



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**SISTEMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE ATUALIZAÇÃO
TECNOLÓGICA EM EMPRESAS DE
GERAÇÃO HIDRELÉTRICA**

Doutorando:
Enon Laércio Nunes

Orientador:
Professor Dr. Eng. Acires Dias

FLORIANÓPOLIS

2007

ENON LAÉRCIO NUNES

**SISTEMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE ATUALIZAÇÃO
TECNOLÓGICA EM EMPRESAS DE
GERAÇÃO HIDRELÉTRICA**

Tese apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Mecânica da
Universidade Federal de Santa Catarina
como requisito final para obtenção do
de Doutor em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Acires Dias, Dr. Eng.

Florianópolis, dezembro de 2007.

TERMO DE APROVAÇÃO

ENON LAÉRCIO NUNES

SISTEMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA EM EMPRESAS DE GERAÇÃO HIDRELÉTRICA

Esta tese foi julgada e aprovada para a obtenção do título de **Doutor em Engenharia Mecânica no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica** da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 17 de dezembro de 2007.

Prof. Fernando Cabral, Ph.D.
Coordenador do Curso

Prof. Acires Dias, Dr.
Orientador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Carlos Cziulik, Ph.D.

Prof. Nelson Back, Ph.D.

Prof. Osmar Possamai, Dr.

Prof. Acires Dias, Dr.

Prof. Bernardo Luis Rodrigues de Andrade, Dr

Ficha Catalográfica elaborada por:

NUNES, Enon Laércio

Sistematização do processo de atualização tecnológica em empresas de geração hidrelétrica / Enon Laércio Nunes – Florianópolis: UFSC/POSMEC, 2007.
246f.

Orientador: Prof. Dr. Eng. Acires Dias.

Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC Florianópolis, 2007.

1. Engenharia da Manutenção. 2. Gestão de Ativos Físicos. 3. Confiabilidade. 4. Atualização Tecnológica. 5. Geração Hidrelétrica. I. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. II. Título.

CDD:

Biografia do Autor

Enon Laércio Nunes, natural de Piquê, região do Vale do Paraíba, no estado de São Paulo, é Engenheiro Mecânico formado, em 1977, pela Escola Federal de Engenharia de Itajubá/EFEI, hoje Universidade Federal de Itajubá/UNIFEI. Na formatura recebeu uma Menção Especial, com o Prêmio Metal Leve de Engenharia Mecânica, por ter sido o primeiro aluno da sua turma. Especialista em Engenharia Mecânica pela EFEI, em 1986 (área de concentração: projeto de turbomáquinas; linha de pesquisa: escoamento em caixa espiral de turbinas hidráulicas). Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC, titulado em 2001 (área de concentração: engenharia de produtos e processos; linha de pesquisa: novas tecnologias de gestão da manutenção). Obteve o Master's Certificate in Project Management pela *George Washington University/School of Business and Public Management*, em 2005.

Tem 30 anos de experiência profissional no setor elétrico, tendo atuado em empresas como a Eletrosul onde, entre 1978 e 1989, assumiu funções como a de Engenheiro e Gerente de Manutenção das usinas hidrelétricas de Salto Osório e de Salto Santiago, ambas no Paraná. Em Itaipu Binacional, desde 1989, foi Gerente da Divisão de Sistematização da Manutenção, Superintendente de Manutenção da Usina e Coordenador do Comitê Gestor de Implantação das Unidades Geradoras Adicionais.

É representante da Itaipu Binacional no CREA-PR para registro de atestado de responsabilidade técnica/ART dos engenheiros da empresa. É relator, desde 2001, do Grupo de Estudos Técnicos e Gerenciais de Manutenção em Instalações Elétricas (Grupo XII) do SNPTEE/Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Na Associação Brasileira de Manutenção/ABRAMAN é Diretor de Administração, eleito para o biênio 2007-2009, e foi Diretor Nacional nos biênios 2003-2005 e 2005-2007.

No magistério superior foi professor concursado da Universidade do Oeste do Paraná/UNIOESTE, em Foz do Iguaçu, onde lecionou a disciplina Fenômenos de Transporte por quatro anos, além de ter coordenado o processo de implantação do Curso de Graduação em Engenharia Mecânica. Em Curitiba, leciona as disciplinas Fenômenos de Transporte I e II, para os cursos de graduação em Engenharia da Produção do Centro Universitário Franciscano do Paraná/UniFAE. Além disso, é professor e palestrante em cursos de pós-graduação em diversas instituições de ensino superior e palestrante convidado em vários eventos técnicos especializados. Tem vários trabalhos publicados em periódicos e eventos nacionais e internacionais.

*Se lhe perguntarem se existe uma melhor época
na vida para aprender, diga sim.
E complemente: a vida inteira.*

Este trabalho é dedicado a meus pais, Anélio e Benedita. O exemplo de carinho, amor e companheirismo marcaram, de forma definitiva, todos que tiveram a oportunidade de conhecer e conviver com este maravilhoso casal de eternos namorados.

O destino nos surpreendeu com a partida de meu pai, poucos dias depois da defesa desta tese. Uma vida pautada na fraternidade, no espiritualismo, no trabalho, na perseverança e na intransigente honestidade.

Tive a sorte de estar a seu lado, como seu filho, durante estes anos. Sua intuição precisa, seu senso de humor inteligente e sua coragem para enfrentar os desafios da vida, constituem-se em legado e constante aprendizado. Agradeço a Deus por isto.

A presença de meu pai em minha vida não me faz viver de lembranças, faz com que sua lembrança viva permanentemente em mim.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento de um trabalho de pesquisa científica tem um autor, mas certamente é resultado da participação de um grupo de pessoas e instituições. A explicitação de algum desses atores, em especial, é o reconhecimento que sem este suporte não teria sido possível realizar este trabalho.

À Itaipu Binacional pelo apoio institucional para a realização deste trabalho;

Ao Prof. Dr. Acires Dias, pela confiança, incentivo e orientação precisa e desafiadora;

Aos professores doutores membros da banca examinadora;

À colaboração dos colegas do setor elétrico pelo inestimável apoio nas entrevistas, no envio de informações técnicas e na avaliação final;

Aos colegas de Itaipu, pela ativa participação nas discussões técnicas;

Aos colegas Valdecyr e Fernando Lopes, pelo suporte na montagem deste trabalho, particularmente ao Affonso pela competente e pronto apoio na elaboração das ilustrações do texto;

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

À minha esposa Angelise pelo companheirismo, incentivo permanente, orientação, carinho e dedicação. Sua cumplicidade tornou possível a realização deste sonho;

Aos meus filhos e minha família, desculpando-se pela ausência em muitos momentos;

A Deus, por Sua proteção e Sua luz.

RESUMO

NUNES, Enon Laércio. **Sistematização do processo de atualização tecnológica em empresas de geração hidrelétrica.** 2007. 246f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis.

O objetivo geral desta pesquisa é desenvolver um modelo para sistematização do processo de atualização tecnológica em empresas de geração de energia hidrelétrica. Em termos específicos, pretende-se: compilar e analisar as abordagens teórico-conceituais, de modo integrado sobre a atualização tecnológica dos sistemas técnicos e sua correlação com a gestão da manutenção; caracterizar as empresas de geração de energia hidrelétrica no Brasil a partir das selecionadas como objeto de estudo; identificar e analisar as ações de atualização tecnológica adotadas por essas empresas; e, desenvolver uma proposta de modelo para a sistematização do processo de atualização tecnológica, que contemple, de forma conjunta, práticas de confiabilidade e de gestão do conhecimento, no contexto do processo de manutenção dos sistemas técnicos. Do ponto de vista da metodologia da pesquisa foram realizadas visitas técnicas e aplicadas entrevistas semi-estruturadas aos profissionais de empresas de geração hidrelétrica. Os dados foram tratados e analisados a partir do método de estudo de casos, com base em abordagens qualitativas de pesquisa. Os resultados permitem inferir que, embora existam iniciativas crescentes de atualização tecnológica nas empresas pesquisadas, na maioria dos casos, esses processos carecem ainda de uma maior sistematização, uma vez que: a área de manutenção não tem participado de todas as etapas da atualização; há dificuldades em tratar os equipamentos de diferentes patamares tecnológicos no processo de atualização; existem ainda situações de perda de memória técnica referentes às instalações nas empresas e fabricantes, o que tem comprometido, entre outros fatores, o atendimento aos prazos previstos para a implantação dos projetos de atualização tecnológica. Como resultado da sistematização do processo de atualização, propõe-se a adoção do MICC - Manutenção Integrada em Confiabilidade e Conhecimento, modelo que contempla tanto o processo de atualização tecnológica como o processo de extensão da vida útil dos sistemas técnicos. Este modelo proposto foi avaliado conforme critérios disponíveis na literatura, submetido e aprovado pelos avaliadores, profissionais experientes do setor de geração hidrelétrica. A avaliação final indica que o processo desenvolvido e o modelo proposto vêm contribuir com o desenvolvimento dos processos de atualização tecnológica e para a gestão dos ativos físicos das empresas de geração hidrelétrica.

Palavras-chave: Engenharia de Manutenção; Gestão de Ativos Físicos; Gestão da Manutenção; Confiabilidade; Atualização Tecnológica; Geração Hidrelétrica.

ABSTRACT

NUNES, Enon Laércio. **The systematization of the updated technological process in hydroelectric generation organizations in Brazil.** 2007. 246f. Thesis (Mechanical Engineering Doctored) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, Brazil.

The general objective of this thesis is to develop a model to improve the process of new technologies in hydroelectric generation organizations. In specific terms it intends: to present and analyze the theory perspectives and concepts based on the integration principles between technological systems updating and the maintenance management; to characterize the Brazilian hydroelectric generation organizations elicited for this research; to identify and analyze the technological improvement actions adopted by those organizations; and, to develop a model to systematize the updating technological process, that involves reliability and knowledge management, considering the maintenance technical systems context. The main methods used were the multicase study and the technical documentation analysis with technical visits in all selected organizations. The data gathered showed a predominance of the qualitative approach using semi-structured interviews for experts of those organizations. The results permit concluding that the initiatives for updating technological process that occurs in the selected organizations the most cases demand more systematization such as: the maintenance area do not participate of all updating phases; there are significant difficulties to treat different equipments in different technological levels; there are situations of technical lost of memories (lost refers to the organizations power plant and also to the manufacture industry content). A model was developed and proposed. This model includes both updating technological process and extension life process, called MIREK - Maintenance Integrated to Reliability and Knowledge. The MIREK was evaluated and approved by scientific criteria and submitted to experienced professionals of the Brazilian electric sector. The final results indicate that this model developed contribute to improve the updating technology process and the asset management of the hydroelectric generation organizations.

Key-words: Maintenance Engineering; Asset Management; Maintenance Management; Reliability; Updating Technological Process; Hydroelectric Power Plant.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AACE - Association for the Advancement of Cost Engineering

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRAGE - Associação Brasileira de Empresas Geradoras de Energia Elétrica

ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção

AES TIÊTE - AES Tiête S.A.

AFNOR - Association Française de Normalisation

ANDE - Administración Nacional de Eletricidad

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

APM - Association of Project Management

APR - Análise Preliminar de Risco

ASAPM - American Association of Advanced Project Management

CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

CCQ – Círculo de Controle de Qualidade

CEMIG-GT - Centrais Elétricas de Minas Gerais S. A. - Geração e Transmissão

CESP - Companhia Energética de São Paulo

CHESF - Companhia Hidroelétrica do São Francisco

CIGRÉ - International Council on Large Electric Systems

CIGRÉ-BRASIL - Comitê Nacional Brasileiro de Produção e Transmissão de Energia Elétrica

CMSE - Comitê de Monitoramento do Sistema Elétrico

CNPE - Conselho Nacional de Política Energética

COPEL-GER - Copel Geração S.A.

DFD - Diagrama de Fluxo de Dados

D - Dependabilidade

DO - Disponibilidade Operacional

DUKE - Duke Energy International Geração Paranapaema S.A.

EAP- Estrutura Analítica do Projeto

EDF - Electricité De France

EDT - Estrutura de Desdobramento do Trabalho

ELETROBRÁS - Eletrobrás Centrais Elétricas Brasileiras S.A.

ELETRONORTE - Eletronorte Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A.

ELETROSUL - Eletrosul Centrais Elétricas S.A.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

EPRI - Electric Power Research Institute

ESCAPES - Environmental integrity, Safety / structural integrity, Control / containment /
comfort, Appearance, Protection, Economy / efficiency, Superfluous
functions

FAA - Federal Aviation Agency

FMEA - Failure Modes and Effect Analysis

FMECA - Failure Modes, Effects and Criticality Analysis

FTA - Failure Tree Analysis

FURNAS - Furnas Centrais Elétricas S.A.

GEVISA - GE Sistemas Industriais S.A.

HP - Horas do Período Considerado

HPCA – Horas Fora de Serviço em Disponibilidade Operativa

HS - Horas em Serviço

IDEF0 - Integrated Computer-Aided Manufacturing Definition Language

IEA - International Energy Agency

IEC - International Electrotechnical Commission

IM - Índice de Modernização

ITAIPU - Itaipu Binacional

LCC - Life Cycle Cost

LIGHT - Light Energia S.A.

MCT - Tempo Médio de Manutenção Corretiva

MCC - Manutenção Centrada em Confiabilidade

MECEP - Méthode de Controle Et D'entretien Préparé

MICC - Manutenção Integrada em Confiabilidade e Conhecimento

MME - Ministério de Minas e Energia

MO - Manutenibilidade Operacional

MPT - Tempo Médio de Manutenção Preventiva

MSG - Maintenance Steering Groups

MTBF - Mean Time Between Failure

MTBM – Tempo Médio de Manutenção

MTFF - Tempo Médio até a Primeira Falha

MTT – Tempo Médio até Reparo

MTTF - Mean Time to Failure

MTTR - Mean Time to Repair

NASA - National Aeronautics and Space Administration

NBR - Norma Brasileira

ONS - Operador Nacional do Sistema

PAT - Plano de Atualização Tecnológica

PDMA - Product Development Management Association

PIB - Produto Interno Bruto

PID - Proporcional Integrador e Derivativo

PMBOK - Project Management Body of Knowledge

PMI - Project Management Institute

RBM - Gestão Baseada em Riscos

RCFA – Análise da Causa Raiz da Falha

RCM - Reliability Centred Maintenance

RO – Confiabilidade Operacional

SCADA/EMS - Supervisory Control and Data Acquisition/Energy Management System

SIN - Sistema Interligado Nacional

TGC - Turbine Governor Control

TPM - Manutenção Produtiva Total

TRACTEBEL - Tractebel Energia S.A.

TVA - Tennessee Valley Authority

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

UG - Unidade Geradora

WEO - World Energy Outlook

$\lambda(t)$ - Taxa de falha

$\mu(t)$ - Taxa de reparo

β - Parâmetro de forma da distribuição de Weibull

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 CONDIÇÃO DE OPERAÇÃO PARA ITENS REPARÁVEIS.....	48
FIGURA 2.2 TRANSIÇÃO DE ESTADOS PARA ITENS REPARÁVEIS	49
FIGURA 2.3 CONFIABILIDADE, MANTENABILIDADE E DISPONIBILIDADE.....	53
FIGURA 2.4 COMPORTAMENTO DA TAXA DE FALHA	55
FIGURA 2.5 CURVAS PADRÃO DE FALHAS.....	57
FIGURA 2.6 CURVA EM FORMA DE CONCHA.....	58
FIGURA 2.7 GESTÃO DE ATIVOS FÍSICOS PARA EXTENSÃO DA VIDA ÚTIL	62
FIGURA 2.8 GESTÃO DE ATIVOS INDUSTRIAIS	63
FIGURA 2.9 PROCESSO DE MANUTENÇÃO	64
FIGURA 2.10 CURVA ‘S’: EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA.....	66
FIGURA 2.11 FASES DO CICLO DE UM DO PROJETO.....	70
FIGURA 2.12 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS.....	71
FIGURA 2.13 DESENVOLVIMENTO INTEGRADO DE PRODUTOS	73
FIGURA 2.14 BLOCO FUNCIONAL	75
FIGURA 2.15 MODELO DE REPRESENTAÇÃO DE UMA FUNÇÃO.....	76
FIGURA 2.16 HIERARQUIZAÇÃO FUNCIONAL PARA SISTEMA DE REGULAÇÃO.....	77
FIGURA 2.17 PROCESSOS DEFINIDOS NO GUIA PMBOK.....	82
FIGURA 2.18 ÁREAS DE CONHECIMENTO, PROCESSOS E INTER-RELAÇÕES	84
FIGURA 2.19 TIPOS DE CONHECIMENTO E MODOS DE CONVERSÃO	90
FIGURA 2.20 CICLO DA GESTÃO DO CONHECIMENTO	92
FIGURA 2.21 TERMINOLOGIA E REPRESENTAÇÃO GRÁFICA - DFD.....	97
FIGURA 2.22 EXEMPLO DE APLICAÇÃO – DFD	97
FIGURA 2.23 FALHAS E IDADE DAS USINAS HIDRELÉTRICAS	99
FIGURA 2.24 AÇÕES FRENTE À DETERIORAÇÃO DAS INSTALAÇÕES.....	100
FIGURA 3.1 EVOLUÇÃO DA CAPACIDADE HIDRELÉTRICA NO BRASIL.....	109
FIGURA 3.2 CONFIGURAÇÃO DO SIN	111
FIGURA 3.3 REGULADOR DE VELOCIDADE DE WATT	115
FIGURA 3.4 CIRCUITO HIDRÁULICO TÍPICO SIMPLIFICADO.....	121
FIGURA 3.5 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL CHESF	125
FIGURA 3.6 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL ELETRONORTE.....	126
FIGURA 3.7 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL FURNAS	128
FIGURA 3.8 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL DE ITAIPU	130

FIGURA 3.9 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL CEMIG.....	131
FIGURA 3.10 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL TRACTEBEL.....	133
FIGURA 3.11 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL LIGHT.....	135
FIGURA 4.1 TEMPO DE OPERAÇÃO - ÍNDICE DEMODERNIZAÇÃO.....	150
FIGURA 4.2 INDISPONIBILIDADE DA USINA - IM.....	151
FIGURA 4.3 FLUXOGRAMA: EXTENSÃO VIDA ÚTIL X ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA.....	153
FIGURA 4.4 PRIORIZAÇÃO PARA ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA.....	155
FIGURA 4.5 - FATOR DE TEMPO DE OPERAÇÃO.....	156
FIGURA 4.6 FATOR DE INDISPONIBILIDADE PROGRAMADA E FORÇADA.....	157
FIGURA 4.7 CONFIABILIDADE E MODERNIZAÇÃO DE SISTEMAS TÉCNICOS.....	168
FIGURA 5.1 CICLO DE ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA.....	175
FIGURA 5.2 PROCESSO DE ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA E DE REDEFINIÇÃO DA MANUTENÇÃO.....	178
FIGURA 5.3 PROCESSO DETALHADO DE ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA.....	183
FIGURA 5.4 PROCESSO DE REDEFINIÇÃO DA MANUTENÇÃO.....	184
FIGURA 5.5 DFD DO PROCESSO DE ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA.....	186
FIGURA 5.6 DFD DO PROCESSO DE REDEFINIÇÃO DA MANUTENÇÃO.....	191
FIGURA 5.7 ÁREAS DE CONHECIMENTO DO PROCESSO DE ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA.....	195
FIGURA 5.8 DIMENSÕES E PILARES DO MODELO – MICC.....	199
FIGURA 5.9 DETALHAMENTO DAS DIMENSÕES - MICC.....	200
FIGURA 5.10 - DFD DO PROCESSO DE EXTENSÃO DE VIDA ÚTIL – MICC.....	202
FIGURA 5.11 CONHECIMENTO CONSOLIDADO.....	207
FIGURA 5.12 CONHECIMENTO A SER RESGATADO.....	208
FIGURA 5.13 GRÁFICO GERAL DA AVALIAÇÃO.....	212

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1.1 DEZ MAIORES EMPRESAS DE GERAÇÃO POR CAPACIDADE INSTALADA NO BRASIL	31
QUADRO 1.2 USINAS HIDRELÉTRICAS POR IDADE E POTÊNCIA INSTALADA	32
QUADRO 1.3 EMPRESAS PESQUISADAS POR REGIÃO NO BRASIL	36
QUADRO 2.1 QUESTÕES BÁSICAS PARA APLICAÇÃO DA MCC	44
QUADRO 2.2 EVOLUÇÃO DA UTILIZAÇÃO DA MCC	45
QUADRO 2.3 PRINCIPAIS MÉTRICAS DA MANUTENÇÃO.....	46
QUADRO 2.4 DISPONIBILIDADE E INDISPONIBILIDADE USINAS HIDRELÉTRICAS	51
QUADRO 2.5 CARACTERÍSTICAS DE MODELOS DE GESTÃO DE ATIVOS FÍSICOS	65
QUADRO 2.6 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL PARA GERENCIAMENTO DE PROJETOS	80
QUADRO 2.7 PRINCÍPIOS DA GESTÃO DO CONHECIMENTO.....	89
QUADRO 3.1 PARQUE GERADOR DEZEMBRO/2005	108
QUADRO 3.2 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA: CUSTOS MÉDIOS EM US\$.....	110
QUADRO 3.3 PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS MECÂNICOS DO SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE	118
QUADRO 3.4 PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS DO SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE.....	120
QUADRO 3.5 PRINCIPAIS USINAS HIDRELÉTRICAS DA CHESF	124
QUADRO 3.6 USINAS HIDRELÉTRICAS DA ELETRONORTE.....	126
QUADRO 3.7 USINAS HIDRELÉTRICAS DE FURNAS	128
QUADRO 3.8 USINAS HIDRELÉTRICAS DA CEMIG-GT.....	132
QUADRO 3.9 USINAS HIDRELÉTRICAS DA TRACTEBEL	133
QUADRO 3.10 USINAS HIDRELÉTRICAS DA LIGHT	135
QUADRO 4.1 MATRIZ DE RESPONSABILIDADE COMITÊ GESTOR ITAIPU	141
QUADRO 4.2. COMPARAÇÃO ENTRE OS REGULADORES ELETRÔNICOS	142
QUADRO 4.3 MODERNIZAÇÃO NAS USINAS HIDRELÉTRICAS.....	146
QUADRO 4.4 CÁLCULO DO ÍNDICE DE MODERNIZAÇÃO	151
QUADRO 4.5 CRITÉRIOS PARA ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA.....	154
QUADRO 4.6 TAXAS DE FALHA DE UMA USINA MODERNIZADA	165

QUADRO 5.1 ATIVIDADES DA FASE DE PROJETO PRELIMINAR	182
QUADRO 5.2 FUNÇÕES RELACIONADAS AO PROCESSO DE ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA	189
QUADRO 5.3 CORRELAÇÃO ENTRE AS TÉCNICAS DE MODELAGEM	190
QUADRO 5.4 FUNÇÕES RELACIONADAS AO PROCESSO DE EXTENSÃO DE VIDA ÚTIL - MICC	205
QUADRO 5.5 PERGUNTAS E CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO	210

LISTA DE TABELAS

TABELA 5.1 - RESULTADOS DA AVALIAÇÃO	211
--------------------------------------------	-----

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO.....	23
1.1 TEMA E JUSTIFICATIVA DO ESTUDO	23
1.2 ESPECIFICAÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA.....	25
1.3 OBJETIVOS.....	26
1.3.1 Objetivo geral	26
1.3.2 Objetivos específicos.....	26
1.4 RESULTADOS ESPERADOS	27
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	28
1.5.1 Caracterização da pesquisa	28
1.5.2 Hipóteses do trabalho.....	29
1.5.3 Escopo da pesquisa	30
1.5.4 Coleta e análise de dados	33
1.6 ESTRUTURA DA TESE	36
CAPÍTULO 2: MANUTENÇÃO, CONHECIMENTO E ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA	39
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	39
2.2 MANUTENÇÃO INDUSTRIAL.....	39
2.2.1 Engenharia de Manutenção	40
2.2.2 Atributos da manutenção	46
2.2.3 Vida útil dos equipamentos	54
2.3 A MANUTENÇÃO E O DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO.....	59
2.3.1 Evolução da manutenção	59
2.3.2 Processo de gestão de ativos físicos.....	61
2.3.3 Implicações do desenvolvimento tecnológico na manutenção	65
2.4 DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS	69
2.4.1 Considerações Iniciais.....	69
2.4.2 Processo de desenvolvimento de produtos	71
2.4.3 Gerenciamento de projetos.....	78
2.5 GESTÃO DO CONHECIMENTO.....	86
2.5.1 Conceitos básicos.....	86
2.5.2 Tipos de conhecimento.....	89
2.5.3 Mapeamento e resgate do conhecimento.....	91
2.6 MODELO E O DIAGRAMA DE FLUXO DE DADOS	94
2.7 ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA EM USINAS HIDRELÉTRICAS.....	98

CAPÍTULO 3: USINAS HIDRELÉTRICAS E EMPRESAS DE GERAÇÃO HIDRELÉTRICA PESQUISADAS	106
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	106
3.2 USINAS HIDRELÉTRICAS.....	112
3.2.1 Sistema de regulação de velocidade de turbinas hidráulicas	114
3.2.2 Atualização tecnológica dos reguladores de velocidade.....	119
3.3 CARACTERIZAÇÃO DAS EMPRESAS PESQUISADAS	122
3.3.1 CHESF	123
3.3.2 ELETRONORTE.....	125
3.3.3 FURNAS.....	127
3.3.4 ITAIPU BINACIONAL.....	129
3.3.5 CEMIG-GT.....	130
3.3.6 TRACTEBEL	132
3.3.7 LIGHT.....	134
3.4 COMENTÁRIOS FINAIS.....	136
CAPÍTULO 4: AÇÕES DE ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA NAS EMPRESAS DE GERAÇÃO HIDRELÉTRICA PESQUISADAS	138
4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	138
4.2 AÇÕES DE DESENVOLVIMENTO DE REPROJETO	138
4.3 AÇÕES DE MODERNIZAÇÃO	145
4.4 COMENTÁRIOS FINAIS.....	167
CAPÍTULO 5: MODELO PARA SISTEMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA	171
5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	171
5.2 PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DA ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA.....	172
5.3 MODELO DE SISTEMATIZAÇÃO PARA O PROCESSO DE ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA.....	176
5.3.1 Estruturação do Modelo de Sistematização.....	176
5.3.2 Detalhamento das Fases do Modelo.....	179
5.3.3 Diagrama de Fluxo de Dados do Modelo	185
5.4 MODELO MICC - MANUTENÇÃO INTEGRADA EM CONFIABILIDADE E CONHECIMENTO	198
5.4.1 Diagrama de Fluxo de Dados do MICC	201
5.4.2 Confiabilidade e Conhecimento no MICC.....	205
5.5 AVALIAÇÃO DO MODELO DE SISTEMATIZAÇÃO PROPOSTO	209

CAPÍTULO 6: CONSIDERAÇÕES FINAIS	215
6.1 CONCLUSÕES DA PESQUISA	215
6.2 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	219
REFERÊNCIAS	221
ANEXOS.....	233
ANEXO A - PÁGINAS DO DOCUMENTO <i>DREAM MACHINE</i> - ITAIPU	234
ANEXO B - PÁGINA DO PORTAL DO CONHECIMENTO DE ITAIPU	235
ANEXO C - PROCESSO DO PORTAL DO CONHECIMENTO DE ITAIPU.....	236
APÊNDICES.....	237
APÊNDICE A - FASES DO PROCESSO DE ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA	238
APÊNDICE B - FASES DO PROCESSO DE REDEFINIÇÃO DA MANUTENÇÃO.....	245
APÊNDICE C - INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS PRIMÁRIOS	247

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1.1 TEMA E JUSTIFICATIVA DO ESTUDO

O aumento da turbulência do ambiente e da instabilidade do mercado tem requerido processos de adaptação das empresas, na busca constante por maior capacidade competitiva. A área de manutenção vem ocupando cada vez mais uma posição estratégica, principalmente no que se refere à fase de uso dos sistemas técnicos reparáveis, passíveis de atualização tecnológica. Neste contexto, revestem-se de importância atributos como confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade por permitirem a explicitação do conhecimento dos sistemas técnicos, a partir de métricas que possibilitam estabelecer-se padrões a serem considerados no processo de atualização tecnológica.

Notadamente, o segmento de energia elétrica tem sido reconhecido como insumo básico para o desenvolvimento industrial e econômico de um país, requerendo recursos expressivos de investimento. A função manutenção, para os sistemas técnicos associados a este segmento, tem presença significativa nas decisões estratégicas em setores como: segurança ocupacional e meio ambiente; eficiência energética; qualidade do produto; disponibilidade; confiabilidade; e, custos operacionais.

Tais aspectos, associados ao processo natural de deteriorização e obsolescência tecnológica dos equipamentos e sistemas, representam um desafio adicional para as empresas de geração hidrelétrica, particularmente no Brasil, em vista das especificidades da matriz energética nacional (EPE, 2006). Além disso, destaca-se o compromisso em manter a qualidade e a disponibilidade da energia elétrica fornecida, bem como a necessidade de se atualizar tecnologicamente as instalações. Dados disponibilizados por Dias *et al.* (2000) corroboram com esses argumentos, quando indicam que a ‘idade’ média das instalações hidrelétricas no Brasil é de 35 anos (agregando-se os anos adicionais desde a publicação da referida pesquisa).

Como informam Soares e Motta (2007), de modo geral, constata-se que a atualização tecnológica ocorre de forma mais intensa na automação de processos industriais, na substituição de equipamentos eletro-eletrônicos e na utilização de sistemas informatizados, fundamentalmente pela substituição da tecnologia analógica por tecnologia

digital. Essa situação tem exigido esforços adicionais para engenheiros, técnicos e outros profissionais da área de manutenção, ao exigir aperfeiçoamento e conhecimento técnico atualizado.

Perante a turbulência e a instabilidade ambientais, as organizações contemporâneas, na busca pela excelência em desempenho, elegeram de forma estratégica o conhecimento como um ativo essencial para a sobrevivência. Esse argumento é abordado por vários especialistas e estudiosos no campo da gestão e do planejamento estratégicos empresariais, tais como: Senge (2006), Hamel e Prahalad (2005); Drucker (2003; 1999; 1996), Nonaka e Takeuchi (1997), dentre outros.

Como enfocam os autores, a gestão do conhecimento representa o conjunto de ações voltadas para a identificação, o mapeamento, o resgate, a preservação e a socialização do conhecimento (tácito e explícito) a serem compartilhados pelas equipes. Constitui-se, portanto, em uma política de gestão para a apropriação do capital intelectual fundamentada na valorização da participação das equipes de trabalho, na sistematização dos procedimentos técnicos, na promoção estruturada da troca de experiências, na ordenação e no arquivamento da documentação.

Nesses termos, constata-se a coexistência de fatores estratégicos para o desempenho, tais como: a complexidade dos ativos físicos das instalações; os avanços no processo de inovação tecnológica; a evolução crescente de metodologias aplicadas à gestão da manutenção; a exigência de melhores resultados operacionais; e; a importância de capacitação permanente dos profissionais de manutenção.

No processo de gestão da manutenção, tais fatores requerem, de forma isolada ou conjunta, ações voltadas para a melhoria contínua da confiabilidade, da manutenibilidade, e, por conseguinte, da disponibilidade, visando diminuir riscos potenciais que possam impactar na qualidade dos produtos e serviços fornecidos aos clientes. Defende-se, portanto, uma visão integrada englobando o compromisso com a sustentabilidade da disponibilidade operativa, considerando-se a gestão do conhecimento, com base em autores como Zhou (2007), Waeyenberg e Pintelon (2002) e Coetzee (1999), dentre outros.

Em consonância com os posicionamentos apresentados pelos diversos autores que tratam dessa temática, procura-se desenvolver os conteúdos, nesta tese, tendo como parâmetros:

- Visão sistêmica dos processos de desenvolvimento da atualização tecnológica e da gestão da manutenção em instalações de geração hidrelétrica;
- Concepção e estruturação de um modelo para a gestão do processo de atualização tecnológica focado na confiabilidade integrada à gestão do conhecimento, como garantia da disponibilidade operacional das instalações;
- Resgate do conhecimento associado ao processo de atualização tecnológica em empresas de geração hidrelétrica, considerando-se a análise da literatura corrente e de outras fontes de informação, tais como: documentação técnica, visitas técnicas em instalações hidrelétricas e entrevistas semi-estruturadas realizadas com especialistas.

1.2 ESPECIFICAÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA

A problemática a ser estudada nesta pesquisa se refere ao processo de atualização tecnológica em instalações de geração de energia hidrelétrica de empresas do setor elétrico brasileiro. É, portanto, foco desta pesquisa, a análise das correlações desse processo de atualização para os sistemas técnicos atendo-se ao pressuposto de que as ações devam ser planejadas e os requisitos de desempenho operacional devam ser avaliados, em face da probabilidade de ocorrerem problemas associados à utilização de novas tecnologias.

A integração de temas como gestão da manutenção, gestão do conhecimento e gerenciamento de projetos, buscando integrar as ações daí derivadas, busca apoiar a proposição de soluções tecnológicas viáveis técnica e economicamente. Some-se a isso o fato que o ambiente a ser pesquisado é o setor de geração de energia elétrica, no qual a área de manutenção tem papel fundamental no resultado operacional da organização, já que suas ações se encontram diretamente associadas à produção de energia.

Nesse contexto, elaborou-se o seguinte problema central de pesquisa:

Como sistematizar um modelo para a gestão do processo de atualização tecnológica em empresas de geração hidrelétrica no Brasil?

Concomitantemente a essa questão central, outros questionamentos inter-relacionados requerem atenção, como, por exemplo, sobre: Quais os atributos ou características que deflagram o processo de atualização tecnológica em empresas de geração hidrelétrica? Quais os fatores-chave para o desenvolvimento de um modelo para a gestão de ativos físicos em empresas de geração hidrelétrica? Quais as implicações do processo de atualização tecnológica na gestão de ativos físicos em empresas de geração hidrelétrica no Brasil?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa é desenvolver um modelo para sistematização do processo de atualização tecnológica em empresas de geração de energia hidrelétrica.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Compilar e analisar as abordagens teórico-conceituais, de modo integrado, sobre a atualização tecnológica dos sistemas técnicos e sua correlação com a gestão da manutenção;
- b) Caracterizar as empresas de geração de energia hidrelétrica no Brasil, selecionadas como objeto de estudo;
- c) Identificar e analisar as ações de atualização tecnológica adotadas pelas empresas de geração hidrelétrica no Brasil, selecionadas como objeto de estudo;
- d) Desenvolver um modelo para a sistematização do processo de atualização tecnológica, que contemple de forma conjunta práticas de confiabilidade e de

gestão do conhecimento, no contexto do processo de manutenção dos sistemas técnicos.

1.4 RESULTADOS ESPERADOS

Com um estudo desta natureza espera-se contribuir para a conceituação e a estruturação de uma visão estratégica do desenvolvimento do processo de atualização tecnológica, agregando-se alguns dos conteúdos da gestão do conhecimento e do gerenciamento de projetos. Disponibilizar-se, assim, uma perspectiva complementar ao processo de gestão da manutenção, dentro da concepção de confiabilidade funcional em projetos de sistemas técnicos.

A mudança no perfil do profissional manutentor¹, dentro desse contexto, corresponde a um aspecto relevante a ser requerido, ao demandar novos desafios e qualificações. Sendo assim, busca-se fornecer informações sobre os vários procedimentos a serem priorizados e avaliados, nas futuras iniciativas dos gestores no desenvolvimento de projetos de atualização tecnológica em instalações de geração hidrelétrica, uma vez que a expectativa de utilização econômica dos equipamentos dessas instalações supera, em muito, o ciclo de evolução tecnológica.

Pretende-se subsidiar as empresas do setor elétrico na definição de políticas e diretrizes de gestão e de planejamento estratégicos, relativas ao processo de atualização tecnológica, na busca por resultados operacionais cada vez melhores. Nesse sentido, a proposta de modelo estruturada, como resultado desta pesquisa, pode servir como referência para a gestão da extensão da vida útil dos sistemas técnicos e a implantação de projetos de atualização tecnológica.

Espera-se com o modelo resultante desta pesquisa, contribuir com o desenvolvimento dos projetos de atualização tecnológica e com a gestão dos ativos físicos das empresas de geração hidrelétrica no Brasil. Considerando-se desta forma a característica deste segmento de geração de energia elétrica brasileira, que de um lado se encontra na etapa de atualizar tecnologicamente suas instalações e de outro, necessita de

¹Este termo refere-se ao profissional que atua na área de manutenção, conforme terminologia estabelecida pela ABRAMAN – Associação Brasileira de Manutenção.

um modelo que agregue a experiência do setor com a utilização de tecnologia atual e garanta a confiabilidade requerida quanto ao fornecimento confiável de energia elétrica.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Segundo Marconi e Lakatos (2006), os procedimentos metodológicos referem-se ao conjunto de métodos, técnicas, ferramentas e outros procedimentos, adotados para conceber, estruturar e operacionalizar uma pesquisa.

Nesta pesquisa foram estudados os aspectos teóricos e empíricos relacionados à gestão de ativos físicos no contexto da atualização tecnológica. Os principais estudos teóricos que sustentam esta pesquisa são: a análise da engenharia de manutenção e os métodos de análise de falhas, análise de confiabilidade na manutenção e o comportamento da vida útil dos equipamentos; a gestão dos ativos físicos industriais e metodologias como MCC - Manutenção Centrada em Confiabilidade. Além disso, a fundamentação empírica se baseia na elaboração e aplicação de uma entrevista semi-estruturada partir desses parâmetros.

Para o desenvolvimento do modelo de gestão proposto, com foco nos processos de extensão da vida útil e atualização tecnológica dos sistemas técnicos, foram agregados: os conceitos das metodologias de desenvolvimento de produtos; de gestão do conhecimento; de gerenciamento de projetos; assim como, o Diagrama de Fluxo de Dados, uma ferramenta de modelagem para desenvolvimento de sistemas de informação.

Como abordado por diversos autores, tais como: Goldenberg (1997), Barros e Lehfeld (2000), Bianchetti e Machado (2002), Castro (2006) e Köche (2002), a natureza e o rigor científicos exigidos em trabalhos acadêmicos, especialmente em nível de pós-graduação, requerem a descrição completa detalhada e fundamentada de tudo o que foi planejado e como foi realizado, o que se apresenta a seguir.

1.5.1 Caracterização da pesquisa

Esta pesquisa caracteriza-se como uma investigação científica do tipo descritivo-analítica, de natureza qualitativa, com perspectiva de análise contextual. Os estudos

descritivos e os estudos analíticos (estes últimos também denominados estudos explicativos), dizem respeito à verificação, registro, análise, classificação e interpretação de fatos e fenômenos. Como aborda Santos (2004), nesses estudos, busca-se o aprofundamento do conhecimento sobre a realidade, sem a influência do pesquisador, para, a partir de então, se elaborar as inferências ou propostas de modelos de análise sobre essa mesma realidade.

O predomínio da natureza qualitativa refere-se à seleção das estratégias, de abordagem interpretativa para a coleta, tratamento, análise e interpretação dos dados e informações. Autores como Richardson et al. (1999) defendem, por exemplo, a premissa de que a natureza qualitativa da pesquisa privilegia e favorece o entendimento dos fatos, considerando os diversos significados do seu contexto específico.

O principal método de procedimento adotado foi o estudo de casos. Estes estudos, para Yin (2005), pressupõem levantamentos suficientemente abrangentes sobre um caso, área, setor, fato ou procedimento determinado. Nesta investigação, foram realizados estudos de multicasos, ao serem identificados e analisados dados e informações sobre empresas do segmento de produção de energia hidrelétrica no Brasil.

1.5.2 Hipóteses do trabalho

A partir da década de 1980 os sistemas técnicos utilizados em instalações de geração hidrelétrica têm experimentado um processo de evolução tecnológica sugerindo que as empresas devam se organizar para promover a atualização tecnológica, conforme afirma Santos (1999). Este posicionamento é corroborado por Dias *et al.* (2000) ao serem apresentados os ganhos na potência instalada de usinas hidrelétricas obtidos na repotenciação de unidades geradoras nos processos de modernização. Nota-se que além dos ganhos em produtividade para a instalação², a atualização tecnológica possibilita o desenvolvimento de uma ação ambientalmente correta, considerando-se que o reservatório da usina já se encontra implantado.

No entanto observa-se que os processos de atualização tecnológica têm sido desenvolvidos sem contar com uma sistemática estruturada, tendo como consequência

²Considerando-se a prática do setor elétrico, o termo instalação é apresentado ao longo do texto como sinônimo de usina ou empreendimento.

períodos de indisponibilidade não planejada devido, principalmente, a atrasos na implantação do projeto e a ocorrência de falhas de juventude em número maior que o esperado. Além disso, não são contemplados no desenvolvimento destes processos aspectos relacionados ao resgate, explicitação e preservação, visando dominar-se o conhecimento associado.

Nestes termos, as hipóteses deste trabalho de pesquisa foram elaboradas e norteadas a partir das pesquisas e análises, bibliográfica e documental, como segue:

- a) A atualização tecnológica caracteriza-se como um processo irreversível para empresas do setor de geração hidrelétrica no Brasil, principalmente em decorrência das especificidades da matriz energética brasileira, e diante do crescimento da demanda por confiabilidade dos equipamentos e qualidade dos serviços;
- b) A gestão da manutenção requer formalização do registro de todas as fases do processo de atualização tecnológica dos sistemas técnicos;
- c) A atualização tecnológica de sistemas técnicos pressupõe mudanças na gestão da manutenção em empresas de geração hidrelétrica;
- d) A atualização tecnológica é mais complexa em empresas de geração hidrelétrica com mais de 30 anos de instalação, do que em empresas mais recentes;
- e) A magnitude da potência instalada implica em maior complexidade do processo de atualização tecnológica.

1.5.3 Escopo da pesquisa

O universo da pesquisa corresponde ao conjunto de empresas produtoras de energia hidrelétrica no Brasil, em vista de sua relevância para o mercado produtor de energia elétrica no país. Para a escolha das empresas a serem estudadas, devido à preocupação com o processo de atualização tecnológica, adotou-se como critério: a potência instalada, e, o tempo de operação das usinas hidrelétricas.

A técnica de amostra intencional foi utilizada, portanto, com base nos seguintes critérios: empresas geradoras de energia elétrica com maior potência instalada, com maior representatividade no SIN - Sistema Interligado Nacional; e, empresas geradoras de

energia elétrica com instalações mais antigas, ou seja, que entraram em operação antes da década de 1960. Para tanto, utilizou-se a classificação apresentada pela ANEEL (2007), em seu *site* institucional, onde estão indicados os dez maiores agentes geradores em capacidade instalada no país, referentes às usinas em operação, como indicado no QUADRO 1.1.

No.	AGENTE		POTÊNCIA INSTALADA (KW)
01	CHESF	Companhia Hidro Elétrica do São Francisco	10.615.131
02	FURNAS	Furnas Centrais Elétricas S.A.	9.656.000
03	ELETRONORTE	Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A.	9.171.064
04	CESP	Companhia Energética de São Paulo	7.455.300
05	ITAIPU	Itaipu Binacional	7.000.000 ^(*)
06	CEMIG-GT	Cemig Geração e Transmissão S.A.	6.782.574
07	TRACTEBEL	Tractebel Energia S.A.	6.515.350
08	COPEL GER	Copel Geração S.A.	4.545.154
09	AES TIÊTE	Aes Tiête S.A.	2.651.350
10	DUKE	Duke Energy International Geração Paranapaema	2.299.400

^(*) Apenas a parcela brasileira

QUADRO 1.1 DEZ MAIORES EMPRESAS DE GERAÇÃO POR CAPACIDADE INSTALADA NO BRASIL

Fonte: ANEEL (2007).

Para atender ao segundo critério de seleção das empresas de geração hidrelétrica no país, ou seja, ao critério de tempo de operação das usinas hidrelétricas, foram realizados levantamentos em dados secundários, apresentados no QUADRO 1.2.

O QUADRO 1.2 apresenta as sete usinas hidrelétricas mais antigas no país, as suas respectivas empresas geradoras, início da operação (idade) e potência instalada. A empresa

LIGHT - Light Energia S.A. foi selecionada, por ser a empresa com as mais antigas instalações de hidrelétricas em operação no país. As demais empresas já haviam sido selecionadas pelo primeiro critério.

USINAS POR IDADE DE CONSTRUÇÃO	EMPRESA GERADORA	INÍCIO DE OPERAÇÃO	POTÊNCIA INSTALADA (MW)
Ilha dos Pombos	LIGHT	1924	183
Fontes Novas	LIGHT	1940	132
Nilo Peçanha	LIGHT	1953	380
Paulo Afonso I	CHESF	1954	180
Paulo Afonso IIA	CHESF	1961	215
Pereira Passos	LIGHT	1963	100
Furnas Primeira Etapa	FURNAS	1965	912
Paulo Afonso IIB	CHESF	1967	228
Mascarenhas de Moraes	FURNAS	1968	476
Luiz Carlos Barreto de Carvalho	FURNAS	1969	1.050

QUADRO 1.2 USINAS HIDRELÉTRICAS POR IDADE E POTÊNCIA INSTALADA

Fonte: adaptado da ANEEL (2007) e ONS (2007).

Os critérios para a escolha dos profissionais, sujeitos ou pessoas-chave da pesquisa a serem consultados e entrevistados, foram: a) atuação na área de Engenharia de Manutenção e Projeto; b) formação acadêmica na graduação em Engenharia, nos seus diversos ramos; c) experiência de, no mínimo dez anos na empresa em que atua; d) ter participado, direta ou indiretamente, de processos de atualização tecnológica; e) ter função de nível gerencial do segundo ou terceiro escalão na empresa em que atua.

Ao todo, foram identificados e entrevistados 29 profissionais, pessoas-chaves, excluindo-se dessa amostra outros profissionais que foram contatados nas fases preliminares da pesquisa. Cabe traçar, ainda, um breve esboço do perfil desses profissionais: a grande maioria homens, com idade estimada entre 45 e 55 anos. Apenas

uma mulher foi identificada dentro da amostra intencional, segundo os critérios anteriormente indicados. Essa profissional exerce a função de Superintendente de Manutenção da empresa CHESF.

1.5.4 Coleta e análise de dados

A coleta e a análise dos dados para a realização desta investigação científica tiveram como base dois tipos principais de fontes: as fontes secundárias e as fontes primárias. As fontes secundárias abrangeram: a) a pesquisa bibliográfica: cujos resultados foram responsáveis pela escolha do tema, pela identificação do marco teórico, pela definição das estratégias de coleta, análise e interpretação dos dados da pesquisa; b) a pesquisa documental: que envolveu a busca, análise e interpretação do conjunto de documentos técnicos e outros documentos, disponíveis nas bibliotecas e nos *sites* institucionais das empresas selecionadas como objeto de estudo.

Ambas as pesquisas, bibliográfica e documental, correspondem a um tipo de levantamento de dados, conforme Lehfeld (2007), sobre a documentação denominada como 'documentação indireta', ou seja, textos em papel ou material de meios eletrônicos normalmente com conteúdos disponíveis de modo abrangente para o público em geral. Os dados e informações enfocam os estudos teórico-empíricos sobre toda a temática relacionada ao campo desta investigação, assim como dos estudos ou mesmo de levantamentos, memórias de reunião e outros relatórios elaborados sobre e/ou pelas empresas selecionadas como foco de pesquisa.

A reflexão e o estudo aprofundados a partir dos conteúdos analisados permitiram estabelecer a problemática de estudo, selecionar as empresas, configurando, assim, o planejamento e toda a operacionalização das atividades de pesquisa. Cabe destacar, ainda, que as atividades relacionadas às pesquisas nas fontes secundárias acompanharam todo o decorrer desta tese, desde a sua concepção inicial, tendo sido fundamentadas na leitura e análise interpretativa dos conteúdos escritos (BARROS e LEHFELD, 2000; BOAVENTURA, 2004).

Já para a coleta em fontes primárias foram delineadas outras estratégias, técnicas e ferramentas metodológicas, que envolveram, primeiramente, contatos informais, observação livre assistemática e visitas preliminares. O propósito foi estabelecer o tipo,

volume e nível de dados a serem disponibilizados, bem como pré-selecionar os sujeitos, ou pessoas-chave, a serem consultadas. Após o estudo dessa série de dados e informações foram definidas e agendadas as visitas técnicas nas empresas, que ocorreram durante o segundo semestre de 2006 e o primeiro semestre de 2007.

Para tanto, foi elaborada uma primeira versão de roteiro de entrevista e aplicado um pré-teste, no segundo semestre de 2006. Esse pré-teste foi aplicado e o roteiro de entrevista foi validado durante o III ENAN - Encontro Nacional de Monitoramento de Máquinas Rotativas, que ocorreu em Foz do Iguaçu, em outubro de 2006. Naquela oportunidade, foram entrevistados cinco profissionais atuantes, engenheiros da área de manutenção, em empresas de grande porte do setor elétrico brasileiro.

Um novo roteiro de pesquisa foi organizado, apresentado no APÊNDICE C, com perguntas abertas com base na técnica de entrevista semi-estrutura, que busca estabelecer as relações entre os conteúdos das entrevistas e os objetivos específicos. De acordo com autores como Richardson *et al.* (1999), a entrevista semi-estruturada representa uma forma planejada de interação com os sujeitos da pesquisa, que permite a realização de outras perguntas, identificadas durante o processo de aplicação de uma entrevista planejada, de maneira a oferecer maior flexibilidade para a análise das informações. Todas as entrevistas realizadas foram gravadas e transcritas. Em geral, as entrevistas demoraram cerca de duas horas.

Para este estudo foram realizadas leituras e análises interpretativas e comparativas das respostas, que foram tratadas com o apoio de alguns referenciais da análise de conteúdo (BARDIN, 2006 e RICHARDSON *et al.*, 1999). Tais recursos possibilitaram melhor confrontação dos dados e informações, além de exigir, em algumas poucas vezes a recorrência das respostas, ou seja, foram enviadas mensagens, via e-mail, solicitando confirmação sobre o entendimento de alguns dos conteúdos. Esse processo foi similarmente empreendido para a consolidação e para a avaliação da proposta do modelo de referência pelos profissionais de Engenharia de Manutenção e de Projeto, especialistas atuantes, nas respectivas empresas objeto de estudo.

1.5.5 Limites da pesquisa

Os limites da pesquisa dizem respeito aos vários aspectos que, direta ou indiretamente, dificultam e/ou comprometem a operacionalização ou execução da pesquisa, assim como o pleno alcance dos resultados. Primeiramente, cabe ressaltar os aspectos referentes à localização geográfica. A distância geográfica entre as sete empresas selecionadas como objeto de estudo (de maior porte em termos de potência instalada *versus* de instalações mais antigas), os locais onde as usinas estão instaladas e os locais onde funcionam os respectivos escritórios centrais correspondem a aspectos que, certamente, dificultaram o acesso aos dados primários e secundários.

Como exemplo, cita-se no QUADRO 1.3, o perfil das empresas de geração hidrelétrica no Brasil, selecionadas por cidade-estado, onde se encontra o escritório central. Além do custo adicional para a coleta, algumas visitas técnicas e entrevistas, agendadas com bastante antecedência, tiveram que ser remarçadas em pouco espaço de tempo, o que retardou a completa coleta, tratamento, análise e posterior interpretação dos dados e informações.

Tal aspecto ganha maior complexidade ao ser associado com o perfil dos profissionais, sujeitos ou pessoas-chave da pesquisa, entrevistados (engenheiros, exercendo função de nível gerencial e com ampla experiência em suas áreas de atuação nas empresas e com processos de atualização tecnológica). Esses profissionais normalmente têm uma agenda de trabalho muito atribulada, o que prejudica a marcação de contatos presenciais e retardou as remarcações de algumas entrevistas/visitas técnicas.

Aliado a esse fato se apresenta a dificuldade de se tratar registros e informações, muitas vezes incompletas e até não mais existentes, bem como dados estruturados e armazenados de forma diferenciada entre empresas representou uma dificuldade adicional para o desenvolvimento do trabalho, o que se procurou minimizar com entrevistas e visitas técnicas realizadas.

EMPRESAS SELECIONADAS	CIDADE SEDE
CHESF	Recife-PE
FURNAS	Rio de Janeiro-RJ
ELETRONORTE	Brasília-DF
ITAIPU	Foz do Igauçu-PR
CEMIG-GT	Belo Horizonte-MG
TRACTEBEL	Florianópolis-SC
LIGHT	Rio de Janeiro-RJ

QUADRO 1.3 EMPRESAS PESQUISADAS POR REGIÃO NO BRASIL

Fonte: adaptado ANEEL (2007).

Nas empresas, as usinas, por sua vez, têm as suas instalações em locais distantes das sedes e, na maioria dos casos, de difícil acesso. Esta é a situação, por exemplo, da Usina de Jaguará, da CEMIG-GT, que fica a 100 km da cidade de Uberlândia, distante aproximadamente 300 km de Belo Horizonte-MG, onde foi realizada uma das visitas técnicas desta investigação. Também foram visitadas as usinas: de Fontes Novas, Nilo Peçanha e Pereira Passos da LIGHT, distantes 70 km do Rio de Janeiro; a Usina de Itaipu, em Foz do Iguaçu, distante cerca de 700 km de Curitiba; e, a Usina de Salto Osório da Tractebel, distante cerca de 650 km de Florianópolis.

1.6 ESTRUTURA DA TESE

A tese está estruturada em seis capítulos distintos. Pretende-se aqui apresentar e descrever os principais conteúdos abordados nestes capítulos e nos seus respectivos itens e subitens.

No **capítulo 1**, intitulado **INTRODUÇÃO**, contextualiza-se o tema e apresenta-se a justificativa para a realização desta pesquisa. Algumas das particularidades do setor

elétrico brasileiro são abordadas, assim como os critérios para a escolha do tema e problemática da pesquisa são identificados. A justificativa contempla também a atualidade, a necessidade e as contribuições de um estudo desta natureza. O problema da pesquisa é especificado em item próprio juntamente com a pergunta central e outros questionamentos básicos. Logo depois, apresenta-se o objetivo geral e os quatro objetivos específicos. Os procedimentos metodológicos adotados para a concepção e a operacionalização da tese são detalhadamente descritos.

No **capítulo 2**, intitulado **MANUTENÇÃO, CONHECIMENTO E ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA**, descreve-se o ‘estado da arte’ sobre os fundamentos teórico-empíricos, de temas, como: manutenção industrial; manutenção e o desenvolvimento tecnológico; desenvolvimento de projetos; gestão do conhecimento; diagrama de fluxo de dados; e, atualização tecnológica em usinas hidrelétricas. Este capítulo apresenta uma síntese analítica dos conceitos, definições, tipologias, abordagens teóricas e suas implicações, à luz das correntes do pensamento científico e tecnológico disponíveis na literatura especializada. Apresentam-se também os resultados de outras pesquisas teórico-empíricas correlatas.

No **capítulo 3**, intitulado **USINAS HIDRELÉTRICAS E EMPRESAS DE GERAÇÃO HIDRELÉTRICA PESQUISADAS**, são apresentados conceitos básicos de usinas hidrelétricas, com um detalhamento do sistema de regulação de velocidade, como também são caracterizadas as empresas selecionadas como objetos de estudo, suas instalações em geral, com a identificação sobre quais as usinas hidrelétricas foram tecnologicamente atualizadas. As informações referentes às empresas são apresentadas, de forma similar, com a finalidade de estabelecer co-relações e associações.

No **capítulo 4**, intitulado **AÇÕES DE ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA NAS EMPRESAS DE GERAÇÃO HIDRELÉTRICA PESQUISADAS**, são descritos os conteúdos obtidos durante as visitas técnicas e entrevistas realizadas. Esses conteúdos confrontados com a documentação técnica disponível sobre essas empresas.

No **capítulo 5**, intitulado **MODELO PARA SISTEMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA**, são apresentados, descritos, analisados e avaliados os elementos essenciais para sistematização e estruturação do modelo proposto, elaborado tendo com referência os conteúdos abordados nos capítulos anteriores. Também é

apresentada os resultados da avaliação desse modelo, realizada por profissionais experientes do segmento de geração hidrelétrica no Brasil.

O **capítulo 6**, intitulado **CONSIDERAÇÕES FINAIS**, abrange as conclusões da pesquisa e as sugestões para futuros trabalhos acadêmicos. Neste capítulo, o problema central da pesquisa e os objetivos são respondidos, as hipóteses são corroboradas ou refutadas e sugestões para outras investigações científicas são propostas.

CAPÍTULO 2: MANUTENÇÃO, CONHECIMENTO E ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O ciclo de vida dos sistemas técnicos é apresentado na literatura como o espaço de tempo decorrido desde a concepção do produto até o seu descarte, passando pelas fases de projeção, fabricação e uso. O contexto desta tese é a fase de uso, especificamente voltada para a proposição de um modelo de gestão para sistematização da atualização tecnológica dos sistemas técnicos, considerando-se também o processo de extensão da vida útil.

Muitos são os conteúdos de embasamento teórico e empírico no campo da Engenharia, com foco na Engenharia de Manutenção e Engenharia de Projeto, relacionados ao processo de atualização tecnológica. A gestão de ativos físicos, as metodologias de manutenção e as relações com a engenharia de manutenção e com a aplicação do gerenciamento de projetos na instalação de sistemas técnicos, são exemplos de conteúdos associados ao tema.

A evolução tecnológica dos sistemas técnicos se integra à gestão de ativos físicos, nestes termos, adequando procedimentos e recursos de manutenção, com a finalidade de se contar com equipamentos no estado da arte dos e, conseqüentemente, serem alcançados melhores resultados em produtividade para as organizações. A gestão do conhecimento compõe este cenário de estratégias voltadas para a excelência empresarial.

2.2 MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

Na visão contemporânea da gestão dos ativos físicos, a função manutenção está integrada às decisões organizacionais em importantes segmentos do negócio como segurança, integridade ambiental, eficiência energética, qualidade do produto, disponibilidade, confiabilidade e custos operacionais, como indicam autores como Cholasuke *et al.* (2002).

Com base na revisão bibliográfica foi possível observar conceituações complementares para a função manutenção, destacando-se: a combinação de ações

voltadas para a prevenção de falha; a preservação da função operacional e a recuperação em caso de ocorrência de falha, incluindo-se também a dimensão humana e a otimização de custos. Estes aspectos são encontrados nas definições apresentadas na NBR 5462 da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas e na norma da AFNOR - *Association Française de Normalisation*, esta última também citada por autores como Monchy (2003), Moubray (2000) e Slack *et al.* (1997).

Especificamente, para o caso das usinas hidrelétricas, de maneira geral a função manutenção está estruturada em duas grandes áreas: a execução da manutenção e a engenharia de manutenção.

2.2.1 Engenharia de Manutenção

Segundo Pinto e Xavier (2001), no momento em que a estrutura de manutenção de determinada instalação estiver utilizando e analisando dados, realizando intervenções de forma preventiva, estudos e proposição de melhorias, está praticando engenharia de manutenção. Sob outro ponto de vista, conforme observam estes autores, pode-se entender a engenharia de manutenção como a área promotora da integração e da padronização das atividades de manutenção, atuando como facilitadora da transferência e consolidação das tecnologias de manutenção.

Para Monchy (1989), as principais atividades que compõem a engenharia da manutenção são: o planejamento e o gerenciamento dos equipamentos e sistemas em operação, atendendo aos propósitos para os quais os equipamentos se destinam, dentro de requisitos de confiabilidade, manutenibilidade, disponibilidade e qualidade estabelecidos, sob restrições de custo compatíveis.

Como base nesses referenciais, conforme apresentado por Dhillon (2002), podem ser listadas as principais atividades desenvolvidas pela engenharia de manutenção, quais sejam: a definição e atualização do plano de manutenção; a normatização de procedimentos de manutenção; o controle e atualização do arquivo técnico; o desenvolvimento de fornecedores; a realização de estudos de melhoria dos processos de manutenção e de desempenho dos equipamentos; o apoio técnico e treinamento às equipes de execução da manutenção; a definição e especificação de sobressalentes; e, a execução de ensaios e testes especiais.

Neste sentido, a engenharia de manutenção atua constantemente no desenvolvimento e implementação de soluções para as atividades de manutenção e sua logística. Busca, também, a melhoria contínua e sustentável do desempenho da manutenção, identificando tendências, com vista a atingir um padrão classe mundial.

Sobre o assunto, Kelly (1984) defende que existem três mecanismos principais de controle exercidos pela engenharia de manutenção, quais sejam: o controle do trabalho; o controle das condições operativas do equipamento; e, o controle de custos. Cada um desses tipos de controle é executado de forma distinta. O controle do trabalho se refere à análise das manutenções corretivas e preventivas realizadas e realimentação para o processo de execução; o controle das condições operativas do equipamento se baseia no histórico das manutenções; e, o controle de custos é realizado a partir da avaliação dos custos incorridos no processo de manutenção. O autor observa ainda a necessidade de realizar-se um controle complementar envolvendo os materiais sobressalentes.

No caso específico do setor elétrico um outro componente de custos a ser considerado neste contexto é denominado custo das restrições, ou seja, custos extras de aquisição de geração adicional ou importação de energia devido ao não cumprimento do contrato de fornecimento de energia elétrica em determinado período.

Já autores como Endrenyl (2001) observam que os principais métodos de análise utilizados nas atividades de engenharia de manutenção, são: FMEA - *Failure Modes and Effect Analysis*; FTA - *Failure Tree Analysis*; LCC - *Life Cycle Cost* e Análise de Confiabilidade; Diagrama de *Ishikawa* e Seis Sigmas. Além disso, também é citada pelo autor a aplicação da metodologia MCC - Manutenção Centrada em Confiabilidade.

Um dos principais métodos de análise utilizados em manutenção é a análise FMEA, em português denominada Análise dos Modos e Efeitos de Falha, desenvolvida em 1963 durante a missão Apollo, como comentam Puente *et al.* (2002). A agência norte-americana NASA - *National Aeronautics and Space Administration* desenvolveu a FMEA para identificar, de forma sistemática, falhas potenciais em sistemas, processos ou serviços, identificar seus efeitos, suas causas e, a partir disso, definir ações para reduzir ou eliminar o risco associado a essas falhas.

Segundo Palady (1997) a FMEA é um método qualitativo e analítico que estuda os modos de falha que interferem no desempenho da função de um determinado item e os respectivos efeitos gerados por esses modos de falha. Entenda-se item, neste contexto, como qualquer ativo industrial representado na forma de um componente, sistema, serviço ou processo.

