

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



ORGANIZAÇÃO EFETIVA DA MANUTENÇÃO DE SISTEMAS
ELÉTRICOS AUXILIADA POR TÉCNICAS DE SISTEMAS
COMPUTACIONAIS

Afonso Bernardino de Almeida Junior

Uberlândia
2011

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ORGANIZAÇÃO EFETIVA DA MANUTENÇÃO DE SISTEMAS
ELÉTRICOS AUXILIADA POR TÉCNICAS DE SISTEMAS
COMPUTACIONAIS**

Dissertação apresentada por Afonso Bernardino de Almeida Junior ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Banca Examinadora:

Décio Bispo, Dr. (Orientador) – UFU

Alexandre Cardoso, Dr. – UFU

Sérgio Ferreira de Paula Silva, Dr. – UFU

Enes Gonçalves Marra, Dr. – UFG

ORGANIZAÇÃO EFETIVA DA MANUTENÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS AUXILIADA POR TÉCNICAS DE SISTEMAS COMPUTACIONAIS

Afonso Bernardino de Almeida Junior

Dissertação apresentada por Afonso Bernardino de Almeida Junior ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Prof. Décio Bispo, Dr.
(Orientador) – UFU

Prof. Alexandre Cardoso, Dr.
Coordenador do Curso de Pós-Graduação

DEDICATÓRIA

DEDICO ESTE TRABALHO AOS MEUS PAIS, AFONSO E ZULMIRA, AOS MEUS IRMÃOS, GREICE E THIAGO, À MINHA NAMORADA GABRIELA, PELA COMPREENSÃO E INCENTIVO DEDICADOS A MIM PARA A REALIZAÇÃO DO MESMO E PELA COMPREENSÃO NOS MOMENTOS AUSENTES.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, que através de seus exemplos e ensinamentos pude superar os momentos difíceis.

Ao Prof. Dr. **Décio Bispo** meus sinceros agradecimentos pelo apoio, paciência, incentivo e colaboração durante esta intensa convivência profissional. Agradeço também, pela amizade e confiança dispensada, que, com toda certeza, estão além da conclusão do curso de mestrado.

Aos professores: Dr. **Alexandre Cardoso** e Dr. **Edgard Afonso Lamounier Júnior**, pelo apoio extra durante este trabalho, que, além de incentivo e colaboração, ofereceram sua valiosa amizade.

Aos professores: Dr. **José Roberto Camacho** e Dr. **Marcelo Lynce Ribeiro**, pelo apoio nas disciplinas do curso de pós graduação e nos trabalhos gerados pelas mesmas.

Aos amigos dos laboratórios de Eficiência Energética, Transitórios Eletromagnéticos e Computação Gráfica, em especial: **Paulo César Mota, Elise Saraiva, Ciciane Chiovatto, Marcos Vinícius Silva, Victor de Paula e Silva, Alin Martins, Eduardo Costa, Camilla de Souza e Wedson Gomes** pelo companheirismo e importante apoio que me deram durante toda a dissertação.

Aos amigos do Instituto Federal de Brasília, em especial: **Pablo Josué e Giovani Aud**, pela ajuda oferecida na reta final da dissertação.

Aos demais colegas e professores de pós-graduação, pelo incentivo e apoio que em muito contribuíram para a conclusão desta dissertação.

À **Cinara e Marcília** pela presteza nos encaminhamentos junto à secretaria da Pós Graduação.

À empresa CENTER SHOPPING S/A, através de **Vicente Rodrigues Sobrinho e Victor Campisi Neto**, pelo fornecimento de dados e disposição para ajuda neste trabalho.

À CAPES pelo apoio financeiro.

RESUMO

Organização efetiva da manutenção de sistemas elétricos auxiliada por técnicas de realidade virtual

Um dos grandes desafios de qualquer empresa, seja qual for a sua dimensão, é reduzir seus custos para poder sobreviver no atual contexto da globalização. É o mercado quem define o preço de um produto, portanto, a única maneira de sobreviver e ter lucros é reduzir os custos ao ponto de conseguir margens de compensação. Uma política eficiente de manutenção, em que o objetivo principal é a redução dos custos de manutenção dos meios de produção, torna-se então, uma ferramenta indispensável na vida e para o crescimento de uma indústria. Planos de manutenção sistematizados também fazem coro à eficiência da política gestora da manutenção, tornando o sistema mais prático e eficiente. A tecnologia hoje disponível propicia diversos recursos para um melhor desempenho do setor, tendo a Realidade Virtual um destaque eficaz no treinamento dos procedimentos de manutenção. Desta maneira, o objetivo deste trabalho é o de gerir a manutenção elétrica por meio de um aplicativo que possa associar Realidade Virtual, através da VRML (*Virtual Reality Modeling Language*), para treinar usuários e controlar os procedimentos necessários de um confiável sistema de Manutenção Elétrica.

Palavras chave: Manutenção elétrica, realidade virtual, software de treinamento, apoio à distância, VRML, PCM.

ABSTRACT

Effective organization of the electrical systems maintenance supported by virtual reality techniques

One of the most significant challenge for any company, whatever its size, is to reduce costs to survive in the current context of globalization. The market is who sets the price of a product, so, the only way to survive and make profits is to reduce costs to the point of getting compensation margins. An efficient maintenance policy, where the main objective is to reduce the maintenance costs of the means of production, then becomes an invaluable tool in the life and growth of an industry. Systematic maintenance plans are also aligned to the efficiency of the maintenance policy manager, making the system more practical and efficient. The technology available today provides several resources for a better performance of the sector, with an emphasis to the Virtual Reality effective training of maintenance procedures. Thus, the objective of this work is to manage the electrical maintenance through an application that can associate Virtual Reality, by VRML (Virtual Reality Modeling Language), to train users and control the necessary procedures for a reliable electrical system Maintenance.

Keywords: Electrical Maintenance, virtual reality, training software, remote support, VRML, PCM.

Lista de Símbolos e Abreviaturas

A, B, C (1,2,3)	Contatos do Disjuntor de Pequeno Volume de Óleo
a1 e a2	Fios condutores do esquema do modelo esquemático do Ducter
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAMAN	Associação Brasileira de Manutenção
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
b1 e b2	Fios condutores do esquema do modelo esquemático do Ducter
BD	Banco de Dados
BI	<i>Business Intelligence</i>
C	Capacitância
C#	C Sharp
C1 e C2	Terminais de corrente do Ducter
C ₂ H ₂	Acetileno
C ₂ H ₄	Etileno
C ₂ H ₆	Etano
CH	Isolação entre o enrolamento de alta tensão e a massa
CH ₄	Metano
CHL	Isolação entre os enrolamentos de alta e baixa tensão
CHT	Isolação entre a alta e a média tensão
CL	Isolação entre a baixa tensão e a massa
CLR	<i>Common Language Runtime</i>
CLT	Isolação entre a baixa e a média tensão
CMMS	<i>Computerized Maintenance Management</i>
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
CT	Isolação entre a média tensão e a massa
CT	Classe de tensão
DBP	ditert-butil-fenol
DBPC	Ditert-butil-p-cresol
DLL	<i>Dynamic-link library</i>
DPVO	Disjuntor de Pequeno Volume de Óleo
E	Fonte de tensão Senoidal
E	Terminal do megger – Earth
EAD	Ensino à Distância
EPI	Equipamento de Proteção Individual
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
F	Frequência
f(t)	Função densidade de falha
f.e.m.	Força eletromagnética
FP	Fator de Potência
FRA	<i>Frequency Response Analyzer</i>
G	Terminal do megger - Guard
GUI	<i>Graphic User Interface</i>
H ₂	Hidrogênio
HD	<i>Hard Disk</i> – Disco rígido
HV	<i>High voltage</i> – Alta tensão
I	Corrente
I.R.	Infra-vermelho
I _c	Corrente Capacitiva
I _r	Corrente Resistiva
JIMP	<i>Japan Institute of Plant Maintenance</i>
k	Constante que é função do material do equipamento

k	Número de componentes reparáveis
L	Terminal do megger - Line
LINQ	<i>Language Integrated Query</i>
LV	<i>Low voltage</i> – Baixa tensão
MCC ou RCM	Manutenção Centrada em Confiabilidade ou <i>Reliability Centred Maintenance</i>
MP	Manutenção Preventiva
MTBF	<i>Mean time between failures</i>
MTTR	<i>Mean Time to Recovery</i>
N ₂	Nitrogênio
O ₂	Oxigênio
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
OO	Orientado a Objeto
OT	Ordem de Trabalho
P	Potência
P1 e P2	Terminais de Potencial do Ducter
PCB	Bifenilos Policlorados
PCM	Planejamento e Controle da Manutenção
PDF	<i>Portable Document Format</i>
ppm	Parte por Milhão
R	Resistência ôhmica
R ₁	Resistência Medida
R ₂	Resistência Referida
RA	Realidade Aumentada
R _{AB}	Resistência entre a alta e a baixa tensão
R _{AM}	Resistência entre a alta tensão e a massa
RAM	<i>Random access memory</i>
R _{AMe}	Resistência entre a alta e a média tensão
R _{ar}	Resistência da Armadura
R _{BM}	Resistência entre a baixa tensão e a massa
R _{COM}	Resistência dos Enrolamentos de Compensação
R _{esmalte}	Resistência do Esmalte
R _I	Resistência do enrolamento de interpolo
R _{isolamento}	Resistência do Isolamento
R _{MeB}	Resistência entre a média e a baixa tensão
R _{MeM}	Resistência entre a média tensão e a massa
R _{MÍN}	Resistência de isolamento mínima admissível
ROI	<i>Return On Investment</i>
R _{óleo}	Resistência do óleo isolante
R _{papel}	Resistência do papel
R _s	Resistência corrigida
R _{SE}	Resistência do Campo Série
R _{SH}	Resistência do Campo Shunt
R _T	Resistência Medida
RV	Realidade Virtual
R _{verniz}	Resistência do Verniz isolante
SAE	<i>Society of automotive engineers</i>
SF6	Hexafluoreto de Enxofre
SQL	<i>Structured Query Language</i>
t	Tempo
TC	Transformador de corrente
THDPM	Total de Horas Disponíveis para a Manutenção
THT	Total de Horas de Treinamento
TIF	Tensão interfacial
t _j	Tempo requerido para reparo do sistema ou equipamento em caso de falha do j-

	ésimo componente
TP	Transformador de potencial
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i>
TQC ou CQT	<i>Total Quality Control</i> ou Controle da Qualidade Total
TQM ou GQT	<i>Total Quality Management</i> ou Gestão pela Qualidade Total
V	Tensão
VDE	Eletrodos de Disco
VRML	<i>Virtual Reality Modeling Language</i>
WBS	<i>Work Breakdown Structure</i>
X	Valor a ser mensurado
XML	<i>Extensible Markup Language</i>
Y	Resistência própria do Ducter
δ	Ângulo entre o fasor Corrente e a corrente capacitiva
θ	Temperatura do enrolamento
θ_1	Temperatura ambiente
θ_2	Temperatura de Referência
θ_s	Temperatura de referência
λ_j	Taxa de falha constante do j-ésimo componente reparável do sistema
ϕ	Ângulo entre o fasor Corrente e a corrente resistiva

Lista de Figuras

Figura 2.1: Evolução do treinamento de manutenção no Brasil	29
Figura 2.2: Evolução Tecnológica da Manutenção no Brasil.	30
Figura 2.3: Atividades comandadas pela Política de Manutenção.....	33
Figura 2.5: Organização Mínima da Manutenção Corretiva.....	38
Figura 2.6: Tarefas de Manutenção Preventiva X Corretiva.....	39
Figura 2.7: Organização da Manutenção Preventiva.	41
Figura 2.8: Diagrama de decisão do tipo de manutenção clássica.	44
Figura 2.9: Termografia de um Quadro de Distribuição.....	45
Figura 2.10: Principais processos que integram a função manutenção.....	46
Figura 2.11: Metas da Manutenção.....	48
Figura 3.1: Modelo de uma Ordem de Trabalho.....	57
Figura 3.2: Modelo de uma Ficha histórica de um Transformador.....	58
Figura 3.3: Modelo de uma Ficha de Tempos de um Transformador.....	60
Figura 3.4: Modelo de uma Ficha de Características de um Transformador.	60
Figura 3.5: Organograma Típico empresarial onde a manutenção é implantada corretamente.	66
Figura 4.1: Diagrama Unifilar utilizado como modelo.	69
Figura 4.2: Modelo de medição com termopar.	71
Figura 4.3: Modelo de funcionamento de termoresistências.....	72
Figura 4.4: Ajuste do acionamento elétrico de um termômetro bimetálico.	72
Figura 4.5: Utilização de um termovisor.....	73
Figura 4.6: Ensaio de buchas tradicional e teste do colar múltiplo, respectivamente.....	75
Figura 4.7: Isolação sujeita à tensão alternada.	77
Figura 4.8: Ensaio de isolamento em câmara de um disjuntor utilizando o doble M2H de 10 kV.	79
Figura 4.9: Utilização do Ducter no DPVO	81
Figura 4.10: Microhmímetro Ducter.	82
Figura 4.11: Modelo esquemático do Ducter.	83
Figura 4.12: Modelo esquemático da ligação utilizando o megger.....	85
Figura 4.13: Relação entre temperatura e o fator de correção da resistência de isolamento	86
Figura 4.14: Megômetro Megger.	86
Figura 4.15: Procedimento para amostragem do óleo isolante.	90
Figura 4.16: Procedimento de filtragem de óleo de um transformador.	94
Figura 4.17: Isolações de transformadores de dois e três enrolamentos, respectivamente	96
Figura 4.18: Diagrama esquemático do ensaio 1 em transformadores de dois enrolamentos	97
Figura 4.19: Resistência das isolações de transformadores de dois e três enrolamentos, respectivamente	98
Figura 4.20: Medições da resistência de isolamento no transformador de dois e três enrolamentos, respectivamente	99
Figura 4.21: Enrolamento ligado em, respectivamente, estrela e delta.....	102
Figura 4.22: Diagrama de ligação do qualímetro – Sistema estrela e delta, respectivamente.	105
Figura 4.23: Diagrama de ligação do hipot em cabos blindados e não blindados, respectivamente.....	107
Figura 4.24: Diagrama de ligação do hipot em cabos isolados.....	107
Figura 4.25: Circuito de funcionamento do Hipot.	108
Figura 4.26: Operação do Hipot.....	108
Figura 4.27: Esquema de medição da resistência de isolamento no motor.....	111
Figura 4.28: Verificação do alinhamento do eixo do motor em relação à carga acionada.	113
Figura 4.29: Utilização do termovisor no motor.	114
Figura 5.1: Ambiente de Desenvolvimento – Microsoft Visual Studio 2010.....	123
Figura 5.2: Arquitetura do sistema VRML	126
Figura 5.3: Utilização do VRMLpad – Motor de Indução.....	126
Figura 5.4: Utilização do 3DS Max 2010 – Motor de Corrente Contínua	127
Figura 5.5: Esquema simplificado da estrutura do aplicativo	128

Figura 5.6: Relacionamentos do banco de dados	129
Figura 5.7: Propriedades e definição da tabela “Barramento”, respectivamente	130
Figura 5.8: Interface Inicial – Diagrama Unifilar	131
Figura 5.9: Interface Inicial – Janela de controle	131
Figura 5.10: Janela de consulta de equipamentos	132
Figura 5.11: Ficha de tempo – Chave Seccionadora	132
Figura 5.12: Ficha histórica – Disjunto de pequeno volume de óleo	133
Figura 5.13: Catálogo do Motor de indução	133
Figura 5.14: Interface de vídeos – Resistência de isolamento do motor de indução	134
Figura 5.15: Interface de adição – Chave Seccionadora	135
Figura 5.16: Ficha de manutenção – Chave Seccionadora	136
Figura 5.17: Medição do ângulo de perda com o Doble – Chave Seccionadora	136
Figura 5.18: Interface de adição - DPVO	137
Figura 5.19: Detalhamento do procedimento de manutenção do DPVO	138
Figura 5.20: Interface de adição - Transformador	138
Figura 5.21: Ficha de manutenção - Transformador	139
Figura 5.22: Detalhamento do procedimento de manutenção do transformador	139
Figura 5.23: Interface de adição - Cabo	140
Figura 5.24: Detalhamento do procedimento de manutenção do cabo	140
Figura 5.25: Procedimento de utilização do Hipot em cabos: conexão da alta tensão e retorno, respectivamente	141
Figura 5.26: Ficha de manutenção - Barramento	141
Figura 5.27: Detalhamento do procedimento de manutenção - Barramento	142
Figura 5.28: Interface de adição – Motor de indução	142
Figura 5.29: Detalhamento do procedimento de manutenção – Motor de indução	143
Figura 5.30: Ficha de manutenção – Motor de Corrente Contínua	143
Figura 5.31: Detalhamento do procedimento de manutenção – Motor de corrente contínua	144
Figura 5.32: Visualização da impressão de uma OT	145
Figura 5.33: Verificação do MTTR de equipamentos previamente cadastrados	146
Figura 5.34: Evolução do índice “confiabilidade” de um equipamento	146
Figura 6.1: Diagrama Unifilar Simplificado – Center Shopping S/A	150
Figura 6.2: Diagrama unifilar do sistema modelado	151
Figura 6.3: Interface de pesquisa sistemática	154
Figura 6.4: Visualização e impressão de uma ordem de trabalho personalizada, respectivamente	155
Figura 6.5: Índice de equipamentos cadastrados	155
Figura I.1: Iceberg do Desperdício e as Perdas Ocultas	181
Figura I.2: Visão Geral das abordagens de manutenção	183

Lista de Tabelas

Tabela 2.1: Crescimento das Expectativas x Evolução da Manutenção.	35
Tabela 4.1: Procedimentos típicos de lubrificação.....	74
Tabela 4.2: Correção do fator de potência de perdas a 20°C, General Electric e Westinghouse.....	76
Tabela 4.3: Avaliação da qualidade de isolamento de buchas, a 20 °C.....	76
Tabela 4.4: Valores típicos de resistência de contato de DPVO's.	81
Tabela 4.5: Ligações de ensaio do DPVO.....	85
Tabela 4.6: Parâmetros para inspeção visual de transformadores.....	88
Tabela 4.7: Classes de temperatura de materiais isolantes.....	90
Tabela 4.8: Especificação de ensaios para o óleo mineral isolante.....	91
Tabela 4.9: Relação entre gases dissolvidos e condições de falha.....	92
Tabela 4.10: Ligações para medição do fator de potência de perdas de transformadores	97
Tabela 4.11: Ligações para medição da resistência de isolamento de transformadores	98
Tabela 4.12: Valores padrões para teste em cabos.....	106
Tabela 4.13: Teste de continuidade para motores de seis e doze terminais	110
Tabela 4.14: Manutenções de lubrificação em motores.	112
Tabela 4.15: Procedimentos para verificação da condição de acoplamento em motores.	113
Tabela 4.16: Pressão recomendada nas escovas.....	117
Tabela 5.1: Utilização de Softwares de manutenção no Brasil.	120
Tabela 5.2: Aplicações da Informática na Manutenção	121
Tabela 6.1: Requisitos mínimos de hardware e software.....	150
Tabela 6.2: Configuração do computador utilizado no estudo de caso.....	151
Tabela 6.3: Dados do sistema a ser modelado	152

Sumário

CAPÍTULO 1.....	19
1.1 Aspectos gerais.....	20
1.2 Objetivos	22
1.3 Estado da Arte	22
1.4 Contribuições desta Dissertação.....	24
1.5 Estrutura da Dissertação.....	24
CAPÍTULO 2.....	26
2.1 Considerações Iniciais.....	27
2.2 A Manutenção no Brasil.....	28
2.3 A Terotecnologia – A concepção Global da atual Manutenção.....	30
2.4 O Histórico da Manutenção.....	32
2.5 Tipos de Manutenção	36
2.5.1 Clássicas	36
2.5.1.1 Manutenção Corretiva.....	36
2.5.1.2 Manutenção Preventiva.....	39
2.5.1.3 Manutenção Preditiva.....	42
2.5.1.4 Escolha de Metodologia clássica.....	43
2.5.2 Modernas.....	44
2.5.2.1 Manutenção Detectiva.....	44
2.5.2.2 Manutenção Pró-Ativa	45
2.6 Organização da Manutenção	46
2.7 Conclusão.....	49
CAPÍTULO 3.....	50
3.1 Considerações Iniciais.....	51
3.2 Planejamento da Manutenção.....	52
3.3 Preparação do trabalho	52
3.4 Etiquetagem.....	55
3.5 Ordem de Trabalho.....	55
3.6 Fichário Histórico.....	57
3.7 Fichário Temporal	59

3.8 Fichas de Características	60
3.9 Matrizes de Manutenção Padronizadas	61
3.10 Comunicação entre a Manutenção e o Almoxarifado de Peças	62
3.11 Graus de prioridade	63
3.12 Biblioteca Técnica.....	63
3.12.1 Manuais	63
3.12.2 Catálogos	64
3.12.3 Desenhos e Esquemas	64
3.12.4 Treinamento Contínuo.....	64
3.13 Posição da Manutenção no organograma de uma empresa.....	65
3.14 Conclusão	67
CAPÍTULO 4.....	68
4.1 Considerações Iniciais	69
4.2 Planos de Manutenção.....	70
4.3 Chave seccionadora.....	70
4.3.1 Inspeção Visual	70
4.3.2 Análise da temperatura.....	70
4.3.2.1 Termopares.....	71
4.3.2.2 Termoresistências.....	71
4.3.2.3 Termômetros Bimetálicos	72
4.3.2.4 Termovisor	73
4.3.3 Manutenção Mecânica.....	73
4.3.4 Limpeza	74
4.3.5 Fator de potência de perdas	74
4.3.5.1 Doble	77
4.4 Disjuntor de pequeno volume de óleo.....	79
4.4.1 Aperto dos conectores	79
4.4.2 Inspeção visual	80
4.4.3 Simultaneidade dos polos.....	80
4.4.4 Lubrificação	80
4.4.5 Resistência de contato	81
4.4.5.1 Ducter.....	82
4.4.6 Resistência de Isolamento	84
4.4.6.1 Megger	86
4.5 Transformador	88
4.5.1 Inspeção Visual	88
4.5.2 Medições	89
4.5.3 Verificação de ruídos	89
4.5.4 Verificação do relé buchholz.....	89
4.5.5 Análise do óleo isolante	89
4.5.6 Secador de ar	94
4.5.7 Sistema de circulação de óleo	95

4.5.8 Sistema de ventilação	95
4.5.9 Caixas terminais	95
4.5.10 Limpeza de buchas e isoladores	95
4.5.11 Análise de temperatura.....	96
4.5.12 Fator de potência de perdas	96
4.5.13 Resistência de isolamento	97
4.5.14 Resistência Ôhmica	100
4.5.14.1 Método da queda de tensão	100
4.5.14.2 Método voltímetro-amperímetro	102
4.5.15 Atuações de emergência.....	102
4.5.15.1 Ruído interno anormal.....	103
4.5.15.2 vazamento forte do óleo	103
4.5.15.3 Dispositivo de pressão atuado	103
4.5.15.4 Relé de gás atuado.....	103
4.5.15.5 Quebra do diafragma da válvula de segurança.....	103
4.5.15.6 Aquecimento excessivo nos conectores, verificados por termovisão	103
4.5.15.7 Anomalia nos acessórios de proteção e medição	104
4.6 Cabos	104
4.6.1 Aperto dos conectores	104
4.6.2 Análise de temperatura.....	104
4.6.3 Análise harmônica.....	104
4.6.3.1 Qualímetro.....	104
4.6.4 Verificação do desequilíbrio	106
4.6.5 Verificação da isolação	106
4.6.5.1 Hipot.....	107
4.7 Barramento	109
4.7.1 Análise de temperatura.....	109
4.7.2 Aperto dos conectores	109
4.7.3 Limpeza do barramento.....	109
4.7.4 Medição da resistência ôhmica	109
4.8 Motor de Indução	109
4.8.1 Medição da resistência ôhmica	110
4.8.2 Resistência de isolamento	111
4.8.3 Mancal e lubrificação	112
4.8.4 Fixação das bases e alinhamento.....	112
4.8.5 Condições de acoplamento.....	113
4.8.6 Desequilíbrio	113
4.8.7 Distorção harmônica	114
4.8.8 Análise de temperatura.....	114
4.8.9 Vibração	114
4.9 Motor de corrente contínua	115
4.9.1 Teste de continuidade e medição da resistência elétrica	115
4.9.2 Resistência de isolamento	115
4.9.3 Mancais e Lubrificação	116
4.9.4 Fixação e Alinhamento.....	116
4.9.5 Condições de acoplamento.....	116
4.9.6 Análise de temperatura.....	116
4.9.7 Verificação das escovas	116
4.10 Conclusão.....	117

CAPÍTULO 5	119
5.1 Considerações Iniciais.....	120
5.2 Ferramentas computacionais utilizadas.....	121
5.2.1 C#	122
5.2.2 SQL Server 2008.....	123
5.2.3 LINQ – Language Integrated Query	124
5.2.4 VRML	125
5.3 Estrutura do aplicativo	127
5.4 Implementação do aplicativo	128
5.4.1 Banco de Dados.....	128
5.4.2 Interface Inicial	130
5.4.3 Ficha de tempo	132
5.4.4 Ficha histórica	132
5.4.5 Catálogo	133
5.4.6 Vídeos.....	134
5.4.7 Equipamentos	134
5.4.7.1 Chave Seccionadora	135
5.4.7.2 Disjuntor de pequeno volume de óleo.....	137
5.4.7.3 Transformador.....	138
5.4.7.4 Cabos.....	140
5.4.7.5 Barramento	141
5.4.7.6 Motor de Indução	142
5.4.7.7 Motor de Corrente Contínua	143
5.4.8 Ordem de trabalho.....	144
5.4.9 Índices e relatórios gráficos.....	146
5.5 Conclusão	147
 CAPÍTULO 6	 148
6.1 Considerações Iniciais.....	149
6.2 Estudo de caso do sistema real.....	149
6.3 Configurações e especificações do aplicativo.....	150
6.4 Aplicação da metodologia em um sistema real.....	151
6.5 Considerações finais.....	156
 CAPÍTULO 7	 157
7.1 A pesquisa	158
7.2 Trabalhos Futuros.....	160
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 161

ANEXOS	165
Anexo A	166
Anexo B.....	171
 APÊNDICES	 178
Apêndice I	179
Total Productive Maintenance (TPM).....	179
Reliability-Centered Maintenance (RCM)	181
Gestão de Ativos Físicos Industriais (Asset Management).....	183
Controle da Qualidade Total (TQC).....	184
Apêndice II.....	186
Tabela I: Correção do FP de perdas - General Eletric e Westinghouse	186
Tabela II: Correção de FP de perdas - Ohio Brass e Líquidos isolantes.....	187
Tabela III: Correção da medição da resistência de isolamento, a 20°C.....	188

CAPÍTULO 1

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1 ASPECTOS GERAIS

O ambiente competitivo atual obrigou as organizações a realizarem mudanças em suas formas de gerenciamento e funcionamento. Assim, tornou-se essencial uma mudança nos paradigmas enraizados na cultura industrial. As novas regras do jogo competitivo são especialização, inovação, rapidez, serviços de alta qualidade, melhoria e aplicação de novos conhecimentos. Visando este cenário atual, a função da manutenção desempenha um papel estratégico, pois sua eficácia define os rumos da excelência da produção.

Com o advento da automação industrial e a utilização de tecnologias inovadoras, o setor de manutenção agrega mais responsabilidade sobre si. A função da manutenção passa a ser a garantia dos serviços essenciais ao conforto, segurança e bem estar da humanidade, seja de equipamentos, instalações ou processos. O conjunto das atividades exercidas pelo setor de manutenção caracteriza no presente e define os caminhos futuros a serem trilhados pelo empreendimento, caminhos esses que podem ser de sucessos ou de fracassos.

Diretamente ligada ao processo produtivo, a manutenção tem o intuito de promover a continuidade operacional, a obtenção de produtos dentro da conformidade exigida e o atendimento da quantidade a ser produzida nos prazos determinados [1].

O planejamento e controle da manutenção (PCM) é essencial para o desempenho da empresa, pois não se pode confiar indubitavelmente em um sistema que pode apresentar debilidades. Assim, o PCM organiza e aperfeiçoa a função da manutenção, tornando a empresa mais eficiente e adequada à competitividade gerada pelo mercado.

No Brasil a manutenção apresenta um panorama evolutivo defasado, quando comparado a países considerados mais desenvolvidos, tendo acarretado diversos problemas de confiabilidade que já não são mais admitidos pelo mercado. No entanto, com o passar dos anos e o amadurecimento industrial, fez-se sentir a necessidade de reestruturação no nível da filosofia da organização da manutenção, de modo que hoje, já se tem um esforço maior nesse sentido, e pode-se dizer, que a manutenção ganha seu destaque no processo produtivo, como não poderia deixar de ocorrer, em benefício próprio das empresas e indústrias [2].

Alguns problemas ainda surgem, apesar dessa melhora da estruturação da manutenção no país, pois ainda existe uma grande escassez de dados requeridos pela manutenção e de pessoal previamente treinado [3]. As rotinas de manutenção, muita das vezes, são dinâmicas (não sistematizadas), ocasionando em um sério problema para o setor organizacional da manutenção e, além disso, existe um registro irrisório do histórico da manutenção.

Em sua maioria, a implantação da manutenção se resume apenas na corretiva, ocasionando uma baixa utilização anual dos equipamentos, paradas não programadas, e uma gama de problemas que poderiam ser evitados, caso o planejamento fosse mais estudado.

Para um melhor desempenho, na fase de operação dos equipamentos e instalações, deve-se concentrar a atenção e energia sobre alguns fatores como a adequação e utilização dos equipamentos, sobre a eficiência da manutenção ou sobre a sua organização. Por isso não basta possuir equipamentos confiáveis para obter elevados índices de disponibilidade, visto que se a manutibilidade do equipamento não estiver afinada, os resultados finais serão fortemente afetados com impactos negativos ao nível do retorno do investimento.

A adequação de um empreendimento tecnológico em um planejamento mais eficaz requer também um sistema de gerenciamento que consiga organizar e planejar os procedimentos a serem realizados. Tal sistema, que ainda hoje é encontrado na forma de escritórios de planejamento contendo documentos impressos ou escritos à mão, ainda pode ser melhorado com o advento da tecnologia, possuindo inúmeros recursos por ela proporcionados.

Na atualidade, se torna cada vez mais difícil um PCM funcionar sem o auxílio de um aplicativo, diante do volume de informações a serem processadas e a ineficácia dos controles manuais e de planilhas eletrônicas, acarretando atrasos e pobreza da qualidade dos dados fornecidos para a tomada de decisão gerencial. Esta tendência do mercado é comprovada quando verifica-se que cerca de 98,3% das empresas consultadas pela ABRAMAN utilizam sistemas informatizados de manutenção, ou seja, já não há mais espaço para controles limitados e registros arcaicos [4] [2].

Uma das ferramentas tecnológicas que pode ser utilizada eficazmente no sistema de manutenção é a Realidade Virtual (RV). A RV pode ser utilizada para facilitar o procedimento de treinamento, fazendo com que o usuário não corra nenhum risco e obtenha um desempenho aceitável para o dado procedimento.

Apontam como principais vantagens da utilização de técnicas de realidade virtual para fins de treinamento técnico, nesta específica pesquisa de conjunto de ambientes virtuais aplicados na área de manutenção elétrica, os seguintes itens [5]:

- Motivação dos usuários de forma geral, baseada na experiência de visualizar o funcionamento de um equipamento virtualmente;
 - Grande poderio de ilustrar características e processos, em relação a outros meios multimídias;
 - Permite visualização em detalhe dos equipamentos da área da engenharia elétrica;
 - Poder permitir a visualização de aparelhos de forma imersiva;
-

- Permite experimentos virtuais, principalmente na falta de recursos, para fins educação virtual interativa;
- Permite ao aprendiz, a partir da teoria dada em livros entender, o funcionamento interno de um aparelho sem ter que desmontá-lo;
- Pelo fato de requerer interação, exige que cada participante se torne ativo dentro de um processo de visualização;
- Encoraja a criatividade do usuário, que estará mais motivado por visualizar características internas de uma peça;
- Provê igual oportunidade de comunicação para usuários de culturas diferentes, a partir dos modelos virtuais;
- Ensina habilidades computacionais e de domínio de periféricos.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo desta dissertação consiste em adequar uma metodologia de manutenção proposta em um aplicativo que organize e padronize os procedimentos ligados aos serviços de manutenção, através de um banco de dados conciso e eficiente, facilitando a obtenção de informações.

Com a utilização do aplicativo, pode-se gerenciar a estratégia de manutenção através de planos preventivos, de forma a garantir que as tarefas planejadas sejam automaticamente emitidas em forma de uma ordem de trabalho (OT). Além disso, o aplicativo pode fornecer relatórios de histórico dos equipamentos, bem como os índices de manutenção consolidados.

Por meio de interação com os ambientes virtuais, o aplicativo tem também o objetivo de prover ao usuário a possibilidade de observar com precisão os equipamentos que compõem o sistema elétrico industrial, inclusive fornecer visualizações importantes que podem não ser possíveis no ambiente real.

Desta maneira, este trabalho visa realizar a integração da RV aplicada à manutenção do sistema elétrico industrial, com o olhar voltado ao treinamento de rotinas, tornando propícia a utilização por técnicos e administradores do sistema de manutenção, tornando o sistema mais intuitivo, seguro e eficaz [6].

1.3 ESTADO DA ARTE

Como todo trabalho de pesquisa, este se iniciou com um levantamento bibliográfico sobre os mais diversos assuntos relacionados com as metodologias de manutenção. Através de tais pesquisas

obteve-se um expressivo conjunto de informações que orientam sobre os mais distintos trabalhos de pesquisa e avanços do conhecimento no contexto aqui enfocado.

Desta forma, a referência [2] explica qual procedimento deve ser tomado para um mínimo PCM, demonstrando toda a implementação das políticas de manutenção. Nessa referência também são mostradas algumas técnicas utilizadas para se controlar o almoxarifado e o histórico da manutenção no mundo e no Brasil. O histórico da manutenção também é tratado na referência [7].

A referência [8] já trata de uma nova visão relativa ao futuro da manutenção, tendo um olhar mais sistemático quando trata da medicina de sistemas. É possível encontrar nesta referência o histórico paulatino da evolução da manutenção no Brasil. A referência [4] traz os dados relativos à situação atual da manutenção no Brasil.

[8] e [9] explicam as divisões da manutenção, em clássicas e em modernas, abordando sua empregabilidade em cada sistema de manutenção. Abordam também todo o processo organizacional mínimo da manutenção. Já a referência [10] trata da terotecnologia, o conceito atual da manutenção.

Em [3] utiliza-se uma abordagem bastante eficaz no setor organizacional da manutenção, explicando os processos e procedimentos básicos para execução da mesma. Procedimentos e planos a serem desenvolvidos, assim como toda a estruturação da manutenção, são abordados nesta referência.

Em [11] e em [1] existe uma abordagem sistemática dos índices de manutenção mais utilizados pelo setor, demonstrando seus cálculos e sua utilização no contexto da engenharia de confiabilidade. Além disso, encontram-se nestas referências os planejamentos realizados para a escolha de um modelo gestor da manutenção.

O sistema organizacional da manutenção também é tratado na referência [12], que descreve o funcionamento do setor. A referência [9] trata os termos utilizados pelos gestores do setor em questão.

Os planos de manutenção são tratados pelas referências [13], [14] e [15], contendo os procedimentos a serem executados para manutenção dos principais equipamentos elétricos encontrados na indústria brasileira, tendo também os equipamentos medidores utilizados para sua execução.

As referências [16], [17] e [18] abordam a utilização de sistemas informatizados para o treinamento de técnicos de manutenção, demonstrando a importância do treinamento contínuo agregado com a utilização de aplicativos computacionais para gerenciar o PCM. É evidenciado nestas referências a importância de sistemas computacionais de suporte.

A referência [5] trata da utilização de técnicas de realidade virtual (RV) e aumentada (RA), fundamentado conceitos e definições, como ferramenta de suporte tecnológico. A referência [19]

apresenta um estudo demonstrando a validade da utilização de RV e a referência [20] trata da maneira mais eficaz de se apresentar dados ao usuário, utilizando a visualização da informação.

1.4 CONTRIBUIÇÕES DESTA DISSERTAÇÃO

A principal contribuição deste trabalho é a sistematização dos planos de manutenção, auxiliados por um controle feito via *software*, assistido por realidade virtual. As estratégias apresentadas visam controlar parte do processo de manutenção, caminhando desde a manutenção corretiva até a preventiva (com algumas técnicas da manutenção detectiva), sendo que os procedimentos mantenedores a serem efetuados são demonstrados através de técnicas de realidade virtual.

Os ambientes virtuais modelados visam treinar o usuário previamente à execução de qualquer procedimento a ser realizado, com intuito de se evitar possíveis erros decorrentes de uma má execução. Além disso, os registros realizados das tarefas do setor de manutenção são armazenados em um banco de dados, fazendo com que o controle e o planejamento seja auxiliado pelo *software*, trazendo informações pertinentes para o gestor da manutenção.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Para alcançar os objetivos propostos, além do presente capítulo, este trabalho encontra-se assim estruturado:

Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica

Este capítulo apresenta um escopo teórico da área de manutenção, levando em conta o sistema de gestão e organização das equipes. É apresentada a evolução da manutenção, inclusive as etapas de implantação das metodologias estudadas. O atual cenário da manutenção no Brasil também é apresentado neste capítulo.

Capítulo 3 - Organização da Manutenção

Nesta etapa é apresentada a estrutura da organização da manutenção, bem como seus planejamentos visando a verticalização das metodologias clássicas. A ordem de trabalho é abordada como ferramenta de extrema importância no funcionamento da manutenção, assim como as fichas características, históricas e temporais. A utilização de graus de prioridade e o panorama da localização do setor de manutenção na empresa também são abordados.

Capítulo 4 - Planos de Manutenção

Definido o sistema mínimo organizacional da manutenção, deve-se agora abordar

os planos de manutenção a serem executados nos equipamentos presentes no setor elétrico. Os planos sistematizados são apresentados nesta etapa, partindo de um diagrama unifilar básico que contém: chave seccionadora, disjuntor de pequeno volume de óleo, transformador, cabo, barramento, motor de indução e motor de corrente contínua.

Capítulo 5 - Sistemas Informatizados para o PCM

Neste capítulo são apresentados os procedimentos executados para a implementação do aplicativo proposto. As ferramentas utilizadas para tanto são demonstradas nesta etapa, bem como o processo de modelagem 3D dos equipamentos descritos na etapa anterior.

Capítulo 6 - Aplicação da metodologia: Estudo de caso

Neste capítulo são apresentados os dados obtidos de uma empresa real, o Center Shopping S/A, e a modelagem dos mesmos no aplicativo implementado. A demonstração da utilização do aplicativo em situações reais é visualizada neste capítulo.

Capítulo 7 - Conclusões

Finalmente este capítulo tem por objetivo apresentar as principais discussões e conclusões finais dos capítulos que formam essa dissertação. Além disso, serão ressaltadas as principais contribuições deste trabalho e algumas sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo se destina a desenvolver um escopo teórico relativo ao tema de Manutenção e é fundamentado em publicações oriundas deste assunto, com uma atenção especial ao sistema de gestão e organização das equipes, visando dar consistência à construção do conhecimento e embasamento para o modelo a ser adotado.

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A palavra manutenção significa manter o que se tem, e desde que o homem manuseia instrumentos de produção sua importância vem sendo cada vez mais destacada. Devido à Revolução Industrial no fim do século XVIII, a sociedade começou a necessitar de um sistema robusto de produção, visando uma maior demanda de bens de consumo. Já no século XX as revoluções atingiram um patamar bastante peculiar, tendo uma evolução tecnológica muito impactante no modo de vida da sociedade.

Os bens de produção são um grande exemplo da alarmante velocidade da evolução tecnológica que transforma toda a sociedade. Bens que demoravam quase meio século entre sua invenção e comercialização passam a ser comercializados no mesmo ritmo em que aparecem [2].

O surgimento de equipamentos cada vez mais sofisticados e que possuem uma alta produtividade fez com que a exigência de uma disponibilidade operacional aumentasse de maneira bastante significativa, fazendo com que os custos de inatividade e de subatividade aumentassem na mesma proporção. Uma conclusão pode ser tirada dessa mudança: não basta possuir os instrumentos de produção, se torna essencial saber usá-los de forma produtiva e racional. Tendo como base tais ideias as técnicas de organização, planejamento e controle no setor industrial passaram por uma revolução.

A manutenção no setor industrial surge como função do sistema produtivo do século XVI com o surgimento dos primeiros teares mecânicos, época que foi marcada pelo abandono da produção artesanal de um sistema feudal e o início de um processo de acúmulo originado de capitais e uma coexistência de formas variadas e antagônicas de produção. Nesta época o fabricante agregava aos operários as funções de operação e manutenção, não existindo uma equipe específica para a manutenção [7].

No início do século XX as primeiras técnicas de planejamento de serviços começam a serem moldadas, através de Taylor e Fayol, e, em seguida, o gráfico de Gantt. Porém foi na Segunda Guerra em que a manutenção passa a ter um papel de necessidade absoluta, quando surgiu um desenvolvimento extraordinário das técnicas de tomada de decisão. O termo “manutenção” decorre de um vocábulo utilizado pelas forças militares, onde nas unidades de combate tinha o significado de manter os materiais e os homens em um nível ótimo de “operação”.

Devido à rápida evolução dos instrumentos de produção e ao constante progresso dos meios de comunicação, o atual estágio do capitalismo arrasta para a torrente da civilização consumista, mesmo em países em desenvolvimento. Para que estes tenham condições de competitividade de mercado é preciso que seus meios de produção possuam um arsenal consistente em tecnologia avançada, recursos humanos qualificados, programas concisos de qualidade, produtos competitivos e, também, um plano de manutenção dos instrumentos de produção que se mostre eficaz e robusto.

O Planejamento e Controle da manutenção (PCM) para um desempenho eficaz da empresa é uma condição essencial (apesar de não ser única), pois seria inviável para a mesma confiar indubitavelmente em um sistema que pode apresentar debilidades. A manutenção, então, cuida dos intramuros de uma companhia e o PCM a organiza e aperfeiçoa; se este for eficiente, a empresa terá um desempenho financeiro adequado para coexistir com o mercado globalizado do qual participa, possuindo além de tudo, um produto com qualidade superior e preço competitivo.

Fazendo uma análise sobre esse ponto de vista, chega-se a conclusão de que o aperfeiçoamento dos métodos de conservação e de extração máxima da capacidade de produção física de uma empresa se constitui em uma missão que perpetua em todos os aspectos do produto final. Desta forma a manutenção não pode se conter em apenas corrigir problemas cotidianos, mas deve buscar uma melhoria constante, tendo como norte o aproveitamento máximo dos instrumentos de produção, aliado ao defeito zero [8].

2.2 A MANUTENÇÃO NO BRASIL

Após a abertura dos portos em 1990, a indústria nacional teve que se ater ao fato de que o mercado agora exigia um padrão de qualidade total em seus produtos e serviços, conjugada a um custo operacional capaz de permitir um maior poder de competição do produto nacional com os estrangeiros que aportavam cada vez em maior número em nosso território.

“A globalização não é um modismo, mas um sistema internacional. E tem suas regras, sua lógica interna, com pressões, incentivos, oportunidades e mudanças que afetam a vida de cada país, como o Brasil, de cada comunidade, e também a das empresas em que cada um de nós trabalha” [21].

Devido ao rápido aperfeiçoamento dos instrumentos de produção e o constante progresso dos meios de comunicação, o atual estágio do capitalismo arrasta para a torrente da civilização do consumo mesmo os países mais atrasados. Para que estes tenham condições de sobrevivência em tal contexto, é preciso que seus meios de produção se armem de tecnologia de ponta, excelentes recursos humanos, programas consistentes de qualidade, produtos competitivos e também um eficaz plano de manutenção dos instrumentos de produção [21].

Ainda analisando nesse ponto de vista, o aperfeiçoamento dos métodos de conservação e retirada máxima da capacidade maquinaria constitui um objetivo que se encontra presente em todos os aspectos do produto final. Assim a manutenção não apenas corrigirá algum problema esporádico, mas sempre visará uma melhora constante, tendo como base o aproveitamento máximo dos instrumentos de produção, já vislumbrando a área da eficiência energética. Para tanto, várias formas de organização e planejamento vêm sendo estudadas e implantadas no setor industrial.

Metodologias organizacionais vêm sendo implantadas e estão obtendo excelentes resultados, e as novas perspectivas, devido à enorme evolução do setor de informática e tecnologia da informação, vêm acelerando o desenvolvimento das mesmas, porém esse desenvolvimento, e seu consequente resultado positivo, só se dá quando está aliado à uma equipe de profissionais treinados, especializados e motivados para a completa execução de seu escopo. O Brasil, em 2009, infelizmente apresentou um declínio nas horas destinadas ao treinamento da manutenção, conforme representa a Figura 2.1, onde THT é o total de horas de treinamento e o THDPM é o total de horas disponíveis para a manutenção [4].

