico especializado, com experiência específica na manutenção e funcionamento dos equipamentos, componentes e acessórios nos quais foi realizado o estudo.

### **5.1 ETAPAS DA APLICAÇÃO NO SOM**

#### **5.1.1 Escolha e Delimitação do Objeto do Estudo**

Conforme previsto na etapa 4.1.1 dentre os critérios para a escolha do equipamento a ser desenvolvida a aplicação optou-se pelo sistema de regulação de velocidade da unidade geradora que responde por parcela considerável da disponibilidade da central hidrelétrica, além do que uma eventual falha dos equipamentos deste sistema tem influência na segurança operacional da unidade geradora, com possíveis conseqüências para o meio ambiente e demais equipamentos.

Portanto, a escolha desse sistema deveu-se a sua importância para o processo produtivo da instalação, considerando-se que o controle da frequência da energia elétrica gerada é obtido através da velocidade de rotação do conjunto hidro-gerador. Sendo assim, o sistema de regulação de velocidade está associado a um dos principais requisitos de qualidade da energia elétrica, a ser fornecida por uma central hidrelétrica.

Com base na codificação do SOM, esse sistema é definido como uma subunidade de manutenção, e é denominado “Sistema de Regulação de Velocidade da Unidade”, composto por equipamentos mecânicos, elétricos e eletrônicos, conforme apresentado esquematicamente no Anexo 1. Os principais

equipamentos que compõem essa subunidade são os acumuladores de ar e ar/óleo, as bombas de pressurização de óleo, os compressores de ar, o conjunto de recuperação de óleo, o detetor mecânico de sobrevelocidade, os trocadores de calor óleo/água, os motores das bombas e dos compressores, e o reservatório de ar dos compressores.

Devido ao fato desse sistema ser composto por inúmeros equipamentos, componentes e acessórios, para esta aplicação piloto limitou-se aos equipamentos mecânicos do sistema de regulação de velocidade, em particular aos acumuladores de ar e ar/óleo. Mesmo assim, isto representou analisar 48 componentes entre tanques; válvulas, tubulações e acessórios; instrumentos de medição e supervisão operativa. Como o SOM adota uma política de manutenção similar para todos os equipamentos da Central Hidrelétrica de Itaipu, considera-se que a aplicação em parte da instalação possa ser representativa para os resultados da implantação da MCC nos demais equipamentos e sistemas.

Os equipamentos selecionados para a aplicação são codificados, no SOM, como único equipamento e denominado 'Tanques Acumuladores de Ar e Ar/Óleo N1 – N2 – N3', tendo recebido o código D01. Além dos componentes do equipamento codificado como D01 foram também analisados os componentes associados aos equipamentos D23 ( Tubulações/Válvulas/Acessórios de Óleo do RV) e D025 (Tubulações/Válvulas/Acessórios de Ar do RV), devido ao enfoque funcional a ser observado na aplicação da MCC. Todos os equipamentos objeto da análise estão listados no Anexo 2.

O estudo limitou-se aos equipamentos mecânicos do sistema de regulação de velocidade da unidade geradora, ficando as fronteiras e interfaces da aplicação delimitadas. Portanto, assumiu-se com premissa que a alimentação elétrica para o necessário funcionamento de todos os componentes, em análise, está sempre disponível.

### 5.1.2 Funções e Falhas Funcionais

Para o cumprimento desta etapa foi preenchida a planilha de funções e falhas funcionais (Figura 12), quando foram avaliadas, de forma exaustiva, todas as funções de cada acessório individualmente. A seguir, foram listadas as funções gerais do sistema, visando considerar, com a maior abrangência possível, as funções principais e secundárias de cada equipamento analisado. Como funções gerais podem ser citadas: manter fixação, garantir integridade e segurança operacional, facilitar o desenvolvimento de tarefas de manutenção.

Como o SOM possui um histórico bastante completo das manutenções realizadas, possibilitando conhecer as falhas já ocorridas, após o levantamento das falhas funcionais realizou-se uma pesquisa no banco de dados das manutenções corretivas, com objetivo de identificar-se alguma falha funcional não considerada inicialmente.

Uma página da planilha de análise de falhas funcionais é apresentada a seguir, como exemplo, na Figura 15, onde pode ser observada na primeira coluna a indicação do número do componente ou dos componentes (conforme listagem apresentada no Anexo 2) associados a cada uma das funções analisadas. A planilha completa preenchida encontra-se no Anexo 3.

<b>Análise de Falhas Funcionais – MCC</b>		FOLHA <b>1/4</b>
UNIDADE: SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE	SUBUNIDADE: TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS	
FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	
1 Armazenamento do óleo pressurizado isento de impurezas, de 48 a 68 bar (pressão normal de operação 61 a 64 bar) para movimentação das palhetas do distribuidor (41 a 46).	1.1 Sobrepressão acima de 68 bar, nos acumuladores. 1.2 Pressão abaixo de 48 bar, nos acumuladores. 1.3 Armazenar óleo pressurizado com impurezas.	
2 Isolar acessórios de supervisão e controle, tais como manômetros e pressostatos (3-7-9-32).	2.1 Não isolar os acessórios de supervisão e controle. 2.2 Isolar inadequadamente os acessórios de supervisão e controle.	
3 Drenar óleo/ar e condensado (1-2-4-33-40).	3.1 Não drenar óleo/ar/condensado. 3.2 Drenar indevidamente.	
4 Proteger os acumuladores para uma pressão máxima de 68 bar (5)	4.1 Não aliviar a pressão quando esta atinge 68 bar. 4.2 Operar abaixo da pressão de 67 bar.	
5 Indicar a pressão de ar nos acumuladores de ar N1 - N2 (6).	5.1 Não indicar a pressão de ar nos acumuladores N1 - N2. 5.2 Indicar indevidamente a pressão nos acumuladores N1 - N2.	
6 Indicar a pressão no acumulador ar/óleo (8).	6.1 Não indicar a pressão no acumulador ar/óleo. 6.2 Indicar indevidamente a pressão no acumulador ar/óleo.	
7 Indicar nível superior de óleo, permitir a partida e parada da motobomba na seqüência de partida e parada da Unidade Geradora, comandar reposição automática de ar nos acumuladores e sinalizar nível alto de óleo (10-11-12-13-14-15-16-17).	7.1 Não indicar nível de óleo superior no acumulador ar/óleo. 7.2 Indicar indevidamente o nível de óleo superior no acumulador ar/óleo. 7.3 Não permitir a partida da motobomba principal na seqüência de partida da Unidade Geradora – CH1 – Ajuste 11 divisões. 7.4 Não permitir a parada da motobomba na seqüência de parada da Unidade Geradora – CH2 – Ajuste 14 divisões.	

**Figura 15 - Exemplo de Planilha de Falhas Funcionais Preenchida**

### 5.1.3 FMEA

Na seqüência das etapas previstas para aplicação da MCC foi desenvolvida a análise da FMEA, sendo utilizada a planilha da Figura 13.

De forma similar ao apresentado na etapa anterior, um exemplo da utilização da Planilha de Análise dos Modos e Efeitos de Falha (FMEA) consta da Figura 16, a seguir, onde na coluna de efeitos da falha estão associadas as suas causas da falha através das letras (A, B, C, D, E, ou F). No Anexo 4 se encontra esta planilha totalmente preenchida.

### 5.1.4 Seleção de Tarefas

Para a análise das tarefas a serem definidas no plano de manutenção foram utilizados, portanto, os diagramas de decisão (Figura 3 e Figura 4), conforme indicados em 4.1.4, tendo sido preenchida a planilha de seleção de tarefas (Figura 14).

Um exemplo desta planilha preenchida é apresentado na Figura 17, a seguir, e no Anexo 5 pode ser encontrada a planilha completa, observando-se a utilização da letra 'S' para resposta 'SIM' as questões do diagrama de decisão, 'N' para resposta 'NÃO', e na coluna de conseqüências, indicada por 'C'; , são utilizadas as letras 'A', 'B', 'C', e 'D' conforme a legenda constante da Figura 4.

Análise de Modos e Efeitos de Falhas – FMEA - MCC				FOLHA 1/26
UNIDADE: SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE		SUBUNIDADE: TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS		
FUNÇÃO: 1		FALHA FUNCIONAL: 1.1		
EQUIPAMENTO	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITOS DA FALHA	D.D.
ACUMULADORES AR E AR/ÓLEO	Sobrepessão	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Emperramento na posição “ABERTA” da válvula de alimentação de ar comprimido “BE” (37) e não atuação das válvulas de alívio dos acumuladores.[A]</li> <li>- Quebra da válvula de alimentação manual de ar comprimido dos acumuladores (item 34 – válvula 44) e não atuação das válvulas de alívio dos acumuladores.[B]</li> <li>- Falha na indicação de nível alto (16) e não atuação das válvulas de alívio dos acumuladores.[C]</li> <li>- Falha na abertura da válvula de alívio da bomba e não atuação das válvulas de alívio dos acumuladores.[D]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Risco de acidente pessoal.[A-B-C-D]</li> <li>- Rompimento de vedações, tubulações e acumuladores.[A-B-C-D]</li> <li>- Vazamento de óleo.[A-B-C-D]</li> <li>- Risco eminente de indisponibilidade da regulação da unidade.[A-B-C-D]</li> <li>- Inibição de indicação de outras falhas no sistema (seqüência de alarmes).[A-B-C-D]</li> <li>- Quebra da bomba caso ocorra falha na válvula de alívio da mesma.[D]</li> <li>- Distúrbio no funcionamento normal do sistema.[A-B-C-D]</li> </ul>	S

Figura 16 - Exemplo de Planilha FMEA Preenchida

Planilha de Seleção de Tarefas – MCC													FOLHA 1/6	
UNIDADE: SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE										SUBUNIDADE: TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS				
COMPONENTE: ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO														
FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	E	S	O	C	1	2	3	4	5	6	7	TAREFA	
													ATIVIDADE	FREQ.
1.1	Sobrepessão	S	S	-	A	S	S	S	N	-	S	-	1. Ensaio funcionais do Sistema.	4A
													2. Inspeção visual.	Semanal
1.2	Baixa Pressão	S	S	-	A	S	S	S	N	-	S	-	1. Ensaio funcionais das Motobombas.	1A
													2. Ensaio funcionais da reposição de ar	1A
													3. Inspeção visual.	Semanal
1.3	Contaminação	S	N	S	B	S	S	S	N	-	S	-	1. Inspeção interna no sistema.	4A
													2. Análise físico-química da carga de óleo	1A
													3. Filtragem da carga do óleo.	6M
													4. Inspeção interna das motobombas com troca de o'ring e ensaio LP no suporte.	4A
													5. Medição de vibração nas motobombas.	6M
													6. Inspeção visual.	Semanal
2.1	Vazamento Interno	N	S	-	D/A	N	-	N	S	N	N	N	Obs.: Registrar na Instrução de Manutenção recomendações no manuseio dos acessórios associados à estas válvulas.	-
4.1	Sobrepessão	N	S	-	D/A	N	-	N	S	S	S	-	1. Teste operacional das válvulas.	2A
4.2	Vazamento externo de ar	S	N	S	B	S	S	S	N	-	S	-	1. Verificação da pressão de atuação das válvulas.	4A
													2. Inspeção visual.	Semanal
6.1	Quebra	S	N	S	B	S	S	S	S	-	S	-	1. Calibração do manômetro.	1A
													2. Inspeção visual.	Semanal

Figura 17 - Exemplo de Planilha de Seleção de Tarefas Preenchida

### 5.1.5 Plano de Manutenção

A aplicação da MCC permite construir-se o Quadro 6, onde estão definidas as tarefas de manutenção a serem executadas e suas respectivas periodicidades inicialmente indicadas, exceto para a falha associada as válvulas de segurança dos acumuladores ar/óleo, referente falha funcional 4.1( Anexo 5).

Para esta falha oculta foi calculado o intervalo de busca de falha, utilizando a fórmula matemática recomendada pela MCC, conforme demonstrado a seguir:

Tempo médio entre falhas (MTBF): 270 anos ( 3 válvulas x 18 unidades geradoras x 5 anos de histórico de falhas )/ 4 falhas = 67,5 anos;

Indisponibilidade esperada: inicialmente adotamos 2%, dentro do valor limite - menor ou igual a 5% - citado por Moubray (2000);

Intervalo de busca de falha:  $(\text{Indisponibilidade} \times \text{MTBF}) / 0,5 = (2 \times 67,5) / 0,5 \times 100 = 2,7$  anos.