Para Sakurada (2001), o modo de falha é a expressão utilizada para caracterizar o processo e o mecanismo de falha, devendo ser entendido como uma propriedade inerente a cada item, visto que cada item possui características particulares. Observa-se ainda que determinado item pode apresentar diferentes modos de falha e que, um determinado modo de falha e seu efeito, tornam-se mais ou menos evidentes, dependendo da função que o item está desempenhando. A falha é, portanto, a percepção do não cumprimento da função e o efeito da falha a maneira como o modo de falha se manifesta, ou ainda, a forma de comunicação entre o modo de falha e o agente que está monitorando (sensor, manutentor ou operador).

Quando se agrega a criticidade à análise FMEA tem-se a denominada FMECA - *Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*, ou Análise dos Modos de Falha, Efeitos e Criticidade, segundo a *Military Standard MIL-STD-1669A*. A aplicação da FMECA requer cálculo de um índice de criticidade com base na expressão, apresentada a seguir, caracterizando-se na diferença fundamental em relação à análise FMEA.

$$\boxed{\text{Criticidade} = \text{Ocorrência} \times \text{Severidade} \times \text{Detecção}} \quad (2.1)$$

Nesses termos, a parcela referente à ocorrência depende de uma avaliação da probabilidade da falha ocorrer, a parcela correspondente à severidade é a estimativa do impacto dos efeitos da falha, ou seja, a gravidade desses efeitos, enquanto a parcela referente à detecção corresponde à avaliação da capacidade de ser constatada a falha. Para a determinação da ocorrência, a severidade e a detecção é estabelecida uma escala, de um valor máximo a um valor mínimo, de tal forma que seja possível valorar o índice de criticidade. Sendo assim, segundo Stamatis (2003), a FMECA indica o grau de intensidade com que o modo de falha pode acarretar maior risco para a operação do equipamento ou a utilização do produto.

Um outro método de análise de falhas é a FTA - *Failure Tree Analysis*, ou Análise da Árvore de Falha, que relaciona as causas que conduzem a um dado efeito, utilizando-se de uma representação gráfica que associa eventos e portas lógicas. A FTA, para Contini (1995), é uma técnica dedutiva formalizada, que permite a investigação das possíveis causas da ocorrência de estados pré-identificados e indesejados, associados a um comportamento anormal do sistema.

Como observa Sakurada (2001), além de facilitar a análise da confiabilidade de sistemas, esta metodologia permite relacionar a causa e o efeito dos eventos, possibilitando obter um maior conhecimento do funcionamento do sistema e dos mecanismos das falhas associadas. Já para Billinton e Allan (1987), a FTA é freqüentemente utilizada como um método de avaliação qualitativa, para auxiliar a compreensão a respeito da falha de um sistema e para identificar que medidas podem ser adotadas para que as causas da falha sejam evitadas. Observa-se que, ao se proceder uma avaliação quantitativa utilizando-se a análise FTA é necessário contar-se com os dados suficientes e precisos de confiabilidade associados a cada evento.

Por sua vez, a análise LCC - *Life Cycle Cost*, ou Custo do Ciclo de Vida do Equipamento, envolve segundo Blanchard *et al.*(1995) todos os custos associados ao ciclo de vida de um item em análise, quais sejam: os custos de pesquisa e desenvolvimento para a concepção do produto; os custos de produção e construção; os custos de operação e manutenção; e, os custos de descarte ou de retirada de operação. Esta análise permite determinar por quanto tempo é economicamente atrativo manter-se um determinado equipamento em funcionamento.

Uma metodologia que tem sido aplicada por diversas empresas é a MCC - Manutenção Centrada em Confiabilidade, também denominada RCM³. Conforme abordado por Moubray (2000), esta metodologia está estruturada de forma a garantir que o equipamento desenvolva as funções requeridas, em conformidade com os padrões de especificação para o qual foi projetado, levando em consideração o seu contexto operacional.

³ RCM - *Reliability Centred Maintenance* termo utilizado por Nowlan e Heap (1978) e adotado por Moubray (2000). Este termo é usado no Brasil, como MCC - Manutenção Centrada em Confiabilidade.

Para a sua aplicação, dentre outros aspectos, devem ser consideradas, sistematicamente, algumas questões básicas, em relação a cada um dos itens em análise, conforme indicado no QUADRO 2.1.

ITENS DE ANÁLISE	QUESTÕES BÁSICAS
Identificação das funções	Quais são as funções e os padrões de desempenho do equipamento no contexto operacional atual?
Identificação das falhas funcionais	De que forma o equipamento falha em cumprir suas funções?
Identificação dos modos de falha	Como ocorre a falha funcional?
Identificação dos efeitos das falhas	De que maneira o modo de falha se manifesta?
Identificação das conseqüências das falhas	Qual é a relevância de cada falha?
Definição das tarefas de manutenção	O que pode ser feito para prevenir a falha?
Decisão em rever ou operar até a falha	O que pode ser feito se não for encontrada uma tarefa preventiva adequada?

QUADRO 2.1 QUESTÕES BÁSICAS PARA APLICAÇÃO DA MCC

Fonte: adaptado da Norma JA1011 (SAE, 1999).

A partir da utilização da seqüência de questões básicas, conforme Bertling *et al.* (2005), são aplicados algoritmos para a avaliação de conseqüências e de seleção das formas de manutenção (preventiva baseada no tempo ou baseada na condição, corretiva e tarefa de busca de falha) mais adequadas a cada modo de falha, obtendo-se o plano de manutenção a ser implantado, considerando-se os aspectos técnicos e econômicos.

A MCC, por ser adotada por empresas de diversos setores industriais, tem recebido atenção crescente, ao focar as funções dos equipamentos e sistemas, em seu contexto operacional, os modos de falhas e suas conseqüências. Caracterizando-se, assim, como uma metodologia eficaz para a definição estruturada dos planos de manutenção. Este posicionamento é confirmado nos resultados de algumas pesquisas empreendidas pela

ABRAMAN (2007) nos últimos anos. O QUADRO 2.2 apresenta o resultado da pesquisa realizada em 2007, onde a MCC é apresentada como uma das ferramentas utilizadas para promover a qualidade na manutenção.

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

QUADRO 2.2 EVOLUÇÃO DA UTILIZAÇÃO DA MCC

Fonte: Adaptado Abramam (2007)

A aplicação desta metodologia requer ainda a adoção de uma seqüência lógica de etapas que compreende: a delimitação do sistema objeto da aplicação; a análise funcional, para definição das funções de todos os seus principais componentes e as possíveis falhas funcionais associadas a essas funções; a utilização da FMEA aplicada às falhas funcionais; e, o uso de diagramas de decisão específicos para a definição do plano de manutenção (BACKLUND e AKERSTEN, 2003; SMITH, 1992; MOUBRAY, 2000).

Para o desenvolvimento das etapas da MCC é recomendável que seja constituída uma equipe multidisciplinar de trabalho. Essa equipe deve ser composta por especialistas, técnicos ou engenheiros, com pleno conhecimento e experiência em atividades nas áreas: elétrica, mecânica e eletrônica, preferencialmente com atuação nas atividades de execução e a engenharia de manutenção, a operação e projeto de equipamentos (NUNES, 2001). Observa-se também que, para Smith (1992), o êxito dessa metodologia exige um planejamento eficaz de todos os recursos existentes, o que pressupõe a priorização de formas de gestão voltadas para a valorização do conhecimento.

Segundo Blanchard *et al.* (1995), as análises de FMEA/FMECA, FTA, LCC além de serem utilizados nos estudos de engenharia de manutenção, compõem o conjunto de métodos aplicados na análise do desenvolvimento de projetos.

2.2.2 Atributos da manutenção

Conforme Blanchard *et al.* (1995), as principais métricas utilizadas na análise da manutenção são apresentadas no QUADRO 2.3.

ATRIBUTO	MÉTRICA
Confiabilidade	Taxa de Falha - $\lambda(t)$
	Tempo Médio entre Falhas - MTBF
	Tempo Médio até a Falha - MTTF
	Tempo Médio até a Primeira Falha - MTFF
Mantenabilidade	Tempo Médio de Manutenção Corretiva - Mct
	Tempo Médio de Manutenção Preventiva - Mpt
	Tempo Médio de Manutenção - MTBM
	Tempo Médio de Reparo - MTTR
Disponibilidade	Disponibilidade Operacional - Do

QUADRO 2.3 PRINCIPAIS MÉTRICAS DA MANUTENÇÃO

Fonte: Adaptado de Blanchard *et al.* (1995)

Seixas (2002) observa que na literatura corrente encontram-se várias definições para confiabilidade. A NBR 5462/1994, por exemplo, define confiabilidade como a probabilidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo. Dias (1995), ao analisar as diversas definições para o atributo confiabilidade, indica quatro possíveis estruturas fundamentais presentes nestas definições, quais sejam: a probabilidade; o comportamento adequado; o período de uso; e, as condições de uso.

Juran e Gryna (1991), por sua vez, ao apresentarem a definição de confiabilidade, fazem uma distinção entre confiabilidade intrínseca e confiabilidade operacional. De

acordo com esses autores, a confiabilidade intrínseca é aquela definida pela qualidade do projeto. Já a confiabilidade operacional é atingida durante o uso.

Ao analisar-se o comportamento operacional de um determinado equipamento ou conjunto de equipamentos deve-se assumir que se uma falha ainda não ocorreu em um determinado período de observação, deverá ocorrer num instante futuro. Em vista disso, a análise e o tratamento sistemático da ocorrência de falhas tem sido motivo de preocupação constante tanto de projetistas como dos profissionais de manutenção, como observa Dias (2004).

Neste sentido, Billinton e Allan (1987) afirmam que a probabilidade de ocorrência da falha é mais facilmente obtida em termos da taxa instantânea de falha, ou simplesmente taxa de falha, como segue:

Portanto, de forma geral:

$$\text{Taxa de falha} = \frac{\text{Número total de falhas no período considerado}}{\text{Total de horas em operação no período considerado}} \quad (2.2)$$

A taxa de falha assim representada está relacionada com a frequência de ocorrência de falhas, ou ainda a razão entre o número de falhas e um período de tempo. A unidade normalmente utilizada para a taxa de falha é: falhas por hora, por milhares de horas, ou ainda percentualmente a uma determinada unidade de horas.

Para a análise das métricas da confiabilidade associadas aos tempos médios de falha, conforme comenta Scapin (1999) é necessário considerar-se a existência de dois estados de funcionamento (equipamento operando ou em estado de falha), conforme ilustrado na FIGURA 2.1.

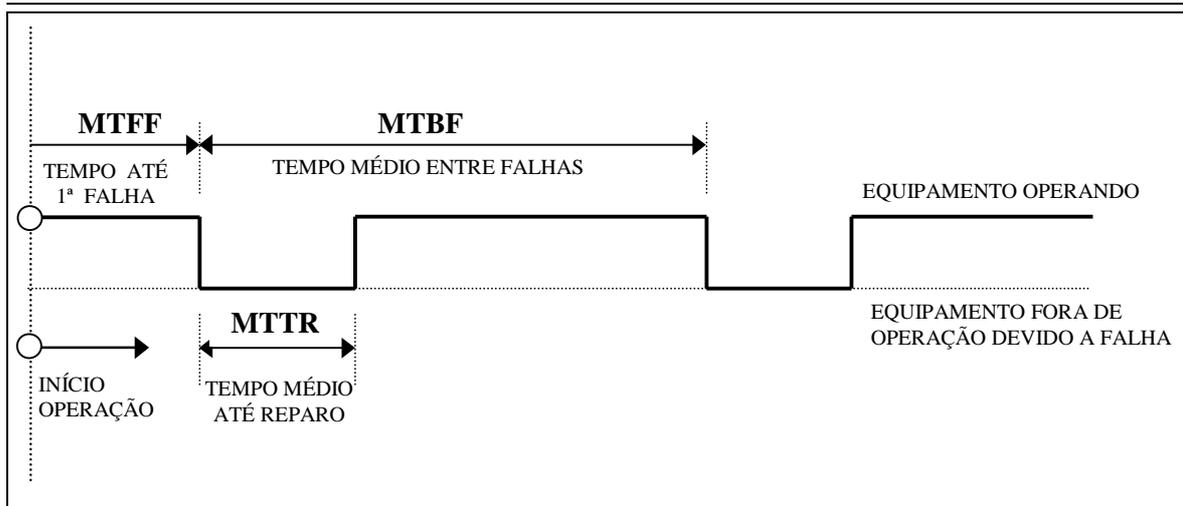


FIGURA 2.1 CONDIÇÃO DE OPERAÇÃO PARA ITENS REPARÁVEIS

Fonte: adaptado de Dias (2004).

Para o equipamento reparável, uma métrica de confiabilidade é o MTBF - *Mean Time Between Failure*, ou tempo médio entre falhas, e se refere ao espaço de tempo entre falhas somado ao tempo necessário para a execução do reparo ou recolocação. O tempo médio necessário para o equipamento ser reparado é denominado MTTR - *Mean Time to Repair*, ou tempo médio de reparo. O MTTR inclui além do tempo de manutenção, preventiva ou corretiva, o atraso devido à logística e às atividades administrativas inerentes ao reparo. Se o equipamento é não-reparável, o espaço de tempo compreendido entre dois instantes de bom funcionamento é dado pelo tempo de uso transcorrido até a falha ocorrer, designado de MTTF - *Mean Time to Failure*, ou tempo médio até a falha.

Na grande maioria dos casos, podem ser estabelecidos dois estados prováveis para o comportamento do equipamento: ou o equipamento está bom, em funcionamento, em operação; ou está ruim, fora de serviço, fora de operação. Se o equipamento está em operação apresenta uma probabilidade de falhar, sendo a métrica que define essa probabilidade a taxa de falha - $\lambda(t)$. Se o equipamento não está em operação, devido à ocorrência de uma falha, apresenta probabilidade de ser recolocado em serviço através de ações de manutenção, sendo a métrica para esta situação a taxa de reparo - $\mu(t)$.

Desta forma, concomitantemente ao permanente esforço de evitar a ocorrência de falhas faz-se necessário atuar quando a falha ocorre. Segundo Helman e Anderey (1995) as conseqüências das falhas devem ser avaliadas, de forma a implantar ações pró-ativas

visando à minimização de sua repercussão, como também planejar ações para o restabelecimento da condição operativa do equipamento após a ocorrência da falha.

Os procedimentos de recuperação, controle e acompanhamento das atividades envolvidas, aliados a uma logística adequada, compõem as ações indispensáveis para que o retorno à condição de normalidade operativa do equipamento, no menor tempo possível com custo adequado. Essas ações englobam o conceito de manutenibilidade, também definido pela NBR 5462, como a capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar as suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios prescritos.

Na FIGURA 2.2 apresenta-se, de forma esquemática, esses dois possíveis estados, indicando a relação existente entre a confiabilidade e a manutenibilidade.

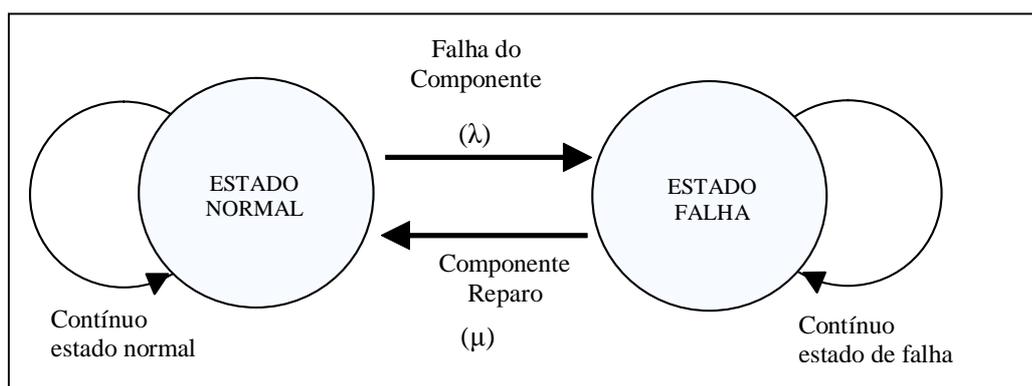


FIGURA 2.2 TRANSIÇÃO DE ESTADOS PARA ITENS REPARÁVEIS

Fonte: adaptado de Kumamoto e Henley (2000)

A definição de disponibilidade advém da combinação confiabilidade e manutenibilidade, supondo-se que os recursos externos requeridos estejam assegurados. Assim, segundo a NBR 5462, a disponibilidade é a capacidade de um item estar em condições de executar certa função, em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado.

Nesses termos, é possível estabelecer-se uma correlação entre as métricas de confiabilidade, como segue:

$$\text{MTBF} = \text{MTTF} + \text{MTTR} \quad (2.3)$$

E desta forma, considerando-se ainda estas grandezas, pode-se representar a grandeza disponibilidade operacional (D_o), como sendo:

$$D_o = \text{MTBF} / \text{MTBF} + \text{MTTR} \quad (2.4)$$

Ou ainda, quando a análise for realizada segundo a distribuição exponencial, os tempos médios podem ser representados pelas respectivas taxa de falha $\lambda(t)$ e taxa de recolocação $\mu(t)$.

$$D_o = \lambda(t) / \lambda(t) + \mu(t) \quad (2.5)$$

A disponibilidade operacional pode ainda ser obtida pela relação entre as horas em que o equipamento está efetivamente disponível para a operação em um determinado período tempo e esse período de tempo. No caso do setor elétrico, o cálculo da disponibilidade operacional é realizado conforme a seguinte expressão:

$$D_o = \text{HS} + \text{HPCA} / \text{HP} \cdot 100 \quad (2.6)$$

Onde:

D_o = a disponibilidade operacional, em porcentagem.

HS = horas em serviço, incluindo as horas em que a unidade geradora está parada, mas em disponibilidade operativa.

HPCA = horas fora de serviço em disponibilidade operativa

HP = horas do período considerado.

Por outro lado, a indisponibilidade é calculada computando-se as horas em que o equipamento se encontra fora de serviço, seja devido à retirada de operação para execução de manutenção preventiva (denominada indisponibilidade programada) ou devido à ocorrência de falha (denominada indisponibilidade forçada).

Apresenta-se, como exemplo, no QUADRO 2.4, os valores de indisponibilidade forçada (devido à falhas repentinas) e indisponibilidade programada, relativos a 446 unidades geradoras de usinas hidrelétricas, compilados pela ABRAGE - Associação Brasileira de Empresas Geradoras de Energia Elétrica, constante de seu relatório estatístico do ano 2006.

Os dados apresentados no QUADRO 2.4 demonstram o bom nível de desempenho das instalações hidrelétricas do setor elétrico brasileiro, quanto à indisponibilidade forçada, como também no que se refere à disponibilidade operacional. Além disso, pode ser observada a ênfase dada à prevenção, representada pelos valores praticados de indisponibilidade programada que se referem à indisponibilidade devido à execução de manutenção preventiva.

Faixa de Potência (MW)	Indisponibilidade Forçada	Indisponibilidade Programada	Indisponibilidade Total	Disponibilidade Operacional
10 - 30	0,33	5,92	6,25	93,75
30,1 - 60	1,27	11,15	12,41	87,59
60,1 - 100	0,89	12,33	13,22	86,78
100,1 - 200	1,03	7,06	8,09	91,91
200,1 - 400	1,19	5,80	6,99	93,01
> 400	0,61	4,49	5,11	94,89

QUADRO 2.4 DISPONIBILIDADE E INDISPONIBILIDADE USINAS HIDRELÉTRICAS

Fonte: adaptado de Abrage (2006).

Um outro atributo para a gestão da manutenção a ser citado é a dependabilidade. Este termo é abordado na literatura especializada como sendo uma dimensão que engloba a confiabilidade, a manutenibilidade e disponibilidade. Para Blanchard *et al.* (1995), dependabilidade é “[...] a probabilidade que um sistema completará sua missão, dado que o sistema estava disponível para iniciar sua missão” (p.128).

Assim, para Blanchard *et al.* (1995), a dependabilidade pode ser expressa por:

$$D = R_o + M_o (1 - R_o) \quad (2.7)$$

Onde:

R_o = confiabilidade operacional

M_o = manutenibilidade operacional

E, por conseguinte,

$(1 - R_o)$ = probabilidade de falha.

A NBR ISO 9000-4 apresenta a dependabilidade como uma das características de desempenho do produto, considerada como um dos principais fatores que contribuem para a sua qualidade. Nesta norma é apresentada uma outra definição de dependabilidade, como um termo coletivo usado para descrever o desempenho quanto à disponibilidade e seus fatores de influência, tais como: confiabilidade, manutenibilidade e logística de manutenção.

A dependabilidade é definida pelo EPRI (1999), instituto de pesquisa internacional do setor de energia elétrica dos Estados Unidos, com sede em Palo Alto – Califórnia, como o: “[...] termo coletivo utilizado para descrever o desempenho de um sistema que considera cada um dos seguintes fatores: confiabilidade, manutenibilidade, disponibilidade e segurança” (p.6). Nota-se a inclusão da dimensão segurança, ao se comparar com o conceito apresentado por Blanchard *et al.* (1995), o que corrobora a tendência em agregar-se o gerenciamento de risco à análise desempenho operacional das instalações.

Na seqüência, na FIGURA 2.3, apresenta-se uma visão integrada dos atributos (confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade) e a correlação entre esses atributos para um sistema técnico reparável. Observa-se também o reflexo do conjunto de ações de manutenção para os ganhos em produtividade da organização.

As ações de manutenção voltadas para o funcionamento ótimo dos sistemas técnicos representam a garantia da confiabilidade, como também a presteza no reparo dos sistemas técnicos, conduz a resultados positivos para a manutenibilidade. Estas ações se refletem em ganhos para a disponibilidade operacional, e como consequência, para a

produtividade da organização. As contribuições da área de manutenção para melhoria do projeto dos sistemas técnicos, por exemplo, podem se dar com a utilização de sensores e redundâncias representando incremento para a confiabilidade, como também a partir da adequação das especificações técnicas resultando no estabelecimento de requisitos voltados para a melhoria da manutenibilidade. Já a aumento da eficiência operacional, a partir da utilização mais adequada dos recursos, e melhoria contínua da qualidade dos produtos também contribuem significativamente para a obtenção de melhores resultados em disponibilidade operacional e produtividade. Nestes termos, pode-se inferir que as atividades desenvolvidas na etapa de projeto são influenciadoras dos resultados de desempenho a serem alcançados, tornando imprescindíveis as contribuições técnicas da área de manutenção.

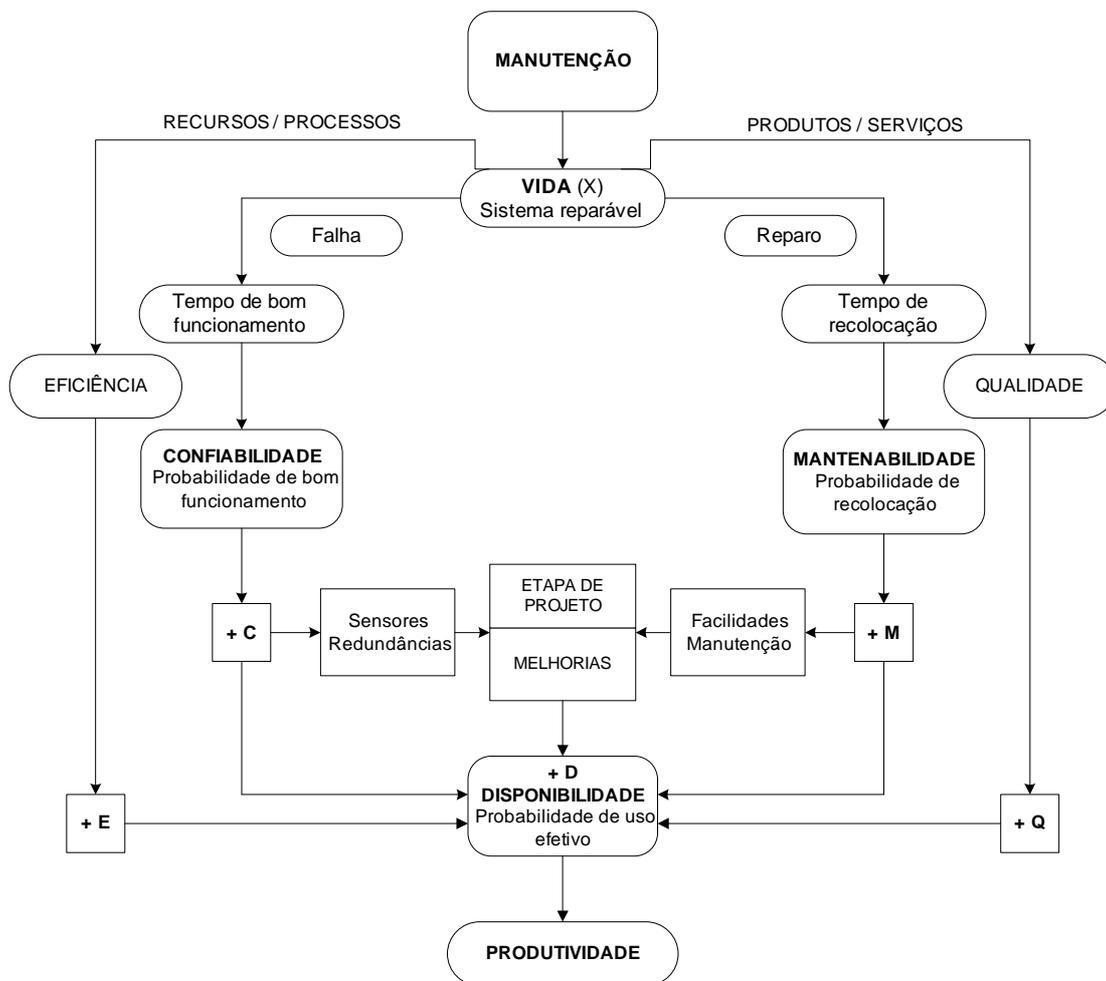


FIGURA 2.3 CONFIABILIDADE, MANTENABILIDADE E DISPONIBILIDADE

Fonte: adaptado de Dias (2004)

Da mesma forma, a melhoria na produtividade requer a atuação da área de manutenção tanto no desenvolvimento de suas atividades rotineiras quanto no processo de melhoria do desempenho operacional das instalações na etapa de projeto. A viabilidade da contribuição da manutenção está apoiada em sua familiaridade com os equipamentos obtida na realização das tarefas inerentes ao processo de manutenção, na identificação de problemas existentes e potenciais, na análise do histórico de manutenção e na identificação das necessidades para a execução da atividade de manutenção. A este respeito Fernández (2003) afirma que a participação da área de manutenção no desenvolvimento do projeto se justifica para que o projeto se ajuste às condições locais e às condições de operação do equipamento, contribuindo também para a sua manutenibilidade futura.

No desenvolvimento da análise dos atributos da manutenção é importante considerar o mecanismo de degradação das funções que ocorre nos sistemas técnicos. Isto é, a análise do comportamento do equipamento ao longo de sua vida útil e a estimativa do período em que o equipamento não mais está apto a desempenhar a sua função satisfatoriamente.

2.2.3 Vida útil dos equipamentos

O período de vida útil refere-se à fase de uso do equipamento. Dias (2004) observa que as dispersões em relação ao período de uso do equipamento são melhor compreendidas quando estudadas em função da taxa de falha. Neste sentido, o comportamento da taxa de falha em relação ao tempo de uso do equipamento pode ser representada pela curva da taxa de falha, comumente denominada curva da bacia ou curva da banheira.

Conforme pode ser observado na FIGURA 2.4, esta curva pode ser delimitada, de forma ideal, em três períodos distintos. Um período inicial 1 (denominado juventude), caracterizado por uma taxa de falha decrescente; um período de vida útil do equipamento 2, com taxa de falha constante; e um período final de vida útil 3 (deterioração), quando a taxa de falha volta a aumentar.

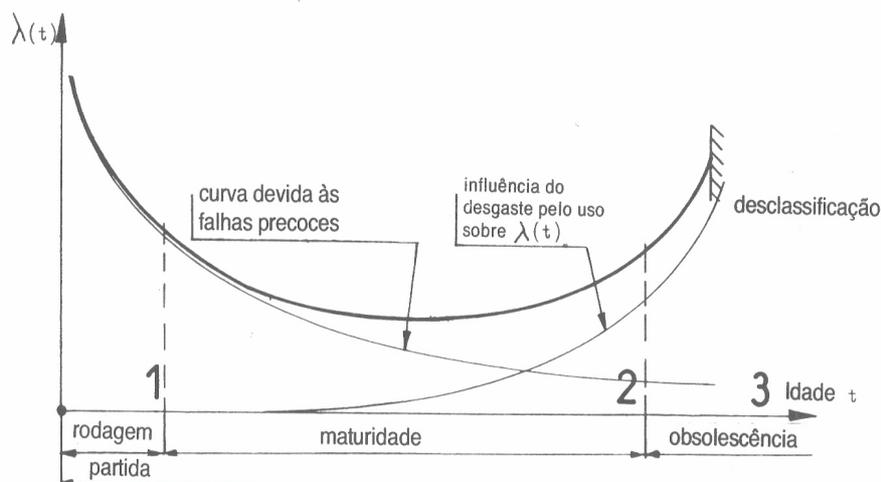


FIGURA 2.4 COMPORTAMENTO DA TAXA DE FALHA

Fonte: adaptado de Monchy (2003).

O período 1, indicado na FIGURA 2.4, é característico da ocorrência de falhas prematuras e está principalmente associado a erros no projeto, ao processo de fabricação ou ao processo de montagem, fazendo com que, em alguns casos, o equipamento necessite passar por uma etapa de amaciamento ou de adequação ao uso. Assim, o período de falhas de juventude, como também o número de falhas, pode ser reduzido a partir do aprimoramento das atividades de projeto e do controle de qualidade nas etapas de fabricação e montagem.

O período 3, também demonstrado na FIGURA 2.4, representa a fase de desgaste e aponta para o descarte do equipamento, em função de haver-se atingido o seu limite de degradação. O equipamento deixou de desempenhar a função para o qual foi concebido ou o equipamento já atingiu o estágio limite de obsolescência tecnológica, exigindo o desenvolvimento de um projeto de atualização tecnológica.

No período de vida útil, apresentado ainda na FIGURA 2.4 como período 2, se observa que a taxa da falha apresenta menores valores e tem comportamento mais constante. Nessa etapa, as falhas ocorrem aleatoriamente, de forma geral em função de alguma sobrecarga externa.

Segundo Monchy (2003), para componentes reparáveis, típicos de sistemas mecânicos, o período de vida útil é mais restrito, o que não é o caso de componentes não-

reparáveis, como circuitos eletrônicos, que apresentam um período de vida útil relativamente maior, embora as falhas neste período se comportem de forma aleatória.

A curva da taxa de falha é uma idealização, nem sempre representativa da realidade. Conforme afirma Moubray (2000), os estudos desenvolvidos pela indústria aeronáutica questionaram a associação da idade dos equipamentos com a confiabilidade, ou seja, a extensão e a frequência das intervenções programadas (ações preventivas) não eram condicionantes para a garantia de desempenho operacional.

Sobre o assunto, Castro (1997) comenta que, em muitos casos, a probabilidade de ocorrência de falha pode ao contrário aumentar, pois algumas intervenções programadas além de desnecessárias e evasivas podem introduzir falhas e os distúrbios em sistemas técnicos, a princípio estáveis, e impactar os custos envolvidos na execução da manutenção. Com o que concorda August (1999), ao destacar que a confiabilidade não aumenta pela simples substituição de determinado componente, podendo até diminuir, enquanto os custos aumentam.

O questionamento quanto à pertinência da relação direta entre confiabilidade e idade do equipamento é reforçada pelo estudo apresentado por Nowlan e Heap (1978), que identificaram seis curvas padrão para representar o comportamento da variação da taxa de falha em relação à idade operacional para uma gama de equipamentos elétricos, eletrônicos e mecânicos, em uso nos aeronaves, conforme FIGURA 2.5.

Segundo Nowlan e Heap (1978), apenas 4% dos equipamentos se comportam conforme a curva padrão identificada como 'A'; ou seja, como a curva da taxa de falha. Como a curva 'B' se apresentam 2% dos equipamentos, 5% como a curva 'C'; 7% como a curva 'D'; 14% como a curva 'E'; e 68% como a curva 'F'. É possível concluir, com base nesses dados, que 89% dos equipamentos utilizados na indústria aeronáutica não apresentam falhas associadas à idade operacional. Para Siqueira (2005), este perfil de padrão de falhas foi confirmado pelo estudo denominado *Reliability Centered Maintenance Guide for Facilities and Collateral Equipment* publicado pela NASA em fevereiro do ano de 2000.

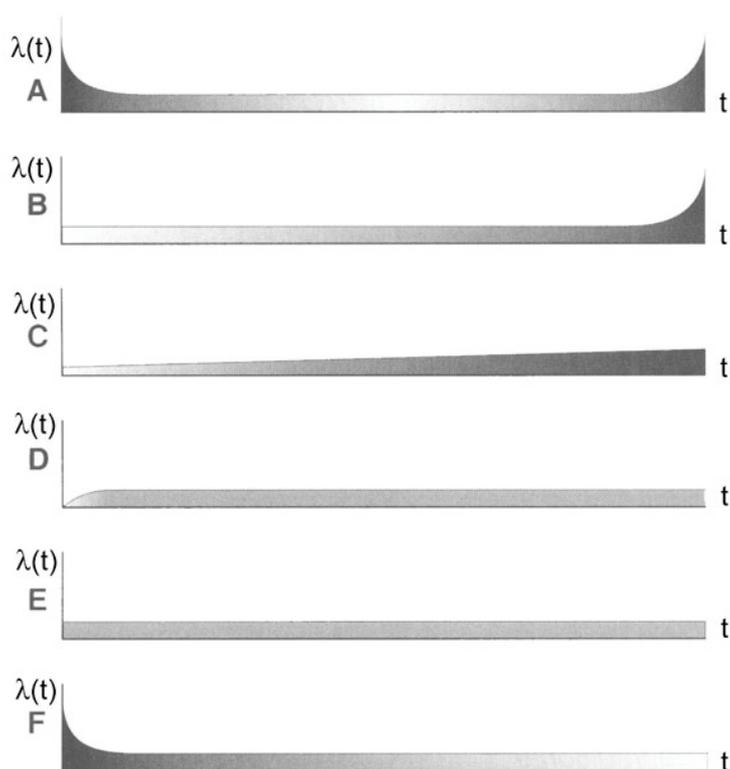


FIGURA 2.5 CURVAS PADRÃO DE FALHAS

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

As instalações industriais de uma forma geral não apresentam o mesmo perfil de equipamentos encontrado nas aeronaves, embora essa situação venha se modificando, com a intensificação do uso de componentes eletrônicos. Em consonância com essa observação, Moubray (2000) indica que o comportamento dos equipamentos recai cada vez mais nos padrões 'E' e 'F', na medida em que se tornam mais complexos.

Outro aspecto enfatizado pelos estudos de Nowlan e Heap (1978) é a caracterização de falha oculta. Definida como a falha que não se torna evidente caso ocorra, este tipo de falha pode trazer, em alguns casos, conseqüências sérias para o processo produtivo. Moubray (2000) apresenta dados estatísticos que indicam serem as falhas ocultas responsáveis pela metade dos modos de falhas ocorridos principalmente nos equipamentos eletrônicos. Cabe observar também que podem ainda existir situações, cuja falha ocorra sem que possa ser detectada, a menos que uma outra falha venha ocorrer.

Conforme recomenda a metodologia MCC, a política de manutenção a ser adotada para equipamentos suscetíveis a apresentar falha oculta é a utilização das denominadas tarefas de busca de falha, ou seja, incluir-se no plano de manutenção verificações funcionais periódicas nesses equipamentos. Porém, na realização da tarefa de busca de falha deve-se interferir o mínimo possível na instalação, evitando a possibilidade de inclusão involuntária de outra falha no equipamento. Por essa razão, a manutenção deve ser executada, preferencialmente, sem desconectar ou perturbar os equipamentos, devido à dificuldade de identificação se o equipamento foi colocado em operação, já em estado de falha, como observam Nunes e Souza (2001).

Autores como Yanjie *et al.* (2003) também discutem a utilização da tradicional curva da taxa de falha como o modelo mais adequado para representar o comportamento do equipamento durante a sua vida útil. Os autores desenvolveram estudos na indústria aeronáutica e enfatizam que a curva da taxa de falha caracteriza a confiabilidade, enquanto que a ‘curva em forma de concha’ representa a relação entre a manutenção e a vida útil do equipamento, vista sob um outro ângulo, o da manutenibilidade.

A curva em forma de concha é apresentada na FIGURA 2.6, onde no eixo das ordenadas tem-se a relação entre a quantidade de homens-hora despendidos em atividades de manutenção pelo número de horas de vôo da aeronave, e o tempo no eixo das abscissas.

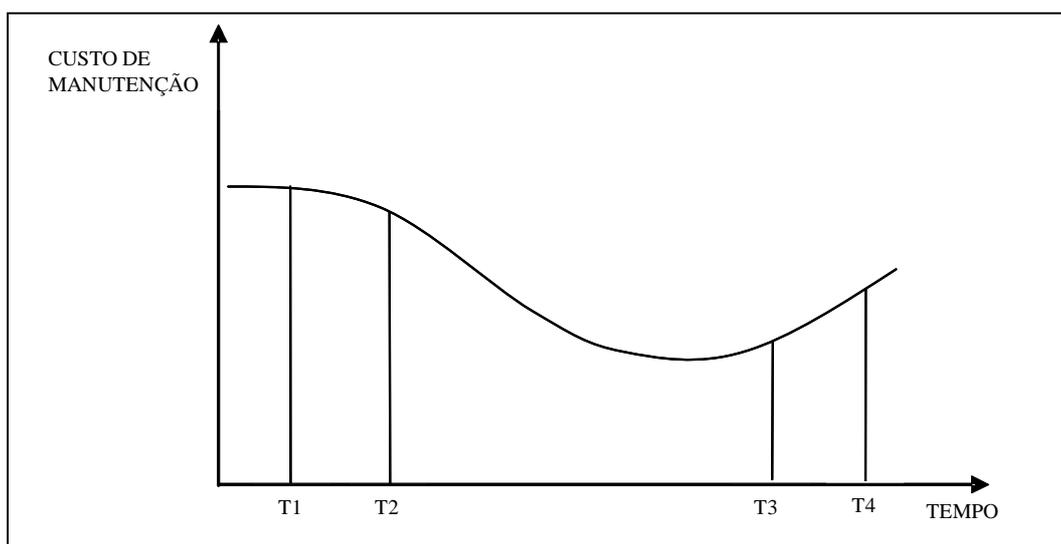


FIGURA 2.6 CURVA EM FORMA DE CONCHA

Fonte: Yanjie *et al.* (2003, p.7).

Conforme estes autores observam, pela análise da FIGURA 2.6 constata-se a existência de quatro períodos característicos no decorrer do tempo, denominados de estágio preliminar, de transição ou de amaciamento, de maturidade e de falha ou de declínio. Esta curva representa, portanto, a intensidade de mão de obra despendida em manutenção ao longo da vida útil do equipamento. Demonstra que as ações de manutenção se concentram no período inicial, diminuindo na medida em que o equipamento vai se ajustando ao uso, para o período final voltar a subir devido ao desgaste do equipamento.

2.3 A MANUTENÇÃO E O DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO

2.3.1 Evolução da manutenção

Nas últimas décadas atividade de manutenção tem vivenciado mudanças em decorrência principalmente da reação promovida como resposta aos requerimentos e expectativas das organizações. O profissional de manutenção tem de forma eficaz se posicionado, seja desenvolvendo e aprimorando técnicas e metodologias, seja se capacitando para fazer frente a estes desafios.

Destaca-se adicionalmente, que na etapa de concepção de projetos de atualização tecnológica a participação da área de manutenção é condição estratégica. Esta participação visa incorporar os aspectos de manutenção dos sistemas técnicos às premissas e requisitos técnicos destes projetos, direcionados para a garantia de resultados adequados de mantabilidade e confiabilidade. Por conseguinte, representa melhoria para o desempenho operacional.

Uma histórica particular vivenciou a indústria aeronáutica, no tocante à manutenção, que mais tarde repercutiu em todo o segmento industrial. Até o final dos anos de 1960, de forma geral a manutenção praticada na indústria aeronáutica era basicamente preventiva, embora focada no equipamento, demandando muitas tarefas de manutenção, com reflexos nos custos e no tempo de intervenção.

Segundo Moubrey (2000), a atualização tecnológica das aeronaves e também a perspectiva do aumento do número de unidades em operação exigiram um reexame dos processos de manutenção visando a segurança operativa destes equipamentos e a

racionalização dos custos operacionais das empresas aéreas. Em vista disso, a autoridade americana FAA - *Federal Aviation Agency* encomendou o desenvolvimento de uma metodologia que tivesse como base um processo racional e sistemático de análise.

Assim, o desenvolvimento da metodologia MCC, já citada, teve sua origem na indústria aeronáutica dos Estados Unidos. Os estudos desenvolvidos, a época, conduziram a uma importante alteração no enfoque da análise de manutenção, no sentido de priorizar-se a análise do equipamento tendo como referência a sua função

No tocante as empresas de energia elétrica, a década de 1960 marcou o início dos esforços na estruturação de ações para desenvolver-se uma gestão da manutenção, que atendesse a continuidade de suprimento, a qualidade de energia e minimização dos custos de suprimento de energia. A otimização da gestão dos processos de manutenção dependeu do desenvolvimento e aplicação de metodologias que resultaram em bons resultados em outros segmentos industriais.

Ressalta-se que a evolução ocorrida na área de manutenção do setor elétrico brasileiro, como nos demais segmentos industriais, deveu-se a transformação da função manutenção como parte integrante da estratégia organizacional, a partir de demandas empresariais internas e externas. Exemplos de demandas externas são fiscalização promovida pela ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica e a supervisão do ONS - Operador Nacional do Sistema. Estes órgãos acompanham o desempenho das empresas do setor elétrico, valendo-se a ANEEL da prerrogativa legal de adotar dispositivos de penalização caso indicadores de desempenho estabelecidos não se mantenham em patamar previamente contratado. O ONS, responsável pela operação do sistema interligado, coordena o despacho econômico da energia elétrica. Dentre os principais indicadores utilizados por estes órgãos para o acompanhamento do desempenho das empresas, podem ser citados: a disponibilidade operativa; a taxa de falha; a frequência; e, a duração das falhas.

2.3.2 Processo de gestão de ativos físicos

A utilização da denominação gestão de ativos físicos segue a tendência em se posicionar estrategicamente o gerenciamento da manutenção na organização. Conteúdos como gestão de riscos, preocupação com o meio ambiente, análise de custos, representam alguns dos importantes segmentos a serem incluídos nesta visão contemporânea da função manutenção. Como afirma Sabin (1996), o termo *asset management*⁴ tem sido usado principalmente nas indústrias de processo e geradoras de energia.

A norma britânica *British Standard PAS-55*, segundo Woodhouse (2003) define gestão de ativos físicos como a sistematização e coordenação de atividades e práticas por meio das quais uma organização otimiza o gerenciamento dos ativos e a *performance* associada aos riscos e às despesas durante o ciclo de vida, com o propósito de atender o planejamento estratégico organizacional. Já Azevedo (2001a) argumenta que a gestão de ativos físicos pode ser entendida como a gestão do ciclo total de vida do ativo industrial, no contexto estratégico da empresa, a fim de otimizar o desempenho da instalação e, em consequência, maximizar o retorno do investimento realizado.

As contribuições encontradas na literatura que se referem à gestão de ativos físicos apresentam as ações e técnicas a serem adotadas no processo de manutenção em forma de modelos gráficos com diferentes enfoques, embora basicamente relacionando o planejamento, a execução das atividades e análise de desempenho e de custos dos equipamentos.

Dhillon (2002) apresenta um modelo de gestão que contempla as principais ações técnicas empregadas de forma pró-ativa na gestão de ativos físicos. Este modelo, conforme observa o autor, tem como finalidade estender a vida útil dos sistemas técnicos, conforme FIGURA 2.7.

⁴ Asset management: termo técnico usado na literatura corrente como gestão de ativos físicos.

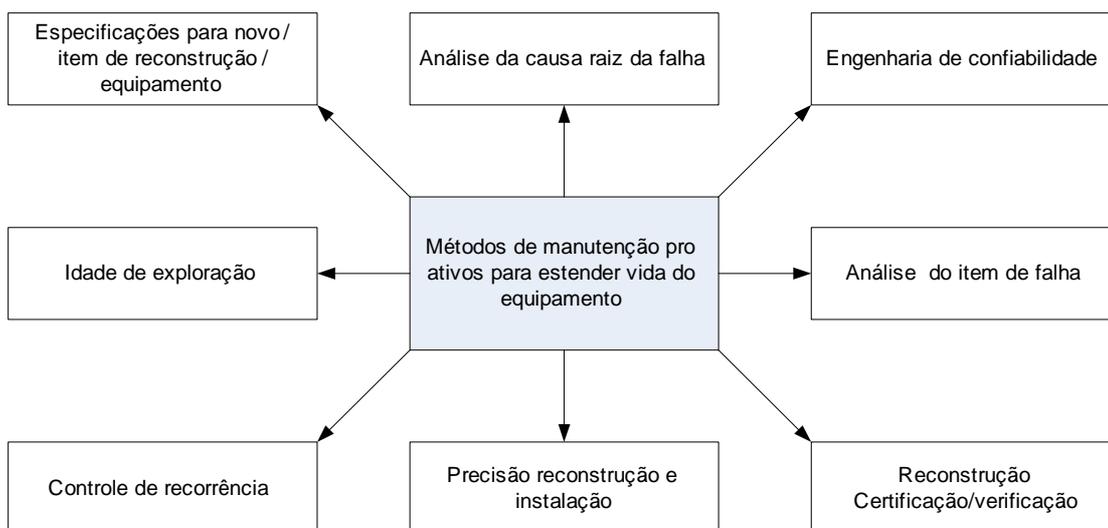


FIGURA 2.7 GESTÃO DE ATIVOS FÍSICOS PARA EXTENSÃO DA VIDA ÚTIL

Fonte: adaptado de Dhillon (2002).

Azevedo (2001b), por sua vez, sugere um modelo baseado no gerenciamento do ciclo de vida dos ativos físicos, visando otimizar o retorno do investimento realizado na implantação da instalação, conforme FIGURA 2.8. As ações relacionadas ao método de gerenciamento dos ativos físicos e às intervenções de manutenção são também representadas neste modelo, bem como a explicitação das atividades associadas à melhoria contínua do método e as atividades de apoio à manutenção.

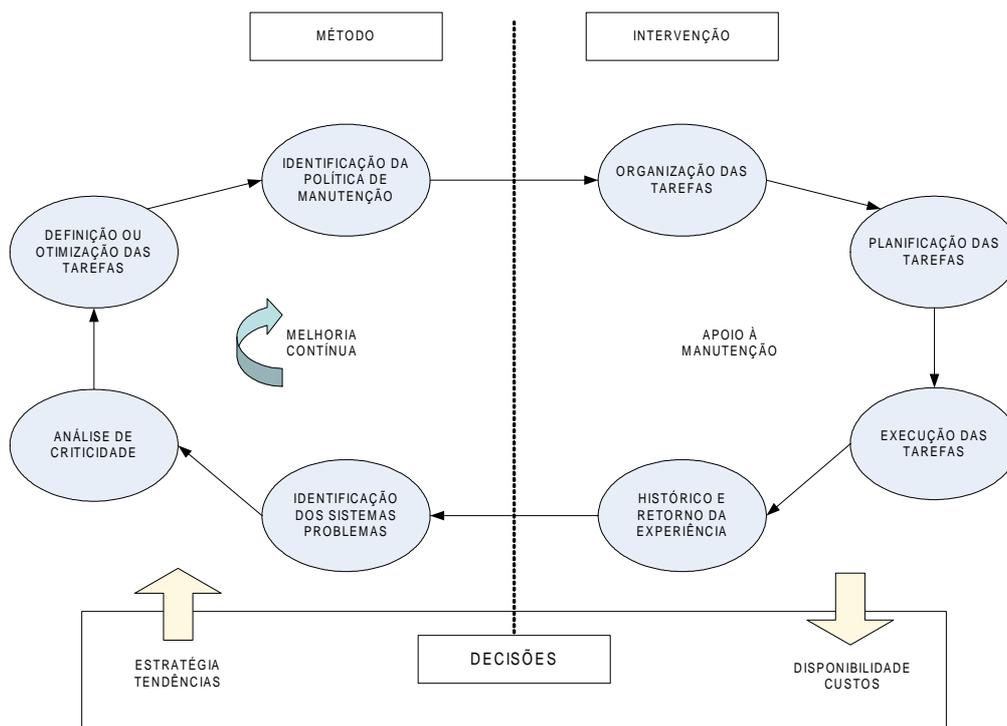


FIGURA 2.8 GESTÃO DE ATIVOS INDUSTRIAIS

Fonte: adaptado de Azevedo (2001b).

Já no informe técnico da Värmetenisk (2006), encontra-se a representação do processo de manutenção considerando-se os recursos necessários para o gerenciamento da manutenção, as atividades a serem desenvolvidas nesse processo e os resultados a serem obtidos. O planejamento, a programação e a execução da manutenção, dentre outras atividades, se encontram representados. Como também, as ações relacionadas à avaliação de melhoria do processo de manutenção, a análise de desempenho e de custos dos sistemas técnicos, o controle dos materiais a serem utilizados, e o registro histórico das ações de manutenção. Este processo é apresentado na FIGURA 2.9.

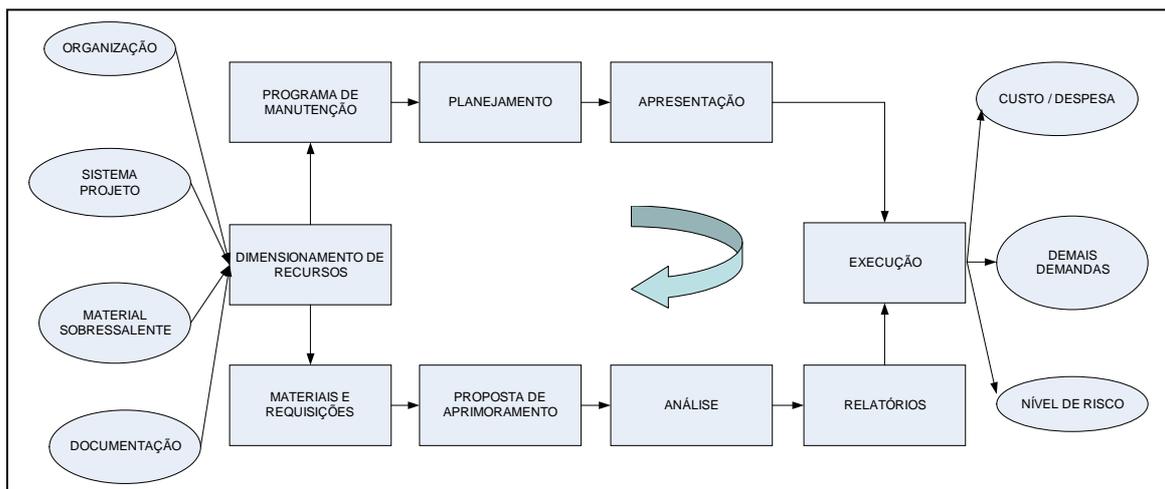


FIGURA 2.9 PROCESSO DE MANUTENÇÃO

Fonte: adaptado de Värmetenisk (2006).

Estas abordagens corroboram as afirmações de Coetzee (1999) e Waeyenbergh e Pintelon (2002) ao destacarem que o direcionamento das necessidades e ações da gestão dos ativos físicos, no contexto da organização, requer uma visão holística da função manutenção. Outros autores como Gits (1992), Vanneste e Wassenhove (1995), Hassanain *et al.* (2001) e Zhu *et al.* (2002) também propõem modelos para a gestão dos ativos físicos. No QUADRO 2.5 são apresentadas as características principais desses modelos.

Esses modelos e suas abordagens refletem a evolução do processo de gestão dos ativos físicos. Os principais fatores relacionados a essa evolução dizem respeito a posição estratégica ocupada pela função manutenção nas organizações contemporâneas, com o desenvolvimento de processos e técnicas de manutenção; com a intensificação de estudos relativos ao desgaste e controle das falhas e suas conseqüências; e, devido à introdução da análise econômica no processo decisório da manutenção.

MODELOS DE GESTÃO DE ATIVOS FÍSICOS	CARACTERÍSTICAS
Gits (1992)	Estabelece um modelo de manutenção a partir da definição de um conjunto de regras e requisitos
Vanneste e Wassenhove (1995)	Foco na análise da eficácia (detectar problemas e propor soluções) e eficiência (melhorias para o processo) das ações de manutenção com utilização de indicadores
Coetzee (1999)	Identifica dois processos: um estratégico (visão exterior) e um operacional (visão interior) integrando a manutenção com uma visão holística na organização
Hassanain <i>et al.</i> (2001)	Define as ações envolvidas no processo de manutenção com ênfase para o suporte de sistemas de informação, como forma de padronização de informações
Zhu <i>et al.</i> (2002)	Apresenta o processo de manutenção integrado ao negócio, associado ao planejamento estratégico organizacional, com suas dimensões em nível estratégico, tático e operacional
Waeyenberg e Pintelon (2002)	Propõe a customização de metodologias como MCC, TPM, Análise de Criticidade, considerando os aspectos técnicos e administrativos de cada organização

QUADRO 2.5 CARACTERÍSTICAS DE MODELOS DE GESTÃO DE ATIVOS FÍSICOS

Fonte: autores citados neste QUADRO 2.5

2.3.3 Implicações do desenvolvimento tecnológico na manutenção

Segundo afirma Pit (2006), o desenvolvimento tecnológico experimentado nos últimos anos tem levado as organizações a utilizar nos processos produtivos, de forma cada vez mais intensa, sistemas automatizados e sistemas eletrônicos. Este movimento está sintonizado com a permanente busca das organizações contemporâneas em acompanhar o estado da arte da tecnologia dos sistemas técnicos, visando à obtenção de ganhos em produção.

Na visão de Pharalad e Hamel (1990) a organização necessita desenvolver suas competências essenciais, de modo a posicionar-se no ambiente competitivo, e, além disso, ser capaz de redirecionar suas estratégias, buscando recursos e redefinindo os padrões de atuação.

Uma representação da evolução de uma determinada tecnologia e a previsão de quando será atingido o seu limite, segundo Back *et al.* (2007), pode ser representada pela curva 'S'. Inicialmente o desempenho da tecnologia é lento, aumentando progressivamente até atingir certo limite. Na FIGURA 2.10 é apresentada a curva 'S', com a indicação de variações da evolução tecnológica em função da maior ou menor alocação de investimentos em tecnologia.

O processo de atualização tecnológica normalmente não é considerado como parte integrante das atividades de manutenção. Mesmo quando a área de manutenção realiza substituições específicas de componentes atualizados tecnologicamente, no processo de extensão da vida útil dos sistemas técnicos. Nas empresas as ações de atualização tecnológica são desenvolvidas pelas áreas de engenharia de projeto. Levando-se em conta a conceituação de gestão de ativos físicos, constante na literatura, pode-se inferir que as ações de atualização tecnológica são pertinentes ao processo de manutenção, principalmente considerando-se às contribuições da área de manutenção para a concepção dos sistemas técnicos a serem atualizados.

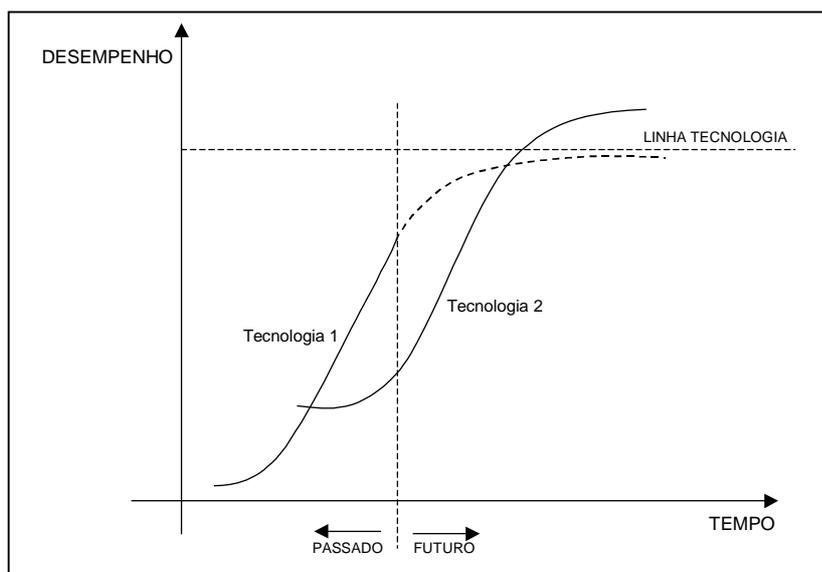


FIGURA 2.10 CURVA 'S': EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA

Fonte: adaptado de Burgelman e Maidique (1998).

A este respeito Azevedo (2007) observa que os investimentos em projetos de equipamentos podem ter o retorno garantido na perspectiva da melhoria efetiva da confiabilidade operacional e redução de custos de operação e manutenção a partir da realimentação do processo de manutenção para as fases de projeto e instalação. Um outro aspecto representativo é a evolução da eletrônica e da informática e sua utilização cada vez mais intensa. Conforme observam Machado e Mauro (2007), existem desdobramentos decorrentes para o manutentor, ao executar a manutenção e se relacionar com o equipamento.

A evolução da tecnologia, com adoção da eletrônica industrial, repercute no comportamento da falha. Conforme observam Soares e Motta (2007) quando se compara os equipamentos de tecnologia anterior, mecânicos e eletromecânicos com os equipamentos eletrônicos, percebe-se que os equipamentos eletrônicos pouco degradam com o tempo. A característica da falha, neste caso, é aleatória, diferente dos demais equipamentos que apresentam desgaste ou se degradam com o uso.

A atualização tecnológica dos sistemas técnicos pode requerer alterações na estratégia de manutenção visto que os sistemas eletrônicos normalmente contam com componentes ou conjunto de componentes redundantes para as funções principais. Ou ainda, como observa Moubrey (2000), porque comumente estes sistemas estão sujeitos à falha do tipo oculta. Esta situação exige, em determinadas situações, o manuseio de equipamentos de teste especiais de simulação das condições operativas.

A política de manutenção é alterada, visto que os sistemas com tecnologia digital possuem, em alguns casos, sistemas de auto-diagnose. Paralelamente, costuma ocorrer uma maior dependência do estoque de sobressalentes, em face da necessidade de substituição de componentes dos sistemas.

Na interface homem-máquina a utilização de *software*, em substituição à funções tradicionalmente desempenhadas por componentes, altera a forma de atuação da manutenção. Como exemplo, tem-se: a análise e o tratamento de falhas; os procedimentos de manutenção; a necessidade de parametrização de grandezas; o domínio do processo computacional associado. Quanto ao *software* é estabelecida uma maior dependência em relação aos fabricantes/fornecedores. As mudanças na estratégia de desenvolvimento de

novos produtos e mesmo volatilidade dessas organizações quanto a fusões e parcerias se apresentam como um complicador adicional.

Outra implicação para o processo de manutenção se refere ao conhecimento requerido em razão da atualização tecnológica dos sistemas técnicos. Os profissionais devem ser capacitados no que se refere ao funcionamento dos sistemas atualizados, para adaptar seu perfil às novas demandas, como o conhecimento para identificar as falhas funcionais dos sistemas técnicos atualizados. Nesse sentido, Machado e Mauro (2007) sugerem adotar-se a padronização dos sistemas digitais utilizados em uma instalação, visando promover facilidades para a execução das atividades de manutenção. Os mesmos autores ainda comentam que para treinar a equipe de manutenção pretendem desenvolver um simulador para realização de testes e depuração do *firmware*.⁵

Conforme EPRI (1999), a principal vantagem com a utilização de sistemas eletrônicos é o ganho de maior versatilidade na operação, quando se compara a tecnologia digital com a tecnologia analógica. Na continuação afirma que a evolução de uma tecnologia para a outra permite maior facilidade em promoverem-se futuros *upgrades*, interfaces com outros sistemas de controle e a adoção de automação de parâmetros, a partir do desenvolvimento de *software* aplicativos específicos.

Adicionalmente, Gomes e Rigotto Júnior (2007) observam que os equipamentos com tecnologia digital têm vida útil menor que o MTBF apresentado pelos fabricantes. Isto se deve, segundo estes autores, às constantes modificações implantadas pelos fabricantes seja no *firmware* e nas versões do *software*. Adicionalmente comentam a dificuldade de aquisição de componentes sobressalentes, pois muitos deles são fabricados especificamente para uma determinada aplicação, que pode ter sua fabricação descontinuada.

⁵ *Firmware*: também denominado *software* residente ou embarcado. Trata-se de um *software* que controla o *hardware* diretamente. É armazenado permanentemente em um *chip* de memória de *hardware*.

2.4 DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS

2.4.1 Considerações Iniciais

A discussão deste tema no contexto da tese se deve ao fato que o processo de atualização tecnológica é entendido, em essência, como um projeto a ser desenvolvido.

Autores como Valeriano (2005), Vargas (2003) e Maximiliano (2002) ressaltam que o termo 'projeto' costuma ser compreendido como um empreendimento com características próprias, que é conduzido por pessoas, para atingir metas estabelecidas dentro de parâmetros de prazo, custo e qualidade. A esse respeito, Heldman (2003) complementa que o projeto é um empreendimento temporário, por ter início e final definidos, cuja finalidade é criar ou aperfeiçoar um produto ou serviço, distinto e único, diferenciado de outros.

Valeriano (2005) apresenta, ainda, as fases que compõem ciclo genérico de desenvolvimento de um projeto, como sendo: conceptual; de planejamento e organização; de implementação; e, de encerramento, ou seja:

- Fase conceptual: inclui atividades desde a idéia inicial, passando pela elaboração da proposta, até a aprovação;
- Fase de planejamento e organização: etapa em que o projeto é planejado e detalhadamente organizado, permitindo sua execução e controle;
- Fase de implementação: quando se executa e se controla efetivamente o projeto até atingir-se a finalidade para o que foi concebido;
- Fase de encerramento: compreende as atividades de transferência dos resultados do projeto com aceitação do cliente, seguida de uma validação global e desmobilização dos recursos alocados ao projeto.