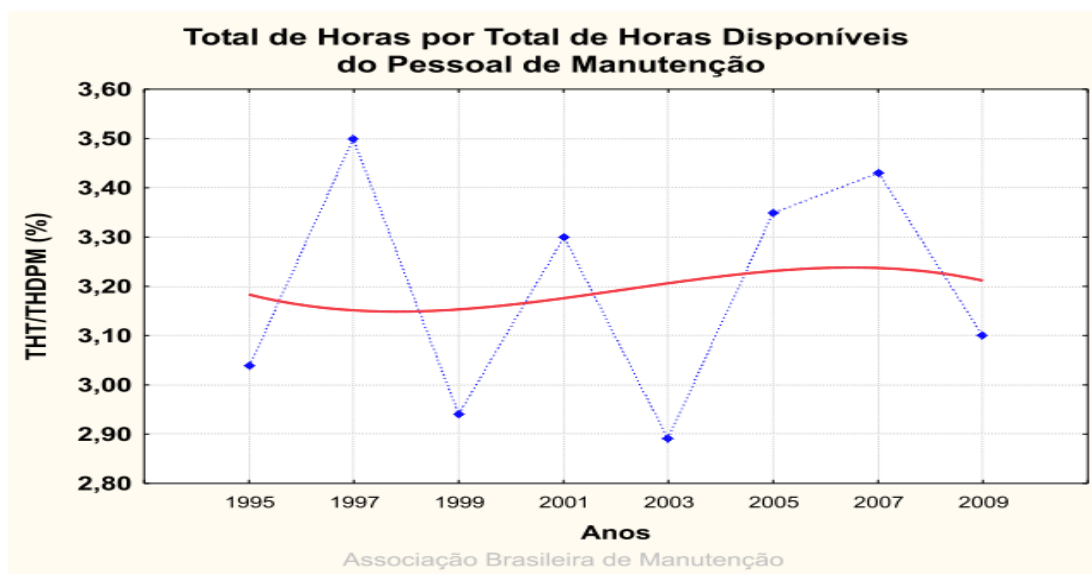


Figura 2.1: Evolução do treinamento de manutenção no Brasil.

No Brasil, a evolução da Manutenção tem um panorama simplificado conforme representa a Figura 2.2, onde se tem a TPM (*Total Productive Maintenance* – Apêndice I) e os *softwares* ERP (*Enterprise Resource Planning*) [2].



Figura 2.2: Evolução Tecnológica da Manutenção no Brasil.

2.3 A TEROTECNOLOGIA – A CONCEPÇÃO GLOBAL DA ATUAL MANUTENÇÃO

Ainda hoje, na grande maioria dos empreendimentos tecnológicos, os responsáveis pela manutenção se encontram ausentes dos grupos que concebem, projetam e montam as usinas e as instalações industriais e serviços [10].

Projetar e montar uma instalação, sem que ninguém, até no momento da partida, trate da organização e da sistematização prévias das atividades de manutenção, constitui uma falha.

Nesses casos, nos primeiros meses de funcionamento, é normal acumularem-se problemas graves e multiplicarem-se e alongarem-se as paradas por defeitos devido às seguintes insuficiências:

- Ausência de pessoal de manutenção com conhecimento inicial profundo das instalações;
- Escassez de dados de consulta necessários para a correta pesquisa de anomalias e para referência dos procedimentos e peças de substituição a usar, isto é, má organização da biblioteca de manuais técnicos e de manuais de manutenção;
- Escassez de desenhos de projeto detalhado que correspondam corretamente aos equipamentos instalados e às conexões efetuadas;
- Ausência de estoques corretos de peças de reposição, no que se refere à qualidade ou à quantidade dos itens de almoxarifado;
- Inexistência de rotinas de manutenção preventiva e de diagnóstico previamente estruturadas e racionalizadas;
- Inexistência de procedimentos normalizados e racionalizados para a manutenção periódica, programada, de grandes equipamentos;
- Inexistência de fichários históricos para registro de tempos e ocorrências, etc.;

- Escolha incorreta dos equipamentos e soluções;
- Negligência de aspectos de grande importância, tais como: disponibilidade ou indisponibilidade dos equipamentos, tempo médio entre falhas, vida útil do equipamento, tempo médio de reparo dos equipamentos, e existência de meios locais humanos e materiais para a manutenção dos equipamentos;
- Falta de critérios de desmontabilidade de equipamentos e instalações.

A terotecnologia é uma concepção global e integrada do modo como deve ser estudada, escolhida e construída uma nova instalação tecnológica. Os conceitos básicos são os seguintes:

- Os pontos de vista sociais, econômico-financeiros, tecnológicos, de operação e produção e de manutenção de um novo empreendimento são igualmente importantes; especialistas destas várias disciplinas devem fazer parte da equipe de concepção e acompanhamento, desde as fases iniciais até a instalação de partida.
- Os pareceres da manutenção estarão sempre presentes em toda a fase de concepção, escolha de equipamentos e escolha de soluções de instalação.
- A manutenção deve ser previamente organizada e estruturada antes do dia da partida da instalação; nesse dia, a manutenção deve ser uma "máquina" pronta a partir.
- O pessoal básico de manutenção, que ficará restrito ao sistema, deve acompanhar todas as fases do projeto e instalação de modo a conhecer em detalhe todas as minúcias dos equipamentos e das instalações logo de início.
- A chefia da manutenção deverá ocupar um nível hierárquico no organograma idêntico ao da chefia de operação.

O termo terotecnologia surgiu na Inglaterra, mas apesar de sua origem da palavra grega *terein*, que significa tomar conta, não é sinônimo do termo manutenção, e pode ser considerado como uma evolução de conceito, uma vez que visa eliminação ou diminuição dos trabalhos de manutenção, por meio de estudos nas áreas de engenharia, finanças, administração, entre outras, analisando o ciclo de vida do conjunto de componentes construtivos. Existe uma necessidade de que haja em nosso país, em geral, uma consciência das vantagens da manutenção [22].

O conceito de terotecnologia é a base da atual “Manutenção Centrada no Negócio”, em que os aspectos de custos norteiam as decisões da área de Manutenção e sua influência nas decisões estratégicas das empresas.

2.4 O HISTÓRICO DA MANUTENÇÃO

A referência feita a um sistema de manutenção surge em meados do século XII, demonstrando que a manutenção se mantém atrelada com o desenvolvimento tecnológico do setor industrial. Porém a carência de procedimentos sistemáticos de reparos surge no final do século XIX, com a mecanização do setor industrial [8] [23] [24].

Apesar de começar a ter uma importância essencial, até 1914 seu papel ainda era secundário, sendo que o trabalhador que realizava a operação do maquinário ficava também encarregado da execução da manutenção. Com o surgimento da I Guerra Mundial e a concretização das ideias de Henry Ford em relação às linhas de montagem, as fábricas passaram a ter necessidade de uma equipe específica na área de manutenção, podendo efetuar reparos no menor tempo possível. Surgiu assim um órgão formalmente estabelecido cujo objetivo era apenas corrigir alguma eventual falha, mais tarde denominada por manutenção corretiva.

Esse sistema perpetuou até o fim dos anos 30, quando, devido a II Guerra Mundial e a necessidade de uma produção mais veloz, as administrações empresariais passaram a se preocupar não apenas em corrigir falhas, mas também em evitar um possível surgimento das mesmas. Assim a indústria passou a ter uma equipe de manutenção cuja função era de, além de corrigir as falhas eventuais, desenvolver um sistema de prevenção de danos e avarias, que completava o quadro geral da função manutenção, tendo assim uma estrutura hierárquica similar ao setor da operação.

O consumo pós-guerra surgiu como um catalisador para alavancar o desenvolvimento industrial na década de 50. Este novo panorama, aliado à explosão do setor de aviação comercial e a indústria eletrônica, abriu os olhos dos administradores de manutenção, mostrando-os que, em muitos casos, o tempo demandado para diagnosticar falhas era maior que o tempo gasto na execução dos reparos propriamente ditos.

Com o surgimento da computação, na década de 60, alinhado com a sofisticação dos instrumentos de controle, proteção e medição e a influência exercida pelas associações nacionais de manutenção, o desenvolvimento dos critérios de previsão de falhas foi impulsionado, objetivando assim uma melhora na atuação das equipes de manutenção, sob o ponto de vista de desempenho operacional dos ativos físicos. Tais critérios foram implementados em sistemas de controle e planejamento informatizados, diminuindo os encargos burocráticos dos executantes da manutenção e acarretando o surgimento, em seu bojo, de duas grandes áreas: o estudo de ocorrências crônicas e o PCM.

Na virada dos anos 80, com a disseminação dos microcomputadores já contemplada, os órgãos de manutenção passaram a desenvolver seus próprios programas de gerenciamento, eliminando inconvenientes como a necessidade de *mainframes* corporativos para processamento

de dados e informações. Em algumas indústrias, essa função passou a ser de tão grande valia que o PCM passou a ser um órgão de consultoria à supervisão geral da produção [23].

O setor industrial, até a década de 80, visava um único e exclusivo objetivo, bastante definido: obter o máximo de rendimento através de um investimento realizado. Todavia, com o crescente *marketshare* atingido pela indústria oriental no mercado do ocidente naquela época, agregado com o processo de globalização também presente, os consumidores passaram a exigir um adicional valioso nos serviços e produtos que desejavam adquirir: a qualidade dos mesmos, fazendo com que as empresas contemplassem que, a consideração desse fator seria vital para manter sua competitividade, em especial no mercado internacional. Esta inovadora abordagem sistematizada fundamentou-se na visão de processo, definição de responsabilidades e aplicação de ferramentas e metodologias adequadas, surgindo deste modo o conceito de agregação de valores em um serviço ou produto.

Desta maneira, a manutenção passa a ser reconhecida pela sua distribuição estratégica para os negócios, por meio de uma diminuição do tempo de parada dos ativos de produção, obtida através de reparos em um ritmo ditado pelas eventuais ocorrências, tendo assim um impacto sobre o potencial produtivo: o bem produzido passa a ter maior disponibilidade e produtividade, e do cuidado com a precisão de suas intervenções, fazendo com que os produtos finais conseguissem atingir padrões e critérios pré-determinados, melhorando assim a confiabilidade produtiva [25].

De maneira similar, as atividades centradas no fim do processo e as atividades centradas no meio do processo devem ser modeladas, definidas e comandadas pela correspondente política de manutenção estabelecida dos preceitos aqui argumentados, conforme representa a Figura 2.3 [26].



Figura 2.3: Atividades comandadas pela Política de Manutenção.

A política e metodologias estratégicas apropriadas à obtenção do ajuste perfeito da gestão da manutenção à analogia postulada devem levar em conta que as boas práticas a ela inerentes possuem, em certo grau, uma semelhança com as exercidas nos temas de medicina. Desta maneira, o monitoramento de sistemas, equipamentos, componentes e instalações pode ser uma analogia aos exames realizados em um paciente com intuito de se diagnosticar alguma disfunção. Da mesma forma, uma análise de tendência de parâmetros monitorados permite identificar sintomas dessas disfunções, os quais, em conjunto com um detalhado e criterioso estudo do histórico pregresso (anamnese), levam a conclusão de um diagnóstico mais preciso (determinando a fonte causal) e a indicação de uma terapia não sintomática aplicável em cada caso, possibilitando assim intervenções mais eficientes e oportunas [26].

A manutenção também é considerada uma “ovelha negra” do “Império da Produção” instaurado pela Revolução Industrial, destacando a importante evolução de seus métodos e práticas num período de tempo relativamente pequeno (100 anos) de existência formal. Quatro pontos de inflexão relevantes são assinalados nesse processo, que marcaram de maneira decisiva a trajetória de progressiva valorização da função de manutenção, levando-a a desempenhar um papel de protagonista na preservação do funcionamento e sustentabilidade empresarial. Estes pontos, filhos da adequação às exigências de um mercado cada vez mais rigoroso, são [3]:

- I. A criação da função manutenção, como corretiva;
- II. O surgimento da manutenção preventiva;
- III. A agregação da manutenção preditiva;
- IV. A Disseminação da manutenção centrada em confiabilidade (MCC ou RCM – *Reliability Centred Maintenance*).

A Tabela 2.1 representa os elementos referentes ao histórico do paulatino desenvolvimento e valorização da manutenção abordados. Pode-se observar que ao longo das gerações, o crescimento das expectativas à função da manutenção provocou uma evolução em suas técnicas, procedimentos e políticas, favorecendo a criação de um cenário propício ao surgimento de exigências ainda maiores, em um círculo virtuoso que se desenrola dentro de ambientes situacionais também evolutivos [27] [12] [28].

Tabela 2.1: Crescimento das Expectativas x Evolução da Manutenção.

Evolução da Manutenção	1ª Geração (1940 – 1950)	2ª Geração (1950 – 1980)	3ª Geração (1980 – 2000)	4ª Geração (2000 – ...)
Ambientes Situacionais	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnologia simples • Pouca redundância • Grandes estoques de sobressalentes • Produtos Padronizados 	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnologia semiautomatizada • Alguma redundância • Estoques moderados • Produtos especializados 	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnologia automatizada • Alta redundância • Estoques <i>Just-in-Time</i> • Sistemas complexos • Altos investimentos de capital • Produtos personalizados 	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnologia avançada • Processamento contínuo • Sistemas interconectados • Investimentos otimizados • Produtos inteligentes
Expectativas quanto ao desempenho da função	<ul style="list-style-type: none"> • Reparo após avaria • Estabilidade da capacidade de produção 	<ul style="list-style-type: none"> • Maior disponibilidade e produtividade dos ativos físicos • Maior vida útil dos equipamentos e componentes • Menores custos 	<ul style="list-style-type: none"> • Maior disponibilidade e confiabilidade dos ativos físicos • Maior vida útil dos equipamentos e sistemas • Maior segurança operacional • Melhor qualidade dos serviços e produtos • Ausência de danos ao Meio Ambiente • Melhor custo x benefício dos processos • Maior produtividade, competitividade e lucratividade 	<ul style="list-style-type: none"> • Alinhamento com os objetivos estratégicos corporativos • Inserção nos sistemas integrados de gestão • Respeito aos preceitos da Sustentabilidade • Eng^a. de Manutenção
Políticas e Filosofias	<ul style="list-style-type: none"> • Corretiva 	<ul style="list-style-type: none"> • Preventiva 	<ul style="list-style-type: none"> • Preditiva • TPM • MCC (RCM) 	<ul style="list-style-type: none"> • Pró-Ativa • <i>Asset Management</i> (Gestão de Ativos Físicos)
Técnicas e Procedimentos	<ul style="list-style-type: none"> • Substituição de itens • Reparos de emergência • Isolamento da falha 	<ul style="list-style-type: none"> • Troca sistematizada de componentes • Revisões gerais programadas • Sistemas de planejamento e controle • Informática “<i>main frame</i>” 	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoramento de condições e parâmetros operacionais de processos • Inclusão da confiabilidade e manutenibilidade nos projetos • Análise de riscos, modos de falhas, causas e efeitos • Microinformática • Versatilidade e “<i>teamwork</i>” 	<ul style="list-style-type: none"> • Redes neurais • Sistemas especialistas • Auto-teste e autodiagnóstico • Interfaces <i>wireless</i> e <i>bluetooth</i> • Multidisciplinaridade Multiespecialização
Estrutura e Organização Básicas	<ul style="list-style-type: none"> • Informal • Descentralizada 	<ul style="list-style-type: none"> • Centralizada 	<ul style="list-style-type: none"> • Híbrida 	<ul style="list-style-type: none"> • Matricial • Arranjos em Constelação (<i>Cluster</i>) • Redes

Das informações da Tabela 2.1 pode-se constatar que os avanços tecnológicos ocorridos ao longo dos anos forjaram requisitos e demandas crescentes que solicitaram desempenhos cada vez mais efetivos dos meios de produção, obrigando que a manutenção tivesse também que se aparelhar e se aperfeiçoar de modo contínuo. Tal evolução hoje é consolidada na concepção de “Manutenção

Estratégica Centrada no Negócio”, para o que, é necessário que a função manutenção se integre de maneira completa no processo produtivo, contribuindo para que as organizações caminhem rumo a excelência empresarial [24] [29].

Durante muito tempo, a manutenção se caracterizou por possuir um perfil voltado apenas para a preservação dos equipamentos. Apesar de que, em diversos casos, haver uma implicação negativa às grades operacionais, era comum que os ativos e instalações fossem disputados pela função manutenção, para realização de revisões, com a área de operação, que queira utilizá-los. Assim, perdia-se o foco de que a manutenção se presta a disponibilizar os bens para geração de receita, de forma confiável e segura, e que o desafio é realizar reparos e revisões sem interrupção do fluxo produtivo. Desta maneira, o conceito moderno da função manutenção alia a necessidade de alta disponibilidade dos equipamentos com a exigência de confiabilidade para sua utilização, de forma a integrá-la aos sistemas operacionais para possibilitar o funcionamento quase ininterrupto, e ausente de não conformidades, dos processos de produção.

Os grandes desafios constantemente levantados pelos atuais segmentos produtivos da economia globalizada vêm fazendo com que a manutenção a tomar atitudes proativas mais avançadas, alinhadas com as diretrizes corporativas [30].

2.5 TIPOS DE MANUTENÇÃO

2.5.1 CLÁSSICAS

2.5.1.1 MANUTENÇÃO CORRETIVA

A metodologia de manutenção corretiva compreende todos os trabalhos, planejados ou não, de execução dos reparos e/ou substituições necessárias quando da ocorrência de falhas funcionais [8] [9].

Seria então como o conjunto de ações que devem ocorrer a fim de reparar um equipamento que tenha falhado para uma condição operacional satisfatória [31]. Subdivide-se a manutenção corretiva em duas modalidades: (1) paliativa, quando as intervenções são realizadas de forma provisória para colocar o equipamento em funcionamento e (2) curativa, quando as intervenções para reparo são realizadas de modo definitivo para restabelecer a função requerida do equipamento [32]. Uma vantagem deste tipo de manutenção é a não exigência de acompanhamentos e inspeções nas máquinas. Como desvantagens, tem-se a necessidade de se trabalhar com estoques, a possibilidade das máquinas falharem durante os horários de produção e necessidade de manter máquinas de reserva [11].

A manutenção corretiva não planejada, como aquela que é realizada de maneira aleatória, sem tempo para preparação do serviço, deve ser reduzida ao mínimo possível, pois o aumento de sua incidência denota um incremento nas quebras e perdas de produção inesperadas, o que, quase sempre, implica em altos custos diretos e indiretos e, às vezes, em consequências ainda mais graves para as pessoas, a instalação e o meio ambiente. Por isso, quando uma organização de manutenção apresenta a maior parte de sua corretiva recaindo na classe de não planejada, ela é comandada pelos equipamentos e seu desempenho empresarial não está adequado às atuais necessidades e exigências [3] [33].

Assim, para que a estratégia de planejamento da corretiva possa ser bem sucedida, garantindo o menor tempo médio para reparo (MTTR – *Mean Time to Recovery*) possível de ser alcançado, é necessário ter sempre em mente que as intervenções irão se distribuir numa faixa muito ampla, indo desde um pequeno conserto, com duração de alguns minutos, até restaurações importantes - e às vezes inéditas - que exigem equipes completas atuando ao longo de vários dias.

O MTTR é dado pela Equação 2.1, onde λ_j representa a taxa de falha constante do j -ésimo componente reparável do sistema, t_j representa o tempo requerido para reparo do sistema ou equipamento em caso de falha do j -ésimo componente e k representa o número de componentes reparáveis [31].

$$MTTR = \frac{\sum_{j=1}^k t_j \cdot \lambda_j}{\sum_{j=1}^k \lambda_j} \quad (2.1)$$

Mesmo optando pela manutenção corretiva para algumas partes menos críticas do equipamento, é preciso ter os recursos necessários: peças de reposição, mão-de-obra e ferramental para agir rapidamente, visando à redução de possíveis impactos da falha na produção. Há casos em que é vantajoso ter componentes montados em estoque para substituição rápida na área. O reparo do componente danificado poderá ser feito posteriormente pela oficina de manutenção ou por uma empresa externa [23] [31] [32].

É claro que se torna impossível eliminar completamente este tipo de manutenção, pois não se pode prever em muitos casos o momento exato em que se verificará um defeito que obrigará a uma manutenção corretiva de emergência.

Apesar de rudimentar, a organização corretiva necessita de [3]:

- Pessoal previamente treinado para atuar com rapidez e proficiência em todos os casos de defeitos previsíveis e com quadro e horários bem estabelecidos;

- Existência de todos os meios materiais necessários para a ação corretiva que sejam: aparelhos de medição e teste adaptados aos equipamentos existentes e disponíveis, rapidamente, no próprio local;
- Existência das ferramentas necessárias para todos os tipos de intervenções necessárias que se convencionou realizar no local;
- Existência de manuais detalhados de manutenção corretivas referentes aos equipamentos e às cadeias produtivas, e sua fácil acessibilidade;
- Existência de desenhos detalhados dos equipamentos e dos circuitos, que correspondam às instalações, atualizados;
- Almoxarifado racionalmente organizado, em contato íntimo com a manutenção e contendo, em todos os instantes, bom número de itens acima do ponto crítico de encomenda;
- Contratos bem estudados, estabelecidos com entidades nacionais ou internacionais, no caso de equipamentos de alta tecnologia cuja manutenção local se impossíveis;
- Reciclagem e atualização periódicas dos chefes e dos técnicos de manutenção;
- Registros dos defeitos e dos tempos de reparo, classificados por equipamentos e por cadeias produtivas (normalmente associadas a cadeias de manutenção);
- Registro das perdas de produção (efetuado de acordo com a operação-produção) resultantes das paradas devidas a defeitos e a parada para manutenção.

A Figura 2.4 representa a mínima organização da manutenção corretiva.



Figura 2.4: Organização Mínima da Manutenção Corretiva.

2.5.1.2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

A manutenção preventiva engloba as atividades executadas para prevenir, detectar e/ou corrigir defeitos, dentro de periodicidades estipuladas a partir de uma quantidade pré-determinada de unidades de uso. Tais atividades podem ser classificadas em três grandes grupos de tarefas, com as seguintes finalidades principais [8] [9]:

Inspeções (trabalhos de 1ª linha):

- Verificações, ajustes e regulagens com periodicidade baixa (diária, semanal), incluindo eventuais reparos rápidos;
- Preservação de especificações e detecção de irregularidades, permitindo a programação dos reparos pertinentes.

Testes / Ensaios (Trabalhos de 2ª linha):

- Medições de parâmetros ou grandezas pré-fixadas, realizadas segundo uma periodicidade média (mensal, trimestral), para avaliação do estado geral do ativo quando da troca sistemática de componentes com desgaste ou quebra previsível;
- Detecção de valores diferentes dos esperados, podendo significar indícios de problemas mais severos.

Revisões Gerais (Trabalhos de 3ª linha):

- Desmontagens dos equipamentos e sistemas para inspeção dos componentes e reparo/substituição daqueles fora de especificação, efetuadas dentro de uma periodicidade longa (semestral, anual).

Uma classificação semelhante para as tarefas de preventiva ainda realça sua diferenciação com relação à manutenção corretiva, conforme mostrado na Figura 2.5 [34] [24] [26].



Figura 2.5: Tarefas de Manutenção Preventiva X Corretiva.

Considerando, assim, o caráter extremamente sistemático e rotineiro que reveste os trabalhos de preventiva e os intervalos fixos em que eles ocorrem, é absolutamente primordial dispor de um sistema computadorizado (CMMS - *Computerized Maintenance Management*) para realizar com eficiência e eficácia a gestão do seu planejamento, programação e controle, o qual deverá contar,

minimamente, com os seguintes módulos e facilidades: cadastro e codificação dos equipamentos (definição do onde fazer as intervenções); programa-mestre de manutenção por unidades de uso (tempo-calendário, tempo de operação, etc.), incluindo [24] [35]:

- Estabelecimento das periodicidades das atividades e tarefas (definição do quando fazer);
- Seleção das correspondentes instruções (ou procedimentos) de manutenção (o que e como fazer);
- Balanceamento dos recursos físicos necessários e alocação da mão-de-obra responsável (com o que fazer);
- Emissão automática e retorno ao sistema (prestação de contas) das ordens de trabalho (OT's) para aquisição das informações / dados técnicos, administrativos e financeiros referentes às intervenções, formando o chamado histórico de manutenção;
- Extração dos relatórios gerenciais para realização da avaliação e análise crítica do desempenho da Função, construídos com base nos diversos indicadores (índices) relativos, principalmente, a equipamentos / materiais, pessoal e custos, e calculados a partir dos dados anteriormente coletados;
- Disponibilidade de links para intercâmbio de informações com as áreas de materiais (almoxarifado e compras), recursos humanos, logística, qualidade, produção (planejamento e programação), administração e finanças, dentre outras.

Tais links favorecem a desejável integração das diretrizes da manutenção com as da produção, alinhando-as, ainda, aos demais preceitos corporativos para permitir, em consequência, a formação de uma organização coesa, voltada para a obtenção de resultados e a redução de perdas - sejam elas ligadas a recursos, prazos, desempenho, qualidade ou quaisquer outras áreas - onde a função manutenção estará focada na preservação dos níveis de disponibilidade, confiabilidade e produtividade dos ativos existentes [26].

Muitas empresas acreditam ter um esquema eficiente de manutenção preventiva. Mas, o que se tem visto no chão-de-fábrica de muitas delas é que, quase sempre, o tempo reservado para a realização da manutenção preventiva acaba sendo usado para trabalhar naquelas falhas que surgiram no dia-a-dia da produção. Em geral, os itens de manutenção preventiva ficam de lado e não são cumpridos. Sem uma boa manutenção preventiva, as falhas tendem a aumentar e ocupar todo o tempo do pessoal de manutenção. Também pode acontecer que, mesmo com o cumprimento sistemático da manutenção preventiva, as falhas não diminuam. A causa deste fenômeno pode estar tanto na falta de padrões e procedimentos de manutenção quanto no conhecimento e habilidades insuficientes dos técnicos de manutenção e operadores da produção [2].

Para que organização preventiva exerça seu papel de maneira satisfatória, é necessário [3]:

- Existência de um escritório de planejamento da manutenção (Gabinete de Métodos) composto pelas pessoas mais altamente capacitadas da manutenção e tendo funções de preparação de trabalho e de racionalização e otimização de todas as ações. Daqui advém uma manutenção de maior produtividade e mais eficaz.
- Existência de uma biblioteca organizada contendo: manuais de manutenção, manuais de pesquisas de defeitos, catálogos construtivos dos equipamentos, catálogos de manutenção (dados pelos fabricantes) e desenhos de projeto atualizados (*as-built*).
- Existência de fichários contendo as seguintes informações:
 - **Fichas históricas** dos equipamentos contendo registro das manutenções efetuadas e defeitos encontrados;
 - **Fichas de tempos** de reparo, com cálculo atualizado de valores médios;
 - **Fichas de planejamento** prévio normalizado dos trabalhos repetitivos de manutenção;
 - Existência de **plannings** nos quais se mostram os trabalhos em curso e a realizar no próximo futuro. Devem existir **plannings** locais nas oficinas;
 - Existência de um serviço de emissão de requisições ou pedidos de trabalho, contendo a descrição do trabalho, os tempos previstos, a lista de itens a requisitar e a composição da equipe especializada, além da emissão de mapas de rotinas diárias;
 - Existência de um serviço de controle, habilitado a calcular dados estatísticos destinados à confiabilidade e à produção;
 - Existência de um serviço de **emissão de relatórios** resumidos das grandes manutenções periódicas;
 - Existência de **interações organizadas** com o almoxarifado e os serviços de produção.

A Figura 2.6 ilustra a execução do papel da manutenção preventiva.



Figura 2.6: Organização da Manutenção Preventiva.

2.5.1.3 MANUTENÇÃO PREDITIVA

A manutenção preditiva é o tipo de manutenção em que os parâmetros de controle do equipamento são submetidos a uma supervisão contínua durante o funcionamento normal. Por exemplo: a presença de determinados gases no óleo isolante de transformadores pode ser um parâmetro de controle para o estado interno do equipamento [32]. Neste caso, constatada a alteração do parâmetro é possível programar uma intervenção para correção do problema no estágio inicial da falha. De maneira semelhante define-se que a manutenção preditiva é a atuação realizada com base em modificação de parâmetro de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática. A sistemática de acompanhamento pode envolver inspeções periódicas, medições, leituras, sondagem, rondas, etc. [17].

Em relação à manutenção preditiva, há dois enfoques diferentes na literatura. O primeiro onde manutenção preditiva é considerada uma subdivisão da manutenção preventiva. Assim define-se a preditiva como sendo uma forma de manutenção preventiva em que a lei de degradação (evolução do desgaste do equipamento) é desconhecida e a supervisão dos parâmetros de controle é realizada de forma contínua. A supervisão periódica, através de rondas e inspeções, fica caracterizada a manutenção preventiva por acompanhamento [23] [32]. Outro enfoque abordado é que a manutenção preditiva, também conhecida por manutenção sob condição ou com base no estado do equipamento, pode ser realizada com supervisão de modo contínuo ou de forma periódica. Nesta última abordagem, a manutenção preditiva é considerada uma evolução ou quebra de paradigma em relação à manutenção preventiva sistemática baseada no tempo [17]. Outra definição é que a manutenção preditiva é baseada na condição e monitoramento de condição estão incluídos nas chamadas tarefas proativas sob condição [27].

A vantagem da manutenção preditiva é que se aproveita ao máximo a vida útil dos elementos da máquina, podendo-se programar a reforma e substituição somente das peças comprometidas. A intervenção na planta é a mínima possível. Por outro lado, as desvantagens desse tipo de manutenção são a necessidade de acompanhamentos e inspeções periódicas, por meio de instrumentos específicos de monitoração, o que acarreta aumento de custos e a necessidade de profissionais especializados para esse serviço [36].

Na linha dos aspectos fundamentais a serem considerados para o processo de implantação de uma preditiva adequada às reais necessidades vigentes, destaca-se a problemática da seleção das máquinas que irão compor o universo-alvo de tal programa, lembrando que nem todas apresentam justificativas consistentes para nele serem incluídas, já que esta política, individualmente, não se constitui numa panaceia para todos os males dos ativos físicos.

Para facilitar a referida escolha apresentam-se, então, alguns critérios básicos, iniciando pela importância que o equipamento possui no processo produtivo, em termos de qualidade, disponibilidade e confiabilidade. Em seguida, deve ser avaliado se os seus sobressalentes têm um custo elevado ou são de difícil aquisição, verificando-se também a eventual ausência de máquinas *stand-by* ou redundantes - a resposta positiva a estes dois critérios transformam o ativo, evidentemente, em forte candidato ao programa de preditiva, uma vez que, conforme já abordado, dificilmente ele poderia vir a ser incluído numa relação de itens para corretiva [37].

2.5.1.4 ESCOLHA DE METODOLOGIA CLÁSSICA

A escolha da metodologia de manutenção corretiva, preventiva ou preditiva para um determinado equipamento, ou conjunto de equipamentos, deve estar ancorada numa análise custo-benefício extremamente criteriosa, sempre levando em conta os seguintes fatores [28]:

- Tipo e importância do equipamento na cadeia produtiva;
- Existência de equipamento(s) reserva(s) ou redundante(s);
- Idade e expectativa de vida útil;
- Características do processo de diligenciamento de sobressalentes;
- Consequências das eventuais falhas sobre a segurança do pessoal, da instalação, do processo e do meio ambiente;
- Valor da perda de produção por indisponibilidade operacional, calculada em função dos requisitos de qualidade, prazos de entrega e outras exigências contratuais relativas ao produto - ou serviço - final.

Critérios seletivos semelhantes podem ser indicados para este processo, com o segundo sintetizando-os numa proposta de diagrama decisório simplificado, conforme apresentado na Figura 2.7 [37] [38].

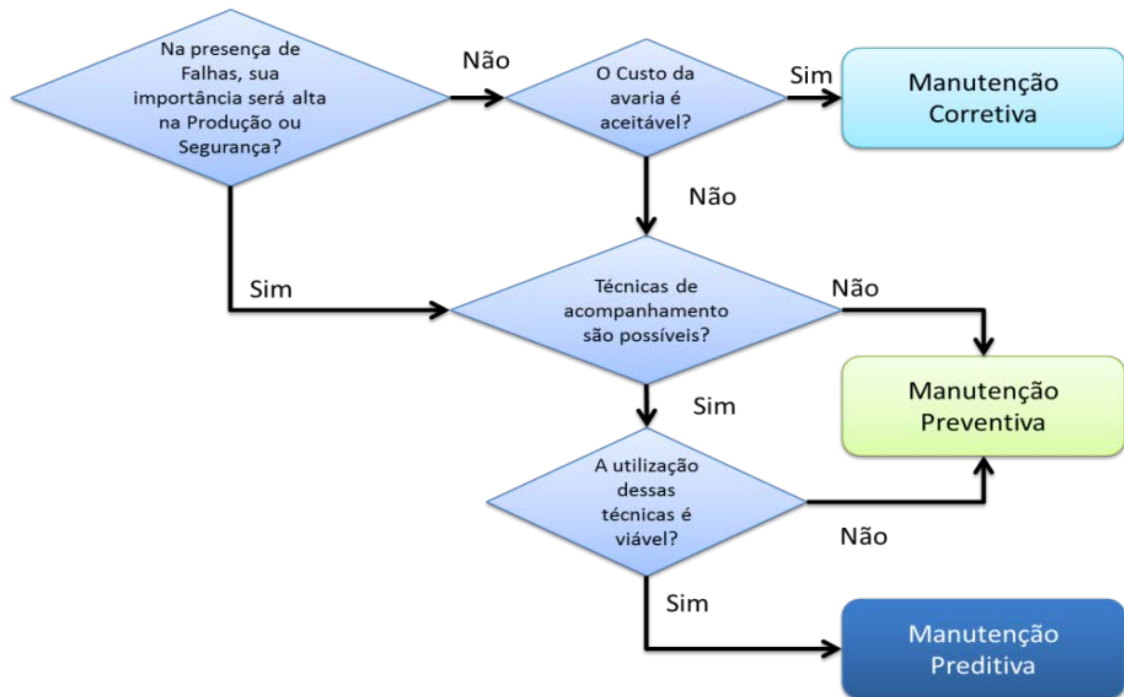


Figura 2.7: Diagrama de decisão do tipo de manutenção clássica.

É importante ainda ressaltar que, de acordo com a concepção do ciclo da manutenção de Coetzee [39], as abordagens mais triviais e simplificadas aqui descritas restringem-se exclusivamente à parte interna do ciclo - ou seja, a operacional - sem se engajar explicitamente nas questões estratégicas típicas da parte exterior, o que passa a se fazer presente nas políticas atuais da função manutenção, conforme abordado no Apêndice I.

2.5.2 MODERNAS

Também consideradas manutenções modernas, algumas políticas gestoras da manutenção são apresentadas no Apêndice I.

2.5.2.1 MANUTENÇÃO DETECTIVA

Esse tipo de manutenção surgiu na década de 90. A manutenção detectiva, também chamada de diagnóstica, visa a busca das chamadas falhas ocultas, aquelas falhas não evidentes para o pessoal de operação e manutenção em situação normal. Estas falhas ocorrem em dispositivos que definidos como não sendo "*fail-safe*", podendo ocorrer a falha múltipla: a função protegida falha enquanto o dispositivo de proteção está em estado de falha [27] [32] [17].

Falhas ocultas ocorrem em sistemas de proteção de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, nos dispositivos de segurança de processos e nos sistemas de desligamento de emergência. A manutenção detectiva contempla as chamadas tarefas de busca de falhas, através de

manutenção preventiva ou testes periódicos na função oculta. Estas atividades poderiam ser classificadas como manutenção preventiva, sendo, portanto a manutenção detectiva uma subdivisão da preventiva [32]. Um teste periódico somente assegura que a falha oculta não ocorreu, não havendo garantia que o dispositivo não venha a falhar durante o próximo período de funcionamento [40].

Existe a possibilidade de a manutenção detectiva ser realizada com o sistema em operação, o que seria de grande valia para a sua maior disponibilidade e uma mudança nos padrões atuais, permitindo ao pessoal de manutenção um domínio sobre a situação de falha oculta. A desvantagem desta forma de intervenção é a necessidade de profissionais treinados e com habilitação para execução do serviço [17].

À medida que aumenta a utilidade de instrumentação de comando, controle e automação nas indústrias, maior é a necessidade de manutenção detectiva para garantir a confiabilidade dos sistemas e da planta [33]. A Figura 2.8 representa o procedimento de termografia de um quadro, uma atitude da manutenção detectiva (diagnóstica).



Figura 2.8: Termografia de um Quadro de Distribuição.

2.5.2.2 MANUTENÇÃO PRÓ-ATIVA

Muito mais que uma metodologia ou política, a manutenção pró-ativa caracteriza-se por posturas, atitudes e comportamentos ancorados no conhecido conceito de pró-atividade - ou seja, a capacidade de agir antes, antecipando, prevenindo e evitando a ocorrência de problemas [30].

Para tanto, os seguintes tópicos essenciais devem ser sempre levados em consideração [8]:

- dotar o planejamento, programação e execução da manutenção de um caráter antecipatório e preventivo de defeitos, problemas, danos e falhas, alinhado com os ditames da pró-atividade;

- promover a participação e aprovação da manutenção na elaboração do projeto original dos empreendimentos, de modo a minimizar os fatores de custo das futuras atividades mediante a melhoria da manutenibilidade;
- praticar de maneira formal e organizada a chamada engenharia de manutenção, através da análise criteriosa e sistemática dos resultados de inspeções, testes e intervenções, bloqueando/minimizando a ocorrência ou reincidência de problemas potencialmente críticos.

É importante enfatizar a necessidade de pensar e agir pró-ativamente para que a manutenção se integre aos processos produtivos, contribuindo decisivamente para que as empresas caminhem rumo à excelência. Esta nova postura não mais comporta improvisos e arranjos ineficientes, com a competência, a criatividade, a flexibilidade, a cultura de mudança e o trabalho em equipe sendo as características básicas para a garantia da competitividade das organizações. Por isso, a gestão moderna da manutenção requer uma mudança profunda de mentalidade e de atitudes, devendo ela estar sustentada por uma visão de futuro e regida por processos antecipatórios onde a satisfação plena dos clientes seja resultante natural da qualidade intrínseca dos seus serviços, para poder atuar de forma segura e rentável, com responsabilidade social e ambiental. O resultado traduz-se em grande economia de recursos e redução nos custos inerentes à Função, permitindo o aumento da produtividade sem a necessidade de realização de pesados investimentos [41] [42].

2.6 ORGANIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO

O diagrama representado pela Figura 2.9 demonstra, de maneira simplificada, os principais processos da organização da manutenção [43].

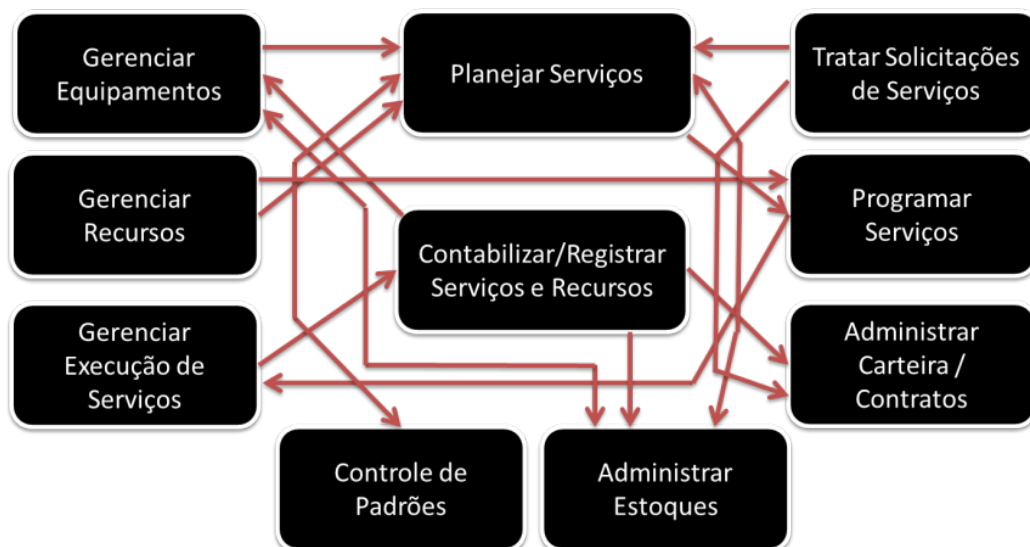


Figura 2.9: Principais processos que integram a função manutenção.

Um dos aspectos de maior relevância considerados nos sistemas de gestão da manutenção mais avançados diz respeito à concepção, dimensionamento, formatação e implantação de uma estrutura organizacional adequada que permita criar um ambiente de trabalho favorável ao cumprimento da missão estipulada para a função manutenção, constituindo-se, assim, num fator crítico de sucesso para as estratégias adotadas, quaisquer que sejam elas.

Nesta linha, indicam-se alguns itens essenciais que não podem deixar de ser contemplados neste processo de estruturação, com destaque para [44]:

- Formalização da política a ser empregada;
- Programas de conscientização, treinamento, capacitação e qualificação de pessoal;
- Sistemas da qualidade para as etapas de diligenciamento, compras, recebimento, estoque e distribuição de suprimentos;
- Planos, manuais e procedimentos para realização dos serviços, atividades e tarefas;
- Meios de acompanhamento e registro das intervenções, inspeções, medições e testes que irão compor o histórico de manutenção;
- Sistemática para arquivamento, controle e atualização das documentações;
- Processos para apropriação dos custos e despesas.

É importante ressaltar a importância de se contar com uma boa estrutura organizacional para atingir os objetivos e metas fundamentais da manutenção, para o que contribuem os seguintes fatores principais: redução dos custos mediante a diminuição das perdas com o retrabalho, sucateamento, serviços deficientes e falta de qualidade; maximização da disponibilidade operacional dos equipamentos e instalações; retroalimentação do sistema para formação de programas e bancos de dados de confiabilidade e manutenibilidade; incremento da capacitação técnica do pessoal e melhoria de sua produtividade, através de programas sistemáticos de treinamento, conscientização e motivação; implementação e organização de um acervo técnico adequado às necessidades dos serviços; adoção de uma metodologia apropriada para elaboração e revisão de procedimentos técnicos e administrativos, visando a padronização, aperfeiçoamento e atualização das sistemáticas de trabalho.

Para melhor visualizar o contexto em que se encontram inseridos estes aspectos, foi construída para ele uma representação esquemática, em forma de diagrama de causa e efeito - também conhecido como diagrama de Ishikawa ou espinha de peixe - que é apresentada na Figura 2.10 [8].

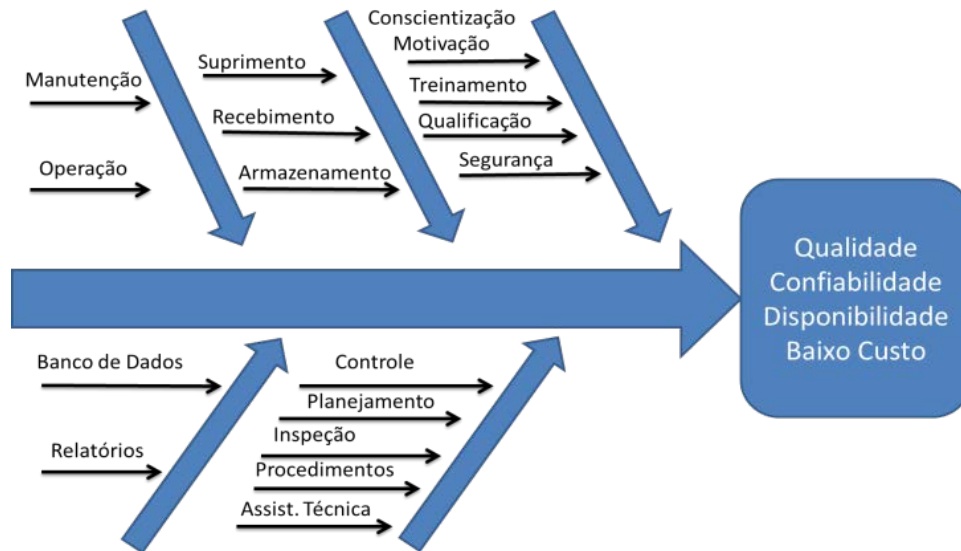


Figura 2.10: Metas da Manutenção.