Desta forma é recomendável adotar-se a frequência bienal para a verificação da funcionabilidade das válvulas de segurança dos acumuladores, considernado-se que um intervalo de 2,7 em 2,7 anos, conforme calculado, não é prático de ser utilizado. Assim, a indisponibilidade esperada será de aproximadamente 1,5%, valor este que pode ser considerado adequado para o tipo de dispositivo de proteção.

**Quadro 6 - Tarefas de Manutenção - Plano MCC**

<b>Tarefas de Manutenção – Plano MCC</b>		FOLHA <b>1/1</b>
COMPONENTE	TAREFA	FREQÜÊNCIA
ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO	Ensaio funcionais	Quadrienal
	Inspeção e limpeza interna	Quadrienal
	Análise físico química da carga de óleo	Anual
	Filtragem da carga de óleo	Semestral
	Inspeção visual	Semanal
MOTOBOMBAS	Ensaio funcionais	Anual
	Inspeção interna com troca de o-rings e ensaio de LP no suporte	Quadrienal
	Ensaio de medição de vibração	Semestral
	Inspeção visual	Semanal
CIRCUITO DE REPOSIÇÃO DE AR	Ensaio funcionais	Anual
	Limpeza do filtro	Quadrienal
	Troca da sede da válvula "BE"	Quadrienal
	Inspeção visual	Semanal
VÁLVULAS DE SEGURANÇA	Teste operacional	Bienal
	Verificar pressão de atuação	Quadrienal
	Inspeção visual	Semanal
MANÔMETRO	Calibração do manômetro	Anual
	Inspeção visual	Semanal
INDICADORES DE NÍVEL	Troca de vedações, buchas e eixo do mecanismo	Anual
	Teste de estanqueidade	Anual
	Verificar funcionabilidade e ajustes	Anual
	Verificar componentes interno ao acumulador ar/óleo (haste e bóia)	Anual
	Teste operacional	Anual
	Inspeção visual	Semanal
PRESSOSTATO	Verificar ajuste do pressostato	Anual
	Inspeção visual	Semanal
VÁLVULAS DE INTERLIGAÇÃO DOS ACUMULADORES	Revisão geral	Quadrienal
TODOS OS COMPONENTES	Reaperto geral	Quadrienal
	Inspeção visual	Semanal

## 5.2 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS PLANOS DE MANUTENÇÃO

A partir das planilhas de inspeção e controle (PIC) previstas no Manual M01 do SOM, para os equipamentos em estudo, é possível montar-se o Quadro 7, apresentado a seguir:

**Quadro 7 - Tarefas de Manutenção - Plano Atual/SOM**

Tarefas de Manutenção – Plano Atual				FOLHA 1/1
EQUIPAMENTO	TAREFA	ITEM DA PIC	FREQÜÊNCIA	Nº DA PIC – REV.
TANQUES ACUMULADORES AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS	Efetuar limpeza interna do acumulador ar/óleo N3	001A	Anual	001.ME.04 – Rev. 09
	Revisão suporte dos indicadores superior e inferior	002A	Anual	001.ME.04 – Rev. 09
	Inspeção interna do acumulador ar/óleo N3	003A	Anual	001.ME.04 – Rev. 09
TANQUES ACUMULADORES AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS	Calibrar manômetros	004A	Anual	001.ME.04 – Rev. 09
		005A		
		006A		
TANQUES ACUMULADORES AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS	Calibrar pressostatos	007A	Anual	001.ME.04 – Rev. 09
		008A		
		009A		
		010A		
		011A		
		012A		
		013A		
		014A		
		015A		
016A				
017A				
018A				
TANQUES ACUMULADORES AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS	Calibrar as chaves de nível	019A	Anual	001.ME.04 – Rev. 09
		020A		
		021A		
		022A		
		023A		
		024A		
025A				
TANQUES ACUMULADORES AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS	Calibrar válvulas de segurança	026A	Bienal	001.ME.04 – Rev. 09
		027A		
		028A		
		029A		
		030A		
031A				

Tarefas de Manutenção – Plano Atual				FOLHA 1/1
EQUIPAMENTO	TAREFA	ITEM DA PIC	FREQÜÊNCIA	Nº DA PIC – REV.
TANQUES ACUMULADORES AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS	Inspeção interna acumuladores de ar N1 e N2	032A	Bienal	001.ME.04 – Rev. 09
TUB/VÁLVULAS ACESSÓRIOS DE ÓLEO DO RV	Drenar e purificar o óleo das tubulações Análise físico-química da carga de óleo	001A	Anual	001.ME.04 – Rev. 09
TUBULAÇÕES/ VÁLVULAS/ ACESSÓRIOS DE AR DO RV	Limpar o filtro de ar	001A	Anual	001.ME.04 – Rev. 09
	Medir tempo de atuação da eletroválvula	002A	Anual	001.ME.04 – Rev. 09
	Lubrificação da haste da válvula de ar	003A	Quadrienal	001.ME.04 – Rev. 09
	Inspeção estado geral tubulações e acessórios	004A	Quadrienal	001.ME.04 – Rev. 09
TANQUES ACUMULADORES AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS	Verificar níveis de óleo e pressão	005A	Semanal	001.ME.RV – Rev. 02
	Inspeção externamente tubulações/válvulas e acessórios	006A		
	Limpeza geral	011A		
	Verificar presença de vazamentos	012A		

Analisando-se as planilhas de aplicação da MCC para os acumuladores de ar e ar/óleo do sistema mecânico de regulação de velocidade observa-se que, para as 28 funções principais e secundárias avaliadas foram identificadas 60 falhas funcionais, que indicaram 30 modos de falha, podendo-se ainda, ao comparar os planos de manutenção previsto pela MCC e o atualmente praticado em Itaipu observar que :

- a análise da FMEA indicou ser adequada adotar a manutenção corretiva para 13 modos de falha ;
- foram definidas 31 tarefas preventivas, sendo 1 delas caracterizada como tarefa de busca de falha;

- a aplicação da MCC recomendou a adoção de manutenção corretiva para mais 5 tarefas, além das anteriormente indicadas pela FMEA;
- foram identificadas 3 recomendações relacionadas a cuidados a serem observados quanto à segurança do trabalho; e
- 3 recomendações referentes a necessidade de treinamento, ou reciclagem dos conhecimentos, relativos a funcionalidade e manutenção dos equipamentos.

Pode-se observar ainda que, ao comparar as tarefas do plano de manutenção obtidas a partir da aplicação da MCC (Quadro 6) e aquelas previstas no plano de manutenção atual (Quadro 7), das 29 tarefas de manutenção definidas pela MCC, 20 % apresentaram recomendação de aumento do intervalo de manutenção, em relação a frequência atualmente praticada.

Mesmo levando em conta que o plano de manutenção preventiva vigente, para o sistema de regulação de velocidade da unidade geradora, está em sua nona revisão, portanto já tendo sido otimizado em função das manutenções realizadas desde o início de sua operação, pode-se constatar a potencialidade e aplicabilidade da utilização da MCC para os equipamentos de Itaipu.

Especificamente para a tarefa de busca de falha, comparando-se o intervalo calculado de busca de falha (frequência bienal) com aquele praticado atualmente, que é de 4 em 4 anos, confirma-se que a aplicação da MCC, por utilizar uma avaliação objetiva na definição do intervalo de inspeção, permite uma definição mais segura para a frequência de inspeção para os dispositivos de proteção, sujeitos a falha oculta.

### 5.3 COMPARAÇÃO ENTRE O SOM E A MCC

Ao se desenvolver a aplicação, é possível realizar uma comparação entre os conceitos e enfoques básicos adotados na sistemática de manutenção de Itaipu, Sistema de Operação e Manutenção (SOM), e aqueles preconizados pelo método Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), conforme apresentado no Quadro 8, a seguir:

**Quadro 8 - Comparação entre o SOM e a MCC**

SOM	MCC
Enfoque no equipamento	Enfoque nas funções dos equipamentos
Ênfase na manutenção preventiva, para a definição das tarefas de manutenção, objetivando prevenir a ocorrência de falhas	Definição das tarefas de manutenção, ponderando as consequências das falhas, assumindo operar até a falha, quando convier
Abrangência envolvendo as macro-funções normatização, planejamento, programação, execução, controle e análise de desempenho e custos	Ênfase na definição do plano de manutenção, envolvendo basicamente a macro-função execução
Plano de manutenção definido a partir da experiência própria e de empresas congêneres	Utilização análise sistemática, a partir de diagramas de decisão para a definição do plano de manutenção
Codificação dos equipamentos baseada na interdependência funcional e proximidade física	Análise funcional de todos os componentes dos equipamentos
Freqüência das inspeções definida com base na experiência própria ou de outras instalações	Definição das tarefas de busca de falha com auxílio de fórmula matemática específica e demais freqüências a partir de experiência adquirida
Utilização das formas de manutenção preventiva, corretiva e preditiva	Utilização das formas de manutenção preventiva, corretiva e preditiva
Importância para o histórico das manutenções preventivas e corretivas realizadas	Pouca ênfase para o histórico das manutenções realizadas (utilização para definição do intervalo inicial de manutenção, se houver )

A despeito das diferenças observadas, seja de enfoque ou mesmo de abrangência, fica confirmada a aplicabilidade da MCC em uma sistemática consolidada, como o SOM.

Deve-se destacar, ainda, que a aplicação desenvolvida confirmou serem necessários dedicação e esforço ao se pretender implementar a MCC, particularmente para o caso de Itaipu, onde o número de componentes e acessórios associados a cada equipamento é muito grande.

Os resultados da aplicação da MCC na metodologia de manutenção de Itaipu, SOM, que se baseou no modelo definido no capítulo anterior, indicam que

este método é adequado a uma metodologia consolidada, mesmo se limitando a definição do plano de manutenção.

Pode ser observada a potencialidade do método MCC no sentido de otimizar o plano de manutenção, definindo as tarefas a serem contempladas nesse plano, sejam preventivas ou corretivas, a revisão da frequência das inspeções e a oportunidade de realização de discussões técnicas com profundidade suficiente para uma reavaliação dos procedimentos de manutenção atualmente adotados e resgate do conhecimento dos profissionais envolvidos no processo de manutenção.

## Capítulo 6. CONCLUSÕES

As crescentes exigências do mercado para se produzir com qualidade, produtividade, flexibilidade e confiabilidade têm influenciado as ações de dirigentes e outros profissionais para o aprimoramento de sua política de manutenção. Dessa forma, o emprego da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) vem ao encontro de uma necessidade da comunidade técnica de manutenção, que tem buscado a utilização de ferramentas menos empíricas, para a definição das tarefas que compõem o plano de manutenção.

No caso particular do setor elétrico brasileiro, esses fatores estão presentes por diversas razões. Observa-se, de modo geral, com os movimentos no sentido da globalização, um processo de desregulamentação do setor, com a configuração e posterior consolidação da concorrência no mercado, além das dificuldades no atendimento das necessidades de energia elétrica para o País.

A troca de experiências entre empresas desse setor tem sido, de certa forma, desestimulada, pois a tecnologia de manutenção vem se tornando fator de vantagem competitiva. Sendo assim, obstáculos tendem a surgir na etapa de implantação de novos empreendimentos, já que o intercâmbio entre as empresas tem sido historicamente a base para a definição dos planos iniciais de manutenção. Isso ocorre principalmente quando as empresas não detêm experiência operativa, que possibilite um conhecimento adequado do comportamento dos equipamentos e sistemas.

A MCC, originalmente desenvolvida para a indústria aeronáutica, tem se caracterizado como uma técnica aplicável aos diversos seguimentos industriais. Existem atualmente várias aplicações bem sucedidas da MCC no processo de manutenção do setor industrial, como também do setor de geração de energia, seja de origem térmica, nuclear ou hidráulica, e de outras indústrias de transformação. Esta técnica pode ser considerada focada, ou melhor, aplicada em alguns equipamentos ou grupo deles, sem que

necessariamente seja adotada em toda a instalação. Sua utilização, portanto, é perfeitamente aplicável em equipamentos específicos, com base em critérios como, criticidade operativa, número de falhas apresentado, custos elevados de manutenção, bem como para o desenvolvimento do plano de manutenção de novos equipamentos ou sistemas a serem instalados.

A aplicação da MCC nos equipamentos do sistema de regulação de velocidade, particularmente nos acumuladores de ar e de ar/óleo da Central Hidrelétrica de Itaipu confirmou a necessidade de dedicação e esforço dos técnicos, especialmente devido a grande quantidade de equipamentos a serem mantidos nesta instalação. Observou-se que o momento foi bastante rico para uma ampla reavaliação dos procedimentos de manutenção adotados, permitindo uma análise estruturada dos mecanismos de falha, com apoio da análise do histórico de manutenções corretivas e preventivas realizadas. Na oportunidade, também pode ser reavaliado o material sobressalente associado aos equipamentos em análise, com o intuito de garantir maior confiabilidade para a instalação.