No decorrer do desenvolvimento do projeto, o esforço despendido em cada das fases apresentadas acima é diferente, conforme pode ser observado na FIGURA 2.11.

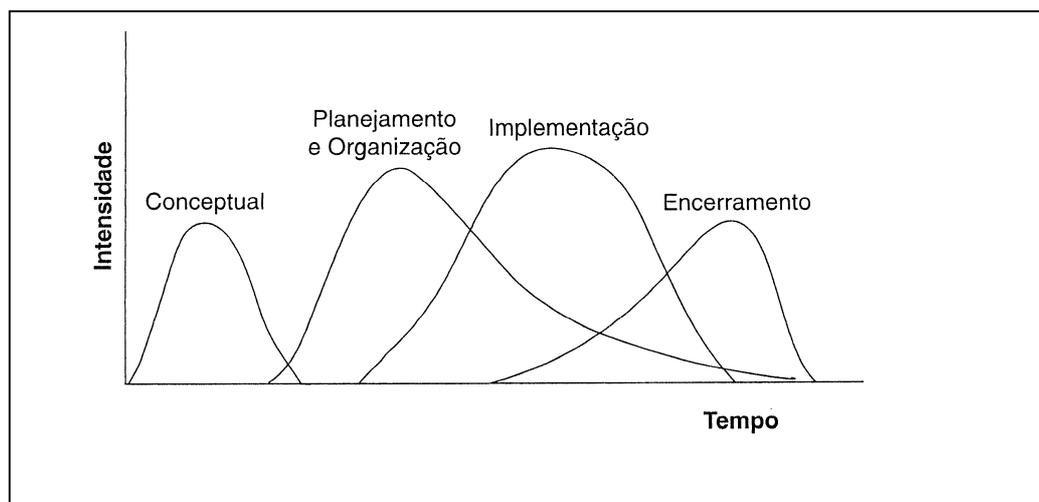


FIGURA 2.11 FASES DO CICLO DE UM DO PROJETO

Fonte: Valeriano (2005, p.24).

Ao analisar-se a FIGURA 2.11, observa-se que as fases não são independentes, tão pouco ocorrem sucessivamente. A fase de planejamento e organização é a que praticamente se desenvolve durante a implantação de todo o projeto. Na medida em que algumas atividades da fase de implementação vão se encerrando, outras atividades da fase de encerramento do projeto são iniciadas.

Segundo Back *et al.* (2007) um projeto de determinado produto pode ser subdividido em três etapas principais: planejamento do projeto, o processo de desenvolvimento do projeto e a implantação do produto. Ainda conforme os autores, o planejamento do projeto envolve estratégias de negócio da empresa e a organização do trabalho a ser desenvolvido ao longo do processo de desenvolvimento do projeto. Já o processo do projeto pode se referir ao desenvolvimento do produto ou à de revisão do projeto de um produto existente. Nesse segundo caso, se insere o processo de atualização tecnológica.

Observa-se ainda a importância de se dispor de uma estrutura e metodologia de gerenciamento do projeto para conduzir de maneira organizada e controlada determinado projeto, aumentando a chance de sucesso do empreendimento.

2.4.2 Processo de desenvolvimento de produtos

Segundo Back e Forcellini (1997) o processo de desenvolvimento de produtos se compõe das macrofases de planejamento; de projeção e de implementação. A macrofase projeção compreende as fases de projeto informacional, conceitual, preliminar e detalhado. Por sua vez, a macrofase implementação é composta pelas seguintes fases: preparação da produção, lançamento e validação. A FIGURA 2.12 apresenta as macrofases de desenvolvimento de produtos, bem como as respectivas fases.

A partir da implantação inicia-se o ciclo de vida do produto com a fase de uso e posteriormente a fase de retirada do produto ou descarte. Na fase de uso do produto estão presentes as atividades de operação e manutenção. O contexto da tese está centrado na análise do projeto na fase de uso das instalações de geração hidrelétrica, mas o processo de atualização tecnológica requer conhecimento do processo de planejamento, execução e gerenciamento de projeto, por representar, em síntese, o desenvolvimento de um projeto de revisão do produto.

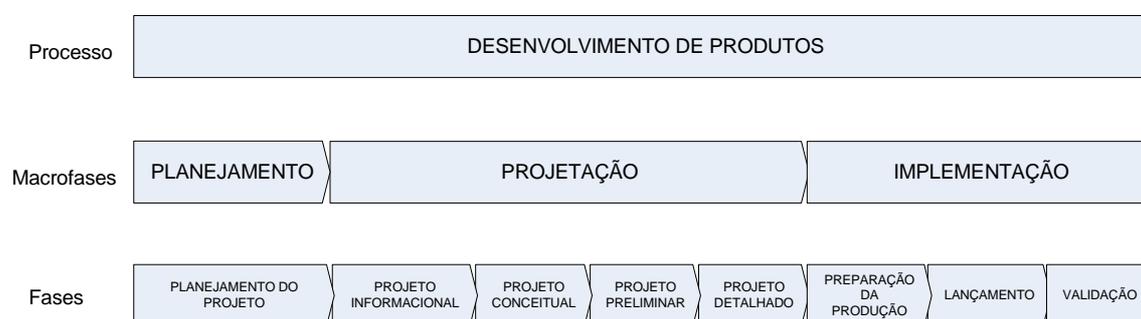


FIGURA 2.12 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

Fonte: Romano (2003, p.24).

Para Alongo (2004), a fase de planejamento do projeto necessita ser desenvolvida em consonância com as diretrizes estabelecidas no planejamento estratégico da organização.

No projeto informacional, segundo Back *et al.* (2007) é realizado um diagnóstico do problema que originou a necessidade de desenvolvimento do produto. As principais etapas desta fase são: a pesquisa de informações a respeito do problema que se quer solucionar; a definição do ciclo de vida do produto; os clientes e a identificação dos

requisitos dos clientes; as restrições e as especificações do produto; e, a análise de *benchmarking* do produto.

Na fase referente ao projeto conceitual, conforme observa Alongo (2004), são desenvolvidas atividades referentes ao estabelecimento das estruturas funcionais do produto; a seleção da melhor estrutura funcional; o estabelecimento dos princípios de solução e as concepções alternativas para o projeto. Romano (2003) complementa incluindo a análise econômico-financeira e a análise dos processos de fabricação, além da avaliação do envolvimento de fornecedores.

Na fase de desenvolvimento do projeto preliminar o *layout* do produto é analisado e aprovado. São estabelecidos o plano de fabricação e a estrutura preliminar do protótipo, como também são desenvolvidos os estudos de viabilidade econômico-financeira (ROMANO, 2003).

Segundo ainda Back *et al.* (2007), no projeto preliminar o protótipo é produzido, testado e otimizado; é projetada a embalagem do produto; são definidos os requisitos de confiabilidade e manutenibilidade do produto; são planejados os recursos de fabricação; são produzidos os desenhos detalhados do produto e adequados às normas pertinentes; e, é aprovado o investimento para o desenvolvimento do produto.

A fase de preparação da produção envolve a produção e aprovação de um lote piloto com os eventuais ajustes de natureza técnica e econômico-financeira. Na fase de lançamento é executado o lançamento do produto no mercado, sendo que a fase de validação se refere à comercialização dos produtos e consulta aos clientes em relação à aprovação do produto.

Em cada fase é recomendável que sejam registradas as lições aprendidas e as melhores práticas estabelecidas, visando a melhoria do processo de gerenciamento e desenvolvimento de outros projetos.

Vários são os domínios de conhecimento envolvidos no processo de desenvolvimento de produtos, sendo muitas atividades desenvolvidas simultaneamente. Assim, os princípios de engenharia simultânea têm sido aplicados a esses projetos como uma metodologia de desenvolvimento integrado do produto. Segundo Back *et al.* (2007) desta forma, dentre outros aspectos, se garante a participação dos interessados no projeto,

ocorre o compartilhamento do conhecimento associado e o ciclo de vida do produto é considerado no transcurso do desenvolvimento do produto.

A FIGURA 2.13 apresenta os domínios de conhecimento relacionados às macrofases e às fases do processo de desenvolvimento de produtos, no contexto da engenharia simultânea, como também os documentos resultantes das saídas específicas de cada fase, que serve de entrada para a fase posterior.

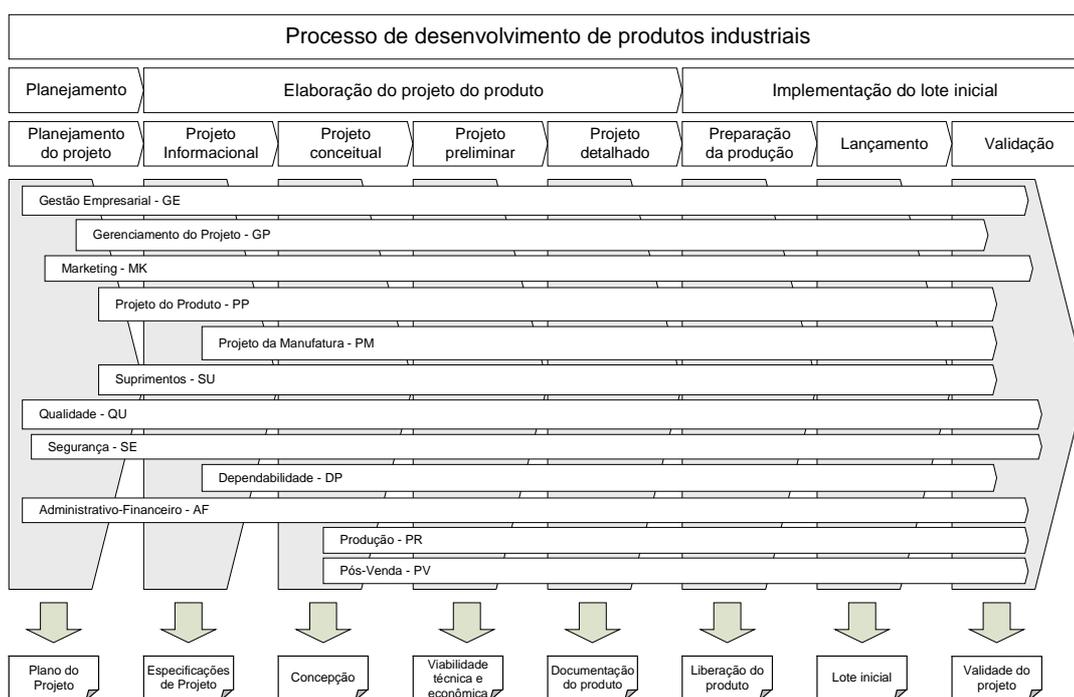


FIGURA 2.13 DESENVOLVIMENTO INTEGRADO DE PRODUTOS

Fonte: Back *et al.* (2007, p.70).

Para Romano (2003), os domínios de conhecimento apresentados na FIGURA 2.13 auxiliam na identificação das áreas da empresa e das habilidades para a realização das tarefas:

- Gestão Empresarial - GE: tarefas que envolvem a tomada de decisão da gerência superior da empresa;
- Gerenciamento de Projeto - GP: tarefas para a gestão de todas as etapas do desenvolvimento do projeto;

- Marketing - MK: tarefas relacionadas com pesquisa de mercado, propaganda e venda do produto;
- Projeto do Produto - PP: tarefas de desenvolvimento e validação do projeto do produto;
- Projeto de Manufatura - PM: tarefas associadas à fabricação do produto;
- Suprimento - SU: tarefas que envolvem o fornecimento de insumos e as relações com os fornecedores para o desenvolvimento do projeto e da fabricação do produto;
- Qualidade - QU: tarefas que asseguram a garantia de qualidade do produto;
- Segurança - SE: tarefas que abrangem a avaliação de segurança do produto;
- Dependabilidade - DP: tarefas que correspondem às metas de confiabilidade e manutenibilidade do produto;
- Administrativo - Financeiro – AF: tarefas relacionadas às atividades administrativas, jurídicas e financeiras relacionadas com o desenvolvimento do produto;
- Produção - PR: tarefas associadas ao planejamento da produção do produto;
- Pós-venda - PV: tarefas que compreendem ações de suporte ao cliente, caso ocorram falhas ou defeitos no produto fornecido.

São muitos os métodos, procedimentos, ferramentas e conhecimentos disponíveis na literatura para potencializar o desenvolvimento de produtos. Neste trabalho, considerando-se o foco em confiabilidade, destaca-se a análise funcional. Isto porque na análise de confiabilidade busca-se a garantia do desempenho da função de determinado item, que pode ser um componente, um equipamento, um subsistema, ou um sistema técnico.

A descrição da função do produto é normalmente a declaração de sua própria existência e finalidade. Moubray (2000) ao discutir a função de determinado equipamento

afirma que a função é tão marcante ao ponto que alguns equipamentos recebem a denominação de sua função principal: gerador, transformador, regulador de velocidade, regulador de tensão.

Pahl e Beitz (1996) definem função como a relação entre entradas e saídas de um sistema. Nesse sentido, Back (1983) destaca ainda que “[...] uma função é a relação entre causas e efeitos das grandezas de entrada e saída” (p.68). Assim, a representação funcional segue a idéia de uma ‘caixa preta’, onde a avaliação se concentra em suas fronteiras, sendo suficiente pensar basicamente nas entradas e saídas da função e desnecessário conhecer como se processa o relacionamento entre essas grandezas.

Blanchard *et al.* (1995) sugerem a utilização de uma caixa (um bloco retangular ou quadrado) para representar a função ou atividade e setas que indicam as entradas, as saídas, os controles ou restrições, além dos dados e informações associadas à função em análise. Essa representação gráfica está baseada na proposta da *US Air Force*, a partir de um modelo desenvolvido para modelagem de funções e atividades denominado IDEF0 - *Integrated Computer-Aided Manufacturing Definition Language*, como demonstrado na FIGURA 2.14.

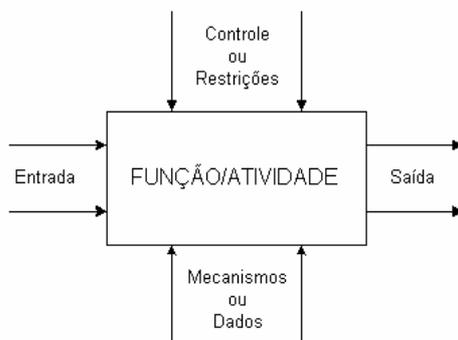


FIGURA 2.14 BLOCO FUNCIONAL

Fonte: Blanchard et al. (1995, p.184).

De outra forma, Back *et al.* (2007) observam que as entradas e saídas de uma função técnica podem ser englobadas em energia, material e sinal, sugerindo a possibilidade de existência de uma, ou mais de uma, saída para cada entrada. O modelo assim proposto encontra-se representado na FIGURA 2.15.



FIGURA 2.15 MODELO DE REPRESENTAÇÃO DE UMA FUNÇÃO

Fonte: adaptado de Back *et al.* (2007).

A análise funcional pode ser facilitada pela utilização da chamada modularização, ou seja, definir uma delimitação de um grupamento de componentes do objeto em estudo, que atuam conjuntamente para desempenhar uma ou mais funções, como sugerem Oliveira e Diniz (2001).

Considerando-se que cada componente do produto normalmente tem mais de uma função, no sentido de promover uma análise o mais exaustiva possível de seu funcionamento, os autores recomendam classificá-la em duas categorias: funções primárias ou principais e funções secundárias ou auxiliares. Na literatura especializada encontra-se também a denominação de funções ativas para as funções primárias e funções passivas para as secundárias.

As funções principais definem a razão básica da própria existência do produto e geralmente são facilmente reconhecidas. Já com as funções secundárias, obtidas basicamente do desdobramento das funções principais, ocorre o oposto. Em conformidade com esse aspecto, Moubray (2000) apresenta, para assegurar que nenhuma função secundária seja ignorada ou esquecida, que se busque em um conjunto de categorias funcionais que denomina de ESCAPES⁶.

Para o caso da análise funcional aplicada à manutenção Moubray (2000), considerando a importância da conceituação da função para a aplicação da MCC, explora de forma bastante exaustiva a relevância da descrição e caracterização de forma mais precisa possível da função desempenhada por um ativo físico. Esse autor recomenda que

⁶ ESCAPES - *Environmental integrity, Safety/structural integrity, Control/containment /comfort, Appearance, Protection, Economy/efficiency, Superfluous functions*. Sigla em inglês formada pelas iniciais das palavras, assim traduzidas para o português: integridade ambiental, segurança/integridade estrutural controle/contenção/conforto, aparência, proteção, economia/eficiência, funções supérfluas.

uma definição de função deve consistir de um verbo e um objeto. Além disso, complementa que essa descrição deve vir acompanhada de uma declaração do nível de desempenho esperado pelo ativo, em determinado contexto operacional.

Adicionalmente, Moubray (2000) propõe a utilização de um diagrama de hierarquização (FIGURA 2.16), na forma de um registro cadastral dos ativos e um diagrama funcional correspondente e afirma que “[...] é possível desenvolver uma hierarquia mostrando as funções primárias de cada um dos ativos na hierarquia dos ativos” (p.329), denominada registro da planta.

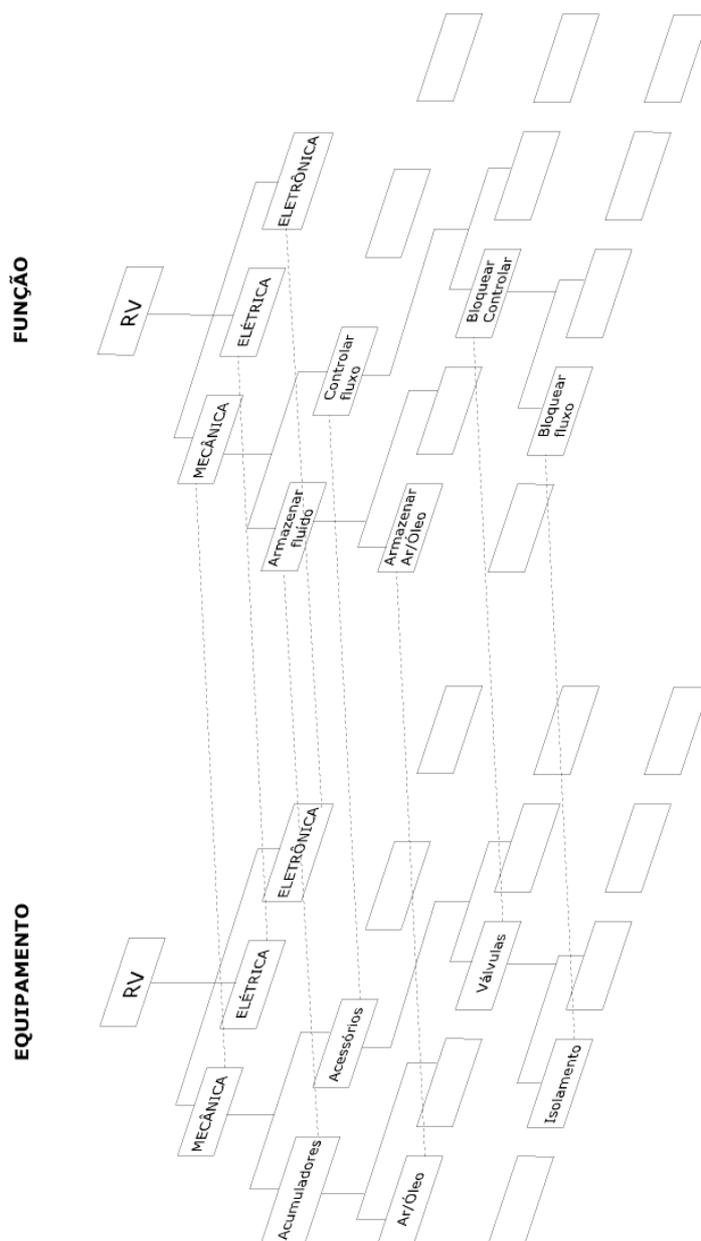


FIGURA 2.16 HIERARQUIZAÇÃO FUNCIONAL PARA SISTEMA DE REGULAÇÃO

Fonte: adaptado de Moubray (2000)

Este desdobramento funcional permite a análise estruturada dos diferentes sistemas, equipamentos, componentes e acessórios, auxiliando no estabelecimento do inter-relacionamento funcional dos ativos físicos de uma determinada instalação e nas atividades de cadastramento e codificação de equipamentos. A organização da programação de tarefas, os procedimentos, a vinculação de sobressalentes, o histórico e análise de manutenção devem estar relacionados a este cadastro e codificação.

2.4.3 Gerenciamento de projetos

Valeriano (2005) afirma que a consolidação da base de sustentação teórica do gerenciamento de projetos teve início no final da década de 1950. Contudo, como se observa na literatura especializada, esta prática foi considerada estruturada nos anos de 1980, quando surgiu uma gama considerável de publicações técnicas referentes a este tema.

As pesquisas realizadas pelos estudiosos da gerência de projetos em várias empresas, organizações não lucrativas e governamentais revelaram que a implantação da metodologia de gerenciamento de projetos e o aumento no nível de maturidade dessa prática propiciaram ganhos empresariais, em menor ou maior grau, dependendo de vários fatores, tais como: a relevância e a frequência de projetos; a estrutura organizacional; a cultura organizacional; o alinhamento com as estratégias empresariais (PRADO, 2003).

Para Whellwright e Clark (1992), o desenvolvimento de novos produtos e de processos aliados ao domínio da arte de executar projetos traz vantagens competitivas às organizações. Para tanto sugerem a utilização de técnicas mais avançadas de planejamento estratégico e de gerenciamento de projeto. Além disso, a organização precisa incorporar em sua rotina de trabalho a conceituação e a estruturação de suas ações na forma de desenvolvimento de projetos.

O gerenciamento de projetos é definido, segundo PMI (2000), como uma metodologia que envolve a aplicação de conhecimentos, de habilidades, de experiências, de ferramentas e de técnicas, a fim de atingir ou até mesmo exceder as expectativas dos

clientes e demais partes *stakeholders*⁷ do projeto. Vargas (2003) comenta, entretanto, que o gerenciamento de projetos não deve restringir-se a projetos gigantescos, recomendando que seja empregado em projetos de qualquer complexidade, orçamento e tamanho em qualquer linha de negócios. Evidentemente, a complexidade das ações de gerenciamento deve ser adequada e aderente ao tamanho do projeto.

Ainda para Vargas (2003) o gerenciamento de projetos apresenta uma correlação direta com a estrutura organizacional. Considerando-se que existem tipos diferentes e/ou complementares de estrutura organizacional no QUADRO 2.6, são apresentadas as principais características, vantagens e desvantagens de cada uma das formas de organização quando relacionadas ao gerenciamento de projetos.

Um outro aspecto a ser avaliado é que a implementação do gerenciamento de projetos exige a participação de profissionais de destacado nível técnico e requer o reconhecimento desta metodologia de gestão como algo que demanda habilidades, atitudes e comportamentos específicos. No entanto, como indica Vargas (2003), os profissionais envolvidos com o desenvolvimento das atividades inerentes ao gerenciamento de projetos normalmente não possuem formação adequada. Tal fato ocorre porque os critérios comumente adotados para seleção daqueles que irão exercer a função de gerentes de projetos tendem a ser priorizados, principalmente, com base em experiência técnica prévia bem sucedida de profissionais, que estão envolvidos em operações rotineiras na empresa.

O autor aponta as dez habilidades fundamentais requeridas no gerenciamento de projeto, quais sejam: definir o projeto; planejar o trabalho; gerenciar o plano de trabalho; gerenciar os conflitos; gerenciar o escopo; gerenciar os riscos; gerenciar a comunicação; gerenciar a documentação; gerenciar a qualidade; e, gerenciar as métricas. Observa ainda que, algumas listas de habilidades básicas do gerente de projeto incluem o gerenciamento do pessoal e gerenciamento de contratos (aspecto jurídico da gestão de contratos).

⁷ Este termo compreende o conjunto de pessoas e/ou instituições direta ou indiretamente envolvidos e/ou interessados, que apresentam capacidade de influência nas decisões. Ver também Mintzberg et al., 2000; Montgomery e Porter (1998).

ESTRUTURA	CARACTERÍSTICA	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Funcional	<ul style="list-style-type: none"> - Cada profissional tem um superior claramente identificado; - A equipe está agrupada por especialidade; - Existem projetos, mas restritos ao seu universo funcional. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil gerenciamento de especialistas; - Maior ênfase no trabalho funcional do que nas atividades do projeto; - Membros da equipe reportam a apenas um chefe; - Menos stress na equipe ao fim do projeto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Não existe carreira de gerente de projetos; - Empresas são agrupadas por especialidades; - Gerente de projetos não tem autoridade; - Pouca mobilidade; - Conflito de interesses entre os departamentos; - Desconhecimento de todo o processo.
Projetizada	<ul style="list-style-type: none"> - Oposto da estrutura funcional, os grupos de projetos são alocados por projeto; - Gerente tem muita autoridade e independência. 	<ul style="list-style-type: none"> - Comunicação mais efetiva do que na funcional; - Maior lealdade ao projeto; - Otimização de utilização de recursos; - Gerente de projetos com maior poder. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ambiente instável; - Rotatividade de projeto em projeto; - Perda patrimônio intelectual; - Perda de identidade da empresa.
Matricial	<ul style="list-style-type: none"> - Estrutura intermediária; - Quanto mais se aproxima da projetizada, mais fortemente matricial e vice-versa. 	<ul style="list-style-type: none"> - Equipes multidisciplinares; - Otimização de utilização de recursos; - Alta visibilidade dos objetivos do projeto; - Mais difícil controlar e monitorar; - Melhor disseminação de informação horizontal e vertical que a funcional. 	<ul style="list-style-type: none"> - Conflito entre o projeto e a área funcional; - Falta de entrosamento; - Comunicação mais complicada; - Gerentes funcionais têm diferentes prioridades em relação ao gerente de projetos.

QUADRO 2.6 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL PARA GERENCIAMENTO DE PROJETOS

Fonte: adaptado de Vargas (2003).

Dentre as metodologias de gerenciamento de projeto destaca-se o guia PMBOK - *Guide to the Project Management Body of Knowledge*, publicado pelo PMI. Este documento é um referencial consolidado das melhores práticas de técnicas, critérios e procedimentos a serem seguidos para o gerenciamento dos projetos (PMI, 2004).

O guia PMBOK contempla os aspectos da gerência de projetos, os conceitos de ciclo de vida de projeto, processos e grupos de processos de gerenciamento, abordando suas áreas de conhecimento e interações. Dinsmore (2003) destaca que o guia PMBOK serve como base para orientar profissionais que buscam conhecimentos em gerência de projetos.

Sobre esse assunto, Cleland e Ireland (2002) comentam que no referido guia e os processos são definidos por entradas e saídas, os quais estão ligados por meio de subprocessos, identificados como ferramentas e/ou técnicas. Nesse sentido, Maximiano (2002) afirma que o gerenciamento de projetos estabelecido pelo guia PMBOK pode ser subdividido em cinco subprocessos, quais sejam de iniciação; de planejamento; de execução; de controle; e, de encerramento; conforme brevemente detalhado a seguir.

- Processo de iniciação: formaliza a necessidade de iniciar um projeto ou uma fase de um projeto;
- Processo de planejamento: objetiva definir uma forma de atender as necessidades que motivaram a iniciação do projeto;
- Processo de execução: envolve a coordenação de pessoas e recursos para realização do plano definido para o projeto;
- Processo de controle: visa monitorar, avaliar o progresso do desenvolvimento do projeto e implementar ações corretivas para garantir o atendimento dos objetivos do projeto;
- Processo de encerramento: engloba a aceitação formal do resultado do projeto ou fase e conclusão dos trabalhos.

Na FIGURA 2.17 são representados, de forma gráfica, estes processos e suas inter-relações:

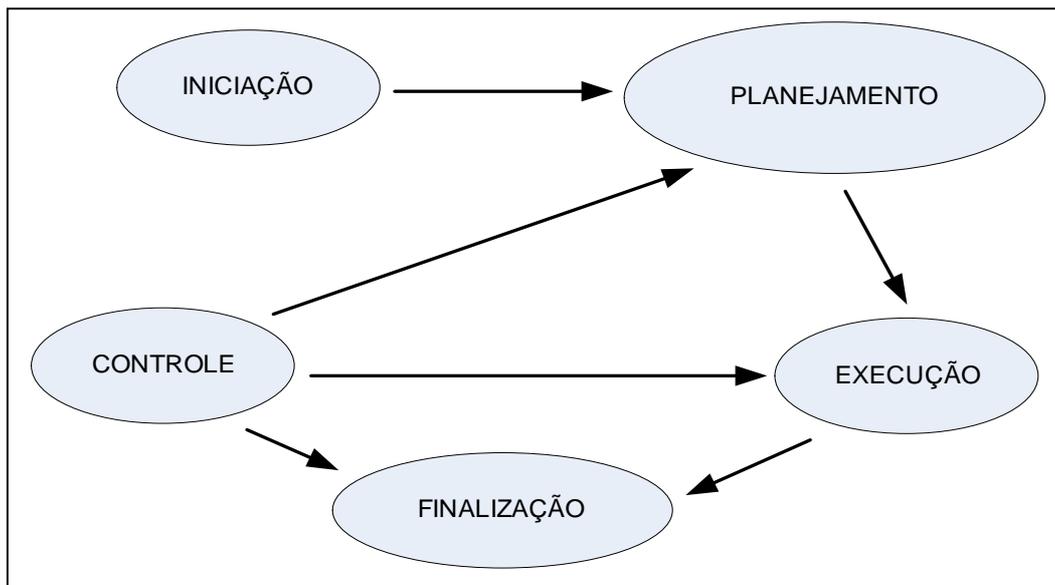


FIGURA 2.17 PROCESSOS DEFINIDOS NO GUIA PMBOK

Fonte: adaptado de PMI (2004).

No guia PMBOK estes processos estão organizados em nove áreas denominadas de áreas de conhecimento, onde cada uma destas áreas refere-se a um aspecto a ser considerado no gerenciamento dos projetos. Partindo-se da premissa que o projeto é um esforço integrado, a não execução de algum dos processos previstos em uma determinada área de conhecimento, pode afetar negativamente todo o projeto. As áreas de conhecimento assim definidas são:

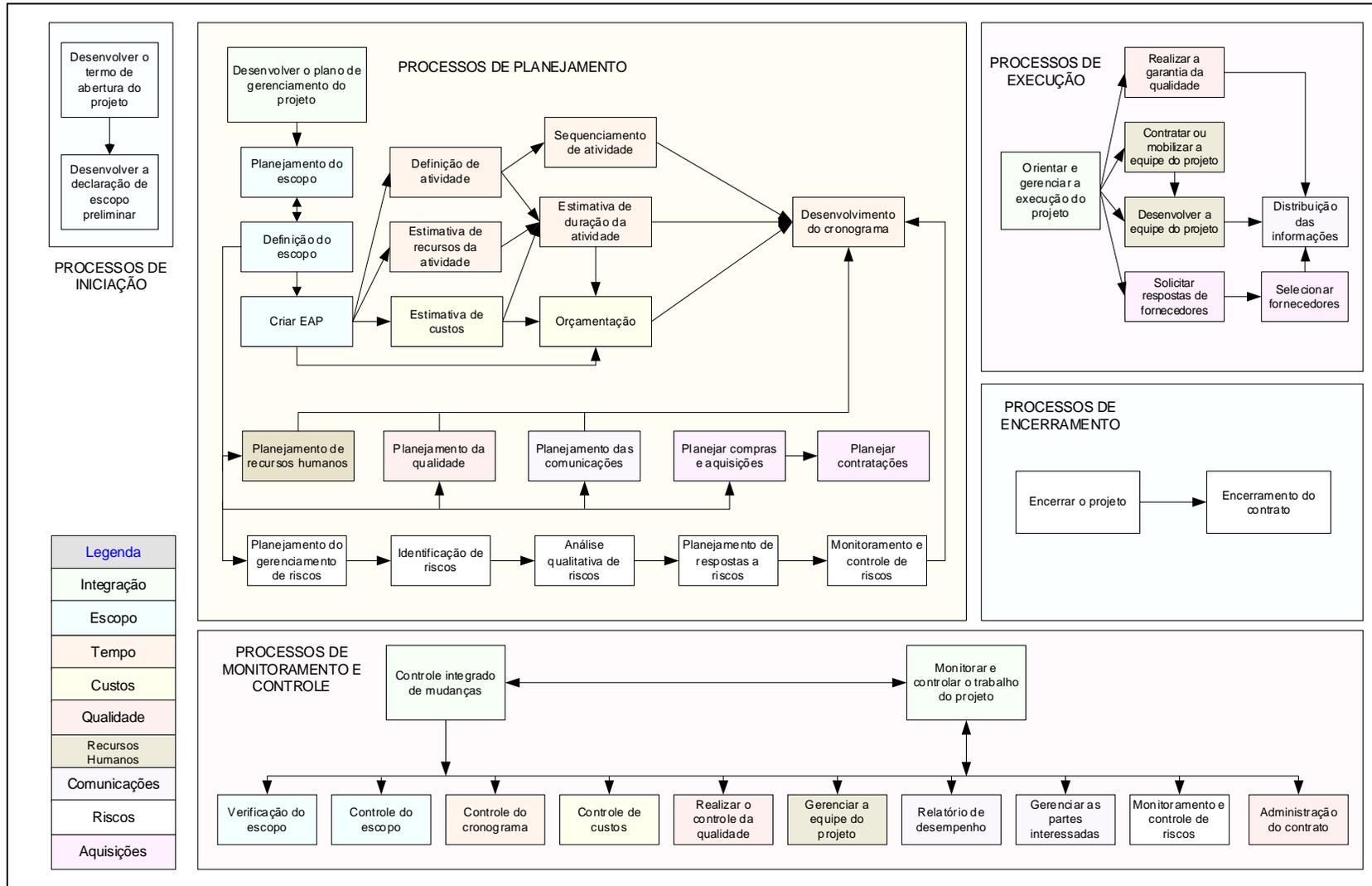
- Gerenciamento da integração: processos que visam assegurar que os diversos elementos do projeto sejam adequadamente coordenados;
- Gerenciamento de escopo: processos que garantem que no projeto esteja incluído todo o trabalho necessário, e tão somente este, para a conclusão do projeto com sucesso;
- Gerenciamento do tempo: processos necessários para assegurar a finalização no projeto no prazo previsto;
- Gerenciamento de custos: processos que visam garantir que o projeto seja concluído dentro do seu orçamento previsto;

- Gerenciamento da qualidade: processos necessários para certificar que o projeto esteja em conformidade com seus objetivos iniciais, solicitados pelo cliente ou contratante;
- Gerenciamento de recursos humanos: processos requeridos para otimizar a utilização dos recursos humanos envolvidos no projeto, incluindo as relações, saúde e segurança no trabalho;
- Gerenciamento da comunicação: processos que visam assegurar a apropriada geração, coleta, disseminação, armazenamento e descarte final das informações do projeto;
- Gerenciamento de riscos: processos envolvidos na identificação, análise e respostas aos riscos do projeto, considerando a maximização de ocorrência de eventos positivos e minimização de ocorrência dos eventos negativos;
- Gerenciamento das aquisições: processos requeridos para adquirir bens e serviços externos à organização executora.

Na FIGURA 2.18 é apresentada uma visão integrada das nove áreas do conhecimento com os processos definidos pelo guia PMBOK.

Para cada uma das áreas de conhecimento são indicadas no guia PMBOK as ferramentas específicas para o desenvolvimento dos processos envolvidos. Por exemplo, para o detalhamento do escopo do projeto é recomendada a elaboração da WBS - *Work Breakdown Structure*, ou de acordo com Heldman (2003), a EAP - Estrutura Analítica do Projeto⁸. Desta forma, é realizado um desdobramento das várias atividades que compõem o projeto em componentes orientados a resultados mensuráveis, facilitando a estimativa de custo e prazo do projeto.

⁸ Alguns autores denominam de EDT - Estrutura de Desdobramento do Trabalho.



Legenda: EAP- Estrutura Analítica do Projeto

Fonte: adaptado de PMI (2004).

FIGURA 2.18 ÁREAS DE CONHECIMENTO, PROCESSOS E INTER-RELAÇÕES

Kerzner (2002) defende a idéia de que, na prática, a EAP é construída como uma estrutura em árvore, lembrando um organograma, em que as atividades são subdivididas em níveis. Para o autor, é a complexidade do projeto que define a quantidade de níveis a serem gerados, embora fique a cargo do responsável pelo projeto a definição o detalhamento a ser estabelecido.

Para as demais áreas, conforme Heldman (2003), destacam-se as seguintes técnicas:

- Gerenciamento da integração: métodos de seleção e metodologia de projetos; sistemas de informação; desenvolvimento do planejamento do e do controle de mudanças do projeto;
- Gerenciamento de tempo: cronograma; redes de precedências e estimativas de duração de atividades; análise do caminho crítico;
- Gerenciamento de custos: estimativa de custo; orçamentação; controle e análise de custos; fluxo de caixa; financiamento;
- Gerenciamento da qualidade: planos de melhoria; gráficos de controle; diagrama de causa e efeito; diagrama de Pareto;
- Gerenciamento de recursos humanos: estruturação organizacional; matriz de responsabilidade; descrição de cargos; treinamento e desenvolvimento de equipe; gerenciamento de conflitos;
- Gerenciamento das comunicações: definição dos meios de comunicação; distribuição e hierarquização das informações; habilidades de comunicação;
- Gerenciamento de riscos: identificação dos riscos; análise quantitativa e qualitativa dos riscos; planejamento de respostas aos riscos, monitoramento e controle dos riscos;
- Gerenciamento das aquisições: análise de contratos; planejamento das aquisições; processos de licitação; análise e seleção de fornecedores.

A utilização de uma metodologia estruturada para o gerenciamento do projeto por si só não garante os melhores resultados. Como afirma Kerzner (2002, p.98):

[...] a existência de uma metodologia de expressão mundial não basta para se alcançar a excelência em gestão de projetos. A sua aceitação e utilização pelo conjunto da organização é que conduzem à excelência. É pela excelência na execução que uma metodologia de nível médio se torna uma metodologia de expressão mundial.

Gerenciar um projeto é, portanto, atuar de forma a atingir as metas estabelecidas, dentro de parâmetros de qualidade determinados, valendo-se de ferramentas e técnicas de gestão. Neste sentido, Meredith e Mantel (2000) ressaltam que o gerenciamento de projetos requer, como premissa, um planejamento prévio e controle: do escopo (conteúdo); de prazos (cronograma); e, de custos (orçamento).

2.5 GESTÃO DO CONHECIMENTO

A gestão do conhecimento, no contexto deste trabalho, aponta para o tratamento de questões pertinentes ao processo de atualização tecnológica, considerando-se o conhecimento acumulado pelos profissionais do segmento de produção de energia hidrelétrica. É possível inferir que o desempenho alcançado nas instalações de usinas brasileiras em grande parte se deve ao conhecimento presente nos profissionais que atuam nesse segmento. Este conhecimento está na memória dos técnicos que exercem funções de projeto, construção, operação e manutenção, e mesmo em arquivos documentais, requerendo ações de resgate e de preservação. A breve revisão do tema gestão do conhecimento, a seguir, tem finalidade de trazer aspectos para fundamentação da proposta de modelo de sistematização a ser estruturado.

2.5.1 Conceitos básicos

O mundo do trabalho tem valorizado cada vez mais o conhecimento, como um recurso fundamental e estratégico para a sobrevivência das organizações. Lidar com a incerteza, com as alterações de ordem econômica, social e tecnológica, paralelamente tendo que ser flexível no gerenciamento dos processos técnicos e administrativos, requer conhecimento compartilhado.

Conforme Caron-Fasan e Janissek-Munis (2004), observa-se uma preocupação crescente em aprender, testar, aplicar, comprovar, reformular, divulgar, construir e reconstruir conteúdos, contextos e processos. O resultado dessas ações é conhecimento, a

ser estruturado e internalizado pelas pessoas, a fim de que possa ser realimentado e transformado em produto/serviço útil e concreto. Ao mesmo tempo há que se estabelecer uma priorização das tecnologias de informação e de comunicação, utilizadas como ferramentas básicas do conhecimento como principal recurso e da aprendizagem e fator central para o sucesso (FIALHO *et al.*, 2006). Tais aspectos demandam formas complementares e integradas de ação baseadas na gestão do conhecimento com o suporte do uso intensivo da tecnologia.

O avançar em metodologias, critérios, conceitos e estratégias para viabilizar a inovação de processos de gestão na busca da aprendizagem organizacional preenchem lacunas no campo da teoria e da pesquisa. Especialmente, quando se pretende aprimorar as condições competitivas das organizações brasileiras, uma vez que as soluções voltadas para a gestão do conhecimento tendem a ser específicas para cada empresa, instalação e/ou equipamento.

De acordo com Terra (2000), duas abordagens principais merecem destaque: a Escola da Informação, que defende a idéia de que o conhecimento empresarial encontra-se nos sistemas de informação; e a baseada na Escola Comportamental, que enfoca o processo de intercâmbio das habilidades ou competências dos indivíduos no ambiente de trabalho.

Dibella e Nevis (1999) destacam que para transformar dados em informações é necessário um conjunto de ferramentas. Para transformar informações em conhecimento, porém, é necessário tempo. Por meio da gestão do conhecimento pode-se olhar a organização a partir do conhecimento, oriundo de experiências, da análise, das pesquisas, das inovações e da criatividade. Angeloni (2002) afirma que o conhecimento também pode ser obtido por intermédio de estudos, de pesquisas e da observação sistemática, resultando em aquisição, produção e acumulação de novos conhecimentos.

Mais especificamente sobre a abordagem da Escola Comportamental, autores nacionais, especialistas no assunto, como Nonaka e Takeuchi (1997), Terra (2000; 2003), Terra e Gordon (2002) e Magalhães (2005), por exemplo, destacam que a criação do conhecimento, em grande parte, origina-se das relações humanas, da intuição, da criatividade, da cooperação entre as pessoas (trabalhos em equipe), da união de diversos modos de pensar e de entender a realidade, de uma visão sistêmica, menos fragmentada e

mais abrangente. Muito embora também afirmem ser inegável o papel das novas tecnologias de informação e de comunicação.

Nesse enfoque, reforça-se o argumento de que, como a gestão do conhecimento envolve, de maneira integrada, a gestão de tecnologias e de pessoas, faz-se necessário uma reconceitualização dos modelos mentais e das formas de se lidar com as variadas pressões para mudança e adaptação (DAVENPORT, 2007).

Um exemplo a ser citado de pressão para mudanças, no contexto do setor elétrico brasileiro, pode ser o caso das reorientações da ANEEL (2007), a respeito dos resultados a serem obtidos pela empresas geradoras. Na medida em que são aprimorados os controles e procedimentos de fiscalização, novos requisitos de atendimento a indicadores de desempenho operacional são colocados para as empresas, repercutindo na gestão dos ativos físicos da organização.

A partir de uma visão mecanicista e em direção a uma visão sistêmica de longo prazo, torna-se importante comentar sobre a necessidade constante de interação do homem com a máquina. Principalmente com base nesses referenciais, é possível gerenciar o capital intelectual (ou o conhecimento) e promover estratégias para a inovação. Nesse sentido, Jonash e Sommerlatte (2001) afirmam que “[...] a empresa mais avançada é uma máquina de aprendizado dinâmica, baseada no conhecimento e comprometida com a inovação contínua e sustentável” (p.11).

A premência de se empreender uma visão sistêmica, como base em processos intensivos de conhecimento, é destacada por Barber *et al.* (2006). Para tanto, esses autores propõem o estabelecimento de posturas gerenciais pró-ativas, fundamentadas em sistemas de gestão do conhecimento, que envolvam, por exemplo, a sistematização e a disseminação de todos os processos internos, via *Intranet*.

Apresentam-se no QUADRO 2.7, alguns dos princípios considerados pela literatura especializada como relevantes para o sucesso da gestão do conhecimento empresarial.

- ✓ O conhecimento tem origem e reside no conhecimento das pessoas.
- ✓ O compartilhamento do conhecimento exige confiança.
- ✓ A tecnologia possibilita novos comportamentos ligados ao conhecimento.
- ✓ O compartilhamento do conhecimento deve ser estimulado e recompensado.
- ✓ Suporte da direção e recursos são fatores essenciais.
- ✓ Iniciativas ligadas ao conhecimento devem começar com um programa-piloto.
- ✓ Aferições quantitativas e qualitativas são necessárias para se avaliar as iniciativas.
- ✓ O conhecimento é criativo e deve ser estimulado a se desenvolver de formas inesperadas.

QUADRO 2.7 PRINCÍPIOS DA GESTÃO DO CONHECIMENTO

Fonte: Davenport e Prusak (1998, p.28).

Para compreender o processo de criação do conhecimento organizacional e sua reprodução sistemática deve-se necessariamente distinguir os tipos de conhecimento, a serem transformados em patrimônio intelectual das empresas para poderem ser aplicados na solução de problemas, sejam esses problemas novos ou recorrentes, como observa Cavalcanti (2001).

2.5.2 Tipos de conhecimento

O conhecimento tem origem nas pessoas, não podendo evidentemente ser criado sem elas. Diante dessas circunstâncias, torna-se relevante para bem gerenciar o capital intelectual de uma organização classificar ou tipificar o conhecimento a ser gerenciado. Nessa direção, Nonaka e Takeuchi (1997) sugerem que o conhecimento pode ser classificado em dois tipos, ou seja, tácito e explícito. Sobre o assunto, Magalhães (2005) e Terra (2000) abordam a denominação de conhecimento intangível e tangível, respectivamente.

O conhecimento tácito caracteriza-se pelo conhecimento que as pessoas possuem sobre algo, porém não está registrado. Logo, é o conhecimento intelectual incorporado pela experiência individual ou mesmo por um grupo de pessoas. Por sua vez, o conhecimento explícito ou codificado, refere-se ao conhecimento que se encontra registrado e que pode

ser transmitido em linguagem formal ou sistemática através, por exemplo, de expressões matemáticas, imagens, figuras, textos, planilhas, regras, filmes. Sendo assim, o conhecimento tácito pode ser entendido como um conhecimento ainda não codificado, conforme citado por Krogh *et al.* (2001).

Do mesmo modo, Nonaka e Takeuchi (1997) argumentam que o conhecimento é gerado nas organizações de forma interativa, a partir de processos de conversão entre o conhecimento tácito e o conhecimento explícito. Assumindo esse pressuposto, indicam a coexistência de quatro diferentes modos de conversão do conhecimento: socialização, externalização, combinação e internalização. Tal aspecto, é corroborado por Jamil (2006), ao desenvolver um modelo aberto e integrado, que possa apoiar a interpretação dos processos organizacionais.

Na FIGURA 2.19 encontra-se representada a proposta desses autores, onde a espiral central sugere o dinamismo do processo de conversão do conhecimento.

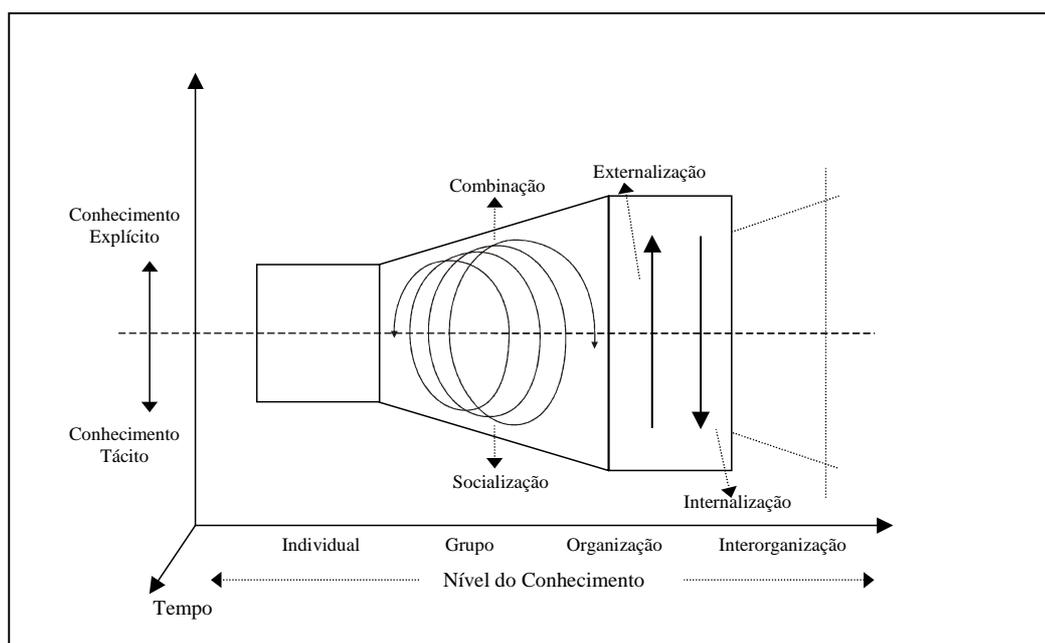


FIGURA 2.19 TIPOS DE CONHECIMENTO E MODOS DE CONVERSÃO

Fonte: Terra (2000, p.67).

Conforme indicado na FIGURA 2.19 os modos de conversão do conhecimento podem ser assim entendidos:

- Socialização: compartilhamento de experiências, criando-se conhecimento tácito. Ocorre na prática das organizações, por exemplo, em treinamentos internos, reuniões, debates, discussões técnicas, sessões informais;
- Externalização: conhecimento tácito se tornando explícito. É o modo de conversão mais importante, pois permite o resgate e estruturação do capital intelectual da organização gerando o conhecimento conceitual;
- Internalização: processo de transformação do conhecimento organizacional em conhecimento individual, gerando conhecimento operacional. Um exemplo seria o processo de treinamento *on the job*, ou seja, aprender fazendo;
- Combinação: se baseia na troca de informações explícitas e na tecnologia da informação. Está principalmente relacionado com a educação formal da instituição.

A gestão do conhecimento compreende um conjunto de práticas estruturadas para capturar, gerenciar e compartilhar os dados e informações existentes. Carbone (2006) e Jamil (2006) complementam que essa metodologia requer um modelo integrativo que permita a troca de experiências e de conteúdo teóricos específicos, conforme as necessidades e problemas a serem resolvidos, conseguido com processos participativos.

A participação viabiliza e aprimora a externalização e a socialização do conhecimento organizacional, uma vez que, segundo Sabherwal e Becerra-Fernandez (2005), existem diferentes tipos de conhecimento tácitos relacionados a diferentes tipos de conhecimento explícito, compartilhado pelas pessoas no trabalho. Com base nesses argumentos, os autores desenvolvem um modelo de análise, que contemple trocas de conhecimento de acordo com as especificidades dos perfis profissionais e níveis de conhecimento existente e disponibilizado, interna e externamente.

2.5.3 Mapeamento e resgate do conhecimento

A gestão do conhecimento nas empresas envolve a geração, a codificação, a disseminação e a retenção ou apropriação, conforme FIGURA 2.20. Com base nessa premissa, autores como Dibella e Nevis (1999); Nakano e Fleury (2004) indicam que a geração envolve a criação e a identificação do conhecimento, enquanto que a codificação

se refere à coleta de informações, seleção, organização e armazenamento. A disseminação, ainda segundo os autores, trata do compartilhamento do conhecimento codificado, sendo que a apropriação compreende a interpretação, adaptação e aplicação do conhecimento.

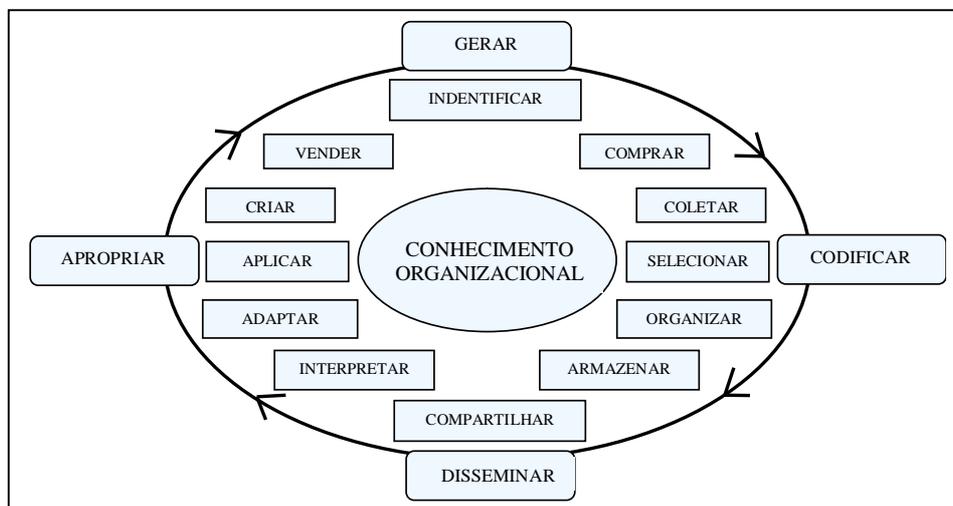


FIGURA 2.20 CICLO DA GESTÃO DO CONHECIMENTO

Fonte: Boff (2005, p.61).

Uma situação bastante representativa deste ciclo é, por exemplo, experimentada nos grupos de trabalho constituídos para a aplicação da metodologia MCC. Nunes e Valladares (2001) comentam, conforme preconiza essa metodologia, que os dados e as informações são registrados em documentação específica, compondo um importante acervo técnico. Assim, o conjunto de documentos gerados representa o resgate e a 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.

Esse conhecimento compartilhado nas reuniões de trabalho e documentado de forma estruturada permite, por exemplo, identificar as possíveis causas de uma falha, caso o sistema técnico apresente algum problema operacional. Dessa forma, o conhecimento desenvolvido e acumulado é resgatado pelos profissionais de manutenção. O processo de avaliação do mecanismo de falha e a solução do problema, enriquecem a análise da ocorrência, agilizando a definição das ações a serem desenvolvidas. A disseminação desses conteúdos, portanto, contribui para a capacitação técnica da equipe ao favorecer a socialização do conhecimento.

Conforme destaca Nunes (2001), a documentação disponibilizada agrega valor às futuras revisões dos procedimentos e tarefas de manutenção, permitindo caracterizar que situações de falha foram consideradas ou previstas, no estabelecimento do plano de manutenção. Nesse sentido, a referida documentação pode vir a ser utilizada como instrumento de contestação a algum questionamento sobre a abrangência e a qualidade das atividades de manutenção planejadas e executadas.

Cumpra-se também reforçar os argumentos que dizem respeito relevância de se constituir uma equipe de profissionais experientes e capacitados, com domínio das atividades de manutenção, para o sucesso no desenvolvimento das etapas da MCC. Isto porque, atributos como tempo de experiência, habilidade, criatividade e conhecimento pressupõem processos de planejamento integrado capazes de promover, com a devida antecedência, mudanças eficazes no desempenho das pessoas no trabalho.

A qualidade do desempenho das equipes pode ser garantida, por exemplo, quando o conhecimento resgatado é útil na formação de novos profissionais para a área de manutenção, que gradualmente são substituídos devido ao processo natural de rotatividade de pessoas no trabalho. Esses argumentos são reforçados nos comentários de Barroso e Gomes (1999, p.9), quando observam que “[...] 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”.

O estímulo à criatividade humana no ambiente organizacional, por sua vez, pode estimular mecanismos para a criação do conhecimento e, com isso, contribuir para a identificação de processos de atualização e/ou inovação tecnológica. Para promover uma contribuição mais representativa das diferentes experiências e conhecimentos, das equipes de trabalho faz-se necessário selecionar profissionais atuantes em todas as áreas envolvidas. Na literatura corrente, como comentam Fleury e Oliveira Jr.(2001), essa forma de trabalhar tem sido denominada ‘aprendizagem simultânea’.

Sobre o tema, Kaplan e Norton (2006) destacam que existe uma relação direta entre maior diversidade de processos técnicos e maior probabilidade de inovação, em empresas que buscam continuamente compartilhar o conhecimento nos ambientes de trabalho. Para tanto, ao citar o sistema de gestão do conhecimento da *Crown Castle International*, os autores propõem que cada empresa desenvolva uma infra-estrutura para apoio à decisão, por exemplo, por meio da criação de um banco de dados e biblioteca sobre as suas

melhores práticas. Com base nesses conteúdos, mapas estratégicos poderiam ser elaborados, que favoreceriam o alinhamento entre o capital humano ou intelectual e as estratégias empresariais, principalmente de médio e longo prazo.

Conforme vários autores, a sustentabilidade de uma empresa tende a ser viabilizada pela socialização daquilo que ela coletivamente sabe, a eficiência com que ela usa o que sabe e a prontidão com que ela adquire e disponibiliza novos conhecimentos, agregando conteúdo tecnológico à sua gestão dos ativos físicos e consolidando o seu patrimônio intelectual. A aplicação desse conhecimento pode ocorrer baseada em modelos de decisão, empreendidos de acordo com o problema e necessidade, contando com o uso intensivo de tecnologias, como sugerem Alkaim (2003), Fialho *et al.* (2006), Gattoni (2004) e Shimizu (2006).

2.6 MODELO E O DIAGRAMA DE FLUXO DE DADOS

Segundo Vernadat (1996) modelo é entendido como uma representação ou abstração da realidade expressa em termos de algum formalismo ou linguagem, para servir a algum propósito do usuário. Sobre o tema, Keller e Teufel (1998) complementam que com a ajuda da modelagem é possível simplificar a descrição dos processos, representando as soluções mais gerais aplicáveis, abstraindo-se de informações complexas. A este respeito, Pidd (1998) comenta que o modelador precisa ter claro que seu objeto não é a realidade em toda a sua complexidade, mas compreender e na medida do possível tornar explícitas as simplificações realizadas sobre o fenômeno ou processo estudado.

Vernadat (1996) observa ainda que um modelo requer certo grau de generalidade e ser customizável. A este respeito, Goulart (2000) observa que, a partir da finalidade para a qual o modelo é desenvolvido, devem ser escolhidas quais informações necessitam ser representadas. Um modelo pouco detalhado fica prejudicado por não apresentar informações relevantes, em contrapartida, ao desenvolver-se um modelo muito detalhado podem surgir dificuldades para a sua elaboração ou mesmo o modelo ser difícil interpretação ou entendimento.

Ainda, Scheer (1998) argumenta que os modelos são desenvolvidos a partir de situação reais ou teóricas, documentando o *know-how* de um processo. Segundo Curtis *et*

al. (1992), as técnicas de modelagem visam representar, dentre outros: os aspectos funcionais (o que deve ser executado); os aspectos seqüenciais e lógicos (como e quando executar); e, os aspectos de informação (dados produzidos e as inter-relações entre estes dados).

Conforme observam vários autores especializados, o DFD - Diagrama de Fluxo de Dados é uma das ferramentas de modelagem mais utilizada para documentar a fase de análise do ciclo de desenvolvimento de sistemas de informação e representa o fluxo de dados e as sucessivas transformações que estes dados estão sujeitos durante o processo que se pretende analisar. Neste sentido, Gane e Sarson (1983) e Yourdon (2002) afirmam que o DFD é uma ferramenta de análise estruturada que possui como principal característica a capacidade de representar o sistema a ser desenvolvido de uma forma particionada, apresentando as interfaces entre as partes componentes e descrever a estrutura lógica dos dados a serem tratados.

Portanto, o DFD é uma ferramenta gráfica que transcreve, de forma não técnica, a lógica do procedimento do sistema de informação, permitindo representá-lo como uma rede de processos funcionais interligados, onde são definidas entidades externas e depósitos de dados, assim como o fluxo de dados e as transformações ou processos. De forma geral, segundo Yourdon (2002), um diagrama de fluxo de dados apresenta quatro objetos de um sistema de informações: a função, o fluxo de dados, o arquivo de dados e a entidade externa. Para representar cada um desses objetos é utilizado um símbolo gráfico.

O primeiro componente de um DFD é a função, encontrado também na literatura com as denominações de processo, transformação ou bolha (em razão do símbolo gráfico mais utilizado para sua representação). Na função, o fluxo de dados é transformado em um produto, correlacionando-se entradas e saídas, ou seja, é aonde uma ou mais entradas são convertidas em saídas. Estas funções – verbo no infinitivo e um objeto - são normalmente representados no DFD por uma circunferência, embora alguns autores prefiram uma figura oval, um retângulo de vértices curvos ou mesmo um retângulo.

O fluxo de dados, também denominado canal ou duto, é graficamente representado por setas que entram e saem dos processos, dos arquivos de dados ou das entidades externas, sem nenhuma especificação temporal. Martins (2002) afirma que o fluxo indica o movimento de fragmentos ou pacotes de dados de um ponto do sistema de informações

para outro, indicando a direção do fluxo. Cada seta está associada a um nome, indicando o significado dos dados que se movem pelo fluxo.

O componente arquivo de dados, denominado por alguns autores como Gane e Sarson (1983) de depósito ou repositório de dados, é utilizado para definir um conjunto de dados armazenados para acesso ou atualização, representando o local aonde os dados são arquivados. Desta forma, um fluxo que parte de um arquivo de dados deve ser interpretado como uma leitura ou um acesso de dados realizado. Já o fluxo para um arquivo indica um arquivamento ou atualização de dados. Neste sentido, o fluxo representa dados em movimento e o arquivo, representa dados em repouso. A representação gráfica adotada para o arquivo de dados é um retângulo aberto em um dos lados, um retângulo com bordas arredondadas ou apenas duas linhas paralelas, está associado a um nome que represente o conjunto de dados armazenados.

O componente do DFD, denominado 'entidade externa' ou 'terminador' representa uma categoria lógica de objeto, pessoa, organização, ou mesmo outro sistema de informações com o qual o sistema em estudo se relaciona ou comunica. Assim, os fluxos relacionados com este componente indicam interfaces com o ambiente externo. Como regra geral, as relações existentes entre entidades externas não são representadas no diagrama, mesmo que existam. A entidade externa funciona, portanto, sempre como origem ou destino de dados. A representação gráfica da entidade externa é um retângulo no qual está associada uma denominação.

Embora nem todos os autores adotem os mesmos símbolos na construção do diagrama, todos utilizam a duplicação de objetos para se evitar o cruzamento de fluxos, dado que isso poderia dificultar a interpretação do sistema de informações. Sendo assim cabe informar, ainda, que a entidade externa e o arquivo de dados podem ser representados mais de uma vez. Ainda, um processo não pode ser duplicado, pois ocorre uma única vez na seqüência de procedimentos do sistema de informações representado pelo DFD.