Resumindo e sintetizando os pontos aqui discutidos, pode-se, então, sugerir um roteiro básico para servir como guia genérico dos processos de estruturação das organizações de manutenção, o qual deverá considerar, minimamente, as seguintes atividades [8]:

- Fixar a política, estratégias e objetivos a serem alcançados;
- Estabelecer graus de autoridade e responsabilidade para o pessoal;
- Definir organograma detalhado e preparar os correspondentes procedimentos técnicos e administrativos;
- Elaborar os planejamentos de ação pertinentes;
- Captar, selecionar e fornecer treinamento adequado (interno e/ou externo) ao pessoal afeto à estrutura montada (próprio e contratado);
- Obter os recursos físicos necessários (instalações, oficinas, equipamentos, máquinas, ferramentas, instrumentos, informática, normas, manuais);
- Negociar com os clientes o nível de qualidade exigido para os serviços;
- Estabelecer processos e critérios para controle de custos;
- Implementar processos de aquisição/contratação de materiais, bens e serviços externos;
- Definir métodos de coleta e tratamento de dados (histórico; controle de emissão e retorno de ordens de trabalho; construção e atualização de bancos de dados) para avaliar o desempenho dos ativos físicos;
- Fixar mecanismos participativos para analisar o desempenho das equipes.

2.7 CONCLUSÃO

A Manutenção é de extrema importância para o desempenho de um setor, sendo equiparada à equipe de operação. É de suma importância para um desempenho qualificado e estável de qualquer setor tecnológico e, sendo dividida em várias etapas, deve ser implantada de maneira consistente e firme, não cometendo o clássico erro de pular qualquer etapa.

No Brasil, a manutenção teve um desenvolvimento alavancado pelo desenvolvimento do setor de informática, tendo uma melhora significativa a partir de 2003, apresentando uma queda no treinamento do pessoal de manutenção entre 2007 e 2009.

Atualmente tem-se como conceito de manutenção a Terotecnologia, técnica capaz de combinar os meios financeiros, de confiabilidade, técnico-econômicos e os métodos de gestão, com o intuito de se obter ciclos de vida cada vez menos dispendiosos.

A manutenção foi inicialmente referenciada em meados do século XII, sendo atrelada com o desenvolvimento do setor industrial. Foi sendo desenvolvida a medida em que a necessidade do setor comercial passava a cobrar mais confiabilidade e rapidez do setor produtivo. Assim, vários métodos foram propostos para que se conseguisse atingir um nível de excelência adequado para cada época.

A manutenção foi classificada em dois grandes grupos: as clássicas e as modernas. As clássicas, que consistem em corretiva, preventiva e preditiva, são metodologias mais voltadas ao equipamento e visam controlar os problemas da área através de procedimentos técnicos. Já as modernas, sendo a detectiva, pró-ativa, incluindo as políticas gestoras como TPM, RCM, gestão de ativos físicos industriais e TQC, já são metodologias voltadas à confiabilidade, vislumbrando técnicas de controle no campo de gestão.

Assim, para que se tenha um sistema organizado de manutenção, devem-se aliar os procedimentos técnicos com as modernas metodologias gestoras, tendo assim um sistema mais confiável e eficaz de manutenção.

CAPÍTULO 3

ORGANIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO

Este capítulo tem o intuito de descrever como deve ser a organização básica de uma área de manutenção, suas identificações e, principalmente, seus fluxos de informações.

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A organização da manutenção possuía um conceito recente, sendo definida como planejamento e administração dos recursos para a adequação à carga de trabalho esperada. A conceituação, no entanto, tornou-se mais ampla [3]:

- I. A organização da manutenção deve estar voltada para a gerência e a solução dos problemas na produção, tornando a empresa competitiva no mercado.
- II. A manutenção é uma atividade estruturada da empresa, integrada às demais atividades, que fornece soluções buscando maximizar os resultados.

Uma vez alcançado o objetivo da manutenção elétrica, que consiste em controlar todas as paradas dos equipamentos, de forma que estas não prejudiquem a produção desejada, podemos concluir que sua importância consiste em uma maior garantia de cumprimentos dos prazos contratuais assumidos e um aumento considerável da vida útil destes equipamentos e, conseqüentemente, um custo menor para o produto final.

Deve-se acrescentar, ainda, que uma manutenção elétrica bem planejada e executada, além de reduzir a níveis diminutos as avarias dos equipamentos e instalações industriais, por consequência, reduz, também, sensivelmente, os riscos de acidentes de trabalho o que traz maior confiança e satisfação para os operários e reforça os lucros da empresa, pois se tem menos mão-de-obra inativa [2]. Nenhum roteiro deve ser seguido de forma rígida; devem-se levar em consideração as particularidades de cada indústria, de modo a permitir uma adaptação gradual entre o modelo a ser implantado e o ritmo normal da empresa, no entanto, três aspectos devem ser destacados: mão-de-obra, treinamento e documentação.

A mão-de-obra consiste em um item bastante peculiar, pois é muito difícil precisar um número exato de componentes, pois o mesmo é função do porte, ramo, equipamentos existentes, grau de automação, etc. da indústria. Um número razoável seria de 1% a 1,5% dos profissionais da empresa [3].

É extremamente importante propiciar aos funcionários do setor de manutenção elétrica, oportunidades de aperfeiçoamento técnico através de, por exemplo, palestras dadas por elementos mais experientes da própria empresa ou contratados fora, facilidades de horário e/ou reembolso parcial em cursos de interesse do setor, assinatura de revistas e jornais técnicos, enfim, tudo que puder contribuir para um melhor desenvolvimento da capacidade produtiva dos funcionários.

A documentação consiste nos requisitos básicos da manutenção eficiente, conforme abordado no Capítulo 2, como por exemplo, fichas de equipamentos, fichas de tempo, fichas de histórico, etc..

3.2 PLANEJAMENTO DA MANUTENÇÃO

Num sistema de manutenção não organizado, as intervenções corretivas não são pensadas com antecedência; as equipes de manutenção são chamadas a intervir nos momentos em que ocorrem avarias e deficiências e sempre a título de urgência. As equipes não sabem o que vão encontrar e, normalmente não se encontram preparadas nem com ferramentas, nem com itens de reposição e nem com as instruções e esquemas necessários. Para agravar a situação, os setores que pedem o serviço da manutenção atribuem-se prioridades de urgência sem consideração pelos demais serviços ou sem atender ao interesse geral [2].

Num sistema de manutenção planejada, as ações de manutenção mais frequentes são previamente pensadas e organizadas. Uma grande porcentagem destas ações são manutenções de diagnóstico e preventivas, previamente estudadas e experimentadas e organizadas sob a forma de programas padronizados de execução de tarefa. Os momentos de reparo ou beneficiação são previamente determinados e fazem parte de uma rotina de trabalho estabelecida de antemão, de acordo com a produção.

As ações residuais de manutenção corretiva que ainda são necessárias também são previamente estudadas e normalizadas na maior parte dos casos. É claro que subsiste sempre uma pequena porcentagem de defeitos inesperados que se apresentam com aspectos novos e imprevisíveis e para os quais não foi possível uma preparação prévia. Mas nestes casos o treinamento e o bom conhecimento técnico da equipe e os meios disponíveis permitem quase sempre um imprevisto aceitável.

Também num sistema planejado, as chamadas da operação em caso de defeito são organizadas segundo graus de prioridade, definidos através do grau de prejuízo que uma demora no atendimento pode causar a produção.

Os meios que são utilizados pelo planejamento da manutenção, isto é, pelo gabinete de métodos (ou escritório de planejamento), para organizar a atuação dos serviços de manutenção vão ser descritos posteriormente.

3.3 PREPARAÇÃO DO TRABALHO

Num sistema estruturado, a ordem recebida por uma equipe de manutenção pode ter duas origens:

- I. Ordem de trabalho provinda do gabinete de métodos, conforme rotina de manutenção periódica (preventiva ou diagnóstica);
- II. Ordem de trabalho proveniente da operação e correspondente de uma avaria ou a uma anomalia suspeita verificada.

Mesmo no segundo caso (atuação corretiva) as ordens de trabalho devem emanar do gabinete de métodos. A operação não encomendará diretamente o trabalho das equipes em serviço; o pedido será canalizado através do gabinete de métodos. Apenas em casos de prioridade máxima será admissível o recurso direto às equipes de turno. Mas neste caso, a operação deverá apresentar uma justificativa com indicações da razão da intervenção. Essas exceções serão analisadas em reuniões periódicas entre a manutenção e a produção [12].

O trabalho executado com conhecimento e interferência dos gabinetes de métodos mesmo em casos de prioridade alta tem como vantagem a entrega à equipe de uma ficha de trabalho da qual constam: composição da equipe necessária, materiais e ferramentas necessários e a requisitar, tempos previstos, recomendações técnicas e documentos, apoio técnico necessário.

Para execução das ordens de trabalho dos tipos I e II o gabinete de métodos parte dos seguintes “banco de dados”:

- Mapas de periodicidade da manutenção de rotina (preventiva), quinzenais e mensais, etc.;
- Mapas de rotinas diárias;
- Ficha de tempo elementar de reparo;
- Matrizes de organização dos trabalhos padronizados;
- Biblioteca técnica de referências;
- Repertório de itens de reposição no almoxarifado;
- Pedidos de trabalho da operação;
- “*Plannings*” de trabalhos em curso;
- “*Plannings*” de disponibilidade de mão-de-obra;
- Ficha histórica dos equipamentos;
- Ficha técnica dos equipamentos;

Estes dados somados à experiência de manutenção dos planejadores são os dados de entrada para elaboração e emissão das fichas de trabalho.

As ordens de trabalho (OT) são enviadas diariamente (rotinas diárias) ou com antecedência maior (rotinas periódicas) para os encarregados das equipes de manutenção. A OT contém todos os dados básicos necessários para execução do trabalho [9].

A previsão da duração dos vários trabalhos em curso é muito importante para que se faça uma ideia do prazo de entrega da disponibilidade de mão-de-obra.

Com este fim de previsão, é de grande necessidade que existam os seguintes procedimentos:

- Estimativa das durações de trabalho na OT;
- Registro dos tempos realmente gastos (descritos nas OT's) e sua comunicação ao gabinete de métodos;
- Coleção de tempos de realização em fichas organizadas e cálculo dos tempos médios de operações repetitivas.

Nota-se que os técnicos devem ser elucidados sobre a verdadeira necessidade destas previsões. Não se destinam a uma ação de fiscalização ou de coação, mas apenas pretendem um conhecimento da aplicação da força de trabalho, no presente, e no futuro próximo, de modo a evitarem-se sobreposições, sobrecargas e atrasos devidos a mau planejamento. Essa compreensão pode demorar algum tempo, porém sempre ocorre.

É necessário um controle visual, gráfico, dos vários trabalhos em curso em cada setor da execução da manutenção e no planejamento central. Com este fim são usados quadros gráficos, os “*Plannings*” nos quais cartões ou barras magnéticas coloridas indicam prazos, as datas, os tipos de trabalho, as equipes executoras, etc..

Nas fichas de trabalho, após a conclusão, deve constar um resumo, escrito de forma codificada, das anomalias encontradas e dos materiais e peças consumidas.

As ordens de trabalho devolvidas ao gabinete de métodos são o “*feedback*” provindo da realização que permitirá a recolha de todas as informações para atualização de:

- Fichas de tempos de reparo;
- Fichas históricas dos equipamentos;
- Política de itens em estoque no almoxarifado;
- Decisões sobre a substituição definida de determinados equipamentos com defeitos crônicos;
- Alteração das periodicidades das revisões de rotina;
- Melhoria das matrizes de preparação padronizada.

Também as mesmas OT's servirão de base, para a elaboração de:

- Relatórios de síntese de trabalhos mensais;
 - Relatórios de síntese de grandes revisões periódicas;
 - Relatórios com dados estatísticos (tempos de parada para reparo), consumo unitário de mão-de-obra, por equipamento, relação entre paradas de intervenções e paradas de intervenção
-

preventiva, variação desta taxa ao longo do tempo, indicadores dos graus de prioridade usados, etc..

O pessoal de métodos acompanhará técnica prévia de trabalho de manutenção, realizada no escritório de Organização da Manutenção, tem por fim os seguintes objetivos:

- Melhor qualidade de trabalho;
- Menor duração de parada dos equipamentos;
- Menor duração do tempo de execução;
- Maior produtividade das equipes de manutenção;
- Maior utilização anual da fábrica;
- Menor custo global da manutenção + operação.

3.4 ETIQUETAGEM

Tendo o intuito de se mapear a unidade fabril, orientando a localização de processos, e também os equipamentos para receber a manutenção, faz-se a utilização da etiquetagem (tagueamento) dos equipamentos. A palavra inglesa *Tag* significa etiqueta de identificação e cada vez mais torna-se necessário a utilização desse recurso devido à necessidade dos controles setorizados para que se possa planejar e programar a manutenção de uma forma mais rápida e racional, além de se conseguir extrair informações estratificadas por *Tag* [2].

Assim, após definição de um sistema codificado para as *Tags*, tal codificação deve ser anexada ao equipamento, por intermédio de placas de identificação, resistentes o suficientes para acompanhar os mesmo, com o objetivo de garantir sua rastreabilidade.

3.5 ORDEM DE TRABALHO

Todas as intervenções realizadas pelas equipes de manutenção devem sempre ser pedidas através da emissão de ordens de trabalho (ou requisição de trabalho).

As ordens de trabalho contêm todas as indicações importantes para execução correta das tarefas requisitadas.

As informações contidas na ordem de trabalho são:

- Equipamento a reparar;
 - Intervenção a efetuar;
 - Operação elementar a efetuar;
 - Composição da equipe de trabalho;
 - Data de início e fim;
-

- Tempo previsto de execução;
- Peças de reposição a requisitar ao almoxarifado;
- Ferramentas a usar no reparo;
- Indicações sobre material de proteção (EPI's – Equipamento de proteção individual).

Os dados pedidos, para serem preenchidos em espaços livres na OT, são:

- Tempo gasto na execução;
- Peças ou materiais adicionais que foram gastos;
- Relato sintético de anomalias verificadas e não previstas.

Em certas organizações de manutenção, o próprio gabinete de métodos já faz a requisição ao almoxarifado dos itens necessários ao reparo.

Há sistemas nos quais a partir de uma matriz de preparação, de um trabalho repetitivo e previamente programado, são reproduzidas várias cópias parciais em número igual às equipes interventoras no trabalho. Cada cópia parcial contém apenas as indicações dirigidas a cada equipe específica [3].

Os métodos usados há poucos anos utilizavam máquinas de cópia, rotativas, do tipo “*stencil*” capazes de tirar cópias parciais.

Atualmente começa a se generalizar a preparação de trabalho de manutenção fazendo uso extensivo de sistemas digitais de computação. Numa manutenção já previamente organizada a transferência de fichários para bancos de dados é uma tarefa bastante eficaz.

Em suma, a ordem de trabalho, também chamada de ordem de manutenção, consiste na autorização de trabalho de manutenção a ser executado, sendo a base da “ação” do homem da manutenção, pois exterioriza o “trabalho”, organizando-o e registrando-o.

A OT terá um ciclo de vida; da criação até seu encerramento, passando por várias fases, algumas obrigatórias, outras não.

As fases são assim divididas: Não Iniciada, programada, iniciada, suspensa e encerrada [3].

A Figura 3.1 representa um modelo de OT utilizada no Brasil, contendo informações pertinentes para realimentar o sistema gestor.

ORDEM DE TRABALHO

Nº O.T.: _____

Equipamento: _____

Código: _____ Fabricante: _____

Localização: _____ Modelo: _____

N.º de Série: _____ N.º de identificação: _____

Data de início: ____/____/____ Data de Término: ____/____/____

Tempo de execução previsto: _____

Tipo de serviço:

() Corretivo () Preventivo () Diagnostico () Outro

Prioridade do serviço:

() Grau 0 () Grau 1 () Grau 2 () Grau 3

Descrição do serviço:

Figura 3.1: Modelo de uma Ordem de Trabalho.

3.6 FICHÁRIO HISTÓRICO

É obvia a necessidade de se conhecer, em certo detalhe, a vida passada de um equipamento do ponto de vista dos acidentes e anomalias sofridas e de se ter ciência das intervenções executadas.

Daqui decorre a necessidade de uma memória, sob a forma de um “fichário histórico”. Este registro equivale às fichas que um clínico mantém relativas às doenças, análises e tratamentos dos seus clientes.

Deve existir uma ficha para cada equipamento individual, convenientemente referenciado pelo tipo, características principais, local de operação e número de registro.

No caso de equipamentos muito complexos (grandes geradores, grandes transformadores, painéis de controle, etc.), devem ser abertas fichas para os componentes mais importantes (comutadores em carga, excitatrizes, relés de distância, relés de sobrecorrente, etc.), podendo substituir as fichas gerais do grande equipamento [2].

Os fichários são organizados por ordem alfabética, por tipo de equipamento, por local, por cadeia de produção ou por outra ordem que se considere mais conveniente.

Além dos dados de referência do equipamento serão registrados:

- As datas dos reparos e beneficiações;
- Os tipos de atuação classificados, em código, como exemplo: (D) – Diagnóstico, (P) – preventiva, (C) – Corretiva, etc.

- As Anomalias encontradas, resumidamente ou segundo um código estabelecido. Um código deste tipo pode ser facilmente imaginado pelo Gabinete de Métodos, de acordo com o pessoal da manutenção.
- O tempo total de parada do equipamento em cada atuação.

A Figura 3.2 representa um modelo de ficha histórica de um transformador de potência.

[illegible]

Figura 3.2: Modelo de uma Ficha histórica de um Transformador.

No caso de existirem na instalação populações de itens idênticos, é possível ao fim de algum tempo ter dados estatísticos sobre:

- As frequências relativas das várias intervenções;
- Os tempos médios de perda de serviço;
- Os defeitos crônicos;
- As melhorias conseguidas ao longo do tempo.

Outro lado muito importante que se pode retirar das fichas históricas de uma população aproximadamente homogênea, é o intervalo médio entra avarias, isto é, o intervalo médio entre Manutenções corretivas. Este valor corresponde ao MTBF (*Mean time between failures* – Tempo Médio entre falhas), de grande importância para a fixação racional da periodicidade das intervenções preventivas [12]. Seu cálculo é descrito através da Equação 3.1, onde $f(t)$ representa a função densidade de falha e t o tempo.

$$\text{MTBF} = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) \cdot dt \quad (3.1)$$

A partir do MTBF pode-se ainda obter mais dois índices de extrema importância para o PCM: a confiabilidade e a inconfiabilidade. A confiabilidade é a probabilidade de um componente ou sistema desempenhar sua função adequadamente por um período de tempo previsto, sob condições de operação especificadas, e a inconfiabilidade é seu inverso, conforme demonstram as Equações 3.2 e 3.3 [11].

$$\text{CONFIABILIDADE} = \left(1 - \frac{1}{\text{MTBF}}\right) * 100 \quad (3.2)$$

$$\text{INCONFIABILIDADE} = \frac{1}{\text{MTBF}} * 100 \quad (3.3)$$

Ainda utilizando o MTBF pode-se obter a disponibilidade do equipamento, que é a probabilidade de encontrar o componente, item ou sistema em estado operacional em um intervalo de tempo. A disponibilidade também pode representar a relação entre o tempo que o sistema ou item ficou disponível para produzir e o tempo total. A Equação 3.4 apresenta o cálculo que deve ser efetuado para obtenção deste índice.

$$\text{DISPONIBILIDADE} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} \quad (3.4)$$

3.7 FICHÁRIO TEMPORAL

As fichas de tempo destinam-se a colecionar as durações das operações elementares dos trabalhos de manutenção repetitivos.

As operações elementares, em cada tipo de trabalho são definidas previamente pelo Gabinete de Métodos, quando estabelece a preparação de rotina dos trabalhos repetitivos [2].

A Figura 3.3 representa um modelo de ficha de tempo de um transformador. Serão registrados nela os tempos gastos em cada operação e seu valor médio acumulado.

Em diversos sistemas de manutenção, o reverso da ficha pode ser usado para um histórico resumido do equipamento, indicando os locais ou aplicações onde foram usadas as principais ocorrências ao longo da vida do equipamento.

3.9 MATRIZES DE MANUTENÇÃO PADRONIZADAS

Todos os trabalhos de manutenção corretiva mais frequentes, de manutenção preventiva periódica, de manutenção semestral ou anual e de revisão em parada (parcial ou total) devem ser previamente pensados, analisados e programados com certa minúcia. O resultado dessa preparação previa fica registrado num fichário. Os cartões poderão ser as matrizes para a própria preparação do trabalho [9].

Nessas matrizes de preparação de trabalho devem estar contidos os seguintes dados:

- Tipo e identificações de equipamentos;
- Tipo de trabalho de manutenção;
- Fases elementares do trabalho;
- Durações previstas para as várias fases;
- Composição da equipe necessária para execução de cada fase;
- Peças de reposição necessárias para cada fase e seu código de almoxarifado;
- Ferramentas necessárias para cada fase;
- Instruções-chave com pontos a ajustar, pontos de lubrificação, tensões a medir, etc.;
- Diagramas e desenhos-chave, simplificados.

Os dados provindos da realização da manutenção permitem, com o decurso do tempo, melhorar e aperfeiçoar a programação. Os técnicos do planejamento devem dispendir parte do seu tempo nos locais de execução observando a realização e verificando o modo como o planejamento se coaduna eficazmente com a realidade. É um trabalho de autocritica muito compensador.

No caso de trabalhos que, de longa data, eram realizados por pessoas experientes e que se julgava terem atingido a perfeição, é possível encurtar os tempos de manutenção de 30% a 50% apenas pelo uso racional da ordem de execução das várias fases, da reestruturação das equipes e da eliminação das perdas de tempo com requisição ao almoxarifado, preparação das ferramentas, etc. [7].

Nos sistemas digitais de planejamento da manutenção, o fichário de matrizes de manutenção padronizada é um banco de dados que por ordem de um programa de datas periódicas e após

verificação das prioridades e da disponibilidade de mão-de-obra, emite automaticamente as ordens de trabalho periódico ou as ordens de manutenção de grande revisão.

Devido à enorme variedade de necessidades, o aspecto das matrizes de manutenção é muito diversificado. Deixa-se a sua criação ao livre arbítrio e satisfação das necessidades dos planejadores.

3.10 COMUNICAÇÃO ENTRE A MANUTENÇÃO E O ALMOXARIFADO DE PEÇAS

Nos almoxarifados com peças, partes de reposição e materiais existem dois tipos distintos de estoques:

- I. Peças e materiais para uso da manutenção corretiva e preventiva, cujos custos debitados em cada período contábilístico, às contas de custos de produção;
- II. Peças especiais de alto preço, que foram adquiridas no início da instalação, e cuja aquisição foi considerada um investimento. O tratamento contábilístico é diferente, pois se efetua a amortização anual, como imobilizado. Estas peças constituem uma reserva estratégica.

A manutenção está profundamente interessada no gerenciamento técnico destas reservas, pois ela é a principal utente. Não se deve deixar que o gerenciamento seja efetuado mecanicamente por serviços distanciados das necessidades da manutenção e da evolução dessas necessidades com o decorrer do tempo [3].

A manutenção, durante a sua estruturação deve reivindicar o controle técnico do almoxarifado nos seguintes aspectos:

- Revisão periódica das espécies de itens estocados, indicação de novos tipos e retirada de alguns tipos com movimento previsto nulo.
- Revisão periódica das quantidades mínimas (pontos mínimos cabendo ao almoxarifado a determinação dos pontos de encomenda).
- Colaboração na codificação dos itens estocados.
- Indicação de aquisição prévia a executar, fora das rotinas, com a antecedência desejada e nas quantidades indicadas, antes de grandes revisões.

O almoxarifado deve fornecer à manutenção um repertório atualizado com indicação clara dos itens, quantidades e localizações no almoxarifado.

A manutenção deve ter liberdade de acesso ao almoxarifado, nos períodos noturnos, para execução de trabalhos de emergência. O chefe da equipe noturna ficará responsável pelo registro das peças retiradas a serem reportadas no dia seguinte.

Este tipo de relação aumenta a produtividade da manutenção e permite eliminar perdas de tempo, por vezes graves, na expectativa da chegada de peças, pedidas tarde demais e evitar manutenções deficientes por falta das peças necessárias.

3.11 GRAUS DE PRIORIDADE

Para se regular o fluxo de execução de trabalhos de manutenção e para haver atropelo de interesses dos vários serviços de produção utilizadores da manutenção é necessário o estabelecimento de graus de prioridade [2].

A definição dos graus de prioridade deve ser estabelecida por negociação entre a Manutenção e a Operação. Cada grau é caracterizado pela demora máxima aceitável na realização da manutenção pedida.

A título de exemplo, os graus de prioridades poderiam ser os seguintes:

- Grau 0 – O trabalho deve ser iniciado imediatamente pela equipe de serviço (ou com reforço imediato pela equipe de prevenção) devendo, se necessário, haver interrupção de trabalhos de manutenção em curso com grau diferente de 0.
- Grau 1 – O início da execução do trabalho pode esperar até 12 horas.
- Grau 2 – O início da execução pode aguardar até 48 horas.
- Grau 3 – O início pode esperar até que haja disponibilidade de mão-de-obra.

Nos graus de prioridade mais urgentes, certos procedimentos excepcionais podem ser autorizados como, por exemplo, comunicação posterior (se o chamado ocorrer durante o período noturno) ao gabinete de métodos e ordem de trabalho não exigida (no período noturno).

Periodicamente são necessárias reuniões com a operação para análise das frequências das várias classificações de prioridade (especialmente as urgentes) e para crítica e correção de exageros.

3.12 BIBLIOTECA TÉCNICA

A existência de elementos de referência bem organizados e acessíveis é condição básica para um funcionamento competente e eficaz do planejamento e da execução da Manutenção

A biblioteca da Manutenção deve conter as seguintes categorias de documentos:

3.12.1 MANUAIS

- Manuais de manutenção dos equipamentos principais, elaborados pelos fabricantes;
 - Manuais de manutenção da instalação executadas pelos projetistas ou, durante o projeto, pela equipe de organização da manutenção;
-

- Manuais de operação do sistema (elaborados pela operação);
- Manuais de pesquisa de defeitos organizados, ou pelos fabricantes (sistemas eletrônicos, sistema lógicos, máquinas) ou pelos projetistas (sistemas de inter-travamento, de controle e proteção, controladores programáveis, etc.);
- Manuais técnicos dos equipamentos contendo descrição detalhada dos equipamentos, desenhos das peças componentes, instruções de operação, etc..

3.12.2 CATÁLOGOS

- Catálogos dos equipamentos existentes na instalação;
- Catálogos de equipamentos similares;
- Catálogos de fornecedores de peças de reposição e de materiais.

3.12.3 DESENHOS E ESQUEMAS

A pesquisa de defeitos apenas é possível, em sistemas complexos, através da análise lógica, orientada pelos diagramas (unifilares, trifilares, lógicos, de tubulação, etc.) correspondentes. Estes diagramas provêm do projeto inicial (após correção “*as built*” ou são fornecidos pelos fabricantes).

É necessária a criação de um fichário que permita a procura rápida dos elementos técnicos existentes, sendo que a biblioteca deve ser mantida atualizada.

3.12.4 TREINAMENTO CONTÍNUO

Para que o nível de qualidade do trabalho da manutenção seja mantido num padrão alto, e para que seja possível progresso com o tempo, é importante que o pessoal da manutenção se mantenha tecnicamente atualizado.

Os meios para a reciclagem e para a luta contra a obsolescência dos técnicos são os seguintes:

- Cursos de atualização nos fabricantes (especialmente durante a instalação inicial dos equipamentos).
 - Troca de informações internas. Assim, aqueles que frequentaram cursos oferecidos pelos fabricantes serão incumbidos da tarefa de transmitir aos colegas as técnicas aprendidas.
 - Circulação de catálogos de fabricantes por todos os técnicos, circulação de revistas (de eletricidade, de manutenção, de instrumentos, de eletrônica, etc.).
 - Frequência de cursos exteriores sobre organização e técnicas de manutenção.
-

- Elaboração de cursos periódicos internos para recapitulação das técnicas descritas nos manuais, mas que raramente são utilizadas. Desempenho de trabalhos práticos de treinamento e simulação.

Além do aumento de produtividade e da melhoria da qualidade do trabalho que resultam de um grau de conhecimento maior, também se fica com uma reserva de pessoal que poderá vir a ocupar cargos de maior responsabilidade em outras instalações.

Todo o pessoal responsável pela manutenção, incluindo encarregados e técnicos de maior nível, deve colaborar na elaboração dos métodos de trabalho, das rotinas, dos fluxogramas de transito de documentos, dos tipos de impressos, etc..

Em vez de ser uma despesa, o treinamento contínuo do pessoal é o melhor investimento que pode ser efetivado por uma empresa.

3.13 POSIÇÃO DA MANUTENÇÃO NO ORGANOGRAMA DE UMA EMPRESA

Um sistema de manutenção preventiva deve ser bem estruturado e ter força suficiente para, através da chefia geral da manutenção, poder se impor à gerência de operação no sentido de realização de ações pendentes a defender certos exageros de uso dos equipamentos.

O gerenciamento da manutenção é hoje uma técnica especializada e complexa, pois se tomou consciência que a prática produtiva do papel fundamental da manutenção no bom desempenho produtivo e econômico dos departamentos de produção.

Tanto as “escolas” europeias (especialmente as francesas) como as americanas têm conceitos comuns:

- A manutenção não deve estar dependente da Produção (ou Operação);
- A chefia da manutenção deve se situar no mesmo nível hierárquico que a chefia de produção (ou operação).

Quem, durante anos, tenha vivido os problemas da grande indústria e dos serviços de grande porte entende bem as razões e as justificativas destes princípios. De fato a Produção e a Manutenção tem pontos de vista em oposição. É verdade que a finalidade da última é a mesma: produzir.

Porém os conceitos de utilização dos equipamentos são opostos:

- I. A produção pressionada pelo mercado exterior tende a utilizar o equipamento até a ocorrência de uma avaria.
 - II. A manutenção pretende diminuir a taxa de avarias dos sistemas, revisando e beneficiando os equipamentos com certas periodicidades (ou após sinais de avaria eminente dados por diagnóstico). Para isso necessita de paradas periódicas programadas.
-

No ponto de vista I, leva-se em o equipamento ao máximo das suas possibilidades, a curto prazo. O chefe de produção pode apresentar maiores produções ou cumprir planos de operação durante algum tempo.

Porém os inconvenientes são muito graves:

- Ocorrências de avarias com frequência que acaba por se tornar excessiva;
- Maior gravidade das avarias;
- Menor tempo de utilização de equipamentos e queda posterior da produção média;
- Aumento do custo de manutenção.

O ponto de vista I, sem o equilíbrio do conceito II, acaba por conduzir a uma manutenção de baixo nível, desorganizada, e cara, com perda de produção global.

Isto acontece invariavelmente quando a Manutenção depende hierarquicamente da Produção.

Então as duas tendências (a Produtora e a Reparadora) devem ter pesos idênticos e situar-se hierarquicamente ao mesmo nível. Em caso de oposição dos pontos de vistas, o Superintendente Geral resolverá o diferendo e tomará a responsabilidade.

A Figura 3.5 representa um organograma típico da organização de uma empresa na qual a Manutenção se encontra corretamente implantada [13].

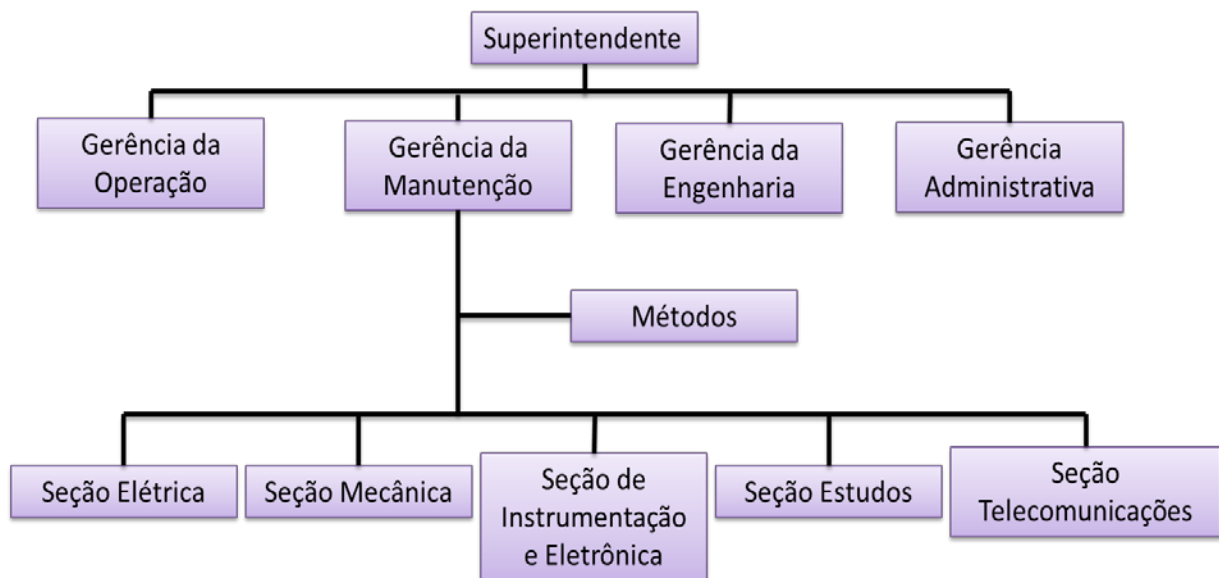


Figura 3.5: Organograma Típico empresarial onde a manutenção é implantada corretamente.

3.14 CONCLUSÃO

A organização da manutenção deve ser planejada de modo em se programar as manutenções preventivas e organizar as manutenções corretivas, tendo em vista a verticalização das manutenções.

Para que se estruture o sistema, inicialmente trata-se da ordem de trabalho, para que o sistema tenha documentado todas suas intervenções. Necessita-se também da etiquetagem para se mapear a unidade fabril.

Com a finalidade de se conhecer, em certo detalhe, a vida passada de um equipamento, colecionar as durações das operações de manutenção e facilitar o trabalho do planejamento da manutenção, utiliza-se, respectivamente, as fichas históricas, temporais e características.

É de extrema importância a comunicação entre a manutenção e o almoxarifado de peças e um sistema planejado e organizado consegue controlar todo o processo.

A manutenção também deve ser regulada através de graus de prioridade e possuir uma biblioteca técnica, servindo de consulta à informações necessárias para um desempenho admissível da manutenção.

A equipe de manutenção deve se situar na mesma hierarquia da equipe de operação, para que seu desempenho não seja prejudicado.

CAPÍTULO 4

PLANOS DE MANUTENÇÃO

Este capítulo tem o objetivo de descrever as manutenções realizadas em equipamentos elétricos comuns em indústrias, definindo um diagrama unifilar modelo e aplicar no mesmo os conceitos abordados nos capítulos anteriores.

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os planos de manutenção são as informações necessárias para uma orientação objetiva das atividades de manutenção preventiva, sendo o detalhamento da estratégia de manutenção assumida por uma empresa. Sua disposição no tempo e espaço, e a eficiência de suas instruções, qualifica a manutenção preventiva adotada pelo setor de manutenção [2].

A divisão dos planos em categorias tem a função de proporcionar uma maior eficiência às ações de detecção de falhas e defeitos, intervenções prévias à parada não programada de um equipamento e, por consequência, garantir a alocação dos recursos necessários para execução dos serviços, aumentando assim a produtividade do setor de manutenção.

Com o intuito de sistematizar o processo de manutenção, um diagrama unifilar básico foi utilizado como referência para que se pudesse estruturar os planos de manutenção dos equipamentos nele presentes. A Figura 4.1 representa o diagrama unifilar modelo.

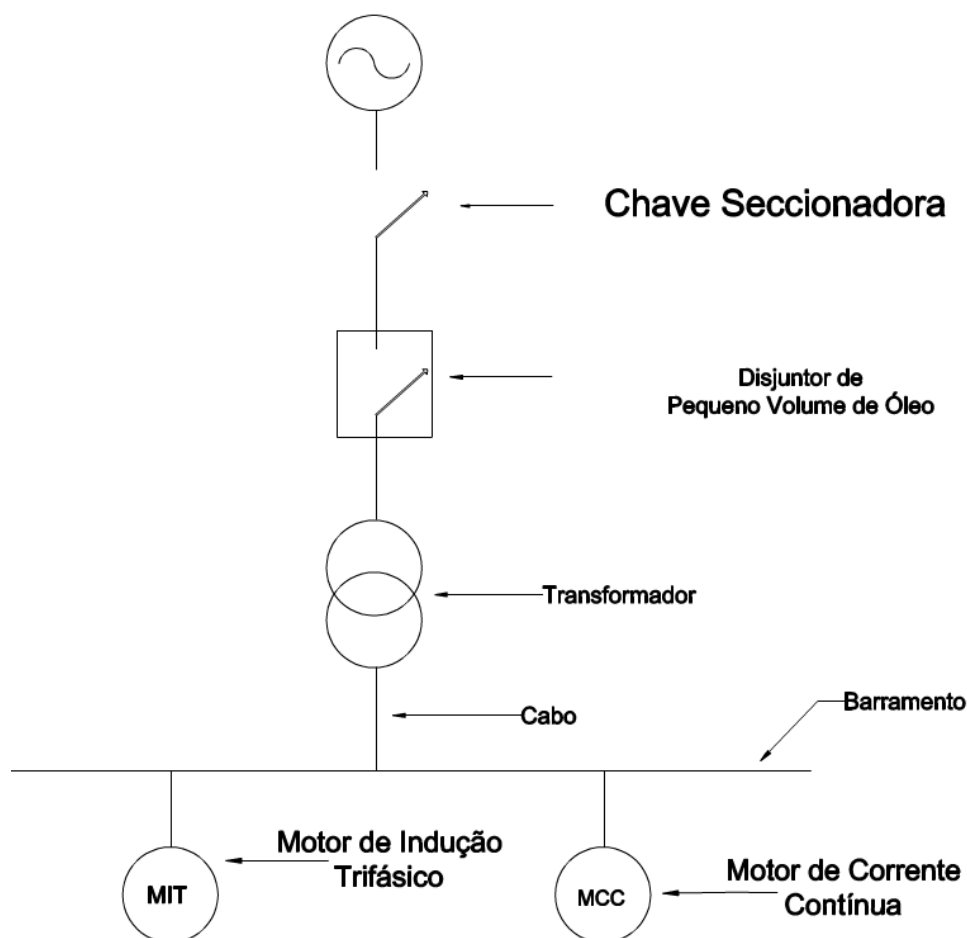


Figura 4.1: Diagrama Unifilar utilizado como modelo.

4.2 PLANOS DE MANUTENÇÃO

Os planos de manutenção são o conjunto de informações necessárias, para a orientação perfeita da atividade de manutenção preventiva. Os mesmos representam, na prática, o detalhamento da estratégia de manutenção assumida por uma empresa. A sua disposição no tempo e no espaço, e a qualidade das suas instruções, determinam o tratamento dado pelo organismo mantenedor para com sua ação preventiva.

Os planos de manutenção serão abordados de acordo com o diagrama representado na Figura 4.1, sendo os equipamentos nele presentes os mais comuns em indústrias [2]. Os equipamentos utilizados nos planos serão detalhados à medida que forem requisitados.

4.3 CHAVE SECCIONADORA

A chave seccionadora é utilizada em redes de distribuição de energia elétrica para manobra do sistema sem carga. Elas apresentam planos de manutenção que levam em conta problemas térmicos, mecânicos e elétricos.

4.3.1 INSPEÇÃO VISUAL

Apesar de ser o plano mais básico, não é o menos importante. É através deste tipo de exames simples que se podem detectar falhas de fácil resolução no estágio de gravidade que se encontra.

Na prática a inspeção consiste na observação de certas características dos equipamentos, tais como: ruído, temperatura, condições de conservação, limpeza, vibração, etc. [2].

As inspeções devem seguir uma rota de inspeção para que não ultrapasse o tempo máximo das rotinas de inspeção, tendo como ferramenta os cinco sentidos do operador, conforme a política da TPM (Apêndice I) e possuem uma periodicidade mensal [27].

4.3.2 ANÁLISE DA TEMPERATURA

Deve-se verificar a conformidade da temperatura de operação do equipamento em relação aos valores prescritos pelo fabricante. Os equipamentos para tal medição são termômetros, termopares, termoresistências, termovisores, etc., sendo que os termovisores estão sendo mais utilizados, devido sua facilidade de operação [9].

Em diversos equipamentos, como motores, transformadores e geradores, a vida útil dos isolantes depende criticamente da temperatura de funcionamento. Em certos equipamentos (máquinas importantes) estão inseridos elementos termométricos que permitem medição contínua da temperatura em certos pontos. Porém, outras temperaturas não podem ser medidas diretamente

com elementos termométricos, como por exemplo, equipamentos que trabalham com alta tensão e, neste caso, o mais comum é a utilização do termovisor [15]. Sua periodicidade é semestral.

4.3.2.1 TERMOPARES

Os termopares baseiam-se na seguinte propriedade: quando fios de metais diferentes estão em contato pelos extremos, gera-se uma força eletromagnética (f.e.m.), e conseqüentemente, surge uma corrente elétrica no circuito quando os dois contatos estão a temperaturas diferentes [14].

É necessário um tempo, conhecido como tempo de resposta, para que se atinja o equilíbrio de temperaturas, sendo esse tempo variável caso o termopar seja nu ou protegido com bainha (bobina de proteção), sendo preciso considerar esse atraso dinâmico ao se fazer leituras. A Figura 4.2 representa o modelo de medição com um termopar [45].

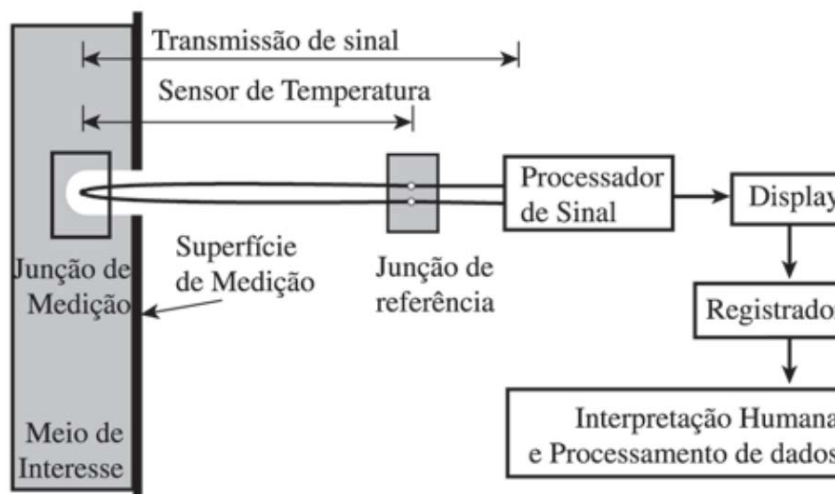


Figura 4.2: Modelo de medição com termopar.

Para medição de temperaturas pouco diferentes da ambiente (uma faixa de 50°C, para mais e para menos) o termopar não é apropriado, neste caso deve se usar elementos primários de termoresistência [15].

4.3.2.2 TERMORESISTÊNCIAS

Utilizam-se as termoresistências para uma maior precisão em relação aos termopares ou para medição de pequenos desvios de temperatura (da ordem de 0,02°C).

Temperaturas próximas da ambiente, como mancais, bobinas de máquinas rotativas com pequenas cargas, rolamentos, etc., devem ser medidos com as termoresistências. A Figura 4.3 representa o modelo básico de uma termoresistência [46].

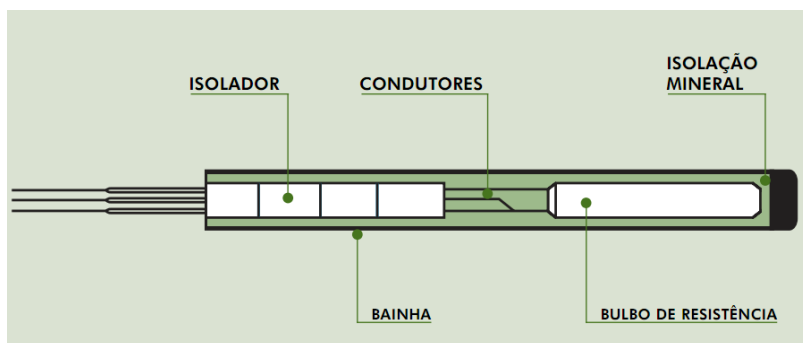


Figura 4.3: Modelo de funcionamento de termoresistências.

A medição do valor da termoresistência é feita com pontes Wheatstone desequilibradas ou de equilíbrio automático, sendo que os instrumentos de medida de temperatura podem estar a uma distância de cerca de 400m da termoresistência e, para distâncias maiores, são usados os conversores eletrônico resistência-corrente [15].

4.3.2.3 TERMÔMETROS BIMETÁLICOS

A medição fixa de temperaturas com indicação local é feita normalmente com termômetros bimetálicos.