Também a aplicação da MCC está diretamente associado à gestão estratégica do conhecimento, temática de relevância crescente no campo empresarial. Isso se deve ao resgate e preservação do capital intelectual da área de manutenção, pois grande parte do conhecimento e experiências acumuladas pelos profissionais envolvidos no processo aflora nas discussões técnicas e porque as informações e dados obtidos na aplicação, para a definição do plano de manutenção, ficam registradas, compondo um importante acervo técnico.

Ainda o conjunto de documentos gerados é bastante útil para a formação de novos profissionais para a área de manutenção, dessa maneira, busca-se garantir a continuidade do desempenho das equipes, que gradualmente vão sendo substituídas no processo natural de rotatividade de pessoas no trabalho.

Estas afirmações são confirmadas por Barroso e Gomes (1999) quando comentam que “gestão do conhecimento não se trata apenas de gerir ativos de conhecimento, mas também da gestão dos processos que atuam sobre os ativos” (p. 5). Os autores continuam ainda “a mobilidade da mão-de-obra é um fato da vida moderna e a erosão da base do conhecimento da empresa ocorre a cada reposição” (p. 9).

Cabe comentar que essa documentação estará disponível para as futuras revisões dos procedimentos e tarefas de manutenção, ao permitir identificar, com eficiência, a ocorrência de uma eventual falha, e se aquela situação já tinha sido considerada ou prevista. Nesse sentido, a referida documentação pode vir a ser utilizada como instrumento de contestação a algum questionamento sobre a abrangência e a qualidade da manutenção executada.

Como em Itaipu existe um grande número de equipamentos, de modo reduzir o volume de itens codificados, optou-se por incluir num mesmo código vários componentes e acessórios (em alguns casos até muitos equipamentos), que em outras instalações são codificados individualmente. Contudo, essa codificação tem reflexos na caracterização da forma de manutenção executada. Por exemplo, quando a função de um equipamento for mantida, mesmo com a falha de um de seus componentes, conforme a terminologia do SOM a manutenção é definida como preventiva. Isso porque o equipamento codificado apresenta um defeito. Na aplicação da MCC, essa mesma situação é caracterizada como manutenção corretiva, pois como os principais componentes e acessórios são discretizados, para esse componente ocorreu perda da função, portanto a falha.

Para a MCC, ainda, devido ao processo de análise ser realizado componente a componente, pode ser que alguma falha possível não seja considerada, ao se preencher inicialmente a planilha funções e falhas funcionais. Este aspecto pode ser minimizado, consultando-se o histórico de manutenções corretivas, permitindo uma avaliação mais completa dessas funções e suas respectivas falhas.

Com relação à avaliação dos custos associados às tarefas de manutenção, as referências bibliográficas destacam a redução dos dispêndios operacionais a partir da implantação da MCC, embora não se encontre no método a apropriação e análise desses custos. Desta forma, seria importante logo após a definição do plano de manutenção, promover-se uma análise comparativa dos custos incorridos na realização do plano de manutenção anterior, e aquele proposto após a aplicação da MCC, validando-se assim, a efetividade econômica da aplicação.

A aplicação da MCC enfatiza a preservação ambiental e de segurança das instalações, bem como prioriza a análise das falhas ocultas associadas a dispositivos de proteção, bastante freqüentes nas instalações de geração de energia elétrica.

Em atendimento ao objetivo geral desta pesquisa, conclui-se, portanto, que a aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade é adequada a uma sistemática de manutenção consolidada como o Sistema de Operação e Manutenção (SOM), proporcionando ganhos importantes em qualidade e eficiência da função manutenção, bem como para a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, a partir da incorporação de uma avaliação estruturada das tarefas de manutenção, direcionando os esforços para aquelas de melhor relação custo-benefício. Com isso, pode-se afirmar que a MCC agrega valor ao processo de manutenção.

Da mesma forma que a FMEA é uma ferramenta que compõe uma das etapas de aplicação da MCC, em relação a metodologia do SOM a MCC pode representar um método estruturado de suporte ao processo de definição do plano de manutenç

A oportunidade de participação ativa dos profissionais envolvidos com a manutenção dos equipamentos analisados, observada durante a aplicação da MCC em Itaipu, configura-se como outra conclusão significativa. Pode-se inferir que a aplicação dessa nova metodologia contribuiu para um maior comprometimento e motivação do pessoal, pelo interesse demonstrado em

todo o processo de discussão e elaboração da documentação, proporcionando um melhor e mais detalhado conhecimento dos equipamentos em análise e o incentivo ao trabalho em equipe, com reflexos positivos no desenvolvimento técnico profissional do grupo.

A aplicação da MCC exigiu a absorção de novos conceitos e técnicas como, a Análise das Falhas Funcionais, Análise dos Modos e Efeitos das Falhas (FMEA), e o enfoque próprio de preservação da função. Nesses termos, é essencial que seja definido um programa de treinamentos para os profissionais incumbidos de desenvolver os trabalhos, com vistas a extrair desta metodologia toda a sua potencialidade, respeitando-se, com a devida precisão, os novos conceitos incorporados.

Como recomendação para futuros trabalhos a serem desenvolvidos, sugere-se:

- utilização do método de análise da 'árvore de falhas', como ferramenta de suporte para a definição das falhas funcionais dos componentes, a serem definidas para a aplicação da MCC;
- desenvolvimento de análise dos custos de manutenção, posterior a aplicação da MCC, visando a avaliação dos eventuais ganhos financeiros obtidos;
- aplicação da MCC em um equipamento, que não tenha similaridade com nenhum outro equipamento existente, e, portanto, não se disponha do histórico de manutenções realizadas;
- utilização de diagrama *Function Analysis System Technique* (FAST), denominado em português Técnica do Sistema de Análise de Funções, para a definição das funções dos componentes, quando da aplicação da MCC.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-5462**: confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994.

AUGUST, J. **Applied reliability-centered maintenance**. USA: PennWell, 1999.

AUPIED, J.; SANCHIS, G.; GIRARD, A. Experience feedback and implementation of the RCM method in EDF substations. **Doble Company**, [S.l.], ref.62PAIC97, Testing & Maintenance, sec 1-4.1.1997.

AZEVEDO, C. A. Otimização da manutenção pela confiabilidade na indústria europeia. In: II Seminário Brasileiro de Confiabilidade na Manutenção, 1998, São Paulo. **Anais....** São Paulo: Instituto de Engenharia, 1998. p.44-51.

BARROSO, A. C. O.; GOMES, E. B. P. Tentando entender a gestão do conhecimento. **Revista de Administração Pública**, São Paulo, v.33, n.2, p.147-170, mar./abr. 1999.

BRANCO FILHO, G. RCM - manutenção centrada em confiabilidade. In: VI Curso de gerência de manutenção, set. 2000. **Notas de Aula**. Rio de Janeiro. Impresso. 43p.

BRANCO FILHO, G. **Dicionário de termos de manutenção, confiabilidade e qualidade**. Rio de Janeiro: ABRAMAN, 1996.

BRAUER, D. C.; BRAUER, G. D. Reliability-Centered Maintenance. **IEEE Transactions on Reliability**, [S.l.], v.36, n.1, p.17-24, april. 1987.

CASTRO, D. A. Confiabilidade, mitos e realidades. In: 12º Congresso Brasileiro de Manutenção. 1997, São Paulo. **Anais...** Rio de Janeiro: ABRAMAN, 1997. CD-ROM.

CHAVEZ, L. M. C. G.; MEDEIROS, F. E. de. Engenharia de manutenção: fator de mudança. In: 13º Congresso Brasileiro de Manutenção. 1998, Salvador. **Anais...** Rio de Janeiro: ABRAMAN, 1998. CD-ROM.

COTNAREANU, T. Equipament FMEA - old tools new uses: a tool for preventive maintenance. **Revista Quality Progress**, [S.l.], v. 32, n.12, p.48-52, dez. 1999.

DIAS, A.; SANTOS, C. M. P. dos. O desenvolvimento tecnológico e a gestão da manutenção. In: XVII Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica – COBEM/UNICAMP. **Anais...** Aguas de Lindóia, SP. Nov. 1999. CD-ROM.

ELETROBRÁS. **Plano decenal de expansão: 2000/2009**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2000.

FLEMING, P. V.; OLIVEIRA, L. F. S. de; FRANÇA, S. R. Aplicações de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) em instalações da Petrobrás. In: V Encontro Técnico sobre Engenharia de Confiabilidade e Análise de Risco. 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Petrobrás, 1997.

FERREIRA, A. A. **Gestão empresarial de Taylor aos nossos dias: evolução e tendências da moderna administração de empresas**. São Paulo: Pioneira, 2000.

GRUPO COORDENADOR DE OPERAÇÃO INTERLIGADA/SUBCOMITÊ DE MANUTENÇÃO (GCOI/SCM). **Manual do usuário do sistema estatístico de manutenção**. Rio de Janeiro, 1998.

HELMAN, H.; ANDEREY, P. R. .P. **Análise de falhas: aplicação dos métodos de FMEA e FTA**. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni, 1995.

ITAIPU BINACIONAL. **Sistema de operação e manutenção (SOM) - manual de descrição geral do SOM: manual G01**. Foz do Iguaçu - PR, 1998. 38p.

ITAIPU BINACIONAL. **Sistema de operação e manutenção (SOM) - codificação de equipamentos e estruturas: manual G04**. Foz do Iguaçu - PR, 1998. 468p.

ITAIPU BINACIONAL. Sistema de operação e manutenção (SOM): **inspeção e controle**: manual M01. Foz do Iguaçu - PR, 1998. 750 volumes.

ITAIPU BINACIONAL. **Principais características técnicas**. Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2001.

MATA FILHO, J. N. *et al.* Manutenção Baseada em Confiabilidade e Controle de Custos de manutenção: um time de sucesso na Indústria Aeronáutica. In: 13º Congresso Brasileiro de Manutenção. 1998, Salvador. **Anais...** Rio de Janeiro: ABRAMAN, 1998. CD-ROM.

MOBLEY, K.; CASTRO, D. de. Análise da dinâmica operacional. **Revista Manutenção** - ABRAMAN, Rio de Janeiro, n.71, p.17-19, mar./abr. 1999.

MONCHY, F. **A função manutenção**. São Paulo: EBRAS/DURBAN, 1989.

MOORE, R.; RATH, R. **Combining TPM and RCM-SMRP**: case study. Disponível em: <[http://www.smrp.org/Vl/case\\_study/rcm\\_index.html](http://www.smrp.org/Vl/case_study/rcm_index.html)>. Acesso em: 15 jan. 2001.

MOSS, M. A. **Designing for minimal maintenance expense**: the practical application of reliability. New York: Marcel Dekker Inc., 1985.

MOUBRAY, J. **RCM II**: manutenção centrada em confiabilidade. Grã Bretanha: Biddles Ltd., Guilford and King's Lynn, 2000. Edição Brasileira.

NAKAJIMA, S. **Introdução ao TPM - Total Productive Maintenance**. São Paulo: IM & C - Internacional Sistemas Educativos, 1989.

NEIVA, F. A. A importância da manutenção no novo setor elétrico brasileiro. **Revista Manutenção** - ABRAMAN, Rio de Janeiro, n.73, p.4-6, jul./ago. 1999.

NEPOMUCENO L. X. **Técnicas de manutenção preditiva**. São Paulo: Edgard Blücher, 1989.

NETHERTON, D. **Um novo padrão SAE para RCM–SMRP: case study.** Disponível em: <<http://www.sqlbrasil.com.br/SQL-RCM2-Casos.html>>. Acesso em: 27 ago. 2001.

NOWLAN, F. S.; HEAP, H. F. Reliability centered maintenance. **National Technical Information Service**, USA, Report n.AD/A066-579, 1978.

NUNES, E.L.; Souza, J.R.R. de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) – Ênfase para Falhas Ocultas. In: XVI Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica – SNPTEE. 2001, Campinas – SP. **Anais...** Rio de Janeiro: SNPTEE, 2001. CD-ROM.

OLIVEIRA, L. F. S.; DINIZ, F. L. B. **Apostila do curso manutenção centrada em confiabilidade** – DNV Principia, Foz do Iguaçu, abr. 2001. 102p. Notas de aula. Impresso.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). **Operação do sistema interligado nacional:** dados relevantes de 1999. Rio de Janeiro: ONS, 2000.