Para fins desta pesquisa, a representação gráfica e a terminologia adotada são apresentadas na FIGURA 2.21.

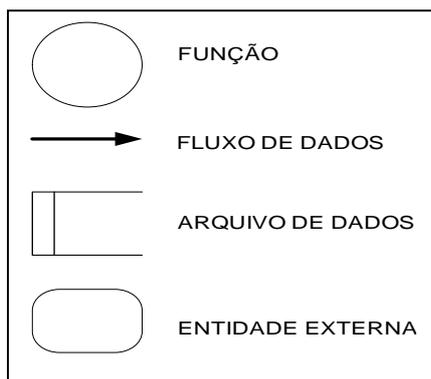


FIGURA 2.21 TERMINOLOGIA E REPRESENTAÇÃO GRÁFICA - DFD

Fonte: Adaptado de Yourdon (2002).

Como exemplo, para ilustração da aplicação de um processo simples utilizando-se o diagrama DFD, na FIGURA 2.22 é apresentado o fluxo de processamento de pedidos de medicamentos pelo correio a uma empresa de produtos farmacêuticos.

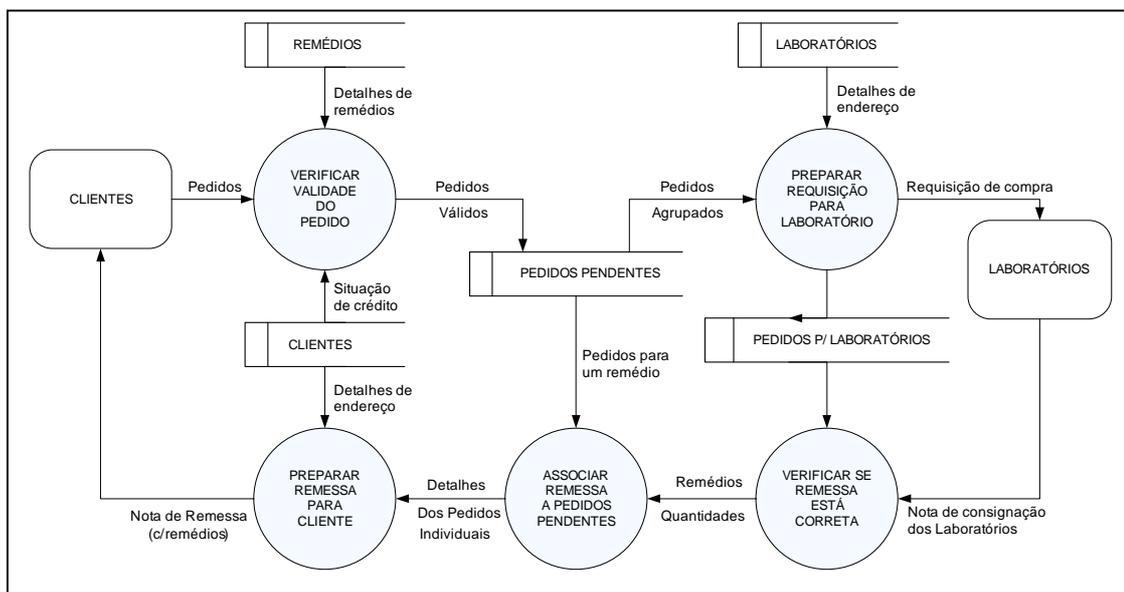


FIGURA 2.22 EXEMPLO DE APLICAÇÃO – DFD

Fonte: Adaptado de Yourdon (2002).

O exemplo apresentado refere-se à solicitação de um pedido de remédios pelo cliente à empresa, que encaminha o pedido ao laboratório e envia os remédios solicitados ao cliente. O processo se inicia com o cliente encaminhando um pedido a empresa, que verifica em uma base de dados as informações referentes aos detalhes do remédio solicitado e em outra base de dados a situação cadastral do cliente. Após verificar a validade do pedido, caso o pedido seja válido, a empresa alimenta a base de dados de pedidos pendentes. Os pedidos de um mesmo laboratório são agrupados e a requisição de compra é enviada ao laboratório. Os pedidos de compra, por laboratório, também são arquivados em uma base de dados. O laboratório processa o pedido e encaminha à empresa, que verifica se a remessa está correta. Na seqüência, a empresa associa os pedidos a cada cliente, conforme base de dados de pedidos pendentes. A remessa dos remédios solicitados aos clientes é preparada, a seguir, a partir de verificação de detalhes do endereço do cliente na base de dados de cadastro dos clientes. Finalmente é emitida a nota de envio dos remédios e os clientes recebem os remédios solicitados.

2.7 ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA EM USINAS HIDRELÉTRICAS

Considerando-se que os projetos para instalações hidrelétricas são específicos, para um determinado aproveitamento, contendo alto grau de complexidade e diversidade técnica, a atualização tecnológica tem reflexos diretos em segmentos como segurança de equipamentos e pessoas; procedimentos de operação e manutenção dos sistemas técnicos; preservação ambiental; eficiência energética; qualidade do produto; disponibilidade, confiabilidade e custos operacionais.

As ações voltadas para a atualização tecnológica nas instalações do setor elétrico nacional e internacional já foram iniciadas. Dias *et al.* (2000) já apontavam esta tendência, tomando-se como base a pesquisa desenvolvida em um conjunto de 36 usinas hidrelétricas e cinco termelétricas do setor elétrico brasileiro, com potência instalada superior a 500 MW. Os trabalhos apresentados por empresas do setor descrevendo estudos e o desenvolvimento de projetos de atualização tecnológica, em recentes encontros técnicos e seminários, corroboram esta afirmação.

Ainda conforme Dias *et al.*(2000), as instalações de geração do setor elétrico no Brasil apresentavam, à época, idade média de 30 anos, o que sinaliza uma tendência de intensificação da necessidade de desenvolvimento de ações de atualização tecnológica dos sistemas em operação. A pesquisa apresentada em Cigré (2000), que contemplou 70 empresas mundiais, de geração de energia, a média de idade dos equipamentos situou-se na faixa de 20 a 30 anos.

Na FIGURA 2.23 observa-se a distribuição da taxa de falhas em relação ao tempo de operação em usinas hidrelétricas.

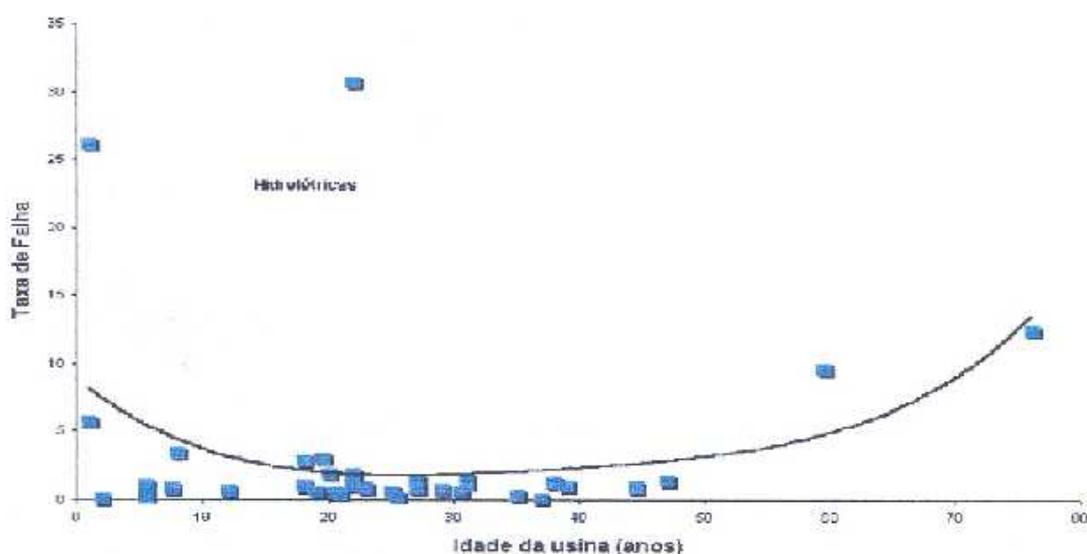


FIGURA 2.23 FALHAS E IDADE DAS USINAS HIDRELÉTRICAS

Fonte: adaptado de Dias *et al.* (2000).

Em alguns casos, paralelamente ao processo de atualização tecnológica também é promovida a repotenciação das unidades geradoras, aproveitando-se a estrutura física existente. Esta estratégia tem como finalidade buscar ganhos em eficiência, evitando-se investimentos em novas instalações e, por conseguinte, minimizando-se o impacto ambiental. O ganho de potência esperado para a repotenciação situa-se entre dois e cinco pontos percentuais (CIGRÉ-BRASIL, 2006).

No Plano Decenal 2006-2015, elaborado pela EPE (2006b), repotenciação é definida como um conjunto de obras que visam gerar ganhos de potência e rendimento.

Neste documento, consta que embora a repotenciação possa agregar pouco em termos de energia assegurada ao sistema, esta ação pode contribuir para o atendimento do crescimento da demanda máxima do sistema.

Os estudos do EPRI (1999), na publicação *Hydro Life Extension and Modernization Guide*, apresentam as alternativas de ação a serem implementadas, especificamente, para o gerenciamento de instalações de geração de energia ao longo dos anos. Este instituto de pesquisa recomenda que as opções de ação a serem implementadas devam ser avaliadas caso a caso, definindo quatro formas de atuação, quais sejam: a extensão da vida útil, a modernização, o reprojeto e a retirada de operação, conforme FIGURA 2.24.

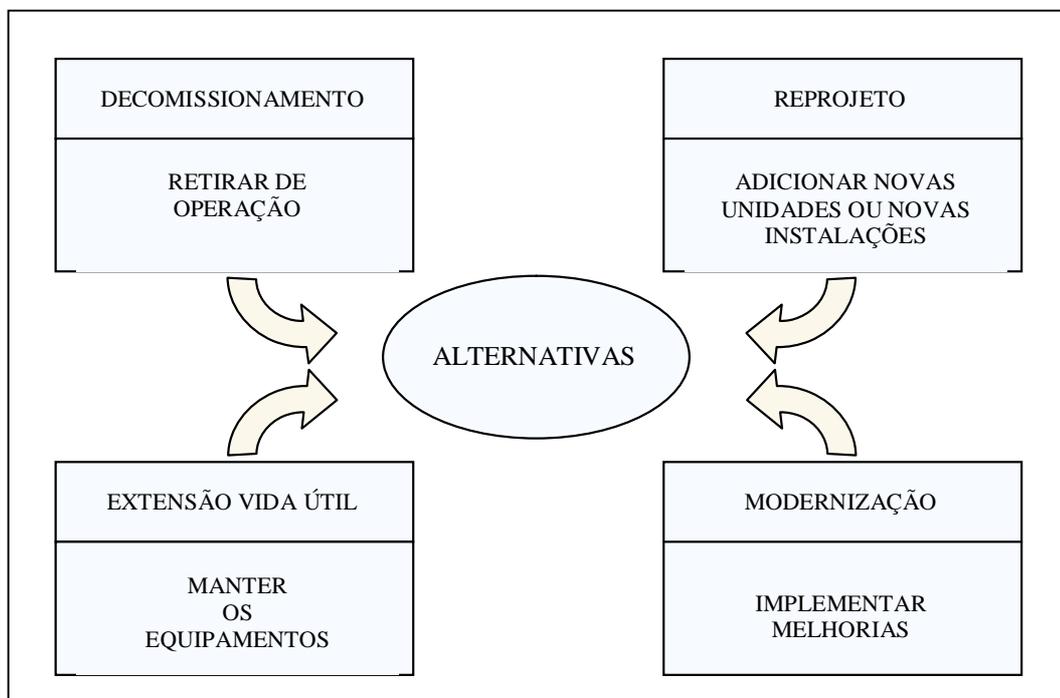


FIGURA 2.24 AÇÕES FRENTE À DETERIORAÇÃO DAS INSTALAÇÕES

Fonte: adaptado de EPRI (1999).

A ação de decomissionamento é definida pelo EPRI (1999) como a retirada de operação de determinada instalação removendo-se equipamentos servíveis para outros aproveitamentos e eliminando-se impactos ambientais devido a estruturas remanescentes, embora alguns custos de conservação ainda se mantenham.

Por outro lado, a ação extensão da vida útil é o conjunto de atividades que contemplam a substituição de componentes e equipamentos de um sistema por outro de tecnologia similar, ou seja, um movimento com a finalidade de restaurar a dependabilidade e sustentabilidade da instalação. As atividades voltadas para a extensão da vida útil são aquelas relacionadas com a gestão dos ativos físicos. Estas atividades se referem à realização de manutenções preventivas e corretivas, podendo inclusive envolver a substituição de algum componente que tenha apresentado falha ou defeito.

O EPRI (1999) define modernização como o conjunto de atividades no qual se substituem os equipamentos considerados obsoletos ou em fim de vida útil, por outros com tecnologia mais avançada e/ou se incorporam sistemas com funcionalidades atualizadas tecnologicamente. Já para o EPE (2006a), a modernização é um conjunto de obras que visam melhorar a eficiência da geração de energia, a confiabilidade e a segurança operacional. Segundo esses conceitos, a ação de modernização está relacionada com o aumento do patamar de desempenho e custo, medido pela produtividade e/ou flexibilidade da instalação. Sendo assim, essa ação compreende as atividades de *upgrading* e *uprating* dos equipamentos, com vistas a aumentar o grau de qualidade e inovação da instalação, sendo na maioria das vezes a solução mais custo-eficiente ao se comparar o investimento necessário para o desenvolvimento de um novo empreendimento.

Ainda o EPRI (1999) define reprojeto como sendo a ação de instalação de novas estruturas, novas unidades geradoras e acréscimos à infra-estrutura, em um aproveitamento hidrelétrico existente. Desta forma, no contexto deste trabalho, tendo em conta as definições apresentadas, o processo de atualização tecnológica compreende as ações de modernização e de reprojeto.

Outro aspecto a ser considerado na avaliação da pertinência em se desenvolver o processo de modernização das instalações é a análise de custos. A esse respeito o EPRI comenta que na maioria dos casos, a análise de custo-benefício não é decisiva na definição da necessidade de iniciar-se este processo, pois algum evento específico, ou mesmo mais de um deles, pode indicar a deflagração da modernização. No entanto, em alguns casos, é necessário executar-se a análise de custos. Para tanto, o mesmo EPRI recomenda que sejam analisados os seguintes componentes de custos:

- Custos de projetos similares de atualização de outras empresas;
- Comparação de custos de equipamentos similares;
- Custos históricos de projetos anteriores;
- Estimativa de custos diretos e indiretos de manutenção.

Apesar dos reconhecidos ganhos resultantes do processo de modernização, em face da necessidade de desligamento das unidades geradoras, as empresas enfrentam queda na disponibilidade operativa no período de implantação do projeto. Isto pode representar perda de faturamento para a empresa geradora, considerando-se que a ANEEL apura mensalmente os indicadores de desempenho como indisponibilidade forçada e programada, e compara com os valores referenciais de energia assegurada contratada. Caso a indisponibilidade seja superior à referência, a empresa sofre redução na alocação de energia do mercado regulado naquele mês, sujeitando aos preços do mercado para atender seus compromissos de suprimento de energia.

Em razão disso, a ANEEL regulamentou um dispositivo como incentivo às ações modernização ou reforma de porte executadas nas usinas hidrelétricas. Assim, a perda de disponibilidade referente aos trabalhos desenvolvidos no período de janeiro de 2001 a junho de 2004 não foi considerada no cálculo da indisponibilidade da usina. Em seguimento a esta política de estímulo à atualização tecnológica, após esse período, conforme Resolução número 688 da ANEEL, não é considerada a indisponibilidade que tenha duração de seis meses, para cada 15 anos de operação da instalação, ou por 12 meses para cada 30 anos de operação, desde que sejam comprovados os ganhos para o SIN - Sistema Interligado Nacional. Além disso, caso o índice de disponibilidade verificada seja inferior ao valor de referência para uma dada usina, a empresa é penalizada pela ANEEL pelo dispositivo denominado Mecanismo de Redução de Energia Assegurada.

2.8 COMENTÁRIOS FINAIS

A abordagem do conjunto de temas discutidos neste capítulo agregou um conjunto de contribuições para a sistematização do processo de atualização tecnológica, principalmente na estruturação de um modelo de gestão focada na confiabilidade e conhecimento dos ativos físicos. Aspectos como a análise da vida útil dos equipamentos e

a atuação da área de manutenção com a finalidade de garantir o desempenho operacional das instalações; o processo e o gerenciamento de projeto; e, a gestão do conhecimento constituem-se referenciais teóricos importantes para sustentação da tese a ser formulada.

A extensão da vida útil dos sistemas técnicos é uma estratégia que está centrada nas ações de manutenção executadas durante o período de uso. Essas ações visam dilatar a vida útil, gerenciando e controlando a taxa de falha para retardar o início do período de desgaste dos sistemas técnicos reparáveis, com o suporte de recursos de logística e mecanismos de detecção de falhas, principalmente no caso desses sistemas não serem reparáveis. Neste sentido, destaca-se a aplicação da metodologia MCC - Manutenção Centrada em Confiabilidade que contempla a análise funcional no contexto operacional dos equipamentos, buscando a garantia da confiabilidade operacional da instalação.

Neste sentido, deve-se considerar que a evolução tecnológica dos sistemas técnicos eletrônicos exige uma estratégia e uma metodologia de manutenção adequada à característica de falha que estes equipamentos apresentam. Assim, a política de manutenção deve ser redefinida considerando ainda a utilização dos *softwares* residentes e a maior dependência de sobressalentes.

Entende-se, em vista disso, que o processo de atualização tecnológica, tanto de modernização, quanto de reprojeto, está relacionado com o processo de gestão de ativos físicos e visa garantir a continuidade do pleno atendimento das funções operacionais, com confiabilidade e manutenibilidade dos sistemas técnicos. Para tanto é requerida a participação da manutenção (com suas áreas de execução e engenharia) no desenvolvimento do processo de atualização tecnológica, desde a etapa de estabelecimento dos requisitos técnicos, visando garantir o desempenho operacional e a extensão da vida útil dos equipamentos.

O contexto da tese refere-se à análise da fase de uso dos sistemas técnicos, mas como o processo de atualização tecnológica é essencialmente um processo de desenvolvimento de projeto, requer do projetista domínio dos conceitos de planejamento, gerenciamento e do processo de projeto. As decisões acerca do projeto devem considerar as informações e registros de operação e de manutenção dos sistemas técnicos atuais, como também o estabelecimento de um escopo do projeto perfeitamente definido, considerando-se as restrições de prazo e custos, além de controlar com rigor os atributos de

confiabilidade, manutenibilidade, disponibilidade e qualidade da energia elétrica a ser produzida.

Não se trata de optar-se por atualizar ou não a instalação. De fato, essa decisão já está tomada, pela natural necessidade em se acompanhar o desenvolvimento tecnológico dos sistemas técnicos, em busca de maior segurança operacional, qualidade e confiabilidade na produção de energia elétrica, com custos mais otimizados, como consequência da aplicação de um processo de manutenção menos intensivo. Este posicionamento é corroborado por Santos (1999) ao afirmar que dependendo da idade dos equipamentos das instalações hidrelétricas a modernização deve ser realizada.

A deteriorização natural dos equipamentos eleva os dispêndios com manutenção e a descontinuidade de fabricação de componentes pode dificultar a aquisição de sobressalentes. A operação de equipamentos mais antigos pode levar a falta de precisão no ajuste de componentes eletromecânicos, perda de confiabilidade no controle e operação de sistemas, elevação do número de intervenções de manutenção, necessidade de implementar-se melhorias nos equipamentos, dentre outras. A estabilidade do suprimento de energia elétrica de um país depende do estado técnico/operacional de cada um dos sistemas técnicos que compõem sua matriz energética.

A análise do comportamento da vida útil dos equipamentos sinaliza probabilidade de maior número de falhas no período identificado como de juventude, mesmo sendo a curva de taxa de falha uma abstração do comportamento médio global do conjunto de sistemas e equipamentos de uma instalação. Assim, se depara com uma probabilidade de taxa de falha maior logo após a conclusão do projeto de atualização tecnológica. Isto reforça a necessidade de assumir-se uma postura preventiva e pró-ativa, com a finalidade de minimizar a probabilidade de falhas neste período.

Quanto ao conhecimento dois aspectos podem ser destacados: o primeiro refere-se ao conhecimento associado aos sistemas técnicos em operação, por vezes desestruturado e com conteúdo não consistente, por isso apresentando dificuldades para seu gerenciamento. O segundo aspecto refere-se ao conhecimento associado aos equipamentos tecnologicamente mais avançados, que a serem implantados requerem um aprendizado durante o desenvolvimento do projeto e, posteriormente, no período de uso. Para tanto, um conjunto de ações deve ser demandado para a formação e capacitação da equipe de

manutenção e para a estruturação de registros sistemáticos com a finalidade de composição do histórico dos sistemas técnicos, bem como o estabelecimento de estratégias a disponibilização e o domínio dos *softwares* residentes. É necessário que se absorva o conhecimento, resgatando e explicitando procedimentos e técnicas de manutenção, promovendo o desenvolvimento da competência técnica da equipe. Observa-se que as ações de gestão do conhecimento, assim definidas, também devem contemplar o processo de atualização tecnológica no intuito de preservar informações a serem utilizadas na gestão de ativos físicos ao longo da vida útil dos equipamentos, como também para subsidiar outros projetos de atualização tecnológica.

Um outro fator a ser considerado é que o projeto de uma instalação hidrelétrica prevê uma vida útil superior a evolução tecnológica dos equipamentos instalados na usina. Neste sentido, Schreiber (1987) apresenta o tempo de vida útil considerado para os componentes de uma usina hidrelétrica na etapa de projeto, como segue:

- ✓ Barragem de terra ou concreto - 100 anos
- ✓ Comportas de aço - 40 a 60 anos
- ✓ Conduitos forçados - 40 a 70 anos
- ✓ Geradores - 15 a 25 anos
- ✓ Turbinas hidráulicas – 20 a 40 anos

Mesmo considerando-se que atualmente os processos industriais permitem produzir equipamentos com vida útil maior que estas estimativas, por outro lado a evolução tecnológica ocorre em espaço de tempo cada vez mais curto. Em vista disso, o conhecimento acumulado no decorrer do tempo necessita ser permanentemente atualizado e transposto para um outro patamar tecnológico, com a finalidade de preservar o desempenho operacional das instalações.

CAPÍTULO 3: USINAS HIDRELÉTRICAS E EMPRESAS DE GERAÇÃO HIDRELÉTRICA PESQUISADAS

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A energia elétrica é um bem social de importância estratégica para a economia de um país. A eventual interrupção no fornecimento de energia elétrica implica em uma série de repercussões negativas tanto para quem produz, transmite ou distribui, quanto para o consumidor. Com relação a quem fornece, a descontinuidade no fornecimento de energia significa, dentre outras consequências: lucro cessante, multas contratuais e comprometimento da imagem da empresa. Para o consumidor, por sua vez, costumam também ocorrer perdas significativas, seja acarretando desconforto, quebra de produção e prejuízos financeiros, ou até danos associados à segurança pessoal e material.

O setor elétrico brasileiro tem vivenciado mudanças estruturais e institucionais, ao longo das últimas três décadas, em decorrência do panorama econômico nacional e internacional, das demandas da sociedade e das políticas governamentais. Segundo Tolmasquim (2005), a abertura econômica no Brasil iniciada no início da década de 1990 fez com que o país passasse por uma fase de ajustamento, exigindo reformas institucionais, modernização de processos produtivos, na busca de maior eficiência e produtividade. Tais requerimentos também refletiram no mercado de energia elétrica, com a expansão do segmento de comércio e serviços em relação ao segmento industrial.

Com a promulgação da Lei nº 10.848, de março de 2004, foi estabelecido o atual modelo institucional para o setor elétrico brasileiro, cujos aspectos fundamentais são: segurança de suprimento; modicidade tarifária; licença socioambiental prévia com os ambientes de contratação e de competição; geradores, e seus produtores independentes com a comercialização em um ambiente regulado e livre; criação de novos agentes institucionais, dentre outros. Por exemplo, foram criados pela citada lei: a EPE - Empresa de Pesquisa Energética; o CMSE - Comitê de Monitoramento do Sistema Elétrico; e, a CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. Estes órgãos complementaram o conjunto de agentes setoriais existentes à época, quais sejam: o MME - Ministério de Minas e Energia, o CNPE - Conselho Nacional de Política Energética; a ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica; e o ONS - Operador Nacional do Sistema.

O modelo institucional estabeleceu um processo de expansão do parque gerador que conta com a atuação de agentes privados e públicos. Esses agentes decidem o montante de energia elétrica a contratar e realizam investimentos via participação em leilões de usinas geradoras. De acordo com a Lei nº 10.848, o montante de energia elétrica a ser ofertado pelos agentes geradores é definido, tomando-se como referência a informação dos agentes de distribuição, que se comprometem a pagar por meio de contratos, também resultantes de leilões. Adicionalmente, os agentes geradores podem contratar o fornecimento com consumidores livres, direta e livremente.

A capacidade instalada do Brasil, em dezembro de 2005, apresentado no Plano Decenal para o SIN - Sistema Interligado Nacional demonstra a representativa participação da geração hidrelétrica na matriz energética brasileira, como pode ser observado no QUADRO 3.1.

O Plano Decenal de Expansão da Energia Elétrica, para o período 2006 a 2015, elaborado pela EPE, estabelece três cenários econômicos, quais sejam: trajetória alta; trajetória de referência; e, trajetória baixa. Esses cenários estão relacionados ao crescimento do PIB, tendo como finalidade, segundo a EPE (2006b):

[...] subsidiar a realização de futuros leilões de compra de novos empreendimentos de geração e de novas instalações de transmissão, a definição de quais estudos de expansão de transmissão devem ser priorizados, bem como de quais estudos de viabilidade técnico-econômica e socioambiental de novas usinas geradoras realizarem e, eventualmente, quais estudos de inventários deverão ser realizados (p.11).

Este plano de expansão apresenta uma trajetória econômica de referência, considerada a mais provável no horizonte decenal; na qual a taxa média resultante de crescimento de consumo de energia elétrica situa-se em 5,2% ao ano, quando se considera o consumo total do país. Para o planejamento de geração hidrotérmica incremental, a EPE se baseou nos programas de obras decorrentes de licitações de concessões já realizadas; nas autorizações para usinas termelétricas concedidas pela ANEEL; nas informações do acompanhamento dos cronogramas de obras realizadas no âmbito do CMSE; nas informações sobre as próximas licitações previstas; e, nos projetos de usinas em estágio de viabilidade e de inventário.

FONTE	CAPACIDADE INSTALADA (MW)
Hidrelétrica ^(a)	68.637
Termelétrica ^(b)	12.407
Nuclear	2.007
Outras Fontes ^(c)	2.899
Subtotal	85.950
Interligação com a Argentina	2.178
Parcela de ITAIPU da ANDE	5.600
TOTAL	93.728

Legenda:

(a) Instalações dos sistemas isolados (Acre, Rondônia e Manaus) e parcela brasileira de ITAIPU;

(b) Inclui instalações dos sistemas isolados (Acre, Rondônia e Manaus);

(c) Pequenas Centrais Hidrelétricas e Termelétricas. Adotado um fator de capacidade⁹ de 0,6.

QUADRO 3.1 PARQUE GERADOR DEZEMBRO/2005

Fonte: EPE (2006b).

O plano decenal, assim desenvolvido, indica um crescimento planejado de aproximadamente 40% para a geração hidrelétrica (de 74.237MW para 104.282 MW) e um crescimento para a geração termelétrica de 69% (de 16.592 MW para 26.604 MW). Em razão do montante de energia envolvido, pode-se confirmar a vocação do mercado de energia no Brasil para a geração hidrelétrica, o que tende a se manter ainda por um extenso período, conforme estudos de mais longo prazo, corroborados por Ventura Filho (1998).

Na FIGURA 3.1 é apresentada a evolução da capacidade instalada prevista, no horizonte decenal de planejamento, para a geração hidrelétrica do SIN.

Outro aspecto a ser considerado são os custos de capital alocados nos empreendimentos. Para Hardarson *et al.* (2001), o custo de usinas hidrelétricas é afetado pela taxa de juros de forma bem mais significativa do que nas usinas termelétricas, devido

⁹ Fator de capacidade: razão entre a potência média fornecida e a capacidade de geração instalada de uma usina, durante um intervalo de tempo especificado.

ao maior período de tempo necessário para a implantação do projeto. Por outro lado, os custos anuais de operação e de manutenção das usinas hidrelétricas alcançam até 10% do custo de geração comparando-se com o custo das termelétricas de 70%, principalmente em função do custo do combustível. Björnsson *et al.* (1998) comentam que, mesmo se considerando o baixo fator de capacidade das usinas hidrelétricas (em média 45%), os empreendimentos hidrelétricos são competitivos se comparados aos empreendimentos termelétricos, devido ao fato que estas usinas operam acompanhando as variações da demanda de energia.

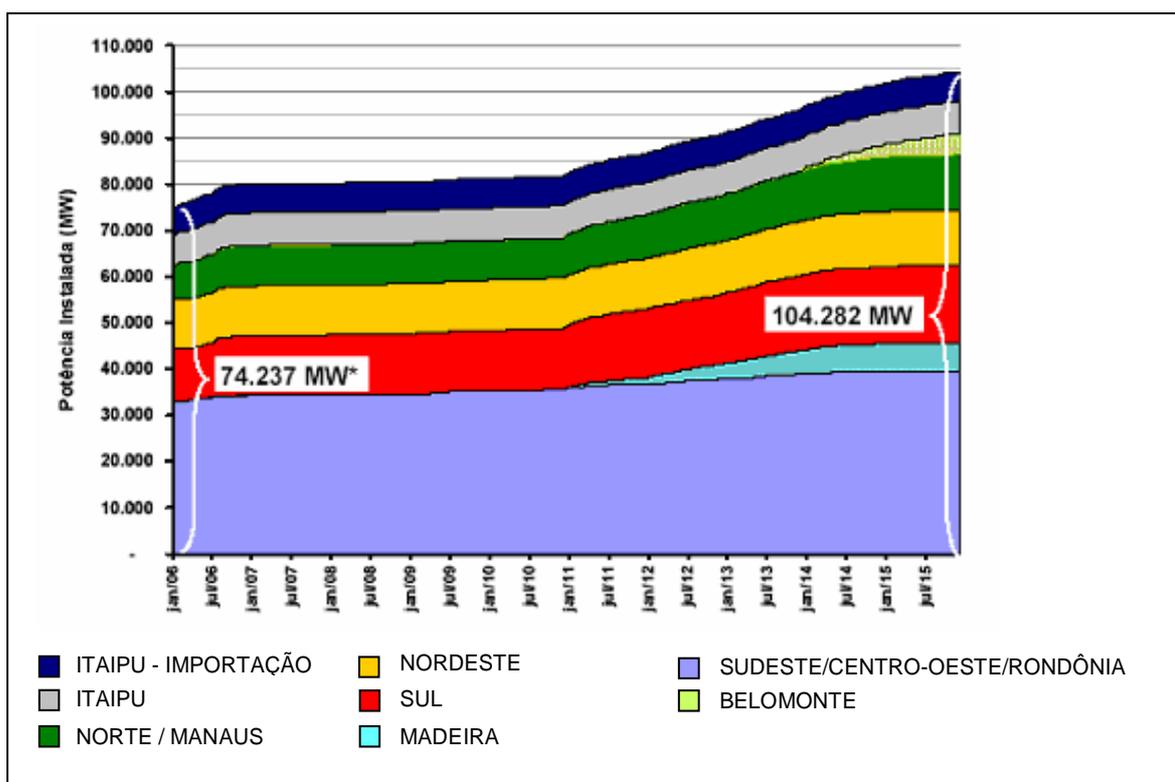


FIGURA 3.1 EVOLUÇÃO DA CAPACIDADE HIDRELÉTRICA NO BRASIL

Legenda: (*) Inclui as usinas do Acre / Rondônia e Manaus / Macapá

Fonte: Adaptado EPE (2006b).

No QUADRO 3.2 são apresentados dados comparativos do custo de geração relacionado a três patamares de fator de capacidade de usinas hidrelétricas e termelétricas, aonde observa-se que os custos de geração hidrelétrica são menores.

TIPO DE INSTALAÇÃO	FATOR DE CAPACIDADE		
	40 (%)	60 (%)	80 (%)
Hidrelétrica	39	33	30
Termelétrica a Gás Natural	61	49	43
Termelétrica a Carvão	78	60	51
Nuclear	106	76	60

QUADRO 3.2 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA: CUSTOS MÉDIOS EM US\$

Fonte: Björnsson *et al.* (1998).

Nota-se que os custos apresentados no QUADRO 3.2 não consideram os custos devidos às externalidades que, principalmente, se devem ao impacto ambiental do empreendimento. A esse respeito, Koch (2001) informa que algumas comparações, por kWh produzido, indicam que os custos das externalidades relativos às termelétricas situam-se em torno de 20 vezes maiores, quando comparados aos custos para as hidrelétricas.

O fato de o SIN - Sistema Interligado Brasileiro ser um sistema de produção e transmissão de energia elétrica hidrotérmico de grande porte, com múltiplos proprietários, formado pelas empresas das regiões sul, sudeste, centro-oeste, nordeste e parte da região norte também merece destaque. Segundo dados disponibilizados pelo ONS (2007), apenas 3,4% da produção e da transmissão de energia não são interligadas ao SIN. Esses pequenos sistemas isolados encontram-se localizados principalmente na região amazônica.

A FIGURA 3.2 apresenta o SIN, com seus principais aproveitamentos e interconexões, o que confirma sua complexidade e amplitude.



FIGURA 3.2 CONFIGURAÇÃO DO SIN

Fonte: EPE (2006b).

A rede básica de transmissão do SIN, compreendendo as tensões de 230 kV a 750 kV, contava em dezembro de 2005, com uma extensão de 83.049 km, englobando 851 circuitos de transmissão e uma capacidade de transformação de 184.790 MVA. Já o parque gerador é composto por 149 empreendimentos hidrelétricos, 870 termelétricos e inúmeras instalações de sub-transmissão e de distribuição de energia elétrica, conforme dados disponibilizados pelo ONS (2007).

Cabe ressaltar que, em um sistema fortemente interligado, uma falha em algum ponto pode acarretar um efeito tipo cascata, com desligamentos sucessivos. Nesta situação, as conseqüências de qualquer ocorrência não prevista são ampliadas, com risco da transferência de um eventual distúrbio comprometer o desempenho de outras regiões, em muitos casos distantes da origem do problema. Tais particularidades reforçam a relevância

de adotar-se um gerenciamento eficaz da operação e manutenção da energia hidrelétrica no Brasil.

O contexto do setor elétrico brasileiro, brevemente discorrido, demonstra a importância da geração hidrelétrica, mesmo considerando-se o planejamento da expansão de longo prazo. A estrutura institucional deste setor, com mecanismos de controle dos agentes geradores, transmissores e distribuidores, garantindo a qualidade, economicidade e continuidade da energia elétrica fornecida aos consumidores. Neste sentido, a gestão dos ativos físicos das empresas, incluindo-se a atualização tecnológica dos sistemas técnicos representa a garantia dos resultados operacionais, gerando, em consequência, ganhos de produtividade.

Um outro aspecto da relevância da atualização tecnológica é a necessidade de energia elétrica como suporte para o crescimento do Brasil. Isso porque no contexto da modernização têm-se a oportunidade de aumentar a capacidade instalada da unidade geradora sem afetar qualquer demanda ambiental, o que permite também um planejamento e desenvolvimento do projeto com brevidade, quando comparado a um novo empreendimento. A idade média do parque gerador, como apresentado na FIGURA 2.23, indica que podem ser auferidos ganhos significativos com a incorporação de novas tecnologias e processos de inovação. Reforça-se, portanto, a necessidade de sistematização do processo de atualização tecnológica para os empreendimentos hidrelétricos visando a maximização desses ganhos.

3.2 USINAS HIDRELÉTRICAS

Uma usina hidrelétrica, de forma sintética, pode ser definida como um conjunto de obras e equipamentos cuja finalidade é a geração de energia elétrica pelo aproveitamento do potencial hidráulico existente num rio. A geração hidrelétrica está associada à quantidade de água disponível em um determinado período de tempo e à altura de sua queda. O potencial hidráulico é proporcionado pela vazão hidráulica e pela concentração dos desníveis existentes ao longo do curso de um rio. Quanto maiores são a vazão de um rio e a queda d'água disponível, maior é o potencial de aproveitamento para a geração de

eletricidade. A vazão de um rio depende de suas condições geológicas, como largura, inclinação, tipo de solo, obstáculos e quedas.

Basicamente, uma usina hidrelétrica é composta por: barragem, sistemas de captação e adução de água, casa de força e sistema de restituição de água ao leito natural do rio. O curso natural de um determinado rio é interrompido pela barragem que provoca a formação de um lago artificial denominado reservatório. A água captada no reservatório é conduzida até a casa de força através de canais, túneis e/ou condutos forçados. A água represada possui energia potencial gravitacional que se converte em energia cinética. Dessa forma, a potência hidráulica é transformada em potência mecânica quando a água passa pela turbina, fazendo com que esta gire, e, no gerador, que também gira acoplado mecanicamente à turbina, a potência mecânica é transformada em potência elétrica, a qual será enviada por meio do sistema de transmissão ao sistema interligado. Após passar pela turbina hidráulica, na casa de força, a água é restituída ao leito natural do rio, pelo canal de fuga.

Os estudos hidrológicos desenvolvidos para a implantação de um empreendimento hidrelétrico consideram os aspectos relacionados com as vazões afluentes buscando incorporar benefícios ao sistema interligado relacionados a flexibilidade operativa da usina para atendimento da demanda de energia elétrica seja de carga como de ponta de energia elétrica. Um outro aspecto se relaciona a forma de operação da usina. A operação pode ser a fio d'água, ou seja operando na base do atendimento da carga com regularização diária do reservatório, sem utilizar a variação do nível do reservatório como regulador da disponibilidade energética da usina. Ou ainda, a usina operará como um reservatório de acumulação, com regularização de médio e longo prazos e variações do nível do reservatório em atendimento à demanda de energia elétrica. Segundo Schreiber (1987), a localização do empreendimento também deve considerar a otimização do aproveitamento de toda a cascata de rio, com usinas posicionadas em seqüência, ao longo de seu curso.

A análise de viabilidade de um empreendimento hidrelétrico considera também o prazo e os custos envolvidos na implantação do projeto, incluindo-se os estudos de impacto ambiental da obra e as ações mitigadoras deste impacto. O uso múltiplo do reservatório também é considerado na definição dos projetos hidrelétricos, tais como controle de cheias, captação de água potável, irrigação, esporte e lazer.

Para a operação segura da usina hidrelétrica um conjunto de equipamentos de supervisão e controle é utilizado como reguladores de tensão e velocidades, sistemas de proteção e sistemas de supervisão de parâmetros operativos da usina. As usinas hidrelétricas contam também com equipamentos auxiliares elétricos, sendo os principais: painéis de controle, transformadores, disjuntores, seccionadoras, subestações auxiliares; e equipamentos auxiliares mecânicos, como: bombas, compressores, tubulações e acessórios, sistemas de frenagem, mancais, sistemas de tratamento de óleo, sistemas de filtragem e ar condicionado.

Como exemplo é apresentado, a seguir, o sistema de regulação de velocidade, com seus principais componentes e características técnicas, bem como associação destes componentes com o processo de atualização tecnológica.

3.2.1 Sistema de regulação de velocidade de turbinas hidráulicas

O conceito básico de regulação de velocidade aplicado às máquinas, de maneira geral, compreende submeter o equipamento a uma determinada regra, conforme observa Vinadé (2003). Pode-se, para tanto, regular a pressão, a velocidade, a tensão elétrica, ou mesmo a temperatura, dentre outras grandezas. Nesse caso, o processo de regulação pode ser aplicado de forma manual ou automática.

A necessidade de regulação da velocidade de rotação ocorre com o advento da invenção da máquina a vapor, por James Watt. De acordo com Ogata (2000), esse pesquisador desenvolveu, no século XVIII, o primeiro trabalho significativo, embora primitivo, sobre o mecanismo de controle automático de velocidade, que se constituía de um controlador centrífugo de esferas, utilizado em sua máquina a vapor. Cabe ainda destacar que os primeiros reguladores de velocidade utilizados em turbinas hidráulicas eram do tipo apresentado, na FIGURA 3.3. Esses reguladores de velocidade geralmente eram denominados como regulador com pêndulo de Watt ou regulador de esferas.

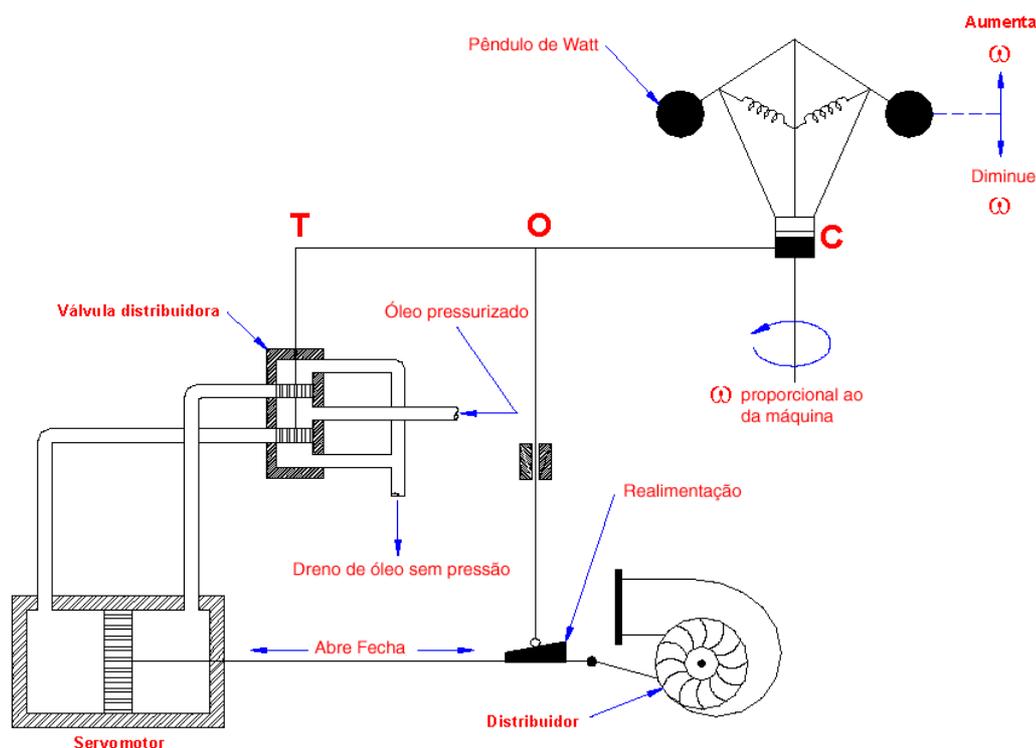


FIGURA 3.3 REGULADOR DE VELOCIDADE DE WATT

Fonte: Itaipu (2004, p.8).

O sistema de regulação de velocidade da unidade geradora reveste-se de primordial importância para o processo produtivo das usinas hidrelétricas, considerando-se que o controle da frequência da energia elétrica gerada é obtido a partir da velocidade de rotação do conjunto hidrogerador. Este fato está relacionado com a dinâmica operacional dessas instalações, que contam com inúmeros equipamentos de complexidade e natureza variadas e que, de forma integrada, cumprem a missão de gerar energia elétrica dentro de padrões de qualidade requeridos como frequência, confiabilidade e continuidade da energia elétrica produzida.

Por outro lado, este sistema de regulação não tem apenas a finalidade primária de manter a frequência da energia gerada, mas também a função de controlar a potência elétrica gerada. Como enfatizam Souza *et al.* (1983), o controle restrito da rotação também deve ser mantido por razões de ordem mecânica, porque o conjunto turbina hidráulica e gerador que compõe a unidade geradora e seus componentes foram projetados para um

rendimento ótimo naquela determinada rotação. Esse sistema, além disso, responde por parcela considerável da disponibilidade da usina hidrelétrica, sendo que a ocorrência de uma eventual falha pode trazer conseqüências para a segurança operacional das instalações, com risco de apresentar possíveis repercussões para o meio ambiente e demais equipamentos.

O sistema de regulação de velocidade e seus componentes devem possuir características operativas que garantam a estabilidade dos parâmetros controlados, para atender de maneira adequada as condições impostas pelo sistema elétrico interligado. A função do sistema de regulação de velocidade é, em outras palavras, manter a rotação da unidade geradora em limites de variação mínimos e preestabelecidos (por exemplo, mais de 1% ou menos de 1%). Caso ocorra uma perturbação através da mudança das condições de carregamento da rede de energia elétrica, o regulador ajusta automaticamente a potência fornecida pela turbina à demanda de carga do sistema elétrico. Desta forma, o regulador se mantém em regime de prontidão só atuando, imediatamente, a partir da constatação de uma mudança da condição de equilíbrio operacional.

Essa condição de equilíbrio deve ser mantida permanentemente, pois o sistema elétrico interligado às centrais hidrelétricas geralmente é extenso e complexo, com os consumidores residenciais, comerciais ou industriais variando o consumo a cada instante. Em conseqüência, as unidades geradoras dessas centrais necessitam ajustar automaticamente a potência a ser entregue ao sistema elétrico pela atuação do regulador de velocidade. Enquanto a operação da central se mantém dessa forma o processo é denominado regulado.

Podem ocorrer, também, condições operativas que exijam do regulador uma resposta do tipo sobre comandada, ou seja, que sua atuação se processe em uma velocidade média constante como é o caso da rejeição plena da carga do sistema elétrico. Os estudos relativos a essa situação, na etapa de projeto, determinam os valores máximos de grandezas como sobre-pressão e oscilações de nível em câmaras de equilíbrio devido à ocorrência de golpe de aríete, sobre-velocidade da unidade geradora devido à inércia do conjunto girante, entre outras.

Nesse particular, a análise e o dimensionamento dessas grandezas são básicos para a segurança física das instalações, estando diretamente associadas ao comportamento do

regulador de velocidade. Como comenta Schreiber (1987), o aumento ou diminuição da pressão no conduto forçado depende do tempo que as aletas móveis do distribuidor da turbina fecham ou abrem, da inércia da massa de água no interior do conduto e da inércia das partes rotativas do conjunto turbina-gerador.

O regulador de velocidade é ainda responsável pela proteção da unidade, atuando tão rápido quanto possível, caso ocorra necessidade de um desligamento intempestivo. Este é mais um aspecto relevante, relativo à importância do regulador de velocidade, para o conjunto dos ativos físicos instalados em uma central hidrelétrica.

Cabe ainda observar que, no caso de rotores de turbinas Francis e Kaplan de centrais hidrelétricas, a regulação de velocidade é realizada com o fechamento e abertura das aletas móveis do distribuidor da turbina, sendo que nas turbinas Kaplan as pás do rotor também recebem comando do sistema de regulação. Dessa maneira a potência motriz é ajustada, via controle do escoamento de água para o interior da turbina, buscando um equilíbrio em relação à potência resistente do gerador. Para os rotores Pelton a entrada de água para a turbina é controlada a partir do posicionamento da agulha do injetor.

O sistema de regulação de velocidade de turbinas hidráulicas é composto por um conjunto de equipamentos com uma gama variada de mecanismos hidráulicos, componentes mecânicos, elétricos e eletro-eletrônicos. Nas usinas hidrelétricas, de maneira geral, o sistema de regulação de velocidade é denominado eletro-hidráulico, por ser constituído por um circuito eletrônico, um circuito hidráulico e um circuito de ar comprimido, contando com uma variedade de equipamentos mecânicos, elétricos e eletrônicos.

A concepção básica de funcionamento do conjunto considera a pressurização pela parte superior do tanque ar/óleo com pressão do circuito de ar comprimido e a injeção de óleo pela parte inferior por bombas hidráulicas instaladas no tanque de óleo sem pressão. Desta forma, é mantido um nível de pressão compatível com a operação do circuito hidráulico que, ao receber o comando via atuador, movimenta a válvula distribuidora direcionando a passagem de óleo para as câmaras dos servomotores. Esse componente, por sua vez, movimenta o anel de regulação onde estão conectadas as aletas móveis, permitindo um controle da passagem de água pelo rotor da turbina e, conseqüentemente,

controlando a velocidade de rotação da unidade geradora, para uma determinada condição de potência a ser entregue ao sistema elétrico.

Para o suprimento da pressão para operação do circuito hidráulico, é necessário um conjunto de outros equipamentos mecânicos e hidráulicos, sendo os principais: tanques de ar/óleo, bombas de óleo, tanque sem pressão, sistema de amortecimento e de sobrevelocidade hidrodinâmica, válvulas de isolamento, de segurança e de alívio, acessórios de controle de pressão, de nível e de temperatura, e tubulações de óleo. O circuito hidráulico se encontra ainda conectado a um circuito de ar comprimido constituído por: motos-compressores, tanque de ar comprimido, válvulas de controle e bloqueio e linhas de ar comprimido.

Os principais equipamentos mecânicos de um sistema de regulação de velocidade são apresentados no QUADRO 3.3.

EQUIPAMENTOS MECÂNICOS	
CIRCUITO HIDRÁULICO	Atuador Distribuidor hidráulico Servomotores Tanques ar-óleo e tanques de óleo Bombas hidráulicas Válvulas de controle e dispositivos de medição Tubulações e válvulas de bloqueio
CIRCUITO DE AR COMPRIMIDO	Motocompressores Tanque de ar comprimido Válvulas de controle e dispositivos de medição Tubulações e válvulas de bloqueio

QUADRO 3.3 PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS MECÂNICOS DO SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE

Fonte: adaptado de Itaipu (2004).

Conforme apresentado por Santos (1999), independente do escopo do projeto de modernização de instalações hidrelétricas do setor elétrico brasileiro, em todos os projetos, estão incluídos os equipamentos de supervisão, controle e regulação.

3.2.2 Atualização tecnológica dos reguladores de velocidade

Nos últimos anos, com a evolução tecnológica da eletrônica industrial alguns componentes mecânicos puderam ser eliminados e mecanismos de atuação hidráulica foram sendo gradualmente simplificados e tornados mais sensíveis ao comando, conforme observa Kornegay (2005). Determinadas funções, segundo Capelli (2007), que contavam com componentes mecânicos, foram sendo substituídas por outras funções executadas eletronicamente. Por exemplo, o pêndulo de Watt, já citado, foi substituído por um transdutor eletro-hidráulico, uma vez que com o decorrer dos anos aquela solução não mais conseguia atender as exigências de técnicas requeridas.

A evolução tecnológica experimentada pelos reguladores de velocidade, como observa o EPRI (1999), inicialmente ocorreu devido à dificuldade em se adquirir sobressalentes para os reguladores em operação, em função da obsolescência desses equipamentos. Outra razão, também apresentada, foi a intensificação do processo de automação das instalações hidrelétricas, que passou a exigir requisitos técnicos específicos não demandados nas instalações convencionais. Contribuíram ainda para essa evolução a exigência por melhoria de características de desempenho operacional e as necessidades associadas a questões ambientais. Como exemplo, pode ser citado o risco de contaminação por possíveis vazamentos de óleo do sistema hidráulico. Com a utilização de pressões maiores, em ações de atualização tecnológica, o volume de óleo necessário à operação do sistema pode ser reduzido.

Historicamente, segundo Paiva e Zeni Júnior (2000), os sistemas de regulação de velocidade têm uma estrutura de controle, com realimentação de posição. O estatismo é definido como a variação da velocidade de rotação da unidade geradora em carga máxima e a velocidade relativa à sua operação em vazio, dividida pela rotação nominal da unidade. É um sinal de restauração, no sentido de correção de um desvio de velocidade de rotação observado, sendo um requisito necessário para viabilizar a operação em paralelo de várias unidades geradoras. Nesse sentido, essa definição de estatismo é bastante semelhante à de regulação, bastando considerar a velocidade de giro ao invés de frequência de rotação, conforme comenta Souza *et al.* (1983).

Esse parâmetro de realimentação de controle se subdivide em: estatismo permanente, que representa a variação de velocidade para determinada variação de carga

da unidade, e estatismo transitório, ou seja, a variação de velocidade que prevalece durante o início do regime transitório. Souza *et al.* (1983) observam que essa última característica se justifica, pela necessidade de evitar-se uma atuação muito rápida do regulador frente a uma mais lenta variação de rotação, o que poderia implicar em elevação da pressão na tubulação forçada ou ainda causar instabilidade no processo de regulação.

Em outras palavras, o estatismo permanente corresponde ao ganho em regime permanente e relaciona o desvio de frequência com a variação da posição do distribuidor ou variação de potência, segundo Paiva e Zeni Junior (2000). Já o estatismo transitório, conforme os mesmos autores, corresponde à ação de controle proporcional e integral.

A função regulação foi no passado executada por componentes mecânicos, que além dos problemas relacionados ao desgaste, folgas e grimpamento¹⁰ apresentam inconvenientes quanto a ajustes dos ganhos. Os reguladores atuais contam com módulos eletrônicos do tipo proporcional, integral e derivativo, que foram sendo agregados progressivamente no sentido de cada vez mais refinar o processo de regulação e melhorar a estabilidade do sistema elétrico interligado.

Os principais equipamentos elétricos e eletrônicos de um sistema de regulação de velocidade atualmente são apresentados no QUADRO 3.4.

EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS	
EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS	Motores Dispositivos de controle Dispositivos de comando
EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS	Circuito frequenciométrico Circuito acelerométrico Circuito de regulação de carga e frequência Circuitos de retroalimentação de potência e de abertura Circuito amplificador de potência Limitador de abertura e de potência Circuito de proteção e controle

QUADRO 3.4 PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS DO SISTEMA DE REGULAÇÃO DE VELOCIDADE

Fonte: adaptado de Itaipu (2004).

¹⁰ Termo técnico utilizado que indica a ocorrência de interferência física entre superfícies deslizantes entre si.

O componente responsável pela função regulação é um controlador denominado PID, devido às características de regulação dos módulos desse equipamento:

P - representa o ganho proporcional entre a diferença de velocidade da turbina em um dado momento e o valor de referência definido para a velocidade;

I - representa o ganho dependente da integral do erro detectado de velocidade;

D - representa o ganho diferencial dependente da derivada do erro de velocidade, ou seja, está diretamente associada à aceleração do erro detectado de velocidade.

Para melhor entendimento do funcionamento de um regulador eletrônico de velocidade, na FIGURA 3.4 é apresentado o circuito hidráulico típico de comando composto por: atuador, distribuidor hidráulico, eletroválvula de segurança, servomotor do mecanismo de regulação da turbina e tubulações. O atuador transforma um sinal eletrônico em um comando hidráulico e o distribuidor hidráulico controla o fluxo de óleo para as câmaras de abertura ou fechamento do servomotor.

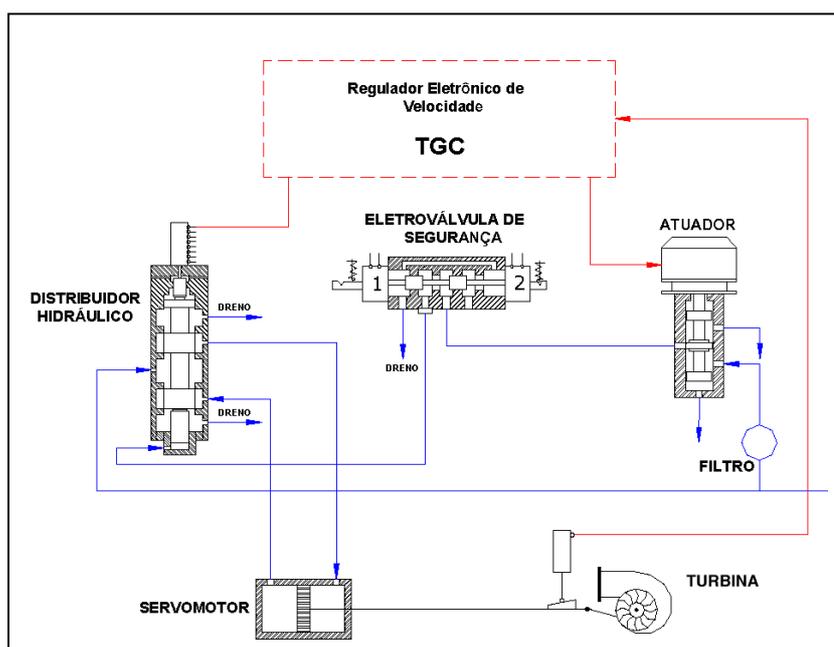


FIGURA 3.4 CIRCUITO HIDRÁULICO TÍPICO SIMPLIFICADO

Fonte: adaptado de Itaipu (2004). Legenda TGC – Turbine Generator Control

A movimentação das aletas móveis da turbina ocorre pelo deslocamento dos êmbolos dos servomotores, que se encontram conectados ao anel de regulação. Como medida de segurança operacional, a eletro válvula está instalada na linha de pressão entre o

atuador e o distribuidor, atuando eletricamente por solenóides, caso ocorra um comando de parada ou bloqueio da unidade geradora devido a algum tipo de proteção elétrica.

O circuito eletrônico do sistema de regulação de velocidade, esquematicamente reunido no bloco denominado regulador eletrônico de velocidade na FIGURA 3.4 é composto principalmente por circuitos sensíveis à frequência de rotação da unidade geradora, dispositivos de regulação de carga e frequência, somadores e amplificadores eletrônicos, limitadores de abertura e potência, e dispositivos de controle de posição. É neste componente do sistema de regulação onde se verificam ações de atualização tecnológica de forma mais intensa, com a utilização de tecnologia de eletrônica digital e *softwares* residentes.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DAS EMPRESAS PESQUISADAS

Este item foi elaborado para atender a um dos objetivos específicos da presente investigação. Na caracterização das empresas pesquisadas apresentam-se: um breve histórico da instituição; a missão e as principais metas formalmente veiculadas; a região do país em que a empresa atua e a estrutura organizacional, com foco nas áreas relacionadas à Engenharia de Manutenção e de Projeto.

Para tanto, foram feitas pesquisa de campo, em fontes secundárias e em fontes primárias, por meio de levantamentos em documentos técnicos e de entrevistas aos profissionais especialistas atuantes nas seguintes empresas de geração hidrelétrica no Brasil, selecionadas como objeto de estudo: CHESF; FURNAS; ELETRONORTE; ITAIPU; CEMIG-GT; TRACTEBEL; e, LIGHT. Estas visitas tiveram como finalidade levantar as informações junto à especialistas que empreenderam ou estão empreendendo processos de atualização tecnológica, a partir de um roteiro de entrevista semi-estruturada apresentada no APÊNDICE C.

3.3.1 CHESF

A CHESF - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco é uma empresa de economia mista, subsidiária da ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A e com sede em Recife no Estado de Pernambuco foi criada pelo Decreto Lei 8.031 de 03 de outubro de 1945. Com a abertura para o novo modelo do Setor Elétrico Brasileiro, a CHESF teve a sua missão estendida. Além de produzir, transmitir e comercializar energia elétrica para os estados da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí, a CHESF tem contratos de venda de energia em todos os sub-mercados do SIN, em outros estados brasileiros, como: Maranhão, Goiás, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Paraná (CHESF, 2007).

O Governo Federal Brasileiro autorizou a criação da CHESF para o aproveitamento do Rio São Francisco, sendo que em 1948 foi criada a Comissão do Vale do São Francisco nos moldes da TVA - *Tennessee Valley Authority*, nos Estados Unidos, destinada a promover a valorização econômica da Bacia do São Francisco. A CHESF, considerando as condições naturais proporcionadas pelo desnível de Paulo Afonso, construiu as usinas hidrelétricas de Paulo Afonso I, II e III. Posteriormente, a Comissão do Vale do São Francisco construiu no trecho mineiro do Rio São Francisco a barragem de Três Marias, cuja usina foi construída mais tarde pela empresa de geradora do Estado de Minas Gerais, hoje denominada CEMIG GT – Cemig Geração e Transmissão S.A.

A partir da década de 1970, com a finalidade de regularizar as vazões do Rio São Francisco e aumentar a produção de energia elétrica, a CHESF construiu a barragem e a usina de Apolônio Sales (Moxotó) e, posteriormente as barragens e hidrelétricas de Sobradinho, Paulo Afonso IV, Luiz Gonzaga (Itaparica) e Xingó.

A área principal de atendimento da empresa abrange mais de 1 milhão de km², na região nordeste, representando aproximadamente 15 % do território nacional. O sistema de geração da CHESF é composto atualmente por 14 usinas hidrelétricas e uma usina termelétrica, perfazendo uma potência instalada de 10.618,32 MW, ou seja aproximadamente 11% da capacidade instalada no Brasil. O sistema de transmissão conta com 94 subestações e mais de 18.000 km de linhas de transmissão, nas tensões de 69, 138, 230 e 500 kV. Em 2006 a CHESF produziu 54.718 GWh de energia elétrica, representando uma receita bruta de R\$ 3.949 bilhões.

Os principais empreendimentos hidrelétricos da CHESF são apresentados no QUADRO 3.5, como também a potência instalada e ano de entrada em operação de cada usina hidrelétrica. Cabe comentar que a CHESF possui ainda outros empreendimentos hidrelétricos, de menor porte, como a Usina de Funil, Usina Pedra, Usina Araras, Usina Piloto e Usina Curemas.

USINA HIDRELÉTRICA	POTÊNCIA INSTALADA (MW)	INÍCIO OPERAÇÃO
Paulo Afonso I *	180	1954
Paulo Afonso IIA *	215	1961
Paulo Afonso IIB *	228	1967
Boa Esperança **	237,3	1970
Paulo Afonso III *	794	1971
Apolônio Sales	400	1977
Sobradinho	1.500	1979
Paulo Afonso IV	2.462	1979
Luiz Gonzaga	1.480	1988
Xingó	3.162	1994

Legenda: (*) Em Modernização; (**) Modernizada.

QUADRO 3.5 PRINCIPAIS USINAS HIDRELÉTRICAS DA CHESF

Fonte: dados primários e secundários da pesquisa.