O elemento sensível é uma mola helicoidal constituída por uma fita de dois metais diferentes laminados conjuntamente. Como o coeficiente de dilatação dos dois metais é diferente, a lâmina é obrigada a enrolar ou desenrolar com as variações térmicas e o erro de medição é de 2 a 3% do fim de escala [15].

A Figura 4.4 representa o ajuste do acionamento do contato elétrico de um termômetro bimetálico [47].



Figura 4.4: Ajuste do acionamento elétrico de um termômetro bimetálico.

4.3.2.4 TERMOVISOR

Todos os corpos materiais emitem radiações térmicas, isto é, radiações eletromagnéticas com comprimento de onda superior ao da luz visível. Esta emissão é designada como radiação infra-vermelha (I.R.).

Estas radiações, com comprimento de onda na faixa de 7.000Å até cerca de 100.000Å são invisíveis, isto é, não impressionam a retina humana. Essa emissão é mais intensa para superfícies quentes, acima da temperatura ambiente [14].

A termografia é uma técnica que permite tornar visíveis as imagens invisíveis na região das radiações infravermelhas. Esta técnica serve para detectar visualmente componentes de um circuito, tais como conectores, chaves seccionadoras, junções terminais, etc., que se encontrem em altas temperaturas. A Figura 4.5 representa a utilização de um modelo de termovisor [48].



Figura 4.5: Utilização de um termovisor.

Os termovisores mais simples dão uma imagem em preto e branco (em escala de cinza), sendo que as superfícies mais quentes aparecem mais brilhantes.

Os termovisores mais modernos dispõem de um microcomputador e apresentam a imagem representada por superfícies isotérmicas calibradas em temperatura. É assim possível determinar as temperaturas das várias regiões de um componente [15].

4.3.3 MANUTENÇÃO MECÂNICA

Com o intuito de se conservar os elementos mecânicos e, conseqüentemente, os equipamentos e máquinas, deve-se executar o procedimento de lubrificação.

Os elementos mecânicos passíveis de lubrificação são engrenagens, mancais, cilindros, superfícies planas deslizantes, etc.. No roteiro de manutenção mecânica, o primeiro passo é definir onde se aplicará óleo lubrificante e onde se aplicará a graxa lubrificante, pois há uma grande diferença nos dois processos.

Após a distinção dos pontos de lubrificação com graxa e óleo, deve-se adequar o tipo de óleo/graxa a ser aplicado e sua periodicidade [17]. Este plano deve ser realizado semestralmente.

A Tabela 4.1 exemplifica os procedimentos típicos de lubrificação em diversos tipos de rolamentos, válvulas, etc., e a utilização dos tipos de óleo e graxa adequados [13].

Tabela 4.1: Procedimentos típicos de lubrificação.

Tipo	Óleo SAE 20 ou 30 ou Graxa Lítio
Rolamentos Blindados	Não são lubrificados
Rolamentos de Motores Elétricos	40 a 50 gotas de óleo de máquina a cada 6 meses
Válvulas de Controle	Não são lubrificadas
Contatos Principais	Conforme Fabricante
Superfícies Deslizantes (Cames Roletas)	Limpar e aplicar graxa ou óleo de turbina
Válvula Piloto	Limpar e lubrificar com óleo de turbina
Compressor de ar	Trocar óleo do cárter e limpar válvulas, verificando desgastes de peças

4.3.4 LIMPEZA

A realização da limpeza dos isoladores, retirando resíduos (poeira, pó, etc.) que se depositaram ao longo do tempo e removendo os pontos de oxidação, contribui na prevenção de paradas não programadas. Salienta-se que planos mais simples não são, de forma alguma, menos importantes, tendo este, uma periodicidade semestral.

Alguns equipamentos necessitam que a instalação seja desenergizada para que esse plano de manutenção seja efetuado, seguindo as recomendações e obrigações da norma de segurança [49].

4.3.5 FATOR DE POTÊNCIA DE PERDAS

Com o objetivo de realizar a medição das perdas dielétricas dos equipamentos isolantes, utiliza-se o doble e comparam-se os resultados (perdas dielétricas, ângulo de perdas e corrente de fuga) com os valores fornecidos pelo fabricante. Este plano tem a função de determinar as condições da isolação do equipamento, verificando a variação das características do isolante, as quais estão relacionadas com o efeito dos agentes destrutivos, tais como: água, calor, ionização, etc., reduzindo a sua rigidez dielétrica. O instrumento de medição utilizado comumente é o Doble (Seção 4.3.5.1) e sua periodicidade é bianual.

As ligações a serem efetuadas nas buchas da chave seccionadora são representadas conforme Figura 4.6, onde HV é a alta tensão e LV a baixa tensão. Deve-se notar que todos os esquemas devem ser montados para medição e que o teste do colar múltiplo deve ser realizado, através de colares (fitas metálicas ou de borracha metalizada) em torno da porcelana, bucha por bucha e disco

por disco, observando os valores individuais. A chave do instrumento deve estar posicionada no campo UST.

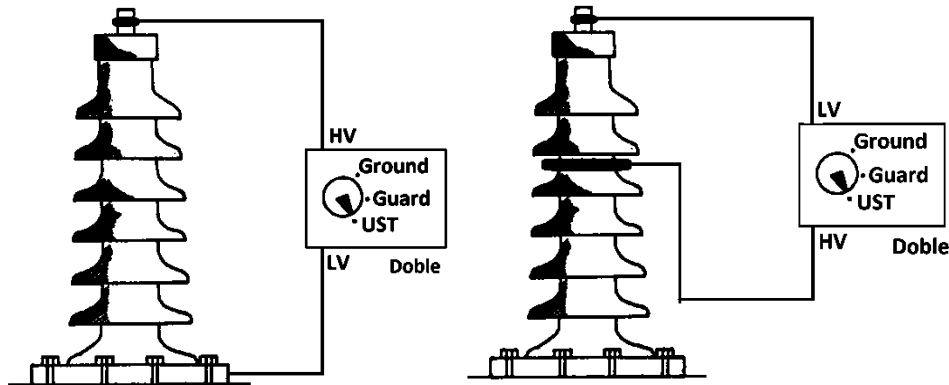


Figura 4.6: Ensaio de buchas tradicional e teste do colar múltiplo, respectivamente.

É importante ressaltar que a temperatura ambiente do ensaio utilizando o Doble interfere nos valores mensurados pelo equipamento, sendo necessário corrigir o fator de potência de perdas.

A temperatura ambiente possui duas médias utilizadas, através dos relatórios de serviços de meteorologia, para correção:

- I. Temperatura média do mês: usa-se a média, para o mês considerado, das temperaturas médias do mês do mesmo nome, no decurso de vários anos.
- II. Média das temperaturas diárias: usa-se a média, para o mês considerado, das médias mensais das temperaturas máximas diárias correspondentes ao mês do mesmo nome, durante vários anos.

O uso destas médias corresponde aos seguintes casos:

- Equipamentos que possuem cargas que não alterem a expectativa de vida normal usa-se a média do item I como temperatura prevista para o mês correspondente ao estudo de previsão;
- Para equipamentos que apresentam sobrecargas de curta duração que possam trazer algum sacrifício para a vida esperada, usa-se o item II como temperatura ambiente;
- É prudente, para contar com as flutuações, estatísticas de temperatura, acrescentar em 5°C as médias previstas anteriormente.

A Tabela 4.2 apresenta os coeficientes de correção a serem aplicados no fator de potência de perdas de buchas da General Electric e Westinghouse, considerando a temperatura de execução padrão de 20°C. As tabelas completas, contendo mais valores de temperatura e o fabricante Ohio Brass, além da análise de óleos isolantes, se encontram no Apêndice II, por meio das Tabelas I e II [50].

Tabela 4.2: Correção do fator de potência de perdas a 20°C, General Eletric e Westinghouse.

General Eletric				Temp. (°C)	Westinghouse				
Tipo B	Tipo F	Tipos L – LC – LI – LM	Tipos OF – OFI – OFM		Tipos S – SI – SM	Tipo U	Tipo D	Condensiva exceto tipo O	Tipo O
1,09	0,93	1,00	1,18	0	1,26	1,02	1,26	1,61	1,11
1,07	0,99	1,00	1,10	10	1,14	1,01	1,12	1,23	1,05
1,00	1,00	1,00	1,00	20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,81	0,92	0,96	0,86	30	0,84	0,99	0,87	0,81	0,94
0,61	0,78	0,89	0,70	40	0,67	0,98	0,74	0,64	0,88
-	0,52	0,80	0,56	50	0,50	0,97	0,59	0,51	0,82
-	-	0,74	0,44	60	0,36	0,96	0,54	0,45	0,77
-	-	0,66	0,36	70	0,23	-	0,49	0,40	0,73
-	-	-	0,29	80	0,15	-	-	-	-

Depois de realizada correção do fator de potência de perdas devido à temperatura é necessário avaliar a qualidade da isolamento, conforme valores apresentados pela Tabela 4.3 [50] [13].

Tabela 4.3: Avaliação da qualidade de isolamento de buchas, a 20 °C.

Tipo	Boa	Investigar	Ruim
Buchas GE			
Tipo A - 7,5 kV a 15 kV	Até 7%	7% a 9%	Acima de 9%
Tipo B - 7,5 kV a 24 kV	Até 10%	10% a 12%	Acima de 12%
Tipo F - 115 kV a 161 kV	Até 2,5%	2,5% a 4%	Acima de 4%
Tipos L, U, LC, - 15 kV a 73 kV	Até 3,5%	3,5% a 5%	Acima de 5%
Tipos OF, OR, OFM, - 48 kV a 69 kV	Até 3,5%	3,5% a 6%	Acima de 6%
Tipos OF, OR, OFM, - 115 kV a 161 kV	Até 3%	3% a 5%	Acima de 5%
Tipos S, SI, SM - 15 kV a 37 kV	Até 4%	4% a 5%	Acima de 5%
Tipos S, SI, SM - 48 kV a 69 kV	Até 3,5%	3,5% a 6%	Acima de 6%
Tipo U - 46 kV a 69 kV	Até 2,5%	2,5% a 3,5%	Acima de 3,5%
Tipo U - 92 kV a 161 kV	Até 2%	2% a 3%	Acima de 3%
Buchas Westinghouse			
Condensive cheia de compound, exceto tipos D, N, O - 15 kV a 25 kV	Até 4%	4% a 6,5%	Acima de 6,5%
Condensive cheia de compound, exceto tipos D, N, O - 64 kV a 69 kV	Até 3,5%	3,5% a 6%	Acima de 6%
Condensive cheia de compound, exceto tipos D, N, O - 92 kV a 161 kV	Até 3%	3% a 5%	Acima de 5%
Tipo D - 33 kV a 46 kV	Até 5%	5% a 7%	Acima de 7%
Tipo H - 33 kV a 46 kV	Até 10%	10% a 12%	Acima de 12%
Tipo N - 92 kV a 161 kV	Até 2,5%	2,5% a 4%	Acima de 4%
Tipo O - 92 kV a 161 kV	Até 1,5%	1,5% a 2,5%	Acima de 2,5%
Buchas Ohio Brass			
Tipo DOOF - 115 kV a 161 kV	Até 11%	11% a 22%	Acima de 22%
Tipo G - 46 kV a 161 kV	Até 11%	11% a 22%	Acima de 22%
Tipo L - 15 kV a 69 kV	Até 11%	11% a 22%	Acima de 22%
Tipo GK - 69 kV a 196 kV	Até 1,5%	1,5% a 2,5%	Acima de 2,5%
Tipo UK - 23 kV a 69 kV	Até 2%	2% a 3%	Acima de 3%
Lapp tipo POC - 23 kV a 69 kV	Até 2%	2% a 3%	Acima de 3%
Micanite - 15 kV	Até 4%	4% a 6%	Acima de 6%
Micanite - 25 kV a 69 kV	Até 2,5%	2,5% a 3,5%	Acima de 3,5%
Micanite - 92 kV a 161 kV	Até 1,5%	1,5% a 2,5%	Acima de 2,5%

4.3.5.1 DOBLE

Os parâmetros que podem ser medidos com o doble são os seguintes:

- Perdas dielétricas totais (em VA);
- Perdas dielétricas ativas (em W);
- Corrente de fuga da isolação;
- Capacitância da isolação;
- Fator de perda da isolação.

É importante ressaltar que um dielétrico de uma isolação sujeito à uma fonte de tensão senoidal (E) corresponde à uma resistência ôhmica (R) e uma capacitância (C) em paralelo. A isolação será percorrida por duas correntes: uma corrente capacitiva (I_c), adiantada de 90° em relação à tensão aplicada, e uma corrente resistiva (I_r), em fase com a tensão, originando assim uma potência ativa (manifestada através do aquecimento do dielétrico). A Figura 4.7 representa essas duas correntes, na forma vetorial e na forma de um circuito, contendo também o ângulo δ entre I e I_c e o ângulo φ entre I e I_r [14].

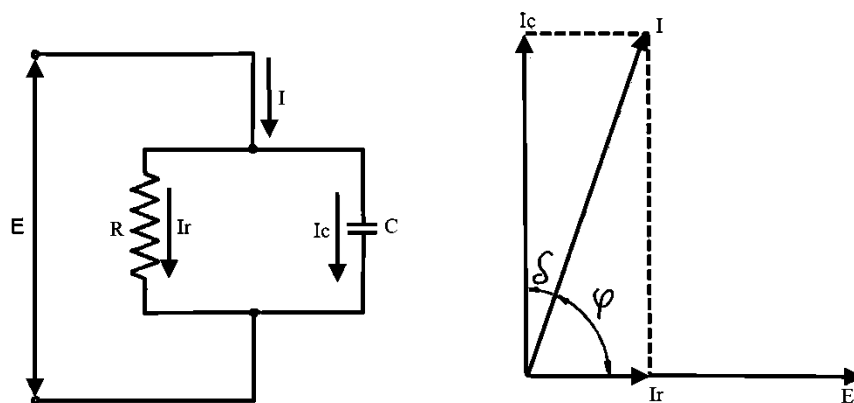


Figura 4.7: Isolação sujeita à tensão alternada.

Em condições ideais, teríamos o valor da corrente resistiva igual a zero e, conseqüentemente, a relação $I_r / I_c = 0$. Porém, como a corrente de fuga não é nula, a relação I_r / I_c apresenta valores diferentes, de acordo com a qualidade de isolação, isto é, valores crescentes com a sua degeneração. Essa relação é denominada fator de perdas dielétricas ou fator de dissipação, sendo comumente representada em valores percentuais.

Considerando o ângulo δ trigonometricamente pequeno, tem-se o seno igual a tangente: isto quer dizer que o fator de potência do isolamento é aproximadamente igual ao fator de perdas ($\tan \delta$). É importante ressaltar que a medida que o fator de perdas aumenta, aumenta também a diferença entre os valores obtidos através desse princípio, sendo útil destacar que o fator de potência vai

representar valores sempre inferiores aos do fator de perda. Assim pode-se concluir que quanto menor for o fator de potência, melhor será a situação da isolação [14].

O Doble consiste em, essencialmente, de um transformador capaz de gerar alta tensão no secundário e cujo primário é alimentado a partir da rede de baixa tensão, por intermédio de um Variac regulador.

Como o valor da corrente que atravessa o material dielétrico é muito pequena, ela é primeiramente amplificada e, posteriormente, medida. O doble também consegue medir a corrente total, que é a soma vetorial da corrente capacitiva e a corrente resistiva (fuga).

Além disso, o instrumento dispõe de um circuito de balanceamento capaz de introduzir uma corrente indutiva em quadratura e regulável. É possível assim compensar a corrente capacitiva que atravessa o dielétrico e medir somente a corrente de resistiva (fuga). Este ajuste é conseguido quando a corrente medida passa pelo mínimo.

Através de chaves seletoras, o doble pode realizar medições de corrente e de potência. Em uma das posições, o instrumento mede a corrente total, indiretamente através da queda de tensão que ela produz em uma resistência fixa de grande valor (caso exista o amplificador, é preciso considerar o fator de multiplicação); em outra opção de seleção do instrumento, há a injeção de uma corrente reativa regulável, a qual é ajustada até a obtenção de uma leitura mínima, observando-se assim apenas a corrente resistiva (fuga) em fase com a tensão aplicada e, como a tensão aplicada é conhecida (tensão total do secundário menos a queda na resistência fixa), é possível calibrar o instrumento em termos de potência dissipada [15].

Para que se possam compensar os erros devidos às interferências eletrostáticas produzidas por equipamentos próximos energizados, existe uma chave reversora que permite, em cada leitura, a inversão dos circuitos de medição. É necessário a realização de duas leituras e achar a média, sempre observando o fator de multiplicação.

Caso uma das leituras for positiva (em fase) e a outra for negativa (à 180°), a média é achada subtraindo a leitura negativa da positiva e dividindo por dois e, caso a média resultar em um número negativo, contata-se uma anomalia no aparelho medidor.

Tais medidores de perdas são fornecidos com blindagens eletrostáticas tanto nos instrumentos como nos cabos. Estas blindagens devem ser aterradas durante qualquer processo de utilização do medidor, pois, além do efeito de blindagem, a ligação à terra é essencial para proteção do operador devido à possibilidade de falhas na isolação do circuito de ensaio [49].

Em casos em que as influências externas causem erros excessivos, deve-se desenergizar ou aterrar o equipamento perturbador. Pode-se também obter casos em que o equipamento não é aterrado, assim deve-se aterrar a parte blindada do cabo e a extremidade não energizada da isolação

sob ensaio deve ser ligada, através de um cabo isolado da terra e blindado, no terminal próprio para essa situação do instrumento.

O painel frontal geralmente possui: um voltímetro AC para medição de tensão do ensaio, um indicador de corrente e de potência ativa, um botão multiplicador de corrente, um botão para verificação da polaridade, um botão multiplicador de potência, um seletor corrente-potência, botões de ajuste de potência e de corrente e a tomada do cabo multicondutor [15]. A Figura 4.8 representa o ensaio de isolamento em câmara de um disjuntor utilizando o doble M2H de 10 kV [51].

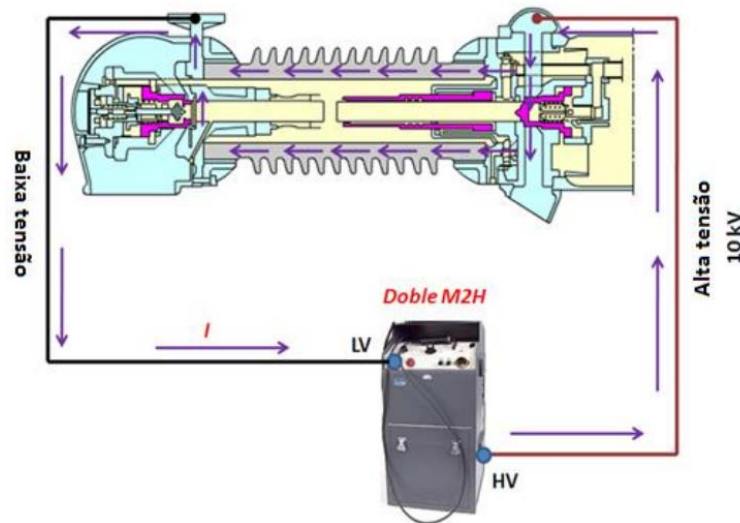


Figura 4.8: Ensaio de isolamento em câmara de um disjuntor utilizando o doble M2H de 10 kV.

4.4 DISJUNTOR DE PEQUENO VOLUME DE ÓLEO

O Disjuntor de pequeno volume de óleo (DPVO) é utilizado em redes de distribuição de energia elétrica para manobra do sistema com carga.

A manutenção dos disjuntores requer, fundamentalmente, cuidados com os seguintes componentes: óleo isolante, contatos, buchas, atuador mecânico e circuitos auxiliares [15].

4.4.1 APERTO DOS CONECTORES

Efetuar o aperto dos conectores que ligam os cabos aos disjuntores, visando melhorar o contato elétrico é uma atitude primordial para que se obtenham resultados relativos à manutenção preventiva, sendo que tal plano deve ser realizado semestralmente.

O aperto deve ser realizado de tal maneira a obter a mesma pressão sobre todos os conectores. Caso se possua o torquímetro, ajustar a ferramenta de tal maneira a obter a pressão de aperto especificada pelo fabricante. Caso não se possua o torquímetro, efetuar o aperto sem danificar o equipamento [30].

4.4.2 INSPEÇÃO VISUAL

Conforme abordado na Seção 4.3.1 , tendo a periodicidade semestral.

4.4.3 SIMULTANEIDADE DOS POLOS

Deve-se verificar o tempo de fechamento dos polos do disjuntor para que se possa garantir que os contatos fechem no mesmo instante de tempo ou com uma diferença de tempo insignificante.

São estabelecidos três circuitos alimentados por uma baixa tensão alternada ou contínua, e constituídos cada um pelo contato do disjuntor e por uma lâmpada. O disjuntor é fechado lentamente, por meios manuais, desta forma pode se observar o tempo que cada lâmpada demora acender, ou seja, quanto tempo cada polo demora a fechar. O ajuste consiste em fazer com que as lâmpadas acendam juntas, de tal maneira que o fechamento dos polos seja simultâneo.

Em disjuntores a ar ou a SF6, o ensaio é, habitualmente, realizado com o disjuntor no local da instalação; uma alimentação dos 3 polos com uma tensão auxiliar contínua de 12 V; limitação de corrente (após fechamento) com 3 resistores com um valor na ordem das dezenas de ohms; conexão de um oscilógrafo de 3 curvas, com as entradas ligadas aos terminais dos resistores; estabelecimento do circuito da bobina de fechamento; enviar um sinal de corrente da bobina de fechamento para o oscilógrafo; tendo assim no registro do oscilógrafo o instante de sinal da bobina e os instantes de fechamento dos 3 polos [15].

Os ensaios são descritos em grande detalhe teórico na norma específica [52] e devem ser realizados anualmente.

4.4.4 LUBRIFICAÇÃO

Conforme abordado na Seção 4.3.3 , porém é importante ressaltar que os mecanismos dos contatos principais também podem receber lubrificação nas partes dos contatos móveis e fixos que se atritam e que sua periodicidade é anual.

Nas regiões em que a temperatura ambiente pode atingir valores próximos de 0°C e até negativos, deve ser empregada graxa que não endureça, sendo testada conforme a norma específica [53].

Destaca-se o fato de que os pontos do disjuntor a serem lubrificados, a espécie e a marca do lubrificante recomendado (graxa, óleo), bem como a periodicidade da lubrificação, são recomendados pelo fabricante do disjuntor.

4.4.5 RESISTÊNCIA DE CONTATO

Uma fonte de problemas em circuitos elétricos são as resistências de contatos, ocasionando perdas de potências, queda de tensão, aquecimento e consequente danificação.

É importante efetuar a medição da resistência de contato dos polos do disjuntor, para acompanhamento das condições de operação do disjuntor. Observa-se que a resistência de contato varia em função do numero de operações do disjuntor devido à ação do arco elétrico no momento da abertura. Com o intuito de se medir esse valor, utiliza-se normalmente o ducer (Seção 4.4.5.1).

O diagrama esquemático do procedimento de medição é representado pela Figura 4.9, onde os pontos de ligação do medidor são representados por C1, P1, P2 e C2, conforme abordagem posterior. É importante observar que se deve realizar a medição para todas as fases do disjuntor e para todos os contatos e de que este plano possui uma periodicidade anual.

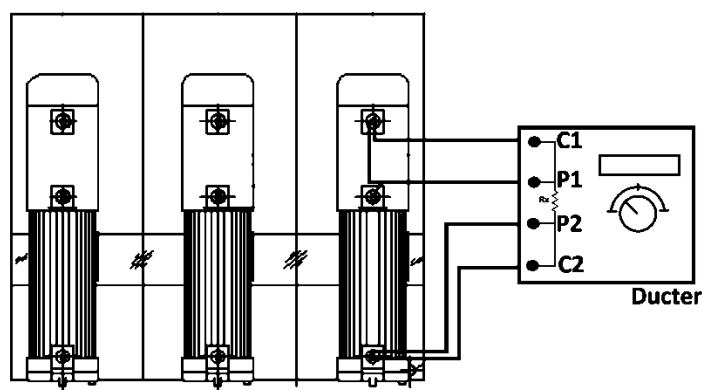


Figura 4.9: Utilização do Ducer no DPVO.

A Tabela 4.4 apresenta valores típicos de medições realizadas em diversos DPVO's, tendo os valores de resistência por câmara, módulo e fase [13].

Tabela 4.4: Valores típicos de resistência de contato de DPVO's.

Fabricante	Tipo	Resistência por Câmara ($\mu\Omega$)	Resistência por módulo ($\mu\Omega$)	Resistência por fase ($\mu\Omega$)
ASEA	HED145/1250B	-	-	100
CKD	VEZL-132	50	-	-
	VMM-110	50	-	-
Brown Boveri	FR5C1	30	-	70
	TR-170-12	70	-	70
Delle Alsthom	HPGE-10-14S	-	-	70
	OR2A	100	-	-
	OR1M	50	-	-
	HPGE-11-15A	95	-	-
	HPGE-11-15E	95	-	-
	HPGE-9-12E	60	-	-
	HPGE-12-15E	90	-	-
	HPGE-9-14C	60	-	-

Galileo	ODERO	370	-	-
	ODERO-150/150PL	270	-	-
	ODERO-220	-	-	200
	ODERO-4245	100	200	500
Magnini	NFA150	200	-	-
	145MIN	120	-	-
	72MI1500	90	-	-
Oerlikon	TOFQ 150-12	-	-	150
	FR4CI	-	-	50
Skoda	8VEZI-132	50	-	-
	2VEZI-132	50	-	-
	2VEK-66	50	-	-
	VEK-66	50	-	-
Sprecher Schuh	HPF-514P/4BS	60	-	70
	HPFW-311-H(65)	-	-	70
	HPFW-311-M(65)	-	-	70
	HPF-311	-	-	70
	HPF-309H	85	-	-
	HPF-8H	100	-	-
	HPF-515	60	-	-
	HPF-515P/8A	60	-	-
	HPF-514	60	120	480
	HPF-514P/6A	114	-	-
	HPF-114	95	-	-
	HPF-114M	95	-	-
	HPF-312L	95	-	-
	HPF-312M	95	-	-
	HPFW-312L	95	-	-
	HPF-311K	70	-	-
	HPF-311L	70	-	-
	HPF-312LS	80	-	-
	HPF-309H	80	-	-

4.4.5.1 DUCTER

O instrumento mais popular para medição de baixas resistências é o ducter. Usa-se especialmente para medição de resistência de barras e condutores, de conexões, de contatos e de bobinas e enrolamentos de grande seção e baixa resistência [15]. A Figura 4.10 representa um ducter [51].



Figura 4.10: Microhmímetro Ducter.

Fundamentalmente, o ohmímetro ducker baseia-se no método voltímetro-amperímetro, porém, ao invés do amperímetro e do voltímetro, usam-se no ducker duas bobinas de tensão e de correntes montadas sobre um eixo comum, no entreferro de um ímã permanente. Não existe mola de restrição como nos instrumentos habituais de bobina móvel. Nestas condições, quando os cabos de prova não estão conectados, o ponteiro fica em equilíbrio indiferente em qualquer ponto da escala.

Os torques das bobinas de tensão e corrente têm sentido contrários, sendo que a corrente na bobina de corrente faz mover o ponteiro no sentido zero da escala fazendo com que o seu torque funcione como uma mola de restrição e a corrente na bobina de tensão produz um torque que tende a mover o ponteiro para o fim da escala. Como a variação da tensão afeta de modo idêntico ambas as bobinas, as leituras são independentes desta tensão [14].

As escalas de resistências são selecionadas por resistências em série no circuito da bobina de tensão e por resistências “shunt” em paralelo com a bobina de corrente.

Na medição de resistências de contatos não podemos desprezar duas grandezas, principais causadoras de erros: a resistência própria dos fios condutores que ligam a resistência a medir ao instrumento de medição e a resistência dos contatos destes fios condutores com os elementos envolvidos: resistência a medir e o instrumento de medição. Sempre que possível os fios condutores devem ser curtos e de grande seção transversal, reduzindo-se assim, a sua influência sobre os resultados, já a resistência desses contatos deve ser diminuída através da realização do modo mais perfeito possível de contato, evitando-se, ainda, que as correntes elétricas fortes circulem através deles para que não surja f.e.m. nefasta de origem termoeletrônica [15].

É importante observar que o contato com o condutor a medir é feito por 4 pontas: duas de corrente e duas de tensão. Isto se dá devido à necessidade de se reduzir as influências indesejáveis citadas, conforme mostra a Figura 4.11 de modo esquemático [15].

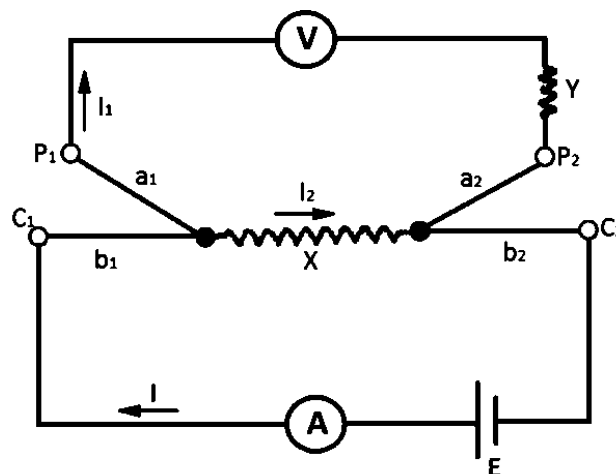


Figura 4.11: Modelo esquemático do Ducker.

Onde C1 e C2 são os terminais de corrente, aos quais a resistência X a medir é ligada por meio dos fios condutores b_1 e b_2 e P1 e P2 são os terminais de potencial, aos quais a resistência X é ligada por meio dos fios condutores a_1 e a_2 .

O circuito de potencial do instrumento tem uma resistência própria Y muito maior que o máximo valor da resistência X que o instrumento pode medir, assim a corrente I_1 é muito menor que I_2 , chegando-se a admitir que praticamente toda corrente I passa através de X [14].

O procedimento para medição é sempre detalhado pelo fabricante, porém é bastante similar ao seguinte [15]:

- I. Coloca-se o instrumento sobre uma superfície firme, plana, nivelada e afastada de campos magnéticos intensos;
- II. Conectam-se os terminais positivo e negativa da bateria aos terminais de mesma polaridade do instrumento;
- III. O ponteiro do instrumento indicador assume qualquer posição quando não em medição, pois o seu conjunto móvel não possui mola;
- IV. Coloca-se a chave de escala numa posição de um valor superior ao valor estimado da resistência de contato a medir;
- V. Conectam-se os terminais dos cabos dos cravadores duplos, aos terminais de corrente CC do instrumento, e os terminais dos cabos vermelhos aos terminais de potencial PP.
- VI. Aplica-se um par de cravadores contra o terminal de cada bucha do mesmo polo do disjuntor;
- VII. Os cravadores duplos, não devem ser usados com a faixa de multiplicador um, que não permite uma corrente de 100 A;
- VIII. O valor indicado pelo ponteiro na escala do instrumento indicador, multiplicado pelo fator de multiplicação ajustado na chave de faixa de escala, dará o valor da resistência de contato, geralmente em microohms.

4.4.6 RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO

Deve-se efetuar a medição da resistência de isolamento do disjuntor de tal maneira a identificar a ação de temperatura, umidade ou outros fatores ambientais sobre o isolante do disjuntor.

Para se realizar o ensaio é necessário desligar as conexões que interligam o disjuntor aos barramentos e manter o disjuntor aberto, obedecendo à norma de segurança [49]. O equipamento utilizado para medição da resistência de isolamento normalmente é o megger (Seção 4.4.6.1) e a periodicidade do plano deve ser anual.

No caso de aplicação em disjuntores é necessário se desligar as conexões que interligam o disjuntor a outro equipamento. Em disjuntores de pequeno volume de óleo (DPVO), uma das ligações é descrita a seguir, seguindo a designação da Figura 4.12, onde A1, A2, B1, B2, C1 e C2 representam os pontos de contato e G, L e E os terminais do medidor, conforme abordagem na Seção 4.4.6.1 [15]. É importante observar que todos os contatos devem ser medidos.

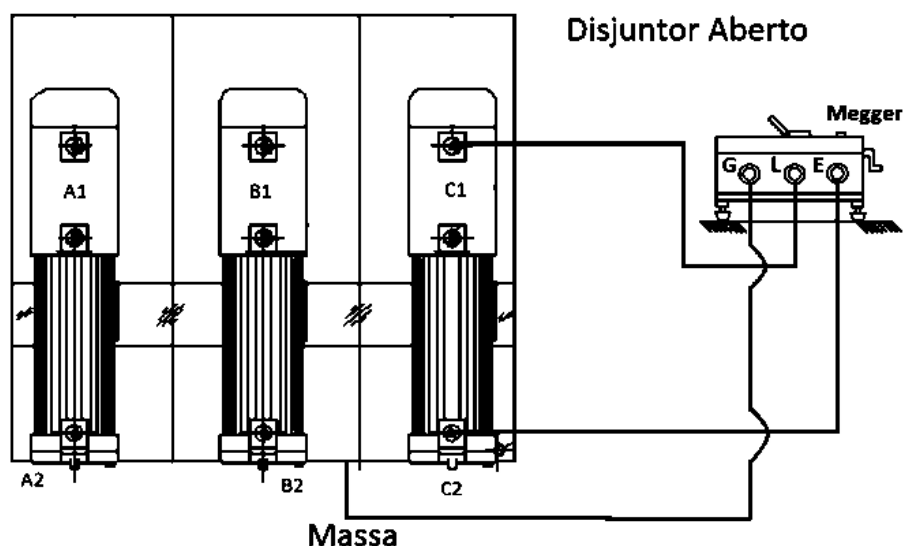


Figura 4.12: Modelo esquemático da ligação utilizando o megger.

As ligações de ensaio são descritas na Tabela 4.5 [15].

Tabela 4.5: Ligações de ensaio do DPVO.

LINE	EARTH	GUARD	POSIÇÃO DO DPVO
A1	A2	Massa	Aberto
B1	B2	Massa	Aberto
C1	C2	Massa	Aberto
A1	Massa	-	Fechado
B1	Massa	-	Fechado
C1	Massa	-	Fechado

É importante corrigir os valores mensurados devido à temperatura ambiente (conforme abordado na Seção 4.3.5, quando se refere à temperatura ambiente) aplicando fatores de correção, representados na Figura 4.13 e apresentados na Tabela III do Apêndice II [50].

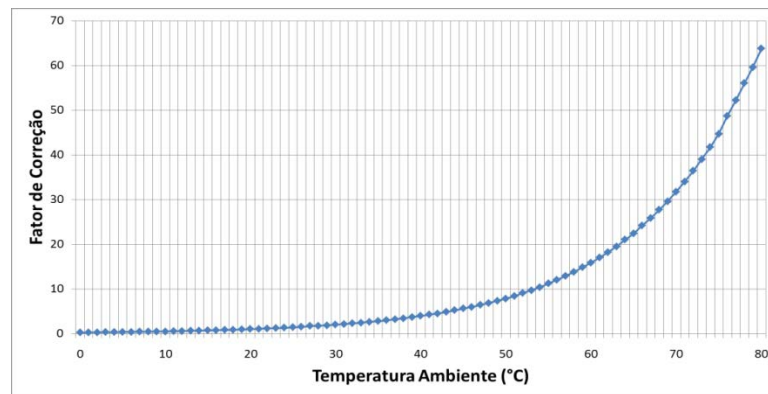


Figura 4.13: Relação entre temperatura e o fator de correção da resistência de isolamento.

4.4.6.1 MEGGER

O Megger é utilizado como instrumento padrão no ensaio de isolamento com corrente contínua em equipamentos elétricos. Em sua operação, combina a aplicação de uma tensão elevada até a tensão nominal do instrumento, com a medição da resistência de isolamento, obtendo as condições em que se encontra a isolação do equipamento [15]. A Figura 4.14 representa um megger [51].



Figura 4.14: Megômetro Megger.

Externamente o megger possui três pontos de conexão na caixa, que são os terminais de massa (Earth - E), linha (Line - L) e guarda (Guard - G), possuindo ainda pés de nivelamento que permitem ajustes para garantir o máximo de sensibilidade. Como é um instrumento de imã permanente e bobina móvel, cuja precisão independe de uma tensão exata de ensaio, não necessita de qualquer compensação ou ajuste de tensão.

O megger possui duas bobinas montadas em posição fixa uma em relação à outra no mesmo sistema móvel incluindo também o ponteiro dentro de um campo magnético. Uma das bobinas é ligada na fonte de alimentação em série com o resistor sob ensaio e com uma resistência de estabilização, sendo chamada de bobina de corrente. A outra bobina também é ligada à fonte em série com um resistor de resistência fixa, sendo chamada de bobina de potencial.

Nenhuma corrente irá fluir na bobina de corrente, quando houver um isolante perfeito ou nada estiver ligado nos terminais do ensaio. No entanto, a bobina de tensão recebe corrente e toma a posição oposta à do corte existente no núcleo e o ponteiro irá marcar então o “infinito” na escala.

Existem também resistências apropriadas que dissipam a energia quando os terminais “linha e massa” forem ligados em curto-circuito, protegendo as bobinas de eventuais sobrecorrentes. Nessa condição o ponteiro indicará zero na escala.

Quando se liga um resistor entre os terminais “massa e linha” flui corrente pela bobina de corrente, e o conjugado correspondente desloca a bobina de tensão da posição “infinito” para um campo de força magnético gradualmente crescente até que as forças das duas bobinas se equilibrem. Dessa forma, a bobina de tensão age como uma mola de retenção, e o ponteiro dará em leitura direta, o valor da resistência.

Qualquer corrente de fuga que possa circular pela superfície da caixa ou através de materiais, desde o terminal “massa” positivo até o terminal “linha” negativo, é interceptada e drenada pelo anel de “guard” diretamente para a fonte de corrente contínua.

Para a realização do ensaio os instrumentos devem ser devidamente acondicionados, evitando-se dobras agudas nos cabos. Antes e depois de cada ensaio, o equipamento e o circuito deverão ser aterrados durante pelo menos o tempo utilizado para execução do mesmo, de modo a remover cargas residuais, sendo o ideal quatro vezes este tempo. Com os cabos ligados aos terminais do instrumento e com os seus terminais isolados e separados, deve-se acionar o megger e caso o ponteiro indique um valor menor que “infinito”, na menor escala, existe uma falha na isolamento dos cabos que deve ser removida.

O movimento do ponteiro do megger deverá ser observado, pois: se a isolamento estiver boa, a deflexão do ponteiro será gradual e progressiva, sem oscilações até o valor máximo da resistência de isolamento; se seu ponteiro oscila, deverá ser investigada a causa, que poderá ser mau contato, influência eletrostática ou fugas através da superfície do isolante.

É importante verificar e anotar o valor da umidade relativa do ar, sendo que o ensaio só poderá ser realizado se este valor for menor que 70%. As leituras devem ser realizadas aos 30, 45 e 60 segundos e depois a cada minuto, até 10 minutos, porém no caso dos disjuntores, normalmente a leitura de 1 minuto satisfaz. A seleção da tensão de ensaio utilizada é em função da classe de tensão do equipamento [15].

Os ensaios em equipamentos em serviço revelam, normalmente, valores mais elevados que os valores mínimos sugeridos, portanto, para que se conheçam as condições de resistência de uma isolamento, os valores numéricos em si não são suficientes, sendo mais importante conhecer a

tendência desses valores através da comparação entre vários ensaios realizados e anotados na folha de registro dos resultados dos ensaios e medições.

4.5 TRANSFORMADOR

Um transformador é um dispositivo destinado a transmitir energia elétrica ou potência elétrica de um circuito a outro, transformando tensões e correntes ou de modificar os valores da impedância elétrica de um circuito elétrico [2].

Os transformadores, por serem equipamentos de importância extrema em um sistema, necessitam de planos de manutenção que possam manter seu funcionamento de maneira contínua.

4.5.1 INSPEÇÃO VISUAL

Conforme Seção 4.3.1 , abordando também os parâmetros da Tabela 4.6 e possuindo uma periodicidade diária.

Tabela 4.6: Parâmetros para inspeção visual de transformadores.

Secador de ar	<ul style="list-style-type: none"> • Condições da sílica gel: cor azul significa estado normal; cor rosa significa saturação na absorção de umidade; • Estado de juntas e vedação; • Estado de conservação do secador.
Buchas	<ul style="list-style-type: none"> • Nível de óleo; • Vazamento de óleo; • Partes quebradas; • Pontos brancos na bucha; • Condições e alinhamento de centelhadores.
Tanques	<ul style="list-style-type: none"> • Estado dos indicadores de pressão; • Vibração do tanque e das aletas de resfriamento; • Vazamentos de óleo; • Pintura (pontos de oxidação); • Nível das bases de fixação; • Posição de válvulas; • Conexões de aterramento.
Conservador	<ul style="list-style-type: none"> • Vazamentos de óleo; • Abertura dos registros; • Nível de óleo; • Fixação.
Sistema de circulação de óleo	<ul style="list-style-type: none"> • Indicador de circulação do óleo; • Vazamentos de óleo; • Obstruções de fluxo.
Sistema de ventilação	<ul style="list-style-type: none"> • Funcionamento; • Existência de corrosão; • Vibração e ruídos.
Relé de pressão súbita	<ul style="list-style-type: none"> • Vazamentos de óleo; • Estado das juntas e conexões.
Dispositivo de alívio de pressão	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo tubular: verificar a integridade da membrana; • Tipo válvula: verificar posição do microrruptor.
Termômetros e termostatos	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar indicadores de temperatura; • Termostato; • Estado dos capilares.

4.5.2 MEDIÇÕES

Realizar as medições de tensão, corrente e temperatura, verificando a conformidade aos valores prescritos pelo fabricante (indicados na ficha característica) diariamente [15].

Caso os transformadores apresentem sobrecargas, deve-se assegurar o funcionamento contínuo dos mecanismos de refrigeração (circulação de óleo, ventiladores, radiadores, etc.) para que não ocorra a deterioração dos isolantes.

Caso os transformadores apresentem sobretensões, deve-se realizar o monitoramento periódico do óleo, assegurando suas características isolantes.

A partir das medições de temperatura, determina-se a temperatura média de operação e estipulam-se os intervalos da análise físico-química do óleo isolante.

4.5.3 VERIFICAÇÃO DE RUÍDOS

Durante a inspeção, a existência de ruídos deve ser observada quando o tanque, o sistema de circulação de óleo e o sistema de ventilação, apresentarem algum tipo de ruído interno ou externo durante a operação. Este plano deve ser realizado diariamente.

4.5.4 VERIFICAÇÃO DO RELÉ BUCHHOLZ

Durante a inspeção, deve-se observar a limpeza do visor; o vazamento de óleo; o estado das juntas e as condições da fiação e conexão. Este plano deve ser realizado diariamente.

4.5.5 ANÁLISE DO ÓLEO ISOLANTE

Deve ser realizada uma série de análises no óleo isolante dos transformadores. Os ensaios a efetuar devem analisar a rigidez dielétrica; o conteúdo de água (ppm); a acidez ou índice de neutralização; a tensão interfacial (TIF); a cor; as perdas dielétricas e a viscosidade. Sua periodicidade varia de acordo com a temperatura de operação: mensal para valores entre 90°C e 100°C; trimestral entre 80°C e 90°C; semestral entre 70°C e 80°C e anual entre 60°C e 70°C.

Os isolantes são classificados, de acordo com a norma [54], pela temperatura máxima que podem suportar em condições normais de operação durante toda a vida útil desejada. A Tabela 4.7 representa essa classificação.

Tabela 4.7: Classes de temperatura de materiais isolantes.

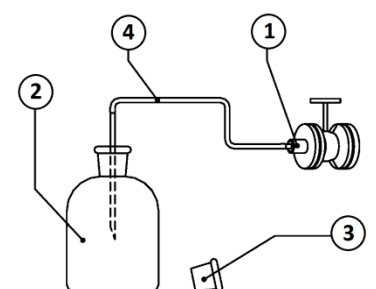
Classe	Temperatura máxima admissível (Nominal) (°C)
Y	90
A	105
E	120
B	130
F	155
H	180
C	Acima de 180

É muito importante para os técnicos da manutenção o conhecimento íntimo das classes isolantes e da influência dos fatores ambientais sobre o encurtamento de vida dos isolantes.

Os isolantes sofrem degradação por meio da ação da umidade, da temperatura, do ciclo de carga, das descargas corona, ações mecânicas sobre os isolantes, envelhecimento do isolante e das descargas superficiais. Assim é de suma importância realizar testes no material isolante para averiguação de sua funcionalidade.

Os óleos isolantes são de dois tipos fundamentais: os óleos minerais e os sintéticos, tendo a função de isolar e resfriar o equipamento. Na primeira função tira-se partido da resistência dielétrica do óleo; este não deve permitir a formação de arco entre dois condutores sujeitos a uma diferença de potencial e mergulhados no óleo. Já, na segunda função, o óleo deve dissipar o calor proveniente da operação e o transporte, por circulação natural ou forçada para os radiadores ou trocadores de calor [43].