PALADY, P. **FMEA – Análise dos modos de falhas e efeitos:** prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram. São Paulo: IMAN, 1997.

PINTO, A. K.; XAVIER, J. A. N. **Manutenção:** função estratégica. Rio de Janeiro: Quality Mark, 1998.

POSSAMAI, O.; Nunes, E. L. Falhas Ocultas e a Manutenção Centrada em Confiabilidade. In: XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP. 2001, Salvador – BA. **Anais...** Porto Alegre: ABEPRO, 2001. CD-ROM.

POSSAMAI, O.; Nunes, E. L.; Moreira E. A Prevenção de Falhas e as Macrofunções de um Método de Manutenção. In: XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP. 2001, Salvador – BA. **Anais...** Porto Alegre: ABEPRO, 2001. CD-ROM.

SARMENTO, I. J. D. Estratégia e resultados da implantação da "Manutenção Baseada em Confiabilidade" na Geração da CEMIG. I Seminário Nacional de Manutenção no Setor Elétrico. 2001, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABRAMAN. 2001. CD-ROM.

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS, INC.(SAE). **JA1011: evaluation criteria for reliability-centered maintenance (RCM) processes**. USA: SAE, 1999.

SLACK, N. *et al.* **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 1997.

SMITH, A. M. **Reliability-centered maintenance**. California-USA: McGraw-Hill, 1992.

SOUZA, M. S. de; MÁRQUEZ, D. C. Estimativa de Ganhos com a Implantação da MBC na Copel. In: II Seminário Brasileiro de Confiabilidade na Manutenção. 1998, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Instituto de Engenharia, 1998. p.63-75.

VENTURA FILHO, A. A opção hidrelétrica no Brasil: aspectos ambientais, tecnológicos e econômicos. In: 17º Congresso do Conselho Mundial de Energia. 1998, Houston- USA. **Anais...** London: Word Energy Council, 1998. division 1, book 1, v. 2. p.317- 331.

VIZZONI, E. **Manutenção centrada em confiabilidade: avaliação de sua aplicabilidade e adaptação a subestações de energia elétrica**. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro.

**ANEXOS**

## **ANEXO 1**

**Desenho esquemático do sistema de regulação de velocidade.**



**ANEXO 2****Listagem dos componentes do equipamento D01.**

<b>EQUIPAMENTO:</b> D01 - TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/OLEO N1 - N2 - N3	
<b>FUNÇÃO:</b> Armazenamento de óleo pressurizado para movimentação das palhetas do distribuidor.	
<b>ACESSÓRIOS:</b>	
1	Válvula de dreno de condensado-interna (N1/N2) (2 pcs) (82-84)
2	Válvula de dreno de condensado-externa (N1/N2) (2 pcs) (81-83)
3	Válvula de isolamento da linha dos pressostatos (86)
4	Válvula de dreno da linha dos pressostatos (87)
5	Válvula de segurança dos acumuladores (3 pcs) (20)
6	Manômetro dos acumuladores de ar (2pcs) (21) (PI-35; PI-36)
7	Válvula agulha de isolamento do manômetro do acumulador de ar (2 peças)
8	Manômetro do acumulador ar/óleo (21) (PI-34)
9	Válvula agulha de isolamento do manômetro do acumulador ar/óleo
	Indicador de nível de óleo superior do acumulador ar/óleo
	Acessórios do indicador de nível :
10a13	flange-haste-bóia-suporte
14	chave de nível "CH1" - (permissão de partida de bomba na partida da Unidade - ajuste 11 divisões )
15	chave de nível "CH2" - (permissão de parada de bomba na parada da Unidade - ajuste 14 divisões )
16	chave de nível "CG" - (comanda a reposição de ar nos acumuladores através da eletroválvula "BE" - ajuste 18,5 divisões)
17	chave de nível "LB" - (indicação do nível alto de óleo no acumulador ar/óleo - ajuste 19,4 divisões) - <b>ALARME</b>
	Indicador de nível de óleo inferior do acumulador ar/óleo
	Acessórios do indicador de nível:
18a21	flange-haste-bóia-suporte
22	chave de nível "LV" - (indicação de nível baixo de óleo no acumulador ar/óleo - ajuste 10,6 divisões) - <b>ALARME</b>
23	chave de nível "LC" - (parada da Unidade por nível muito baixo de óleo no acumulador ar/óleo - ajuste 9,8 divisões) - <b>TRIP</b>
24	chave de nível "LD" - (nível de óleo muito baixo no acumulador ar/óleo, fecha/to da válvula de isola/to dos acumuladores - ajuste 0,6 divisões) - <b>TRIP</b>
<b>PRESSOSTATOS:</b>	
25	Pressostato "LE" - (pressão alta nos acumuladores - ajuste 65 bar) - <b>ALARME</b>
26	Pressostato "DB" - (partida da 1 bomba reserva - ajuste 57 bar)
27	Pressostato "DC" - (partida da 2 bomba reserva - ajuste 54 bar)
28	Pressostato "LF1" - (alarme de pressão baixa nos acumuladores - ajuste 53 bar) - <b>ALARME</b>
29	Pressostato "LF2" - (pressão muito baixa nos acumuladores - ajuste 52 bar - <b>TRIP</b>
30	Pressostato "DD" - (parada das bombas reserva - ajuste 60,5 bar)

**EQUIPAMENTO:** D01 - TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/OLEO N1 - N2 - N3

**FUNÇÃO:** Armazenamento de óleo pressurizado para movimentação das palhetas do distribuidor.

**ACESSÓRIOS:**

31	Transdutor de Pressão "EE" - (indicação da pressão do sistema de regulação no ULP)
32	Válvula de isolamento dos pressostatos e transdutor de pressão "EE" - (7 peças)
33	Válvula de dreno dos acumuladores (despressurização) - (2 peças) (41)
34	Válvula do sistema de reposição de ar dos acumuladores (3 peças) (44-45-97) - Listada no D25
35	Filtro do sistema de reposição automática de ar (42) - Listada no D25
36	Válvula de retenção do sistema de reposição automática de ar (2 peças) (43) - Listada no D25
37	Eletroválvula de reposição automática de ar (BE) - Listada no D25
38	Válvula globo de interligação dos acumuladores (2 peças) (98-99) - Listada no D25
39	Tubulação de interligação dos acumuladores (4 peças)
40	Válvula de dreno de óleo do acumulador ar/óleo (22) - Listada no D23
41	Acumulador de ar N1
42	Tampa do acumulador de ar N1
43	Acumulador de ar N2
44	Tampa do acumulador de ar N2
45	Acumulador ar/óleo N3
46	Tampa do acumulador ar/óleo N3
47	Tubulação de alimentação de óleo da linha dos pressostatos
48	Tubulação de alimentação de ar dos acumuladores e dreno de condensado

### **ANEXO 3**

**Planilha de Falhas Funcionais Preenchida.**

## Análise de Falhas Funcionais – MCC

FOLHA

1/4

UNIDADE: SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE	SUBUNIDADE: TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS
FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL
1 Armazenamento do óleo pressurizado isento de impurezas, de 48 a 68 bar (pressão normal de operação 61 a 64 bar) para movimentação das palhetas do distribuidor (41 a 46).	1.1 Sobrepressão acima de 68 bar, nos acumuladores. 1.2 Pressão abaixo de 48 bar, nos acumuladores. 1.3 Armazenar óleo pressurizado com impurezas.
2 Isolar acessórios de supervisão e controle, tais como manômetros e pressostatos (3-7-9-32).	2.1 Não isolar os acessórios de supervisão e controle. 2.2 Isolar inadequadamente os acessórios de supervisão e controle.
3 Drenar óleo/ar e condensado (1-2-4-33-40).	3.1 Não drenar óleo/ar/condensado. 3.2 Drenar indevidamente.
4 Proteger os acumuladores para uma pressão máxima de 68 bar (5).	4.1 Não aliviar a pressão quando esta atinge 68 bar. 4.2 Operar abaixo da pressão de 67 bar.
5 Indicar a pressão de ar nos acumuladores de ar N1 - N2 (6).	5.1 Não indicar a pressão de ar nos acumuladores N1 - N2. 5.2 Indicar indevidamente a pressão nos acumuladores N1 - N2.
6 Indicar a pressão no acumulador ar/óleo (8).	6.1 Não indicar a pressão no acumulador ar/óleo. 6.2 Indicar indevidamente a pressão no acumulador ar/óleo.
7 Indicar nível superior de óleo, permitir a partida e parada da motobomba na sequência de partida e parada da Unidade Geradora, comandar reposição automática de ar nos acumuladores e sinalizar nível alto de óleo (10-11-12-13-14-15-16-17).	7.1 Não indicar nível de óleo superior no acumulador ar/óleo. 7.2 Indicar indevidamente o nível de óleo superior no acumulador ar/óleo. 7.3 Não permitir a partida da motobomba principal na sequência de partida da Unidade Geradora – CH1 – Ajuste 11 divisões. 7.4 Não permitir a parada da motobomba na sequência de parada da Unidade Geradora – CH2 – Ajuste 14 divisões.

## Análise de Falhas Funcionais – MCC

FOLHA

2/4

UNIDADE: SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE	SUBUNIDADE: TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS
FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL
7 Indicar nível superior de óleo, permitir a partida e parada da motobomba na sequência de partida e parada da Unidade Geradora, comandar reposição automática de ar nos acumuladores e sinalizar nível alto de óleo (10-11-12-13-14-15-16-17).	<p>7.5 Não comandar a reposição automática de ar nos acumuladores – CG – Ajuste 18,5 divisões.</p> <p>7.6 Comandar indevidamente a reposição automática de ar nos acumuladores (CG).</p> <p>7.7 Não indicar nível alto de óleo no acumulador ar/óleo – LB – Ajuste 19,4 divisões – <b>ALARME</b>.</p>
8 Indicar nível inferior de óleo, sinalizar nível baixo/muito baixo, comandar a parada da Unidade Geradora e isolamento dos acumuladores (18-19-20-21-22-23-24).	<p>8.1 Não indicar nível de óleo inferior no acumulador ar/óleo.</p> <p>8.2 Indicar indevidamente o nível de óleo inferior no acumulador ar/óleo.</p> <p>8.3 Não indicar nível baixo de óleo no acumulador ar/óleo - LV – Ajuste 10,6 divisões – <b>TRIP</b>.</p> <p>8.4 Não comandar a parada da Unidade Geradora por nível muito baixo de óleo no acumulador ar/óleo - LC – Ajuste 9,8 divisões – <b>TRIP</b>.</p> <p>8.5 Comandar indevidamente a parada da Unidade Geradora por nível muito baixo de óleo no acumulador ar/óleo (LC).</p> <p>8.6 Não indicar nível de óleo muito baixo no acumulador ar/óleo (LC).</p> <p>8.7 Não comandar o fechamento da válvula de isolamento do acumulador ar/óleo com sistema de regulação - LD – Ajuste 0,6 divisões – <b>TRIP</b>.</p> <p>8.8 Comandar indevidamente o fechamento da válvula de isolamento do acumulador ar/óleo com sistema de regulação (LD).</p>
9 Indicar pressão alta nos acumuladores (25).	<p>9.1 Não indicar pressão alta nos acumuladores - LE – Ajuste 65 bar – <b>ALARME</b>.</p> <p>9.2 Indicar indevidamente pressão alta nos acumuladores (LE).</p>
10 Partir a 1ª motobomba reserva do sistema de regulação (26).	<p>10.1 Não permitir a partida da 1ª motobomba reserva do sistema de regulação DB – Ajuste 57 bar.</p> <p>10.2 Partir indevidamente a 1ª motobomba reserva do sistema de regulação (DB).</p>

## Análise de Falhas Funcionais – MCC

FOLHA

3/4

UNIDADE: SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE	SUBUNIDADE: TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS
FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL
11 Partir a 2ª motobomba reserva do sistema de regulação (27).	11.1 Não permitir a partida da 2ª motobomba reserva do sistema de regulação DC – Ajuste 54 bar. 11.2 Partir indevidamente a 2ª motobomba reserva do sistema de regulação (DC).
12 Indicar pressão baixa nos acumuladores (28).	12.1 Não comandar a parada da unidade geradora por pressão baixa nos acumuladores do RV - LF1 – Ajuste 53 bar – <b>TRIP</b> . 12.2 Comandar indevidamente a parada da unidade geradora por pressão baixa nos acumuladores do RV (LF1).
13 Indicar pressão muito baixa nos acumuladores (29) – parada da Unidade Geradora.	13.1 Não comandar a parada da Unidade Geradora por pressão muito baixa nos acumuladores do RV - LF2 – Ajuste 52 bar – <b>TRIP</b> . 13.2 Comandar indevidamente a parada da Unidade Geradora por pressão muito baixa nos acumuladores do RV (LF2).
14 Parar as motobombas reserva (30).	14.1 Não parar as motobombas reserva – DD – Ajuste 60,5 bar. 14.2 Parar indevidamente as motobombas reserva (DD).
15 Indicar a pressão do sistema de regulação no ULP (31).	15.1 Não indicar a pressão do sistema de regulação no ULP (EE). 15.2 Indicar indevidamente a pressão do sistema de regulação no ULP (EE).
16 Isolar o sistema de reposição automática de ar dos acumuladores (34).	16.1 Não isolar o sistema de reposição automática de ar dos acumuladores (44-45-97). 16.2 Isolar indevidamente o sistema de reposição automática de ar dos acumuladores (44-45-97).
17 Filtrar o ar de reposição dos acumuladores (35).	17.1 Não filtrar o ar de reposição dos acumuladores (42). 17.2 Obstruir a passagem de ar de reposição.
18 Impedir o retorno de ar dos acumuladores ao reservatório de ar dos compressores (36).	18 Não impedir o retorno de ar dos acumuladores ao reservatório de ar dos compressores (43).