Na FIGURA 3.5 é apresentada a estrutura organizacional da CHESF, sendo que a área de área de manutenção está vinculada à Diretoria de Operação. A área de engenharia de projeto e a área de implantação de projetos estão vinculadas à Diretoria de Engenharia e Construção.

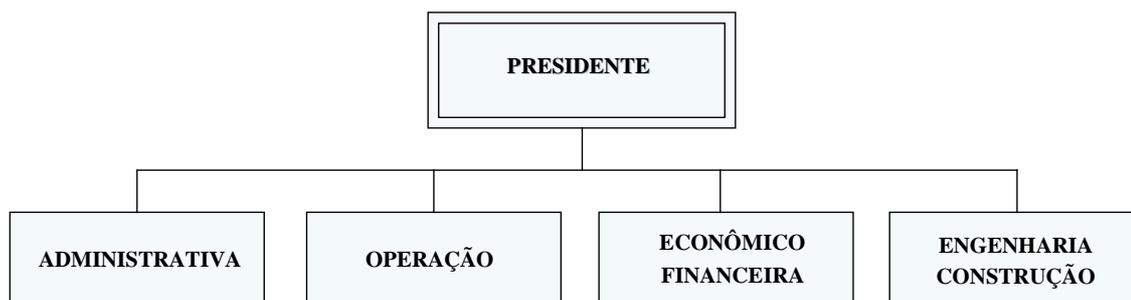


FIGURA 3.5 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL CHESF

Fonte: adaptado de Chesf (2007)

A CHESF possui uma estrutura própria de capacitação de pessoal contando com dois centros de formação, com recursos técnicos e metodológicos de educação corporativa. Um centro localizado em Recife para capacitação de todos os colaboradores da empresa e um centro de formação específico para capacitação em atividades e processos de operação e manutenção, localizado em Paulo Afonso.

3.3.2 ELETRONORTE

A ELETRONORTE - Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A., uma sociedade anônima de economia mista, subsidiária da ELETROBRÁS com sede em Brasília no Distrito Federal, foi criada em 20 de junho de 1973. Tem como finalidade principal a realização de estudos, projetos, construção e operação de usinas geradoras e de sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica, além da comercialização da energia gerada pela empresa. Atua na região amazônica, nos seguintes estados brasileiros: Acre, Amapá, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins (ELETRONORTE, 2007).

Esta empresa foi responsável pela construção e montagem das usinas hidrelétricas em operação, apresentadas no QUADRO 3.6, com a indicação da potência instalada e ano de início de operação.

USINA HIDRELÉTRICA	POTÊNCIA INSTALADA (MW)	INÍCIO OPERAÇÃO
Usina Coaracy Nunes 1ª etapa *	48	1970
Usina Curuá Una ***	36	1970
Usina de Balbina *	1250	1980
Usina de Samuel *	222	1980
Usina de Tucuruí 1ª etapa *	4000	1984
Usina Coaracy Nunes 2ª etapa	30	1990
Usina de Tucuruí 2ª etapa **	3960	2006

Legenda: (*) Em Modernização; (**) Reprojeto; (***) Modernização em fase de projeto

QUADRO 3.6 USINAS HIDRELÉTRICAS DA ELETRONORTE

Fonte: dados secundários da pesquisa.

A FIGURA 3.6 apresenta a estrutura organizacional da ELETRONORTE, sendo que as áreas de engenharia de projeto e de implantação de projeto estão vinculadas à Diretoria de Engenharia e a área de manutenção é subordinada à Diretoria de Produção e Comercialização.



FIGURA 3.6 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL ELETRONORTE

Fonte: adaptado de Eletronorte (2007)

3.3.3 FURNAS

A empresa FURNAS - Furnas Centrais Elétricas S.A. foi criada em 28 de fevereiro de 1957, através do Decreto Federal 41.066, para operar no Rio Grande a primeira usina hidrelétrica de grande porte do Brasil, a Usina Hidrelétrica de Furnas com capacidade instalada de 1.216 MW. Também subsidiária da ELETROBRÁS, com sede no Rio de Janeiro, está presente no Distrito Federal e nos seguintes estados brasileiros: São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Paraná e Rondônia (FURNAS, 2007).

Totalizando uma potência instalada de 9.910 MW FURNAS conta com 11 empreendimentos hidrelétricos em operação e com um sistema de transmissão com 19.277,5 km de linhas e 46 subestações, representando aproximadamente 10% da capacidade de geração de energia elétrica do Brasil.

Em 1969 FURNAS era responsável por 25% do total de energia elétrica produzida no Brasil. Inicialmente, denominada Central Elétrica de Furnas, após construir a Usina de Hidrelétrica de Furnas, a Usina Hidrelétrica Luiz Carlos Barreto de Carvalho (Estreito), Usina de Hidrelétrica de Funil e assumir a conclusão da usina termelétrica de Santa Cruz a empresa recebe o nome que mantém até os dias de hoje, Furnas Centrais Elétricas S.A.

FURNAS também foi responsável pela construção do sistema de transmissão em corrente alternada e contínua de Itaipu, bem como da construção da Usina Nuclear de Angra dos Reis (atualmente com operação sob responsabilidade da Eletronuclear) e do sistema de transmissão associado à usina nuclear. Em 1992, ao completar 30 anos de operação do primeiro quilowatt-hora a empresa já contava em seu parque gerador com cinco usinas hidrelétricas e exercia atividades em países do exterior, em serviços técnicos e consultoria, como: Uruguai, Argentina, Paraguai, Estados Unidos, México, Espanha, Suíça, Alemanha, Paquistão, Angola, Moçambique e Namíbia.

Na FIGURA 3.7 é apresentada a estrutura organizacional de FURNAS, onde observa-se que a área de manutenção está vinculada à Diretoria de Operação do Sistema e Comercialização, e as áreas de engenharia de projeto e implantação de projeto são subordinadas às Diretorias de Engenharia e de Construção, respectivamente.

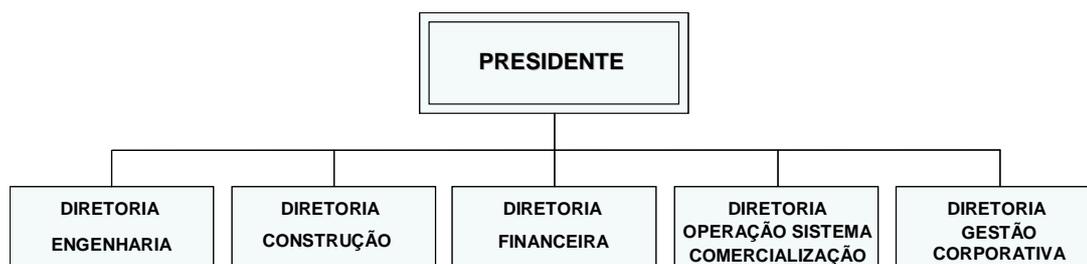


FIGURA 3.7 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL FURNAS

Fonte: adaptado Furnas (2007)

No QUADRO 3.7 encontram-se a potência instalada e ano de entrada em operação das usinas hidrelétricas de FURNAS.

USINA HIDRELÉTRICA	POTÊNCIA INSTALADA (MW)	INÍCIO OPERAÇÃO
Furnas 1ª etapa*	912	1965
Mascarenhas de Moraes*	476	1968
Luiz Carlos Barreto de Carvalho *	1050	1969
Funil	216	1969
Furnas 2ª etapa*	304	1970
Porto Colômbia	320	1973
Corumbá	375	1977
Maribondo	1.440	1977
Itumbiara	2.082	1981
Serra da Mesa	1.275	1998
Manso	212	1999
Peixe Angical	452	2006

Legenda: (*) Em Modernização.

QUADRO 3.7 USINAS HIDRELÉTRICAS DE FURNAS

Fonte: dados primários e secundários da pesquisa.

3.3.4 ITAIPU BINACIONAL

A empresa Itaipu Binacional foi constituída em 17 de maio de 1974, tendo como base um tratado internacional, o Tratado de Itaipu, celebrado entre o Brasil e o Paraguai (ITAIPU, 1994). Este tratado estabelece que a energia produzida pelo aproveitamento seja dividida igualmente entre ambos os países. Segundo dados de Itaipu (2007c), a usina hidrelétrica de ITAIPU é um empreendimento binacional localizado em Foz do Iguaçu-PR, no Rio Paraná, sendo por parte do Brasil representada pela ELETROBRÁS e, por parte do Paraguai, pela ANDE - *Administración Nacional de Eletricidad*.

Em 05 de maio de 1984, entrou em operação comercial a primeira das 18 unidades geradoras previstas para a primeira etapa de montagem, com potência nominal unitária de 700 MW (nove geradores na frequência de 50 Hz e nove na frequência de 60 Hz). Sete anos mais tarde ocorreu o início da operação comercial da décima oitava unidade geradora. No início de 2007, a segunda etapa de montagem foi concluída, com a instalação das duas unidades geradoras adicionais, totalizando 14.000 MW de potência instalada.

A participação no fornecimento de energia elétrica para o Brasil e o Paraguai faz com que a Central de Hidrelétrica de Itaipu, a maior usina hidrelétrica do mundo em termos de potência instalada, detenha o recorde mundial de geração obtido no ano de 2001, ao produzir aproximadamente 89.000 GWh. Em 2006, confirmando sua importância estratégica, a empresa produziu aproximadamente 85.000 GWh, suprimindo 20% do total da energia elétrica produzida no Brasil (equivalente a 30% das necessidades de consumo das regiões sul-sudeste e centro-oeste) e cerca de 95% da energia elétrica do Paraguai (ONS, 2007).

O organograma de ITAIPU é apresentado na FIGURA 3.8, onde as áreas de engenharia de projeto, implantação de projeto e manutenção estão vinculadas à Diretoria Técnica.

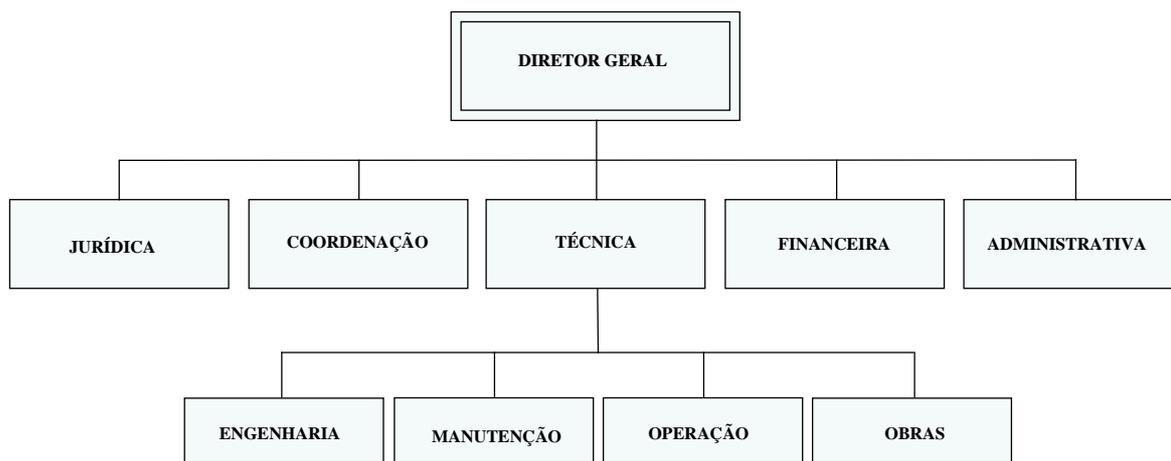


FIGURA 3.8 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL DE ITAIPU

Fonte: adaptado de ITAIPU (2004).

Observa-se que em ITAIPU em função do projeto prever duas etapas para a instalação das unidades geradoras, sendo 18 unidades na primeira etapa e duas na segunda, nessa segunda etapa foi desenvolvido o reprojetado dos sistemas de supervisão, proteção e controle das unidades geradoras.

3.3.5 CEMIG-GT

Fundada em 22 de maio de 1952, a CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais. É constituída por 38 empresas e sete consórcios. Dentre as principais empresas nacionais que compõem o segmento geração, transmissão e distribuição de energia elétrica do grupo destacam-se as duas subsidiárias integrais: Cemig Distribuição de Energia S.A. e a Cemig-GT Geração e Transmissão S.A. Estas subsidiárias se originaram do processo de desverticalização da CEMIG ocorrido em dezembro de 2004, em atendimento a Lei nº 10.848 de março de 2004. A área de concessão da empresa cobre cerca de 96,7% do Estado de Minas Gerais, o segundo mercado consumidor de energia elétrica do país (CEMIG, 2007).

A CEMIG atua no mercado nacional e no exterior. A empresa detém 20% do capital da LIGHT, possui parcerias com grupos empresariais em projetos hidrelétricos, e

recentemente adquiriu o controle da empresa Transmissoras Brasileiras de Eletricidade, que opera linhas de transmissão no norte e sul do Brasil. No Chile, em consórcio com a Alusa está implantando e irá operar uma linha de transmissão. Por meio de empreendimentos de geração e comercialização de energia atua nos estados de Santa Catarina (geração), São Paulo (comercialização), Espírito Santo (geração) e Rio Grande do Sul (comercialização).

Na FIGURA 3.9 é representada a estrutura organizacional da CEMIG, sendo que a área de obras (construção e montagem) e a área de manutenção estão vinculadas à Diretoria de Geração e Transmissão.

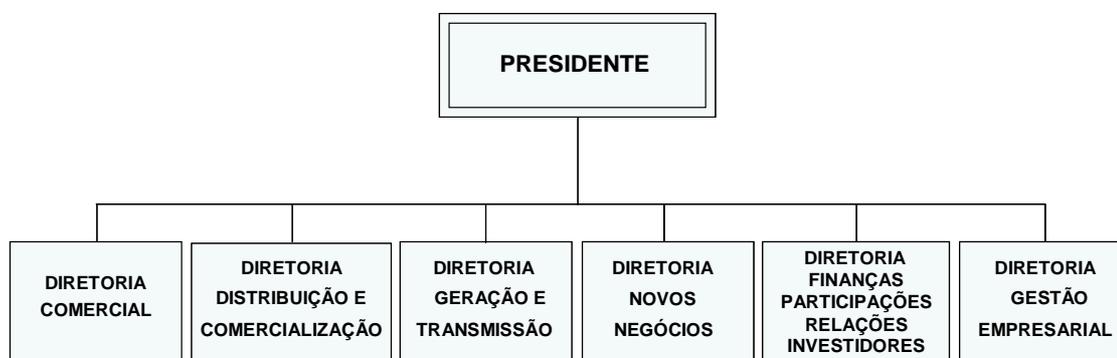


FIGURA 3.9 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL CEMIG

Fonte: adaptado de Cemig (2007)

A CEMIG - GT é responsável pela operação de 57 usinas hidrelétricas e termelétricas com uma potência instalada de 6.692 MW, com um sistema de transmissão de 21.536 km em tensões de 500, 345, 230, 138 a 161, 69 e abaixo de 69 kV, tendo gerado 49.805 GWh no ano de 2006.

No QUADRO 3.8 apresentam-se as principais usinas hidrelétricas da CEMIG - GT.

USINA HIDRELÉTRICA	POTÊNCIA INSTALADA (MW)	INÍCIO OPERAÇÃO
Três Marias *	396	1962
Jaguara *	424	1971
Volta Grande	380	1974
São Simão	1.710	1978
Emborcação	1.192	1982
Nova Ponte	510	1994
Miranda	397,5	1998

Legenda: (*) Em Modernização.

QUADRO 3.8 USINAS HIDRELÉTRICAS DA CEMIG-GT

Fonte: dados primários e secundários pesquisa.

3.3.6 TRACTEBEL

A TRACTEBEL - Tractebel Energia S.A. é a empresa privada com a maior potência instalada do país, com sede em Florianópolis no Estado de Santa Catarina. Atua nos estados do Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Mato Grosso do Sul e Goiás. A TRACTEBEL é uma das empresas do grupo SUEZ - *Suez Energy International*, que é um conglomerado internacional com mais de 157 mil colaboradores em mais de 100 países, com origem na França e na Bélgica, atuando no segmento mundial de eletricidade e gás (TRACTEBEL, 2007).

Esta empresa foi constituída em 1998, a partir da privatização da Gerasul - Empresa Estatal de Geração da Região Sul do Brasil, desmembrada da ELETROSUL - Centrais Elétricas do Sul do Brasil. A área de transmissão resultante deste desmembramento constituiu-se na empresa Eletrosul Centrais Elétricas S.A.

A TRACTEBEL possui capacidade instalada de 5.850 MW, com seis usinas hidrelétricas e sete termelétricas, produz 8% da energia elétrica consumida no Brasil. Atualmente, está construindo a Usina de São Salvador de 243 MW no Estado do Tocantins

e a Usina de Lagoa Formosa de 70MW no município de São João da Boa Vista no Estado de São Paulo.

As usinas hidrelétricas da TRACTEBEL são apresentadas no QUADRO 3.9.

USINA HIDRELÉTRICA	POTÊNCIA INSTALADA (MW)	INÍCIO OPERAÇÃO
Passo Fundo **	226	1973
Salto Osório 1ª etapa *	718	1976
Salto Osório 2ª etapa *	360	1981
Salto Santiago	1.420	1982
Itá	1450	2000
Machadinho	1140	2002
Cana Brava	450	2002

Legenda: (*) Em Modernização; (**) Modernizada.

QUADRO 3.9 USINAS HIDRELÉTRICAS DA TRACTEBEL

Fonte: dados secundários da pesquisa

Na FIGURA 3.10 é apresentada a estrutura organizacional da TRACTEBEL onde a área de manutenção é subordinada à Diretoria de Produção e as áreas de engenharia de projeto e implantação de projeto estão vinculadas à Diretoria de Implantação de Projetos.

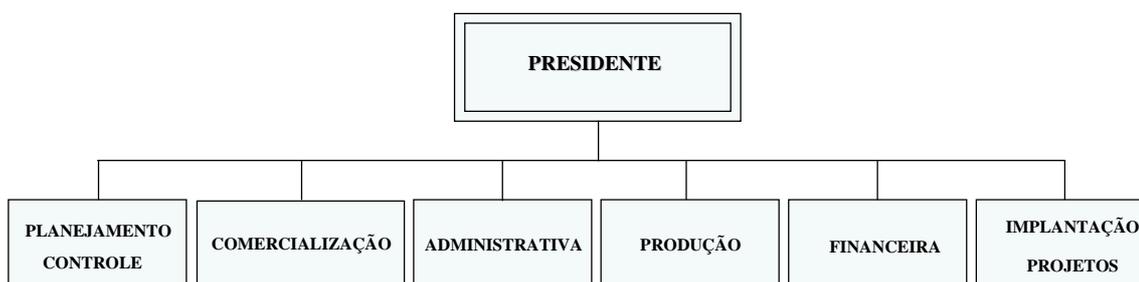


FIGURA 3.10 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL TRACTEBEL

Fonte: adaptado de Tractebel (2007)

3.3.7 LIGHT

A LIGHT S.A. foi privatizada, através de leilão na Bolsa de Valores do Rio de Janeiro, em 21 de Maio de 1996, arrematada por um consórcio formado por três multinacionais - Electricité de France (EDF), AES Corporation Reliant Energy - e pela Companhia Siderúrgica Nacional. Em fevereiro de 2002, foi concluído o processo de reestruturação societária, consolidando a EDF como controladora da Light. Com a desverticalização em 2005, foi criada a holding Light S.A., controladora das três operacionais: Light Energia S.A., responsável pela geração/transmissão; Light Serviços de Eletricidade S.A., responsável pela distribuição; e, Light Esco Ltda, comercializadora, formando assim o Grupo Light. Em 28 de Março de 2006, foi celebrado o Contrato de Compra e Venda de Ações entre a EDF International S.A (EDFI) e a Rio Minas Energia Participações S.A. (RME), composta pela Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig), Andrade Gutierrez Concessões S.A. (AG Concessões), Pactual Energia Participações S.A. (Pactual Energia) e Luce Brasil Fundo de Investimentos em Participações (Luce) (LIGHT, 2007).

A área de concessão da LIGHT compreende 31 municípios do Estado do Rio de Janeiro, abrangendo 25% do território estadual, com a cobertura de uma área de 10.970 km². Atualmente, a Companhia presta serviços a aproximadamente 3,8 milhões de clientes, sendo que a venda de energia elétrica corresponde a 72% de toda a energia consumida no Estado do Rio de Janeiro.

A LIGHT - Light Energia S. A. possui uma capacidade instalada de 852 MW. Conforme dados obtidos, esta empresa possui os aproveitamentos hidrelétricos mais antigos em operação no país. Uma de suas particularidades é que a uma de suas usinas hidrelétricas, a Usina Hidrelétrica de Fontes Velha, foi desativada por problemas de assoreamento, após 80 anos de operação.

O parque gerador hidrelétrico da LIGHT é composto pelas usinas hidrelétricas apresentadas no QUADRO 3.10.

USINA HIDRELÉTRICA	POTÊNCIA INSTALADA (MW)	INÍCIO OPERAÇÃO
Ilha dos Pombos **	183	1924 a 1949 ***
Fontes Novas *	132	1940
Nilo Peçanha *	380	1953
Pereira Passos *	100	1963
Santa Branca	57	1999

Legenda: (*) Em Modernização; (**) Modernizada;

(***) indica entrada em operação da 1ª e da última unidade geradora.

QUADRO 3.10 USINAS HIDRELÉTRICAS DA LIGHT

Fonte: dados secundários da pesquisa.

Na FIGURA 3.11 é representada a estrutura organizacional da LIGHT onde as áreas de engenharia de projeto, implantação de projeto e manutenção são subordinadas à Diretoria de Energia e Meio Ambiente.

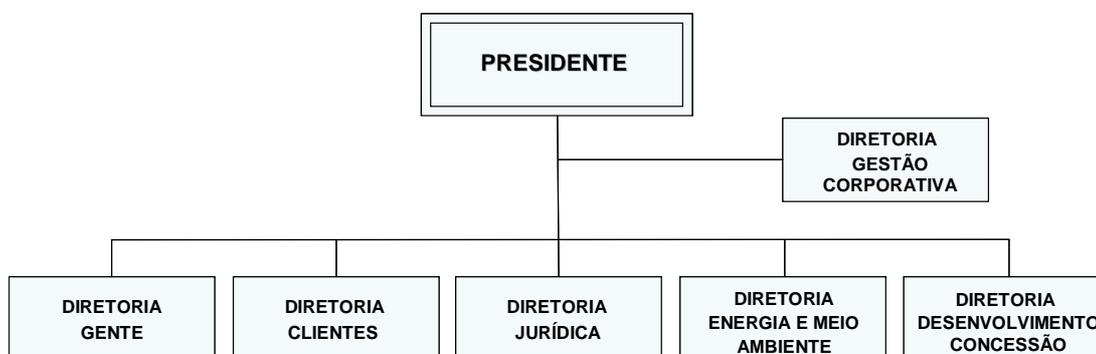


FIGURA 3.11 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL LIGHT

Fonte: adaptado de Light (2007)

3.4 COMENTÁRIOS FINAIS

A caracterização das empresas pesquisadas corrobora a importância das usinas hidrelétricas dessas empresas para sua região de atuação e para o SIN- Sistema Interligado Nacional. A maioria das usinas hidrelétricas das empresas pesquisadas está em operação há mais de 25 anos, sendo que em um número expressivo de usinas o processo de atualização tecnológica já foi realizado ou encontra-se em desenvolvimento, seja em modernização ou em reprojeto.

Destaca-se ainda que as iniciativas de atualização tecnológica envolvem importantes volumes de investimento, reforçando a importância do gerenciamento desse processo. Por exemplo, para a Usina Hidrelétrica de Três Marias o orçamento aprovado para a modernização das seis unidades geradoras da usina foi de 39 milhões de reais, tendo como referência o ano de 2004, conforme Pacheco *et al.* (2007).

Um outro aspecto observado foi que, apesar da estrutura organizacional das empresas pesquisadas apresentarem variações ocorre em alguns casos, na composição de suas diretorias, que as áreas de engenharia e implantação de projeto são subordinadas à mesma diretoria, enquanto que a área de manutenção está vinculada à outra. Esta situação reforça a necessidade de empreenderem-se ações gerenciais no sentido de garantir a participação da área de manutenção no processo de atualização tecnológica.

Dias *et al.*(2000) observam que os ganhos em capacidade instalada devido à repotenciação de unidades geradoras de usinas hidrelétricas situam-se na faixa de 5 a 9%, demonstrando existir uma oportunidade a ser explorada. A repotenciação de unidades geradoras não representa impactos ambientais adicionais, considerando-se que não existe alteração no projeto do reservatório. Além disso, os custos para aumento da potência instalada da usina são menores, quando comparados com o da implantação de um aproveitamento novo. Apesar do processo de atualização tecnológica representar uma oportunidade de realizar-se a repotenciação de determinada usina nos processos em andamento constatou-se uma utilização pouca intensa dessa oportunidade de ganho, fato que merece ser avaliado pelas empresas em projetos futuros.

Dentre as principais não-conformidades observadas no desenvolvimento dos processos de atualização tecnológica nas empresas destacam-se: o não cumprimento dos

prazos de desligamento de unidades geradoras, a necessidade de revisões no escopo do projeto, as dificuldades no relacionamento com os fornecedores, as lacunas na memória técnica das empresas, a interferência das atividades do projeto com as unidades geradoras em operação. Estes aspectos foram corroborados nas respostas as perguntas formuladas na entrevista, o que reforça a necessidade de sistematização do processo de atualização tecnológica, focada nas necessidades futuras da gestão dos ativos físicos.

CAPÍTULO 4: AÇÕES DE ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA NAS EMPRESAS DE GERAÇÃO HIDRELÉTRICA PESQUISADAS

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Em atendimento ao objetivo específico de identificar e analisar as ações de atualização tecnológica desenvolvidas pelas empresas selecionadas, com o auxílio de um roteiro apresentado no APÊNDICE C, foram entrevistados profissionais que atuam nas atividades de engenharia de projeto e engenharia de manutenção nas usinas hidrelétricas das empresas selecionadas para a pesquisa. As visitas técnicas a algumas dessas instalações complementaram o levantamento de informações. Segundo declarações dos entrevistados, a exceção de ITAIPU, as empresas pesquisadas já executaram projetos de modernização ou possuem instalações com projetos de modernização em desenvolvimento.

Considerando-se as características particulares relativas ao desenvolvimento de reprojeto, no decorrer da entrevista buscou-se identificar alguma diferença de tratamento desse processo em comparação com o desenvolvimento da modernização. Constatou-se que as empresas gerenciam de maneira similar essas duas formas de atualização tecnológica, independente se o processo é de modernização ou de reprojeto. Existe, evidentemente, uma complexidade inerente ao reprojeto, pois além do desenvolvimento da atualização tecnológica, a implantação do projeto contempla a totalidade de equipamentos das unidades geradoras. No caso da modernização, a complexidade principal reside na intervenção parcial nos sistemas técnicos, exigindo maior cuidado nas interligações e interfaces com os sistemas existentes, e em muitos casos mantidos em operação. Embora o cuidado com as interfaces entre sistemas também deva ser motivo de atenção no desenvolvimento do reprojeto. Isto porque, as unidades geradoras instaladas passarão a operar conjuntamente com as demais unidades já existentes. Há diferenças entre os ativos técnicos novos e aqueles em operação, devido ao estágio tecnológico entre as etapas de implantação do empreendimento.

4.2 AÇÕES DE DESENVOLVIMENTO DE REPROJETO

A característica principal relacionada às ações de desenvolvimento de reprojeto é que o processo de atualização tecnológica inicia-se independente da degradação de algum

indicador de desempenho dos equipamentos, ou mesmo por qualquer outra razão que não seja a execução de uma etapa de montagem de equipamentos prevista no projeto original da usina. Desta forma, a implantação de projetos de ampliação das usinas hidrelétricas, em etapas de montagem normalmente espaçadas no tempo em décadas, viabiliza a instalação de equipamentos tecnologicamente atualizados. Esta situação ocorreu na Usina Hidrelétrica de ITAIPU e na Usina Hidrelétrica de Tucuruí da ELETRONORTE.

Em ITAIPU, a segunda etapa de montagem e de término do projeto da usina compreendeu a instalação de duas unidades geradoras adicionais. Este trabalho caracterizou o início do processo de atualização tecnológica naquela empresa. No ano de 1997 foram elaboradas as especificações técnicas para o fornecimento de uma unidade geradora com frequência de 50 Hz e outra com frequência de 60 Hz, com potência nominal unitária de 700 MW. Foram também desenvolvidas as gestões junto a ELETROBRÁS para a celebração do contrato de financiamento.

As etapas que se sucederam foram: pré-qualificação técnica e comercial das empresas fornecedoras; concorrência internacional para o fornecimento; e, assinatura do contrato para o fornecimento das duas novas unidades geradoras. O escopo do projeto incluía o detalhamento do projeto, a fabricação, a montagem e a capacitação de profissionais da empresa.

Entenda-se, nestes termos, como uma unidade geradora o conjunto de equipamentos e sistemas técnicos, tais como: turbina e agregados; gerador e agregados; comportas, grades e conduto forçado; sistema de proteção, supervisão e controle; sistema de regulação de velocidade; sistema de regulação de tensão; sistemas auxiliares elétricos e mecânicos; transformadores elevadores e agregados; sistema de monitoramento; e integração destes sistemas com os sistemas em operação.

Conforme informações obtidas na entrevista, apesar de o fornecimento ter sido realizado na modalidade de empreitada global, ficou estabelecido no contrato que ITAIPU iria realizar inspeções nos equipamentos em etapas de fabricação julgadas relevantes, como

também a executar a fiscalização das atividades de montagem eletro-mecânica na usina. O comissionamento¹¹ também foi realizado pela equipe de manutenção de ITAIPU.

O controle do desenvolvimento das atividades de implantação do projeto foi executado pelo acompanhamento dos cronogramas físico e financeiro, que incluía a verificação do cumprimento de marcos contratuais associados à eventos relevantes. Em complemento, foi desenvolvido um sistema de controle de qualidade dos fabricantes com auditorias periódicas realizadas por consultores contratados.

As instalações em operação mereceram especial atenção, considerando-se a necessidade de realização de interligações com equipamentos em operação e a circulação de contratados na usina. Foram estabelecidos procedimentos e controles específicos com a finalidade de se evitar interferência das atividades de implantação do projeto com os equipamentos e instalações da usina. Neste particular, dentre outras ações, destacam-se: controle de acesso de pessoas e equipamentos, programação específica relacionadas à execução das interligações, delimitação de áreas de trabalho e armazenagem.

Para o desenvolvimento da gestão do contrato e gerenciamento do projeto, ITAIPU constituiu um comitê gestor com base em uma estrutura matricial temporária. Este comitê gestor foi constituído por coordenadores gerais e por representantes das diretorias financeira, jurídica e técnica, conforme Itaipu (2002). Nesse comitê foi incluída a participação da área jurídica na composição do comitê, presença cada vez mais recorrente em grupos de gerenciamento de contratos, devido aos aspectos legais envolvidos.

Com a finalidade de estabelecer as responsabilidades e relacionamentos entre os membros do comitê foi definida a matriz de responsabilidade apresentada no QUADRO 4.1.

A área de engenharia de projeto foi responsável pela elaboração das especificações técnicas. Com a finalidade de subsidiar este processo, a área de engenharia de manutenção desenvolveu um estudo técnico contemplando as falhas e os principais problemas técnicos ocorridos nas 18 unidades geradoras da primeira etapa de montagem. O documento resultante desta iniciativa pioneira foi denominado *dream machine*. Como exemplo, no ANEXO A, são apresentadas páginas deste estudo.

¹¹ Termo utilizado para a totalidade das atividades de ensaios de verificação da conformidade do desempenho dos equipamentos instalados em uma usina.

MATRIZ DE RESPONSABILIDADE					
TAREFAS	ÁREAS				
	Coordenação	Substitutos Coordenação	Jurídica	Financeira	Técnica
Gerência Geral	P	S	S	S	S
Planejamento Controle		P		S	S
Contratação Projeto		S	P	S	S
Assessoria Jurídica			P		
Especificação Técnica				S	P
<i>Work Statement</i>		S	S	S	P
Elaboração Projeto				S	P
Diligenciamento Fabricação				P	
Qualidade Fabricação				P	S
Implantação Projeto					P
Obras Civis					P
Montagem Eletromecânica					P
Comissionamento Equipamentos					P
Pagamentos Contratuais				P	S
Recursos Financeiros				P	

Legenda: 'P' indica o responsável principal pela atividade; 'S' indica que a área participa, sob a coordenação da área responsável.

QUADRO 4.1 MATRIZ DE RESPONSABILIDADE COMITÊ GESTOR ITAIPU

Fonte: Adaptado Itaipu (2002).

Considerando-se que a atualização tecnológica implantada no reprojeto de ITAIPU, o QUADRO 4.2 apresenta um exemplo de análise comparativa entre os modelos de regulador eletrônico do sistema de regulação de velocidade, fornecidos em cada etapa de montagem, conforme depoimentos colhidos junto aos técnicos responsáveis por estes equipamentos.

CARACTERÍSTICA	PROJETO ORIGINAL: REGULADOR ELETRÔNICO ANALÓGICO	REPROJETO: REGULADOR ELETRÔNICO DIGITAL
Tecnologia	Analógica: baseada em amplificadores operacionais.	Digital: baseada em microcomputadores.
Funções de controle	PID Limitadores e ajustadores; Implementação por módulos funcionais.	PID Limitadores e ajustadores; Implementação por rotinas computacionais.
Redundância	Inexistente.	Existente, com uso de dois canais.
Interfaces com o sistema de controle	Utilizando-se de relés de controle.	Utilizando-se de relés de controle.
Telemedições	Limitador abertura; Velocidade; Abertura aletas; <i>Setup</i> de potência.	Funções idênticas: com o uso de dois conjuntos redundantes.
Medidas primárias	MW; Sensores; Chaves de posição; Sensores de frequência da unidade e do sistema.	Funções idênticas: com o uso de dois conjuntos redundantes.
Equipamentos para manutenção	Caixa de ferramentas; osciloscópios; oscilógrafos; multímetros e geradores de sinais.	Incluindo também: <i>notebook</i> e impressora.
Ações em caso de falha	Alarmes e <i>trip</i> da unidade.	E mais: comutação para canal redundante.
Modo de ajuste	Por <i>hardware</i> : via potenciômetros e chaves seletoras.	Por <i>software</i> : via alteração de parâmetros dos blocos funcionais.
Acesso ao equipamento	Pleno.	Limitado: várias funções e rotinas proprietárias do fabricante não estão disponíveis.

QUADRO 4.2. COMPARAÇÃO ENTRE OS REGULADORES ELETRÔNICOS

Fonte: Manuais fabricantes (Rapid 77 e Neyrpic 1500).

Em vista disso, observam-se significativas diferenças, particularmente com relação aos equipamentos de natureza eletrônica. Quanto aos equipamentos de natureza mecânica e elétrica, a análise comparativa demonstra que são similares, sendo em alguns casos idênticos aos fornecidos para as dezoito primeiras unidades geradoras.

Adicionalmente, os profissionais responsáveis pela manutenção eletrônica do regulador de velocidade destacaram alguns problemas detectados na etapa de implantação do projeto, quais sejam:

- Quanto à documentação técnica: para o regulador eletrônico digital foram fornecidos dois desenhos, um para o *hardware* e outro para o *software*. O desenho referente ao *hardware* atende às necessidades de manutenção, apresentando uma simplicidade maior quando comparado com o regulador eletrônico analógico, uma vez que muitas funções passaram a ser executadas via rotinas de *software*. Por outro lado, o desenho fornecido para o *software* não indicava todas as funções constantes do equipamento, exigindo que fosse solicitado ao fornecedor um desenho mais completo. Este desenho, segundo ITAIPU foi informada, não estava disponível com o representante do fabricante no Brasil. Outra dificuldade constatada foi não existir correlação entre os desenhos de *hardware* e de *software*, dificultando a leitura e interpretação, podendo provocar erro e trazer conseqüências de atraso em situações de atendimento de manutenção;
- Quanto à implantação de futuras modificações: novas funções de *software* a serem implantadas ou modificadas dependem que o fabricante no exterior implante a modificação e recompile o *firmware*;
- Quanto à parametrização: o aplicativo fornecido permite que o usuário tenha acesso e modifique os parâmetros conforme necessidade;
- Alguns cuidados devem ser observados no manuseio de arquivos de parâmetros, *firmware* e demais aplicativos de suporte, evitando-se trabalhar com versões desatualizadas ou não testadas, erros de digitação na entrada de parâmetros, com conseqüências imprevisíveis e dificuldade em se localizar o problema.

No caso da ELETRONORTE, a Usina de Hidrelétrica de Tucuruí também foi projetada em duas etapas. Em 1984, conclui-se a primeira etapa de montagem com a instalação de 12 unidades geradoras com potência nominal de 325 MW por unidade. Foram instaladas, também, duas unidades auxiliares com potência nominal de 20,5 MW. Na segunda etapa, concluída em 2006, foram instaladas mais 11 unidades geradoras com potência nominal unitária de 375 MW. Observa-se, portanto, o aumento da potência instalada nominal das unidades geradoras, conseqüência da evolução tecnológica experimentada desde a implantação da primeira etapa de montagem da usina.

A ELETRONORTE conta em sua estrutura organizacional com uma área, em nível de superintendência, responsável pela expansão de suas instalações de geração e transmissão. Esta superintendência, com a participação das áreas de operação e manutenção na fase de especificação técnica, coordenou as etapas de planejamento, projeto e implantação do projeto de ampliação da Usina de Tucuruí, sendo que a etapa de montagem foi iniciada em 2001.

O escopo do fornecimento foi composto de fornecimento de equipamentos, montagem, comissionamento e treinamento, cabendo a ELETRONORTE a fiscalização e acompanhamento incluindo também a etapa de fabricação, realizado em de três etapas:

1. Unidade geradora, com estudos de modelo reduzido para a turbina e para a comporta de emergência;
2. Subestação elevadora (transformadores elevadores, subestação blindada e interligações com sistema já instalado);
3. Serviços auxiliares eletromecânicos.

Praticamente não ocorreu interferência com as unidades em operação considerando-se que as unidades geradoras instaladas nesta segunda etapa localizam-se em uma outra casa de força, construída no prolongamento da casa de força existente, que abriga as unidades geradoras instaladas na primeira etapa de montagem. Visando não criar dificuldade para as atividades de montagem e, futuramente, de manutenção foi estabelecido, como premissa de projeto, que fosse mantida a mesma elevação do piso dos geradores para as duas casas de força. Além disso, algumas alterações na concepção do projeto civil foram necessárias para compatibilização das duas casas de força, como reposicionamento da soleira da comporta da tomada d'água, mudança no perfil dos condutos forçados, dentre outras. As atividades de implantação foram registradas em relatórios mensais de acompanhamento, segundo padrões internos da ELETRONORTE, com levantamentos fotográficos e gráficos por tonelada montada.

A atualização tecnológica dos sistemas técnicos neste reprojeto incluiu os sistemas de supervisão, comando e controle; sistemas de regulação de velocidade e tensão; instrumentação; e, serviços auxiliares elétricos. Também foi instalado um sistema de monitoramento que permite acompanhar os seguintes parâmetros operativos da unidade geradora: oscilações da linha de eixo nos mancais; oscilações axiais; pulsações no tubo de

sucção, na tampa da turbina, no labirinto da turbina e na entrada da caixa espiral; entreferro do gerador; temperaturas e vibrações dos mancais; abertura da válvula de aeração da turbina; e, fluxo magnético do gerador. Observa-se que todos estes sistemas utilizam tecnologia eletrônica digital.

4.3 AÇÕES DE MODERNIZAÇÃO

As entrevistas nas empresas demonstraram que a percepção dos profissionais é que as ações de atualização tecnológica de modernização estão diretamente relacionadas com a deteriorização dos sistemas técnicos, sendo o principal fator indutor para o processo de modernização. As conseqüências advindas do esgotamento da vida útil dos sistemas técnicos, conforme relatado pelos entrevistados, se refletem no desempenho operacional dos equipamentos, no aumento das ações de manutenção periódica e aperiódica, na disponibilidade de sobressalentes, e no aumento dos custos de manutenção.

De maneira complementar, foram identificados alguns fatores influenciadores para deflagrar-se o processo de modernização. São eles: a necessidade de contar-se com alguma funcionalidade não atendida devido a requisitos técnicos ou normativos; a inadequação do perfil profissional da equipe de manutenção; a perda de pessoal experiente, em função de desligamentos por aposentadoria ou a expectativa desta situação ocorrer; a estratégia de desassistir e automatizar as instalações, exigindo equipamentos com tecnologia compatível com supervisão, controle e comando à distância; a probabilidade de ocorrência de uma falha que possa representar riscos para as instalações, para a comunidade ou para o meio ambiente. Deve-se considerar também como fator de suporte para a modernização o estado da arte tecnológico dos sistemas técnicos.

A seguir são apresentadas as respostas às questões apresentadas na entrevista:

1. Quais os principais dados técnicos das instalações objeto de atualização tecnológica?

Em resposta a esta questão foi elaborado o QUADRO 4.3 que apresenta a relação das 20 usinas hidrelétricas modernizadas ou em processo de modernização, bem como a indicação da empresa proprietária e os principais sistemas técnicos objeto de modernização.

USINA HIDRELÉTRICA	EMPRESA	SISTEMAS TÉCNICOS MODERNIZAÇÃO
Paulo Afonso I	CHESF	- Sistemas de supervisão, proteção e controle - Regulação de tensão e velocidade - Instrumentação/- Serviços auxiliares elétricos
Paulo Afonso II	CHESF	- Idem anterior
Paulo Afonso III	CHESF	- Idem anterior
Boa Esperança	CHESF	- Idem anterior
Mascarenhas de Moraes	FURNAS	- Sistemas de supervisão, proteção e controle - Regulação de tensão e velocidade - Instrumentação - Serviços auxiliares elétricos
Furnas Primeira Etapa	FURNAS	- Idem anterior
Luiz Carlos Barreto	FURNAS	- Idem anterior
Coaracy Nunes 1ª etapa	ELETRONORTE	- Sistemas de supervisão, proteção e controle - Regulação de tensão e velocidade
Curua Una*	ELETRONORTE	- Idem anterior
Tucuruí Primeira Etapa	ELETRONORTE	- Idem anterior
Balbina	ELETRONORTE	- Sistemas de supervisão, proteção e controle - Regulação de tensão e velocidade - Instrumentação - Serviços auxiliares elétricos e mecânicos
Samuel	ELETRONORTE	- Idem anterior
Jaguara	CEMIG	- Sistemas de supervisão, proteção e controle - Regulação de tensão e velocidade - Instrumentação - Serviços auxiliares elétricos
Três Marias	CEMIG	- Idem anterior
Passo Fundo	TRACTEBEL	- Sistemas de supervisão, proteção e controle - Regulação de tensão e velocidade - Instrumentação - Serviços auxiliares elétricos - Automação comportas do vertedouro
Salto Osório	TRACTEBEL	- Sistemas de supervisão, proteção e controle - Regulação de tensão e velocidade - Instrumentação - Serviços auxiliares elétricos - Automação comportas do vertedouro
Ilha dos Pombos	LIGHT	- Completa
Fontes Novas	LIGHT	- Sistemas de supervisão, proteção e controle - Regulação de tensão e velocidade - Instrumentação - Serviços auxiliares elétricos/mecânicos
Pereira Passos	LIGHT	- Idem anterior, a menos dos serviços auxiliares mecânicos.
Nilo Peçanha	LIGHT	- Idem anterior.

Legenda: (*) Modernização em projeto.

QUADRO 4.3 MODERNIZAÇÃO NAS USINAS HIDRELÉTRICAS

2. Quais os principais avanços introduzidos nos reguladores de velocidade nos últimos anos nos equipamentos de natureza mecânica, elétrica e eletrônica?

A pesquisa permitiu constatar que a aplicação da eletrônica digital em sistemas de supervisão e controle, regulação de velocidade e tensão, está presente na totalidade dos projetos de modernização. Quanto às interfaces com outros componentes, como é o caso dos equipamentos hidráulicos do sistema de regulação de velocidade, as empresas relataram que executam uma análise detalhada da necessidade e que avaliam a oportunidade de adotarem a modernização também nos demais equipamentos deste sistema. Na maioria das empresas, a modernização no sistema de regulação é parcial, ou seja, não envolve os componentes mecânicos e o circuito hidráulico.

A este respeito, foi reportado que projetos englobando todo o sistema de regulação de velocidade, incluindo os equipamentos mecânicos e elétricos, estão em curso ou já foram executados em instalações mais antigas, como as usinas da LIGHT, que apresentam equipamentos bastante deteriorados e inadequados às necessidades de atendimento ao sistema interligado.

Além disso, outras iniciativas de modernização foram relatadas, mesmo que realizadas de forma isolada ao longo do tempo pelas equipes de manutenção. Estas ações fazem parte do processo natural de substituição de componentes em fim de vida útil, como por exemplo, a substituição de relés e instrumentos de supervisão e medição que utilizam.

A maioria das empresas também tem incluído no projeto de modernização a instalação de sistemas de monitoramento *on-line* em unidades geradoras e transformadores elevadores, como também sistemas de supervisão, controle e monitoramento da operação da usina como SCADA/EMS (*Supervisory Control and Data Acquisition/Energy Management System*); *System Transformer Monitoring*; dentre outros. Em algumas usinas foi ou está sendo executada, concomitantemente, com a atualização tecnológica, a repotenciação da unidade geradora.

3. Qual órgão na estrutura é responsável pela atualização tecnológica?

Na totalidade das empresas pesquisadas a área responsável pela modernização é a área de engenharia de projeto e dependendo da empresa a participação das áreas de

manutenção ocorre de maneira mais ou menos intensa. A participação da engenharia de manutenção é maior quando comparada com a área de execução da manutenção em uma mesma empresa. Na maior parte das empresas, equipes mistas com profissionais das áreas de projeto e manutenção atuam no processo de modernização. A área de execução envolve-se nas atividades de implantação do projeto e nos ensaios de recepção dos equipamentos. Não foi relatado o estabelecimento formal de uma estrutura matricial gestora do processo, a exemplo da estratégia adotada em ITAIPU no desenvolvimento do reprojeto das unidades geradoras adicionais.

4. Quais os fatores que determinaram o início do processo de atualização tecnológica?

Com relação aos fatores determinantes para deflagração do processo de atualização as empresas pesquisadas destacaram a deteriorização dos equipamentos, a dificuldade em se dispor de sobressalentes na execução das manutenções e o aumento da taxa de falhas, com ocorrências de desligamentos com períodos longos de indisponibilidade. Nestes termos, o atendimento aos requisitos de disponibilidade e confiabilidade operativa, considerando-se os compromissos comerciais da empresa, foi apresentado pela maioria dos entrevistados como fundamental para a decisão de investimentos em modernização.

Além disso, o início do processo de modernização se deveu à necessidade de atendimento aos Procedimentos de Rede definidos pelo ONS - Operador Nacional do Sistema. Entre os requisitos estabelecidos nestes procedimentos, conforme citado por Pacheco *et al.* (2007), encontram-se: Sub-módulo 2.5 - Requisitos Mínimos dos Sistemas de Proteção, Supervisão/Controle e de Telecomunicações Associadas; Módulo 3 - Acesso aos Sistemas de Transmissão; Sub-módulo 10.19 - Requisitos Básicos para Supervisão e Controle.

Outra questão analisada para iniciar-se o processo de atualização, segundo informado pelos entrevistados, é a possibilidade de desassistir as instalações, ação viabilizada apenas com a utilização de equipamentos tecnologicamente que permitam a automação das instalações, com possibilidade de tratamento e de envio de sinais de comando remoto. Esta foi a razão principal da TRACTEBEL modernizar a Usina Hidrelétrica de Passo Fundo -RS, que atualmente é operada

remotamente desde a Usina de Itá – SC. Esta iniciativa se deve à redução de custos operacionais pela centralização de equipes de manutenção em centros de atendimento geograficamente distribuídos em relação às usinas, a eliminação de despesas com vilas residenciais, a reestruturação e redução das equipes de operação, a diminuição em infra-estrutura de transportes, dentre alguns itens de racionalização de custos.

5. Qual a sistemática ou modelo utilizado para implementar o processo de atualização tecnológica?

Quanto à adoção de algum modelo de implantação da atualização tecnológica todas as empresas informaram não possuírem. FURNAS desenvolveu um método para estabelecer a prioridade entre usinas hidrelétricas a modernizar, considerando conforme relatado, não haver recursos financeiros e humanos para o desenvolvimento de todos os projetos ao mesmo tempo. Em ITAIPU um estudo neste sentido também está sendo desenvolvido.

FURNAS, tomando como referência o estudo do EPRI (1999), desenvolveu um método para o cálculo do IM - índice de modernização. Conforme Rolim (2005) o IM é determinado a partir da análise de parâmetros e índices operacionais, bem como da avaliação da condição das unidades geradoras de uma determinada usina. Posteriormente, realiza-se uma comparação entre os valores de IM obtidos entre as usinas hidrelétricas da empresa. Concluído que determinada usina tem prioridade para o desenvolvimento do processo de modernização, uma análise econômica e financeira define a viabilidade e a abrangência das ações de modernização.

Os fatores que compõem este índice IM são: tempo de operação, custos de manutenção, condições da unidade geradora e indisponibilidade da usina, que são obtidos, conforme segue:

- a) Fator custos de manutenção: apropria-se a média anual dos custos das manutenções, corretiva e preventiva, de cada usina e calcula-se o custo por MW. Para o maior custo/MW calculado é estipulada a pontuação igual a 10. A pontuação estabelecida para os demais valores de custo é determinada proporcionalmente a este valor máximo;

- b) Fator tempo de operação: calculado conforme proposto pelo EPRI (1999), a partir de gráficos que estabelecem a pontuação em função do tempo de operação de equipamentos, como os exemplificados na FIGURA 4.1. Para as usinas com mais de 35 anos de operação não foi mantido o limite de pontuação máxima de 10. Neste caso, a pontuação foi calculada de forma proporcional ao tempo de operação da usina. Desta forma, uma usina com 40 anos de operação recebe pontuação de 15;
- c) Fator indisponibilidade: calculado de forma similar ao fator tempo de operação, de acordo com a FIGURA 4.2;
- d) Fator condição da unidade geradora: obtido a partir de uma análise de ensaios, de inspeções realizadas e de uma completa avaliação do histórico de manutenção e ocorrências de operação. Para este fator, a pontuação é soma de valor obtido para a turbina e para o gerador , como segue:
- nos próximos 10 anos não há previsão de ocorrência de problemas importantes ou reparos de vulto - 5 pontos;
 - nos próximos 5 a 10 anos há previsão de reparos além daqueles de rotina - 8 pontos;
 - nos próximos 2 anos há risco de falha eminente e grandes reparos - 10 pontos.

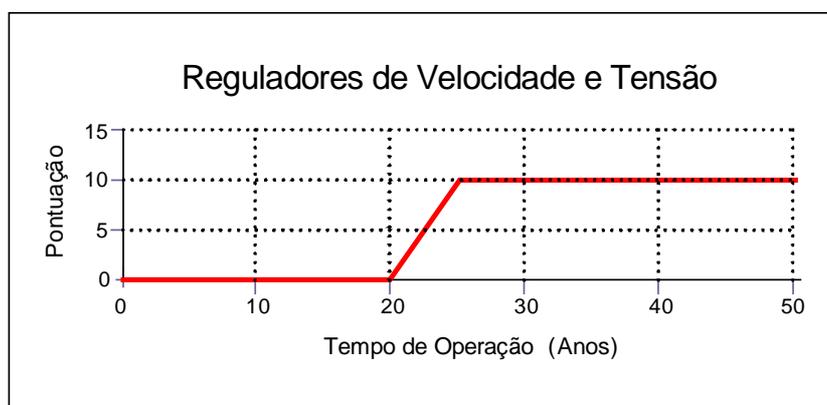


FIGURA 4.1 TEMPO DE OPERAÇÃO - ÍNDICE DEMODERNIZAÇÃO

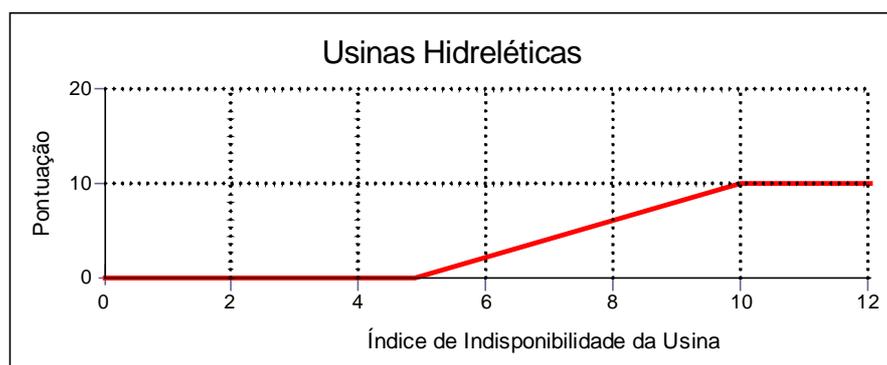


FIGURA 4.2 INDISPONIBILIDADE DA USINA - IM

Fonte: Rolim (2005).

Na seqüência, para a determinação do índice IM foram estipulados pesos para cada fator: a) custo de manutenção - peso 1; b) tempo de operação - peso 3; c) indisponibilidade da usina - peso 2; e, d) condição da unidade geradora - peso 3.

No QUADRO 4.4 são apresentados os resultados do cálculo do IM para instalações de FURNAS, tendo sido estabelecida a linha de corte para definição que a usina deve ser modernizada o valor de IM igual a 100. Por questões de preservação da imagem institucional, a identificação da usina foi suprimida.

FATOR	USINA 1	USINA 2	USINA 3	USINA. 4	USINA 5	USINA 6
Custo Manutenção	1,1	10,0	0,0	1,4	2,9	0,4
Tempo Operação	15,0	17,5	9,2	5,7	9,2	3,3
Indisponibilidade	8,4	3,4	10,0	6,6	0,6	2,0
Condição UG	17	16	16	13	16	12
IM	113,9	117,3	95,6	70,7	79,7	50,3

Legenda: UG - Unidade Geradora.

QUADRO 4.4 CÁLCULO DO ÍNDICE DE MODERNIZAÇÃO

Fonte: adaptado Rolim (2005)

Considerando-se a importância do gerador para o processo de modernização da usina, já que em muitos casos a necessidade de modernização deste equipamento estabelece o início da modernização dos demais equipamentos da usina, Henriques *et al.* (2007) propuseram uma metodologia de avaliação da vida útil do gerador. Os parâmetros utilizados foram:

1. Índices de desempenho: disponibilidade, confiabilidade, taxa de falha, tempo médio de reparo;
2. Tempo de operação;
3. Ocorrências de falha que exigiram tempos de desligamentos maiores;
4. Análise do estado do enrolamento a partir de ensaios elétricos específicos;
5. Análise das intervenções de manutenção no gerador e nos demais componentes da unidade geradora.

A cada um destes parâmetros é atribuída uma pontuação de 1 a 10 com a finalidade de se comparar os geradores das usinas hidrelétricas e se estabelecer uma priorização para a modernização.

Por seu lado, a partir de 2004, ITAIPU desenvolveu estudos, também baseado no EPRI (1999), com objetivo de serem definidas diretrizes e critérios gerais para a atualização tecnológica, consolidados entre as superintendências de engenharia, manutenção e operação. Este estudo foi denominado PAT - Plano de Atualização Tecnológica, conforme ITAIPU (2007b).

Para subsidiar a decisão de modernizar-se determinado sistema técnico foi elaborado um fluxograma, apresentado na FIGURA 4.3.

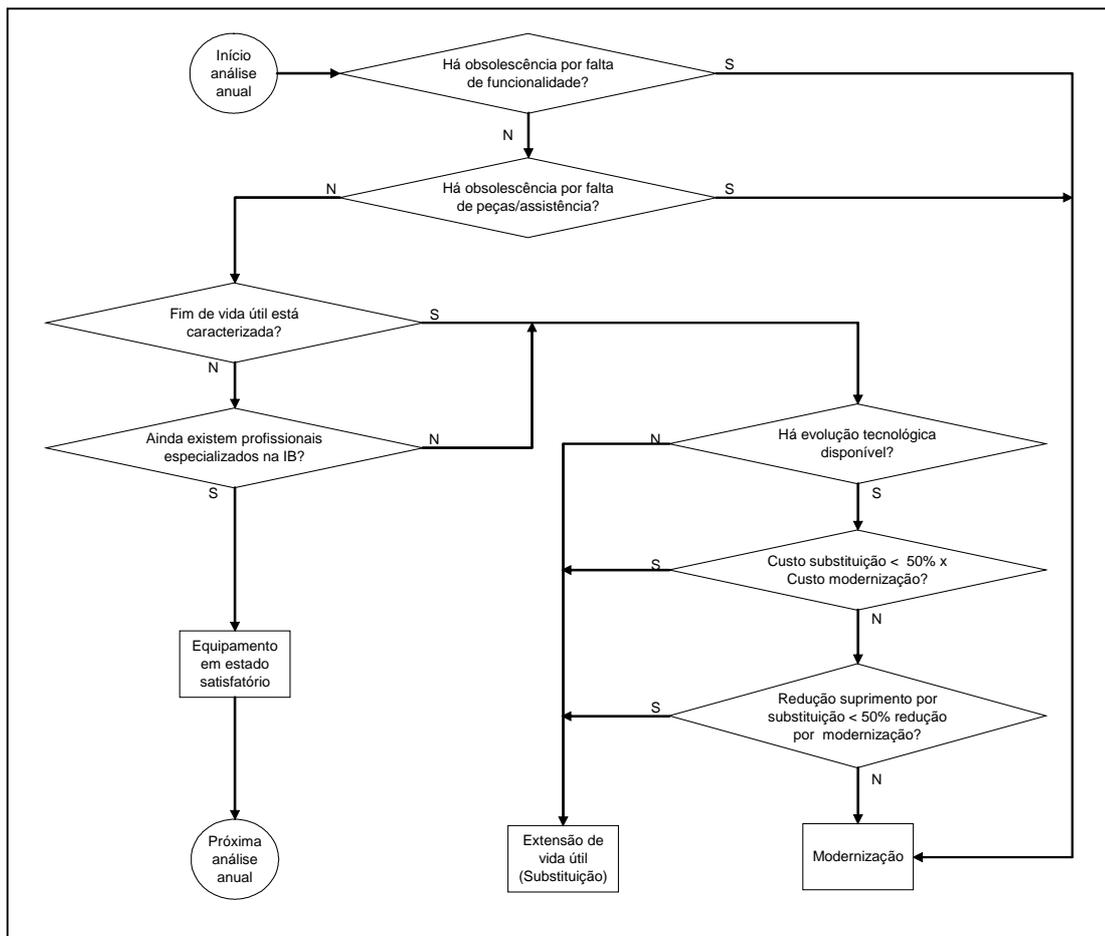


FIGURA 4.3 FLUXOGRAMA: EXTENSÃO VIDA ÚTIL X ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA

Fonte: Itaipu (2007a, p.13).

Os parâmetros considerados no PAT para a definição de inclusão ou não de determinado sistema técnico no processo de atualização tecnológica são: a avaliação da obsolescência por incapacidade funcional; a falta de sobressalente; a disponibilidade operativa; os riscos à segurança; e, a indisponibilidade de equipe de manutenção. Os critérios relacionados a estes parâmetros são apresentados no QUADRO 4.5.

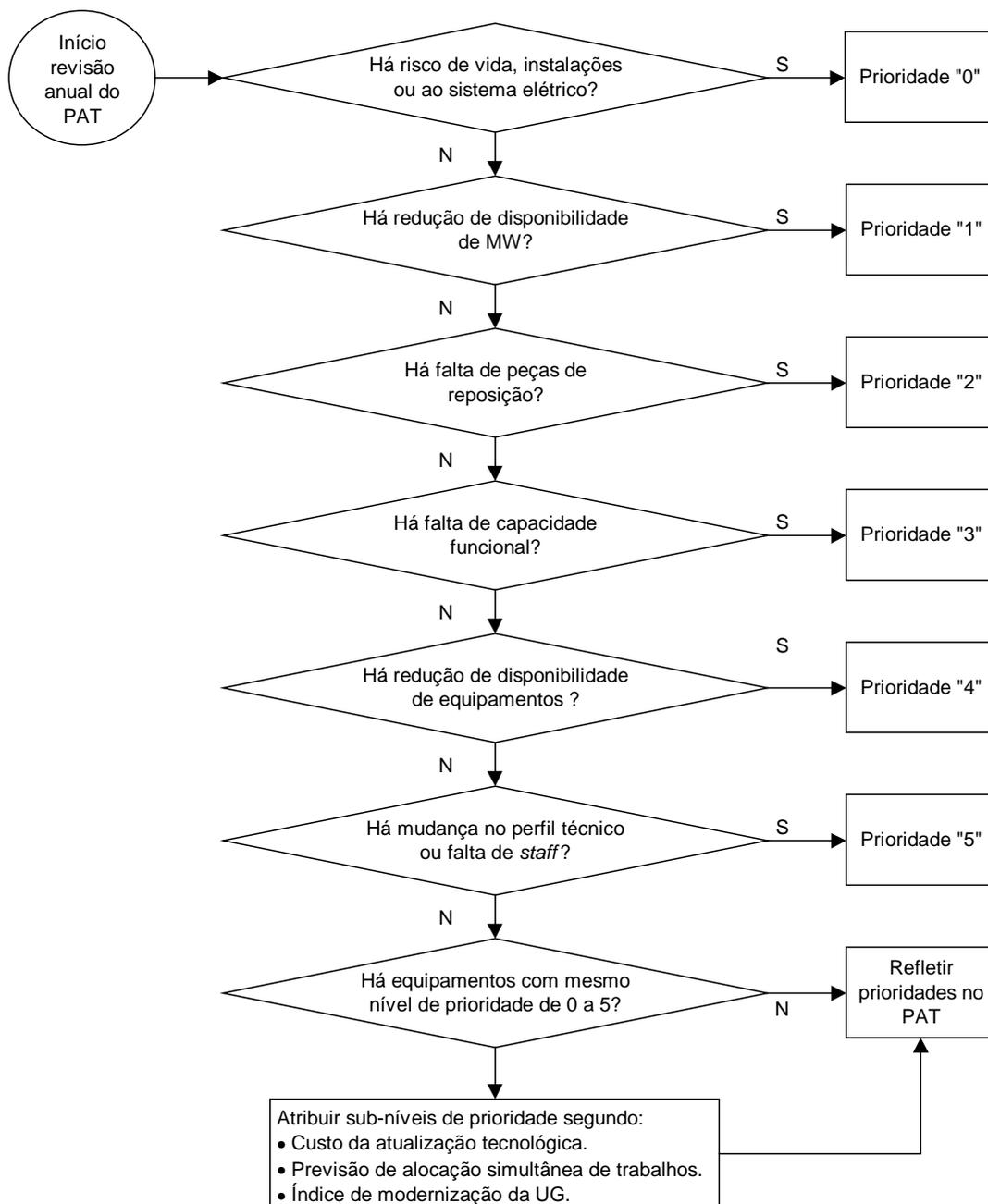
PARÂMETROS	CRITÉRIOS
Obsolescência por incapacidade funcional	Não cumprimento de todas as funcionalidades classificadas como obrigatórias ou pelo menos 50% das altamente desejáveis.
Obsolescência por falta de sobressalente	Não existirem sobressalentes no mercado ou o custo de um lote para os próximos 15 anos representar até 50% do custo da atualização tecnológica.
Disponibilidade operativa	Não atendimento da potência contratada em um mês ou duas ocorrências de redução de suprimento, ou ainda o índice de disponibilidade for inferior ao planejado. Índice de indisponibilidade nos últimos três anos for inferior a 90% ou abaixo da média histórica em 8%.
Risco à segurança	Grau de risco de pessoas, instalações e sistema elétrico, superior a valor estabelecido. Obs: utilização da análise FMECA
Indisponibilidade de equipe de manutenção	Apenas um especialista nos próximos dois anos Não existência de profissionais no mercado Impossibilidade ou inconveniência de capacitação na tecnologia atual

QUADRO 4.5 CRITÉRIOS PARA ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA

Fonte: Itaipu (2007a, p.13/17).