Para realização dos ensaios deve-se retirar uma amostra do óleo do equipamento, conforme demonstrado na Figura 4.15.

*Figura 4.15: Procedimento para amostragem do óleo isolante.*

Onde:

1. Conexão para o registro do equipamento;
2. Frasco de 1000 ml (vidro escuro);
3. Tampa do frasco de 1000 ml;
4. Mangueira de plástico.

A Tabela 4.8 descreve as características, valores e métodos dos ensaios em óleos isolantes [55].

Tabela 4.8: Especificação de ensaios para o óleo mineral isolante.

Característica	Unidades	Valores		Métodos
		MÍN	MÁX	
Aparência	-	O óleo deve ser claro, limpo e isento de material em suspensão.		Visual
Cloretos	-	Ausente		NBR-5779 [56]
Cor	-	-	1,0	NBR-14483 [57]
Densidade a 20/4 °C	-	0,861	0,900	NBR-7148 [58]
Enxofre corrosivo	-	Não corrosivo		NBR-10505 [59]
Estabilidade à oxidação: Índice de neutralidade; Borra;	mg KOH/g % massa	- -	0,40 0,10	NBR-10504 [60] / NBR-12133 [61]
Fator de perdas dielétricas a 90 °C.	%	-	20	
Índice de neutralidade	mg KOH/g	-	0,03	ABNT-MB-101 [62]
Ponto de Anilina	°C	63	84	NBR-11343 [63]
Ponto de Fluidez	°C	-	39	NBR 11349 [64]
Ponto de fulgor	°C	140	-	NBR-11341 [65]
Eletrodo VDE	kV	30	-	NBR-IEC-60156 [66]
Rigidez Dielétrica a impulso (eletrodos agulha/esfera)	kV	145	-	ASTM-D877 [67] / NBR6869 [68]
Sulfatos	-	Ausente		NBR-5779 [56]
Tendência à evolução de gases	µl/min	Negativo		ASTM D2300 [69] / NBR-7274 [70]
Tensão superficial ou interfacial	mN/m	40	-	NBR-6234 [71]
Teor de carbono aromático	%	Anotar		ASTM-D2140 [72]
Teor de inibidor de oxidação DBPC/DBP	%	-	0,08	NBR-12134 [73]
Teor de PCB	Mg/kg	Não detectável		ASTM-D4059 [74]
Teor de água	Mg/kg (ppm)	-	35	NBR-10710 [75]

As seguintes observações devem ser feitas, referentes à Tabela 4.8:

- Os recipientes destinados ao fornecimento do óleo mineral isolante devem ser limpos e isentos de matérias estranhas. O revestimento interno deve ser constituído de epóxi, convenientemente curada, ou material equivalente em desempenho.
- Os valores estipulados são absolutos segundo [55] e não estão sujeitos à correção pela tolerância dos métodos de ensaio.
- A especificação da estabilidade à oxidação requer que o óleo isolante atenda ao limite de Fator de Perdas Dielétricas a 25° C e a 100° C ou a 90° C.
- Em relação ao ponto de fluidez, o valor é exigido por tratar-se de óleo isolante de origem naftênica. No entanto, considerando-se as condições climáticas do Brasil outros valores poderão ser aceitos quando se tratar de aplicação do produto no país.

- Nos ensaios de eletrodo VDE (eletrodo de disco) e o de rigidez dielétrica, é requerido que o produto seja aprovado em um ou outro ensaio e não nos dois. Em caso de dúvida, esta deverá ser dirimida através do ensaio de eletrodo de disco.
- Em relação ao teor de inibidor de oxidação, a comercialização do produto poderá ser feita com base no laudo de qualidade garantido pelo supridor estrangeiro.
- Relativo ao teor de PCB (Bifenilos Policlorados), o ensaio de viscosidade será realizado em duas temperaturas dentre 25 °C, 90°C e 100°C.
- Para análise do teor de água, estes itens não se aplicam a produtos transportados em navios ou caminhões-tanque, ou estocados em tanques, em que possa ocorrer absorção de umidade. Neste caso, deverá ser processado tratamento físico adequado para que estabeleça os valores especificados.

A análise dos gases presentes no óleo do transformador pode ser realizada através da cromatografia dos mesmos. Esta técnica permite detectar a presença de gases que se formam pela deterioração normal da isolação e que podem prejudicar todo o funcionamento do transformador, apesar de não significar uma condição de falha incipiente. A Tabela 4.9 contém uma relação entre os gases dissolvidos no óleo, que podem ser detectados, e as correspondentes condições de falha [76].

Tabela 4.9: Relação entre gases dissolvidos e condições de falha.

Gases detectados	Interpretação
N ₂ e 5% ou menos de O ₂	Operação normal de transformadores selados
N ₂ e mais de 5% de O ₂	Verificar o fechamento hermético do transformador
N ₂ , CO ₂ ou ambos	Transformador sobrecarregado ou operando com sobreaquecimento, havendo decomposição da celulose. Verificar as condições de operação.
N ₂ e H ₂	Descargas coronas, eletrólise da água ou ferrugem.
N ₂ , H ₂ , CO e CO ₂	Descargas coronas envolvendo celulose ou sobrecarga severa do transformador.
N ₂ , H ₂ , CH ₄ e pequena quantidade de C ₂ H ₆ e C ₂ H ₄ .	Centelhamento ou outras causas secundárias que causam a decomposição do óleo.
N ₂ , H ₂ , CH ₄ , CO ₂ e outros carbonetos em pequenas quantidades (geralmente ausência de C ₂ H ₂).	Centelhamento ou outra falha secundária em presença da celulose.
N ₂ com muito H ₂ e outros hidrocarbonetos, inclusive o C ₂ H ₂ .	Arco de elevada energia (potência com rápida deterioração do óleo)
N ₂ com muito H ₂ , CH ₄ , muito C ₂ H ₄ e algum C ₂ H ₂ .	Arco de elevada temperatura no óleo numa área limitada, por exemplo, conexões em mau estado, curto-circuito entre espiras.
Mesma situação anterior, porém acrescidos os gases CO e CO ₂ .	Mesma interpretação anterior com arco envolvendo a celulose.

Para realização dos ensaios de rigidez dielétrica, devem-se observar os métodos adotados para execução do mesmo, sendo o mais comum o método ASTM [67] e regulamentada nacionalmente pela ABNT [68].

O método ASTM utiliza um instrumento que contém eletrodos na forma de discos planos de 1 polegada de diâmetro, com bordas retas, sendo que os discos são ajustados a uma distância de 0,1 polegadas entre si. Estes eletrodos são posicionados no interior de uma cuba de material isolante, onde se coloca o óleo a ser ensaiado. Para aplicação de tensão utiliza-se um transformador elevador, de potência superior a 2 kVA, que deve atingir uma tensão de aproximadamente 40 kV no lado da alta tensão.

Deve-se tomar cuidado com a cuba, pois a mesma deve ser lavada inicialmente com uma pequena quantidade de óleo a ser analisado e após essa limpeza, deve-se tomar o máximo de cuidado para não se tocar na parte interna da cuba.

Os eletrodos devem também ser lavados com o óleo a ser ensaiado, sendo que os que apresentarem sinais de corrosão devem ser retirados e polidos.

Após a verificação do espaçamento correto dos eletrodos, deve-se encher a cuba de óleo com a mostra cobrindo os eletrodos, tomando-se cuidado para não haver formação de bolhas e deixando em repouso por cerca de 2 a 3 minutos antes de iniciar o ensaio. Feito isso, aplica-se continuamente uma tensão crescente à razão de 3kV/s, até que ocorra a ruptura, e anota-se tal valor de tensão. O ensaio é repetido mais quatro vezes utilizando-se a amostra na cuba, com intervalos de um minuto, sendo o valor da rigidez dielétrica o valor médio dos cinco valores determinados.

O ensaio de acidez mede o conteúdo de ácidos minerais existentes no óleo por oxidação, que são responsáveis diretos pela formação da borra e também indica a presença de contaminantes. Observa-se que este ensaio determina em que condições pode se iniciar a formação da borra, porém não indicando necessariamente a presença da mesma no óleo.

O ensaio de fator de potência é a relação entre as perdas dielétricas e o produto da tensão pela corrente total. Um alto valor do FP é uma indicação da presença de contaminantes ou produtos de deterioração. Geralmente utiliza-se o dobre para medição (Seção 4.3.5.1).

Alguns ensaios devem ser realizados em laboratório como o de tensão superficial (ou interfacial), do ponto de fulgor, do ponto de fluidez, da viscosidade, do ponto de combustão e do conteúdo de água (ppm), seguindo todo procedimento das referentes normas citadas na Tabela 4.8. Os outros ensaios não citados também são esclarecidos nas normas presentes na Tabela 4.8.

Após a realização de todos os ensaios recomendados, pode-se realizar uma filtragem do óleo. Todas as impurezas e agentes contaminantes, com exceção dos ácidos, podem ser removidos filtrando-se o óleo, o que se faz através do filtro prensa.

O filtro prensa atua separando a água do óleo devido ao efeito de “tela”, conjugado com a ação capilar das folhas de papel. Os filtros são providos de manômetros entre a bomba e as folhas de papel para indicação da pressão do óleo.

A Figura 4.16 representa o procedimento de filtragem realizado em um transformador [77].

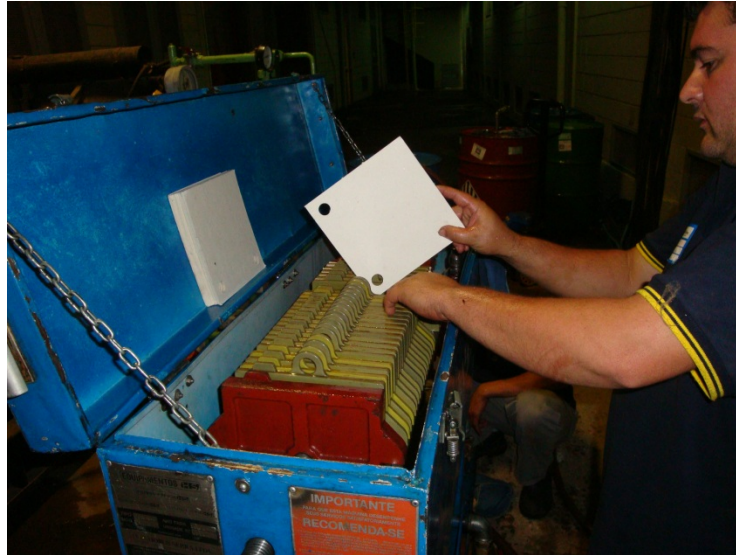


Figura 4.16: Procedimento de filtragem de óleo de um transformador.

Além da filtragem do óleo, existem outros métodos de tratamento, como a degasificação e desidratação sob vácuo; aquecimento e ebulição; e a centrifugação. As instalações, fixas ou móveis, para tratamento de óleo combinam os processos citados, tendo o filtro-prensa com desidratador à vácuo como o mais comum.

4.5.6 SECADOR DE AR

Devem ser verificadas as condições de funcionamento do dispositivo secador de ar, efetuando a limpeza do visor e uma possível necessidade de secagem da sílica gel. Caso necessário, deve-se utilizar uma estufa, com temperatura de 80°C a 100°C. Este plano possui uma periodicidade mensal.

Os métodos de secagem da parte ativa do transformador mais comuns são: secagem com enrolamento em curto-circuito; secagem em estufa e secagem em estufa à vácuo.

A secagem com o enrolamento em curto-circuito só é viável para transformadores de potência relativamente baixa. Deve-se continuar circulando óleo de transformador e do aparelho de secagem no vácuo até que as medições de óleo indiquem rigidez dielétrica suficiente e, simultaneamente, as medições de resistência de isolamento indiquem valores estabilizados ao longo do tempo.

A secagem em estufa ocorre em uma temperatura próxima a 100°C, tendo uma ventilação forçada com renovação de ar. O tempo de permanência é função da umidade e da estrutura da parte ativa. As medições devem ser periódicas (resistência de isolamento e temperatura na parte ativa das bobinas e núcleo) e devem ser reduzidas a uma mesma temperatura de referência, sendo que o procedimento se encerrará quando houver estabilização da resistência de isolamento. O tempo de secagem varia de 2 dias até uma semana [13].

Na secagem à vácuo ocorre todo o procedimento como na estufa, porém o uso de uma pressão inferior à atmosférica acelera a secagem.

4.5.7 SISTEMA DE CIRCULAÇÃO DE ÓLEO

Com o objetivo de verificar as condições de funcionamento dos dispositivos que compõem o sistema de circulação de óleo, a manutenção nesse sistema do transformador é crucial, pois afeta diretamente na temperatura de operação e deve ser realizada mensalmente.

Em relação à bomba de circulação de óleo deve-se verificar as condições: aquecimento da bomba e do motor; acoplamento entre bomba e motor; vibrações; lubrificação e temperatura dos mancais; alinhamento e fixação do motor; e circuitos de controle e comando.

4.5.8 SISTEMA DE VENTILAÇÃO

O sistema de ventilação forçada deve ser analisado observando um possível aquecimento do ventilador e motor; vibrações; deve-se lubrificar e analisar a temperatura dos mancais; analisar a fixação e alinhamento do eixo; e verificar as condições dos circuitos de controle e comando. Este plano deve ser realizado mensalmente.

4.5.9 CAIXAS TERMINAIS

Deve-se efetuar a limpeza das caixas terminais e verificar o estado da fiação; verificar o estado de juntas de vedação, trincos e maçanetas da caixa; verificar condições do resistor de aquecimento e iluminação interna; analisar a fixação, corrosão e orifícios para aeração; verificar o estado de contadores, fusíveis, relés, sensores, atuadores e chaves; verificar a isolação da fiação; e realizar o aperto de todos os terminais. Este plano deve ser realizado mensalmente.

4.5.10 LIMPEZA DE BUCHAS E ISOLADORES

As buchas, isoladores e os para raios dos transformadores sofrem degradação com o acúmulo de resíduos que vão se depositando ao longo do tempo. Assim, com o intuito de se

prolongar a vida útil desses materiais isolantes, efetua-se uma limpeza nesses componentes do transformador semestralmente.

Com a instalação desenergizada, retiram-se todos os resíduos depositados e observa-se a presença de rachaduras, lascas e efeitos da poluição. Aplica-se também cera à base de silicone, visando a proteção dos elementos isolantes contra os efeitos da poluição.

4.5.11 ANÁLISE DE TEMPERATURA

Deve-se verificar a conformidade da temperatura de operação do transformador em relação aos valores prescritos pelos fabricantes, identificando a presença de pontos de aquecimento nas conexões e no tanque do transformador.

As técnicas da Seção 4.3.2 são empregadas, mais usualmente o termovisor possuindo uma periodicidade anual.

4.5.12 FATOR DE POTÊNCIA DE PERDAS

Deve-se desmontar as buchas dos transformadores para execução do ensaio, conforme descrito na Seção 4.3.5 .

Além das buchas, devem ser analisadas as outras isolações do transformador, conforme representação da Figura 4.17.

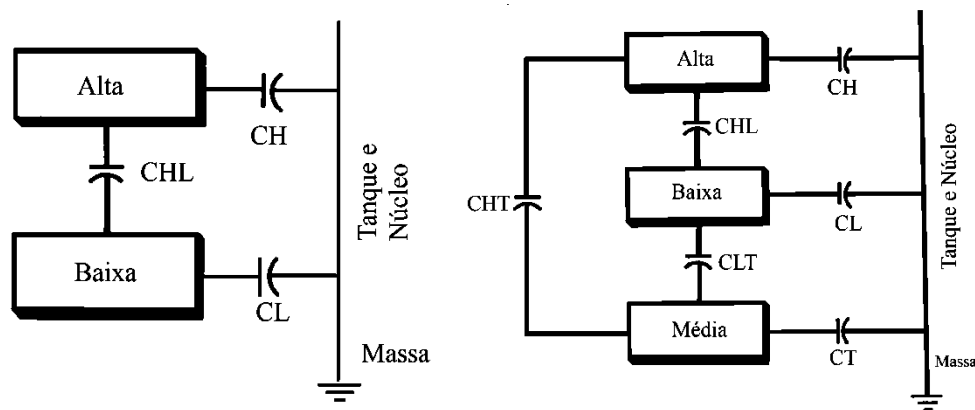


Figura 4.17: Isolações de transformadores de dois e três enrolamentos, respectivamente.

Onde CH é a isolação entre o enrolamento de alta tensão e a massa, CL é a isolação entre a baixa tensão e a massa, CT é a isolação entre a média tensão e a massa, CHL é a isolação entre os enrolamentos de alta e baixa tensão, CHT é a isolação entre a alta e a média tensão e CLT é a isolação entre a baixa e a média tensão.

Assim, após desconectar todos os cabos terminais das buchas, curto-circuitar os terminais de cada enrolamento, verificar o aterramento do tanque, deve-se executar as ligações apresentadas na

Tabela 4.10. Nota-se que depois das leituras devem-se realizar alguns cálculos bastante simples para obtenção de todos os valores [15].

Tabela 4.10: Ligações para medição do fator de potência de perdas de transformadores.

Ensaio	Alta Tensão (HV)	Baixa Tensão (LV)	Enrolamento Aterrado	Chave Seletora	Leitura Obtida
Transformador de dois enrolamentos					
1	Alta	Baixa	-	Ground	CH + CHL
2	Alta	Baixa	-	Guard	CH
3	Baixa	Alta	-	Ground	CHL + CL
4	Baixa	Alta	-	Guard	CL
Transformador de três enrolamentos					
1	Alta	Baixa	Média	Guard	CHT + CH
2	Alta	Média + Baixa	-	Guard	CH
3	Média	Alta	Baixa	Guard	CLT + CT
4	Média	Alta + Baixa	-	Guard	CT
5	Baixa	Média	Alta	Guard	CHL + CL
6	Baixa	Alta + Média	-	Guard	CL

A Figura 4.18 representa o diagrama de ligação relativo ao ensaio 1 em transformadores de dois enrolamentos.

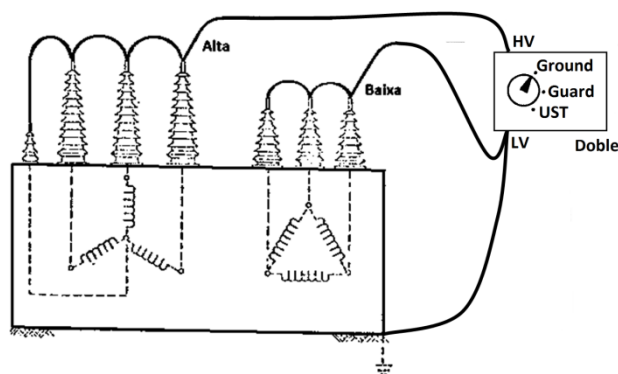


Figura 4.18: Diagrama esquemático do ensaio 1 em transformadores de dois enrolamentos.

É importante corrigir os valores mensurados devido à temperatura ambiente (conforme abordado na Seção 4.3.5, quando se refere à temperatura ambiente) aplicando os devidos fatores de correção apresentados na Tabela II do Apêndice II [50]. A periodicidade deste plano é bianual.

4.5.13 RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO

Realizar a medição da resistência de isolamento do transformador bianualmente, a fim de se monitorar as condições de degradação dos isolantes dos enrolamentos devido à ação da temperatura, umidade ou outros fatores ambientais.

Seguir os procedimentos de medição, utilizando o megger (conforme Seção 4.4.6.1), sendo que a resistência de isolamento é dada pela soma de:

$$R_{\text{isolamento}} = R_{\text{esmalte}} + R_{\text{verniz}} + R_{\text{óleo}} \quad (4.1)$$

A Figura 4.20 representa as resistências de isolação dos transformadores de dois e três enrolamentos, onde R_{AB} é a resistência entre a alta e a baixa tensão, R_{AM} é a resistência entre a alta tensão e a massa, R_{MeM} é a resistência entre a média tensão e a massa, R_{BM} é a resistência entre a baixa tensão e a massa, R_{AMe} é a resistência entre a alta e a média tensão e R_{MeB} é a resistência entre a média e a baixa tensão.

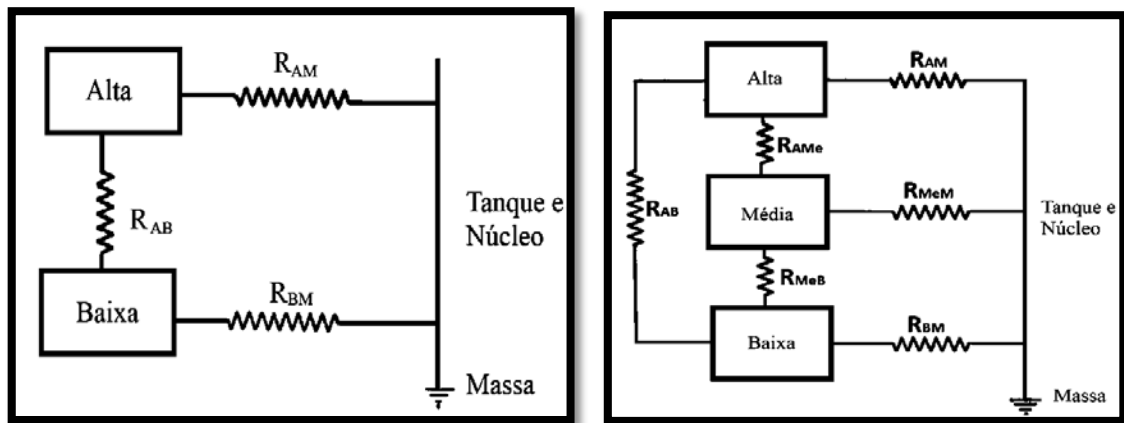


Figura 4.19: Resistência das isolações de transformadores de dois e três enrolamentos, respectivamente.

A resistência de isolamento deve ser medida entre de acordo com os ensaios apresentados na Tabela 4.11 [15].

Tabela 4.11: Ligações para medição da resistência de isolamento de transformadores.

Ensaio	LINE	EARTH	GUARD	Isolação Medida
Transformador de dois enrolamentos				
1	Alta	Massa	Baixa	R_{AM}
2	Alta	Baixa	Massa	R_{AB}
3	Baixa	Massa	Alta	R_{BM}
Transformador de três enrolamentos				
1	Alta	Massa	Média + Baixa	R_{AM}
2	Alta	Média	Baixa + Massa	R_{AMe}
3	Alta	Baixa	Média + Massa	R_{AB}
4	Média	Massa	Alta + Baixa	R_{MeM}
5	Média	Baixa	Alta + Massa	R_{MeB}
6	Baixa	Massa	Média + Alta	R_{BM}

A Figura 4.20 representa o esquema de ligação em transformadores de dois enrolamentos (ensaio 1) e o de três enrolamentos (ensaio 1).

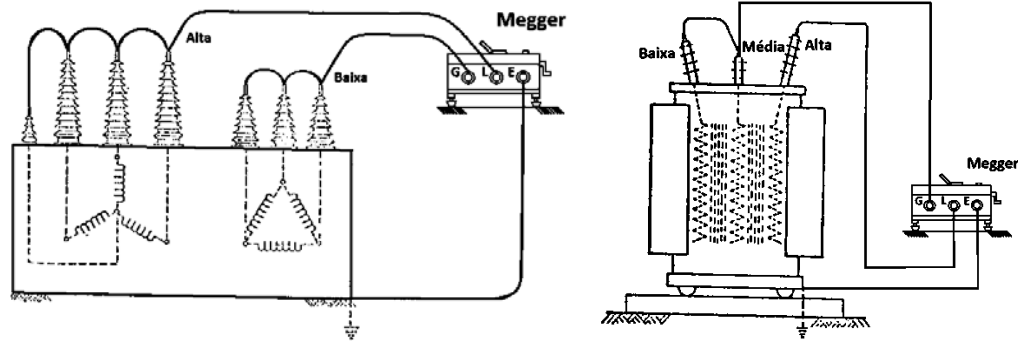


Figura 4.20: Medições da resistência de isolamento no transformador de dois e três enrolamentos, respectivamente.

É importante corrigir os valores mensurados devido à temperatura ambiente (conforme abordado na Seção 4.3.5, quando se refere à temperatura ambiente) aplicando fatores de correção, representados na Figura 4.13 e apresentados na Tabela III do Apêndice II [50].

Outra maneira de referir o valor da medição à temperatura de referência é apresentada por meio da Equação 4.2, observando que a temperatura ambiente deve ser obtida conforme abordado na Seção 4.3.5, quando se refere à temperatura ambiente.

$$R_2 = R_1 \cdot \left(\frac{\theta_2 + k}{\theta_1 + k} \right) \quad (4.2)$$

Onde R_1 é a resistência medida, em ohms; R_2 é a resistência referida, em ohms; θ_1 é a temperatura ambiente, em °C; θ_2 é a temperatura de referência, em °C, adotando uma temperatura entre 20°C e 30°C; e k é a constante que é função do material do equipamento: para cobre $k=234,5$ e para alumínio $k=255$.

A resistência de isolamento mínima admissível, para transformadores imersos em óleo mineral a 75 °C, é calculada através da Equação 4.3. Esse valor vale para transformadores monofásicos, sendo necessário multiplica-lo por três para se obter o valor correspondente para transformadores trifásicos [78].

$$R_{MÍN} = \frac{2,65 \times CT}{\sqrt{\frac{P}{F}}} \quad (4.3)$$

Onde $R_{MÍN}$ é a resistência de isolamento mínima admissível (em MΩ), CT é a classe de tensão (em kV), P é a potência (em kVA) e F é a frequência (Hz).

Caso o transformador apresente uma baixa resistência de isolamento, deve-se analisar as condições do óleo isolante e proceder a uma secagem das partes ativas do transformador (Seção 4.5.6).

4.5.14 RESISTÊNCIA ÔHMICA

Após manutenção, um desequilíbrio na resistência das fases pode indicar erros no número de espiras, diferenças nas seções das barras ou até alterações na qualidade do cobre eletrolítico usado. Depois da ocorrência de ruídos internos que levam à suspeita de arcos, a medição cuidadosa das resistências ôhmicas dos vários enrolamentos pode indicar se houve corte de condutores ou curto-circuito entre as espiras de camadas antes mesmo da abertura do tanque.

A medição é realizada através, principalmente, por dois métodos: o método da queda de tensão e o método do voltímetro-ampérmetro e deve ser realizada bianualmente [15].

4.5.14.1 MÉTODO DA QUEDA DE TENSÃO

O método da queda de tensão consiste em uma aplicação de potencial CC aos terminais do enrolamento. São feitas leituras, através de instrumentos apropriados, da corrente que circula no enrolamento a ser medido e da queda de tensão entre seus terminais. O valor da resistência ôhmica é obtido através da lei de Ohm, conforme a Equação 4.4, onde R é a resistência em ohms, V é a tensão em volts e I é a corrente em ampéres.

$$R = \frac{V}{I} \quad (4.4)$$

Na medição da resistência de circuitos fortemente indutivos, como nos transformadores, a abertura do circuito de ensaio pode originar tensões mais elevadas, provocando arcos. Estas tensões são muito perigosas para os executantes do ensaio, podendo também danificar os medidores. Por esta razão, deve-se desligar o medidor e curto-circuitar os terminais do enrolamento sob ensaio, sendo que o interruptor deve estar sempre aberto, antes de se efetuar qualquer manobra no circuito de medição. Portanto recomenda-se fazer uma adaptação nos polos da chave faca, de modo que os dois contatos do circuito do enrolamento desliguem primeiro. Deve-se também inserir uma resistência de alto valor (100Ω - 200Ω) no terceiro polo da chave faca, com a finalidade de limitar o arco formado quando ocorrer a abertura da chave [13].

Deve-se observar que a corrente não deve ser superior a 15% da corrente nominal do enrolamento. Deve-se também escolher o menor valor de corrente, a fim de que a variação da resistência do enrolamento, devido ao aumento de temperatura provocada por esta corrente, seja desprezível.

Para execução do ensaio é necessário que a temperatura do equipamento se encontre estabilizada, a fim de que os resultados obtidos possam ser corretamente corrigidos. Se o equipamento se encontrar em serviço, o ensaio só deve ser iniciado uma hora após seu

desligamento. A obtenção dos valores de temperatura podem ser obtidos através dos dispositivos de indicação presentes no equipamento ou por meio dos medidores citados na Seção 4.3.2 .

Os ensaios de resistência ôhmica exigem um tempo razoavelmente longo para permitir que o enrolamento sob ensaio seja carregado e quando se tratar de derivações, as medições deverão ser efetuadas em todas as posições dos taps, se existentes. No caso de equipamentos trifásicos e quando a ligação for em estrela e possuir o neutro aterrado, as medições deverão ser executadas em cada fase separadamente, e caso o neutro não seja aterrado (ou em delta) as medições deverão ser executadas sucessivamente entre cada par de terminais.

Observa-se que os valores de resistência ôhmica devem ser corrigidos à temperatura de referência do fabricante (geralmente 75°C), conforme a Equação 4.5. Vale ressaltar que caso a temperatura do enrolamento, quando a resistência foi medida, for a temperatura ambiente, a mesma deve ser obtida conforme abordado na Seção 4.3.5 , quando se refere à temperatura ambiente.

$$R_s = R_T \cdot \left(\frac{\theta_s + k}{\theta + k} \right) \quad (4.5)$$

Onde R_s é a resistência do enrolamento corrigida, em ohms; R_T é a resistência do enrolamento obtida no ensaio, em ohms; θ_s é a temperatura de referência, em °C; θ é a temperatura do enrolamento quando a resistência foi medida, em °C; e k é a constante que é função do material do equipamento: para cobre puro 100% $k=234,5$ e para o cobre 97,3% $k=242$.

No caso de enrolamentos sem neutro acessível e em estrela as medições deverão ser executadas entre cada par de terminais e calculando-se o valor da resistência equivalente, conforme a Equação 4.6.

$$R_1 = \frac{R_{12} - R_{23} + R_{31}}{2} \quad (4.6)$$

Os valores de R_2 e R_3 são obtidos de maneira análoga, onde os valores das resistências designam as resistências medidas entre os terminais, conforme Figura 4.21. Para enrolamentos em delta, a equação de cálculo da resistência equivalente é a Equação 4.7, sendo os valores de suas variáveis as resistências medidas entre os terminais, conforme Figura 4.21, e o cálculo de R_2 e R_3 são obtidos de maneira análoga.

$$R_1 = \frac{2 \cdot R_{12} \cdot R_{31}}{R_{12} - R_{23} + R_{31}} - \frac{R_{12} - R_{23} + R_{31}}{2} \quad (4.7)$$

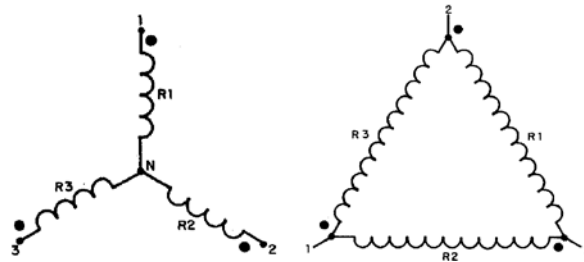


Figura 4.21: Enrolamento ligado em, respectivamente, estrela e delta.

A análise do ensaio baseia-se nas comparações das resistências medidas nos diversos taps com os valores das resistências medidas pelo fabricante do transformador. Em casos de discordâncias maiores que 2% nos valores de resistências, deverão ser pesquisadas a existência de anormalidades.

4.5.14.2 MÉTODO VOLTÍMETRO-AMPERÍMETRO

O princípio da medição consiste em fazer circular corrente pela resistência a ser medida, compatível com as suas características físicas. Através de leituras diretas nos instrumentos, voltímetro e amperímetro, pode-se determinar o valor da resistência, conforme Equação 4.4 [13].

Existem duas montagens para o método, a montagem tipo “montante” e a tipo “jusante”, sendo a primeira com a medição de tensão sobre os terminais da fonte de tensão contínua e feita antes do amperímetro; e a segunda com a medição de tensão sobre os terminais da resistência ensaiada.

A montagem “montante” apresenta menores erros quando o valor da resistência a medir for muito maior que a resistência do amperímetro, sendo indicada para medições na ordem de $M\Omega$. Já a montagem “jusante” apresenta menores erros quando os valores da resistência a ser medida é muito menor que a resistência do amperímetro, sendo utilizada para medições na ordem de $m\Omega$.

Assim, para medir uma resistência desconhecida, emprega-se inicialmente qualquer das duas montagens. Determinada então a ordem de grandeza da resistência, repete-se sua medição com a montagem que oferece melhor precisão.

4.5.15 ATUAÇÕES DE EMERGÊNCIA

Certas ocorrências, verificadas pela manutenção nas visitas de rotina ou pelo próprio pessoal da operação, exigem desligamento imediato. Nos casos a seguir indicados e em outras situações previamente listadas não podem ser permitidas demoras no desligamento, qualquer que seja o estado de carga ou os interesses imediatos da operação.

4.5.15.1 RUÍDO INTERNO ANORMAL

Numa máquina estática, estes ruídos significam normalmente a ocorrência de arcos elétricos de partes em tensão para as partes metálicas ligadas a terra ou entre partes em tensão.

Numa fase inicial, um arco deste tipo, sendo um evento grave pode manter-se localizado e correspondendo a danos limitados, porém qualquer demora no desligamento do transformador pode significar uma extensão do defeito e conduzir a danos gravíssimos.

4.5.15.2 VAZAMENTO FORTE DO ÓLEO

Não é possível aguardar, pois se corre o risco de o nível baixar a valores inferiores ao mínimo admissível e de se estabelecerem disrupções através do ar das partes superiores.

4.5.15.3 DISPOSITIVO DE PRESSÃO ATUADO

Neste caso o disparo pode ser automático. Não se deve tentar o religamento antes de se ter verificado e corrigido a causa da sobrepressão. A causa é, normalmente, um arco interno que pode não ser audível.

4.5.15.4 RELÉ DE GÁS ATUADO

A atuação do alarme corresponde a pequenas liberações de gás. É necessário verificar por testes simples, a natureza deste gás. Pode ser constituído por vários gases dissolvidos. Se a natureza dos gases for indicativa de possível arco, então, o transformador deve ser desligado o mais rapidamente possível mesmo que apenas tenha ocorrido alarme.

Se houver atuação do flutuador e contatos de disparo do relé de gás então o transformador não pode ser novamente religado.

4.5.15.5 QUEBRA DO DIAFRAGMA DA VÁLVULA DE SEGURANÇA

A atuação é idêntica a do Dispositivo de pressão atuado.

4.5.15.6 AQUECIMENTO EXCESSIVO NOS CONECTORES, VERIFICADOS POR TERMOVISÃO

Este aquecimento pode significar a iminência de um mau contato franco e de um arco com destruição do conector. Desta forma o transformador deve ser retirado de serviço.

4.5.15.7 ANOMALIA NOS ACESSÓRIOS DE PROTEÇÃO E MEDIÇÃO

Neste grupo de anomalias a listagem das que exigem desligamento deve se basear nas particularidades do transformador e ser estabelecida de acordo com o fabricante.

4.6 CABOS

Os cabos são utilizados na distribuição de energia em instalações de interior ou exterior, dependendo do seu modelo.

Os cabos recentemente instalados devem ter seus dielétricos testados por uma tensão de valor acima do normal (não destrutiva) utilizando equipamento de teste de alta tensão. A vantagem de testar os cabos antes de entrar em operação é óbvia, pois qualquer falta pode ser identificada sem afetar a continuidade do serviço.

4.6.1 APERTO DOS CONECTORES

Conforme abordado na Seção 4.4.1 , tendo uma periodicidade semestral.

4.6.2 ANÁLISE DE TEMPERATURA

Conforme abordado na Seção 4.3.2 , tendo uma periodicidade semestral.

4.6.3 ANÁLISE HARMÔNICA

Deve-se verificar a presença de componentes harmônicas de tensão e corrente no cabo, anualmente. Devido ao efeito pelicular (efeito *skin*), há uma restrição da secção condutora do cabo, para componentes de frequência elevada, ocasionando assim um aumento de perdas devido às harmônicas de corrente [79].

Os procedimentos de utilização do qualímetro (Seção 4.6.3.1) devem ser seguidos de acordo com o fabricante do mesmo e, identificando uma ordem considerável deve-se estudar a possibilidade da implementação de filtros.

4.6.3.1 QUALÍMETRO

Dotado de entradas trifásicas de corrente e tensão, o qualímetro permite que se efetuem registros de diversas grandezas em intervalos de tempo que variam com sua precisão. Assim esse medidor consegue efetuar registro de: valores de tensão; corrente; distorções harmônicas de tensão e corrente (totais e individuais); potência (aparente, ativa e reativa); desequilíbrio de tensão e corrente; podendo ter mais ou menos grandezas, dependendo do fabricante.

A Figura 4.22 representa alguns sistemas de ligação do qualímetro, para ligações trifásicas. Nota-se que se deve observar o sentido dos conectores que mensuram a corrente [80].

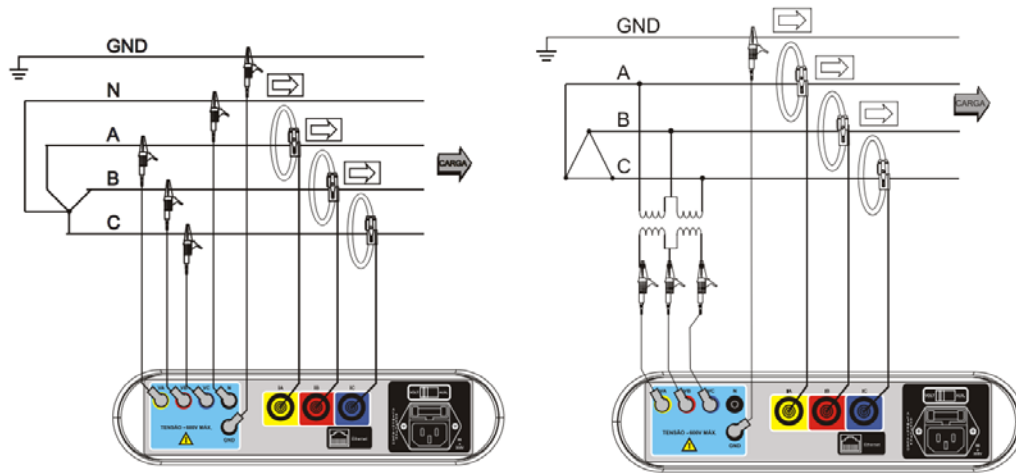


Figura 4.22: Diagrama de ligação do qualímetro – Sistema estrela e delta, respectivamente.

É importante ressaltar que todo o processo de uso e operação deve ser seguido através do manual do equipamento. Podem surgir algumas irregularidades no funcionamento do equipamento, sendo as mais comuns:

- I. Caso o equipamento não ligue, verificar se:
 - As garras de alimentação foram corretamente ligadas;
 - O fusível não está rompido.
- II. Se o equipamento não mede corrente, verificar:
 - Programação da entrada de corrente;
 - Valor programado de relação de TC (Transformador de Corrente);
 - Caso esteja utilizando alicates, verificar o transdutor.
- III. Se a indicação de potência apresentar valores incoerentes, verificar se:
 - O esquema de ligação utilizado, a correta polaridade das entradas de correntes e a programação dos parâmetros;
 - O tipo de ligação é coerente com o tipo de circuito sob medição;
 - O sensor de corrente de cada fase foi ligado na fase correspondente do painel do medidor.

Ao se utilizar o aparelho deve-se verificar sua fixação para que não se permita movimentos ou quedas. Antes de retirar o equipamento, deve-se verificar se não houveram rompimentos de cabos que possam causar potenciais perigosos para o operador, utilizando-se assim luvas ao lidar com sistemas elétricos de potência, proporcionando maior segurança ao operador, mesmo em circuitos desenergizados [49].

4.6.4 VERIFICAÇÃO DO DESEQUILÍBRIO

Deve-se efetuar a medição de tensão e corrente visando à identificação de possíveis desequilíbrios no sistema de alimentação, anualmente. Realizar a medição das tensões entre fases do circuito de alimentação, identificando se existem grandes diferenças entre os valores.

Realizar a medição das correntes do circuito de alimentação, identificando se existem grandes diferenças entre os valores por fase e se a corrente que percorre o circuito está em conformidade com os limites indicados na ficha característica.

Caso o sistema de alimentação esteja desequilibrado, deve-se analisar a distribuição das cargas do circuito entre as fases e a presença de distorções harmônicas que geram componentes de sequência negativa e zero. Observa-se que a medição também pode ser realizada com o qualímetro (Seção 4.6.3.1).

4.6.5 VERIFICAÇÃO DA ISOLAÇÃO

Este ensaio fornece indicações sobre as condições do isolamento no momento do teste. A técnica de ensaio consiste em medir a corrente de fuga periodicamente a vários níveis de tensão até que haja indicação de um ponto fraco no isolamento, ou até a tensão máxima especificada para o ensaio. Este plano possui uma periodicidade trianual.

Apesar de ser possível uma estimativa da resistência à perfuração que o isolamento oferece no momento do ensaio, é mais importante a estimativa de quantos anos de serviço o isolamento pode ainda suportar. O equipamento utilizado é o hipot (Seção 4.6.5.1).

Os valores de tensão máxima recomendados para o ensaio em cabos podem ser obtidos na Tabela 4.12 [81].

Tabela 4.12: Valores padrões para teste em cabos.

Tensão do cabo (V)	Secção transversal (mm ²)	Espessura da parede (pol.)	Tensão de teste para cabos novos (kV)
600V	1.5 - 6	3 / 64	11.0
	10 - 12.5	4 / 64	14.5
	32 - 95	5 / 64	18.0
	100 - 250	6 / 64	20.5
	300 - 600	7 / 64	24.0
	Acima de 600	8 / 64	27.5
5000	10 - 25	10 / 64	33.5
	100 - 600	11 / 64	37.0
	Acima de 600	12 / 64	40.5

O diagrama de ligação do hipot em cabos é representado pela Figura 4.23. Para cabos blindados aplica-se alta tensão no condutor e o retorno é a blindagem do mesmo, já para cabos não

blindados recomenda-se curto-circuitar os condutores e aplicar a alta tensão nos mesmos, sendo o retorno o condutor metálico da própria instalação.

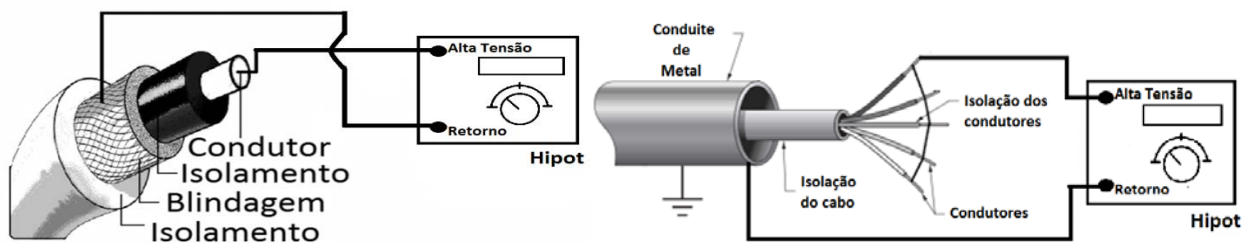


Figura 4.23: Diagrama de ligação do hipot em cabos blindados e não blindados, respectivamente.

Em cabos isolados, ou seja, não blindados e localizados em estruturas não condutoras, deve-se efetuar a ligação conforme representa a Figura 4.24, curto-circuitando um lado do cabo e deixando o outro em aberto, assegurando que a tensão não apresente flutuações. Os cabos devem ser testados em grupos ou pares, uma vez que se mede a isolação entre os condutores adjacentes e não para a terra.

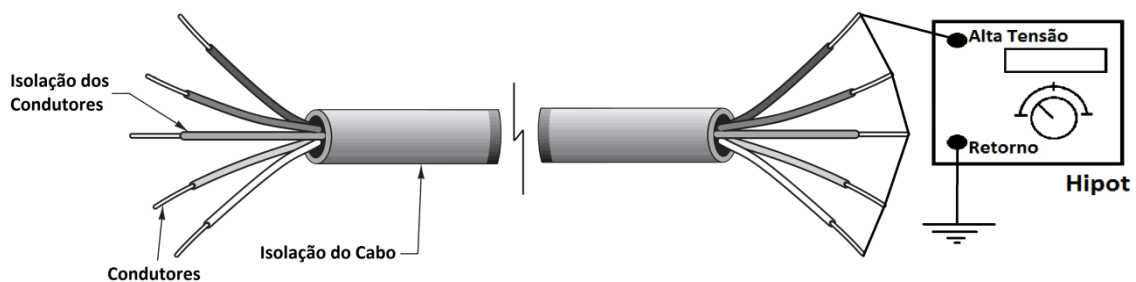


Figura 4.24: Diagrama de ligação do hipot em cabos isolados.