## Análise de Falhas Funcionais – MCC

FOLHA

4/4

UNIDADE: SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE	SUBUNIDADE: TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS
FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL
19 Repor automaticamente ar aos acumuladores do sistema de regulação (37).	19.1 Não repor automaticamente ar aos acumuladores do sistema de regulação durante 2 minutos (BE). 19.2 Manter continuamente a passagem de ar aos acumuladores do sistema de regulação (BE).
20 Isolar os acumuladores de ar do acumulador ar/óleo (38).	20 Não isolar os acumuladores de ar do acumulador ar/óleo (98/99).
21 Interligar os acumuladores de ar ao acumulador ar/óleo (39).	21 Não interligar os acumuladores de ar ao acumulador ar/óleo.
22 Conter o fluido nos diversos componentes do sistema (1 a 48).	22 Não conter o fluido.
23 Indicar o tipo de fluido contido (óleo = marrom e ar = azul) e manter a aparência (38-39-41-42-43-44-45-46-47-48).	23.1 Não identificar corretamente o tipo de fluido. 23.2 Não manter a aparência.
24 Identificar os componentes (1 a 5 – 14 a 17 – 22 a 24 – 25 a 38 – 40 a 41 – 43 – 45).	24 Não identificar os componentes.
25 Alimentar a linha dos pressostatos (47).	25 Não alimentar a linha dos pressostatos.
26 Alimentar com ar os acumuladores e drenar o condensado dos acumuladores de ar (48).	26.1 Não alimentar os acumuladores de ar. 26.2 Não drenar o condensado dos acumuladores.
27 Manter fixação dos diversos componentes do sistema (1 a 48).	27 Não manter a fixação dos diversos componentes.
28 Facilitar o desenvolvimento das atividades de operação e manutenção dos componentes do sistema (1 a 48).	28 Não facilitar o desenvolvimento das atividades de operação e manutenção dos componentes do sistema.

**ANEXO 4**

**Planilha FMEA Preenchida.**

# Análise de Modos e Efeitos de Falhas – FMEA - MCC

FOLHA

1/26

UNIDADE: **SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE**

SUBUNIDADE: **TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS**

FUNÇÃO: **1**

FALHA FUNCIONAL: **1.1**

EQUIPAMENTO	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITOS DA FALHA	D.D.
ACUMULADORES AR E AR/ÓLEO	Sobrepresão	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Emperramento na posição “ABERTA” da válvula de alimentação de ar comprimido “BE” (37) e não atuação das válvulas de alívio dos acumuladores.[A]</li> <li>- Quebra da válvula de alimentação manual de ar comprimido dos acumuladores (item 34 – válvula 44) e não atuação das válvulas de alívio dos acumuladores.[B]</li> <li>- Falha na indicação de nível alto (16) e não atuação das válvulas de alívio dos acumuladores.[C]</li> <li>- Falha na abertura da válvula de alívio da bomba e não atuação das válvulas de alívio dos acumuladores.[D]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Risco de acidente pessoal.[A-B-C-D]</li> <li>- Rompimento de vedações, tubulações e acumuladores.[A-B-C-D]</li> <li>- Vazamento de óleo.[A-B-C-D]</li> <li>- Risco iminente de indisponibilidade da regulação da unidade.[A-B-C-D]</li> <li>- Inibição de indicação de outras falhas no sistema (seqüência de alarmes).[A-B-C-D]</li> <li>- Quebra da bomba caso ocorra falha na válvula de alívio da mesma.[D]</li> <li>- Distúrbio no funcionamento normal do sistema. [A-B-C-D]</li> </ul>	S

## Análise de Modos e Efeitos de Falhas – FMEA - MCC

FOLHA

2/26

UNIDADE: **SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE**

SUBUNIDADE: **TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS**

FUNÇÃO: **1**

FALHA FUNCIONAL: **1.2**

EQUIPAMENTO	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITOS DA FALHA	D.D.
ACUMULADORES AR E AR/ÓLEO	Baixa Pressão	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grande vazamento de óleo devido à rompimento de tubulação, válvulas e acessórios do sistema.[A]</li> <li>- Grande vazamento de ar devido a rompimento na tubulação e acessórios de alimentação de ar dos acumuladores (48).[B]</li> <li>- Grande vazamento de ar devido à rompimento na linha de interligação do reservatório de ar aos compressores e falha na válvula de retenção (36) e eletroválvula “BE”. [C]</li> <li>- Grande vazamento de ar devido a rompimento das tubulações de interligação dos acumuladores e falha na vedação da tampa .[D]</li> <li>- Não reposição de óleo para o sistema pelas motobombas.[E]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- - Impedimento da funcionabilidade do sistema. [A-B-C-D-E]</li> <li>- - Contaminação do Meio Ambiente (óleo).[A-D]</li> <li>- - Distúrbio no funcionamento normal do sistema. [A-B-C-D-E]</li> <li>- - Risco de acidente pessoal.[A-B-C-D]</li> </ul>	S

## Análise de Modos e Efeitos de Falhas – FMEA - MCC

FOLHA

3/26

UNIDADE: **SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE**

SUBUNIDADE: **TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS**

FUNÇÃO: **1**

FALHA FUNCIONAL: **1.3**

EQUIPAMENTO	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITOS DA FALHA	D.D.
ACUMULADORES AR E AR/ÓLEO	Contaminação	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deterioração da pintura interna dos acumuladores.[A]</li> <li>- Corrosão nas tubulações de interligação dos acumuladores.[B]</li> <li>- Presença (substancial) de água no sistema.[C]</li> <li>- Quebra de bomba.[D]</li> <li>- Perda das características físico químicas do óleo.[E]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Travamento de válvulas e acessórios.[A-B-C-E]</li> <li>- Entupimento de filtro.[A-E]</li> <li>- Obstrução do fluxo.[A-B-C-E]</li> <li>- Distúrbio no funcionamento normal do sistema. [A-B-C-E]</li> <li>- Alteração nas propriedades físico químicas do óleo. [A-C-D-E]</li> <li>- Deterioração da carga de óleo.[A-C-D-E]</li> <li>- Vazamento externo de ar.[C]</li> <li>- Corrosão nas superfícies metálicas expostas pela presença de água.[D]</li> <li>- Ataque as superfícies metálicas expostas, devido a perda das características físico químicas do óleo. [D]</li> <li>- Impedimento da funcionabilidade do sistema. [A-B-C-E]</li> </ul>	S

## Análise de Modos e Efeitos de Falhas – FMEA - MCC

FOLHA

4/26

UNIDADE: **SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE**

SUBUNIDADE: **TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS**

FUNÇÃO: **2**

FALHA FUNCIONAL: **2.1 e 2.2**

EQUIPAMENTO	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITOS DA FALHA	D.D.
VÁLVULAS DE ISOLAMENTO (3-7-9-32)	Vazamento interno	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deterioração de sede e ou contra sede.[A]</li> <li>- Engripamento da haste.[B]</li> <li>- Falta de aperto no fechamento da válvula.[C]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Impossibilidade de executar manutenção nos acessórios de supervisão e controle.[A-B-C]</li> <li>- Risco de acidente pessoal.[A-B-C]</li> </ul>	S
	Perda de supervisão	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Engripamento da haste.[A]</li> <li>- Operação indevida.[B]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Impedimento da funcionabilidade do sistema (pressostatos). [A-B]</li> <li>- Perda da proteção dos equipamentos (pressostatos). [A-B]</li> <li>- Indicação indevida da pressão do sistema (manômetros e transdutor de pressão "EE").[A-B]</li> <li>- Ajuste incorreto de outros instrumentos (9).</li> </ul>	N

## Análise de Modos e Efeitos de Falhas – FMEA - MCC

FOLHA

5/26

UNIDADE: **SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE**

SUBUNIDADE: **TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS**

FUNÇÃO: **3**

FALHA FUNCIONAL: **3.1 e 3.2**

EQUIPAMENTO	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITOS DA FALHA	D.D.
VÁLVULA DE ISOLAMENTO DOS PRESSOTATOS	Obstrução	- Engripamento da haste das válvulas.	- Contaminação do sistema por condensado.  - Impedimento da despressurização dos acumuladores caso a válvula (33) esteja inoperante.  - Impedimento de drenagem de óleo do acumulador ar/óleo e linha dos pressostatos.	N
	Vazamento	- Deterioração de sede e contra sede .[A]  - Operação indevida de fechamento das válvulas.[B]  - Deterioração de gaxeta..[C]	- Distúrbio no funcionamento normal do sistema. [A-B]  - Impedimento de funcionabilidade do sistema - linha dos pressostatos (4).[A-B]  - Perda de proteção dos equipamentos (linha dos pressostatos).[A-B-C]  - Queda de pressão do sistema.[A-B-C]	N

## Análise de Modos e Efeitos de Falhas – FMEA - MCC

FOLHA

6/26

UNIDADE: **SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE**

SUBUNIDADE: **TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS**

FUNÇÃO: **4**

FALHA FUNCIONAL: **4.1 e 4.2**

EQUIPAMENTO	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITOS DA FALHA	D.D.
VÁLVULA DE SEGURANÇA DOS ACUMULADORES	Sobrepessão	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ajuste indevido das 3 válvulas de alívio.[A]</li> <li>- Emperramento da válvula de alívio.[B]</li> <li>- Obstrução do fluxo por quebra do mecanismo interno das válvulas.[C]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distúrbio no funcionamento do sistema com rebaixamento do nível de óleo do acumulador ar/óleo.[A-B-C]</li> <li>- Rompimento de tubulações e vedações.[A-B-C]</li> <li>- Vazamento de óleo com possibilidade de contaminação do Meio Ambiente.[A-B-C]</li> <li>- Risco de acidente pessoal.[A-B-C]</li> </ul>	S
	Vazamento externo de ar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ajuste indevido.[A]</li> <li>- Desgaste na sede da válvula.[B]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distúrbio no funcionamento normal do sistema. [A-B]</li> <li>- Inibição de indicação de outras falhas no sistema (inibição de sequência de alarmes).[A-B]</li> <li>- Perda de pressão no sistema.[A-B]</li> </ul>	S

## Análise de Modos e Efeitos de Falhas – FMEA - MCC

FOLHA

7/26

UNIDADE: **SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE**SUBUNIDADE: **TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO  
N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS**FUNÇÃO: **5**FALHA FUNCIONAL: **5.1 e 5.2**

EQUIPAMENTO	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITOS DA FALHA	D.D.
MANÔMETRO DO ACUMULADOR DE AR	Quebra	- Deterioração interna.[A] - Impacto externo.[B]	- Perda da indicação.[A-B]	N
	Desajuste	- Deterioração interna.[A] - Ajuste indevido.[B]	- Leitura incorreta.[A-B]	N

## Análise de Modos e Efeitos de Falhas – FMEA - MCC

FOLHA

8/26

UNIDADE: **SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE**

SUBUNIDADE: **TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO  
N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS**

FUNÇÃO: **6**

FALHA FUNCIONAL: **6.1 e 6.2**

EQUIPAMENTO	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITOS DA FALHA	D.D.
MANÔMETRO DO ACUMULADOR AR/ÓLEO	Quebra	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deterioração interna.[A]</li> <li>- Impacto externo.[B]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perda da indicação.[A-B]</li> <li>- Distúrbio no funcionamento normal do sistema. [A-B]</li> </ul>	S
	Desajuste	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deterioração interna.[A]</li> <li>- Ajuste indevido.[B]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Indicação incorreta.[A-B]</li> <li>- Distúrbio no funcionamento normal do sistema. [A-B]</li> <li>- Ajuste incorreto de outros instrumentos.[A-B]</li> </ul>	S