A partir desta análise da condição do equipamento é proposta uma priorização entre unidades geradoras, com o estabelecimento de uma pontuação de 0 a 5, conforme apresentado na FIGURA 4.4.

Observa-se na FIGURA 4.4 a atribuição de sub-níveis de priorização devidos ao custo da atualização tecnológica, à previsão de alocação simultânea de trabalhos e ao índice de modernização da UG. O custo de atualização tecnológica é estabelecido avaliando-se os custos de projetos similares de atualização de outras empresas e a comparação de custos de aquisição de equipamentos similares, conforme recomendado pelo EPRI (1999). Na previsão de alocação simultânea de trabalhos avalia-se o volume de atividades de manutenção necessárias na execução da atualização tecnológica e as demais tarefas de manutenção de rotina previstas para as demais unidades geradoras.



Legenda: UG - Unidade Geradora.

FIGURA 4.4 PRIORIZAÇÃO PARA ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA

Fonte: Itaipu (2007a, p.18)

Ainda na FIGURA 4.4, o índice de modernização da UG procura estabelecer a prioridade entre as unidades geradoras para a implantação da atualização tecnológica, visto que as unidades geradoras são compostas de diversos equipamentos e sistemas que podem apresentar diferentes índices de desempenho.

A determinação do índice de modernização da UG segue a sistemática proposta pelo EPRI (1999) com valoração e estabelecimento de pesos para alguns fatores. No caso de ITAIPU, os fatores avaliados são: o tempo de serviço; a indisponibilidade forçada e programada da unidade geradora; e, a condição operativa da unidade geradora.

O fator tempo de serviço das unidades geradoras é valorado utilizando-se as referências apresentadas abaixo:

- tempo de operação menor que 25 anos - 0 ponto;
- tempo de operação a partir de 35 anos - 10 pontos.

Os valores intermediários para a pontuação do tempo de serviço são obtidos, neste caso, utilizando-se a curva apresentada na FIGURA 4.5.



FIGURA 4.5 - FATOR DE TEMPO DE OPERAÇÃO

Fonte: Itaipu (2007a, p.22).

Para o estabelecimento do fator relativo à indisponibilidade da unidade geradora não foi seguido o critério proposto pelo EPRI, já que o valor mínimo de

indisponibilidade deveria ser 5% e este valor é rotineiramente superado pelas unidades geradoras de ITAIPU. O valor definido como referência para a indisponibilidade é a média dos últimos oito anos. Em vista disso, o critério recomendado no PAT para definir-se o valor relativo à indisponibilidade programada e forçada é:

- indisponibilidade equivalente até a média mais 1 desvio padrão - 0 ponto;
- indisponibilidade equivalente a média mais 2,5 desvios padrão - 10 pontos.

De forma similar ao tempo de operação, os valores intermediários são obtidos conforme FIGURA 4.6.

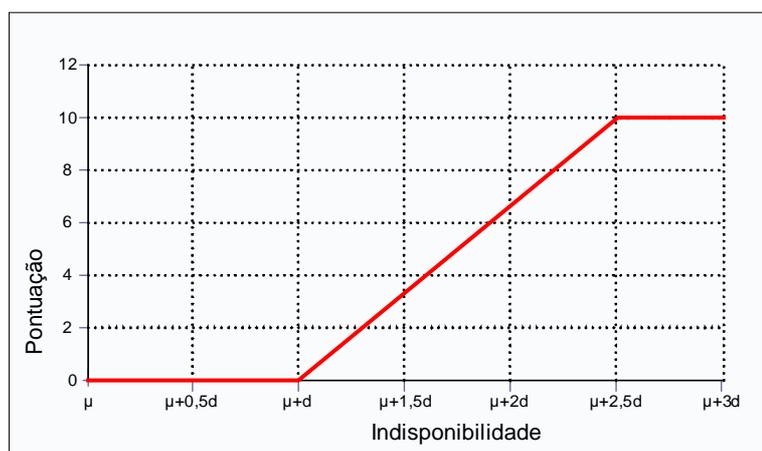


FIGURA 4.6 FATOR DE INDISPONIBILIDADE PROGRAMADA E FORÇADA

Fonte: Itaipu (2007a, p.24).

Para a valoração referente ao fator de condição operativa, o PAT indica que devem ser consideradas as seguintes possibilidades para a unidade geradora:

- nos próximos dez anos não apresenta problemas ou não existe previsão de reparos de monta - 0 pontos;
- nos próximos dez anos são requeridos reparos de rotina - 5 pontos;
- nos próximos cinco anos são requeridos reparos além da rotina - 8 pontos;
- nos próximos dois anos existe perigo de falha eminente e expectativa de realização de grandes reparos - 10 pontos.

Cada dos fatores, portanto, varia de um valor de 0 a 10 pontos. Considerando-se que é atribuído peso 1 para os fatores tempo de operação, a indisponibilidade forçada e programada da unidade geradora; e peso 2 para o fator condição operativa da unidade geradora, o índice de atualização tecnológica utilizado para a priorização entre unidades geradoras pode variar entre um valor mínimo de 0 e um valor máximo de 50.

Outro aspecto destacado no PAT é o detalhamento da capacitação técnica necessária para o sucesso do processo de atualização tecnológica, subdividida em treinamento de nível básico e treinamento específico. Para o treinamento básico é recomendada capacitação em sistemas numéricos, conceitos básicos de automação, microprocessadores, microcontroladores, controladores lógicos e digitais, linguagens de programação, sistemas operacionais, sistemas em tempo real e sistemas de comunicação digital. Para o treinamento específico, estão previstos temas como controle digital, engenharia de software, sensores e instrumentação digital, normas e protocolo IEC 61850 (da Norma IEC – *International Electrotechnical Commission* para comunicações e arquitetura intra-subestação/centrais) e protocolos de comunicação industrial.

6. Quais as principais dificuldades enfrentadas neste processo?

No tocante às dificuldades enfrentadas ao longo do processo de modernização, as empresas destacaram:

- ✓ Identificação de atividades adicionais a serem contempladas no escopo do projeto de modernização durante a realização do projeto, trazendo conseqüências para cronograma, alteração de escopo de fornecimento, custos não previstos, riscos operacionais e de segurança no trabalho, devido à execução de trabalhos não planejados;
- ✓ Indefinição da fronteira de atuação das empresas contratadas para implantação da modernização, com repercussões no relacionamento comercial entre as partes, risco de algum serviço deixar de ser realizado, execução de serviços sem respaldo contratual e aumento da probabilidade de ocorrência de falhas nos equipamentos em operação;

- ✓ Modalidade de contratação dos serviços em regime de *turn key*, dificultando o processo de identificação de problemas técnicos nos equipamentos na fase de implantação do projeto;
- ✓ Falta de integração entre empresas consorciadas para implantação do projeto, levando a dificuldade na obtenção de informações técnicas consideradas *know how* entre elas. Foi ainda observado que existe a preocupação de que possa ocorrer no futuro perda de memória técnica destas empresas, devido à dinâmica do mercado frente a aquisições e incorporações empresariais. Esta preocupação é confirmada por afirmações dos entrevistados como: ‘fornecedores quando possuem, não repassam conhecimento’, ‘as fusões e alterações societárias podem dificultar a obtenção de informações das empresas no futuro’;
- ✓ Desenhos do projeto original desatualizados e em alguns casos inexistentes, representando riscos e enormes dificuldades para a realização dos serviços, tanto sob a ótica operacional, quanto sob o aspecto de segurança no trabalho. Devido a isto, faz-se necessário realizarem-se levantamentos onerosos, recorrendo-se, em alguns casos, à memória dos profissionais mais experientes. Ocorreram, conforme relatado, algumas situações que exigiram a necessidade de desligamentos de equipamentos para realização de verificações e de levantamento de dados;
- ✓ Sistemas e equipamentos de tecnologia mais antiga entrando em operação concomitantemente com equipamentos e sistemas modernizados, exigindo requisitos diferenciados de manutenção e operação, podendo comprometer o desempenho operacional da instalação;
- ✓ Detalhamento em desenhos, manuais e catálogos técnicos de equipamentos em modernização fornecidos de forma inadequada ou mesmo inexistente, repercutindo na execução futura da manutenção;
- ✓ Não inclusão no escopo do fornecimento de treinamento técnico específico relativo aos equipamentos a serem fornecidos, como atividades em fábrica e *on the job*;

- ✓ Não participação das equipes de manutenção e operação em todas as etapas de implantação do projeto, ou mesmo as necessidades destas áreas não terem sido devidamente contempladas nas especificações técnicas;
- ✓ Compatibilização do programa de manutenção das demais unidades geradoras com os desligamentos necessários para a modernização. Uma unidade geradora indisponível por um período longo em determinada instalação traz conseqüências para o planejamento da manutenção das demais unidades em operação, naquela ou em outra instalação da empresa;
- ✓ Sensibilização da alta gerência da necessidade em se alocar o volume de recursos financeiros adequados para o desenvolvimento do processo de modernização.

7. Quais as principais itens do escopo do contrato de fornecimento dos novos dos equipamentos?

Com esta questão se pretendeu identificar se as empresas contemplam no escopo de fornecimento o treinamento de pessoal. Foi constatado que embora a maioria das empresas incluía no escopo o treinamento para as equipes de manutenção e operação, a falta de um maior detalhamento do conteúdo deste treinamento tem exigido revisões no programa de treinamento, com repercussões nos custos e na programação com os fabricantes. Um complicador é o fato de apenas ser possível detalhar com precisão o conteúdo deste treinamento na fase de especificações técnicas, quando é possível se conhecer com mais profundidade os equipamentos a serem fornecidos e suas funcionalidades.

8. Quais as ações implantadas para prevenir os riscos de acesso aos sistemas informatizados?

Com respeito às ações a serem implantadas devido ao risco de invasão aos sistemas informatizados a empresas informaram que ainda não possuem um posicionamento a respeito, embora entendam que procedimentos padronizados de controle de acesso aos sistemas devam ser utilizados. A TRACTEBEL por possuir uma usina operada remotamente relatou que o acesso é controlado por segregação de equipamentos e controle de acesso somente ao pessoal autorizado, com

mecanismos de bloqueio padronizado. O acesso lógico aos sistemas é controlado com de senhas e níveis de permissão por usuário. Além disso, a empresa através de sua área de tecnologia de informação controla e define as regras e os limites de interconexão física e lógica entre equipamentos e sistemas informatizados. Adicionalmente, foi relatado que a empresa continua desenvolvendo soluções, considerando-se o risco sempre presente de invasão ou acesso indevido.

9. Quais as ações previstas ou adotadas para o resgate e a preservação do conhecimento tecnológico associadas ao processo de atualização tecnológica?

Quanto ao resgate do conhecimento associado ao projeto de modernização, a maioria das empresas atua de forma tradicional, através de inclusão no escopo do fornecimento de entrega de desenhos ‘como construído’ e documentação do projeto e fabricação (*data book*). Em algumas das empresas pesquisadas também é executado levantamento fotográfico das atividades de montagem, como memória do projeto, embora com uma visão mais jornalística do que técnica.

Foi ainda relatado por ITAIPU que a área de manutenção desenvolveu em 2001 um projeto pioneiro de gestão do conhecimento, com objetivo de explicitar e preservar o conhecimento dos especialistas. Em parceria com a superintendência de informática, foi desenvolvido um projeto-piloto para o resgate do conhecimento de uma atividade relevante de manutenção. A realização de entrevistas com técnicos experientes permitiu o registro das práticas de manutenção, a identificação das possíveis dificuldades enfrentadas na execução das tarefas e os cuidados a serem adotados, para que os futuros profissionais da manutenção disponham, de forma estruturada e detalhada, das etapas a serem seguidas na execução das atividades de manutenção.

As principais atividades desenvolvidas neste projeto-piloto foram: recuperação e atualização do acervo existente (apostilas, manuais, fotos e filmes); elaboração e detalhamento do cronograma para a execução das atividades (tempo previsto para a execução, área responsável e número de empregados envolvidos); identificação das atividades prévias e catalogação dos dispositivos necessários para execução da atividade; e realização de um treinamento específico com base no conhecimento explicitado no projeto.

Na seqüência, em ITAIPU, foi desenvolvido um outro projeto de gestão do conhecimento visando preservar e aplicar a experiência adquirida na instalação das unidades geradoras adicionais para as futuras atividades de manutenção. Neste projeto, foram produzidos e catalogados depoimentos de profissionais, fotos, filmes e textos, sendo que o registro incluiu ainda as falhas e incidentes ocorridos e as lições aprendidas associadas a problemas técnicos surgidos durante a implantação do projeto e as respectivas soluções adotadas.

Para estruturação do conhecimento a ser resgatado este projeto foi dividido em partes, denominados processos. Neste sentido, por definição neste trabalho, processo é uma seqüência de atividades que representa uma etapa definida como relevante. Por exemplo, foram citados alguns desses processos: Estator: montagem instrumentação; Estator: montagem enrolamento; Mancal escora-guia: montagem sensores; Rotor gerador: ensaios de sobre-velocidade mecânica; Turbina: montagem quadro instrumentação; Regulador de Velocidade: montagem instrumentação; Regulador de tensão: montagem sistema de resfriamento da excitação.

Vale observar que, o projeto de gestão do conhecimento das unidades geradoras adicionais de ITAIPU foi executado pelos profissionais de manutenção, para que o conteúdo de conhecimento explicitado fosse adequado às necessidades futuras da área de manutenção. O acervo resgatado é composto por 24 filmes editados, cerca de 7000 fotos, 144 depoimentos técnicos, englobando 77 processos. Além desse material, foram recuperados 32 filmes relativos à montagem e manutenção das unidades instaladas na primeira etapa de construção da usina, que foram produzidos à época com finalidade não técnica.

Vale destacar que, com base nessas experiências, em ITAIPU encontra-se em desenvolvimento um projeto institucional de gestão do conhecimento. Como principal produto deste projeto foi criado um portal do conhecimento na *Intranet* da empresa, para disponibilização do material resgatado nos diferentes projetos elaborados pelas diversas áreas da empresa. Nos ANEXOS B e C encontram-se exemplos de páginas deste portal.

10. Houve alteração na metodologia de manutenção para a elaboração do plano de manutenção dos novos equipamentos?

No tocante a política de manutenção constatou-se que as empresas pesquisadas atuam de forma bastante similar. Para a maioria das empresas, a sistemática de manutenção é baseada na metodologia de manutenção desenvolvida na Diretoria de Geração Hidráulica da EDF - *Electricité De France*, na década de 1960, denominada MECEP - *Méthode De Controle Et D'entretien Préparé*, que trazida para o Brasil por uma empresa do setor elétrico, foi replicada para as demais. Apenas uma das empresas informou que sua sistemática de manutenção se originou da experiência de manutenção de empresas de energia elétrica da América do Norte. De maneira geral, as empresas desenvolvem ações planejamento, programação, execução, controle, análise e normatização de atividades de manutenção, baseadas em procedimentos e técnicas de manutenção preventivas, corretivas e preditivas.

O nível de informatização do controle da manutenção apresenta pequenas diferenças de abrangência, sendo que algumas empresas utilizam sistemas desenvolvidos na própria empresa e outras utilizam sistemas adquiridos no mercado.

Quanto a alguma alteração na sistemática de manutenção em razão da atualização tecnológica as empresas pesquisadas informaram que não ter havido alteração relevante, tendo sido realizadas as necessárias adaptações e revisões devido à mudança de tecnologia dos equipamentos instalados. Observou-se, ainda, uma tendência das empresas adotarem a metodologia MCC, independente do estágio tecnológico dos sistemas técnicos.

Todas as empresas foram unânimes em demonstrar a preocupação com o impacto da tecnologia digital para a equipe de manutenção, destacando a perda de contato com determinados procedimentos operacionais, em função do processamento de dados ocorrer via aplicativos informatizados. Confirmando essa preocupação formam feitas afirmações tais como: 'é necessário digitalizar as pessoas', 'não podemos perder o sentimento físico dos equipamentos', 'regulador de velocidade é

uma caixa preta, quando ocorrem problemas é feita a troca completa de módulos e enviado para o fabricante para reparar’.

11. Quais os ganhos esperados para a operação da usina hidrelétrica com o processo de atualização?

De uma forma geral, a despeito das dificuldades de ajustes e adequações enfrentadas, os profissionais entrevistados têm expectativa quanto à ocorrência de um menor número de falhas e problemas de manutenção, em consequência do melhor desempenho esperado com os equipamentos eletrônicos digitais. Isto se deve uma vez que os ajustes não se modificam com o tempo e devido à quantidade menor de componentes, quando comparado com os sistemas analógicos.

12. Como se comportavam os equipamentos que compõem o sistema de regulação de velocidade quanto à taxa de falhas e disponibilidade antes da atualização?

Obs: a pergunta 12 foi respondida conjuntamente com a pergunta 13, a seguir.

13. Como se comportam os equipamentos que compõem o sistema de regulação de velocidade quanto à taxa de falhas e disponibilidade depois da atualização?

Para a maioria das empresas pesquisadas não foi possível obter os dados relativos ao desempenho operacional das instalações após a implantação do processo de atualização tecnológica, como disponibilidade e taxa de falhas. Ou porque a modernização não foi concluída, ou porque foi concluída recentemente, neste caso com uma base de dados ainda pequena.

Uma das empresas apresentou a taxa de falha do sistema de regulação de tensão e do sistema de regulação de velocidade antes e depois da modernização, ocorrida em 2001. Esses dados são apresentados no QUADRO 4.6. Observa-se que também é apresentada a taxa de falha para o sistema de proteção digital após a modernização.

ANO	UNIDADE GERADORA 1			UNIDADE GERADORA 2		
	Regulador Velocidade	Regulador Tensão	Proteção Digital	Regulador Velocidade	Regulador Tensão	Proteção Digital
1997	0,00	0,03	-	0,01	0,07	-
1998	0,02	0,08	-	0,00	0,05	-
1999	0,00	0,11	-	0,00	0,06	-
2000	0,00	0,42	-	0,00	0,00	-
2001	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-
2002	0,54	0,11	0,05	0,06	0,00	0,01
2003	0,03	0,03	0,04	0,00	0,04	0,21
2004	0,00	0,01	0,04	0,01	0,00	0,11
2005	0,06	0,00	0,08	0,00	0,02	0,00
2006	0,02	0,00	0,00	0,00	0,51	0,06

QUADRO 4.6 TAXAS DE FALHA DE UMA USINA MODERNIZADA

Analisando-se esses dados nota-se uma tendência de degradação da taxa de falha maior da unidade geradora 1 com relação a unidade geradora 2. Neste caso, a modernização foi motivada não apenas em função da idade da instalação e devido ao desempenho operacional. A empresa decidiu automatizar a usina e por esta razão modernizou as duas unidades geradoras. Também é possível observar que a proteção digital apresentou taxas da falha maiores no início da operação, logo após as unidades terem sido modernizadas, confirmando a característica de falhas de juventude.

Foram relatadas a ocorrência de algumas falhas, logo após a conclusão da modernização em componentes hidráulicos do sistema de regulação de velocidade. Por exemplo, o entupimento freqüente de filtros do sistema de regulação de velocidade devido à exigência de uma maior qualidade do fluido a ser utilizado nos equipamentos após a modernização, caracterizando um problema de interface entre equipamentos de diferentes tecnologias.

14. Você poderia indicar trabalhos técnico-científicos a respeito deste tema?

As referências citadas pelas empresas foram basicamente trabalhos técnicos apresentados em encontros técnicos nacionais por profissionais de empresas do setor elétrico. Essas referências foram analisadas, sendo que algumas delas fazem parte do conteúdo da tese.

15. Você indicaria outro profissional que pudesse agregar conhecimento a respeito deste assunto?

Algumas indicações recaíram em profissionais das próprias empresas pesquisadas, como também ocorreu a indicação de projetistas e fornecedores. Essas indicações foram consideradas, dentro da possibilidade e da estratégia traçada para o desenvolvimento desta pesquisa.

16. Em sua opinião quais são as tendências da atualização tecnológica na geração de energia hidrelétrica?

Todos os entrevistados unanimemente observaram a tendência da intensificação cada vez maior do desenvolvimento e utilização da eletrônica e da informática industrial.

17. Existe algum aspecto ou questão a respeito do tema que você gostaria de acrescentar?

Foram citados ainda alguns aspectos complementares à realização da modernização refletindo na melhoria das condições operativas da usina como: a modificação de leiaute dos painéis de comando, evitando-se deslocamento entre elevações da instalação e conferindo maior agilidade na partida e parada da unidade geradora; a automação da operação de válvulas de controle e bloqueio em tubulações, eliminando o esforço físico, devido a localização e dimensões; a oportunidade de solução de problemas de aferição recorrente de instrumentos, que em muitos casos desviavam o foco do operador do processo de operação da instalação. Além disso, com a atualização tecnológica são introduzidas melhorias nas condições de segurança operativa, pelo fato dos sistemas técnicos atualizados disponibilizarem um maior número de informações referentes ao funcionamento da unidade geradora. Isto ocorre devido ao aumento da quantidade de funções dos dispositivos de supervisão e controle, quando comparados com os sistemas anteriormente

instalados. Corroborando esta afirmação foi exemplificado que uma unidade geradora possuía apenas três permissíveis de partida¹² e com a modernização este número passou para 52.

4.4 COMENTÁRIOS FINAIS

As informações e posicionamentos apresentados reforçaram o entendimento que as ações de atualização tecnológica são pertinentes ao processo de gestão de ativos físicos no sentido de garantir a continuidade do atendimento das funções para as quais os sistemas técnicos foram concebidos, buscando-se neste processo a extensão de sua vida útil. Ainda, constatou-se que o reprojeto representa uma oportunidade de atualização tecnológica da usina, bem como serve como experiência para futuros projetos de modernização.

Quanto às propostas apresentadas para a tomada de decisão de início do processo de modernização, conforme estudo desenvolvido por FURNAS e ITAIPU, observa-se que a análise técnica necessita ser complementada com outros aspectos igualmente relevantes. A definição de realizar-se a atualização tecnológica requer uma avaliação de caráter estratégico, no sentido confrontar-se as metas estratégicas empresárias em relação ao desenvolvimento do processo de atualização.

Desta forma, apesar das empresas destacarem que o início do processo de modernização das instalações está associada principalmente com a idade da usina, observou-se que outros fatores influenciaram esta decisão. A probabilidade da ocorrência de problemas técnicos de maior vulto, representando queda na indisponibilidade, a dificuldade em se contar com sobressalentes necessários, a opção de operar-se remotamente uma instalação, são exemplos de outros fatores considerados na decisão de modernizar ou não os sistemas técnicos das usinas. Esta é uma decisão estratégica, onde se pondera os resultados esperados e planejados para a organização. A FIGURA 4.7 sintetiza esta situação ao indicar que o processo de modernização pode ser deflagrado, em alguns casos, sem que a confiabilidade operacional apresente declínio.

¹² Dispositivos de supervisão que auxiliam na verificação das condições adequadas para a partida segura da unidade geradora.

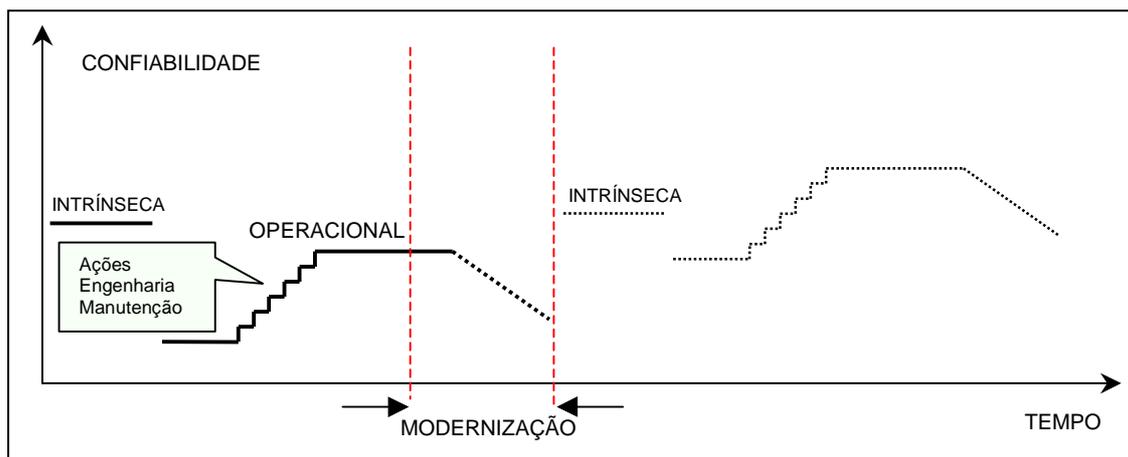


FIGURA 4.7 CONFIABILIDADE E MODERNIZAÇÃO DE SISTEMAS TÉCNICOS

Observou-se a prática das empresas em estender a modernização para um conjunto de sistemas técnicos de mesma função, independente de apresentarem desempenho idêntico, por razões de otimização de recursos e padronização de procedimentos de operação e de manutenção. Ainda, quanto a abrangência da modernização, observou-se, em alguns casos, a estratégia de ampliar-se o escopo da modernização, visando otimizar o período de indisponibilidade das unidades geradoras, por razões econômicas.

A sistematização do processo decisório de modernização, principalmente no que se refere à priorização entre usinas ou entre unidades geradoras em uma mesma usina, tem sido adotada por algumas empresas, embora não deva ser interpretado como um procedimento mandatório e sim orientativo. Um conjunto de questões devem ser ponderadas e definidas de forma a estarem alinhadas com estratégia da empresa para que os investimentos realizados visem atender o mercado de energia elétrica.

As entrevistas realizadas demonstram a preocupação com determinados aspectos que podem ser minimizados com ações de gestão do conhecimento. Por exemplo, a dependência de informações e soluções de fabricantes estrangeiros referentes aos sistemas informatizados pode ser diminuída com estratégias que contemplem a explicitação do conhecimento relacionado às funcionalidades e características destes sistemas, com suporte de instituições de ensino, quando a complexidade exigir.

Ainda no que refere ao conhecimento, uma preocupação destacada nas entrevistas se refere ao impacto da utilização de tecnologia digital nos sistemas técnicos. Um conjunto

de ações deve ser empreendido, como: treinamentos especializados; formação teórica em tecnologia digital; desenvolvimento de simuladores para a prevenção e tratamento de falhas; estratégias de manter a equipe de manutenção atualizada com relação aos aspectos operacionais dos sistemas técnicos, com aproveitamento de desligamentos programados para acessar e realizar testes operacionais; acompanhamento do estado da arte relativo a esses equipamentos e seus componentes. Todas estas ações contribuem para o estabelecimento de patamares de conhecimento compatíveis com a gestão de ativos físicos voltada para a extensão da vida útil dos sistemas técnicos.

Um outro aspecto a ser observado é a recomendação do EPRI referente à idade do equipamento para início do processo de atualização, representado pela proposta de pontuação do fator de tempo de operação, conforme a FIGURA 4.1. A rampa apresentada sugere o trecho final da curva da banheira ou a curva 'S' do desenvolvimento tecnológico. A pontuação menos favorável e mais favorável para o início da modernização está associada a um tempo de operação entre 25 a 35 anos. Deve-se considerar que esta recomendação está baseada em dados de instalações de geração de energia elétrica do mercado americano.

Segundo o IEA (2007), a matriz energética americana em 2004 era composta como segue: 50% de geração a carvão, 3% de geração a óleo, 17% de geração a gás, 20% de geração nuclear, 6,5% de geração hidrelétrica, sendo o restante oriundo de demais fontes. Observa-se, portanto, uma matriz energética com uma participação pouco expressiva de geração hidrelétrica, completamente diferente da matriz brasileira. Ainda é necessário considerar que a atualização tecnológica depende de recursos financeiros, fator também diferenciador da realidade desses países em relação ao Brasil.

Constatou-se que o processo de modernização das instalações hidrelétricas pesquisadas ocorre com vida útil da ordem de 25 a 40 anos.

Nesse sentido, propõe-se um intervalo entre 35 anos e 45 anos para o desenvolvimento do processo de atualização tecnológica. Isto se deve, principalmente, aos seguintes aspectos: as especificidades do mercado de energia elétrica no Brasil, a disponibilidade de recursos a serem alocados em projetos de modernização e a qualidade da gestão de ativos físicos das instalações hidrelétricas brasileiras, confirmada pela disponibilidade apresentada pela ABRAGE, conforme o QUADRO 2.4.

Um exemplo de problema relatado por algumas empresas foi a ocorrência de falhas recorrentes devido à saturação de filtros de óleo do sistema hidráulico do regulador de velocidade após a modernização. Neste sentido, Paiva e Zeni Júnior (2000) observam a necessidade de uma avaliação criteriosa do óleo hidráulico utilizado no regulador de velocidade, evitando-se problemas de entupimento de componentes modernizados, que exigem melhor qualidade do desempenho dos filtros instalados no sistema.

Constatou também a necessidade de adequação da política de manutenção frente a maior dependência do estoque de componentes sobressalentes, tendo em vista a característica de intervenção em equipamentos eletrônicos ser realizada baseada na substituição de componentes ou grupo deles. Além disso, devem ser aprimorados os mecanismos de proteção e bloqueio, visando minimizar o risco de invasões, intencionais ou involuntárias, em sistemas de supervisão comando e controle críticos da instalação.

Ainda, pode-se destacar, que o processo de atualização tecnológica é uma oportunidade de serem eliminadas algumas condições de risco presentes nas instalações. De Paula *et al.* (2007) reforçam este posicionamento ao apresentarem um exemplo onde o percurso para a cablagem principal e reserva de um determinado equipamento é realizado em uma única canaleta. Esta situação faz com que os equipamentos, principal e reserva, estejam sujeitos ao mesmo risco, caso ocorra uma interferência na canaleta, eliminando a efetividade da redundância concebida.

Quanto ao eventual impacto ao meio ambiente, o processo de atualização tecnológica não exige uma avaliação no que se refere ao reservatório e seu entorno, excluindo-se a situação em que são realizadas alterações de nível de reservatório ou implantação de modificações no sistema de vertimento. Apesar disso, conforme comenta Pacheco *et al.* (2007), deve ser desenvolvido um programa de separação e destinação de resíduos resultantes nas obras executadas.

As informações obtidas e as dificuldades apontadas no desenvolvimento das atividades de reprojeto e de modernização pelas empresas de geração hidrelétrica pesquisadas indicam a necessidade de se contar com um modelo de sistematização para o processo de atualização tecnológica.

CAPÍTULO 5: MODELO PARA SISTEMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA

5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os posicionamentos apresentados e a fundamentação teórica citada permitem o estabelecimento de um modelo para sistematização do processo de atualização tecnológica. Como parte integrante desse modelo foi concebida uma forma estruturada para a gestão dos ativos físicos de instalações hidrelétricas, focada na extensão da vida útil dos sistemas técnicos, denominada MICC - Manutenção Integrada em Confiabilidade e Conhecimento.

As entrevistas realizadas e a análise dos processos de atualização tecnológica em curso e já desenvolvidos indicam dificuldades, tais como: número elevado de falhas no retorno da unidade geradora ao funcionamento; revisões no escopo e cronograma do projeto, com conseqüente aumento dos custos previstos; conflito entre o patamar tecnológico presente nos equipamentos antigos e novos; necessidade de adequação e capacitação dos profissionais de manutenção em face da tecnologia adotada; dificuldade no resgate e preservação do conhecimento associado aos equipamentos já instalados; domínio do conhecimento de sistemas informatizados residentes nos equipamentos atualizados. A percepção colhida nessa pesquisa aponta que essas questões decorrem da inexistência de uma sistemática para orientar o processo de atualização tecnológica.

Diante disso, considerou-se nesta tese ser importante, para o desenvolvimento do processo de atualização tecnológica, adotar-se também um modelo de gestão direcionado à extensão de vida útil. A inter-relação entre o modelo de sistematização do processo de atualização tecnológica e a extensão da vida útil contempla os procedimentos e as práticas voltadas para a garantia da disponibilidade operacional, estruturadas em ações que associem de forma integrada o desenvolvimento do projeto de atualização tecnológica.

A necessidade de integração do conhecimento do processo de gestão da manutenção e do desenvolvimento da atualização tecnológica das instalações se apresenta como elemento de agregação para a excelência dos resultados em produtividade operacional e em conseqüência para os resultados empresariais. Fundamentado na literatura especializada, em autores como Zhou (2007), é possível afirmar-se que não há

como dissociar o conhecimento residente nas pessoas e o desempenho técnico dos equipamentos.

Para fins desta pesquisa, a apresentação do modelo proposto considera as abordagens apresentadas por Vernadat (1996), Pidd (1998) e Keller e Teufel (1998), bem como é utilizada a ferramenta DFD - Diagrama de Fluxo de Dados, para representar as funções e os fluxos de informações associadas.

5.2 PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO DA ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA

O processo decisório que envolve o início do processo de atualização tecnológica diz respeito às questões organizacionais estratégicas, já que os resultados operacionais das usinas hidrelétricas estão diretamente relacionados com o atendimento aos contratos de suprimento de energia elétrica e, por conseguinte, com a missão da empresa.

Um conjunto de fatores concorre para essa decisão, sendo que essa análise não diz respeito apenas ao aspecto de desempenho operacional da instalação. As informações colhidas nas entrevistas demonstraram processos de atualização desenvolvidos sem que tivesse sido constatada uma degradação representativa dos indicadores de desempenho. Embora a idade da instalação represente um alerta, devido ao aumento da probabilidade de ocorrência de falhas ao longo do tempo e a dificuldade de obtenção de sobressalentes para os equipamentos mais antigos.

Há fatores internos e externos que influenciam a etapa de planejamento da atualização tecnológica. Os principais fatores externos são: a política governamental e as questões energéticas, a política ambiental, os requisitos externos oriundos da ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica e ONS - Operador Nacional do Sistema, o mercado de energia elétrica e a estratégia empresarial.

Quanto aos fatores internos destacam-se os aspectos técnicos e os aspectos gerenciais. A análise dos aspectos técnicos compreende: a avaliação do desempenho operacional dos sistemas técnicos da instalação; a necessidade de atendimento a requisitos externos, a análise de viabilidade de desenvolvimento de reprojeto; e, a análise da oportunidade de repotenciação das unidades geradoras. Na análise gerencial inclui-se: a

avaliação da oportunidade de automatização da usina, a análise dos custos de manutenção e do perfil da equipe de manutenção. Cada um desses aspectos de forma isolada, ou em associação a outro aspecto, pode deflagrar o processo de atualização tecnológica.

Nesse sentido, as análises, técnica e gerencial, contemplam:

- Desempenho operacional: avaliação de indicadores como taxa de falha e disponibilidade operacional, análise de confiabilidade e manutenibilidade, necessidades de sobressalentes;
- Requisitos externos: recomendações e procedimentos normativos para o atendimento requisitos técnicos oriundos do sistema interligado, como também a compatibilização de requisitos técnicos referentes aos protocolos de comunicação entre sistemas informatizados, sejam de sistemas de controle, supervisão ou comando;
- Desenvolvimento de reprojeto: análise de mercado e dos contratos de suprimento de energia elétrica, considerando-se a viabilidade técnica e disponibilidade energética para instalação de unidades geradoras adicionais. Ainda, requer uma análise econômica quanto ao retorno do investimento a ser realizado;
- Oportunidade de repotenciação: similarmente ao reprojeto requer análise dos contratos de suprimento de energia elétrica e de retorno do investimento, como também a disponibilidade energética da instalação. Além disso, o desenvolvimento de estudos técnicos quanto ao potencial de aumento de potência por unidade geradora;
- Perfil da equipe de manutenção: análise quantitativa e qualitativa da equipe no que se refere ao perfil técnico e sua adequação à tecnologia a ser adotada, bem como a avaliação de necessidades de capacitação dos profissionais;
- Custos de manutenção: análise da evolução dos custos diretos e indiretos de manutenção dos sistemas técnicos;

- Automatização das instalações: análise econômica em desassistir a instalação, pressupondo-se que o nível de automação requerido não pode ser atingido com a tecnologia existente.

O processo de atualização tecnológica ocorre durante a fase de uso da instalação, após a análise estratégica dos fatores externos e internos citados. Para o processo de reprojeto são necessárias ainda condições técnicas específicas, previstas no projeto original da instalação, para ampliação do número de unidades geradoras da usina.

Após a decisão de atualizar tecnologicamente um conjunto de sistemas técnicos, realiza-se o processo de atualização com a redefinição da política de manutenção dos novos equipamentos. Encerrado o processo de atualização tecnológica, retoma-se o processo de extensão de vida útil até que outra necessidade de atualização seja identificada, ou se opte por retirar a instalação de operação. Esse cenário cíclico é representado na FIGURA 5.1. Esta figura apresenta as macro-fases do ciclo de vida da instalação.

O desenvolvimento e implantação do projeto original estabelecem a configuração inicial da instalação e de seus sistemas técnicos, que inicia seu período de uso após os ensaios de comissionamento. O período de uso, também denominado de ciclo de vida útil, se caracteriza pela fase produtiva da instalação, quando ações de manutenção estão focadas na extensão da vida útil dos equipamentos, garantindo a confiabilidade e disponibilidade operacional. Nessa fase, por vezes, desenvolvem-se ações de repotenciação em aproveitamento a pequenas folgas de potência disponível no projeto original, como também melhorias localizadas em equipamentos específicos, podendo ocorrer mudanças tecnológicas.

Ao longo do processo de extensão de vida útil são realizadas análises técnicas e estratégicas, na fase de planejamento, considerando-se os aspectos já citados. Três linhas de atuação são possíveis: continuar o processo de extensão de vida útil, deflagrar o processo de atualização dos sistemas técnicos ou retirar a instalação de operação.

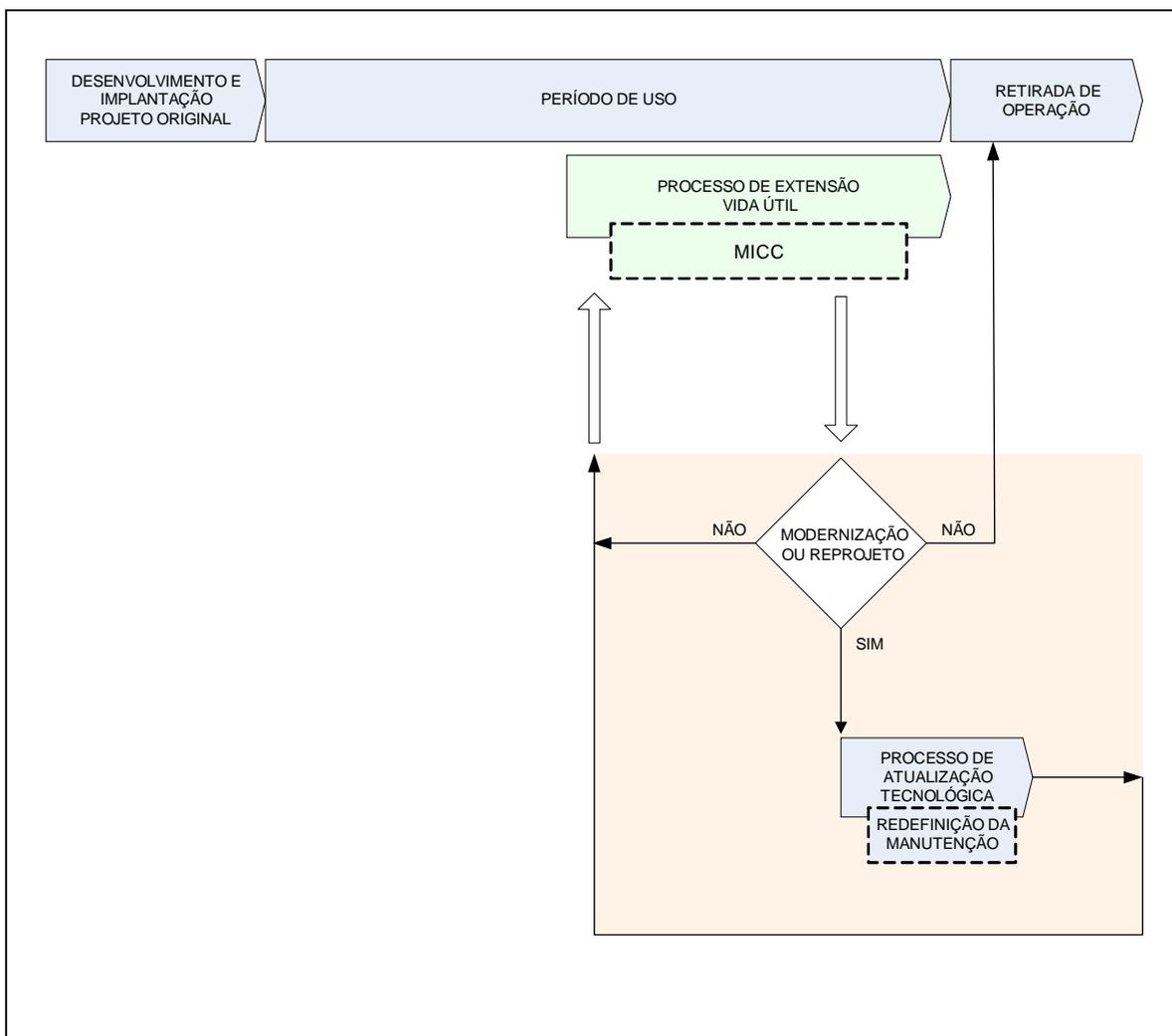


FIGURA 5.1 CICLO DE ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA

A FIGURA 5.1 indica que, caso se decida pela atualização, é necessário desenvolver-se uma análise de manutenção visando à redefinição da política de manutenção a ser adotada nos equipamentos atualizados tecnologicamente. A seguir o ciclo se completa com o reinício do processo de extensão de vida útil e a utilização do modelo de extensão de vida útil MICC.

5.3 MODELO DE SISTEMATIZAÇÃO PARA O PROCESSO DE ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA

Conforme observado anteriormente, o processo de atualização tecnológica compreende os processos de reprojeto e modernização. As oportunidades de desenvolvimento de reprojeto nas instalações de geração hidrelétrica no Brasil são bastante reduzidas, considerando-se os atuais aproveitamentos com possibilidade de agregar unidades geradoras adicionais. Desta forma, o modelo de sistematização proposto para o processo atualização está focado no processo de modernização, embora seja possível utilizar o modelo também no desenvolvimento de reprojeto, com pequenos ajustes, observados ao longo da apresentação do modelo.

Na seqüência são demonstradas a estruturação das principais macro-fases e fases do modelo de sistematização da atualização tecnológica, bem como as atividades, métodos, e resultados de cada fase, tendo como referência a metodologia de gerenciamento de projetos e de desenvolvimento de produtos. O modelo é também representado utilizando-se a ferramenta DFD, como subsídio para seu desenvolvimento na forma de um sistema de informações.

5.3.1 Estruturação do Modelo de Sistematização

O modelo de sistematização do processo de atualização tecnológica foi concebido considerando-se as macro-fases de planejamento, de projeção e de implementação, conforme apresentado na FIGURA 5.2.

A macro-fase planejamento compreende o planejamento do processo de atualização e a macro-fase projeção, constitui-se no processo de projeto da atualização tecnológica, composta pelas fases de projeto informacional, de projeto conceitual, de projeto preliminar e de projeto detalhado. Para a macro-fase implementação foram definidas as fases de instalação de equipamentos, ensaios de aceitação e encerramento do projeto.

Para cada uma das fases é definida uma saída específica ou produto resultante. Na fase de projeto detalhado, além da documentação final do projeto de atualização é

estabelecida a política de manutenção para os equipamentos atualizados, para a garantia da confiabilidade e manutenibilidade dos sistemas técnicos da usina.

Para tanto, é estabelecido um processo específico, denominado processo de redefinição da manutenção. Este processo é composto pelas macro-fases projeção e implementação. Para a macrofase projeção estabeleceu-se uma fase englobando o projeto informacional e o conceitual, e outras duas fases: projeto preliminar e projeto detalhado. Nesta caso, as fases referentes ao projeto informacional e ao projeto conceitual foram englobadas em uma única fase e tratadas conjuntamente, considerando-se que a maioria dos requisitos e concepções de manutenção são definidas no curso das ações de manutenção desenvolvidas na instalação. Já a macro-fase implementação representa a incorporação nas atividades de manutenção desse processo redefinido.

A FIGURA 5.2. apresenta as macro-fases e fases do processo de atualização tecnológica, como também as macro-fases e fases do processo de redefinição da manutenção. Essa figura apresenta ainda as saídas específicas de cada uma das fases desses dois processos.

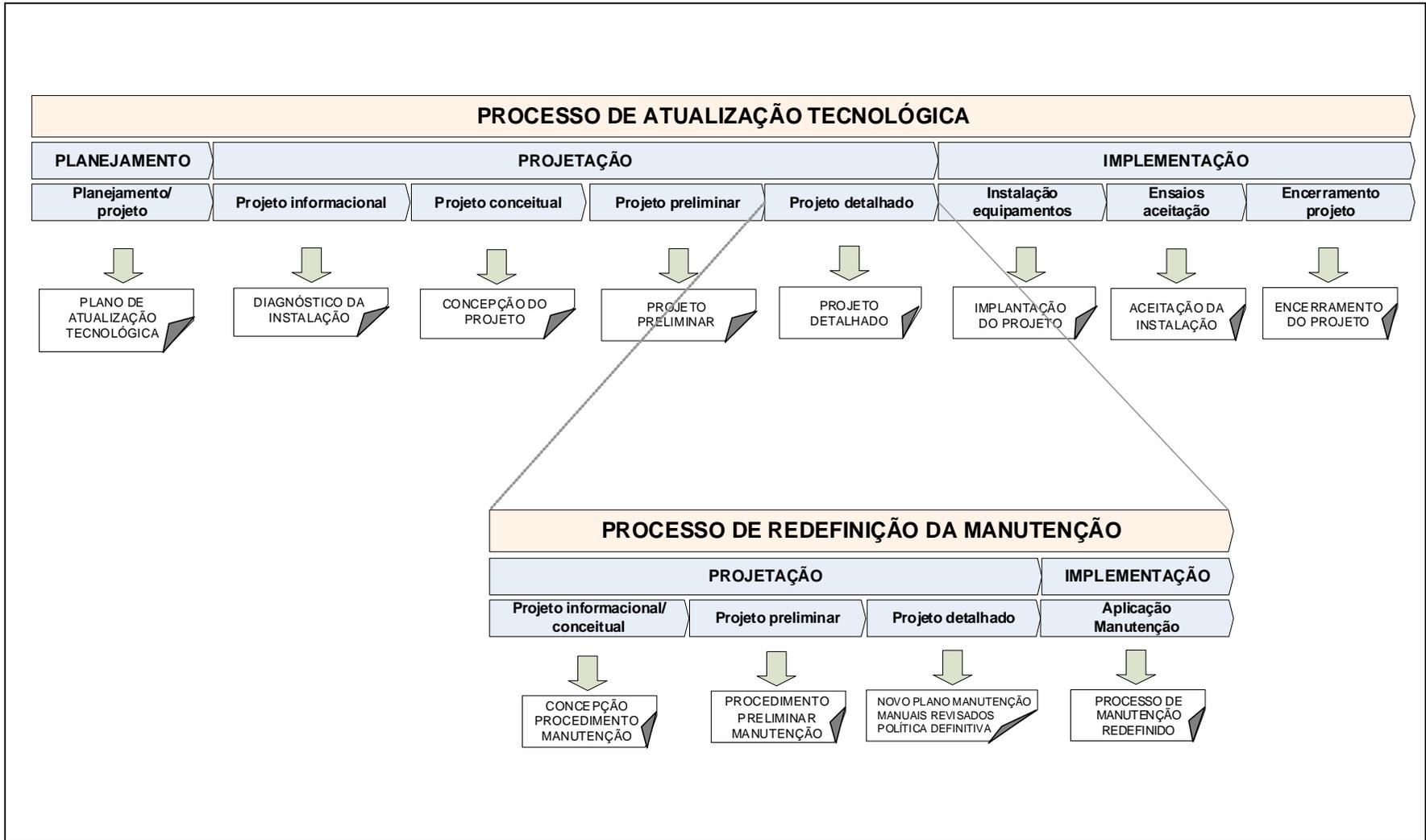


FIGURA 5.2 PROCESSO DE ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA E DE REDEFINIÇÃO DA MANUTENÇÃO

5.3.2 Detalhamento das Fases do Modelo

As fases do modelo de sistematização são compostas de atividades, estudos e análises a serem executadas, estando cada uma dessas ações relacionadas à aplicação de um método ou à utilização de uma ferramenta. A cada passo do processo de atualização tecnológica, assim definido, associa-se uma ação específica de resgate do conhecimento, para a apropriação desse conhecimento, transformando-o em propriedade intelectual da organização.

O processo de atualização tecnológica se inicia com a fase de planejamento do projeto. Nessa fase é realizada uma análise do processo de atualização frente ao planejamento estratégico da empresa e são definidas as diretrizes e critérios a serem seguidos no decorrer de todo o processo. Ao concluir-se essa fase têm-se o plano de atualização tecnológica que contempla as orientações básicas para o desenvolvimento do projeto como limites de investimento, opções de captação de recursos financeiros e retorno financeiro esperado, prazos estimados para o desenvolvimento das etapas do projeto e implantação, principais áreas envolvidas e responsáveis pelas etapas subsequentes.

Na seqüência tem-se a fase referente ao projeto informacional. Nessa fase é realizada uma exaustiva análise dos sistemas técnicos da instalação sob a ótica do desempenho operacional e aspectos relacionados com a gestão da manutenção. Aliado a isso é realizado um levantamento dos requisitos técnicos a serem atendidos e uma avaliação do estado da arte dos sistemas técnicos a serem atualizados. Como resultado obtém-se o diagnóstico da instalação para o estabelecimento na fase seguinte da amplitude da atualização tecnológica. É nessa fase que a participação da área de manutenção é primordial para que se agregue ao projeto o conhecimento referente ao desempenho operacional e manutenibilidade dos equipamentos atualizados e sejam estabelecidas as premissas para esses atributos.

Na fase do projeto conceitual, além da definição da amplitude do projeto de atualização, é estabelecida a estrutura, a equipe e a matriz de responsabilidade para o gerenciamento e implantação do projeto. Define-se nessa fase, também, a modalidade de contratação e as atividades que serão terceirizadas, os potenciais fornecedores e fabricantes, a forma de captação dos recursos financeiro, bem como é realizado o

planejamento dos desligamentos necessários para a implantação do projeto. Nesse sentido, ao final dessa fase o projeto de atualização está concebido.

Observa-se que para o caso de atualização tecnológica de reprojeto algumas destas atividades do projeto informacional e conceitual recebem um tratamento diferenciado. Por exemplo: o diagnóstico da instalação é realizado apenas como uma referência para o projeto a ser desenvolvido; a amplitude da atualização é limitada ao estado da arte dos sistemas técnicos; o investimento requer maiores recursos financeiros; o planejamento dos desligamentos limita-se às interferências entre sistemas comuns entre unidades geradoras. As demais atividades referentes as fases desenvolvidas a seguir são idênticas tanto para a modernização quanto para o reprojeto.

O projeto preliminar caracteriza-se pelo estabelecimento do escopo preliminar do projeto e sua correlação com os equipamentos existentes, os custos estimados do projeto e da implementação. Algumas ações gerenciais são definidas nessa fase como as diretrizes para a fiscalização das atividades de implantação do projeto na usina e para a realização do comissionamento dos equipamentos a serem atualizados, bem como o estabelecimento dos procedimentos de segurança de pessoas e equipamentos.

De posse do projeto preliminar inicia-se o desenvolvimento do projeto detalhado da atualização tecnológica. Na fase do projeto detalhado é definido o escopo definitivo do projeto, o prazo, o custo e cronograma de desenvolvimento e implementação, permitindo a realização do processo de licitação do fornecimento e de instalação dos equipamentos. São avaliados, também, os riscos do projeto e são planejadas as ações mitigadoras relativas a esses riscos. Nessa fase, ainda, são definidos os critérios técnicos de qualidade e aceitação dos equipamentos a serem fornecidos. Adicionalmente, destaca-se que nessa fase é definido o programa de capacitação dos profissionais responsáveis pela futura manutenção dos equipamentos atualizados.

A macro-fase de implementação tem início com a fase de instalação dos equipamentos que compreende o controle do cronograma, dos custos de instalação e das não-conformidades técnicas identificadas durante a instalação dos equipamentos. Nessa fase é também realizada a inspeção em fábrica dos equipamentos fabricados, como também a verificação do funcionamento dos sistemas informatizados montados em

plataformas de testes nas dependências dos fabricantes. Ainda é desenvolvido o planejamento para execução do comissionamento, tarefa a ser realizada na próxima fase.

Na fase definida como ensaios de aceitação são executados os testes de comissionamento, os ensaios especiais de atendimento aos requisitos técnicos estipulados na fase de projeto detalhado e o acompanhamento da solução das não-conformidades técnicas. São ainda realizados nessa fase os ensaios de aceitação quando é verificado o atendimento aos requisitos de desempenho quanto a rendimentos, perdas e disponibilidade também estabelecidos na fase de projeto detalhado. Desta forma são emitidos e aprovados os protocolos de aceitação dos equipamentos fornecidos.

Na fase de encerramento do projeto é concluído o controle de pendências técnicas e obrigações contratuais relativas ao fornecimento e da instalação dos equipamentos, bem como é verificada a entrega da documentação técnica como manuais de manutenção e operação, catálogos técnicos e desenhos revisados 'como construído'. A conclusão dessa fase permite o encerramento do projeto com o registro das lições aprendidas no decorrer de todo o processo de atualização tecnológica.

Na FIGURA 5.3 é apresentado o detalhamento das atividades a serem desenvolvidas em cada fase tanto do processo de atualização tecnológica. Encontra-se no QUADRO 5.1 as atividades relacionadas à macro-fase projeção (projeto preliminar), os métodos/ferramentas pertinentes, as principais saídas de cada atividade e as ações de resgate do conhecimento.

Encontra-se no APÊNDICE A o detalhamento das atividades, os métodos/ferramentas, as principais saídas e as ações de resgate do conhecimento relativas às demais fases do processo de atualização tecnológica.

PROJETO PRELIMINAR				
Etapas	Atividade	Método/ Ferramenta	Saída	Resgate do Conhecimento
Correlação com o projeto original	Analisar instalação original	Estudos de melhorias e análise comparativa	Requisitos técnicos para o projeto detalhado	Documentação técnica gerada
Sistemas técnicos e equipamentos	Selecionar/especificar sistemas técnicos	Análise de soluções técnicas	Requisitos técnicos para o projeto detalhado	Especificação preliminar do projeto
Segurança dos sistemas técnicos e de pessoal	Estabelecer normas e procedimentos de segurança	Análise das recomendações definidas no projeto conceitual e normas	Normas de segurança para a instalação e para o pessoal	Procedimentos de segurança
Estratégia de bloqueio de acesso	Estudar alternativas de equipamentos e sistemas	Análise riscos de invasão aos sistemas	Requisitos técnicos para o projeto detalhado	Estudos técnicos e recomendações
Escopo preliminar projeto	Definir escopo preliminar do projeto	Análise abrangência do projeto	Declaração de escopo preliminar	Especificação preliminar do projeto
Diretrizes de fiscalização para implantação do projeto	Estabelecer diretrizes para as atividades de fiscalização	Análise dos procedimentos e estratégia de fiscalização	Normas de fiscalização e responsáveis	Procedimentos de fiscalização
Diretrizes comissionamento	Estabelecer diretrizes	Análise estratégia do comissionamento	Procedimentos e responsáveis	Procedimentos comissionamento
Custos estimados	Definir custos estimados do projeto	Levantamento dos custos preliminares	Estimativa de custos	Estudos realizados

QUADRO 5.1 ATIVIDADES DA FASE DE PROJETO PRELIMINAR

Na FIGURA 5.3 é demonstrado o processo de redefinição da manutenção que se desenvolve em paralelo com a fase do projeto detalhado e na FIGURA 5.4 encontra-se representado o detalhamento das atividades definidas para esse processo específico.

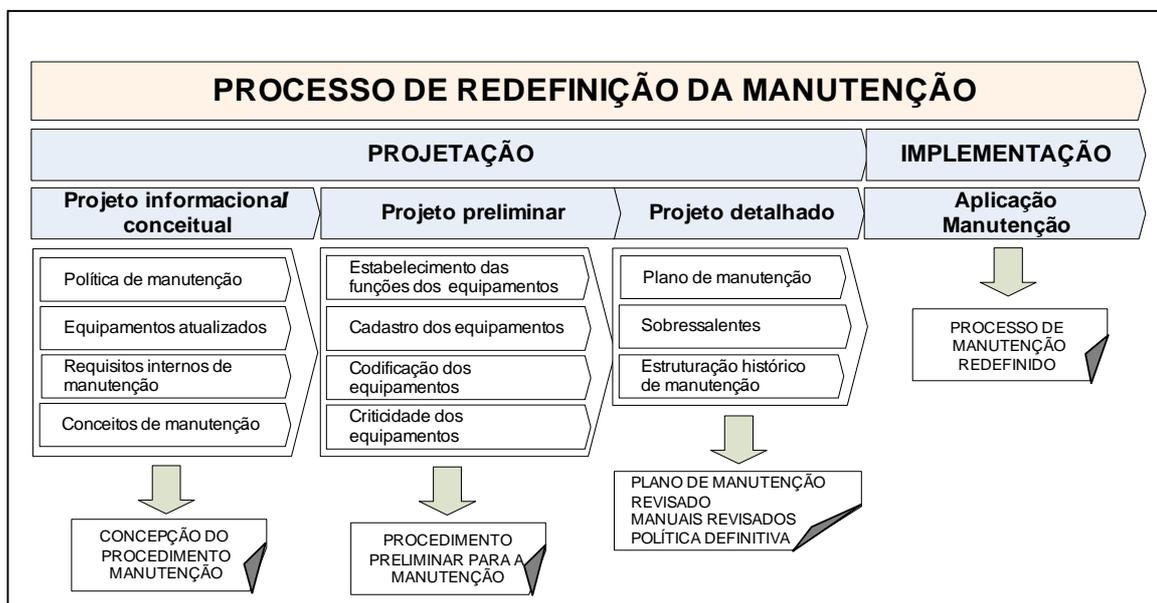


FIGURA 5.4 PROCESSO DE REDEFINIÇÃO DA MANUTENÇÃO

O processo de redefinição da manutenção foi inserido na fase do projeto detalhado do processo de atualização tecnológica, pois apenas naquele momento se dispõe das informações técnicas dos equipamentos a serem instalados como catálogos, desenhos, detalhamento de montagem, requisitos de confiabilidade e manutenibilidade.

Na fase referente ao projeto informacional/conceitual do processo de redefinição da manutenção para os equipamentos a serem atualizados, como indicado na FIGURA 5.4 é avaliada política atual, os conceitos de manutenção e os requisitos internos de manutenção considerando-se os equipamentos a serem atualizados. Definindo-se desta forma a concepção do procedimento de manutenção a ser adotado.

A fase seguinte é a do projeto preliminar quando é realizada a análise funcional, o cadastro e a codificação dos equipamentos a serem atualizados, bem como é estabelecida a criticidade funcional desses equipamentos. Neste sentido, obtém-se o procedimento preliminar para a manutenção.

Na fase do projeto detalhado é definido o plano de manutenção a ser aplicado e a listagem e especificação dos sobressalentes necessários para a garantia da disponibilidade operativa da usina. A estruturação dos documentos que irão compor o histórico de manutenção é realizada e têm-se como resultado final dessa fase os documentos para execução da manutenção revisados. O final dessa fase permite a implementação da política de manutenção para os equipamentos a serem atualizados tecnologicamente.

Observa-se ainda que as fases e atividades descritas para o processo de redefinição da manutenção se referem ao processo de atualização tecnológica independente de se realizar modernização ou reprojeto.

De maneira similar ao processo de atualização tecnológica, o detalhamento das atividades, os métodos/ferramentas, as principais saídas e as ações de resgate do conhecimento relacionadas ao processo de redefinição da manutenção encontram-se no APÊNDICE B.

5.3.3 Diagrama de Fluxo de Dados do Modelo

De acordo com a literatura especializada a utilização da ferramenta DFD permite representar de forma estruturada o fluxo de dados e as transformações experimentadas por esses dados em um determinado processo. Em vista disso, com suporte dessa ferramenta de modelagem, apresenta-se as funções desenvolvidas, as interfaces e fluxos existentes, e os repositórios de dados referentes à sistematização do processo de atualização tecnológica, já apresentado com base na metodologia de gerenciamento de projetos e de desenvolvimento de produtos.