Recomenda-se aplicar o nível de tensão por 10 minutos e observa-se, de maneira geral, que correntes de dispersão começam a aparecer em tensão relativamente alta e decaem mais rapidamente, tornando-se constante em algum valor inferior.

Se a corrente não decai, ou ainda mais importante, se depois ela começa a crescer novamente, existe uma forte indicação de problema na isolação e o teste deve continuar além dos 10 minutos. O teste é efetuado durante todo o tempo que a corrente se mantém crescente ou até que uma falha ocorra de forma que o ponto fraco do cabo possa ser localizado e reparado.

4.6.5.1 HIPOT

A unidade consiste de uma fonte de alta tensão contínua regulável, com dispositivos de segurança e proteção, kilovoltímetros e miliamperímetros para medição e lâmpadas indicadoras de funcionamento. O circuito de funcionamento é representado pela Figura 4.25.

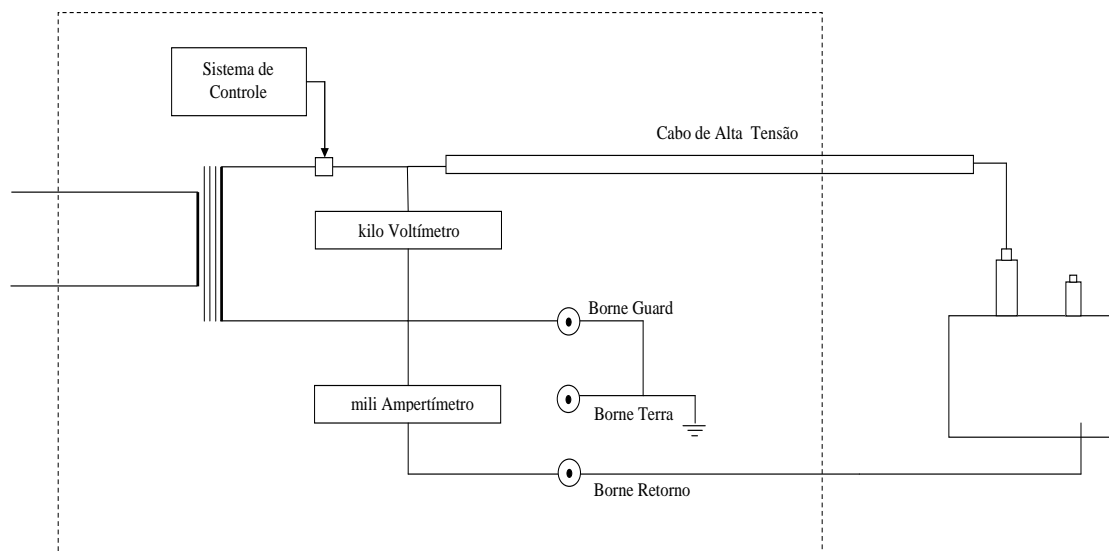


Figura 4.25: Circuito de funcionamento do Hipot.

O transformador elevará a tensão de entrada para os valores necessitados. A alta tensão tem em sua saída um Kilovoltímetro que realizará a medição dessa tensão e um miliamperímetro para medição da corrente de fuga. Sua unidade em operação é representada na Figura 4.26.

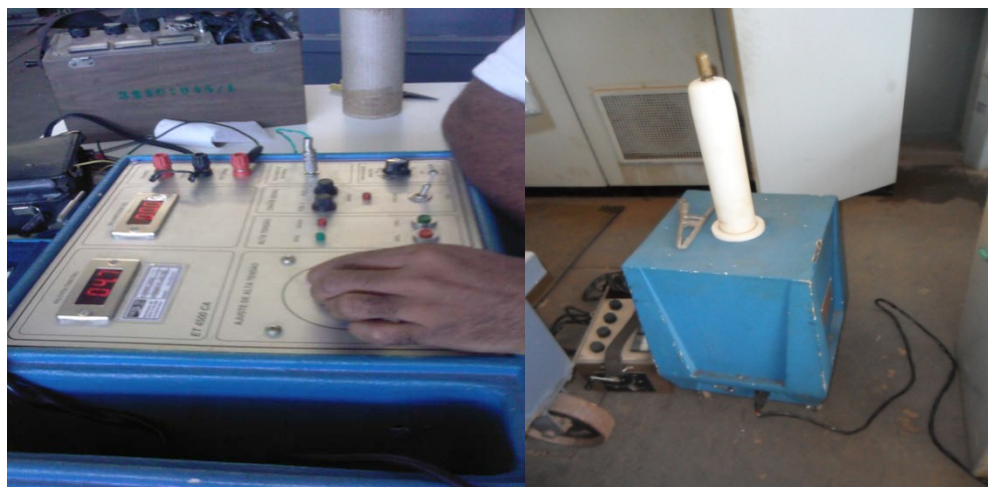


Figura 4.26: Operação do Hipot.

O potencial é aplicado do condutor do equipamento para a blindagem. Na manutenção de cabos é muito prático combinar as possibilidades de pesquisa proporcionadas pelo ensaio com vários níveis de tensão, com o ensaio de prova a uma tensão adequada.

Em muitos cabos a absorção no isolamento não é tão intensa que requeira um programa de tensão/tempo tão extenso. Normalmente, aplica-se tensão em degraus de 3 em 3 kV até o nível desejado, aplicando cada degrau de tensão por 5 minutos.

Para cada degrau de tensão, faz-se a leitura correspondente da corrente, gerando um gráfico entre tensão e corrente. Caso o gráfico for uma reta, o ensaio pode prosseguir até as tensões

máximas, porém, caso apareça uma curvatura, o ensaio deve ser interrompido quando um súbito aumento da corrente de fuga surgir e deve-se localizar o ponto fraco perfurando-o para uma posterior reparação.

É importante ressaltar que pequenas variações na tensão de alimentação do hipot podem causar flutuações no microamperímetro, assim recomenda-se a utilização de um estabilizador de tensão.

Completando o ensaio, o equipamento deve ser descarregado por meio do resistor de descarga que normalmente acompanha o ensaiador. O resistor limita a corrente de descarga não permitindo o aparecimento de surtos destrutivos. O equipamento ensaiado pode ser solidamente aterrado quando a tensão cai a zero ou alguns minutos após a descarga.

4.7 BARRAMENTO

O barramento é um condutor elétrico, utilizado para alimentar sistemas elétricos, inclusive em trechos curvos, de maior capacidade de corrente que os cabos.

Sua manutenção consiste em verificações periódicas e, de tempos em tempos, uma medição para averiguação de sua funcionalidade.

4.7.1 ANÁLISE DE TEMPERATURA

Conforme abordado na Seção 4.3.2, tendo uma periodicidade semestral.

4.7.2 APERTO DOS CONECTORES

Conforme abordado na Seção 4.4.1, tendo uma periodicidade anual.

4.7.3 LIMPEZA DO BARRAMENTO

Conforme abordado na Seção 4.3.4, tendo uma periodicidade anual.

4.7.4 MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA ÔHMICA

Conforme abordado na Seção 4.5.14, tendo uma periodicidade anual.

4.8 MOTOR DE INDUÇÃO

Os motores elétricos representam a grande parte do consumo de energia nos segmentos onde seu uso é mais efetivo, como nas indústrias, tendo um índice que, em média, ultrapassa 50% do consumo total.

É de suma importância que o motor esteja operando com um carregamento conveniente à sua potência, não sendo subcarregado e nem sobrecarregado para que suas perdas elétricas e mecânicas não representem valores consideráveis.

O motor deve receber uma ventilação adequada, de acordo com a especificação do fabricante, pois o fluxo de ar arrasta consigo poeira e materiais leves que obstruem aos poucos as aberturas ou canais e impedem a passagem do ar e a dispersão normal de calor, aumentando assim o aquecimento do motor.

A temperatura ambiente também deve ser controlada, pois seu valor é utilizado no cálculo da temperatura limite suportada pelos isolantes do motor.

4.8.1 MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA ÔHMICA

Conforme abordado na Seção 4.5.14, apresentando a localização e as correções para cada tipo de causa, observando também um possível rompimento dos condutores. Sua periodicidade deve ser semestral.

O rompimento se dá por vibrações, esforços mecânicos, curtos-circuitos, etc.. A localização do defeito é dada pelo teste de continuidade. A Tabela 4.13 mostra o resultado do teste de continuidade feito para um motor em condições normais, sendo que a primeira linha e a primeira coluna mostram os terminais a serem testados e os números 0 e 1 restantes indicam a continuidade (1) ou não (0).

Tabela 4.13: Teste de continuidade para motores de seis e doze terminais.

-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
4	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
10	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1

O teste apresentando algum resultado diferente da Tabela 4.13, fica evidenciado a existência do defeito. A correção deve ser feita seguindo o circuito que apresenta a interrupção, até identificar o ponto de falha. O correto é tentar efetuar a emenda do terminal rompido, pois a troca do fio pode estragar a isolação das cabeças das bobinas.

4.8.2 RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO

Conforme abordado na Seção 4.5.13, observando que para testes não destrutivos, deve-se aplicar a tensão nominal do motor acrescido de 1 kV. A resistência de isolamento é dada pela soma:

$$R_{\text{isolamento}} = R_{\text{esmalte}} + R_{\text{verniz}} + R_{\text{papel}} \quad (4.8)$$

A Figura 4.27 representa o esquema da medição utilizando o megger. É importante ressaltar que a medição deve ser realizada em todas as fases.

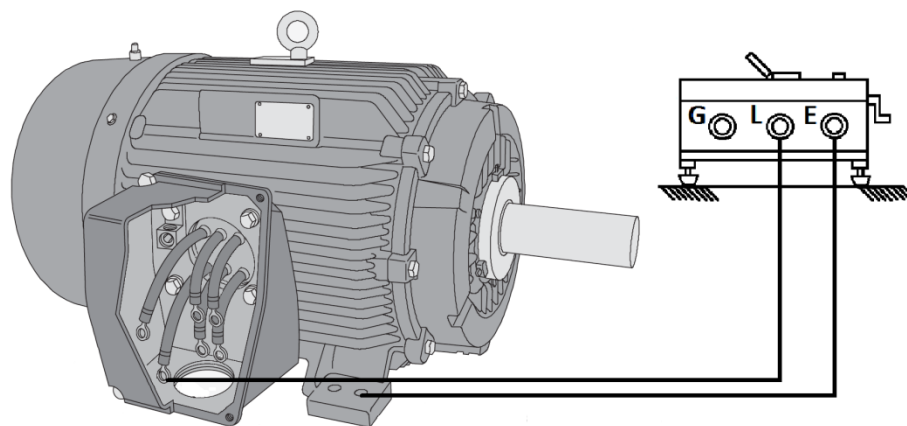


Figura 4.27: Esquema de medição da resistência de isolamento no motor.

Caso a resistência de isolamento seja medida com as bobinas curto circuitadas, deve-se corrigir o valor indicado pelo megger, efetuando sua divisão pelo número de bobinas que foram curto circuitadas.

O valor referido da resistência em função da temperatura deve ser comparado à curva de tendência da resistência de isolamento do motor. Caso o motor apresente uma baixa resistência de isolamento, utiliza-se o zumbidor para detecção da bobina com baixa isolação. Faz-se um molde da bobina com baixa isolação, substituir, impregnar e secar o motor. Sua periodicidade é semestral.

4.8.3 MANCAL E LUBRIFICAÇÃO

Deve-se verificar as condições de operação dos mancais, por meio da escutação, e efetuar sua lubrificação, semestralmente. Em função dos ruídos emitidos pelo mancal, identifica-se sua condição operativa:

- **Ruído alto e contínuo:** indica falta de lubrificação. Nesse sentido, procede-se a lubrificação do mancal (conforme Seção 4.3.3);
- **Ruído alto e descontínuo:** para mancal de esfera, indica esferas partidas ou outros problemas no rolamento e para mancal de atrito, indica canais de lubrificação rompidos ou outros problemas no mancal;
- **Ruído moderado e contínuo:** funcionamento normal. Como ação preventiva pode-se realizar a lubrificação do mancal (conforme Seção 4.3.3).

Em complemento às informações da Seção 4.3.3 , a Tabela 4.14 demonstra as manutenções de lubrificação em motores. Para motores com graxeira é aconselhável fazer a relubrificação durante o funcionamento do motor, de modo a permitir a renovação da graxa no alojamento do rolamento. Se isso não for possível devido à presença de peças girantes perto da graxeira (polias, acoplamentos, etc.) que podem por em risco a integridade física do operador, deve-se desligar o motor e proceder conforme descrito na Tabela 4.14.

Tabela 4.14: Manutenções de lubrificação em motores.

Motores sem graxeira	Motores com graxeira
<ul style="list-style-type: none">• Desmontar cuidadosamente os motores;• Retirar a graxa;• Lavar os rolamentos com querosene ou diesel;• Relubrificar o rolamento imediatamente.	<ul style="list-style-type: none">• Limpar as proximidades do orifício da graxeira;• Injetar aproximadamente metade da graxa total estimada e colocar o motor a girar durante aproximadamente 1 minuto a plena rotação, desligar o motor e injetar o restante da graxa;• A injeção de toda a graxa com o motor parado pode ocasionar a penetração de parte do lubrificante no interior do motor, através da vedação interna da caixa do rolamento.

4.8.4 FIXAÇÃO DAS BASES E ALINHAMENTO

Devem-se verificar as condições de alinhamento do eixo do motor, em relação à carga acionada, e sua fixação, semestralmente. O mau alinhamento pode ocasionar vibrações, ruptura no eixo ou problemas nos rolamentos. Assim utilizam-se os relógios comparadores para verificar o alinhamento do eixo do motor com relação à carga acionada, conforme Figura 4.28.

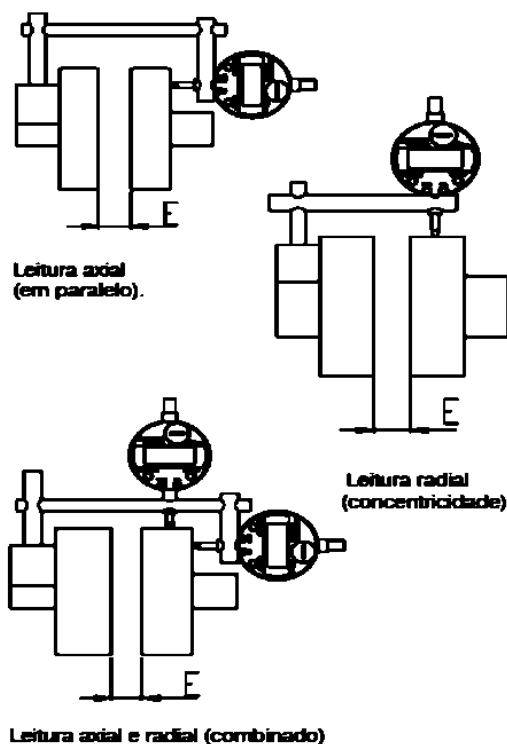


Figura 4.28: Verificação do alinhamento do eixo do motor em relação à carga acionada.

Observa-se que é necessário manter uma distância de 3mm entre os eixos para compensar a dilatação; verificar as condições de fixação do motor, promovendo aperto dos parafusos de fixação; e inspecionar visualmente as condições da base de fixação do motor, observando a existência de rachaduras, quebras ou outras situações que afetem a fixação do mesmo.

4.8.5 CONDIÇÕES DE ACOPLAMENTO

Os procedimentos de manutenção que verificam as condições de acoplamento são descritos na Tabela 4.15 e devem ser realizados semestralmente.

Tabela 4.15: Procedimentos para verificação da condição de acoplamento em motores.

Acoplamentos diretos	Acoplamentos por meio de correias	Acoplamento com polias
Apertar os elementos do acoplamento.	Esticar a correia o suficiente para evitar o deslizamento durante a operação do motor.	Ajustar as polias para que elas operem sob as condições especificadas pelo fabricante e atenda às características do acionamento.

4.8.6 DESEQUILÍBRIO

Conforme abordado na Seção 4.6.4, tendo uma periodicidade anual.

4.8.7 DISTORÇÃO HARMÔNICA

Devem-se efetuar as medições das distorções harmônicas no sistema de alimentação do motor, anualmente. As correntes harmônicas podem ocasionar ressonâncias, aumento de perdas elétricas e redução da vida útil do motor. Para tal análise, utiliza-se o qualímetro (Seção 4.6.3.1).

4.8.8 ANÁLISE DE TEMPERATURA

Conforme abordado na Seção 4.3.2 , identificando os pontos quentes de carcaça, terminais de conexão e cabos de alimentação, anualmente. Ainda, se possível, desmontar partes do motor para averiguação da temperatura dos enrolamentos do motor, conforme Figura 4.29 [48].

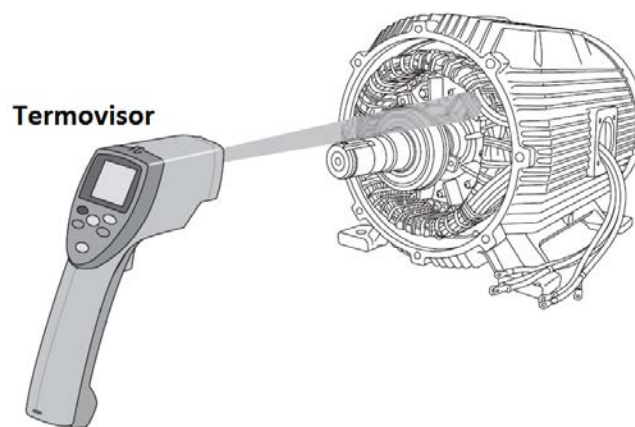


Figura 4.29: Utilização do termovisor no motor.

4.8.9 VIBRAÇÃO

A análise de vibração em máquinas e equipamentos rotativos pode permitir a descoberta de anomalias numa fase inicial e evitar que se atinja a fase de avaria catastrófica. Tal análise pode indicar ainda se houve ou não degradação de peças durante o período de inatividade, pois a oxidação superficial de peças girantes pode alterar o equilíbrio dinâmico e introduzir desequilíbrios não existentes em condição normal de operação. Sua periodicidade deve ser anual.

Em operação, há um número de causas produtoras de vibrações, sendo as mais comuns o desgaste dos rolamentos de esferas e dos mancais de atrito. Podem surgir também flexões do eixo devido às ressonâncias, a perda de massa desigual por secagem ou umidificação dos isolantes, além dos desequilíbrios devidos a folga nos mancais e desequilíbrios na tensão.

Deve-se monitorar as ondas sonoras produzidas por fraturas em crescimento, colocando uma ferramenta sobre o mancal e aproximando o ouvido para detecção de falhas pelos ruídos produzidos. Podem surgir frequências críticas caso a rotação de operação coincida com cerca de

30% acima da rotação nominal do motor, causando uma ressonância que produz uma vibração excessiva que pode evoluir até a raspagem.

O balanceamento do rotor de um motor deve atender às prescrições do padrão internacional que descreve tal procedimento [82].

A temperatura influi também na vibração, podendo surgir problemas devido às alterações da geometria das barras do rotor com a temperatura ou anéis de curto-circuito do enrolamento da armadura do pacote rotórico.

4.9 MOTOR DE CORRENTE CONTÍNUA

Os motores de corrente contínua têm tradicionalmente grandes aplicações nas indústrias sendo que, são eles que permitem variação de velocidade como de uma esteira ou de um comboio, por exemplo.

4.9.1 TESTE DE CONTINUIDADE E MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA

Conforme abordado na Seção 4.8.1 verificando a continuidade dos enrolamentos (campo, armadura, interpolo e compensação), efetuando a medição da resistência elétrica do motor de corrente contínua, para monitorar as condições operativas. Possui uma periodicidade semestral.

A identificação dos enrolamentos é baseada na medição da resistência elétrica, observando a Equação (4.9).

$$R_{SH} > R_{AR} > R_{SE} > R_{COM} \cong R_I \quad (4.9)$$

Onde R_{SH} é a resistência do campo shunt, em ohms; R_{AR} é a resistência da armadura, em ohms; R_{SE} é a resistência do campo série, em ohms; R_{COM} é a resistência dos enrolamentos de compensação, em ohms; e R_I é a resistência do enrolamento de interpolo, em ohms.

Observa-se ainda a necessidade de se referir os resultados da medição à temperatura de referência, conforme a Equação 4.5.

Assim, deve-se identificar se os valores de medição estão em conformidade com os dados fornecidos na ficha característica do motor. Os valores em não conformidade indicam a existência de maus contatos (entre condutores de fornecimento de energia e enrolamentos, escova – comutador - enrolamento) ou rompimento de condutor do enrolamento, sendo necessárias ações corretivas.

4.9.2 RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO

Conforme abordado na Seção 4.8.2, tendo uma periodicidade semestral.

4.9.3 MANCAIS E LUBRIFICAÇÃO

Conforme abordado na Seção 4.8.3 , tendo uma periodicidade semestral.

4.9.4 FIXAÇÃO E ALINHAMENTO

Conforme abordado na Seção 4.8.4 , tendo uma periodicidade semestral.

4.9.5 CONDIÇÕES DE ACOPLAMENTO

Conforme abordado na Seção 4.8.5 , tendo uma periodicidade semestral.

4.9.6 ANÁLISE DE TEMPERATURA

Conforme abordado na Seção 4.8.8 , tendo uma periodicidade anual.

4.9.7 VERIFICAÇÃO DAS ESCOVAS

Quando o coletor se encontrar em um bom estado e o filme for de boa qualidade, porém sujo, procede-se a limpeza do coletor através de uma ripa de madeira com lona em uma de suas extremidades e nas duas superfícies, bastando pressionar a lona de encontro ao coletor em movimento, descolando-o transversalmente por toda a largura do coletor.

Já nos casos em que o coletor está bom e o filme apresentar uma má qualidade, deve-se eliminar o filme utilizando-se uma pedra de esmeril, do mesmo material que os rebolos comuns, com uma curvatura igual do coletor. Deve-se passar a pedra em toda a extensão do coletor em movimento, utilizando várias pedras de granulação que vão das grossas até as mais finas, até se obter o polimento do coletor. É importante observar que tais métodos não devem ser utilizados para retificar os coletores.

Para que se tenha um bom alinhamento das escovas devem-se seguir as verificações:

- Porta-escovas paralelo às lâminas do coletor;
- Superfície do coletor totalmente coberta pelas pistas de escovas;
- Toda pista deve ser percorrida por escovas positivas e negativas, e sempre em igual número.

Entende-se por pista, a faixa que uma escova determina sobre o coletor quando este está em movimento.

Alguns cuidados ainda devem ser tomados:

- I. Pressão: verificar se a pressão das escovas está correta e se é a mesma para todas;
 - II. Escovas de qualidades e densidades de corrente diferentes: resultam em sobrecarga naquelas de menor densidade, com maior desgaste, dificultando a comutação;
 - III. Aperto nos parafusos dos terminais: estes deve estar sempre bem apertados, para evitar aquecimento na passagem de corrente;
-

- IV. Porta-escovas: verificar ausência de rebarbas, bem como sua rígida fixação na máquina;
- V. Coletor: verificar se a mica está bem rebaixada e se as bordas das lâminas estão chanfradas;
- VI. Assentamento: fazer o assentamento das escovas de modo a se obter uma curvatura na superfície de contato igual a curvatura do coletor.

Para análise da pressão das escovas, pode-se definir uma faixa de pressão recomendada, em função do tipo de escova, conforme dados apresentados na Tabela 4.16 [13].

Tabela 4.16: Pressão recomendada nas escovas.

Tipo de Escova	Pressão (gr / cm ²)	Tipo de Escova	Pressão (gr / cm ²)
Carvão	125 a 175	Eletrografite	140 a 210
Carvão-grafite	125 a 175	Grafite	90 a 140
Metal-grafite	175 a 250	Fracionários	300 a 350
Tração	250 a 570		

Este plano deve ser realizado semestralmente.

4.10 CONCLUSÃO

Os planos de manutenção tem a função de sistematizar todo o processo de execução da manutenção dos equipamentos por ele contemplados. Uma divisão em categorias aumenta a eficiência das ações mantenedoras, evitando assim paradas não programadas, garantindo um aumento de produtividade de todo o sistema fabril.

A partir de um diagrama unifilar básico construíram-se os planos de manutenção dos equipamentos presentes no mesmo.

As manutenções da chave seccionadora consistem em inspeções visuais; análise de temperatura; manutenções mecânicas; limpeza; e análise do fator de potência de perdas.

No disjuntor de pequeno volume de óleo efetua-se o aperto de conectores; inspeção visual; verifica-se a simultaneidade dos polos; lubrificação; resistência de contato; e a resistência de isolamento.

O transformador é o equipamento que mais exige manutenção no sistema, sendo que deve-se efetuar a inspeção visual; medições de tensão, corrente e temperatura; verificação de ruídos e do relé de buchholz; análise do óleo isolante; verificação do secador de ar; verificação do sistema de circulação de óleo e de ar; ligações das caixas terminais; limpeza; análise de temperatura; fator de potência de perdas; resistência de isolamento e ôhmica; e suas atuações de emergência.

Os cabos possuem planos de manutenção que visam: aperto de conectores; análise de temperatura; análise harmônica; verificação de desequilíbrio e da isolação.

Nos barramentos efetua-se a análise de temperatura; aperto de conectores; limpeza do barramento; e a medição da resistência ôhmica.

Em motores de indução efetua-se a medição da resistência ôhmica e de isolamento; verifica-se o mancal e a lubrificação; observa-se a fixação das bases e o alinhamento; verificam-se as condições de acoplamento; desequilíbrio de tensão; distorção harmônica; análise de temperatura; e as vibrações mecânicas.

Em motores de corrente contínua executa-se os testes de continuidade e medição da resistência elétrica; medição da resistência de isolamento; verificam-se os mancais e lubrificação; observar a fixação e o alinhamento; e a verificação do acoplamento e as escovas.

Assim, com todos os planos sistematizados, a manutenção consegue desenvolver uma metodologia prática e eficiente, contemplando grande parte dos equipamentos elétricos do setor fabril.

CAPÍTULO 5

SISTEMAS INFORMATIZADOS PARA O PCM

Este capítulo visa demonstrar as técnicas computacionais utilizadas para que se tenha um sistema informatizado na área de manutenção, tornando todo o processo mais rápido, intuitivo e, principalmente, mais funcional.

5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O planejamento e controle da manutenção se torna cada vez mais inviável na atualidade sem o apoio de ferramentas computacionais, pois houve um grande aumento do volume de informações a serem processadas; as planilhas (manuais ou eletrônicas) e o controle manual se mostraram ineficazes; ocasionando em um fornecimento ineficaz de informações para a tomada de decisão gerencial. Essa situação é comprovada quando se observa que 98,3% das empresas de manutenção utilizam *software*, demonstrando que já não existe espaço para registros arcaicos e limitados, conforme evidenciado pela Tabela 5.1 [4].

Tabela 5.1: Utilização de Softwares de manutenção no Brasil.

Tipos de <i>softwares</i> utilizados na Manutenção (%)						
Ano	Próprios	Externos Adaptados	Externos Pacotes	Próprio e Externo	Apenas Planilhas Eletrônicas	Não utiliza <i>Software</i>
2009	11,36	18,18	35,80	14,20	18,75	1,70
2007	12,63	16,32	35,79	20,53	13,16	1,58
2005	17,60	19,20	24,80	20,80	13,60	4,00
2003	20,14	11,51	34,53	18,71	11,51	3,60
2001	18,59	17,31	19,87	33,33	5,77	5,13
1999	23,85	13,85	26,15	24,62	8,45	3,08
1997	25,19	20,74	11,85	28,15	8,15	5,92
1995	46,89	12,43	16,95	23,73	-	-

A partir da Tabela 5.1 pode-se visualizar um crescimento do uso de planilhas eletrônicas e *softwares* externos, enquanto que o número da utilização de *softwares* próprios decai. Isso demonstra um panorama preocupante em relação às planilhas eletrônicas, pois, seu método de controle não consegue gerir com eficácia o setor mantenedor fabril.

O sistema de manutenção deve então, efetuar um controle efetivo das ações mantenedoras, desde os cadastros até a análise de relatórios, tendo a ferramenta computacional como auxiliar desse processo.

Os primeiros sistemas informatizados para PCM foram desenvolvidos pelas próprias empresas, pois os *softwares* disponíveis eram economicamente inviáveis, porém com a evolução dos sistemas de informação, esse processo se tornou mais lento e oneroso, sendo que a utilização de *softwares* de terceiros ficou mais atraente [17].

A Tabela 5.2 ainda fornece em quais aplicações o setor industrial está direcionando a utilização de *softwares* de controle de manutenção, demonstrando uma tendência de importância

para as mesmas. É importante ressaltar que esses dados apenas representam a atual situação desta evolução, e não seu desempenho e eficácia [4].

Tabela 5.2: Aplicações da Informática na Manutenção.

Principais Aplicações da informática na Manutenção (%)							
Ano	Planejamento, programação, acompanhamento e serviços	Gerenciamento de paradas	Manutenção Preditiva	Análise de falhas	Controle de custo	Gestão de estoques	Outros
2009	29,82	18,25	15,42	12,60	20,31	3,60	0,00
2007	28,24	17,75	14,12	14,12	19,27	2,10	1,53
2005	26,46	-	-	24,07	23,02	21,16	0,79
2003	23,93	-	-	23,46	21,09	19,91	3,32
2001	24,21	-	-	21,06	20,87	19,49	4,72
1999	26,19	-	-	19,84	20,11	20,63	4,76
1997	25,00	-	-	21,75	21,50	20,00	4,25
1995	25,87	-	-	21,54	22,04	20,03	3,84

A tecnologia hoje disponível possui características alinháveis ao sistema de manutenção de sistemas elétricos e uma de suas ferramentas pode ter um destaque eficaz no treinamento de técnicas otimizadas de manutenção: A Realidade Virtual. A RV é utilizada das mais diversas maneiras possíveis, auxiliando melhor determinada aplicação com o intuito de facilitar o procedimento em questão, como treinar um usuário em um ambiente virtual onde o mesmo não corra risco de morte e tenha um desempenho aceitável para este treinamento [5].

Realizou-se um estudo aprofundado na área de Realidade Virtual, focando sua validade na utilização, em que se consistiu em algumas experiências que comparavam a utilização de fotos e da Realidade Virtual no treinamento de alunos universitários. Concluiu-se que os alunos tiveram certa dificuldade de construir um modelo mental tridimensional a partir de imagens bidimensionais, como desenhos de três ou mais vistas. Já os alunos que tiveram o contato com aplicações desenvolvidas em Realidade Virtual tiveram mais facilidade de assimilação de estruturas em três dimensões. Assim o desenvolvimento de uma aplicação de realidade virtual, funciona como auxílio, visando utilizá-la no treinamento na área de Engenharia Elétrica, tornando o ensino mais eficaz e sem riscos para o aprendiz [19].

5.2 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS UTILIZADAS

Para que se possa utilizar toda a estratégia de manutenção abordada, precisa-se de ferramentas computacionais compatíveis com a aplicação desejada. Inicialmente a plataforma de desenvolvimento escolhida foi o C# (C Sharp), através do Microsoft Visual Studio e o SQL server 2008 como banco de dados, rodando no sistema operacional Windows 7 [83] [84].

Para o ambiente virtual, utilizou-se o VRML (Virtual Reality Modeling Language), pois assim o sistema teria um mais rápido acesso, via local, rede ou internet. Os *softwares* para modelagem foram o VRMLpad e o 3DS max 2010 [85] [86].

5.2.1 C#

O C# é uma linguagem de programação desenvolvida pela Microsoft que é completamente suportada pela plataforma .NET Framework, abrange o poder e a versatilidade do Visual Basic, a força e a criatividade do C++ e a inteligência do *Javascript* para validações, sendo uma linguagem fortemente tipada. Além disso, por ser derivado de C++ e C e por possuir uma grande semelhança com a linguagem de programação Java, permitindo que desenvolvedores destas linguagens pudessem se adaptar com facilidade ao C#.

O C# possuiu grandes vantagens, uma delas é a possibilidade de maior interatividade com os internautas, que passam a poder postar informações a qualquer momento, com o C# controlando o envio e recebimento de dados, principalmente a partir da mesma pagina. Outra vantagem na utilização de C# é programação orientada a objeto, não possível em C [84].

A orientação à objetos é um dos melhores recursos oferecidos por esta linguagem, visto que os códigos podem ser utilizados facilmente, pois existem heranças, poliformismo e encapsulamento. Outro tão esperado recurso oferecido pelo C#, através do ASP.NET, é o recurso de programação orientado a evento, que significaria não ter de programar linhas em Javascript para disparar os poucos eventos existentes em alguns controles. Novos eventos de página e controles foram criados visando facilitar a programação [87].

Uma outra vantagem é o recurso do ambiente Windows. No C# o desenvolvimento é muito semelhante com aplicações desktop, utilizando recursos do ambiente Windows. Assim, alguns dos controles que somente eram encontrados em componentes são agora nativos. Outros aspectos vantajosos no C#, é que toda Dynamic-link library (DLL) ou componente não precisa mais ser registrado, extingue-se o papel do registry e com os novos controles validadores, torna-se mais fácil consistir e validar dados na web, bastando apenas invocar o componente, estabelecer a propriedade e vincular a algum controle. Além disso, tratar erros também se tornou muito fácil, por meio do *Exception*, o próprio C# identifica e trata o erro.

Em síntese, a linguagem de programação C# disponibiliza os seguintes aspectos:

- Maior interatividade com os internautas;
- Possui recurso de programação orientada a objeto;
- Uso de evento nos controles;
- Desenvolvimento em ambiente Windows;

- Não precisa registrar componentes;
- Possui fácil validação de dados;
- Fácil tratamento de erros.

O ambiente de desenvolvimento utilizado foi o Microsoft Visual Studio 2010, conforme representa a Figura 5.1, que realiza a integração entre o SQL Server 2008 e a LINQ. A VRML é inserida através de um *browser* adicionado nos componentes do aplicativo [83].

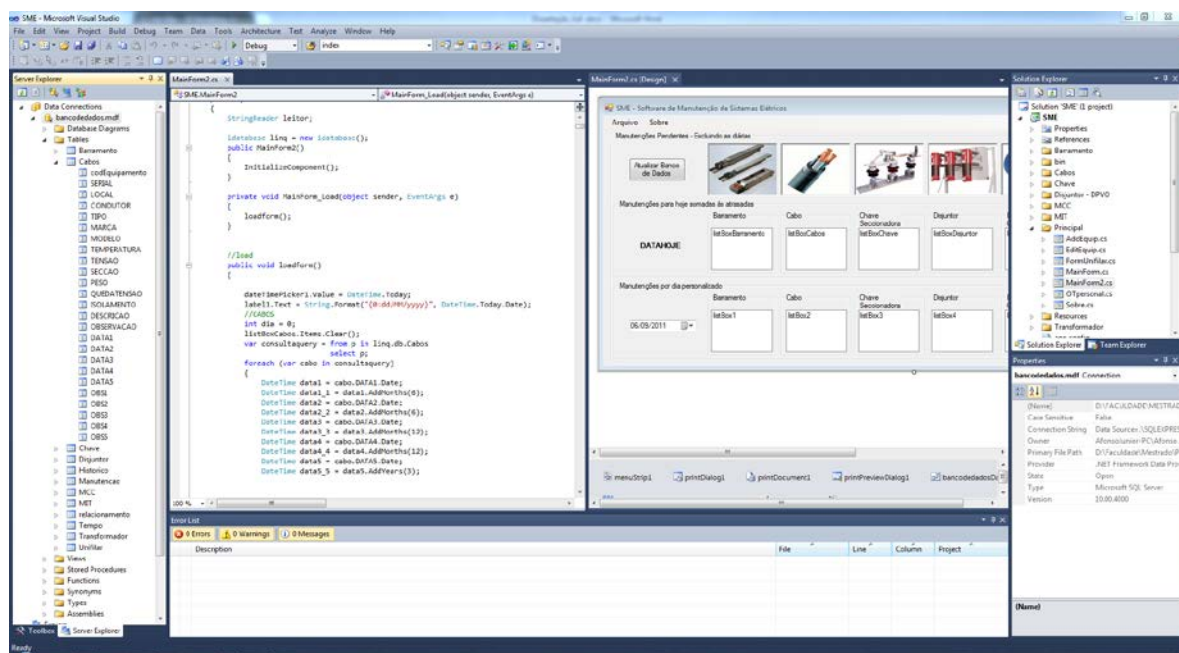


Figura 5.1: Ambiente de Desenvolvimento – Microsoft Visual Studio 2010.

5.2.2 SQL SERVER 2008

O banco de dados desenvolvido foi feito na plataforma do SQL Server 2008, que fornece recursos de gerenciamento de dados de classe empresarial com ferramentas de BI (*Business Intelligence*) integradas. Ainda o SQL Server 2008 oferece um armazenamento mais seguro e confiável tanto para dados relacionais quanto estruturados, permitindo que se crie e gerencie aplicativos de dados altamente disponíveis e eficientes para uso em seus negócios.

O mecanismo de dados do SQL Server 2008 é a parte central dessa solução de gerenciamento de dados empresariais. Além disso, o SQL Server 2008 combina os recursos de análise, geração de relatórios, integração e notificação. Isso permite que a empresa crie e implante soluções de BI econômicas que ajudem a equipe a distribuir os dados por todos os cantos da empresa, através de *scorecards*, painéis, serviços da Web e dispositivos móveis [88].

O SQL Server 2008 pode ser integrado ao Visual Studio, podendo ser integrado ao LINQ, podendo ser feito as relações de tabelas facilmente e serem acessadas como classes.

5.2.3 LINQ – LANGUAGE INTEGRATED QUERY

Após duas décadas, a indústria alcançou um ponto estável na evolução das tecnologias de programação OO (Orientadas a objetos). Os programadores agora aceitam naturalmente recursos como classes, objetos e métodos. Observando-se a geração atual e futura de tecnologias, torna-se aparente que o próximo grande desafio na tecnologia de programação é reduzir a complexidade em acessar e integrar informações que não são nativamente definidas utilizando a tecnologia OO. As duas fontes mais comuns de informações não-OO são bancos de dados relacionais e XML [89].

Utiliza-se o tempo consulta integrada de linguagem para indicar que a consulta é um recurso integrado das linguagens de programação primárias do desenvolvedor (por exemplo, C#, Visual Basic). A consulta integrada de linguagem permite expressões de consulta que se beneficiam de metadados valiosos, verificação de sintaxe em tempo de compilação, tipagem estática e IntelliSense que estavam previamente disponíveis apenas ao código imperativo. A consulta integrada de linguagem também permite que uma facilidade de consulta declarativa de propósito geral seja declarada a todas as informações em memória, não apenas as informações derivadas de fontes externas.

A LINQ define um conjunto de operadores padrão de consulta de propósito geral que permite que operações de travessia, de filtragem e de projeção sejam expressas do modo direto, porém declarativo, em qualquer linguagem de programação baseada em .NET. Os operadores padrão de consulta permitem que consultas sejam aplicadas a qualquer fonte de informações baseada em `IEnumerable<T>`.

A LINQ permite que terceiros aumentem o conjunto de operadores padrão de consulta com novos operadores específicos de domínio que são apropriados para o domínio ou tecnologia almejados. Mais importante, os terceiros agora são livres para substituir os operadores padrão de consulta com suas implementações próprias, que fornecem serviços adicionais tais como avaliação remota, tradução de consultas, otimização, etc.

Ao aderir às convenções do padrão LINQ, tais implementações se aproveitam da mesma integração de linguagem e suporte a ferramentas dos operadores padrão de consulta.

A extensibilidade da arquitetura de consulta é utilizada no próprio projeto LINQ para fornecer implementações que funcionam tanto sobre dados XML quanto SQL. Os operadores de consulta sobre o XML (X.Linq) utilizam uma facilidade XML em memória eficiente e fácil de usar para fornecer funcionalidade XPath/XQuery na linguagem de programação anfitriã. Os processos de consulta sobre dados relacionais (D.Linq) são criados baseados na integração de definições de esquema SQL com no sistema de tipos da CLR. Essa integração fornece tipagem forte sobre os

dados relacionais, mantendo ainda o expressivo poder do modelo relacional e o desempenho na avaliação de consultas feitas diretamente no sistema de armazenamento.

5.2.4 VRML

Para a implementação das técnicas de Realidade Virtual, utilizou-se o *softwares* VRMLpad e o 3DS max 2010, que utilizam a linguagem VRML (Virtual Reality Modeling Language), aplicada com bastante sucesso em diversos projetos de concepção de ambientes virtuais [90] [86]. O surgimento da linguagem está interligado à colaboração de diversas empresas e pesquisadores, que tinham o propósito de desenvolver uma infraestrutura para aplicações gráficas tridimensionais interativas, e que proporcionassem uma capacidade de criação de uma gama variada de aplicações. Aprimorada, hoje a linguagem VRML é capaz de tudo isso, permitindo ainda, definições de comportamentos (com mais interação e animação) dos componentes tridimensionais [5].

Os arquivos que simulam os mundos tridimensionais utilizando linguagem VRML não requerem compiladores específicos para a sua geração. Assim, por meio de qualquer editor de textos, o desenvolvedor pode conceber tais arquivos, bastando salvá-los com a extensão “wrl”. Estes arquivos definem quais formas geométricas estarão presentes no ambiente e em quais posições, quais as cores, as associações e os movimentos. Enfim, definem todos os aspectos necessários para a composição dos ambientes.

A construção do código está relacionada com a concepção de formas. Estas nada mais são do que associações entre elementos tridimensionais geométricos pré-definidos, tais como cones, cilindros, esferas e paralelepípedos. Cada forma pré-definida possui atributos variáveis que controlam tamanho, cor, posição e ângulos. Nestas formas também é possível inserir texturas, tornando o objeto virtual mais próximo do real.

Pode-se ainda modificar os fundos, através de funções específicas que permitem simular ambientes diferenciados que se assemelham às condições climáticas, que variam de um lindo dia de sol, um dia nublado ou com muita neblina, dentre outros. É possível também controlar a aparência de elementos do cenário, bem como a inserção de diferentes formas de fontes de luz.

Alguns recursos extras permitem inserir sons ou vídeos ao ambiente virtual. Em geral, a própria linguagem VRML possui alguns tipos pré-definidos de animações, como a navegação do usuário levando em conta a colisão entre objetos. No entanto, para animações mais complexas, ela possui compatibilidade com scripts elaborados em Java ou JavaScript, que podem ser inseridos em qualquer mundo virtual.

A visualização destes ambientes tridimensionais, por sua vez, pode ser feita por meio de um simples navegador de Internet ou uma GUI (*Graphic User Interface*) simples que possa ser

associada a um plug-in, que interpretará o código criando as estruturas definidas. A Figura 5.2 representa a arquitetura do sistema de ambientes virtuais.

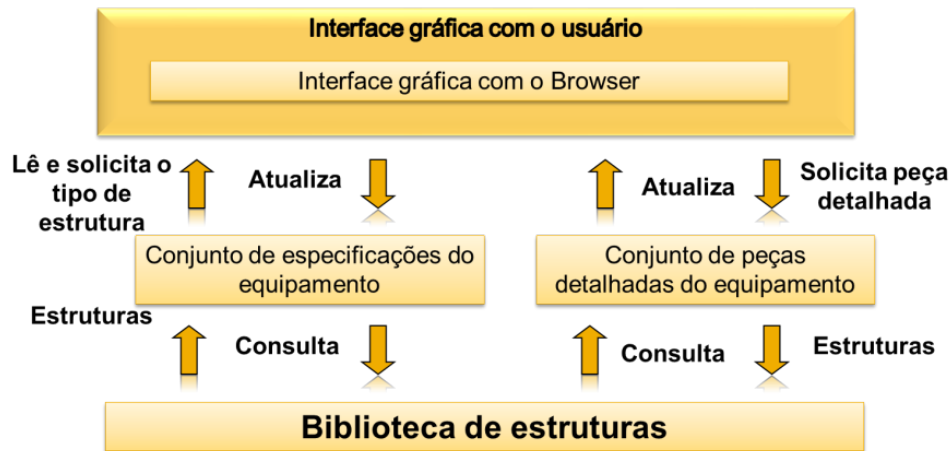


Figura 5.2: Arquitetura do sistema VRML.

Apesar das inúmeras funções presentes no VRML optou-se por sua modelagem apenas, com o intuito de se conseguir um código-fonte mais simples e, assim, criação de arquivos menores.

Para modelagem usando a VRML utilizou-se o VRMLpad e o 3DS max 2010, conforme representam a Figura 5.3 e a Figura 5.4.