## Análise de Modos e Efeitos de Falhas – FMEA - MCC

FOLHA

9/26

UNIDADE: **SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE**

SUBUNIDADE: **TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS**

FUNÇÃO: **7**

FALHA FUNCIONAL: **7.1**

EQUIPAMENTO	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITOS DA FALHA	D.D.
INDICADOR DE NÍVEL SUPERIOR	Quebra	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rompimento da bóia e ou haste.[A]</li> <li>- Engripamento do mecanismo.[B]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não permitir partida e parada da motobomba principal na seqüência de partida e parada da Unidade Geradora.[A-B]</li> <li>- Não comandar reposição automática de ar nos acumuladores.[A-B]</li> <li>- Não sinalizar nível alto de óleo no acumulador ar/óleo. [A-B]</li> <li>- Distúrbio no funcionamento normal do sistema. [A-B]</li> <li>- Inibição de indicação de outras falhas no sistema (seqüência de alarmes).[B]</li> <li>- Impedimento do funcionamento normal do sistema.</li> </ul>	S

## Análise de Modos e Efeitos de Falhas – FMEA - MCC

FOLHA

10/26

UNIDADE: **SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE**

SUBUNIDADE: **TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS**

FUNÇÃO: **7**

FALHA FUNCIONAL: **7.2**

EQUIPAMENTO	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITOS DA FALHA	D.D.
INDICADOR DE NÍVEL SUPERIOR	Mau Funcionamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Haste do indicador de nível empenada.[A]</li> <li>- Infiltração de óleo no interior da bóia.[B]</li> <li>- Ajuste dos contatos de nível incorretos.[C]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distúrbio no funcionamento normal do sistema. [A-B-C]</li> <li>- Inibição de indicação de outras falhas no sistema (sequência de alarmes).[A-C]</li> <li>- Não comandar reposição automática de ar nos acumuladores.[B-C]</li> <li>- Não permitir partida e parada da motobomba principal na sequência de partida e parada da Unidade Geradora.[B-C]</li> <li>- Não indicar nível alto de óleo no acumulador ar/óleo.[B-C]</li> <li>- Comandar indevidamente partida e parada da motobomba principal na sequência de partida e parada da Unidade Geradora.[A-C]</li> <li>- Indicar indevidamente nível alto de óleo no acumulador ar/óleo.[A-C]</li> </ul>	S

## Análise de Modos e Efeitos de Falhas – FMEA - MCC

FOLHA

11/26

UNIDADE: **SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE**

SUBUNIDADE: **TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS**

FUNÇÃO: **7**

FALHA FUNCIONAL: **7.3, 7.4 e 7.5**

EQUIPAMENTO	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITOS DA FALHA	D.D.
INDICADOR DE NÍVEL SUPERIOR	Impedimento da sequência de partida da Unidade Geradora	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ajuste incorreto de contato de nível.[A]</li> <li>- Rompimento da bóia e ou haste.[B]</li> <li>- Engripamento do mecanismo.[C]</li> <li>- Infiltração de óleo no interior da bóia.[D]</li> </ul>	- Não parte a motobomba principal, não permitindo a partida da Unidade Geradora.	S
	Impedimento da sequência de parada da Unidade Geradora	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ajuste incorreto de contato de nível.</li> <li>- Rompimento de bóia e ou haste.</li> <li>- Engripamento do mecanismo.</li> <li>- Infiltração de óleo no interior da bóia.</li> </ul>	- - Não para a motobomba principal, impedindo a sequência normal de parada da Unidade Geradora.	S
	Nível alto de Óleo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ajuste incorreto de contato de nível.[A]</li> <li>- Rompimento da bóia e ou haste.[B]</li> <li>- Engripamento do mecanismo.[C]</li> <li>- Infiltração de óleo no interior da bóia.[D]</li> <li>- Falha no pressostato "LE" (25) indicando pressão alta nos acumuladores.[E]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distúrbio no funcionamento normal do sistema. [A-B-C-D-E]</li> <li>- Aumento do nível de óleo no acumulador ar/óleo. [A-B-C-D-E]</li> <li>- - Impedimento da funcionabilidade do sistema com atuação de nível baixo de óleo no tanque sem pressão.[A-B-C-D-E]</li> </ul>	S

## Análise de Modos e Efeitos de Falhas – FMEA - MCC

FOLHA

12/26

UNIDADE: **SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE**

SUBUNIDADE: **TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS**

FUNÇÃO: **7**

FALHA FUNCIONAL: **7.6 e 7.7**

EQUIPAMENTO	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITOS DA FALHA	D.D.
INDICADOR DE NÍVEL SUPERIOR	Rebaixamento indevido do nível de óleo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ajuste incorreto de contato de nível.[A]</li> <li>- Mau funcionamento da válvula detetora de pressão.[B]</li> <li>- Desgaste das válvulas de intermitência.[C]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distúrbio no funcionamento normal do sistema. [A-B-C]</li> <li>- Rebaixamento indevido do nível de óleo no acumulador ar/óleo.[A-B-C]</li> <li>- Aumento do nível de óleo no tanque sem pressão. [A-B-C]</li> <li>- Inibição de indicação de outras falhas no sistema (seqüência de alarmes).[A-B-C]</li> </ul>	S
	Falta de Sinalização	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ajuste incorreto de contato de nível.[A]</li> <li>- Infiltração de óleo no interior da bóia.[B]</li> <li>- Rompimento da bóia e ou haste.[C]</li> <li>- Engripamento do mecanismo.[D]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distúrbio no funcionamento normal do sistema.</li> </ul>	N

## Análise de Modos e Efeitos de Falhas – FMEA - MCC

FOLHA

13/26

UNIDADE: **SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE**

SUBUNIDADE: **TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS**

FUNÇÃO: **8**

FALHA FUNCIONAL: **8.1 e 8.2**

EQUIPAMENTO	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITOS DA FALHA	D.D.
INDICADOR DE NÍVEL INFERIOR	- Quebra -	- Rompimento da bóia e ou haste.[A] - Engripamento do mecanismo.[B] - Infiltração de óleo na bóia.[C]	- Atuação de TRIP na Unidade Geradora..[A-C] - Impedir a parada da Unidade Geradora por nível baixo de óleo no acumulador ar/óleo.[A-B] - Isolar indevidamente os acumuladores do sistema de regulação.[A-C] - Impedir o isolamento dos acumuladores com o sistema de regulação permitindo entrada de ar no circuito de regulação.[B]	S
	- Mau funcionamento	- Haste do indicador de nível emperrada. [A] - Infiltração de óleo no interior da bóia. [B] - Ajuste de contato de nível incorreto. [C] - Rompimento da bóia ou haste. [D]	- Distúrbio no funcionamento normal do sistema. [A-B-C-D] - Comando indevido de parada da Unidade Geradora. [A-B-C-D] - Comando indevido de fechamento da válvula de isolamento do acumulador ar/óleo com sistema de regulação. [A-B-C-D] - - Indicação indevida. [A-B-C-D]	S

## Análise de Modos e Efeitos de Falhas – FMEA - MCC

FOLHA

14/26

UNIDADE: **SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE**

SUBUNIDADE: **TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS**

FUNÇÃO: **8**

FALHA FUNCIONAL: **8.3, 8.4 e 8.5**

EQUIPAMENTO	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITOS DA FALHA	D.D.
INDICADOR DE NÍVEL INFERIOR	Operação Indevida	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Engripamento de mecanismo da haste. [A]</li> <li>- Desajuste do contato. [B]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unidade Geradora não pára por nível muito baixo de óleo no acumulador ar/óleo. [A-B]</li> <li>- Falta de sinalização de nível muito baixo de óleo no acumulador ar/óleo. [A-B]</li> </ul>	S
	Mau Funcionamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Haste do indicador de nível emperrada. [A]</li> <li>- Infiltração de óleo no interior da bóia. [B]</li> <li>- Ajuste de contato de nível incorreto. [C]</li> <li>- Rompimento da bóia ou haste. [D]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Parada indevida da Unidade Geradora. [A-B-C-D]</li> <li>- Indicação indevida. [A-B-C-D]</li> </ul>	S
	Mau Funcionamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Engripamento de mecanismo da haste. [A]</li> <li>- Desajuste do contato. [B]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unidade Geradora não pára por nível baixo de acumulador ar/óleo. [A-B]</li> <li>- Não sinalização de nível baixo no acumulador ar/óleo. [A-B]</li> </ul>	S

## Análise de Modos e Efeitos de Falhas – FMEA - MCC

FOLHA

15/26

UNIDADE: **SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE**

SUBUNIDADE: **TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS**

FUNÇÃO: **8**

FALHA FUNCIONAL: **8.6, 8.7 e 8.8**

EQUIPAMENTO	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITOS DA FALHA	D.D.
INDICADOR DE NÍVEL INFERIOR	Mau Funcionamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Haste do indicador de nível emperrada. [A]</li> <li>- Infiltração de óleo no interior da bóia. [B]</li> <li>- Ajuste de contator de nível incorreto. [C]</li> <li>- Rompimento da bóia ou haste. [D]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Parada indevida da Unidade Geradora. [A-B-C-D]</li> <li>- Indicação indevida. [A-B-C-D]</li> </ul>	S
	Operação Indevida	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Engripamento da haste. [A]</li> <li>- Ajuste incorreto do contato de nível. [B]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unidade Geradora não pára. [A-B]</li> <li>- Não fechamento da isolação do acumulador ar/óleo com o sistema de regulação. [A-B]</li> <li>- Entrada de ar no circuito de óleo [A-B]</li> </ul>	S
	Mau Funcionamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Infiltração de óleo no interior da bóia. [A]</li> <li>- Rompimento da bóia ou haste. [B]</li> <li>- Ajuste incorreto de contator de nível. [C]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Parada indevida da Unidade Geradora. [A-B-C]</li> <li>- Fechamento indevido da válvula de isolação do acumulador ar/óleo. [A-B-C]</li> </ul>	S

## Análise de Modos e Efeitos de Falhas – FMEA - MCC

FOLHA

16/26

UNIDADE: **SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE**

SUBUNIDADE: **TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS**

FUNÇÃO: **9**

FALHA FUNCIONAL: **9.1 e 9.2**

EQUIPAMENTO	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITOS DA FALHA	D.D.
PRESSOSTATO DE PRESSÃO ALTA	Falta de Sinalização	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ajuste incorreto de instrumento. [A]</li> <li>- Obstrução do fluxo de ar por quebra do mecanismo interno da válvula. [B]</li> <li>- Quebra do instrumento. [C]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Impossibilidade de executar a manutenção nos acessórios de supervisão e controle. [B-C-D]</li> <li>- Distúrbio na reposição automática de ar do sistema. [A-B-C]</li> </ul>	S
	Mau Funcionamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ajuste incorreto do instrumento. [A]</li> <li>- Operação indevida. [B]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta de sinalização de pressão alta nos acumuladores. [A-B]</li> <li>- Distúrbio na reposição automática de ar no sistema. [A-B]</li> </ul>	S

## Análise de Modos e Efeitos de Falhas – FMEA - MCC

FOLHA

17/26

UNIDADE: **SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE**

SUBUNIDADE: **TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS**

FUNÇÃO: **10**

FALHA FUNCIONAL: **10.1 e 10.2**

EQUIPAMENTO	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITOS DA FALHA	D.D.
PRESSOSTATO DB	Falta Comando	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ajuste incorreto do contato. [A]</li> <li>- Operação indevida. [B]</li> <li>- Obstrução do fluxo por quebra do mecanismo interno. [C]</li> <li>- Quebra do instrumento. [D]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta de reposição de óleo ao sistema pela motobomba reserva 1. [A-B-C-D]</li> <li>- Distúrbio no funcionamento normal do sistema. [A-B-C-D]</li> </ul>	S
	Mau Funcionamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ajuste incorreto do contato. [A]</li> <li>- Operação indevida. [B]</li> <li>- Quebra do instrumento. [C]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distúrbio no funcionamento do sistema. [A-B-C]</li> <li>- Partida indevida da motobomba 1. [A-B-C]</li> </ul>	S