Assim, na FIGURA 5.5 se apresenta o diagrama DFD para o processo de sistematização do processo de atualização tecnológica .

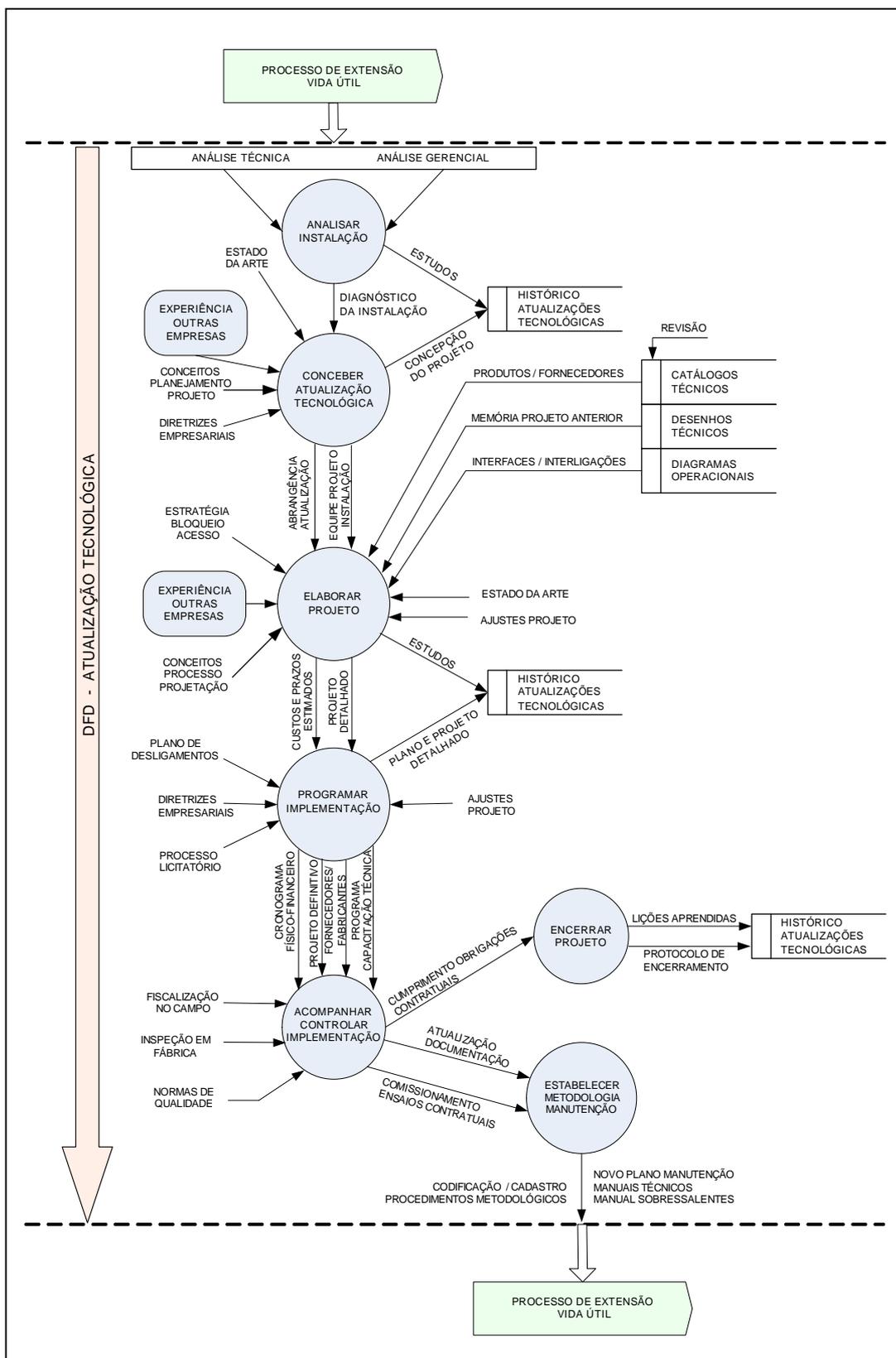


FIGURA 5.5 DFD DO PROCESSO DE ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA

De acordo com a FIGURA 5.5 um dos fatores que compõem as análises, técnica e gerencial, para a definição do início da atualização tecnológica é a análise de desempenho dos sistemas técnicos, que se origina no processo de extensão de vida útil. Encerrado o processo de atualização retoma-se o processo de extensão de vida útil. Os fatores a serem considerados nesta avaliação estratégica foram abordados no parágrafo referente ao planejamento estratégico do processo de atualização tecnológica.

Na seqüência tem-se a função ‘analisar instalação’. O resultado desta função é um diagnóstico da instalação, ou seja, uma análise da aplicabilidade de serem implementadas as soluções técnicas, que alimenta a função ‘planejar atualização tecnológica’. O diagnóstico, assim obtido, é também enviado a um arquivo de dados onde são registradas as ações que irão compor o ‘histórico de atualizações tecnológicas’.

De posse do diagnóstico da instalação, a função ‘conceber atualização tecnológica’ depende também do estado da arte tecnológico dos sistemas técnicos que compõem a instalação, das diretrizes empresarias, dos conceitos de planejamento de projeto e da experiência de empresas congêneres no desenvolvimento de projetos similares. A concepção do projeto de atualização, assim obtida, é arquivada no ‘histórico de atualizações tecnológicas’.

Observa-se que o conhecimento do estado da arte dos sistemas técnicos é resultado de pesquisa permanente referente ao desenvolvimento tecnológico dos sistemas, equipamentos e componentes utilizados em instalações hidrelétricas. Ainda neste contexto encontra-se a avaliação da viabilidade de aplicação de avanços tecnológicos em usinas hidrelétricas e o acompanhamento da aplicação de equipamentos e sistemas informatizados em aplicações industriais.

A próxima etapa do processo de atualização tecnológica refere-se a função ‘elaborar projeto’. A abrangência da atualização tecnológica e a definição da equipe responsável pelo desenvolvimento e implantação do projeto, definidas na função anterior, são os principais insumos para essa função. Novamente é avaliada a experiência de realização de outros projetos, como também é estudada a estratégia de bloqueio de acesso a ser adotada, para impedir qualquer acesso escuso aos sistemas informatizados, e os conceitos da técnica de projeção. As informações técnicas utilizadas no desenvolvimento dessa etapa são oriundas do acervo técnico de catálogos e desenhos e a memorial de cálculo do projeto

original. A análise dos desenhos e diagramas funcionais da usina permite identificar as interfaces e interligações entre os sistemas técnicos a serem instalados e os sistemas que compõem o projeto atual. Os estudos realizados também são arquivados no ‘histórico de atualizações tecnológicas’.

O resultado da função anterior, ou seja, o projeto detalhado com os custos e prazos estimados permite desenvolver a próxima função de ‘programar implementação’. Para a execução dessa função considera-se: o plano anual de desligamentos das demais unidades geradoras da usina, as diretrizes empresariais, o resultado do processo licitatório e os eventuais ajustes a serem realizados no projeto de atualização. Como resultado dessa etapa obtém-se: o cronograma físico e financeiro do empreendimento, o projeto detalhado da atualização tecnológica, a definição dos fabricantes e fornecedores e o programa de capacitação técnica das equipes de operação e manutenção referente aos sistemas técnicos a serem instalados. De forma similar aos demais estudos realizados, o plano de implantação da atualização e o projeto detalhado são arquivados no ‘histórico de atualizações tecnológicas’.

A função que se segue é ‘acompanhar e controlar implementação’, com a realização de acompanhamento das atividades de montagem dos equipamentos, testes de comissionamento e ensaios de aceitação, como também as inspeções nas dependências dos fabricantes, contando-se nesse caso com as normas e requisitos de qualidade do fornecimento. Como resultado dessa função tem-se a confirmação do cumprimento das obrigações contratuais e as informações para a redefinição da manutenção.

A função ‘estabelecer metodologia manutenção’ conta com a documentação técnica referente aos sistemas técnicos atualizados e os dados de comissionamento e ensaios contratuais. Como saída dessa etapa tem-se: o cadastro, a codificação e os procedimentos de manutenção revisados; o plano de manutenção a ser adotado para os equipamentos atualizados e a listagem e especificação dos sobressalentes.

Na função ‘encerrar projeto’ é elaborado protocolo de encerramento depois de constatado que a implantação está concluída, com o cumprimento dos marcos contratuais estabelecidos, formalizando-se o encerramento do projeto. Juntamente com a documentação de encerramento, o conjunto de lições aprendidas durante todo o processo de atualização tecnológica é arquivado no ‘histórico de atualizações tecnológicas’.

Destaca-se que a finalidade de composição desse acervo histórico ao longo do processo de atualização tecnológica deve-se a estratégia de explicitação do conhecimento gerado, bem como de arquivar-se a documentação referente a todo o processo de atualização, para subsídios as iniciativas futuras e para o desenvolvimento de outros projetos nas demais instalações da empresa.

As funções definidas na FIGURA 5.5, bem como o resultado do processamento das informações em cada função definida são apresentadas no QUADRO 5.2.

FUNÇÃO	RESULTADOS
Analisar Instalação	Diagnóstico da instalação.
Conceber Atualização Tecnológica	Definição da abrangência do projeto de atualização e equipes para projeto e instalação.
Elaborar Projeto	Especificações técnicas e cronogramas físico e financeiro do projeto.
Programar Implementação	Programação de execução do projeto e capacitação técnica
Acompanhar e Controlar Implantação	Controle da execução das etapas de montagem, ensaios de comissionamento e testes de aceitação.
Encerrar Projeto	Encerramento do contrato de fornecimento, emissão de protocolos de cumprimento de marcos contratuais e registro das lições aprendidas.
Formalizar Política Manutenção	Cadastramento e codificação dos equipamentos e elaboração do plano de manutenção para os sistemas técnicos atualizados.

QUADRO 5.2 FUNÇÕES RELACIONADAS AO PROCESSO DE ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA

Existe uma correlação entre as fases do modelo de sistematização do processo de atualização tecnológica representado pela metodologia de gerenciamento de projeto e desenvolvimento de produtos e as funções estabelecidas no diagrama de fluxo de dados. Essa associação é apresentada no QUADRO 5.3.

DFD- Diagrama de Fluxo de Dados	Gerenciamento de Projeto/ Desenvolvimento de Produtos
Fatores técnicos/gerenciais	Planejamento Projeto
Analisar Instalação	Projeto Informacional
Conceber Atualização Tecnológica	Projeto Conceitual
Elaborar Projeto	Projeto Preliminar/Detailhado
Programar Implementação	Instalação Equipamentos
Acompanhar Controlar Implementação	Instalação Equipamentos e Ensaio de Aceitação
Estabelecer Metodologia Manutenção	Redefinição da Manutenção
Encerrar Projeto	Encerramento Projeto

QUADRO 5.3 CORRELAÇÃO ENTRE AS TÉCNICAS DE MODELAGEM

Encontra-se na literatura especializada constatações que os projetos novos ou aqueles atualizados e apresentam um maior número de falhas no período denominado de juventude, quando comparado com o período denominado de maturidade. No contexto do desenvolvimento de projetos de atualização tecnológica, particularmente em um cenário energético como no Brasil dependente do desempenho operacional das usinas hidrelétricas, após a implementação da atualização espera-se dispor de confiabilidade e manutenibilidade igual ou maior do que se contava antes do início do processo de atualização.

Em vista disso, defende-se nesta tese que o processo de atualização seja acompanhado de um processo de redefinição da política de manutenção como parte integrante da atualização tecnológica, pois os equipamentos a serem instalados, com novas tecnologias e materiais, apresentam outros mecanismos de falha, exigindo formas de intervenções e de procedimentos de manutenção diferentes do que é atualmente praticado. Na FIGURA 5.6 se encontra representado o diagrama DFD referente ao processo de redefinição da manutenção.

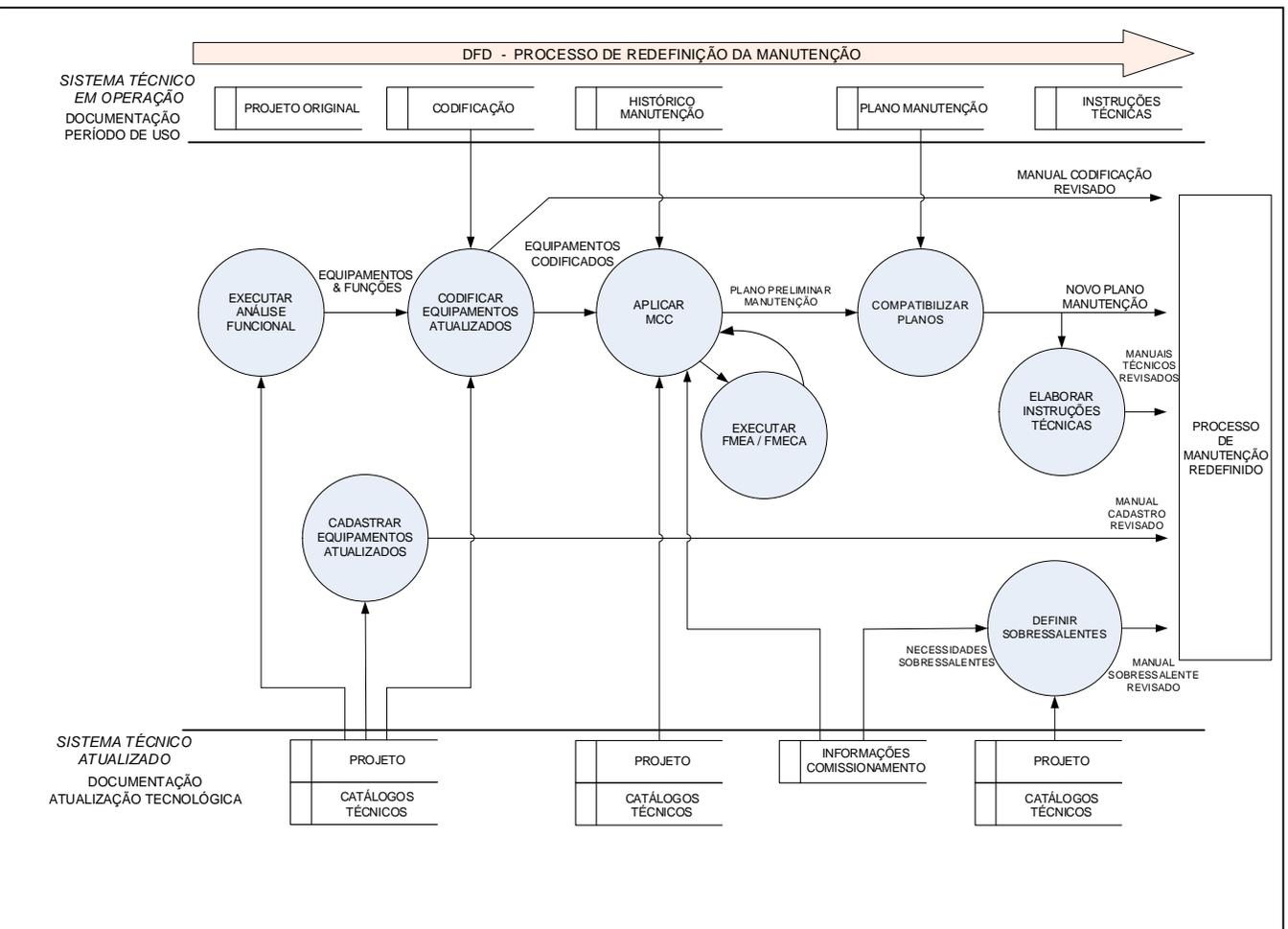


FIGURA 5.6 DFD DO PROCESSO DE REDEFINIÇÃO DA MANUTENÇÃO

Com base na FIGURA 5.6, o processo de redefinição da manutenção se inicia com a função ‘executar análise funcional’, tendo como referência o escopo do projeto de atualização tecnológica. Concomitantemente é executada a função ‘cadastrar equipamentos atualizados’ quando o manual de cadastro de equipamentos é revisado. No manual de cadastro de equipamentos encontram-se as especificações e principais dados técnicos dos equipamentos da instalação, como: modelo, número de unidades instaladas, número de série do fabricante, início de operação, catálogos e desenhos técnicos.

Identificados os equipamentos atualizados e suas respectivas funções processa-se a codificação dos equipamentos atualizados, obtendo-se o manual de codificação dos equipamentos da instalação revisado. Esse manual apresenta de forma individualizada a identificação e localização dos equipamentos utilizando-se um código alfa-numérico, permitindo particularizar, agrupar e correlacionar os equipamentos da instalação. A esse código associa-se a programação de manutenção preventiva e corretiva a ser executada, como também o histórico de manutenção dos equipamentos.

A próxima etapa refere-se à função ‘aplicar MCC’. A aplicação da metodologia MCC - Manutenção Centrada em Confiabilidade compreende a realização de etapas relativas à delimitação das fronteiras, interfaces e modularização de equipamentos e sistemas técnicos; análise funcional; análise dos modos de falha e a análise de criticidade dessas falhas (FMEA/FMECA); e, aplicação de diagramas de decisão.¹³ Para a execução dessa função conta-se também com informações técnicas obtidas no comissionamento dos equipamentos. O resultado dessa função é o plano preliminar de manutenção.

Na seqüência, é executada a função ‘compatibilizar planos’. Refere-se a uma comparação com o plano de manutenção vigente com obtido na aplicação da MCC, com a finalidade de compatibilizar as periodicidades de manutenção, otimizando-se o programa de desligamentos da usina. Desta forma, é gerado o novo plano de manutenção.

A execução da função ‘elaborar instruções técnicas’ apresenta como resultado os manuais de procedimentos de manutenção revisados. Esses manuais contemplam os roteiros de manutenção preventiva; as descrições de funcionamento dos equipamentos; os

¹³ Para maior aprofundamento a respeito da metodologia MCC, bem como dispor de um exemplo de aplicação ver Nunes (2001).

procedimentos para execução das manutenções preventiva e corretiva; e, os procedimentos de montagem e desmontagem para realização das manutenções.

Com a execução da função 'definir sobressalentes' revisa-se o manual de sobressalentes com especificação técnica, estimativa de quantificação de necessidades e procedimentos de manutenção dos sobressalentes. Essa função conta também com as informações originadas na etapa de comissionamento, buscando-se identificar os componentes mais sujeitos a falha. Observa-se ainda que as informações oriundas da execução comissionamento são as primeiras informações que iniciam da composição do histórico de manutenção, iniciando-se neste momento o domínio do conhecimento relativo aos sistemas técnicos atualizados.

Destaca-se que ao desenvolver o processo de redefinição da política de manutenção a documentação tanto do projeto original quanto do projeto dos sistemas técnicos atualizados é constantemente confrontada devido às interligações e interfaces existentes entre os atuais e os futuros equipamentos a serem mantidos.

O processo de atualização tecnológica caracteriza-se como um processo de engenharia simultânea, com forte integração do conhecimento documental (catálogos, desenhos, croquis, diagramas funcionais, planilhas de ensaios, projetos similares de empresas congêneres). Apesar disso, grande parte do conhecimento tácito não se encontra ainda explicitado, permanecendo na memória pessoal dos profissionais de manutenção e operação das usinas hidrelétricas. A FIGURA 5.7 sintetiza as áreas de conhecimento que multifuncionalmente se integram e cooperam no processo de atualização.

As áreas de conhecimento apresentadas na FIGURA 5.7 são detalhadas a seguir:

- Gerenciamento de projeto: tarefas que envolvem a gestão do projeto no decorrer de todo seu desenvolvimento controlando escopo, custos e prazos, conforme a metodologia *PMBOK*, utilizando-se cronogramas físico-financeiros com auxílio de *software* de análise e acompanhamento de projetos como *MS project*. A presença de diferentes áreas e domínios de conhecimento no projeto requer a gestão dos recursos humanos e técnicos de forma integrada, com comunicação e fluência nesses domínios;

- Gerenciamento de contratos/aquisições/suprimentos: compreende as atividades de gestão do fornecimento de todos os insumos necessários ao desenvolvimento do projeto, seja de recursos materiais como humanos. Por exemplo: o cumprimento de obrigações legais relacionadas ao processo licitatório e das aquisições, bem como quanto a legislação trabalhista; o controle dos investimentos realizados com interação com os organismos de financiamento; o estabelecimento de penalidades contratuais;
- Gerenciamento da qualidade: tarefas que envolvem a qualidade assegurada do fornecimento e instalação de equipamentos, via normas e os procedimentos aceitos e reconhecidos internacionalmente. O estabelecimento de mecanismos de controle de não-conformidade nos requisitos contratuais e o controle dessas ocorrências em todas as etapas do projeto, evidenciando-se que o não cumprimento dessas normas, como também a não eliminação dessas pendências incidirá em penalidades contratuais;
- Gerenciamento de riscos/segurança: tarefas que garantam que o projeto seja implementado sem riscos operacionais, para os profissionais envolvidos nas tarefas, para a empresa e a comunidade. Exigência contratual de apresentação de apólices de seguro de responsabilidade técnica, civil e criminal, como também seguros relacionados com garantia de desempenho dos equipamentos fornecidos. Ainda, o estabelecimento de procedimentos internos de segurança a serem cumpridos na implementação do projeto pelas empresas contratadas, para preservação da integridade das pessoas e instalações industriais.

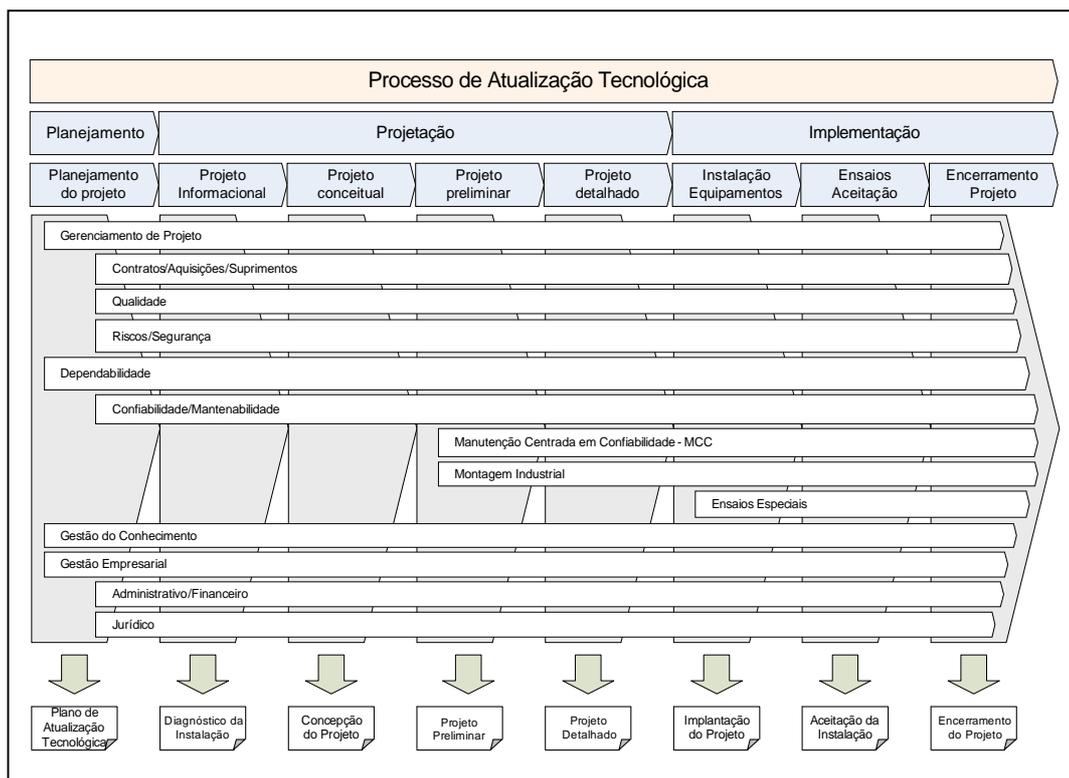


FIGURA 5.7 ÁREAS DE CONHECIMENTO DO PROCESSO DE ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA

- Dependabilidade: tarefas que envolvem os atributos de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade dos sistemas técnicos a serem atualizados tecnologicamente;
- Confiabilidade/mantenabilidade: tarefas de análise e estabelecimento de metas para a confiabilidade e manutenibilidade. A participação da área de manutenção é fundamental para a garantia de confiabilidade e manutenibilidade dos equipamentos. A análise da manutenção periódica e aperiódica, dos índices de desempenho operacional e desempenho, da disponibilidade de sobressalentes e das melhorias implantadas pela manutenção, resultando no diagnóstico da instalação na fase do projeto informacional, são exemplos de ações a serem desenvolvidas nessa direção. Ainda, a programação dos desligamentos e análise das interferências com os equipamentos em operação na fase do projeto preliminar, as ações de comissionamento e a início da estruturação do histórico de manutenção com as informações colhidas nesses ensaios e

nos ensaios especiais, na fase de implementação. Culminando com o estabelecimento como parte integrante do processo de atualização tecnológica de um processo específico para a redefinição da política de manutenção, com a revisão dos manuais de procedimentos e do plano de manutenção, bem como a revisão do manual de sobressalentes;

- Manutenção Centrada em Confiabilidade: tarefas de aplicação dessa metodologia na redefinição da política de manutenção para os equipamentos atualizados, integrando o novo plano de manutenção com o plano vigente para os equipamentos do projeto original, levando-se em conta o acompanhamento da instalação dos equipamentos atualizados e os resultados dos ensaios de comissionamento e ensaios especiais;
- Montagem Industrial: tarefas que englobam a instalação dos equipamentos atualizados na usina. Procedimentos de fiscalização e montagem; controles dimensionais e de ajustes; estabelecimento de padrões de proteção acabamento para estruturas metálicas; estabelecimento de cuidados especiais para instalação, manuseio e parametrização de *hardware* e *software*;
- Ensaio Especiais: tarefas que envolvem os testes de comissionamento e ensaios de aceitação dos equipamentos instalados. Definição de requisitos técnicos a serem atendidos pelos equipamentos atualizados, elaboração de planilhas e procedimentos para realização dos ensaios, análise das informações obtidas nos ensaios realizados, estabelecimento de controle da execução dos ensaios;
- Gestão do Conhecimento: tarefas relacionadas à identificação, resgate, preservação e disseminação do conhecimento gerado no processo. Durante todo o processo de atualização, os registros dos estudos realizados e aplicação de ferramentas são arquivadas, conforme indicado nos diagramas DFD's e no detalhamento das atividades apresentado no QUADRO 5.1 e nos APÊNDICES A e B. Outra importante ação de gestão do conhecimento ocorre com a participação de profissionais de manutenção, operação e projeto conforme recomendado na aplicação da

metodologia MCC, quando informações técnicas são socializadas e conhecimentos são explicitados e resgatados;

- Gestão empresarial: tarefas que compreendem a participação das áreas direção superior, administrativa, financeira e jurídica em apoio ao processo de atualização;
- Administrativo/Financeiro: tarefas de apoio administrativo e financeiro relacionadas com o desenvolvimento do gerenciamento do projeto;
- Jurídico: tarefas que envolvem as questões jurídicas referentes ao fornecimento de bens e serviços, como também contratação de pessoas. Algumas dessas questões compreendem: aspectos legais relacionados ao processo de licitatório, de gerenciamento do contrato contratação, de administração das apólices de seguro, da pertinência de pleitos apresentados pelos fornecedores/fabricantes, de liquidação e encerramento de contratos.

O modelo de sistematização para o gerenciamento do projeto de atualização tecnológica, estabelece duas possibilidades: a utilização de uma estrutura matricial constituída para um projeto específico ou o estabelecimento de grupos de trabalho com participação de diferentes áreas, incluindo-se as áreas financeira e jurídica. Para qualquer dos casos a área de engenharia de projeto é responsável pela condução do processo de atualização, sendo que a área de manutenção é considerada como parte integrante e indispensável no desenvolvimento de todo o processo.

Após o encerramento do processo de atualização tecnológica, conforme indicado na FIGURA 5.1, inicia-se outro ciclo de uso dos equipamentos, sendo que ações de extensão de vida útil devem ser implementadas no sentido garantir-se resultados de disponibilidade operacional e longevidade dos sistemas técnicos. Configura-se, portanto, a necessidade de concepção de um modelo de gestão dos ativos físicos focada na extensão da vida útil dos equipamentos.

5.4 MODELO MICC - MANUTENÇÃO INTEGRADA EM CONFIABILIDADE E CONHECIMENTO

A confiabilidade está focada nos mecanismos de ocorrência das falhas. Os modelos de análise de confiabilidade consideram as redundâncias como estratégias técnicas para o aumento da confiabilidade dos equipamentos. Principalmente nos sistemas técnicos com tecnologia digital, o controle das falhas se dá com a utilização de sensores que monitoram o desempenho operacional dos equipamentos e componentes, como instrumentação e alarmes de anormalidades, sendo muito freqüente a ocorrência de falhas nesses equipamentos acessórios. Os profissionais de manutenção se deparam com esse panorama onde diferentes tecnologias coexistem sendo de natureza mecânica, elétrica, eletrônica, com utilização de sistemas informatizados.

Por sua vez, a gestão do conhecimento é fundamental para a criação de valor e diferencial competitivo nas empresas e para a conquista de resultados sustentáveis. A gestão do conhecimento dentre outros benefícios permite: resgatar e explicitar o conhecimento estabelecendo referenciais de procedimentos técnicos; socializar o conhecimento, aperfeiçoando práticas internas; preservar o conhecimento, transformando-o em patrimônio da organização. A base do conhecimento são as pessoas e em um segmento como a manutenção que se apóia em mão-de-obra intensiva gerir o conhecimento representa melhores resultados operacionais, já que o desempenho dos sistemas técnicos está relacionado com o domínio do conhecimento pelos profissionais.

Nesse sentido, a estruturação de um modelo de extensão de vida útil, como o MICC, que contemple a confiabilidade e o conhecimento configura-se uma iniciativa de relevância para o estágio atual das usinas hidrelétricas brasileiras. Dentre outras questões podem ser citadas: processos de atualização tecnológica em curso ou em vias de se iniciar; problemas com as modernizações e reprojatos realizados; perda de memória técnica devido ao desligamento de profissionais experientes em manutenção e dos fabricantes; dificuldades de identificação de causa de falhas devido à aplicação de tecnologia digital principalmente nos sistemas de proteção, regulação e controle.

A complexidade dos sistemas técnicos nas usinas hidrelétricas, o desenvolvimento de processos de atualização tecnológica e as exigências crescentes de melhores resultados operacionais requer ações de melhoria contínua dos atributos de confiabilidade,

mantenabilidade e disponibilidade. Com uma perspectiva diferenciada, propõe-se o modelo de gestão de ativos físicos focada na confiabilidade e conhecimento, MICC - Manutenção Integrada em Confiabilidade e Conhecimento.

Para a concepção do modelo MICC são estabelecidas quatro dimensões, que se relacionam de forma integrada e abrangem o conjunto de áreas presentes na gestão dos ativos físicos de uma instalação. Essas dimensões são: a dimensão desempenho; a dimensão de recursos; a dimensão humana; e, a dimensão metodológica, que se encontram representadas na FIGURA 5.8, juntamente com os pilares desse modelo, que são: confiabilidade e conhecimento.

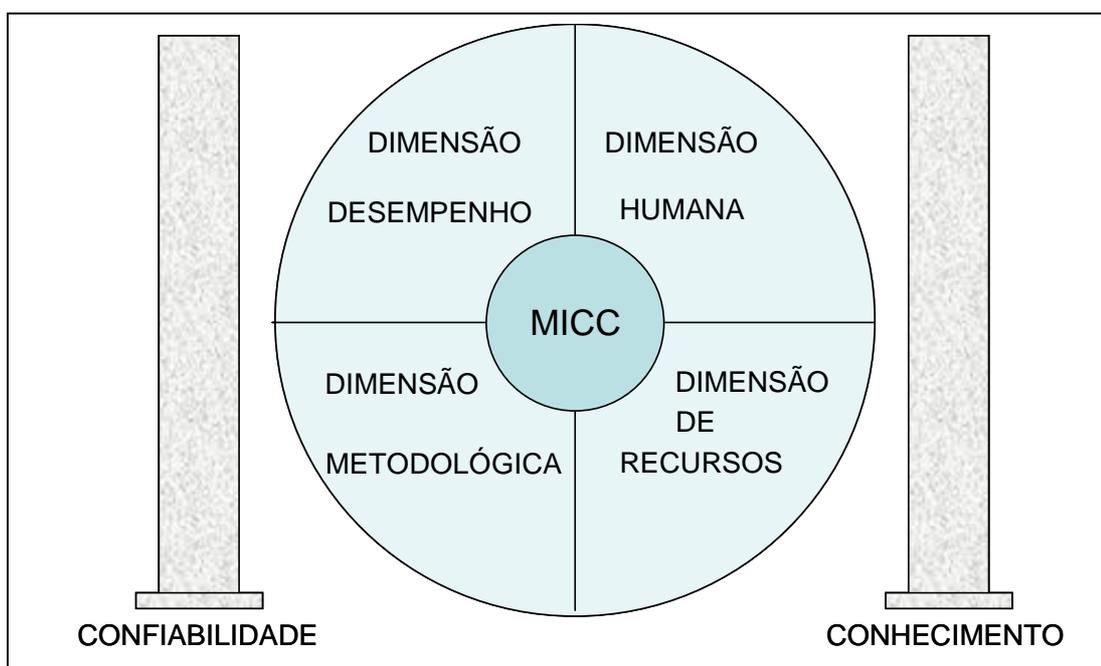


FIGURA 5.8 DIMENSÕES E PILARES DO MODELO – MICC

O detalhamento das dimensões do modelo MICC é apresentado na FIGURA 5.9, onde as setas representam de forma esquemática a integração e inter-relação existente entre essas áreas, entre dimensões e em relação aos pilares do modelo.

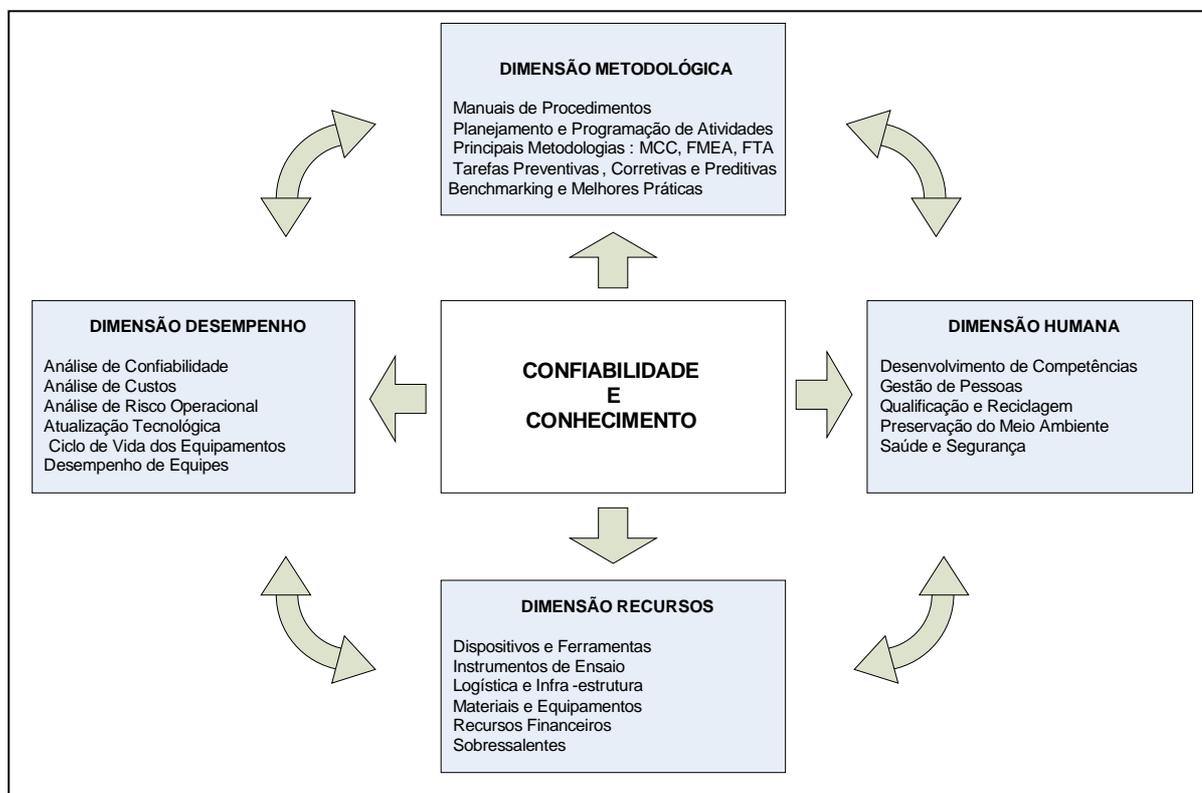


FIGURA 5.9 DETALHAMENTO DAS DIMENSÕES - MICC

Conforme a FIGURA 5.9, a dimensão desempenho está relacionada ao desempenho operacional dos sistemas técnicos apoiada na análise de confiabilidade, de riscos e de custos, contemplando ainda o desempenho das equipes e o processo de atualização tecnológica relacionados à extensão da vida útil. A dimensão recursos, por sua vez, se relaciona aos recursos materiais e financeiros, bem como com a logística para a execução da manutenção. A dimensão humana, assim definida, compreende as ações voltadas para a gestão dos recursos humanos de manutenção, o meio ambiente e a saúde dos mantenedores. Já a dimensão metodológica está associada ao processo de gerenciamento das atividades de manutenção, incluindo metodologias e métodos de execução e análise de manutenção, formas de manutenção, estudos de *benchmarking* e de melhores práticas.

5.4.1 Diagrama de Fluxo de Dados do MICC

O diagrama DFD para modelo MICC é apresentado na FIGURA 5.10. Nesta figura observa-se que a função que se relaciona com todas as demais é a função ‘estabelecer metodologia/normatização’. Esta função é executada com subsídios do ambiente externo, de onde se obtém as metodologias e procedimentos aplicados em outras instalações como uma contribuição para análise da política de manutenção a ser adotada. Busca-se assim estabelecer uma política de manutenção, caracterizada pela metodologia a ser adotada e pela normatização de terminologia e procedimentos a serem seguidas em todo o processo.

As diretrizes metodológicas originadas da função ‘estabelecer metodologia normatização’ alimentam as demais funções do modelo MICC. A documentação relativa a estas diretrizes, como manuais de procedimentos e descrição da política de manutenção é depositada em arquivos, mantendo-se permanentemente revisadas.

O processo de extensão de vida útil se inicia com a função ‘planejar produção’. Essa função é realizada considerando-se as necessidades de atendimento do sistema interligado, a disponibilidade energética da usina e as necessidades de execução de atividades de manutenção. Como resultado tem-se o planejamento anual de suprimentos de energia elétrica e o plano anual de manutenção.

Na função ‘programar manutenção’ é estabelecido o programa de desligamentos e o programa semanal de atividades de operação e manutenção. Esses programas são desenvolvidos tendo como referência o plano anual de manutenção e o plano anual de suprimentos de energia obtidos na função anterior. Para a execução dessa função de programação são consideradas: as condições do sistema interligado; a disponibilidade de recursos humanos; os serviços aperiódicos a programar e as eventuais necessidades de reprogramação pendentes de realização. Essa função conta com o conteúdo dos manuais técnicos dos sobressalentes com informações técnicas e disponibilidade de sobressalentes; manuais de codificação e cadastro dos equipamentos para identificação dos equipamentos a serem programadas ações de manutenção; e, os manuais de inspeção periódica com a identificação das atividades e periodicidades a serem programadas.

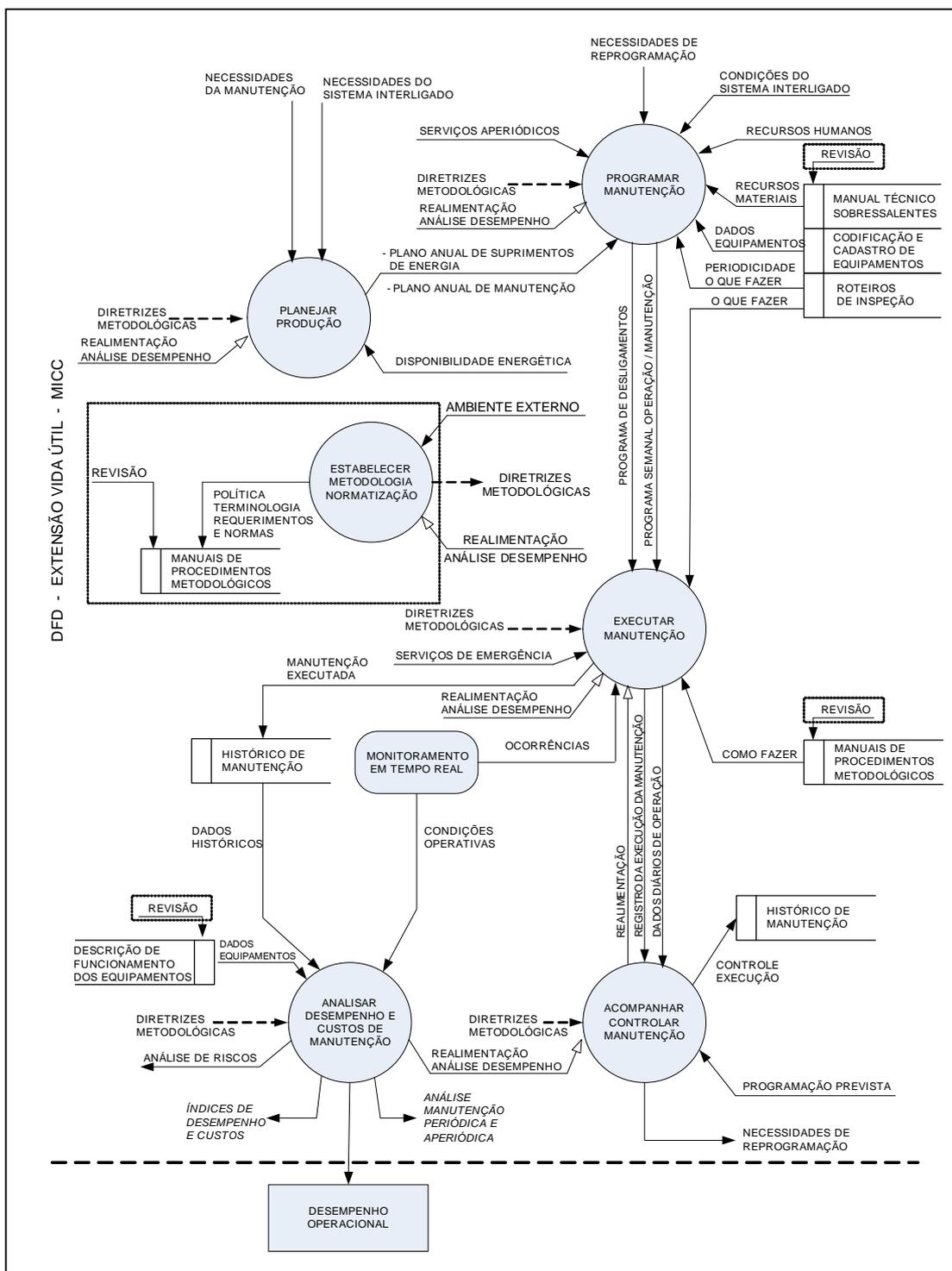


FIGURA 5.10 - DFD DO PROCESSO DE EXTENSÃO DE VIDA ÚTIL – MICC

Observação: Na figura está indicado com um retângulo pontilhado a função e os documentos a serem revisados no processo de redefinição da manutenção caso seja desenvolvido um processo de atualização tecnológica.

Conforme a FIGURA 5.10, na função ‘executar manutenção’ são executadas as atividades de manutenção do programa de manutenção, bem como os serviços de emergência necessários, que evidentemente não são programados. Para a execução da manutenção utiliza-se novamente os manuais de inspeção periódica onde se encontram as atividades a serem executadas, os manuais de instruções técnicas orientativas de como realizar as atividades e as informações do acompanhamento em tempo real do monitoramento de parâmetros dos equipamentos. Como resultado dessa função têm-se o registro em formulários específicos: dos trabalhos executados, dos materiais aplicados, da mão-de-obra utilizada. Estas informações são arquivadas no banco de dados do histórico de manutenção.

A função ‘acompanhar controlar manutenção’ é executada confrontando-se a programação prevista com a manutenção realizada, estabelecendo-se as necessidades de reprogramação e o registro no histórico de manutenção da programação efetivamente executada. Nesta função, também, é verificada a qualidade das informações registradas nos formulários de serviços executados e no histórico de manutenção, sendo encaminhada uma realimentação para a função ‘executar manutenção’.

‘Analisar desempenho e custos de manutenção’ é a função que finaliza o processo do modelo de extensão de vida útil MICC, quando são avaliados os custos de manutenção e as métricas de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade, sendo também analisadas as falhas. Esta análise compreende as atividades de manutenção periódica e de manutenção aperiódica, a disponibilidade de sobressalentes e os riscos operacionais. Para a realização da análise de desempenho conta-se também com manuais técnicos de descrição de funcionamento dos equipamentos. Os resultados da análise de desempenho realimentam todas as demais funções do processo de extensão de vida útil e compõe o que denomina desempenho operacional, que é um dos fatores de avaliação para a decisão de iniciar-se o processo de atualização tecnológica.

Tendo-se como referência o histórico de manutenção e o monitoramento em tempo real da operação dos equipamentos, as análises realizadas na função ‘analisar desempenho e custos de manutenção’ podem ser detalhadas como segue:

- Análise dos custos de manutenção: com as dados das manutenções periódicas e aperiódicas realizadas são apropriados os custos de material e mão de obra despendidos pela manutenção. Algumas informações a serem obtidas: o custo por atividade realizada, por equipamento e a identificação das principais causas dos custos das atividades de manutenção;
- Indicadores de desempenho dos equipamentos: o histórico de ocorrências fornece os dados para que sejam calculados e analisados indicadores como disponibilidade, manutenibilidade, confiabilidade, tempo médio entre falhas, tempo médio entre manutenções, taxa de falha e taxa de reparo;
- Análise da manutenção periódica: com base no histórico das manutenções periódicas executadas é realizada uma análise do cumprimento do plano de manutenções e dos registros das medições e verificações resultantes da aplicação dos roteiros de inspeção, como também de medições fornecidas pelos sistemas de monitoramento. A análise desses registros se baseia em valores de referência estabelecidos por equipamento;
- Análise da manutenção aperiódica: tendo como referência o histórico de manutenções aperiódicas referentes a falhas constatadas nos equipamentos são elaborados estudos de tendência, estratificação de equipamentos relacionados aos principais problemas técnicos detectados, soluções a serem adotadas para minimização ou eliminação de problemas técnicos;
- Disponibilidade de sobressalentes: a avaliação quanto à aplicação e necessidade dos sobressalentes é realizada via análise das atividades de manutenção periódica e aperiódica. Na medida em que os sistemas técnicos vão se deteriorando, aumenta necessidade de sobressalentes e com a evolução tecnológica promovida pode ocorrer descontinuidade no fornecimento;
- Análise de riscos: os riscos operacionais e o compromisso com a preservação do meio ambiente exigem uma análise da operação dos sistemas técnicos. Uma das estratégias de minimização ou bloqueio desses riscos é a mudança de tecnologia.

No QUADRO 5.4 são apresentadas as funções e os resultados obtidos em cada função para o processo de extensão de vida útil.

FUNÇÃO	RESULTADOS
Estabelecer Metodologia Normatização	Diretrizes metodológicas (política, normas, regulamentos gerais e critérios de operacionalização).
Planejar Produção	Plano de anual de suprimento de energia e de manutenção.
Programar Manutenção	Programa de desligamentos e a programação semanal de operação e manutenção.
Executar Manutenção	Tarefas de manutenção e operação executadas.
Acompanhar Controlar Manutenção	Necessidades de reprogramação e registro no histórico de manutenção dos serviços executados.
Analisar Desempenho e Custos de Manutenção	Análise de desempenho dos equipamentos e de custos de manutenção.

QUADRO 5.4 FUNÇÕES RELACIONADAS AO PROCESSO DE EXTENSÃO DE VIDA ÚTIL - MICC

Observa-se que para o desenvolvimento das atividades de programação, execução, controle e análise é necessário contar-se com sistemas de informação e aplicativos dedicados, considerando-se o volume de dados a serem processados. Destaca-se que a base principal para a realização dos estudos de manutenção é a existência de um histórico de manutenção dos equipamentos que contenha informações consistentes. Esse histórico constitui-se na explicitação do conhecimento relacionado ao comportamento dos sistemas técnicos.

5.4.2 Confiabilidade e Conhecimento no MICC

A evolução tecnológica dos sistemas técnicos pode representar um desafio para os profissionais de manutenção. Seja por um lado, pela necessidade de se absorver o conhecimento associado aos equipamentos atualizados tecnologicamente para o completo

entendimento de suas funções, condições de operação, necessidades e estratégias de intervenção, modos de falha, dentre outros. Por outro lado, algum conhecimento pertinente aos sistemas técnicos que compõem o projeto original é descartado, não sendo mais necessário. O domínio da tecnologia está, portanto, apoiado ao domínio do conhecimento a ser explicitado pela equipe de manutenção.

Este processo de evolução da tecnologia fomenta o desenvolvimento do conhecimento. Os profissionais de manutenção considerando o estado da arte de sistemas técnicos, ao adotarem métodos visando garantir o desempenho operacional desses sistemas necessitam dominar um outro conjunto de habilidades e técnicas, representando desta forma um conhecimento a ser estabelecido, diferente daquele anteriormente já dominado.

Durante a realização das atividades de manutenção um determinado conhecimento é gerado, pelas diferentes formas de conversão do conhecimento. Sob a ótica da explicitação deste conhecimento é estabelecido um conjunto de informações técnicas que constituem um acervo técnico, basicamente constituído de: procedimentos técnicos aplicados na execução e na análise de manutenção; políticas e estratégias de gestão aplicadas; documentação técnica de suporte (catálogos técnicos, desenhos e diagramas operacionais); e, histórico de manutenção construído ao longo do processo de extensão da vida útil dos sistemas técnicos.

Este acervo técnico subsidia o desenvolvimento da gestão dos ativos físicos em atividades de elaboração e de melhoria contínua do plano de manutenção; no estabelecimento e acompanhamento de indicadores do desempenho da manutenção; na análise da criticidade dos procedimentos e operação dos equipamentos; bem como na análise de riscos operacionais associados. Além disso, a capacitação dos profissionais de manutenção é renovada, seja via treinamento formal, seja a partir do conhecimento tácito gerado na realização das tarefas de manutenção.

Na FIGURA 5.11 é representado o conjunto das principais informações que caracterizam a consolidação do conhecimento ao longo do desenvolvimento das atividades de manutenção, representando uma síntese do conhecimento resgatado e explicitado.

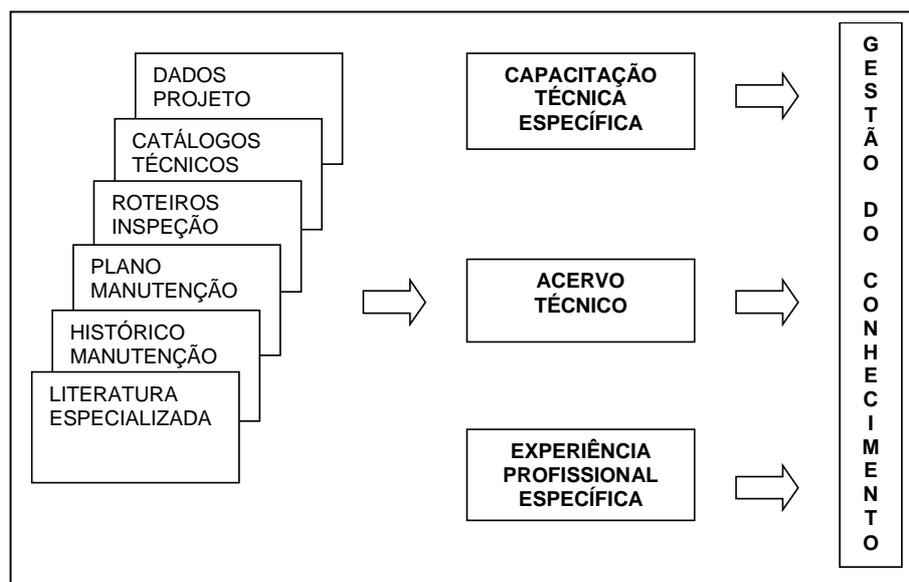


FIGURA 5.11 CONHECIMENTO CONSOLIDADO

O acervo técnico é estabelecido baseado em: dados técnicos como desenhos, diagramas funcionais e catálogos técnicos; em roteiros de inspeção de manutenção; no plano de manutenção; no histórico de manutenção e na literatura especializada. A explicitação desse conhecimento, aliado à capacitação e experiência técnica específica dos profissionais, representa um conjunto de experiências acumuladas e de documentação gerada, que definem um conhecimento consolidado, constituindo-se em um diferencial de competência alocado na área de manutenção, com reflexos positivos para o alcance dos resultados operacionais.

Apresenta-se na FIGURA 5.12 um sistema técnico em processo de atualização tecnológica. Frente a essa situação, o domínio do conhecimento ainda necessita ser estabelecido e as informações disponíveis se devem basicamente aos dados do projeto a ser implementado. A experiência relacionada aos sistemas antigos não deve ser completamente descartada, embora o conhecimento relativo às características específicas de funcionamento e desempenho dos sistemas em atualização ainda necessitem ser absorvidas.

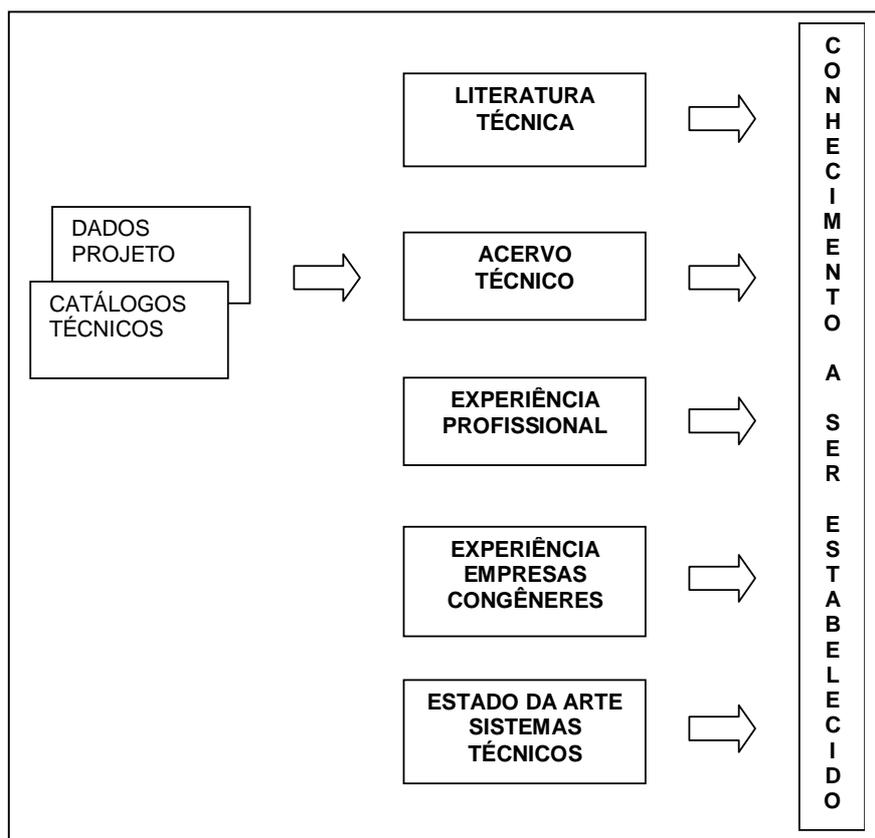


FIGURA 5.12 CONHECIMENTO A SER RESGATADO

Desta forma, a participação da área de manutenção em todo o processo de atualização tecnológica tem a finalidade de acelerar a absorção do conhecimento a partir da explicitação do conhecimento, prevista em todas as etapas de desenvolvimento projeto. Aliado a isso, considera-se a perspectiva de resgate do conhecimento nas ações de planejamento, execução e controle das atividades desde o início da concepção do projeto até o encerramento do contrato de fornecimento. As atividades assim previstas estão direcionadas para o resgate, a socialização e a explicitação do conhecimento, seja com registros textuais ou em meio eletrônico, fotografias, depoimentos técnicos ou filmagem.

Como exemplos de atividades relacionadas à gestão do conhecimento têm-se: os procedimentos de montagem e instalação dos equipamentos como subsídios para a realização das atividades de manutenção no futuro; informações técnicas obtidas em catálogos técnicos, com fabricantes e fornecedores; as eventuais ocorrências de problemas nos equipamentos que possam repercutir na manutenção.

A escolha da metodologia MCC como política de manutenção no modelo MICC reforça o pilar conhecimento considerando-se a socialização do conhecimento obtida no estabelecimento do plano de manutenção e a constituição do histórico de manutenção no processo de extensão de vida útil. Além disso, preserva-se com a aplicação da MCC a garantia da confiabilidade da função no estabelecimento do plano de manutenção utilizando a MCC.

Um outro aspecto se refere ao tratamento das falhas ocultas, uma característica da metodologia MCC. Esse tipo de falha está diretamente relacionada à tecnologia de equipamentos eletrônicos, tendência de aplicação cada vez mais intensa nos sistemas técnicos de usinas hidrelétricas. A política de gestão dos sobressalentes se integra a este cenário de equipamentos que apresentam falhas aleatórias, aumentando a dependência de peças de reposição.

5.5 AVALIAÇÃO DO MODELO DE SISTEMATIZAÇÃO PROPOSTO

Para a verificação se o modelo de sistematização do processo de atualização tecnológica, proposto nesta pesquisa, atendeu ao objetivo para o qual foi concebido, promoveu-se uma avaliação com participação de profissionais experientes que atuam em empresas de geração hidrelétrica. O modelo foi avaliado por alguns sujeitos da pesquisa (que participaram da entrevista), como também por outros profissionais experientes, que também atuam na área de projeto e manutenção de usinas hidrelétricas.

Para a inclusão desses profissionais foram utilizados os mesmos critérios de escolha utilizado para a seleção dos entrevistados, ou seja, profissionais com atuação na área de Engenharia de Manutenção e Projeto, com formação acadêmica em engenharia, experiência mínima de dez anos e atuando em nível gerencial de segundo ou terceiro escalão, tendo participado direta ou indiretamente de processos de atualização tecnológica.

Os questionários de avaliação foram encaminhados, por meio eletrônico para 20 profissionais das seguintes empresas: COPEL GERAÇÃO, CHESF, FURNAS, ELETRONORTE, ITAIPU, CEMIG - GT, TRACTEBEL, LIGHT e GEVISA - GE Sistemas Industriais S.A.

O material encaminhado para avaliação foi o modelo de sistematização do processo de atualização tecnológica detalhado, conforme apresentado na FIGURA 5.3. Com alguns profissionais foi possível manter contato pessoal para apresentação do modelo proposto.

Foram estabelecidos como critérios de avaliação a abrangência, o detalhamento, a consistência, a clareza, a completeza e a atualidade, utilizando-se como referência os critérios propostos por Vernadat (1996).

No QUADRO 5.5 são apresentadas as perguntas encaminhadas aos avaliadores, associadas aos respectivos critérios.

CRITÉRIO	PERGUNTAS
Abrangência	1.O modelo proposto abrange o todo processo de atualização tecnológica ?
	2. É possível aplicar o modelo proposto nas instalações da empresa onde atuo ?
Detalhamento	3. O nível de detalhamento do modelo proposto está adequado às necessidades do processo de atualização tecnológica ?
Consistência	4. O modelo proposto é adequado para o desenvolvimento da atualização tecnológica ?
	5. O modelo proposto apresenta correlação com os resultados esperados no processo de atualização tecnológica ?
Clareza	6. O modelo proposto apresenta facilidade de entendimento para sua aplicação ?
	7. O modelo proposto permite orientar o processo de atualização tecnológica ?
Completeza	8. O modelo proposto está completo, não faltando nenhum aspecto a ser considerado ?
Atualidade	9. O modelo proposto é atual ?

QUADRO 5.5 PERGUNTAS E CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

Observação: A pontuação estabelecida para as respostas foi a seguinte:

- (0) Não se aplica
- (1) Discordo totalmente
- (2) Discordo em muitos aspectos
- (3) Concordo parcialmente
- (4) Concordo em muitos aspectos
- (5) Concordo totalmente

Após o recebimento das 10 avaliações respondidas os valores de pontuação das perguntas foram tabulados e são apresentados na TABELA 5.1.

TABELA 5.1 - RESULTADOS DA AVALIAÇÃO

AVALIADOR	PERGUNTAS									MÉDIA AVALIADOR
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
A	5	5	5	5	4	5	5	4	5	4,78
B	5	5	4	5	4	5	5	5	4	4,67
C	4	4	4	5	5	4	4	4	4	4,22
D	4	3	5	5	5	5	5	3	4	4,33
E	4	4	3	4	4	3	4	5	4	3,67
F	5	5	5	5	5	4	4	4	5	4,67
G	5	5	5	4	4	5	5	4	5	4,67
H	5	5	4	5	4	5	5	4	4	4,56
I	4	5	5	4	4	4	5	4	4	4,33
J	4	4	3	3	3	3	3	4	4	3,33
MÉDIA CRITÉRIO	4,50		4,30	4,25		4,40		4,00	4,30	

Os resultados tabulados demonstram aceitação do modelo de sistematização proposto. Para uma visualização geral esses resultados são apresentados em um diagrama tipo radar, na FIGURA 5.13.