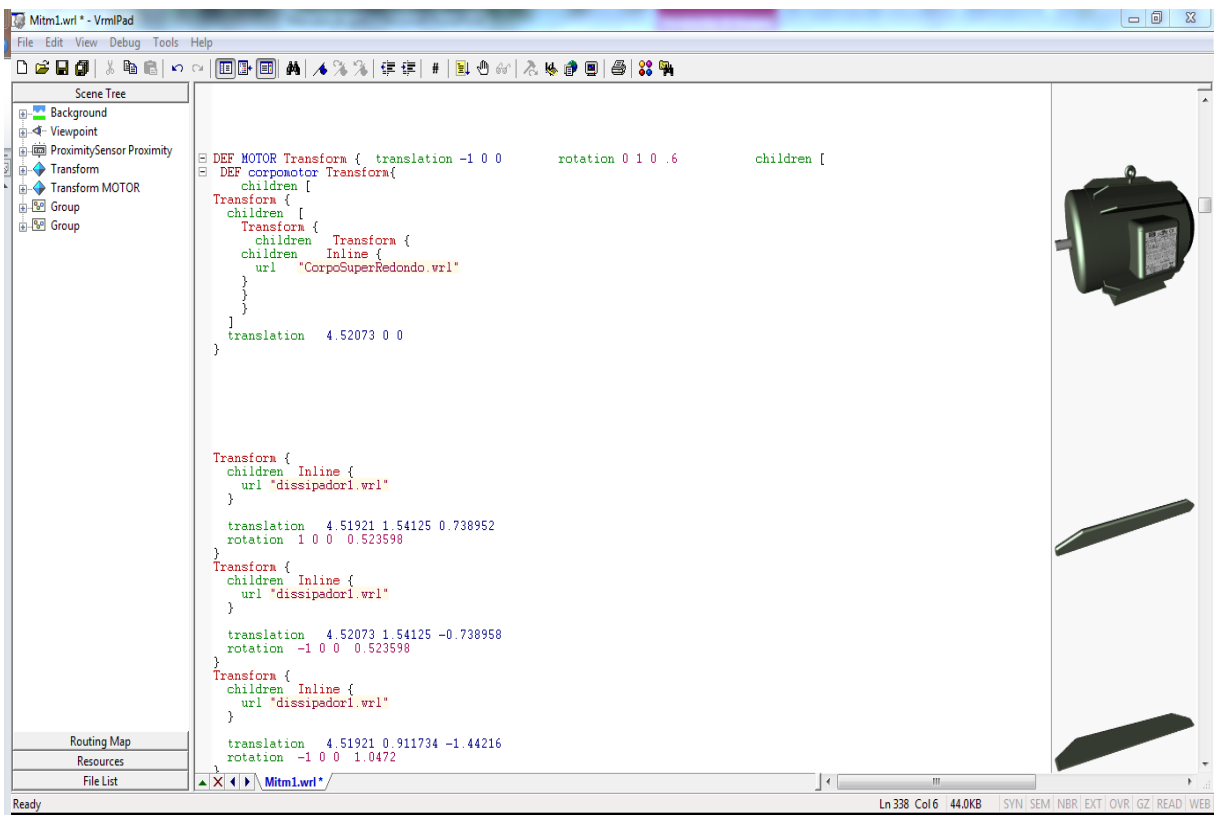


Figura 5.3: Utilização do VRMLpad – Motor de Indução.

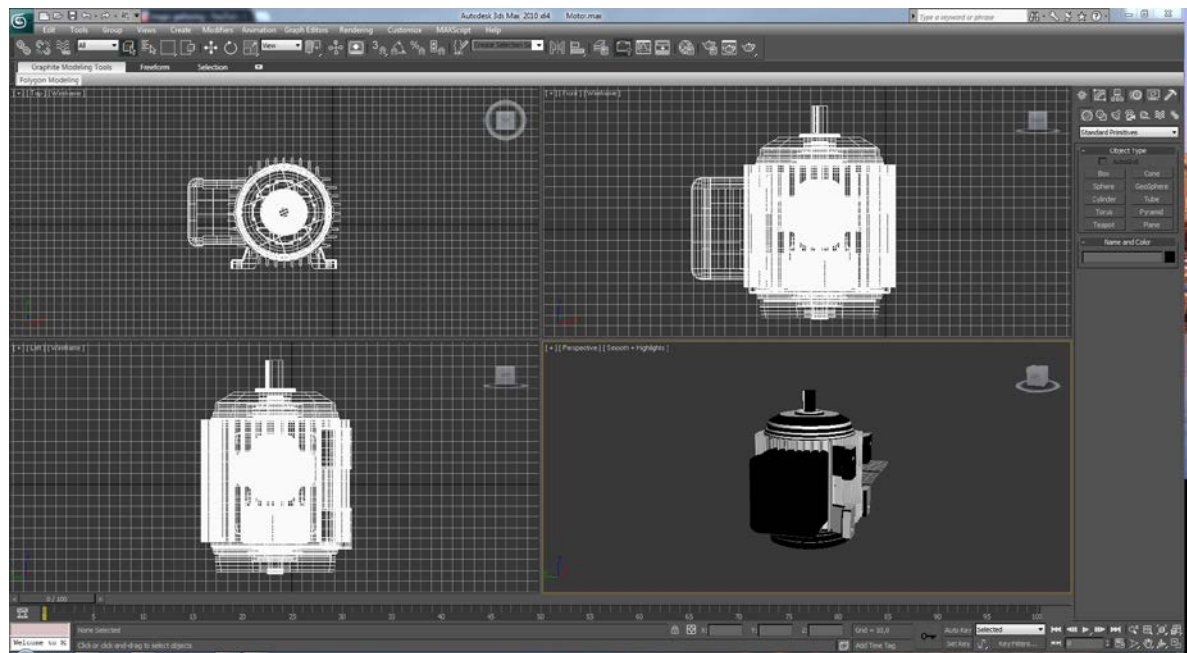


Figura 5.4: Utilização do 3DS Max 2010 – Motor de Corrente Contínua.

O *plugin* utilizado para visualização da VRML no navegador foi o Cortona, por ser um dos mais utilizados pela comunidade científica da área de RV [90].

5.3 ESTRUTURA DO APLICATIVO

O aplicativo desenvolvido está estruturado de forma a:

- Organizar e padronizar os procedimentos ligados aos serviços de manutenção;
- Facilitar a obtenção de informações da manutenção;
- Gerenciar a estratégia de manutenção através dos planos preventivos;
- Aumentar a produtividade da manutenção através de informações
- Controlar o estado dos equipamentos;
- Fornecer relatórios de histórico de equipamentos.

Assim o aplicativo desempenha o papel de processamento das informações pertinentes ao sistema, mantendo um controle sobre a política de manutenção. Sua estrutura deve primar por ações, configurações e interfaces que minimizem a possibilidade de ocorrência de erros.

A Figura 5.5 representa o esquema, de maneira bastante simplória, da estrutura de funcionamento do aplicativo desenvolvido. Observa-se que a OT funciona como realimentação do sistema, tornando-o dinâmico, e o usuário, através de informações dos equipamentos e os índices de manutenção consegue então realizar o planejamento e controle da manutenção.

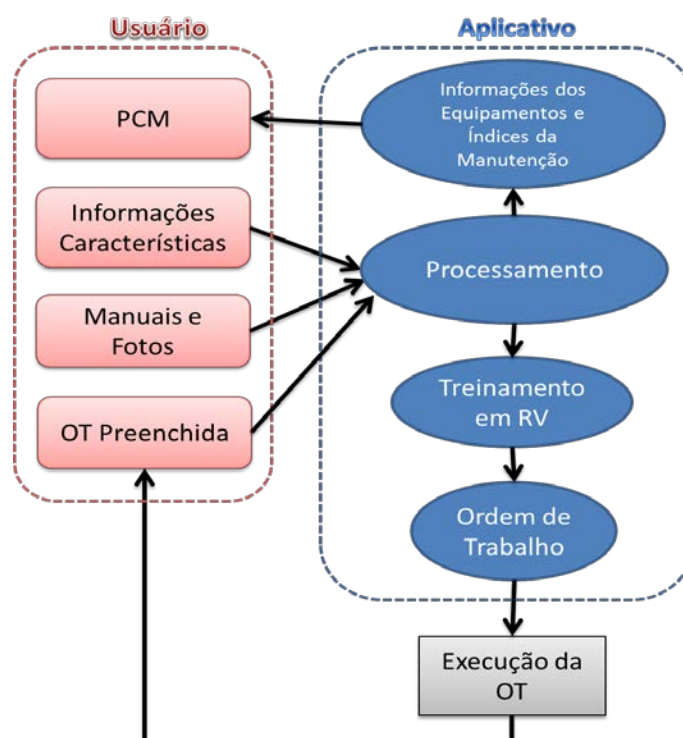


Figura 5.5: Esquema simplificado da estrutura do aplicativo.

5.4 IMPLEMENTAÇÃO DO APLICATIVO

O desenvolvimento do aplicativo foi realizado por etapas, sendo realizado inicialmente pela sua interface inicial e concluído com os módulos dos equipamentos, contendo suas fichas características, de tempo, catálogos e, principalmente, a periodicidade e os procedimentos de manutenção.

O banco de dados que comportará todas as informações do aplicativo foi desenvolvido no SQL Server 2008 e acessado pela LINQ. Sua estrutura de tabelas foi planejada com antecedência ao aplicativo para que se evitassem muitas modificações posteriores, obtendo menos problemas na programação [91].

5.4.1 BANCO DE DADOS

O banco de dados (BD) é composto de tabelas que armazenarão todas as informações do aplicativo, e as tabelas possuem um relacionamento de dados, para que não surja ambiguidade no seu método organizacional. A Figura 5.6 representa a estrutura do BD simplificada, demonstrando quais tabelas foram criadas e seu inter-relacionamento. Observa-se que apenas a tabela “Tempo” foi expandida, a título de visualização.

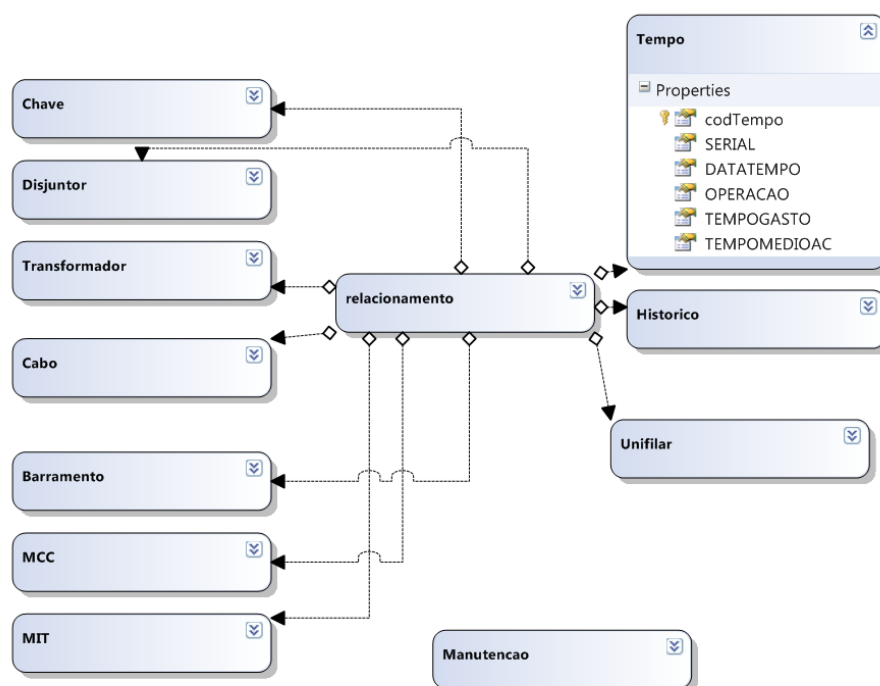


Figura 5.6: Relacionamentos do banco de dados.

Os dados relativos aos catálogos, os manuais, as fichas individuais, etc., estão armazenados no BD. Assim, o aplicativo tem acesso a todas as informações de todo o sistema modelado, fazendo com que o usuário tenha em sua disposição uma gama de informações essenciais para o PCM.

A tabela “Manutencao” é separada do relacionamento para que o usuário possa adicionar atividades mantenedoras para todos os equipamentos de uma vez, porém ainda possibilita de que essa inspeção personalizada contenha informações individuais para cada equipamento, sendo esse campo presente na tabela específica do equipamento. Por exemplo, o usuário pode adicionar uma inspeção extra não implementada para todos os transformadores, como a análise em frequência (FRA), e adicionar o resultado da inspeção para cada transformador individualmente.

Destaca-se o fato de que uma classe foi criada contendo todas as funções de acesso do BD, como funções de inserção, exclusão, teste de valores válidos, consultas e salvamento das informações, fazendo com que uma posterior atualização se torne mais flexível. Essas funções foram criadas através da LINQ.

As tabelas que contêm as informações dos equipamentos possuem a função de armazenar todas as características individuais dos equipamentos, bem como suas datas relativas à periodicidade de execução dos procedimentos de manutenção e as medições ou observações contidas na OT. A Figura 5.7 representa as propriedades da tabela “Barramento”, contendo os campos anteriormente mencionados e os tipos de dados definidos.

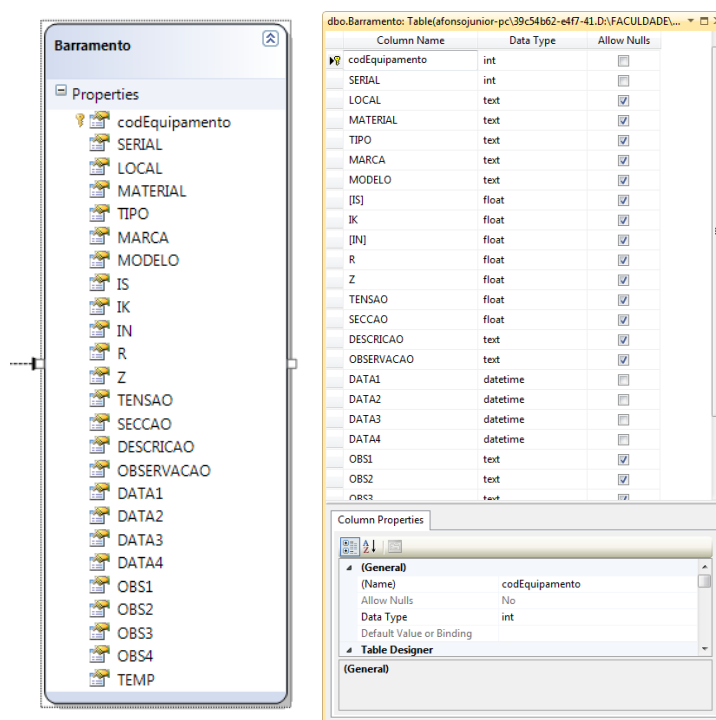


Figura 5.7: Propriedades e definição da tabela “Barramento”, respectivamente.

Em relação à entrada de dados, ressalta-se que o banco não aceita nenhum valor diferente do tipo definido para cada campo, obrigando com que o tratamento de erros ocorra numa etapa anterior, para que não haja nenhuma inconsistência nos dados.

Os dados de utilização de peças a repor também estão armazenadas no BD, tendo este a função também de armazenar tais informações essenciais para uma comunicação assídua entre a manutenção e o almoxarifado.

Quando um novo equipamento é inserido, o sistema gera um valor de controle ("SERIAL") na tabela “Relacionamento”, vinculado à “TAG” do mesmo, e o propaga nas outras tabelas, fazendo com que não haja ambiguidade de valores. Isso ocorre de maneira similar na exclusão, fazendo com que o aplicativo remova todos os dados relativos ao equipamento excluído.

5.4.2 INTERFACE INICIAL

A interface inicial implementada se baseia em princípios da computação, utilizando a visualização da informação para demonstrar de maneira simples e eficaz todo o sistema, através de um diagrama unifilar [20].

Com a implementação do diagrama unifilar o usuário terá a possibilidade de acessar qualquer equipamento cadastrado, podendo visualizar melhor seu sistema. Caso o usuário movimente o cursor sobre algum desenho esquemático presente no diagrama unifilar, o aplicativo apresenta a *tag* do equipamento. A Figura 5.8 representa a interface do diagrama unifilar.

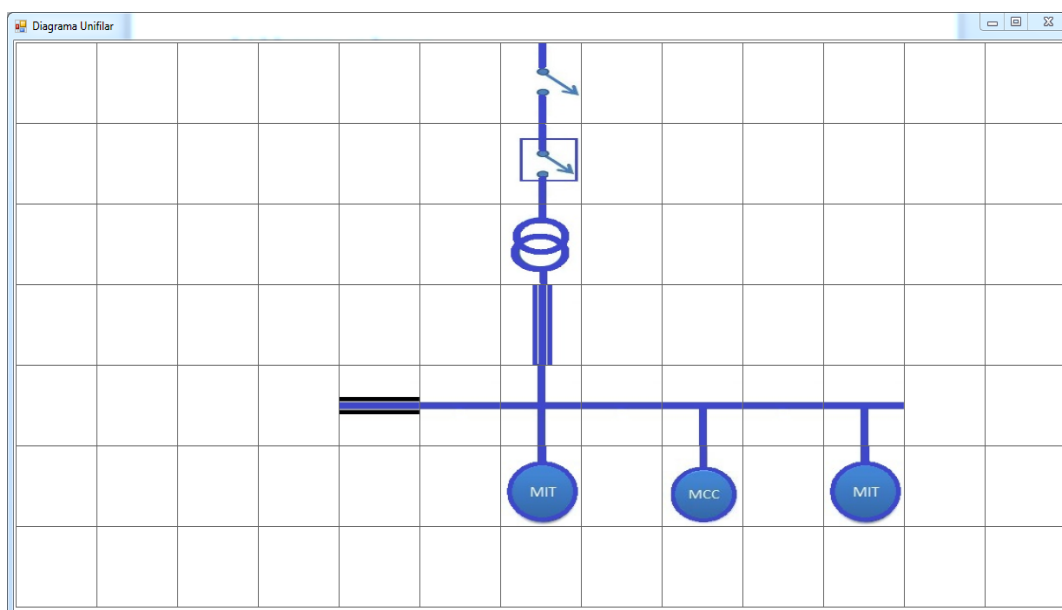


Figura 5.8: Interface Inicial – Diagrama Unifilar.

Além disso, outra interface foi desenvolvida, para que se tenham mais opções de visualização, facilitando o gerenciamento do aplicativo. A Figura 5.9 representa essa interface, agrupando os grupos abordados nos capítulos anteriores e demonstrando quais equipamentos devem se submeter às rotinas de manutenção.

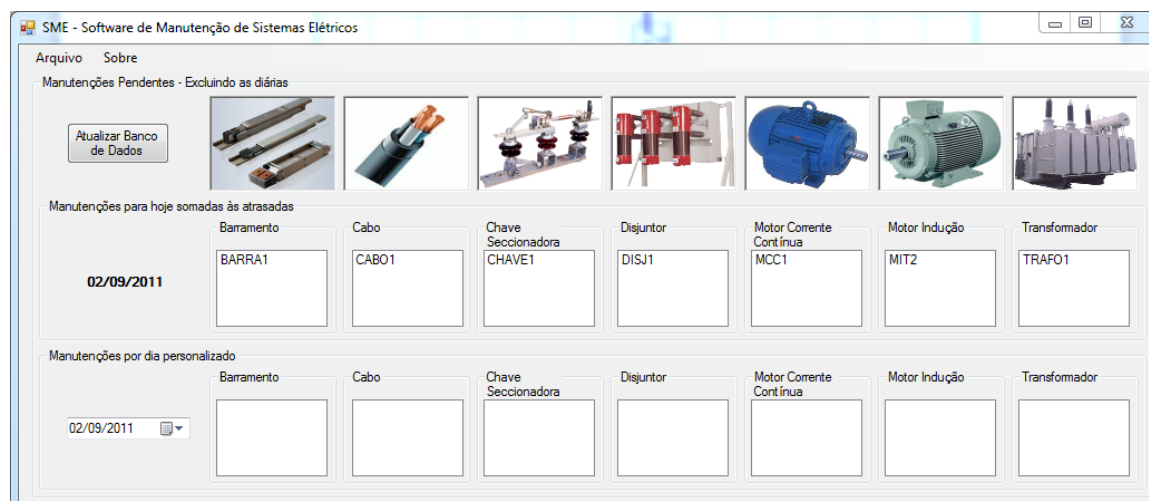


Figura 5.9: Interface Inicial – Janela de controle.

Para que se efetuem consultas sistemáticas, caso desejado pelo usuário, ainda existe outra janela que permite tal procedimento, conforme representa a Figura 5.10.



Figura 5.10: Janela de consulta de equipamentos.

5.4.3 FICHA DE TEMPO

Cada equipamento possui a ficha de tempo, onde o indicador de tempo médio acumulado está presente, sendo de grande importância para o PCM. Assim, na medida em que os procedimentos de manutenção ocorrem, o usuário poderá cadastrar o tempo utilizado em manutenção do equipamento, podendo tomar alguma decisão em relação a altos valores do tempo médio acumulado. A Figura 5.11 representa o modelo da ficha de tempos de uma chave seccionadora, sendo presente em todos os equipamentos implementados.

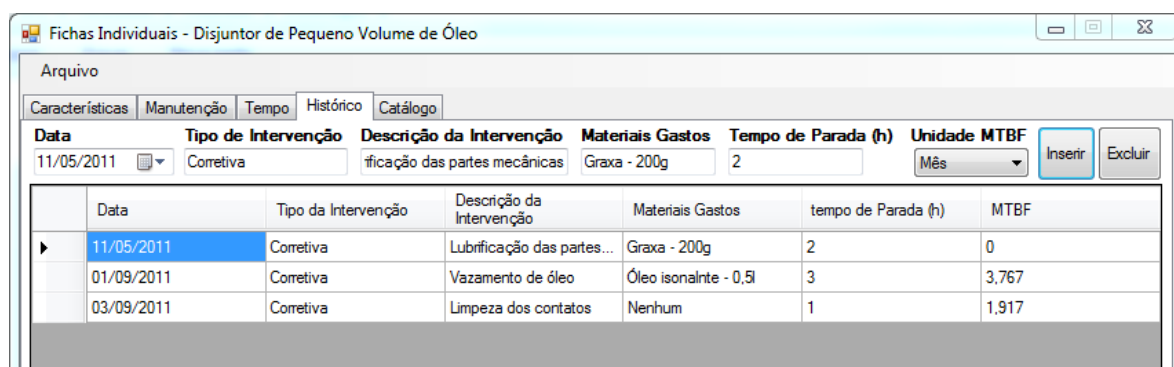
Data	Operação	Tempo Gasto (h)	Tempo médio acumulado (h)
07/07/2011	Lubrificação	2	2
15/07/2011	Limpeza	1	3
30/07/2011	Medição do ângulo de perdas	3	6
02/08/2011	Termografia	5	11

Figura 5.11: Ficha de tempo – Chave Seccionadora.

5.4.4 FICHA HISTÓRICA

A ficha histórica implementada contempla às informações relativas ao histórico de manutenção de cada equipamento, tendo também o cálculo do MTBF que é o intervalo de tempo médio em que um sistema ou item tem um desempenho como especificado antes que uma falha ocorra.

A Figura 5.12 representa a ficha histórica implementada de um disjuntor de pequeno volume de óleo, também presente em todos os equipamentos implementados.



Data	Tipo de Intervenção	Descrição da Intervenção	Materiais Gastos	Tempo de Parada (h)	Unidade MTBF
11/05/2011	Corretiva	Lubrificação das partes mecânicas	Graxa - 200g	2	Mês
11/05/2011	Corretiva	Lubrificação das partes...	Graxa - 200g	2	0
01/09/2011	Corretiva	Vazamento de óleo	Óleo isonante - 0,5l	3	3,767
03/09/2011	Corretiva	Limpeza dos contatos	Nenhum	1	1,917

Figura 5.12: Ficha histórica – Disjuntor de pequeno volume de óleo.

5.4.5 CATÁLOGO

Cada equipamento tem em seu cadastro o manual do equipamento, com informações essenciais para a política de manutenção. O aplicativo possui um sistema integrado que permite a inserção dos catálogos em PDF (*Portable Document Format*), possibilitando ao usuário visualizar o catálogo dentro do aplicativo (através de qualquer programa visualizador de PDF instalado no computador), sem a necessidade de abri-lo em outro local [92]. A Figura 5.13 representa o catálogo de um motor de indução sendo visualizado no próprio aplicativo [93].



Figura 5.13: Catálogo do Motor de indução.

5.4.6 VÍDEOS

Foi desenvolvida uma interface para que o usuário tenha a possibilidade de assistir vídeos que contribuam com seu treinamento contínuo, contendo alguns dos procedimentos de manutenção citados no Capítulo 4. O usuário tem em sua disposição um menu, localizado no canto inferior esquerdo da interface implementada, que possibilita acesso aos vídeos, divididos em categorias, como representa a Figura 5.14, contendo um vídeo tutorial da medição da resistência de isolamento de um motor de indução [94].

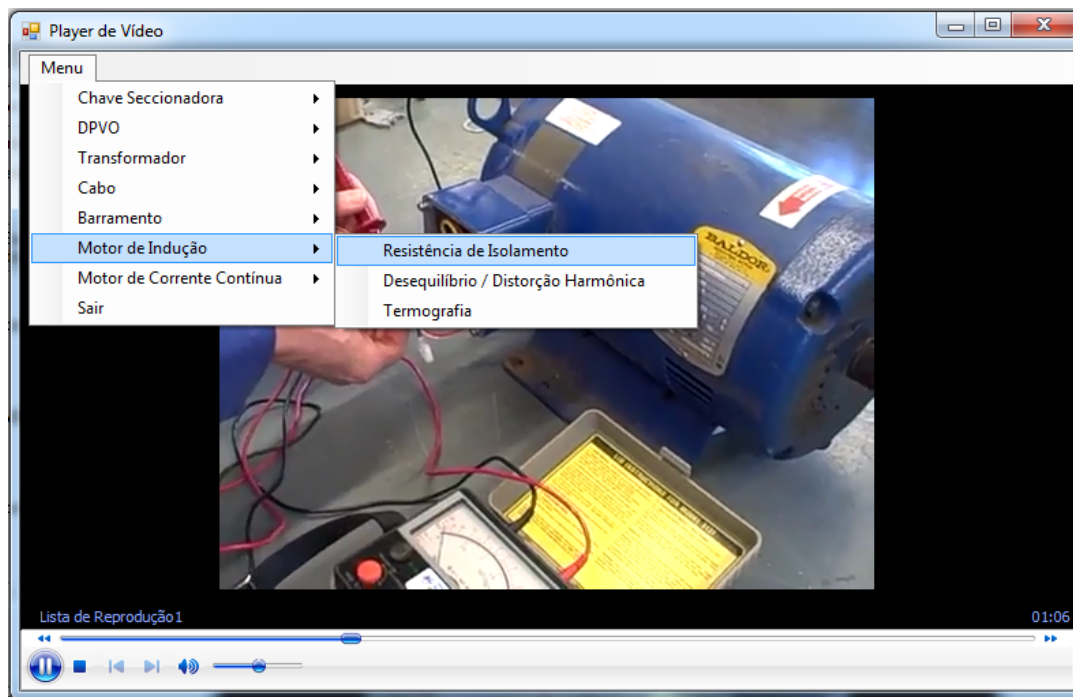


Figura 5.14: Interface de vídeos – Resistência de isolamento do motor de indução.

5.4.7 EQUIPAMENTOS

Para que se tenha o PCM no sistema, os equipamentos foram modelados e categorizados no aplicativo, de modo a facilitar o acesso às informações dos mesmos. Assim as fichas necessárias aos equipamentos também foram agregadas na modelagem no aplicativo.

É importante observar que o tratamento de erros é realizado na etapa de entrada de dados, não permitindo ao usuário entrar com valores fora dos padrões estabelecidos, como por exemplo, entrar com letras no campo de tensão de operação da chave seccionadora. O aplicativo ainda averte o usuário, através de cores, onde se encontra o erro na entrada dos valores [20].

Já em sua edição, o aplicativo agrega as outras fichas necessárias para o PCM: a ficha de manutenção, a ficha histórica, a ficha temporal e o catálogo. Nota-se também que todos os procedimentos de manutenção podem ser expandidos, possibilitando ao usuário um detalhamento do mesmo, podendo ainda utilizar a realidade virtual como ferramenta para treinamento. É

importante ressaltar que todas as fichas características apresentam um diagrama esquemático construtivo dos equipamentos, fazendo que o usuário possa inserir as dimensões dos mesmos.

Os equipamentos medidores utilizados nos procedimentos de manutenção, como o megger, ducter, hipot, etc., foram modelados para que o usuário pudesse treinar seu manuseio em um ambiente virtual. Assim, para cada conexão dos medidores, o aplicativo torna transparentes os componentes do equipamento a ser medido que não vão ser conectados, deixando apenas visível o componente a ser ligado na conexão selecionada pelo usuário.

5.4.7.1 CHAVE SECCIONADORA

O aplicativo possui uma interface de adição e edição de cada equipamento, sendo a primeira representada pela Figura 5.15.

Figura 5.15: Interface de adição – Chave Seccionadora.

A Figura 5.16 representa a ficha de manutenção de uma chave seccionadora com seus procedimentos de manutenção, conforme Seção 4.3. É importante ressaltar que a coluna “Status” apresenta figuras para ilustrar ao usuário qual é o estado cronológico de cada manutenção, sendo o verde para manutenções programadas para uma data posterior a sete dias da data atual, o amarelo para manutenções programadas para uma data igual a data atual ou inferior a sete dias posteriores e o vermelho para manutenções atrasadas.

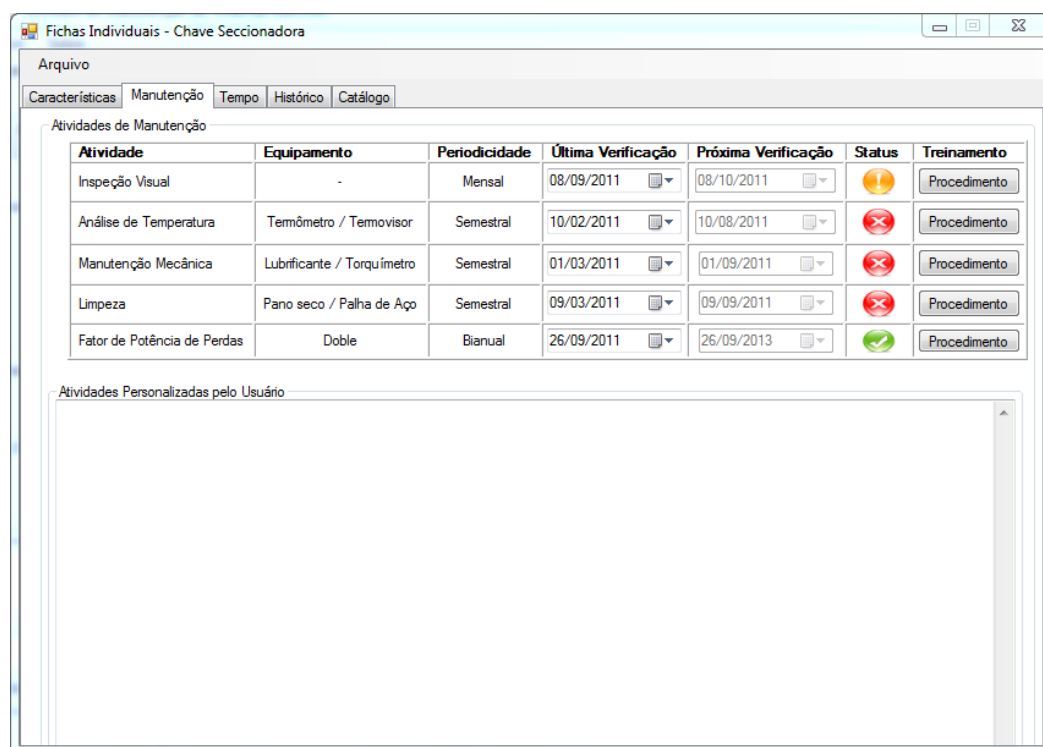


Figura 5.16: Ficha de manutenção – Chave Seccionadora.

Os procedimentos de manutenção podem ser detalhados para que sejam mais bem analisados e o treinamento de cada procedimento é realizado através de um *browser* agregado no aplicativo, utilizando a VRML. A Figura 5.17 representa o detalhamento da medição do fator de potência de perdas da chave seccionadora, conforme Seção 4.3.5, com a utilização do Doble.



Figura 5.17: Medição do ângulo de perda com o Doble – Chave Seccionadora.

5.4.7.2 DISJUNTOR DE PEQUENO VOLUME DE ÓLEO

A implementação do módulo do disjuntor de pequeno volume de óleo também segue os parâmetros abordados na Seção 4.4 contendo suas fichas próprias (característica, manutenção, tempo, histórico e catálogo) e o detalhamento dos procedimentos de manutenção. A Figura 5.18 representa a interface de adição do DPVO, que é a mesma da ficha característica.

Figura 5.18: Interface de adição – DPVO.

Em relação à ficha de manutenção, as periodicidades de cada procedimento foram agregadas, conforme Seção 4.4 tendo também o detalhamento de cada procedimento. A Figura 5.19 representa o detalhamento do procedimento de aperto de conectores do DPVO, com informações úteis em sua parte superior; observações ou medições que o usuário ache conveniente acrescentar; tem a possibilidade também de editar o procedimento sugerido; e sua modelagem em 3D para auxílio na execução do processo.

A interface 3D possibilita o usuário o controle sobre a visualização que deseja, podendo rotacionar e transladar o ambiente virtual, além de proporcionar auxílios no manuseio de equipamentos de manutenção.

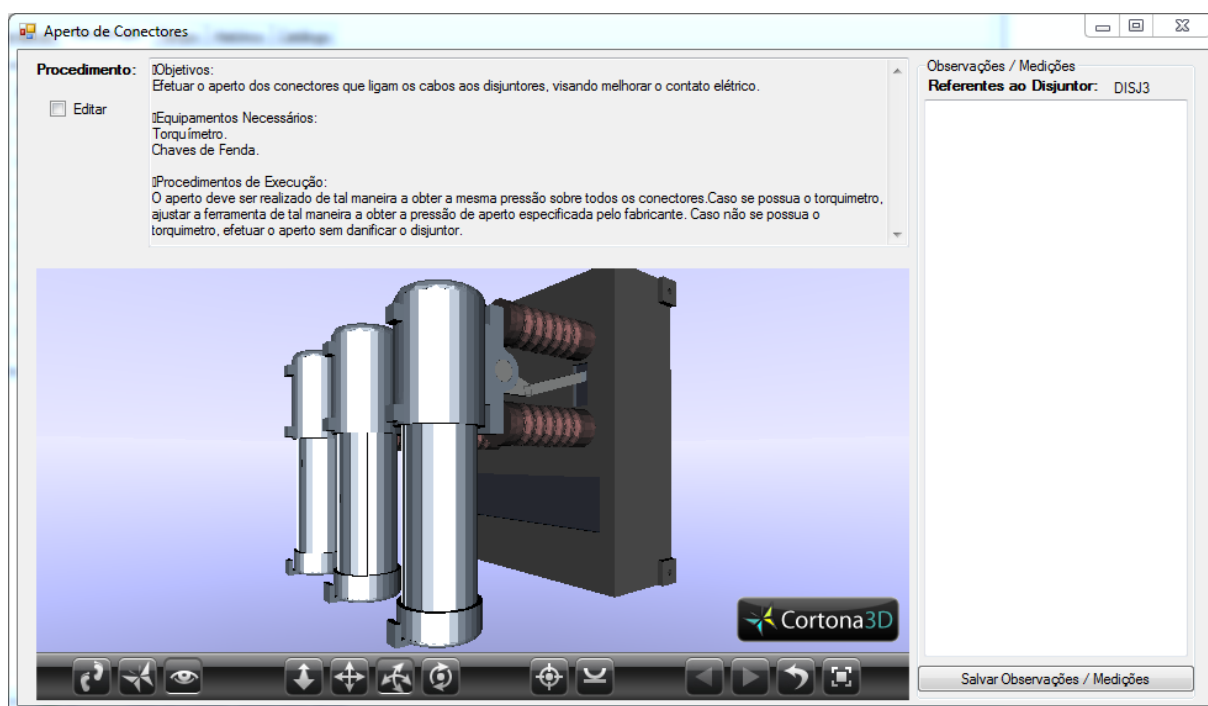


Figura 5.19: Detalhamento do procedimento de manutenção do DPVO.

5.4.7.3 TRANSFORMADOR

O módulo que contempla o transformador é semelhante aos outros módulos, tendo os procedimentos de manutenção listados conforme a Seção 4.5, e todos os detalhamentos destes procedimentos. A Figura 5.20 representa a interface de adição do transformador, interface essa que é semelhante à ficha característica do mesmo.

A interface 'Adicionar Equipamento - Transformador' é organizada da seguinte forma:

- Visualização:** Exibe uma imagem 3D de um transformador.
- Comandos:** Botões para 'Adicionar Imagem', 'Adicionar Catálogo' e 'Inserir Transformador'.
- Descrição e Aplicação:** Um transformador é um dispositivo destinado a transmitir energia elétrica ou potência elétrica de um circuito a outro, transformando tensões, correntes e ou de modificar os valores das Impedância elétrica de um circuito elétrico.
- Dados de Controle:** Campos para TAG, Local, Nº Série.
- Dados Fabricante:** Campos para Tipo, Marca, Modelo.
- Características Físicas:**
 - Potência Nominal: 0 kVA
 - Classe de Tensão: 0 kV
 - Tensão Primária - Trifásica: 0 kV
 - Tensão Secundária - Trifásica: 0 kV
 - Frequência: 0 Hz
 - Impedância Percentual (Z%): 0 %
 - Ligação: [Menu suspenso]
 - Classe Térmica: [Menu suspenso]
- Observações:** Área para texto livre.
- Ampliar:** Botão para ampliar a visualização.

Figura 5.20: Interface de adição – Transformador.

A Figura 5.21 representa a ficha de manutenção do transformador, contendo também o detalhamento dos procedimentos de manutenção.

Atividade	Equipamento	Periodicidade	Última Verificação	Próxima Verificação	Status	Treinamento
Inspecção Visual	-	Diária	-	-	-	Procedimento
Medições	Termômetro / Multímetro	Diária	-	-	-	Procedimento
Verificação de Ruídos	-	Diária	-	-	-	Procedimento
Verificação do Relé Buchholz	-	Diária	-	-	-	Procedimento
Análise do Óleo Isolante (T1)	Recipiente	Mensal	13/09/2011	13/10/2011	🟡	Procedimento
Secador de Ar	Material de Limpeza	Mensal	13/09/2011	13/10/2011	🟡	Procedimento
Sistema de circulação de óleo	Termômetro / Lubrificante	Mensal	13/09/2011	13/10/2011	🟡	Procedimento
Sistema de ventilação	Termômetro / Lubrificante	Mensal	13/09/2011	13/10/2011	🟡	Procedimento
Caixas Terminais	Termômetro / Lubrificante	Mensal	13/09/2011	13/10/2011	🟡	Procedimento
Análise do óleo isolante (T2)	Recipiente	Trimestral	13/09/2011	13/12/2011	🟢	Procedimento
Análise do óleo isolante (T3)	Recipiente	Semestral	13/09/2011	13/03/2012	🟢	Procedimento
Limpeza buchas, isoladores	Pano Seco / Cera	Semestral	13/09/2011	13/03/2012	🟢	Procedimento
Análise do óleo isolante (T4)	Recipiente	Anual	13/09/2011	13/09/2012	🟢	Procedimento
Análise cromatográfica do óleo	Recipiente	Anual	13/09/2011	13/09/2012	🟢	Procedimento
Análise de Temperatura	Termovisor	Anual	13/09/2011	13/09/2012	🟢	Procedimento
Fator de Potência de Perdas	Doble	Bianual	13/09/2011	13/09/2013	🟢	Procedimento

Figura 5.21: Ficha de manutenção – Transformador.

A Figura 5.22 representa o detalhamento de um dos procedimentos, demonstrando a utilização do megger e um adicional de controle de transparência para que o usuário possa observar o transformador internamente, visualização impossível em situações reais, a título de conhecimento.

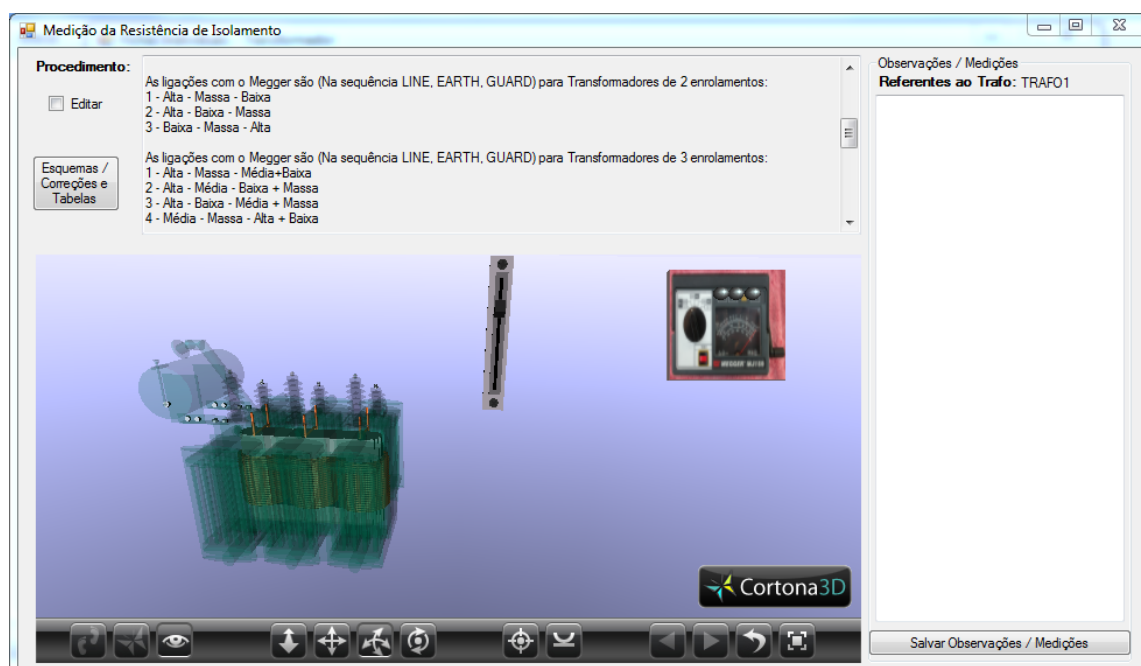


Figura 5.22: Detalhamento do procedimento de manutenção do transformador.

5.4.7.4 CABOS

Os cabos podem ser inseridos também na aplicação de maneira similar aos outros equipamentos, possuindo todas as fichas já abordadas. A Figura 5.23 representa a interface de adição do cabo, semelhante à ficha característica do mesmo.

Adicionar Equipamento - Cabos

Visualização

Descrição e Aplicação
Os cabos são utilizados na distribuição de energia em instalações de interior ou exterior, dependendo do seu modelo.

Dados de Controle
TAG:
Local:
Condutor:

Características Físicas
Temperatura de Operação: Celcius
Tensão: V
Seção Nominal: mm²
Peso: kg/km
Queda de Tensão: %
Isolamento:

Dados Fabricante
Tipo:
Marca:
Modelo:

Comandos
Adicionar Imagem
Adicionar Catálogo
Inserir Cabo

Observações / Dimensões

Visualização 3D
D1
D2
D3
D4
Ampliar

Figura 5.23: Interface de adição – Cabo.

Conforme a Seção 4.6 os procedimentos de manutenção foram inseridos neste módulo, tendo também a possibilidade de detalhamento com o auxílio da RV, representado pela Figura 5.24, onde se demonstra o processo de utilização do hipot.

Verificação da Isolação - Trienal

Procedimento:
Objetivos:
Efetuar as medições da resistência de isolamento de cabos.
Equipamentos Necessários:
High Pot - Equipamento de teste em alta tensão DC
Procedimentos de Execução:
Os valores recomendados para o ensaio em cabos (Tensão - Seção Transversal (mm²) - Espessura da parede(pol.) e Tensão de teste (kV)).

Esquemas / Correções e Tabelas

Visualização 3D
☒ Cabos Blindados ☐ Cabos Não-Blindados com Conduite Condutor ☐ Cabos Não-Blindados sem Conduite Condutor

Observações / Medições
Referentes ao Cabo: CABO1

Salvar Observações / Medições

Figura 5.24: Detalhamento do procedimento de manutenção do cabo.

O procedimento de utilização do equipamento é auxiliado por RV pelo seguinte método: o usuário, ao passar o cursor sobre um dos pontos de conexão do aparelho, torna visível apenas a parte do equipamento a ser ligada nessa conexão. A Figura 5.25 representa o procedimento de utilização do hipot, demonstrando que a conexão de alta tensão deve ser realizada na parte condutora do cabo, e que o retorno deve ser conectado à blindagem do cabo.