## Análise de Modos e Efeitos de Falhas – FMEA - MCC

FOLHA

18/26

UNIDADE: **SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE**

SUBUNIDADE: **TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS**

FUNÇÃO: **11**

FALHA FUNCIONAL: **11.1 e 11.2**

EQUIPAMENTO	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITOS DA FALHA	D.D.
PRESSOSTATO DC	Falta Comando	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ajuste incorreto do contato. [A]</li> <li>- Operação indevida. [B]</li> <li>- Obstrução do fluxo por quebra do mecanismo interno. [C]</li> <li>- Quebra do instrumento. [D]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta de reposição de óleo ao sistema pela motobomba reserva 2. [A-B-C-D]</li> <li>- Distúrbio no funcionamento normal do sistema. [A-B-C-D]</li> </ul>	S
	Mau Funcionamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ajuste incorreto do contato. [A]</li> <li>- Operação indevida. [B]</li> <li>- Quebra do instrumento. [C]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distúrbio no funcionamento do sistema. [A-B-C]</li> <li>- Partida indevida da motobomba 2. [A-B-C-D]</li> </ul>	S

## Análise de Modos e Efeitos de Falhas – FMEA - MCC

FOLHA

19/26

UNIDADE: **SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE**

SUBUNIDADE: **TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS**

FUNÇÃO: **12**

FALHA FUNCIONAL: **12.1 e 12.2**

EQUIPAMENTO	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITOS DA FALHA	D.D.
PRESSOSTATO LF1	Falta Sinalização e Comando	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ajuste incorreto do contato. [A]</li> <li>- Operação indevida. [B]</li> <li>- Obstrução do fluxo por quebra do mecanismo interno. [C]</li> <li>- Quebra do instrumento. [D]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unidade Geradora não pára por pressão baixa de óleo no acumulador ar/óleo. [A-B-C-D]</li> <li>- Falta de sinalização de pressão baixa de óleo no acumulador ar/óleo. [A-B-C-D]</li> </ul>	S
	Mau Funcionamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ajuste incorreto do contato. [A]</li> <li>- Operação indevida. [B]</li> <li>- Quebra do instrumento. [C]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Parada indevida da Unidade Geradora por pressão muito baixa de óleo. [A-B-C]</li> <li>- Indicação indevida de pressão muito baixa de óleo. [A-B-C]</li> </ul>	S

## Análise de Modos e Efeitos de Falhas – FMEA - MCC

FOLHA

20/26

UNIDADE: **SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE**

SUBUNIDADE: **TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS**

FUNÇÃO: **13 e 14**

FALHA FUNCIONAL: **13.1 e 13.2 / 14.1 e 14.2**

EQUIPAMENTO	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITOS DA FALHA	D.D.
PRESSOSTATO LF2	Falta Sinalização e Comando	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ajuste incorreto do contato. [A]</li> <li>- Operação indevida. [B]</li> <li>- Obstrução do fluxo por quebra do mecanismo interno. [C]</li> <li>- Quebra do instrumento. [D]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unidade Geradora não pára por pressão muito baixa de óleo no acumulador ar/óleo. [A-B-C-D]</li> <li>- Falta de sinalização de pressão muito baixa de óleo no acumulador ar/óleo. [A-B-C-D]</li> </ul>	S
	Mau Funcionamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ajuste incorreto do contato. [A]</li> <li>- Operação indevida. [B]</li> <li>- Quebra do instrumento. [C]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comando de parada indevida da Unidade Geradora por pressão muito baixa de óleo no acumulador ar/óleo. [A-B-C]</li> <li>- Sinalização indevida por pressão muito baixa de óleo no acumulador ar/óleo. [A-B-C]</li> </ul>	S
PRESSOSTATO DE PARADA DAS MOTOBOMBAS (DD)	Falta de Comando	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ajuste incorreto do contato. [A]</li> <li>- Operação indevida. [B]</li> <li>- Obstrução do fluxo por quebra do mecanismo interno. [C]</li> <li>- Quebra do instrumento. [D]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Operação desnecessária das motobombas reserva. [A-B]</li> </ul>	S
	Mau Funcionamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ajuste incorreto. [A]</li> <li>- Operação indevida. [B]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distúrbio no processo de reposição caso ocorra uma necessidade maior de suprimento de óleo ao sistema. [A-B]</li> </ul>	S

## Análise de Modos e Efeitos de Falhas – FMEA - MCC

FOLHA

21/26

UNIDADE: **SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE**

SUBUNIDADE: **TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS**

FUNÇÃO: **15 e 16**

FALHA FUNCIONAL: **15.1 e 15.2 / 16.1 e 16.2**

EQUIPAMENTO	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITOS DA FALHA	D.D.
TRANSDUTOR DE PRESSÃO EE	Falta de Indicação	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Operação indevida. [A]</li> <li>- Quebra do instrumento. [B]</li> <li>- Obstrução de fluxo por quebra do mecanismo interno da válvula. [C]</li> </ul>	- Falta de indicação no ULP da pressão do sistema. [A-B-C]	N
	Mau Funcionamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ajuste incorreto. [A]</li> <li>- Operação indevida. [B]</li> </ul>	- Indicação incorreta no ULP da pressão do sistema. [A-B-C]	N
VÁLVULA DE ISOLAÇÃO DE REPOSIÇÃO AO SISTEMA	Vazamento Interno	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deterioração de sede e ou contra sede.[A]</li> <li>- Engripamento da haste.[B]</li> <li>- Falta de aperto no fechamento da válvula.[C]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distúrbio no funcionamento normal do sistema se ocorrer falha da válvula 45. [A-B-C]</li> <li>- Impossibilidade de executar manutenção. [A-B-C]</li> </ul>	S
	Mau Funcionamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Quebra do mecanismo interno da válvula. [A]</li> <li>- Operação indevida. [B]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Risco de Acidente Pessoal. [A-B]</li> <li>- Distúrbio no funcionamento normal do sistema se ocorrer falha nas válvulas 44 e 97. [A-B]</li> </ul>	S

## Análise de Modos e Efeitos de Falhas – FMEA - MCC

FOLHA

22/26

UNIDADE: **SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE**

SUBUNIDADE: **TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS**

FUNÇÃO: **17, 18 e 19**

FALHA FUNCIONAL: **17.1 e 17.2 / 18 / 19.1 e 19.2**

EQUIPAMENTO	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITOS DA FALHA	D.D.
FILTRO DO AR DE REPOSIÇÃO	- Deterioração	- Rompimento da malha do filtro. [A] - Ruptura dos o'rings. [B]	- Risco de contaminação da carga de óleo. [A-B]	S
	- Entupimento	- Excesso de impurezas. [A]	- Obstrução do fluxo de ar comprometendo a reposição automática de ar. [A]	S
VÁLVULA DE RETENÇÃO DA REPOSIÇÃO DE AR	- Danificação	- Quebra do mecanismo interno. [A] - Presença de impurezas na sede e contra-sede. [B]	- Dificuldade na execução da manutenção. [A-B]	N
ELETRO-VÁLVULA BE	- Mau Funcionamento	- Emperramento do mecanismo interno da válvula. [A]	- Distúrbio no funcionamento normal do sistema com aumento do nível de óleo no acumulador ar/óleo. [A]	S
	Vazamento interno	- Emperramento do mecanismo interno da válvula. [A] - Desgaste interno da sede da válvula. [B]	- Rebaixamento indevido do nível de óleo no acumulador ar/óleo. [A-B]	S

## Análise de Modos e Efeitos de Falhas – FMEA - MCC

FOLHA

23/26

UNIDADE: **SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE**

SUBUNIDADE: **TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS**

FUNÇÃO: **20, 21 e 22**

FALHA FUNCIONAL: **20, 21 e 22**

EQUIPAMENTO	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITOS DA FALHA	D.D.
VÁLVULAS DE INTERLIGAÇÃO DOS ACUMULADORES	Vazamento interno	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deterioração de sede e ou contra sede.[A]</li> <li>- Engripamento da haste.[B]</li> <li>- Falta de aperto no fechamento da válvula.[C]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Impossibilidade de executar a manutenção. [A-B-C]</li> </ul>	S
TUBULAÇÃO DE INTERLIGAÇÃO DOS ACUMULADORES	Obstrução	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deformação permanente. [A]</li> <li>- Danificação do mecanismo interno das válvulas. [B]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distúrbio no funcionamento normal do sistema. [A-B]</li> </ul>	N
REGULAÇÃO DE VELOCIDADE DA UNIDADE	Vazamento Externo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Danificação das vedações. [A]</li> <li>- Ruptura de tubulações e acessórios. [B]</li> <li>- Aperto indevido em conexões e flanges. [C]</li> <li>- Operação indevida. [D]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distúrbio no funcionamento normal do sistema. [A-C-D]</li> <li>- Risco de Acidente Pessoal. [B]</li> <li>- Risco de Parada indevida da Unidade Geradora. [B-D]</li> </ul>	S

## Análise de Modos e Efeitos de Falhas – FMEA - MCC

FOLHA

24/26

UNIDADE: **SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE**

SUBUNIDADE: **TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS**

FUNÇÃO: **23, 24 e 25**

FALHA FUNCIONAL: **23.1 e 23.2 / 24 e 25**

EQUIPAMENTO	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITOS DA FALHA	D.D.
REGULAÇÃO DE VELOCIDADE DA UNIDADE	Identificação Visual Inadequada	- Erro na identificação.	- Risco de Acidente Pessoal. [A]	S
	Deterioração	- Corrosão externa. [A] - Sujeira. [B] - Danificação externa. [C]	- Vazamento externo. [A-C] - Contaminação. [B] - Dificuldade na operação do sistema. [A-B-C]	N
REGULAÇÃO DE VELOCIDADE DA UNIDADE	Falta Identificação	- Falha Humana. [A]	- Dificuldade na operação do sistema. [A] - Risco de Acidente Pessoal. [A] - Risco de Parada Indevida da Unidade Geradora. [A]	S
TUBULAÇÃO DE ÓLEO DOS PRESSOSTATOS	Obstrução/Ruptura	- Deformação permanente na tubulação e acessórios. [A] - Contaminação do fluido. [B] - Ruptura da tubulação e acessórios. [C]	- Parada indevida da Unidade Geradora. [A-B-C] - Distúrbio no funcionamento normal do sistema. [A-B-C] - Risco de Acidente Pessoal. [A-B-C] - Vazamento externo. [A-B-C]	N

## Análise de Modos e Efeitos de Falhas – FMEA - MCC

FOLHA

25/26

UNIDADE: **SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE**

SUBUNIDADE: **TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO  
N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS**

FUNÇÃO: **26**

FALHA FUNCIONAL: **26.1 e 26.2**

EQUIPAMENTO	MODO DE FALHA	CAUSA DA FALHA	EFEITOS DA FALHA	D.D.
TUBULAÇÃO DE AR DOS PRESSOSTATOS	Obstrução/Ruptura	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deformação permanente na tubulação e acessórios. [A]</li> <li>- Contaminação do fluido. [B]</li> <li>- Ruptura da tubulação e acessórios. [C]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Distúrbio no funcionamento normal do sistema. [A-B-C]</li> <li>- Risco de Acidente Pessoal. [A-B-C]</li> <li>- Vazamento externo de ar. [A-B-C]</li> <li>- Impossibilidade de reposição automática de ar. [A-B-C]</li> </ul>	N
	Obstrução	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deformação permanente na tubulação e acessórios. [A]</li> <li>- Contaminação do fluido. [B]</li> <li>- Ruptura da tubulação e acessórios. [C]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contaminação da carga de óleo. [A-B-C]</li> </ul>	N

## Análise de Modos e Efeitos de Falhas – FMEA - MCC

FOLHA

26/26

UNIDADE: **SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE**

SUBUNIDADE: **TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS**

FUNÇÃO: **27 e 28**

FALHA FUNCIONAL: **27 e 28**

<b>EQUIPAMENTO</b>	<b>MODO DE FALHA</b>	<b>CAUSA DA FALHA</b>	<b>EFEITOS DA FALHA</b>	<b>D.D.</b>
REGULAÇÃO DE VELOCIDADE DA UNIDADE	Fixação Inadequada	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vibração. [A]</li> <li>- Falta de aperto nas fixações. [B]</li> <li>- Rompimento das fixações. [C]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rompimento das tubulações e acessórios. [A-B-C]</li> </ul>	S
REGULAÇÃO DE VELOCIDADE DA UNIDADE	Dificuldades na execução da Manutenção e Operação	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Acesso inadequado a componentes do sistema. [A]</li> <li>- Identificação visual incorreta. [B]</li> <li>- Ausência de instruções técnicas. [C]</li> <li>- Ferramentas e dispositivos inadequados. [D]</li> <li>- Pessoal não treinado. [E]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Risco Operacional. [A-B-C-D-E]</li> <li>- Risco de Acidente Pessoal. [A-B-C-D-E]</li> </ul>	S