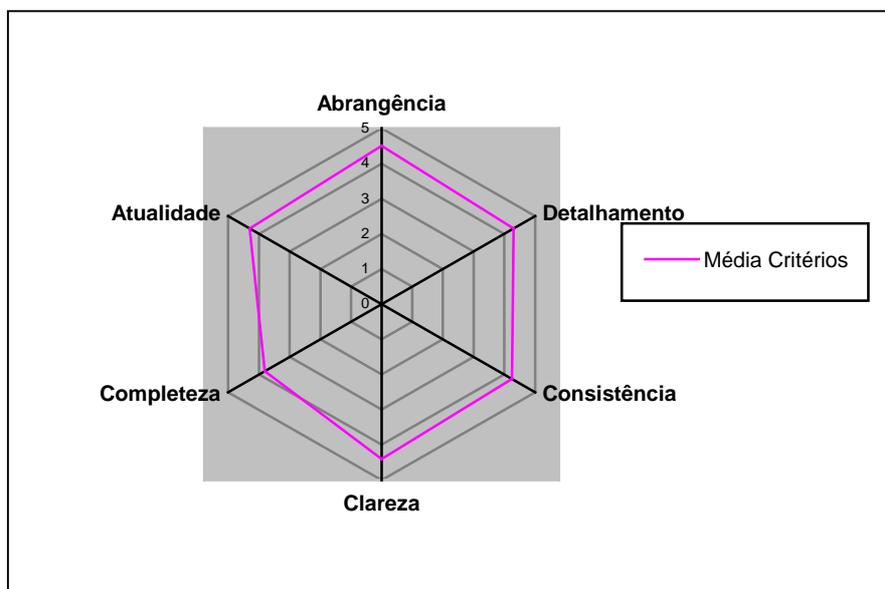


FIGURA 5.13 GRÁFICO GERAL DA AVALIAÇÃO

A maioria dos comentários apresentados foi de apoio à iniciativa, sendo destacadas algumas contribuições, tais como: sugestão de inclusão de uma atividade de contabilização dos novos ativos na fase de encerramento do projeto; desenvolvimento de modelos de tomada decisão quanto a realizar ou não a modernização; avaliação do custo benefício após a implantação da modernização.

De fato, o processo de avaliação fica prejudicado em função do tempo necessário para a aplicação e análise do modelo proposto. A maturação e implantação de todo o processo de atualização tecnológica demanda anos de trabalho, sendo assim a adoção de outros recursos e ferramentas de avaliação contribuirão para maior consistência de modelos com esta característica. Sendo assim, sugere-se que na continuidade dessa pesquisa e em pesquisas similares que tais aspectos sejam considerados.

5.6 COMENTÁRIOS FINAIS

Os processos de atualização tecnológica desenvolvidos sem contar com uma sistemática estruturada tem apresentado, dentre outros, alguns desafios a serem superados como a ocorrência de falhas de juventude, atrasos na implementação do projeto, a perda de memória técnica relativa ao projeto original. O modelo de sistematização do processo de atualização tecnológica e o modelo de extensão de vida útil MICC enfocam esses e outros aspectos, com a finalidade de garantir-se a disponibilidade operacional das usinas hidrelétricas.

O modelo de sistematização do processo de atualização tecnológica considera a inter-relação entre o processo de atualização e o processo de extensão de vida útil dos sistemas técnicos. A gestão eficaz desses dois processos complementares garante os resultados de disponibilidade operacional na fase de uso dos equipamentos. Neste contexto, a participação da área de manutenção no processo de atualização tecnológica é muito importante.

No modelo MICC, por sua vez, o conhecimento é considerado como parte integrante de todas as etapas do processo de extensão da vida útil dos sistemas técnicos, como estratégia deliberada para a obtenção de resultados operacionais. Reforça-se, desta forma, a importância de se estruturar e consolidar as ações de gestão do conhecimento no processo de atualização tecnológica.

Considerando-se o volume e o fluxo de informações transacionadas nos modelos de atualização tecnológica e extensão de vida útil e que estes processos caracterizam-se como típicos sistemas de informação, a utilização da ferramenta DFD possibilita o desenvolvimento de aplicativos informatizados para o gerenciamento desses processos.

Diante do princípio de integração entre a confiabilidade e o conhecimento para a gestão de ativos físicos merecem destaque as seguintes ações: avanços introduzidos nos últimos anos em equipamentos similares; ganhos esperados para a operação da instalação com a utilização de sistemas técnicos mais avançados tecnologicamente; metodologias de manutenção aderentes à evolução tecnológica; domínio da aplicação de equipamentos especiais para ensaios e procedimentos de manutenção; estabelecimento e adequação do perfil do profissional de manutenção; estruturação e análise do histórico de manutenção

periódica e aperiódica dos equipamentos; avaliação dos atributos de confiabilidade e manutenibilidade dos sistemas técnicos; garantia da disponibilidade de informações técnicas (catálogos, desenhos, instruções) das instalações atuais e dos novos equipamentos a serem instalados; identificação de trabalhos técnico-científicos e acadêmicos a respeito do tema; análise e definição de ações preventivas frente aos riscos de acesso, via sistemas informatizados; mitigação da dependência do fabricante; identificação dos impactos na interface homem-máquina, a partir da utilização de novas tecnologias.

CAPÍTULO 6: CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 CONCLUSÕES DA PESQUISA

A sociedade está cada vez mais dependente da energia elétrica. Os usos são variados e envolvem também todos os ramos de atuação da indústria e do comércio. Estudos e pesquisas sobre a geração hidrelétrica, responsável por cerca de 80% da matriz energética brasileira, assumem relevância incontestável. A minimização dos riscos e o não atendimento dos contratos de fornecimento de energia elétrica repercutem no faturamento das empresas, se constituem em componente significativo para a avaliação da decisão sobre atualizar tecnologicamente uma instalação, bem como estabelecer sua abrangência. Neste sentido, a sistematização do processo de atualização tecnológica e sua inter-relação com a gestão dos ativos físicos revestem-se de importância.

No Brasil, algumas empresas de geração hidrelétrica já empreenderam processos de atualização tecnológica, tanto de reprojeto quanto de modernização. Na presença de equipamentos mais antigos podem surgir, por exemplo, situações de perda de confiabilidade na operação dos sistemas técnicos, elevação do número de intervenções e dos custos de manutenção, necessidade de implementar melhorias nos equipamentos, não atendimento de requisitos técnicos ou normativos. Além disso, a descontinuidade de fabricação de componentes de geração mais antiga pode dificultar ainda a aquisição de sobressalentes, dentre outros aspectos.

A atualização tecnológica dos equipamentos está relacionada ao aumento da ocorrência das falhas, à dificuldade de aquisição de sobressalentes, pela descontinuidade de produção de componentes, traduzindo-se em deterioração do desempenho operacional, bem como com o desenvolvimento tecnológico dos sistemas técnicos. Reitera-se, entretanto que, embora existam situações onde a atualização tecnológica se impõe pela necessidade de melhorar a qualidade do processo industrial, na grande maioria dos casos, a atualização ocorre devido a questões de cunho estratégico.

A análise do comportamento da vida útil dos equipamentos sinaliza para um maior número de falhas no período identificado como de 'juventude' do equipamento, com queda nos índices de disponibilidade global da instalação. Essa possibilidade demanda visão estratégica, fundamentada em uma postura pró-ativa e preventiva, com a participação da

área de manutenção desde a etapa de concepção do projeto de atualização tecnológica, como base na constatação da importância e da necessidade em se dominar o conhecimento associado aos equipamentos durante todo o processo de implantação de um projeto dessa natureza.

Pode-se constatar que as empresas carecem de um modelo estruturado para o desenvolvimento do processo de atualização tecnológica, o que indica a potencialidade de aplicação do modelo proposto pelas empresas do setor elétrico brasileiro.

Outro aspecto que requer consideração diz respeito ao fato de que as instalações tendem a ser projetadas para um período relativamente longo de utilização. Como a evolução tecnológica ocorre em espaço de tempo cada vez mais curto, o conhecimento acumulado no decorrer do tempo necessita ser permanentemente atualizado e transposto para um novo estágio tecnológico, sem prejuízo para o desempenho operacional.

Constatou-se nessa pesquisa que ocorreu perda de memória técnica tanto nas empresas quanto nos fabricantes/fornecedores o que corrobora a necessidade do desenvolvimento de estratégias organizacionais voltadas para o resgate e preservação do conhecimento. Aliado a isso, os procedimentos e práticas voltadas para a garantia do desempenho operacional das instalações, devem considerar a atualização tecnológica como prática regular e cíclica ao longo de todo o período de exploração do empreendimento.

O envelhecimento dos equipamentos tende a elevar os dispêndios com a manutenção, comprometendo a gestão de ativos físicos. Considerando-se que com o desenvolvimento do processo de atualização tecnológica tem-se a expectativa de aplicação de um processo de manutenção menos intensivo, os custos de manutenção tendem a diminuir, com conseqüentes ganhos em desempenho operacional.

Em atendimento ao objetivo geral desta pesquisa e aos seus objetivos específicos, os principais resultados permitem inferir que o processo de atualização tecnológica nas empresas de geração hidrelétrica se encontra em pleno desenvolvimento. Embora existam iniciativas crescentes de atualização tecnológica nas empresas pesquisadas, na maioria dos casos, esses processos carecem ainda de uma maior sistematização, uma vez que: a área de manutenção não tem participado de todas as etapas da atualização; foram reportadas ocorrências de incompatibilidades entre equipamentos de diferentes patamares

tecnológicos; existem situações de perda de memória técnica referentes às instalações nas empresas e fabricantes, o que tem comprometido, entre outros fatores, o atendimento aos prazos previstos para a implantação dos projetos de atualização tecnológica. Ainda pode ser constatado que a evolução tecnológica impõe o estabelecimento de uma metodologia de manutenção e um perfil do profissional de manutenção adequados ao patamar tecnológico presente nos sistemas técnicos atualizados.

Considerando-se que a confiabilidade é um atributo associado à garantia de funcionamento, imprescindível para os sistemas técnicos utilizados em instalações de geração de energia elétrica, em uma sociedade cada vez mais dependente deste insumo. E ainda que, o domínio do conhecimento, por sua vez, está diretamente relacionado ao desempenho operacional dos equipamentos, reconhecido como fator estratégico das organizações. Reforça-se, portanto, a necessidade de conceituação e estruturação de uma visão integrada para a gestão de ativos físicos associada à gestão do conhecimento, para a garantia de sustentabilidade da disponibilidade da instalação ao longo do tempo.

Observa-se que o modelo proposto contemplou as abordagens teórico-conceituais relacionadas à confiabilidade e conhecimento, no contexto do processo de desenvolvimento de projeto de produto e a integração das práticas de gestão do conhecimento e de gerenciamento de projeto ao modelo proposto para sistematização do processo de atualização tecnológica.

Entende-se, portanto, que a integração da gestão do conhecimento com a gestão de ativos físicos representa uma visão contemporânea da função manutenção e da gestão dos ativos físicos. A fundamentação teórica realizada e as constatações observadas na pesquisa corroboram que não há como dissociar o conhecimento e o desempenho dos sistemas técnicos.

Um outro aspecto relevante que se refere ao desenvolvimento de projetos de atualização tecnológica é a oportunidade de se ampliar, via repotenciação, a capacidade instalada das usinas hidrelétricas sem promover impacto ambiental, considerando que o reservatório já se encontra definido. Ganhos em potência podem representar contribuições ao parque gerador do país com custos bem menores que a implantação de uma outra usina.

Um outro benefício a ser conseguido ao adotar o modelo de sistematização proposto diz respeito aos ganhos em disponibilidade operativa a serem obtidos ao longo da vida útil dos equipamentos instalados, refletindo em menores custos operacionais e maior rentabilidade empresarial.

Como aspecto conclusivo desta investigação, pode-se afirmar que o problema ou pergunta central da pesquisa foi respondida, tendo também sido alcançado seu objetivo geral. Neste sentido, com a aplicação do modelo proposto promove-se a sistematização do processo de atualização tecnológica em instalações de geração hidrelétrica, complementado pelo modelo de gestão de ativos físicos focado na extensão da vida útil, denominado MICC - Manutenção Integrada em Confiabilidade e Conhecimento.

Com relação aos objetivos específicos o primeiro objetivo específico foi atendido no capítulo 2, onde são abordados os conteúdos relacionados à manutenção industrial, gestão de ativos físicos, gestão do conhecimento, desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. O segundo objetivo específico foi atendido no capítulo 3, onde são caracterizadas as empresas pesquisadas. O resultado da pesquisa referente ao processo de atualização desenvolvido pelas empresas nas usinas hidrelétricas encontra-se no capítulo 4. Em atendimento ao último objetivo específico, apresenta-se no capítulo 5 o modelo de sistematização do processo de atualização tecnológica.

Outro ponto relevante a comentar nestas conclusões diz respeito às hipóteses de pesquisa, como se segue:

- a) A hipótese de irreversibilidade do processo de atualização tecnológica nas empresas de geração hidrelétrica foi corroborada, em face da idade das instalações, da disponibilidade de sistemas técnicos tecnologicamente mais avançados, ressaltando-se, ainda, que a atualização tecnológica já se encontra em desenvolvimento nas empresas selecionadas como objeto de estudo e em outras usinas hidrelétricas no Brasil;
- b) A hipótese da necessidade de formalização das etapas do processo de atualização tecnológica também foi confirmada, considerando-se o reconhecimento, por parte dos entrevistados da importância do registro sistemático das informações, para a garantia da disponibilidade futura dos sistemas técnicos;

- c) A hipótese de que a atualização tecnológica pressupõe mudança na gestão de ativos físicos foi semelhantemente corroborada nesta pesquisa. Observou-se que as empresas têm buscado o desenvolvimento de ações específicas para a garantia da participação da área de manutenção em todo o processo de atualização tecnológica;
- d) No entanto, a hipótese relativa à existência de maior complexidade na implantação do projeto de atualização tecnológica em função da idade das instalações, foi apenas parcialmente confirmada. Embora tenham sido reportadas, nas entrevistas, dificuldades nos projetos com instalações mais antigas, estas dificuldades basicamente estavam associadas à disponibilidade de desenhos atualizados da usina. Constatou-se que este fato pode ocorrer em qualquer empresa que não considere a documentação técnica como ferramenta essencial para a manutenção;
- e) A hipótese de que maior potência instalada implica em maior complexidade para o processo de atualização tecnológica, por sua vez, também foi corroborada em parte. A implantação do projeto de atualização tecnológica depende da programação de desligamento da unidade geradora, com conseqüente queda na disponibilidade operacional da usina. Uma usina com potência instalada maior exige uma programação mais detalhada e antecipada de desligamento, com maiores restrições, principalmente quanto maior for a perda de capacidade de geração para o sistema interligado. Apesar disso, o programa de desligamento de uma usina de menor porte pode também sofrer restrições em função de uma determinada configuração de despacho de energia elétrica, ou mesmo, devido a condições hidrológicas desfavoráveis.

6.2 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

O tema atualização tecnológica pode ser considerado como relativamente recente para aplicações em usinas hidrelétricas no Brasil. Vislumbra-se a oportunidade de serem desenvolvidas novas experiências e estudos, que contemplem desde a concepção até a implantação principalmente de projetos de modernização de usinas hidrelétricas. Em face das inúmeras atividades identificadas no modelo proposto e a diversidade de conteúdos

técnicos e gerenciais envolvidos, sugere-se a realização de parcerias com instituições de ensino e pesquisa visando o aprofundamento desses temas.

Como sugestões de desenvolvimento de estudos correlatos, indicam-se:

- a) Realizar uma análise comparativa dos atributos e dos indicadores de desempenho da manutenção, antes e depois do processo de atualização tecnológica, nas usinas hidrelétricas. Propõe-se aproximadamente uma recorrência de, no mínimo, cinco anos, de tal maneira que essas informações possam representar um número suficiente de dados, para a obtenção de resultados mais consistentes;
- b) Desenvolver aplicativos informatizados para suporte das etapas de acompanhamento, controle e implantação do processo de atualização tecnológica;
- c) Ampliar o escopo da pesquisa envolvendo fabricantes e fornecedores de equipamentos e empresas de consultoria, no sentido de obter a visão destes agentes no processo de atualização tecnológica;
- d) Avaliar o impacto da evolução tecnológica na sistemática de manutenção aplicada, particularmente quanto aos procedimentos de manutenção adotados e com relação aos aspectos de quantificação e de qualificação da equipe de manutenção;
- e) Desenvolver uma metodologia de apoio à decisão como estabelecimento de critérios para subsidiar o início do processo de modernização;
- f) Desenvolver estudos de análise de manutenção periódica, análise de manutenção aperiódica e análise de riscos como suporte ao processo de atualização tecnológica.

REFERÊNCIAS

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

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9000-4/1993**. Normas de gestão da qualidade e garantia da qualidade - Parte 4: Guia para a gestão do programa de dependabilidade. São Paulo: ABNT, 2000.

ABRAGE. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS GERADORAS DE ENERGIA ELÉTRICA. **Relatório RT. GTMN. CDE - GER.008**. Belo Horizonte: ABRAGE, 2006.

ABRAMAN. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO. **Site institucional**. Disponível em: <http://www.abraman.org.br>. Acesso em 10.mar.2007.

ALKAIM, J. L. **Metodologia para incorporar conhecimento intensivo às tarefas de manutenção centrada na confiabilidade aplicada em ativos de sistemas elétricos**. 2003. 239 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ALONÇO, A. S. **Metodologia de projetos para a concepção de máquinas agrícolas seguras**. 2004. 221 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Site institucional**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em 10.maio.2007.

ANGELONI, M. T. (coord.). **Organizações do conhecimento**: infra-estrutura, pessoas e tecnologias. São Paulo: Saraiva, 2002.

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

AZEVEDO, C. Asset management: novas abordagens da otimização da manutenção em fase de projeto e de comissionamento. In: XXI Congresso Brasileiro de Manutenção. 2007. Florianópolis. **Anais...** Rio de Janeiro: Abraman, 2007. CD-ROM.

AZEVEDO, C. Gestão de ativos industriais: novas oportunidades para a manutenção. In: XVI Congresso Brasileiro de Manutenção. 2001. Florianópolis. **Anais...** Rio de Janeiro: Abraman, 2001a. CD-ROM.

AZEVEDO, C. Gestão de ativos industriais: o dia seguinte da otimização da manutenção. In: IV Seminário Brasileiro de Confiabilidade na Manutenção. 2001. São Paulo. **Anais...** São Paulo: Excelência Consultoria, 2001b. CD-ROM.

BACK, N. et al. **Projeto integrado de produtos**: planejamento, concepção e modelagem. São Paulo: Manole, 2007 (no prelo).

- BACK, N. **Metodologia de projeto de produtos industriais**. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Dois, 1983.
- BACK, N.; FORCELLINI, F. A. **Projeto de produtos**. Florianópolis, 1997. 158p. Notas de aula. Impresso.
- BACKLUND, F.; AKERSTEN, P. A. RCM introductions: process and requirements management aspects. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v.9, n.3, p.250-264, August 2003.
- BARBER, K. D. et al. Process-based knowledge management system for continuous improvement. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v.23, n.8, p.1002-1101, 2006.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. 3.ed. Lisboa: Edições 70, 2006.
- BARROS, A. J. S.; LEHFELD, N. A. S. **Fundamentos de metodologia científica: um guia para iniciação científica**. 2.ed. São Paulo: Makron Books, 2000.
- 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.
- BERTLING, L. et al. A Reliability-Centered asset maintenance method for assessing the impact of maintenance in power distribution systems. **IEEE Transactions on Power Systems**, v.20, n.1, p.75-82, Feb. 2005.
- BIANCHETTI, L.; MACHADO, A. M. N. (orgs.). **A bússola do escrever: desafios e estratégias na orientação de teses e dissertações**. Florianópolis: Ed. da UFSC; São Paulo: Cortez, 2002.
- BILLINTON, R.; ALLAN, R. N. **Reliability evaluation of engineering systems: concepts and techniques**. New York; London: Plenum Press, 1987.
- BJÖRNSSON, J. et al. The potential role of geothermal energy and hydro power in the world energy scenario in year 2020. In: 17th. World Energy Council Congress. **Proceedings...** Houston, 1998. CD-ROM.
- BLANCHARD, B. et al. **Maintainability: a key to effective serviceability maintenance management**. New York: John Wiley & Sons, 1995.
- BOAVENTURA, E. **Metodologia da pesquisa: monografia, dissertação e tese**. São Paulo: Atlas, 2004.
- BOFF, L. H. **Gestão do conhecimento: o que é, para que serve e o que eu tenho a ver com isso**. Disponível em: <<http://www.fsq.br/revistatexto1.php>>. Acesso em 10 jan. 2005.

BRASIL. Lei nº 10847 de 15 de março de 2004. Autoriza a criação da Empresa de Pesquisa Energética - EPE. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004/Lei/L10.847.htm. Acesso em: 27.out.2006.

BRASIL. Lei nº 10848 de 15 de março de 2004. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004/Lei/L10.848.htm. Acesso em: 27.out.2006.

BURGELMAN, R. A.; MAIDIQUE, M. A. **Strategic management of technology and innovation**. Boston: Irwin, 1998.

CAPELLI, A. **Energia elétrica para sistemas automáticos da produção**. São Paulo: Ed. Erica, 2007.

CARBONE, P. P. et al. **Gestão por competências e gestão do conhecimento**. 2.ed. Rio de Janeiro: FGV, 2006 (Coleção: Gestão de Pessoas).

CARON-FASAN, M. L.; JANISSEK-MUNIS, R. Análise de informações de inteligência estratégica antecipativa coletiva: proposição de um método, caso aplicado e experiências. **RAUSP - Revista de Administração**, São Paulo, v.39, n.3, p.205-219, jul./ago./set. 2004.

CASTRO, C. de M. **A prática da pesquisa**. São Paulo: Prentice Hall Brasil, 2006.

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

CAVALCANTI, M. **Gestão de empresas na sociedade do conhecimento: um roteiro para a ação**. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

CEMIG. CENTRAIS ELÉTRICAS DE MINAS GERAIS. **Site institucional**. Disponível em: <http://www.cemig.com.br>. Acesso em 04.jun.2007.

CHESF. CENTRAIS ELÉTRICAS DO RIO SÃO FRANCISCO. **Site institucional**. Disponível em: <http://www.chesf.gov.br>. Acesso em 15.jun.2007.

CHOLASUKE, C. et al. The status of maintenance management in UK manufacturing organisations: results from a pilot survey. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v.10, n.1, p.5-15, June 2002.

CIGRÉ. INTERNATIONAL COUNCIL ON LARGE ELECTRIC SYSTEMS. **An international survey of maintenance policies and trends: study committees 23 and 39 Joint Working Group on Maintenance and Reliability**. Paris: Cigré, 2000.

CIGRÉ-BRASIL. COMITÊ NACIONAL BRASILEIRO DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. COMITÊ DE ESTUDOS/MÁQUINAS ELÉTRICAS ROTATIVAS CE-A1. **Tendências e perspectivas para a evolução do parque gerador brasileiro**. Rio de Janeiro: Cigré-Brasil, 2006.

CLELAND, D. I.; IRELAND, L. R. **Project management: strategic design and implementations**. 4.ed. New York: McGraw-Hill, 2002.

- COETZEE, J. L. A holistic approach to the maintenance 'problem'. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v.5, n.3, p.276-280, 1999.
- CONTINI, S. A new hybrid method for fault tree analysis. **Reliability Engineering & System Safety**, v.49, n.3, p.529-539, 1995.
- CURTIS, B. et al. Process modeling. **Communications of ACM**, v.35, n.9, p.75-90, 1992.
- DAVENPORT, T. H. et al. Perder pessoas sem perder conhecimento. **HSM Management**, São Paulo, v.60, p.144-152, jan./fev. 2007.
- DAVENPORT, T. H.; PRUSAK, L. **Conhecimento empresarial**: como as organizações gerenciam o seu capital intelectual. 2.ed. Rio de Janeiro: Campus, 1998.
- DE PAULA, W. B. et al. Gerenciamento de risco na gestão estratégica da manutenção de subestação. In: XIX Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica - SNPTEE. 2007, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SNPTEE, 2007. CD-ROM.
- DHILLON, B. S. **Engineering maintenance**: a modern approach. USA: CRC Press LLC, 2002.
- DIAS, A. Confiabilidade de freios automotivos. In: VIII SIMEA. Simpósio de Engenharia Automotiva. 1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo: AEA, 1995. p.1-10.
- DIAS, A. **Confiabilidade de sistemas técnicos**. Florianópolis, maio 2004. 151p. Notas de aula. Impresso.
- DIAS, A. et al. Diagnóstico dos procedimentos de operação e de manutenção das empresas de geração de energia elétrica no Brasil. In: Seminário ANEEL/UFSC. Brasília - DF. **Anais...** Brasília, 18 e 19 de setembro 2000. CD-ROM.
- DIBELLA, A. J.; NEVIS, E. C. **Como as organizações aprendem**: uma estratégia integrada voltada para a construção da capacidade de aprendizagem. São Paulo: Educator, 1999.
- DINSMORE, P. C. **Como se tornar um profissional em gerenciamento de projetos**: livro base de preparação do certificado PMP - Project Management Professional. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2003.
- DRUCKER, P. **Administrando em tempos de grandes mudanças**. 4.ed. São Paulo: Pioneira, 1996.
- DRUCKER, P. **Desafios gerenciais para o século XXI**. São Paulo: Thomson Pioneira, 1999.
- DRUCKER, P. **Managing in the next society**. New York: Truman Talley Books, 2003.

ELETOBRÁS. ELETOBRÁS CENTRAIS ELÉTRICAS. **Site institucional**. Disponível em: <http://www.eletobras.gov.br>. Acesso em 06.jun.2007.

ELETRONORTE. ELETRONORTE CENTRAIS ELÉTRICAS DO NORTE DO BRASIL S.A. **Eletronorte**: 30 anos de pura energia brasileira. Rio de Janeiro: Centro da Memória da Eletricidade no Brasil, 2004.

ELETRONORTE. ELETRONORTE CENTRAIS ELÉTRICAS DO NORTE DO BRASIL S.A. **Site institucional**. Disponível em: <http://www.eln.gov.br>. Acesso em 15.jun.2007.

ENDRENYL, J. et al. The present status of maintenance strategies and the impact of maintenance on reliability. **IEEE Transactions on Reliability**, v.16, n.4, p.638-646, November 2001.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2006**. Brasília: EPE, 2006a.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica 2006-2015**. Brasília: MME/EPE, 2006b.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Site institucional**. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>. Acesso em 04.jun.2007.

EPRI. ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE. **Hydro life extension modernization guide**. Palo Alto, USA: EPRI, 1999.

FERNÁNDEZ, S. J. G. **Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado**. Madri: Ed. Fundación Confemetal, 2003.

FIALHO, F. A. P. et al. **Gestão do conhecimento e aprendizagem**. Local: Visual Books, 2006.

FLEURY, M. T. L.; OLIVEIRA JR., M. de M. (orgs.). **Gestão estratégica do conhecimento**: integrando aprendizagem, conhecimento e competências. São Paulo: Atlas, 2001.

FURNAS. FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS. **Site institucional**. Disponível em: <http://www.furnas.com.br>. Acesso em 15.jun.2007.

GANE, C.; SARSON, T. **Análise estruturada de sistemas**. Rio de Janeiro: LTC, 1983.

GATTONI, R. L. C. **Gestão do conhecimento aplicada à prática da gerência de projetos**. Belo Horizonte: C/Arte, 2004.

GITS, C. W. Design of maintenance concepts. **International Journal of Production Economics**, v.24, p.217-226, 1992.

GOLDENBERG, M. **A arte de pesquisar**. Rio de Janeiro: Record, 1997.

GOMES, J. L. O., RIGOTTO JÚNIOR, G. J. Política de manutenção de relés digitais da Cemig. In: XIX Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica - SNPTEE. 2007, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SNPTEE, 2007. CD-ROM.

GOULART, C. P. **Proposta de um modelo de referência para o planejamento e controle da produção em empresas virtuais**. 2000. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos.

HAMEL, G.; PRAHALAD, C. K. **Competindo pelo futuro: estratégias inovadoras para obter o controle do seu setor e criar os mercados de amanhã**. 19.ed. Rio de Janeiro: Campus, 2005.

HARDARSON, P. et al. Conventional renewable energy resources for power production in competitive market environment. In: 18th Congress of the World Energy Council. 2001, Buenos Aires. **Proceedings...** Buenos Aires: WEC, 2001. CD-ROM.

HASSANAIN, M. A. et al. Development of a maintenance management model based on IAI standards. **International Intelligence in Engineering**, p.177-193, 2001.

HELDMAN, K. **Gerência de projetos**. 5.ed. Rio de Janeiro: Ed. Elsevier, 2003.

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

HENRIQUES, F. S. et al.. Proposta de uma metodologia para determinação do fim da vida útil de hidrogeradores. In: XIX Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica - SNPTEE. 2007, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SNPTEE, 2007. CD-ROM.

IEA. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. WEO 2006. WORLD ENERGY OUTLOOK 2006. **References Scenario**. Disponível em: <http://www.iea.org/textbase/country/graphs/39EGRS.GIF>. Acesso em 20.jun.2007.

ITAIPU BINACIONAL. **Diretrizes e critérios para a atualização tecnológica de Itaipu**. Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2007a.

ITAIPU BINACIONAL. **Itaipu Hydroelectric Project**. Curitiba: Itaipu Binacional, 1994.

ITAIPU BINACIONAL. Plano de modernização e extensão da vida útil de equipamentos-PAT. In: _____. **Diretrizes e critérios para a atualização tecnológica de Itaipu**. Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2007b.

ITAIPU BINACIONAL. **Principais características técnicas**. Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2004.

- ITAIPU BINACIONAL. **Regulamento interno do comitê gestor**. Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2002.
- ITAIPU BINACIONAL. **Site institucional**. Disponível em: <http://www.itaipu.gov.br>. Acesso em 15.ago.2007c.
- JAMIL, G. L. **Gestão da informação e do conhecimento em empresas brasileiras**. Belo Horizonte: C/Arte, 2006.
- JONASH, S. R.; SOMMERLATTE, T. **O valor da inovação**. Rio de Janeiro: Campus, 2001.
- JURAN, J. M.; GRZYNA, F. M. **Controle da Qualidade**: conceitos, políticas e filosofia da qualidade. São Paulo: Makron; McGraw-Hill, 1991.
- KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. **Alinhamento**: utilizando o balanced scorecard para criar sinergias corporativas. Rio de Janeiro: Campus; Elsevier, 2006.
- KELLER, G.; TEUFEL, T. **SAP R/3: process oriented implementation**. London: Harlow, Addison-Wesley, 1998.
- KELLY, A. **Maintenance planning and control**. Kent: Butterworth & Co. Ltd., 1984.
- KERZNER, H. **Gestão de projetos**: as melhores práticas. Porto Alegre: Bookman, 2002.
- KOCH, H. J. **The value of renewables**. Paris: IEA-International Energy Agency, 2001.
- KÖCHE, J. C. **Fundamentos da metodologia científica**: teoria da ciência e prática da pesquisa. 21.ed. Petrópolis: Vozes, 2002.
- KORNEGAY, D. The evolution of speed governing for hydro turbines. In: XIV Waterpower. Austin. **Proceedings...** Kansas: Waterpower, 2005. CD-ROM.
- KROGH, G. V. et al. **Facilitando a criação de conhecimento**: reinventando a empresa com o poder da inovação contínua. Rio de Janeiro: Campus, 2001.
- KUMAMOTO, H.; HENLEY, E. J. **Probabilistic risk assessment for engineers and scientists**. 2. ed. New York: IEEE Press, 2000.
- LEHFELD, Neide Aparecida de Souza. **Metodologia e conhecimento científico**. Petrópolis: Vozes, 2007.
- MACHADO, W. B.; MAURO, M. A. S. Experiência de Itaipu na transição do sistema de controle convencional para o digital utilizado para a supervisão e controle do sistema de água pura das unidades geradoras In: XXI Congresso Brasileiro de Manutenção. Florianópolis. **Anais...** Rio de Janeiro: Abraman, 2007.

MAGALHÃES, R. **Fundamentos da gestão do conhecimento organizacional**. Portugal: Silabo, 2005.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de pesquisa**: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisas, elaboração, análise e interpretação de dados. 6.ed. São Paulo: Atlas, 2006.

MARTINS, J. C. C. **Gestão de projetos de desenvolvimento de software**. Rio de Janeiro: Brasport, 2002.

MAXIMIANO, A. C. A. **Administração de projetos**: como transformar idéias em resultados. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2002.

MEREDITH, J. R.; MANTEL, S. J. **Project management**: a managerial approach. New York: Wiley, 2000.

MIL-STD-1699A. **Military Standards Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis**. USA: Department of Defense. Disponível em: <http://www.weibull.com/knowledge/milbdbk.html>. Acesso em 27.out.2005.

MINTZBERG, H. et al. **Safári de estratégia**: um roteiro pela selva do planejamento estratégico. Porto Alegre: Bookman, 2000.

MONCHY, F. **A função manutenção**: formação para a gerência da manutenção industrial. São Paulo: EBRAS/DURBAN, 1989.

MONCHY, F. **Maintenance**: méthodes et organisations. 2.ed. Paris: Dunod, 2003.

MONTGOMERY, C. A.; PORTER, M. E. **Estratégia**: a busca pela vantagem competitiva. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

MOUBRAY, J. **RCM II**: Reliability-Centred Maintenance. 2. ed. Oxford: Butterwerth-Heinemann, 2000.

NAKANO, D. N.; FLEURY, A. C. C. Utilizando estoques de conhecimento organizacional: um quadro de referência. **RAUSP - Revista de Administração**, São Paulo, v.40, n.2, p.136-144, abr./maio/jun. 2004.

NONAKA, I.; TAKEUCHI, H. **Criação de conhecimento empresarial**. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

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

NUNES, E. L. **Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC):** análise da implantação em uma sistemática de manutenção preventiva consolidada. 2001. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

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. **Anais...** Rio de Janeiro: SNPTEE, 2001. CD-ROM.

NUNES, E. L.; VALLADARES, A. **Estratégias integradas para o planejamento e a gestão do conhecimento empresariais e suas relações com a manutenção centrada em confiabilidade (MCC)** . In: I Congresso Mundial de Manutenção. 2001, Salvador – BA. **Anais...** Rio de Janeiro: Abraman, 2001. CD-ROM.

OGATA, K. **Engenharia do controle moderno.** 3.ed. São Paulo: Pearson Brasil, 2000.

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.

ONS. OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Site institucional.** Disponível em: <http://www.org.br>. Acesso em: 16.maio.2007.

PACHECO, S. A. et al. **Modernização da UHE Três Marias: estratégias e resultados.** In: XIX Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica - SNPTEE. 2007, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SNPTEE, 2007. CD-ROM.

PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering design: a systematic approach.** 2.ed. Great Britain: Springer-Verlag London Limited, 1996.

PAIVA, P. M.; ZENI JÚNIOR, N. **Evolução e aplicação de reguladores de velocidade em projetos de modernização e automação.** In: VI Seminário de Manutenção Mecânica de Equipamentos Rotativos. Vitória. **Anais...** Rio de Janeiro: Furnas, 2000.

PALADY, P. **FMEA: análise de modos de falhas e efeitos: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram.** São Paulo: IMAM, 1997.

PIDD, M. **Modelagem empresarial: ferramentas para tomada de decisão.** Porto Alegre: Bookman, 1998.

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

PIT, M. et al. **Innovation in facilities maintenance and management.** **Building Serv. Eng. Res. Technol.**, v.27, n.2, p.153-164, 2006.

PMI. PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **A guide to the project management body of knowledge - PMBOK.** Pennsylvania: PMI, 2000.

PMI. PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **Um guia do conjunto de conhecimentos em gerenciamento de projetos: guia PMBOK**. 3.ed. Newtown Square: PMI, 2004.

PRADO, D. S. **Planejamento e controle de projetos**. Belo Horizonte: Ed. Desenvolvimento Gerencial, 2003.

PUENTE, J. et al. A decision support system for applying failure mode and effects analysis. **International Journal of Quality & Reliability Management**, Bradford, v.19, n.2, p.137-151, 2002.

RICHARDSON, R. J. et al. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. 3.ed. São Paulo: Atlas, 1999.

ROLIM, F. Metodologia para avaliação do índice de modernização (IM) de hidrogeradores. In: Workshop sobre modernização e capacitação de usinas geradoras. Comitê Nacional Brasileiro de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Cigré, 2005. CD-ROM.

ROMANO, L. N. **Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas**. 2003. 265 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SABHERWAL, R.; BECERRA-FERNANDEZ, I. Integrating specific knowledge: insights from the Kennedy Space Center. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v.52, n.3, p.301-315, August 2005.

SABIN, S. Asset Management: the new challenge. **Orbit**, n.1, p.8-11, December 1996.

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

SAKURADA, E. Y. **As técnicas de análise dos modos de falhas e seus efeitos e análise da árvore de falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtos**. 2001. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SANTOS, A. R. dos. **Metodologia científica: a construção do conhecimento**. 6.ed. Rio de Janeiro: DP&A Ed., 2004.

SANTOS, C. M. P. **Um modelo para o aumento de produtividade do conjunto turbina-gerador em instalações hidrelétricas**. 1999. 258 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SCAPIN, C.A. **Análise Sistêmica de Falhas**. Belo Horizonte: Desenvolvimento Gerencial, 1999.

SCHEER, A. W. **ARIS: business process framework**. Berlin: Epring Verlar, 1998.

- SCHREIBER, G. P. **Usinas hidrelétricas**. São Paulo: Edgar Blücher, 1987.
- SEIXAS, E. de S. **Confiabilidade aplicada na manutenção**. Rio de Janeiro: Abramam, 2002. CD-ROM.
- SENGE, P. **A quinta disciplina: arte e prática da organização que aprende**. 21.ed. Rio de Janeiro: Best Seller, 2006.
- SHIMIZU, T. **Decisão nas organizações**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2006.
- SIQUEIRA, I. P. **Manutenção Centrada em Confiabilidade: manual de implementação**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.
- SLACK, N. et al. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 1997.
- SMITH, A. M. **Reliability-Centered Maintenance**. California-USA: McGraw-Hill, 1992.
- SOARES, A. P.; MOTTA, J. A. P. Engenharia de manutenção em sistemas eletro-eletrônicos In: XXI Congresso Brasileiro de Manutenção. Florianópolis. **Anais...** Rio de Janeiro: Abramam, 2007. CD-ROM.
- SOUZA, Z. et al. **Centrais hidro e termelétricas**. São Paulo: Editora Blücher, 1983.
- STAMATIS, D. H. **Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution**. 2.ed. Milwaukee, USA: ASQC Quality Press, 2003.
- TERRA, J. C. C. **Gestão do conhecimento e e-learning na prática**. São Paulo: Negócio Editora, 2003.
- TERRA, J. C. C. **Gestão do conhecimento: o grande desafio empresarial**. São Paulo: Negócio Editora, 2000.
- TERRA, J. C. C.; GORDON, C. **Portais corporativos: a revolução da gestão do conhecimento**. São Paulo: Negócio Editora, 2002.
- TOLMASQUIM, M. T. **Geração de energia elétrica no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, 2005.
- TRACTEBEL. TRACTEBEL ENERGIA. **Site institucional**. Disponível em: <http://www.tractebelenergia.com.br>. Acesso em 04.jun.2007.
- VALERIANO, D. L. **Gerenciamento em projetos: pesquisa, desenvolvimento e engenharia**. São Paulo : Makron Books, 2005.

- VANNESTE, S. G.; WASSENHOVE, V. An integrated and structured approach to improve maintenance. **European Journal of Operational Research**, v.82, p.241-257, 1995.
- VARGAS, R. V. **Gerenciamento de projetos**: estabelecendo diferenciais competitivos. 5.ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2003.
- VÄRMETENISK FORSKNING OCH UTVECKNING. **Underhållsmetoder**: utveckling, trender och rekommendationer. Stockholm: Värmeforsk, 2006.
- 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.
- VERNADAT, F. B. **Enterprise modeling and integration**: principles and application. London: Chapman & Hall, 1996.
- VINADÉ, C. A. dos S. **Sistematização do processo de projeto para confiabilidade e manutenibilidade aplicado a sistemas hidráulicos e implementação de um sistema especialista**. 2003. 217 f. Tese. (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- WAEYENBERGH, G.; PINTELON, L. A framework for maintenance concept development. **International Journal of Production Economics**, v.77, p.299-313, 2002.
- WHELLWRIGHT, S. C.; CLARK, K. B. **Revolutionizing product development**: quantum leaps in speed, efficiency and quality. New York: Free Press, 1992.
- WOODHOUSE, J. **Asset management**: concepts & practices. London: The Woodhouse Partnership Ltd., 2003. 13p. Impresso.
- YANJIE, Q. et al. New Concept for Aircraft Maintenance Management (II): The establishment of the Spoon-Shaped Curve Model. **Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium**, p.68-73, 2003.
- YIN, R. K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. 3.ed. São Paulo: Bookman, 2005.
- YOURDON, E. **Modern structural analysis**. 2.ed. London: Prentice-Hall, 2002.
- ZHOU, X. et al. Reliability-centered predictive maintenance scheduling for a continuously monitored system subject. **Reliability Engineering & System Safety**, v.92, n.4, p.530-534, April 2007.
- ZHU, G. et al. Object/objective-oriented maintenance management. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v.8, n.4, p.306-318, 2002.

ANEXOS

ANEXO A - PÁGINAS DO DOCUMENTO *DREAM MACHINE* DE ITAIPU

ANEXO B - PÁGINA DO PORTAL DO CONHECIMENTO DE ITAIPU

ANEXO C - PROCESSO DO PORTAL DO CONHECIMENTO DE ITAIPU

ANEXO A - PÁGINAS DO DOCUMENTO *DREAM MACHINE* - ITAIPU

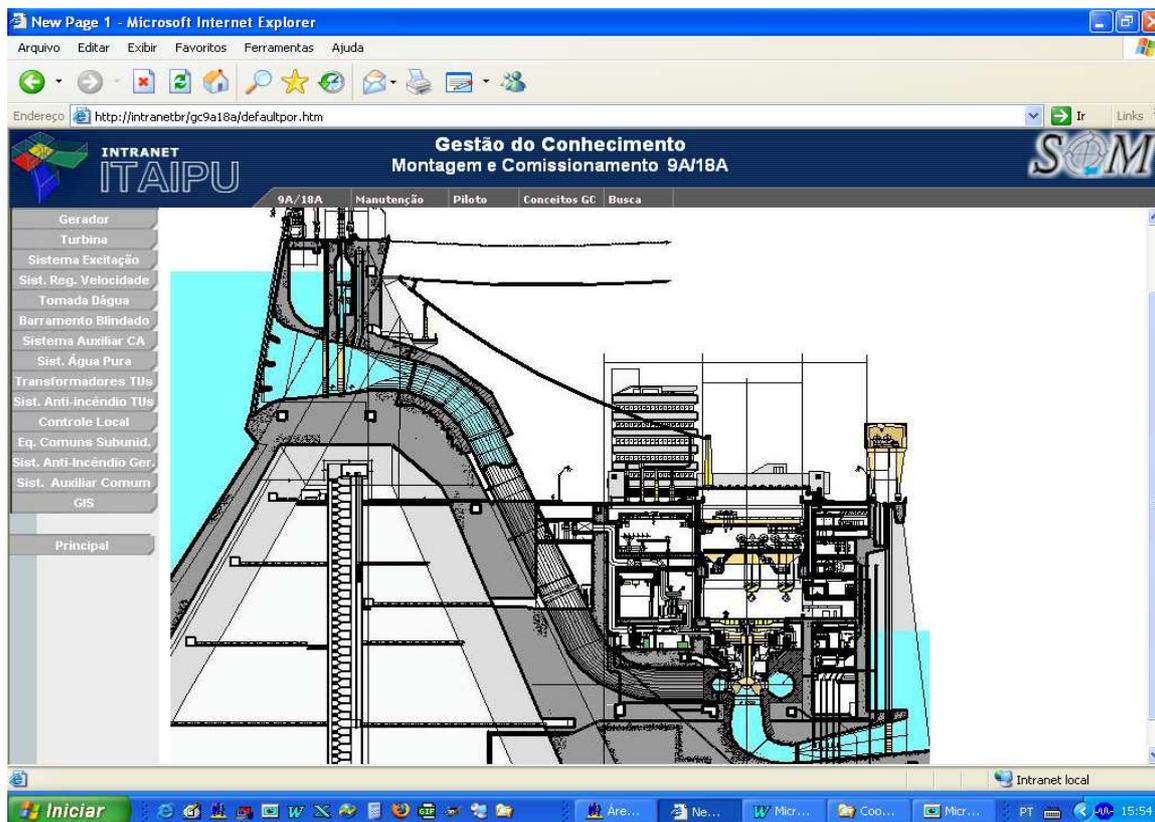
		SUPERINTENDÊNCIA DE MANUTENÇÃO – SM.DT MODIFICAÇÕES PROPOSTAS PARA AS UNIDADES 9A E 18A SUBUNIDADE: D – Sistema de Regulação de Velocidade
ITEM	EQUIPAMENTO	MODIFICAÇÃO PROPOSTA
21	D01 TANQUES ACUMULADORES DE AR E AR/ÓLEO DO RV	ACUMULADORES DE AR DO RV <ul style="list-style-type: none"> Executar pintura interna dos acumuladores de ar do RV por sistema epóxi de boa qualidade. Motivo: Maior eficiência e durabilidade da proteção anticorrosiva.
22	D02/D03/D04 BOMBAS DE PRESSURIZAÇÃO DE ÓLEO DO RV	FILTROS DAS BOMBAS <ul style="list-style-type: none"> Modificar o sistema de acoplamento entre o filtro e tubulação das tampas do RV, utilizando filtros fangeados fabricação HDA. Motivo: Evitar aspiração de partículas pela conexão do filtro.
		DESGASTE DO MANGAL DAS BOMBAS DE ÓLEO DO RV <ul style="list-style-type: none"> Especificar bombas de óleo com mancais de rolamento. Motivo: Maior durabilidade dos mancais.
		MOTOBOMBAS <ul style="list-style-type: none"> Projetar e instalar manivela e/ou dispositivos para facilitar a desmontagem das motobombas, similares aos já instalados. Motivo: Facilitar a manutenção.
23	D05/D08 COMPRESSORES DO SISTEMA DE AR DO RV	EXO VIRABREQUIM <ul style="list-style-type: none"> Os mancais deverão ter folga compatível com o diâmetro do virabrequim. Motivo: Aumentar a resistência ao desgaste.
		RESERVATÓRIO DE AR DO COMPRESSOR <ul style="list-style-type: none"> Projetar porta de acesso à sala e projetar manivela para a retirada do reservatório de ar dos compressores da sala. Utilizar epóxi de boa qualidade na pintura. Motivo: Movimentação do tanque para pintura interna.

Folha 1/3

		SUPERINTENDÊNCIA DE MANUTENÇÃO – SM.DT MODIFICAÇÕES PROPOSTAS PARA AS UNIDADES 9A E 18A SUBUNIDADE: C – Sistema de Excitação
ITEM	EQUIPAMENTO	MODIFICAÇÃO PROPOSTA
17	C04 CUBÍCULO ELETRÔNICO DO REGULADOR DE TENSÃO	TRANSFORMADOR DE TENSÃO DE SINCRONISMO <ul style="list-style-type: none"> A acrescentar circuito para ensaio com a máquina parada, da tensão de sincronismo, conforme Desenho do Fabricante HEIR 323088 - Folha 2.56. Motivo: Facilitar a manutenção.
		PROTEÇÃO CROWBAR <ul style="list-style-type: none"> Melhorar a isolamento elétrica dos cabos dos circuitos de disparo dos tiristores da Proteção CROWBAR (sobretensão do campo), conforme Desenho do Fabricante HEIR 323088 - Folha 5.07. Motivo: Evitar operações indevidas.
18	C06 CUBÍCULO TERMINAL DE EXCITAÇÃO	REGISTRADOR DE TRANSIENTE <ul style="list-style-type: none"> A acrescentar interface para instalação de registradores de transientes, conforme Desenhos HEIR 328438 e HEIR 328392. Motivo: Permitir instalação de registradores de eventos.
		INDUTOR DE CORRENTE DE BALANÇO <ul style="list-style-type: none"> Fornecer L3 – Indutor de Corrente de Balanço - compatível com os valores de corrente de circulação que efetivamente circula no campo. Motivo: Limitar a corrente de circulação.
		CONEXÕES ELÉTRICAS <ul style="list-style-type: none"> A acrescentar no fornecimento lâminas de dupla face AL-CU, para ser inserida entre o shunt (CU) e o barramento (AL). Motivo: Evitar a redução da área de contato em virtude de reação eletrolítica e aquecimento do shunt.

Folha 2/3

ANEXO B - PÁGINA DO PORTAL DO CONHECIMENTO DE ITAIPU



Comentário: Nesta página podem ser acessadas as informações referentes aos equipamentos listados conforme os botões apresentados à esquerda ou clicando nos equipamentos representados no corte transversal da usina.

ANEXO C - PROCESSO DO PORTAL DO CONHECIMENTO DE ITAIPU

The screenshot shows a web browser window displaying the ITaipu Knowledge Portal. The page title is 'Gestão do Conhecimento Montagem e Comissionamento 9A/18A'. The main content area is titled 'Processos' and displays the following information:

Processo: Montagem do painel PAP-U09A e acessórios		
Subunidade: GERADOR DA U09A	Código SOM Subunidade: A19A00	
Localização: QUADRO PAP-09A SISTEMA INJECAO OLEO MANCAL ESCORA	Código SOM Localização: A19A43	
Divisão: SMMG.DT	Filmagem: Sim IB	
Roteiro:		
<ul style="list-style-type: none"> • Posicionamento; • Montagem dos componentes internos; • Alimentação/aterramento; • Sensores externos. 		
Alertas:		
Lições Aprendidas:		
Link:		
Responsável:	Ramal:	Divisão:
<input type="checkbox"/> Roberto Censi Faria	3693,	SMMG.DT
Especialistas		
Nome:	Ramal:	Divisão:
Luis Roberto Cardoso	2430.	SMMG.DT

Comentário: Ao se clicar como indicado na página anterior, por exemplo, em ‘gerador’, nos botões apresentados à esquerda é possível acessar as informações dos componentes do gerador, por processo. Neste caso o processo pesquisado é a montagem do painel do sistema de injeção de óleo do mancal de escora da unidade geradora. As informações disponíveis são: o código do equipamento, constante do manual de codificação; a divisão responsável pela manutenção do equipamento e o profissional responsável pelas informações, bem como o especialista que auxiliou no resgate das informações; se existe um filme e os roteiros referentes à este processo; alertas e lições aprendidas durante a montagem.

APÊNDICES

APÊNDICE A - FASES DO PROCESSO DE ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA

APÊNDICE B - FASES DO PROCESSO DE REDEFINIÇÃO DA MANUTENÇÃO

APÊNDICE C - INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS PRIMÁRIOS

APÊNDICE A - FASES DO PROCESSO DE ATUALIZAÇÃO TECNOLÓGICA

PLANEJAMENTO PROJETO				
Etapas	Atividade	Método/ Ferramenta	Saída	Resgate Conhecimento
Associação da atualização com o Planejamento Estratégico	Avaliar a atualização tecnológica frente às metas empresariais	Análise de documentos e informações técnicas e gerenciais	Estudos de necessidades e oportunidades de atualização	Estudos e documentação gerada
Diretrizes para atualização	Estabelecer diretrizes para atualização	Análise do estado da arte e de experiências similares	Diretrizes definidas	Documentos gerados e literatura técnica levantada
CrITÉrios de priorização para atualização	Estabelecer critérios para atualização	Análise técnica para inclusão ou exclusão de sistemas e equipamentos	CrITÉrios definidos	Documentos gerados e literatura técnica levantada

PROJETO INFORMACIONAL					
Etapas		Atividade	Método/ Ferramenta	Saída	Resgate do Conhecimento
Análise Usina	Manutenção periódica	Avaliar processo manutenção periódica	Análise do cumprimento e dos resultados das inspeções periódicas	Diagnóstico manutenção periódica	Histórico de manutenção
	Manutenção aperiódica	Avaliar processo manutenção aperiódica	Análise das ocorrências de falhas e de defeitos	Diagnóstico manutenção aperiódica	Histórico de manutenção
	Índices de desempenho	Avaliar índices desempenho	Análise de confiabilidade, disponibilidade, mantenabilidade	Diagnóstico desempenho operacional	Histórico de manutenção
	Disponibili- dade de sobressalente	Analisar necessidades de sobressalente	Levantamento das solicitações não atendidas	Dificuldades de obtenção de sobressalentes	Estudos realizados
	Riscos com instalação em operação	Desenvolver análise de riscos	Análise FMECA	Diagnóstico e riscos operacionais	Estudos realizados
	Necessidade de ampliação	Avaliar necessidade ampliação	Avaliação atendimento mercado	Oportunidade/ necessidade ampliação	Estudos realizados
	Melhorias implantadas	Avaliar desempenho das melhorias	Análise de desempenho operacional	Diagnóstico das melhorias	Estudos realizados

PROJETO INFORMACIONAL					
Etapas		Atividade	Método/ Ferramenta	Saída	Resgate do Conhecimento
Gestão Manutenção	Custos	Avaliar custos manutenção	Apropriação de custos diretos e indiretos	Diagnóstico custos incorridos	Estudos realizados
	Perfil da equipe	Analisar perfil da equipe	Análise formação técnica e idade	Diagnóstico capacitação e previsão aposentadorias	Estudos realizados
	Automatização da instalação	Avaliar necessidade de automatizar a instalação	Análise custos operacionais e da logística de manutenção	Estudos de distribuição das equipes e estratégia de dessassistir a instalação	Estudos realizados
	Experiências similares	Buscar experiência com empresas congêneres	Avaliação e visitas técnicas	Estabelecimento das melhores práticas	Estudos realizados e os relatórios de viagem
Requisitos Técnicos	Normas Requisitos	Analisar Atendimento a normas e a requisitos	Normas regulamentadoras e recomendações ANEEL / ONS	Necessidades de modificações para atendimento as normas	Documentos gerados e literatura técnica levantada
	Estado da arte dos sistemas técnicos	Analisar tecnologia atual	Análise documental: do estado da arte	Análise da instalação frente ao estado da arte	Documentos gerados e literatura técnica levantada

PROJETO DETALHADO				
Etapas	Atividade	Método/ Ferramenta	Saída	Resgate do Conhecimento
Escopo detalhado do projeto	Detalhar o projeto	Análise do projeto preliminar	Projeto Detalhado	Documentação e desenhos técnicos
Prazo/ cronograma do projeto	Estabelecer cronograma físico financeiro e marcos contratuais	Análise projeto preliminar e estratégia empresarial	Prazo de fornecimento e marcos contratuais	Contrato de fornecimento e protocolos contratuais
Custo do projeto	Definir custo do projeto	Estudos de custos	Custo do projeto	Contrato de fornecimento
Capacitação técnica	Definir necessidades de capacitação técnica	Análise sistemas técnicos X capacitação equipe	Programa de capacitação	Contrato de fornecimento
Relacionamento com fornecedores	Estabelecer procedimentos	Análise estratégia da gestão do projeto	Procedimentos de relacionamento com os fornecedores	Contrato de fornecimento
Riscos do projeto	Desenvolver análise de riscos do projeto	Análise de riscos	Necessidades de seguros contratuais	Contrato de fornecimento
Critérios técnicos para aceitação	Estabelecer limites técnicos de aceitação do projeto	Estudos dos ensaios de aceitação e limites técnicos	Contrato de fornecimento	Contrato de fornecimento
Processo de licitação	Realizar a licitação de acordo com procedimentos internos	Sistemática empresarial	Definição fornecedores/ sistemas técnicos	Documentação formal e legal
Processo de manutenção	Redefinir o processo de manutenção	Implantação na política de manutenção para os equipamentos atualizados	Processo de manutenção redefinido	Manuais de manutenção revisados

INSTALAÇÃO EQUIPAMENTOS				
Etapas	Atividade	Método/ Ferramenta	Saída	Resgate do Conhecimento
Controle cronograma implementação	Controlar o cronograma da implantação	Análise cronograma e rede de precedência	Cronograma atualizado da implantação	Relatório final do projeto
Documentação de controle	Preencher a documentação de controle	Registro atividades executadas	Documentação de controle preenchida	Relatório final do projeto
Controle cronograma financeiro	Acompanhar cronograma financeiro	Análise financeira do projeto	Relatórios financeiros	Relatório final do projeto
Controle das não-conformidades	Identificar não-conformidades	Análise técnica: projetado X executado	Relatório de não-conformidades emitidos	Histórico de manutenção
Capacitação técnica	Executar capacitação prevista	Treinamentos formais e <i>on the job</i>	Equipe treinada	Apostilas dos treinamentos realizados
Inspeção em fábrica	Realizar inspeções de qualidade	Análise técnica projetado X fabricado	Protocolos de inspeção em fábrica preenchidos	Relatório final do projeto
Planejamento do comissionamento	Elaborar planilhas de comissionamento	Análise sistemas técnicos	Planilhas de comissionamento	Histórico de manutenção

ENSAIOS ACEITAÇÃO				
Etapas	Atividade	Método/ Ferramenta	Saída	Resgate do Conhecimento
Execução do comissionamento	Executar comissionamento	Procedimentos de execução do comissionamento	Planilhas de comissionamento preenchidas	Histórico de manutenção
Execução dos ensaios especiais	Executar ensaios especiais	Procedimentos de execução dos ensaios especiais	Protocolos de ensaios preenchidos	Histórico de manutenção
Protocolos contratuais	Controlar cumprimento marcos contratuais	Acompanhamento da implantação do projeto	Protocolos contratuais preenchidos	Relatório final do projeto
Acompanhamento da solução das não-conformidades	Controlar solução para não-conformidades	Acompanhamento da eliminação das não-conformidades	Relatório de não-conformidades preenchidos	Histórico de manutenção
Ensaio de aceitação	Executar ensaios de aceitação	Procedimentos de execução ensaios de aceitação	Protocolos de ensaios preenchidos	Relatório final do projeto

ENCERRAMENTO PROJETO				
Etapas	Atividade	Método/ Ferramenta	Saída	Resgate do Conhecimento
Controle final das pendências técnicas	Verificar eliminação de não-conformidades	Acompanhamento eliminação não-conformidades	Relatório de não-conformidades preenchidos	Relatório final do projeto
Entrega da documentação técnica	Verificar entrega de desenhos e documentos revisados	Análise da documentação técnica	Desenhos e documentos revisados	Arquivo técnico
Controle das obrigações contratuais	Controlar cumprimento das obrigações contratuais	Análise Implantação X Contrato	Protocolo contratual final emitido	Relatório final do projeto
Encerramento do contrato	Encerrar contrato de fornecimento	Análise contrato	Contrato encerrado	Relatório final do projeto e registro de lições aprendidas

APÊNDICE B - FASES DO PROCESSO DE REDEFINIÇÃO DA MANUTENÇÃO

PROJETO INFORMACIONAL/CONCEITUAL				
Etapas	Atividade	Método/ Ferramenta	Saída	Resgate do Conhecimento
Política de manutenção	Estabelecer política de manutenção	Análise da metodologia manutenção	Política de manutenção a ser adotada	Manuais de manutenção
Equipamentos atualizados	Estudar sistemas técnicos atualizados	Análise técnica em catálogos e desenhos	Dados técnicos dos equipamentos atualizados	Manuais de manutenção
Conceitos de manutenção	Estudar os conceitos de manutenção	Análise técnica em bibliografia especializada	Entendimento dos conceitos de manutenção existentes	Estudos realizados
Requisitos internos de manutenção	Adequar os conceitos de manutenção aos requisitos internos	Análise dos processos e procedimentos de manutenção	Estabelecimento do conceito de manutenção a ser adotado	Estudos realizados

PROJETO PRELIMINAR				
Etapas	Atividade	Método/ Ferramenta	Saída	Resgate do Conhecimento
Estabelecimento das funções dos equipamentos	Analisar a função dos equipamentos	Análise funcional	Funções dos equipamentos	Manuais de manutenção
Cadastro dos equipamentos	Cadastrar equipamentos	Procedimentos conforme manual de cadastro	Equipamentos cadastrados	Manual de cadastro de equipamentos
Codificação dos equipamentos	Codificar equipamentos	Procedimentos conforme manual de codificação	Equipamentos codificados	Manual de codificação
Criticidade dos equipamentos	Estabelecer a criticidade dos equipamentos	Procedimentos conforme manual de manutenção	Listagem dos equipamentos críticos	Manuais de manutenção

PROJETO DETALHADO				
Etapas	Atividade	Método/ Ferramenta	Saída	Resgate do Conhecimento
Plano de manutenção	Estabelecer plano de manutenção	Aplicação da MCC	Plano de manutenção definido	Manuais de manutenção
Sobressalentes	Definir sobressalentes	Procedimentos conforme manual de material reserva	Equipamentos sobressalentes definidos	Manual de sobressalentes
Estruturação histórico de manutenção	Registrar dados comissionamento	Procedimentos conforme manual de manutenção	Dados iniciais dos equipamentos	Histórico de manutenção

APÊNDICE C - INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS PRIMÁRIOS

- 1) Quais os principais dados técnicos das instalações objeto de atualização tecnológica?
- 2) Quais os principais avanços introduzidos nos reguladores de velocidade nos últimos anos nos equipamentos de natureza mecânica, elétrica e eletrônica?
- 3) Qual órgão na estrutura é responsável pela atualização tecnológica?
- 4) Quais os fatores que determinaram o início do processo de atualização tecnológica?
- 5) Qual a sistemática ou modelo utilizado para implementar o processo de atualização tecnológica?
- 6) Quais as principais dificuldades enfrentadas neste processo?
- 7) Quais as principais itens do escopo do contrato de fornecimento dos novos dos equipamentos?
- 8) Quais as ações implantadas para prevenir os riscos de acesso aos sistemas informatizados?
- 9) Quais as ações previstas ou adotadas para o resgate e a preservação do conhecimento tecnológico associadas ao processo de atualização tecnológica?
- 10) Houve alteração na metodologia de manutenção para a elaboração do plano de manutenção dos novos equipamentos?
- 11) Quais os ganhos esperados para a operação da usina hidrelétrica com o processo de atualização?
- 12) Como se comportavam os equipamentos que compõem o sistema de regulação de velocidade quanto à taxa de falhas e disponibilidade antes da atualização?
- 13) Como se comportam os equipamentos que compõem o sistema de regulação de velocidade quanto à taxa de falhas e disponibilidade depois da atualização?
- 14) Você poderia indicar trabalhos técnico-científicos a respeito deste tema?
- 15) Você indicaria outro profissional que pudesse agregar conhecimento a respeito deste assunto?
- 16) Em sua opinião quais são as tendências da atualização tecnológica na geração de energia hidrelétrica?
- 17) Existe algum aspecto ou questão a respeito do tema que você gostaria de acrescentar?