## **ANEXO 5**

**Planilha de Seleção de Tarefas Preenchida.**

## Planilha de Seleção de Tarefas – MCC

FOLHA

1/9

UNIDADE: SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE

SUBUNIDADE: TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO  
N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS

COMPONENTE:

**ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO**

FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	E	S	O	C	1	2	3	4	5	6	7	TAREFA	
													ATIVIDADE	FREQ.
1.1	Sobrepessão	S	S	-	A	S	S	S	N	-	S	-	1 - Ensaio funcionais do Sistema.	4A
													2 - Inspeção visual.	Semanal
1.2	Baixa Pressão	S	S	-	A	S	S	S	N	-	S	-	1 - Ensaio funcionais das Motobombas.	1A
													2 - Ensaio funcionais da reposição de ar	1A
													3 - Inspeção visual.	Semanal
1.3	Contaminação	S	N	S	B	S	S	S	N	-	S	-	1 - Inspeção interna no sistema.	4A
													2 - Análise fisico-química da carga de óleo	1A
													3 - Filtragem da carga do óleo.	6M
													4 - Inspeção interna das motobombas com troca de o' rings e ensaio LP no suporte.	4A
													5 - Medição de vibração nas motobombas.	6M
													6 - Inspeção visual.	Semanal
2.1	Vazamento Interno	N	S	-	D/A	N	-	N	S	N	N	N	Obs.: Registrar na Instrução de Manutenção recomendações no manuseio dos acessórios associados à estas válvulas.	-
4.1	Sobrepessão	N	S	-	D/A	N	-	N	S	S	S	-	1 - Teste operacional das válvulas.	2A
4.2	Vazamento externo de ar	S	N	S	B	S	S	S	N	-	S	-	1 - Verificação da pressão de atuação das válvulas.	4A
													2 - Inspeção visual.	Semanal

## Planilha de Seleção de Tarefas - MCC

FOLHA

2/9

UNIDADE: SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE

SUBUNIDADE: TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO  
N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS

COMPONENTE: MANÔMETRO DO ACUMULADOR AR/ÓLEO

FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	E	S	O	C	1	2	3	4	5	6	7	TAREFA	
													ATIVIDADE	FREQ.
6.1	Quebra	S	N	S	B	S	S	S	S	-	S	-	1 - Calibração do manômetro.	1A
													2 - Inspeção visual.	Semanal
6.2	Desajuste	S	N	S	B	S	S	S	N	-	S	-	1 - Calibração do manômetro. <b>Obs.:</b> Se necessário, efetuar reajuste, deverão ser aferidos os demais instrumentos.	1A
													2 - Inspeção visual.	Semanal
7.1	Quebra	S	N	S	B	S	S	S	N	-	S	-	1 - Troca de vedações, buchas e eixo do mecanismo.	1A
													2 - Teste de estanqueidade.	1A
													3 - Inspeção visual.	Semanal
7.2	Mau Funcionamento	S	N	S	B	S	S	S	N	-	S	-	1 - Verificação do funcionamento do indicador.	1A
													2 - Inspeção interna do acumulador.	1A
													3 - Inspeção visual.	Semanal
7.3	Impedimento da seqüência de partida da Unidade Geradora	S	N	S	B	S	S	N	N	-	S	-	1 - Verificação do funcionamento do indicador.	1A
													2 - Inspeção interna do acumulador.	1A
													3 - Calibração do indicador.	1A

## Planilha de Seleção de Tarefas - MCC

FOLHA

3/9

UNIDADE: **SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE**

SUBUNIDADE: **TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO  
N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS**

COMPONENTE:

INDICADOR DE NÍVEL SUPERIOR

FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	E	S	O	C	1	2	3	4	5	6	7	TAREFA	
													ATIVIDADE	FREQ.
7.4	Impedimento da seqüência de parada da Unidade Geradora	S	N	S	B	S	S	N	N	-	S	-	1 - Verificação do funcionamento do indicador.	1A
													2 - Inspeção interna do acumulador.	1A
													3 - Calibração do indicador.	1A
7.5	Nível Alto de Óleo	S	N	S	B	S	S	S	N	-	S	-	1 - Verificação do funcionamento do indicador.	1A
													2 - Inspeção interna do acumulador.	1A
													3 - Calibração do indicador.	1A
													4 - Inspeção visual.	Semanal
7.6	Rebaixamento indevido do nível de óleo	S	N	S	B	S	S	S	N	-	S	-	1 - Calibração do indicador.	1A
													2 - Verificação do funcionamento da válvula detetora de pressão (9) através da entrada e saída da bomba.	Semanal
													3 - Inspeção visual.	Semanal
8.1	Quebra	S	N	S	B	S	S	S	N	-	S	-	1 - Troca de vedações, buchas e eixo do mecanismo.	1A
													2 - Teste de estanqueidade.	1A
													3 - Inspeção visual.	Semanal

## Planilha de Seleção de Tarefas - MCC

FOLHA

4/9

UNIDADE: **SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE**

SUBUNIDADE: **TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS**

COMPONENTE: **INDICADOR DE NÍVEL SUPERIOR**

FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	E	S	O	C	1	2	3	4	5	6	7	TAREFA	
													ATIVIDADE	FREQ.
8.2	Mau Funcionamento	S	N	S	B	S	S	S	N	-	S	-	1 - Verificação do funcionamento do indicador.	1A
													2 - Inspeção interna do acumulador.	1A
													3 - Inspeção visual.	Semanal
8.3	Operação Indevida	S	N	S	B	S	S	N	N	-	S	-	1 - Teste operacional.	1A
													2 - Calibração do indicador.	1A
8.4	Mau Funcionamento	S	N	S	B	S	S	N	N	-	S	-	1 - Teste operacional.	1A
													2 - Calibração do indicador.	1A
8.5	Mau Funcionamento	S	N	S	B	S	S	S	N	-	S	-	1 - Teste operacional.	1A
													2 - Calibração do indicador.	1A
8.6	Mau Funcionamento	S	N	S	B	S	S	S	N	-	S	-	1 - Teste operacional.	1A
													2 - Verificação interna do acumulador.	1A
													3 - Inspeção visual.	Semanal

## Planilha de Seleção de Tarefas - MCC

FOLHA

5/9

UNIDADE: **SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE**

SUBUNIDADE: **TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS**

COMPONENTE: **INDICADOR DE NÍVEL INFERIOR**

FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	E	S	O	C	1	2	3	4	5	6	7	TAREFA	
													ATIVIDADE	FREQ.
8.7	Operação Indevida	S	N	S	B	S	S	N	N	-	S	-	1 - Teste operacional.	1A
													2 - Calibração do indicador.	1A
8.8	Mau Funcionamento	S	N	S	B	S	S	N	N	-	S	-	1 - Teste operacional.	1A
													2 - Calibração do indicador.	1A
													3 - Inspeção visual.	Semanal
9.1	Falta Sinalização	S	N	S	B	S	S	S	N	-	S	-	1 - Verificação de ajuste do pressostato.	1A
													2 - Inspeção visual.	Semanal
9.2	Mau Funcionamento	S	N	S	B	S	S	S	N	-	S	-	1 - Verificação de ajuste do pressostato.	1A
													2 - Inspeção visual.	Semanal
10.1	Falta Comando	S	N	S	B	S	S	S	N	-	S	-	1 - Verificação de ajuste do pressostato.	1A
													2 - Inspeção visual.	Semanal

## Planilha de Seleção de Tarefas - MCC

FOLHA

6/9

UNIDADE: SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE												SUBUNIDADE: TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS		
COMPONENTE: PRESSOSTATO LF1														
FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	E	S	O	C	1	2	3	4	5	6	7	TAREFA	
													ATIVIDADE	FREQ.
10.2	Mau Funcionamento	S	N	S	B	S	S	S	N	-	S	-	1 - Verificação de ajuste do pressostato.	1A
													2 - Inspeção visual.	Semanal
11.1	Falta Comando	S	N	S	B	S	S	S	N	-	S	-	1 - Verificação de ajuste do pressostato.	1A
													2 - Inspeção visual.	Semanal
11.2	Mau Funcionamento	S	N	S	B	S	S	S	N	-	S	-	1 - Verificação de ajuste do pressostato.	1A
													2 - Inspeção visual.	Semanal
12.1	Falta Sinalização e Comando	S	N	S	B	S	S	S	N	-	S	-	1 - Verificação de ajuste do pressostato.	1A
													2 - Teste operacional.	1A
													3 - Inspeção visual.	Semanal
12.2	Mau Funcionamento	S	N	S	B	S	S	S	N	-	S	-	1 - Verificação de ajuste do pressostato.	1A
													2 - Teste operacional.	1A
													3 - Inspeção visual.	Semanal

## Planilha de Seleção de Tarefas - MCC

FOLHA

7/9

UNIDADE: SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE												SUBUNIDADE: TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS		
COMPONENTE: PRESSOSTATO LF1														
FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	E	S	O	C	1	2	3	4	5	6	7	TAREFA	
													ATIVIDADE	FREQ.
13.1	Falta Sinalização e Comando	S	N	S	B	S	S	S	N	-	S	-	1 - Verificação de ajuste do pressostato.	1A
													2 - Teste operacional.	1A
													3 - Inspeção visual.	Semanal
13.2	Mau Funcionamento	S	N	S	B	S	S	S	N	-	S	-	1 - Verificação de ajuste do pressostato.	1A
													2 - Teste operacional.	1A
													3 - Inspeção visual.	Semanal
14.1	Falta Comando	S	N	S	B	S	S	S	N	-	S	-	1 - Verificação de ajuste do pressostato.	1A
													2 - Inspeção visual.	Semanal
14.2	Mau Funcionamento	S	N	S	B	S	S	S	N	-	S	-	1 - Verificação de ajuste do pressostato.	1A
													2 - Inspeção visual.	Semanal
16.1	Vazamento Interno	S	N	S	B	N	-	N	S	S	N	N	1 - Manutenção corretiva.	
16.2	Mau Funcionamento	N	S	-	D/A	N	-	N	S	S	N	N	<b>Obs.:</b> Ao operar as válvulas observar a completa estanqueidade do sistema.	

## Planilha de Seleção de Tarefas - MCC

FOLHA

8/9

UNIDADE: **SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE**

SUBUNIDADE: **TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO  
N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS**

COMPONENTE: **VÁLVULAS DE INTERLIGAÇÃO DOS ACUMULADORES**

FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	E	S	O	C	1	2	3	4	5	6	7	TAREFA	
													ATIVIDADE	FREQ.
17.1	Deterioração	N	N	S	D/ B	N	-	N	S	N	N	N	1 - Manutenção corretiva (troca do filtro e o'rings).	
17.2	Entupimento	S	N	S	B	S	S	S	N	-	S	-	1 - Limpeza do filtro.	4A
													2 - Inspeção visual.	Semanal
19.1	Mau Funcionamento	S	N	S	B	N	-	N	N	-	N	-	1 - Manutenção corretiva.	
19.2	Vazamento Interno	S	N	S	B	S	S	S	N	-	S	-	1 - Troca da sede da válvula.	4A
													2 - Inspeção visual.	Semanal
20	Vazamento Interno	S	N	S	B	S	S	N	S	N	S	-	1- Revisão geral da válvula.	4A
22	Vazamento Externo	S	S	-	A	S	S	S	N	-	S	-	1 - Reaperto geral dos componentes.	4A
													2 - Inspeção visual.	Semanal
													<b>Obs.:</b> Treinamento interno. [D]	

## Planilha de Seleção de Tarefas - MCC

FOLHA

9/9

UNIDADE: SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE

SUBUNIDADE: TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO  
N1/N2/N3 E ACESSÓRIOS

COMPONENTE: VÁLVULAS DE INTERLIGAÇÃO DOS ACUMULADORES

FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	E	S	O	C	1	2	3	4	5	6	7	TAREFA	
													ATIVIDADE	FREQ.
23	Identificação Visual Inadequada	N	S	-	D/A	N	-	N	S	N	N	N	Obs.: Após manutenção corretiva verificar a correta identificação dos componentes.	
24	Falta Identificação	S	S	-	A	N	-	N	N	-	N	S	Obs.: Após manutenção corretiva verificar a correta identificação dos componentes.	
27	Fixação Inadequada	S	N	S	B	S	S	S	N	-	S	-	1 - Reaperto geral.	4A
													2 - Inspeção visual.	Semanal
28	Dificuldades na Execução da Manutenção e Operação	S	S	-	A	S	S	N	N	-	S	-	Obs.: - Revisão periódica das atividades de manutenção. - Treinamento interno. - Análise dos procedimentos e facilidades de manutenção.	