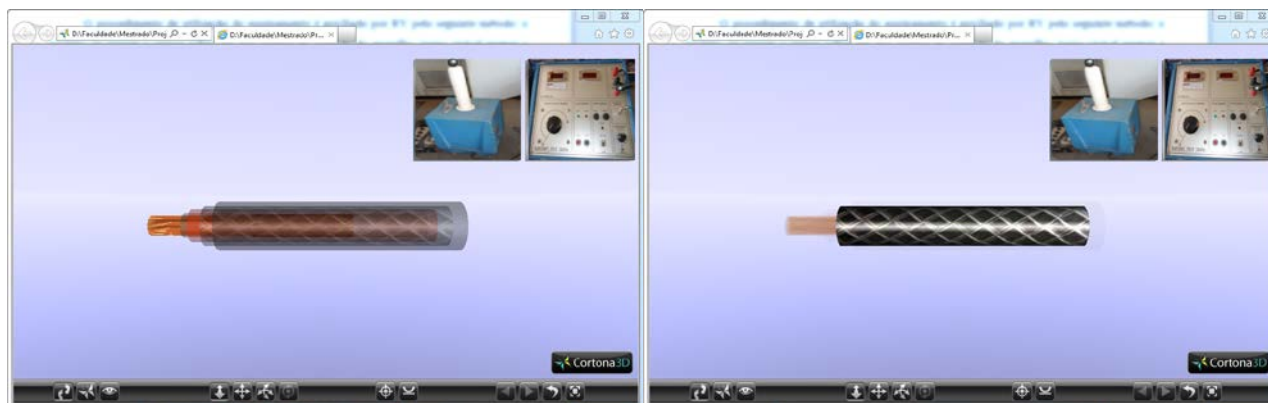


Figura 5.25: Procedimento de utilização do Hipot em cabos: conexão da alta tensão e retorno, respectivamente.

5.4.7.5 BARRAMENTO

O módulo que contempla o barramento tem algumas de suas funcionalidades representadas pela Figura 5.26 e pela Figura 5.27.

Fichas Individuais - Barramentos

Arquivo

Características | Manutenção | Tempo | Histórico | Catálogo

Atividades de Manutenção

Atividade	Equipamento	Periodicidade	Última Verificação	Próxima Verificação	Status	Treinamento
Análise de Temperatura	Termovisor	Semestral	13/09/2011	13/03/2012	✓	Procedimento
Verificação da Fixação	Chave de Fenda	Anual	13/09/2011	13/03/2012	✓	Procedimento
Limpeza do Barramento	Panos Secos	Anual	13/09/2011	13/03/2012	✓	Procedimento
Resistência Ôhmica	Ducter	Anual	13/09/2011	13/09/2012	✓	Procedimento

Atividades Personalizadas pelo Usuário

Figura 5.26: Ficha de manutenção – Barramento.

É importante observar que os cálculos necessários para qualquer procedimento são também auxiliados pelo aplicativo, onde uma nova janela de cálculo é utilizada para tanto, conforme o botão “Calcular Valores” presente na Figura 5.27 representa.

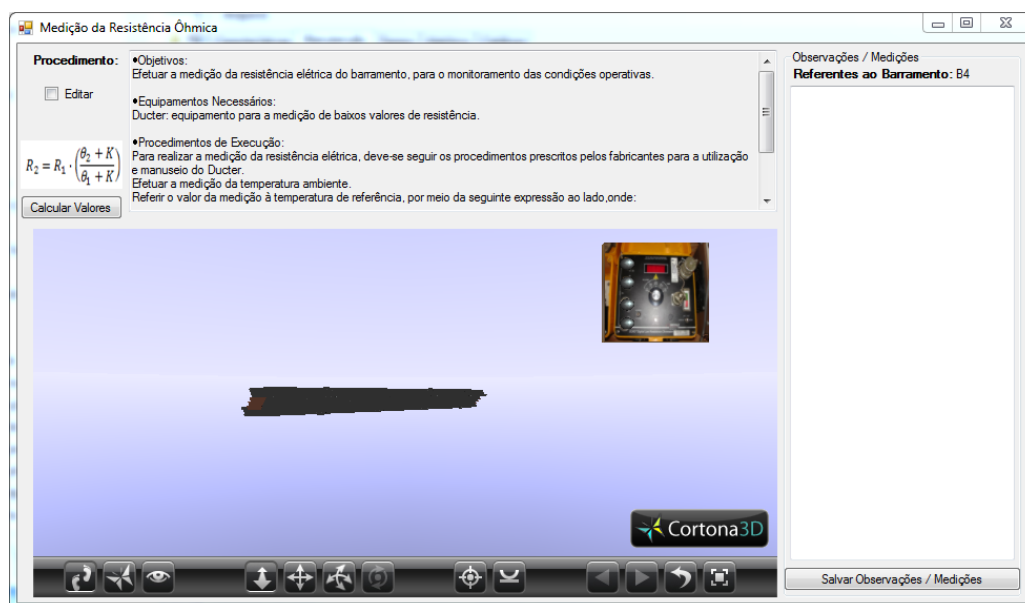


Figura 5.27: Detalhamento do procedimento de manutenção – Barramento.

5.4.7.6 MOTOR DE INDUÇÃO

O módulo do motor de indução, além das semelhanças com os demais, possui uma barra de transparência, para que se possa observá-lo internamente, semelhante à barra de transparência do transformador (conforme Figura 5.22), e um painel contendo as opções de liga/desliga e abrir/fechar, a título de conhecimento. A Figura 5.28 representa a interface de adição do motor de indução.

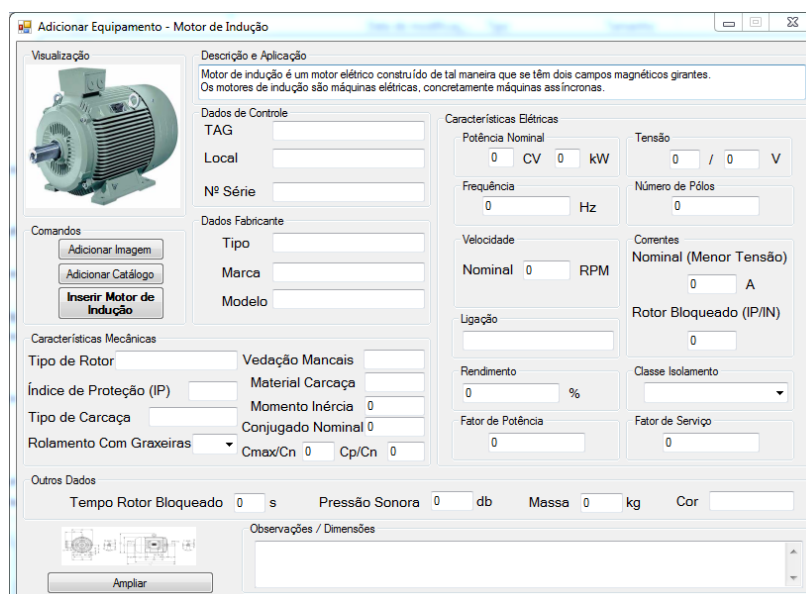


Figura 5.28: Interface de adição – Motor de indução.

O usuário, se assim desejar, pode desmontar o motor apenas “arrastando” seus componentes ou acionando o botão do painel, caso queira observar alguma detalhe construtivo do mesmo. A Figura 5.29 representa esse processo de desmontagem, contendo também: a barra de transparência; o painel de controle; e o procedimento de utilização do qualímetro.



Figura 5.29: Detalhamento do procedimento de manutenção – Motor de indução.

5.4.7.7 MOTOR DE CORRENTE CONTÍNUA

O módulo do Motor de corrente contínua também contém todas as informações necessárias para o PCM, tendo sua ficha de manutenção representada pela Figura 5.30.

Fichas Individuais - Motor de Corrente Contínua

Arquivo

Características | Manutenção | Tempo | Histórico | Catálogo

Atividades de Manutenção

Atividade	Equipamento	Periodicidade	Última Verificação	Próxima Verificação	Status	Treinamento
Continuidade e Resistência	Multímetro	Semestral	13/09/2011	13/03/2012		Procedimento
Resistência de Isolamento	Megger / Megômetro	Semestral	13/09/2011	13/03/2012		Procedimento
Mancais e Lubrificação	Lubrificante / Estetoscópio	Semestral	13/09/2011	13/03/2012		Procedimento
Fixação e Alinhamento	Nível bolha / Chaves	Semestral	13/09/2011	13/03/2012		Procedimento
Condições de Acoplamento	Chaves / Alicates	Semestral	07/10/2011	07/04/2012		Procedimento
Acoplamento / Escovas	Chaves / Alicates	Semestral	13/09/2011	13/03/2012		Procedimento
Análise de Temperatura	Termovisor	Anual	07/10/2011	07/10/2012		Procedimento

Atividades Personalizadas pelo Usuário

Figura 5.30: Ficha de manutenção – Motor de Corrente Contínua.

Também, como o motor de indução, o usuário tem a possibilidade de desmontar o motor de corrente contínua para observar seus componentes construtivos. A Figura 5.31 representa o procedimento de manutenção de medição da resistência de isolamento, através do megger, do motor em questão. Nota-se que existe a interatividade do processo de desmontagem do motor e também é mostrada a janela de cálculo dos valores necessários para o procedimento.

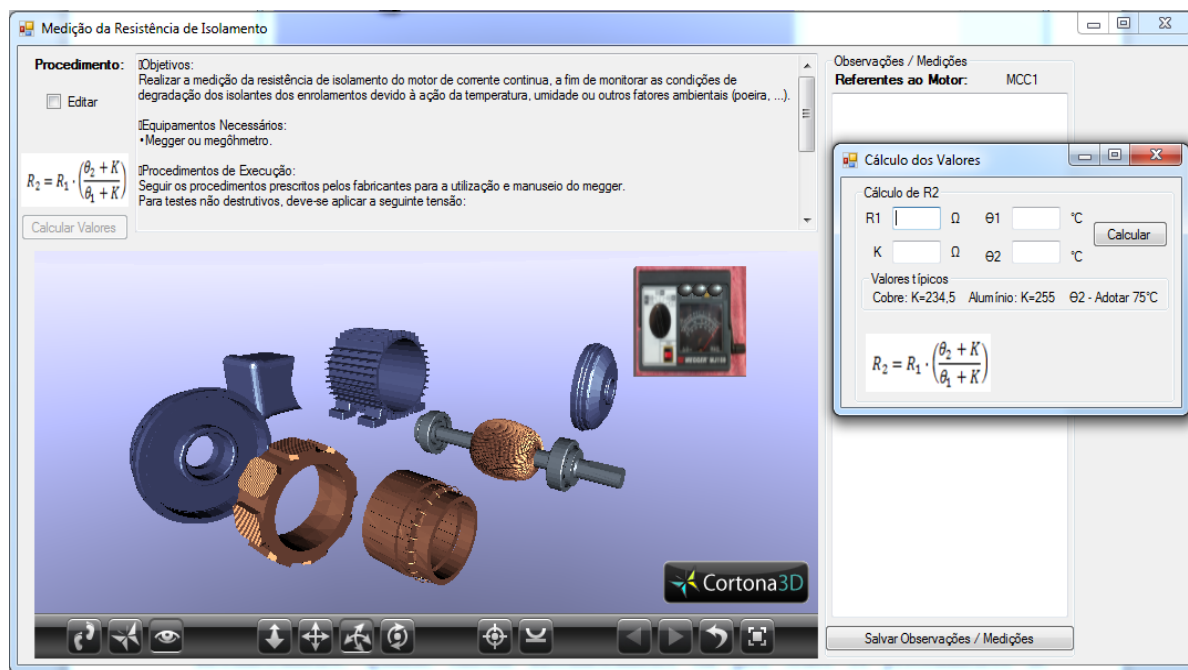


Figura 5.31: Detalhamento do procedimento de manutenção – Motor de corrente contínua.

5.4.8 ORDEM DE TRABALHO

A ordem de trabalho gerada pelo aplicativo leva em conta as prioridades de cada equipamento (Seção 3.11), podendo ser personalizada para qualquer data ou emitida automaticamente. Quando emitida automaticamente ela gera todos os procedimentos de manutenção diários acrescidos dos de maior periodicidade, dando a devida prioridade à todos. Quando é gerada de maneira personalizada, podem-se gerar apenas os procedimentos da data especificada (sem os diários) ou todos os procedimentos desta data.

A OT ainda possui um *checklist* que o usuário deve completar, facilitando assim a inspeção. Além do *checklist*, também é possível encontrar na OT informações básicas referentes aos procedimentos de manutenção, valores de referência e esquemas de ligação dos medidores no equipamento inspecionado. Com tais informações, o setor de execução de serviços tem em sua disposição um documento que tem a função tanto de registrar quanto de auxiliar a inspeção.

O aplicativo permite ao usuário a possibilidade de visualizar anteriormente a impressão, para verificar a conformidade da mesma, conforme representa a Figura 5.32.

Visualizar impressão

ORDEM DE TRABALHO - 07/10/2011

Manutenção DIÁRIA (Prioridade 6) :

Operação: Inspeção Visual do Transformador TAG: TRAF01
Local: Subestação 01 Marca: WEG Modelo: Transformador à Óleo Potência: 300 kVA Relação: 138 / 38 Z%: 45
Data de Início: Data de Término:
Tempo Gasto: Tipo de Intervenção:
Descrição do serviço:

Operações elementares a efetuar:

Composição da Equipe:

Peças a requisitar:

Ferramentas a utilizar:

EPI:

Observações:

Verificar na Inspeção Visual:

Apesar de ser o plano mais básico, não é o menos importante.
É através deste tipo de exames simples que se podem detectar falhas de fácil resolução no estágio de gravidade que se encontra.
Na prática a inspeção consiste na observação de certas características dos equipamentos, tais como:

Secador de Ar: Condições da sílica gel: cor azul significa estado normal; cor rosa significa saturação na absorção de umidade;
Secador de Ar: Estado de juntas e vedação;
Secador de Ar: Estado de conservação do secador.
Buchas: Nível de Óleo;
Buchas: Vazamento de Óleo;
Buchas: Partes quebradas;
Buchas: Pontos brancos na bucha;
Buchas: Condições e alinhamento dos centelhadores.
Tubo: Estado dos indicadores de posição.

Figura 5.32: Visualização da impressão de uma OT.

Assim, através da execução e preenchimento da OT o usuário realimentará o sistema, agregando as novas informações no aplicativo, tornando o PCM mais eficiente e prático.

É importante ressaltar que caso algum integrante do setor de operação execute algum tipo de inspeção / manutenção corretiva, o mesmo deve registrar tal atividade, com o máximo de detalhes possível, encaminhando um relatório para seu respectivo superior. O relatório recebido deve ser encaminhado para o gabinete de métodos que verificará no aplicativo alguma possível duplicidade. Caso a duplicidade não exista, deve-se então registrar a execução do procedimento no aplicativo para que o mesmo permaneça sempre atualizado, fornecendo informações, como os índices, confiáveis.

O operador não deve abrir diretamente uma OT, pois problemas relativos ao PCM podem atrapalhar toda a estrutura planejada. Desta maneira, as inspeções / manutenções corretivas não urgentes devem ser comunicadas, anteriormente à execução, ao gabinete de métodos, para que este abra uma OT para execução de tal procedimento [2].

O aplicativo, a partir das informações preenchidas na OT e sua realimentação no sistema, tem a opção de gerar uma lista de materiais gastos na manutenção. Tal lista pode ser encaminhada ao setor de almoxarifado para reposição e controle do mesmo, fazendo uma ponte entre os dois setores: o de manutenção e o de almoxarifado.

5.4.9 ÍNDICES E RELATÓRIOS GRÁFICOS

O aplicativo possui um módulo especial para visualização dos índices de manutenção. O módulo é composto de interfaces contendo gráficos relativos ao número de equipamentos cadastrados, MTBF, MTTR, tempo médio acumulado, disponibilidade, inconfiabilidade e confiabilidade [20]. A Figura 5.33 representa os MTTR's de vários equipamentos de um sistema qualquer, previamente cadastrado. O menu “Índices” do canto superior esquerdo permite ao usuário selecionar a visualização de outro índice, visualização esta que pode ser em 3D, caso o usuário marque a caixa de seleção “Visualização em 3D”.

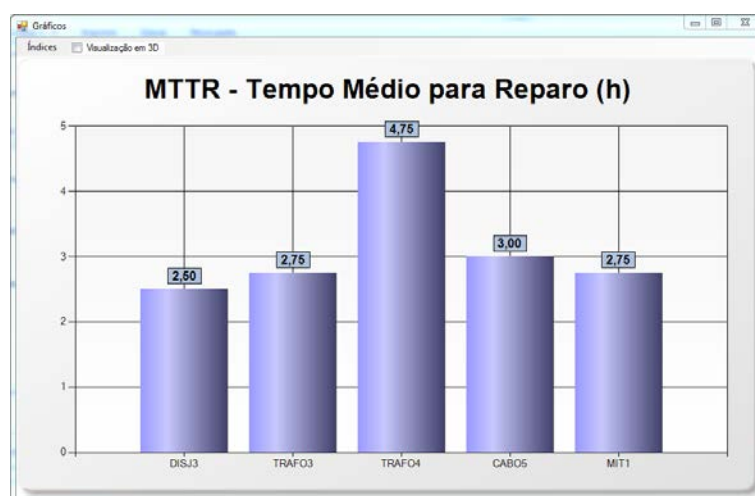


Figura 5.33: Verificação do MTTR de equipamentos previamente cadastrados.

É possível também a visualização da evolução destes índices por equipamento, sendo apresentado um gráfico de linhas contendo o histórico dos valores dos índices. A Figura 5.34 representa a evolução do índice de confiabilidade de um motor cadastrado.

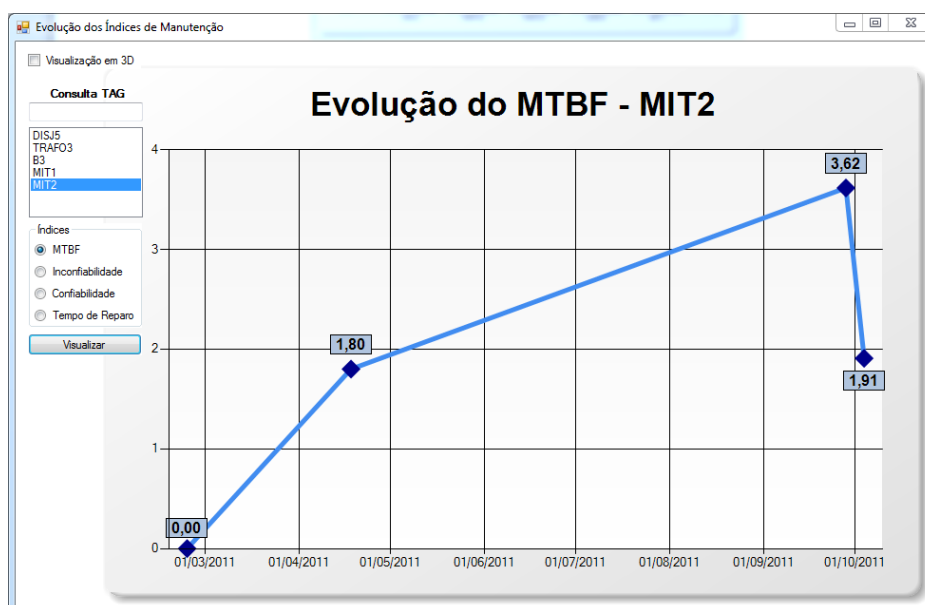


Figura 5.34: Evolução do índice “confiabilidade” de um equipamento.

5.5 CONCLUSÃO

A utilização de ferramentas computacionais para um melhor desempenho do PCM vem apresentando uma crescente exponencial na última década. Isso acontece devido ao grande volume de informações a serem geridas e controladas, ação que, quando executada através de um sistema computacional, apresenta uma maior confiabilidade.

Neste pensamento, um aplicativo foi implementado, visando uma melhora no PCM e aplicando técnicas computacionais e de RV.

As ferramentas computacionais utilizadas para implementação do aplicativo foram:

- C#, como linguagem de programação, através do Microsoft Visual Studio 2010;
- SQL Server 2008, como plataforma para o banco de dados;
- LINQ, como linguagem de comunicação entre o C# e o banco de dados;
- VRML, como linguagem de modelagem 3D.

O aplicativo tem a função de sistematizar o PCM, tornando-o mais simples e prático, além de possuir o módulo de treinamento através da RV.

CAPÍTULO 6

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA: ESTUDO DE CASO

Este capítulo objetiva modelar um sistema real no aplicativo implementado para observar seu funcionamento e sua eficácia, tendo assim uma aplicação mais prática para todo o trabalho desenvolvido.

6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Para que o PCM consiga exercer seu papel de maneira satisfatória, ele necessita que o chefe de manutenção tenha em seu poder as informações pertinentes do sistema que se pretende administrar. Tendo como objetivo auxiliar a chefia de manutenção, aplicativos foram desenvolvidos com este intuito e podendo ainda conter funções adicionais no PCM.

Diante destas observações e objetivando avaliar a metodologia proposta em sistemas físicos, o presente capítulo contempla a modelagem de um sistema real no aplicativo implementado, observando seu desempenho no setor comercial.

O sistema modelado foi o do CENTER SHOPPING S/A, um dos principais centro de compras, lazer e negócios do interior de Minas Gerais. Inaugurado em abril de 1992, vem contribuindo ativamente para o desenvolvimento econômico de Uberlândia e região, atuando em uma extensa área de influência com mais de 600.000 habitantes.

Com uma área de 96.000 m², o Center Shopping faz parte de um grande complexo que abriga o Center Convention, um dos mais modernos centro de convenções do Brasil, e o Plaza Shopping Hotel.

Diariamente, cerca de 30.000 pessoas circulam no Center Shopping, sendo 79.000 m² de área comercial [95].

6.2 ESTUDO DE CASO DO SISTEMA REAL

Inicialmente para a modelagem do sistema, necessita-se do diagrama unifilar do mesmo, para que se possam fornecer ao aplicativo todas as informações dos equipamentos presentes. A Figura 6.1 representa o diagrama unifilar simplificado do Center Shopping. É importante observar que o “Trafo 1” do diagrama é um dispositivo de reserva, não operando em paralelo com o “Trafo 2” em nenhum momento, sendo utilizado apenas em situações emergenciais.

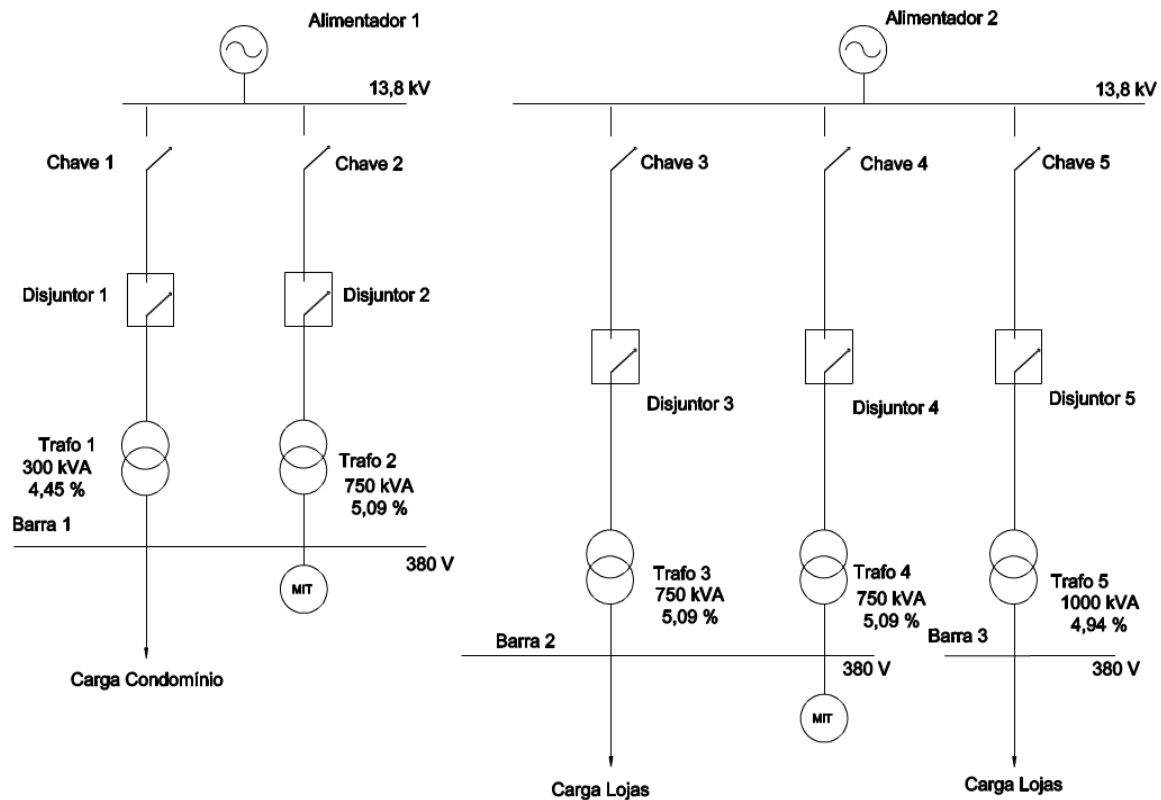


Figura 6.1: Diagrama Unifilar Simplificado – Center Shopping S/A.

Assim, a partir desse diagrama unifilar simplificado e com as informações detalhadas de cada equipamento (catálogos, valores de operação, etc.), é possível modelá-lo no aplicativo implementado. Cada equipamento deve ser inserido individualmente, assim como suas fotos, catálogos e demais informações.

6.3 CONFIGURAÇÕES E ESPECIFICAÇÕES DO APLICATIVO

Para melhor desempenho do aplicativo, alguns cuidados devem ser considerados. A Tabela 6.1 fornece os requisitos mínimos para uma execução satisfatória do aplicativo, sendo elaborada pelos requisitos exigidos pelo ambiente de desenvolvimento Microsoft visual Studio 2010 [83].

Tabela 6.1: Requisitos mínimos de hardware e software.

Hardware	Software	Configuração Recomendada
Processador	-	2 GHz ou superior
Memória RAM	-	512 MB ou superior
-	Sistema Operacional	Windows XP Service Pack 3 ou superior
Vídeo	-	1152 x 864, high color, 32 bits
HD	-	60 GB
-	Plataforma	Microsoft Framework .NET 3.5 ou superior

O computador utilizado para modelagem do sistema do estudo de caso é detalhado na Tabela 6.2.

Tabela 6.2: Configuração do computador utilizado no estudo de caso.

Hardware	Software	Configuração Utilizada
Processador	-	Intel Core i3 M350 - 2.27 GHz
Memória RAM	-	4GB
-	Sistema Operacional	Windows 7 Ultimate (64 bits)
Vídeo	-	1920 x 1080, high color, 32 bits
HD	-	320 GB
-	Plataforma	Microsoft Framework .NET 4.0

6.4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA EM UM SISTEMA REAL

A partir das informações do diagrama unifilar simplificado, representado pela Figura 6.1, e munido das demais informações dos equipamentos presentes no sistema, foi modelado todo o sistema no aplicativo desenvolvido.

Como o diagrama unifilar do Center Shopping S/A não possui um motor de corrente contínua, o mesmo foi adicionado a título de teste na modelagem do sistema. A Figura 6.2 representa o diagrama unifilar já modelado no aplicativo, tendo a adição do motor de corrente contínua. Deve-se observar que as “TAG’s” dos equipamentos aparecem escritas sobre os mesmos apenas quando o usuário movimenta o *mouse* sobre o desenho esquemático do equipamento, conforme a Figura 6.2.

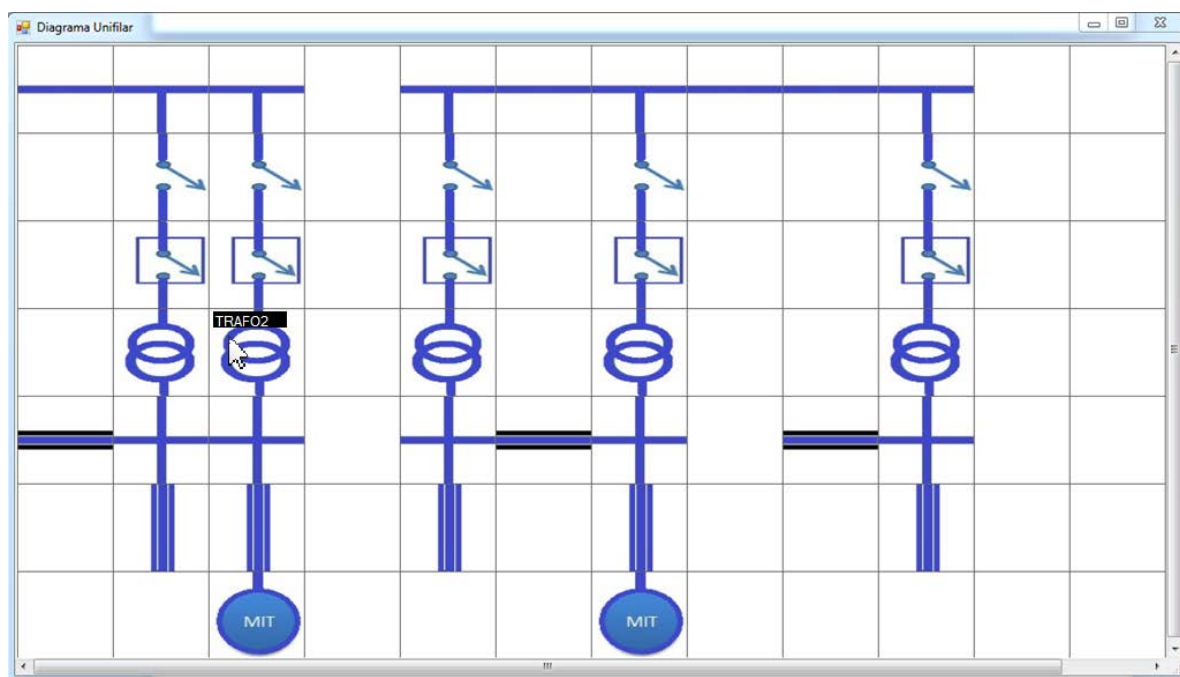
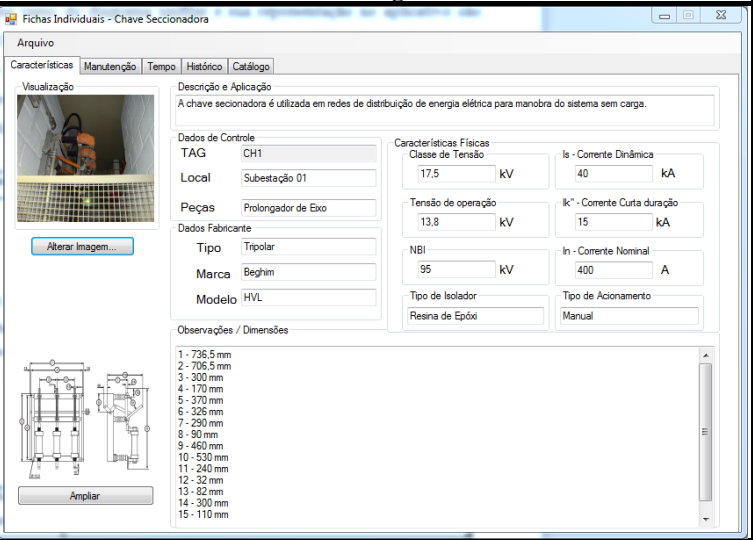
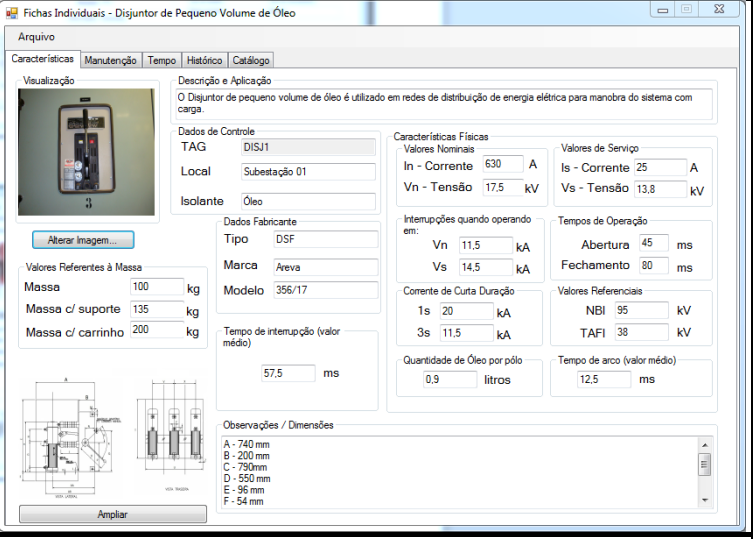


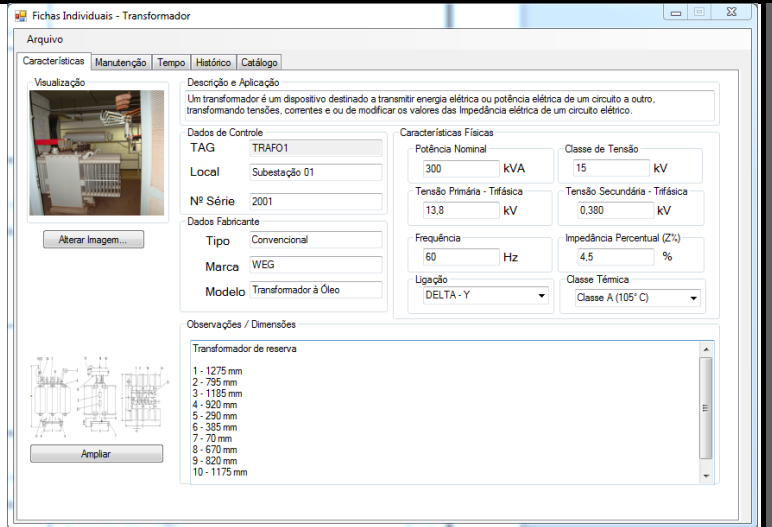
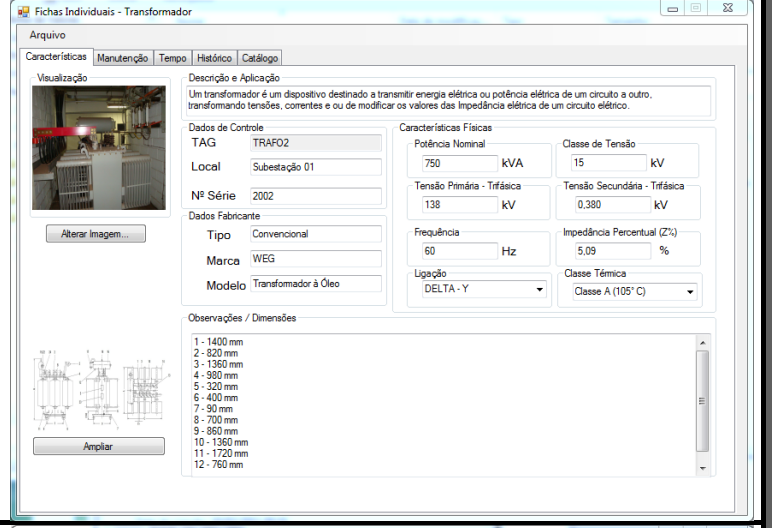
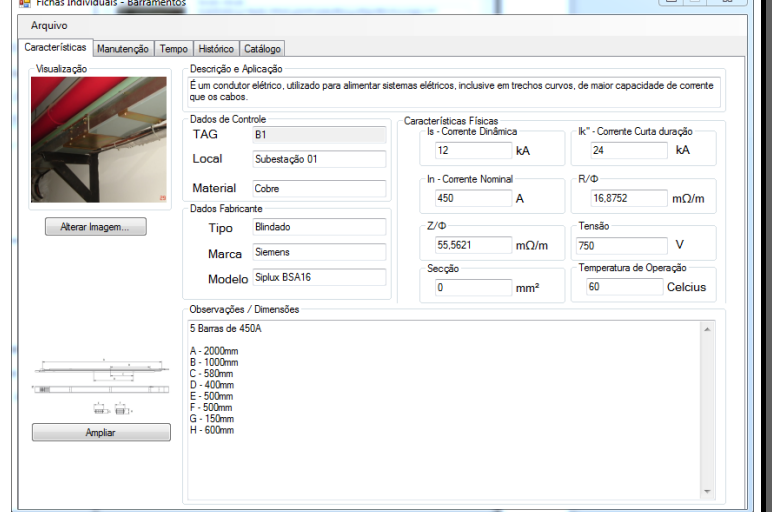
Figura 6.2: Diagrama unifilar do sistema modelado.


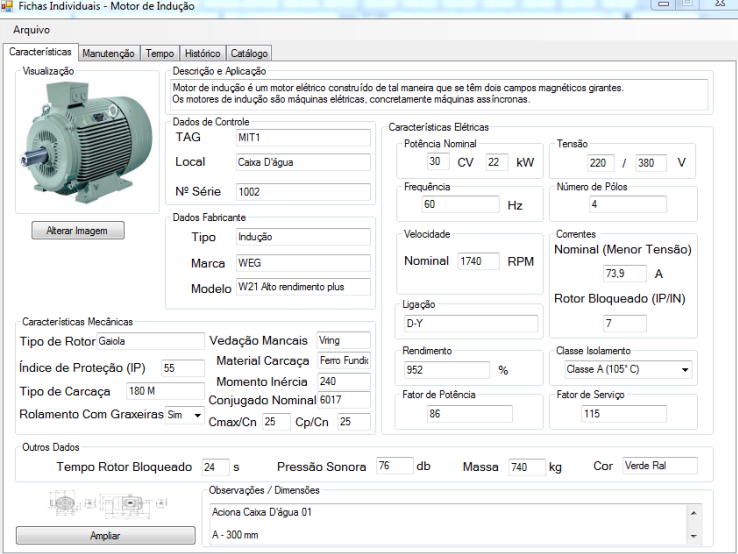
As cargas não foram implementadas no aplicativo, assim na visualização da Figura 6.2 observam-se apenas os cabos de saída dos barramentos de baixa tensão.

Os dados do primeiro ramo do diagrama unifilar e sua representação no aplicativo são descritos na Tabela 6.3. Os dados do outro ramo do diagrama unifilar são análogos aos apresentados. Nota-se que os dados presentes no diagrama unifilar são bastante simples, necessitando-se de uma averiguação mais aprofundada para levantamento de todos os dados de entradas requeridos pelo aplicativo, como pesquisa de seus referidos catálogos/manuais.

Tabela 6.3: Dados do sistema a ser modelado.

Equipamento	Dados	Modelagem
Chave Seccionadora 1	In: 400 A Marca: Beghim Classe de tensão: 17,5 kV	
Chave Seccionadora 2	Idem Chave Seccionadora 1	Idem Chave Seccionadora 1, tendo a TAG = CH2.
Disjuntor 1	Areva 630A Tensão nominal: 17,5 kV NBI: 95 kV 20 kA em 1s	
Disjuntor 2	Idem Disjuntor 1	Idem Disjuntor 1, tendo a TAG = DISJ2.

<p>Transformador 1</p>	<p>300 kVA Impedância percentual: 4,45% 13,8 kV / 380 V Delta – Estrela</p>	
<p>Transformador 2</p>	<p>750 kVA Impedância percentual: 5,09% 13,8 kV / 380 V Delta – Estrela</p>	
<p>Barra 1</p>	<p>5 barramentos blindados de cobre 2'' x 1/2'' In: 450 A</p>	

Cabo1	Secção de 240 mm ²	
Cabo2	Secção de 240 mm ²	Idem Cabo 1, tendo a TAG = CABO2.
Motor de Indução	Trifásico 380 V 30 cv	

A interface de pesquisa sistemática contém todos os equipamentos modelados, que ainda podem ser filtrados pela caixa de texto “TAG”, representada na Figura 6.3.



Figura 6.3: Interface de pesquisa sistemática.

Assim, pode-se gerar a OT diária, contendo as manutenções referentes a todo o dia ou gerar a OT personalizada, ou seja, gerar a OT para uma data especificada pelo usuário. A Figura 6.4 representa uma OT personalizada para a data fictícia de 26/09/2011, contendo as informações necessárias para execução e realimentação do sistema informatizado.

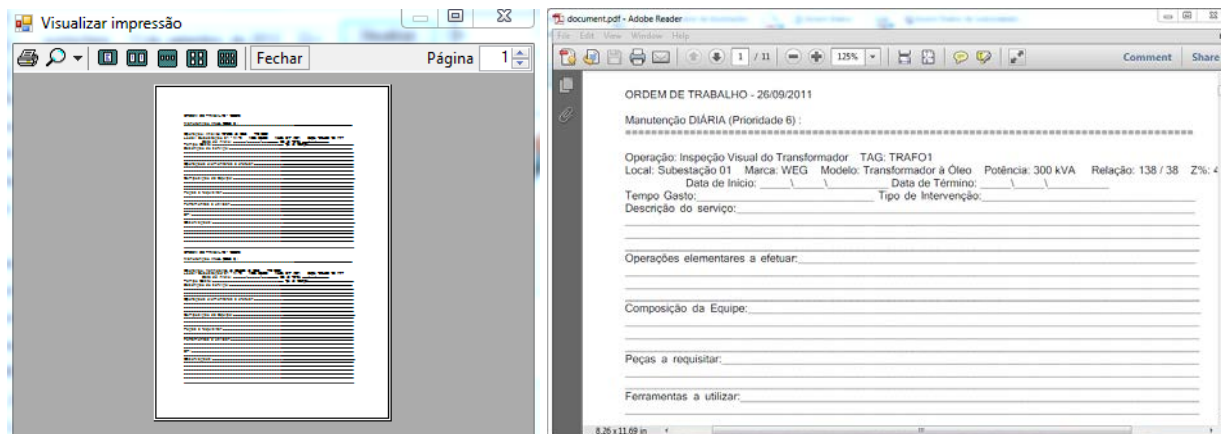


Figura 6.4: Visualização e impressão de uma ordem de trabalho personalizada, respectivamente.

O funcionamento das fichas de tempo e de histórico, assim como as fichas de manutenção e todos seus procedimentos de execução, é realizado conforme abordado no Capítulo 4.

As informações referentes aos índices da manutenção, devido aos preenchimentos das OT's, necessitam de um tempo, conforme abordado no Capítulo 3, para que sejam utilizadas no PCM. Assim, conforme o usuário utiliza o aplicativo, ele obterá um maior retorno de informações para que possa: auxiliar na tomada de decisões; como se programar melhor para manutenções preventivas; e observar a necessidade de ações preditivas. O índice de equipamentos cadastrados pode ser visualizado, pois é o único que independe do histórico de cadastro, conforme representa a Figura 6.5. Observa-se que o valor “0.00%” representa o número de motores de corrente contínua cadastrados.

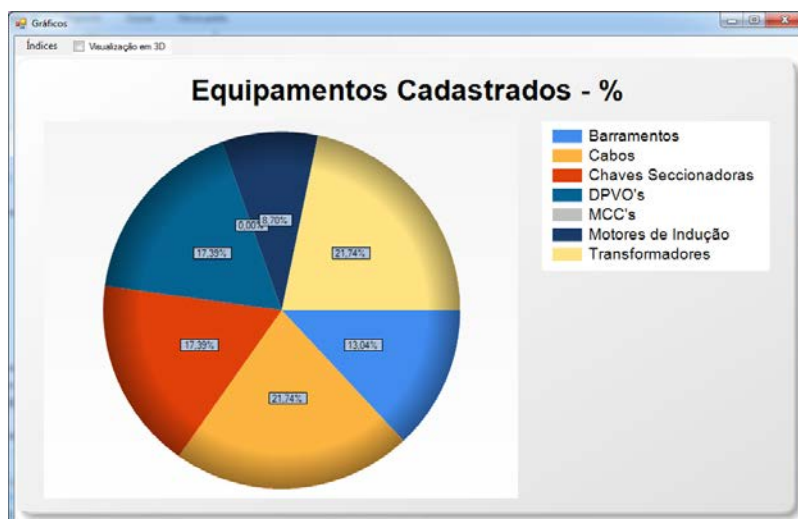


Figura 6.5: Índice de equipamentos cadastrados.

O armazenamento de informações do equipamento é de extrema importância para a estrutura da empresa, já que a mesma não possui uma metodologia sistemática de manutenção. As fichas dos equipamentos, seus catálogos, etc. são apenas empilhados e armazenados, não possuindo uma função definida. Com a modelagem do sistema, conseguiu-se um levantamento mais detalhado dos equipamentos, já sendo programadas todas as manutenções propostas no Capítulo 4. Desta maneira a empresa passa a possuir uma sistematização de seu processo de manutenção e registrar todas as ações referentes ao setor.

6.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A modelagem do sistema do CENTER SHOPPING S/A foi realizada com sucesso, resgatando informações que antes eram arquivadas e inutilizadas, para um maior PCM. O computador utilizado para tanto é de um tipo muito comum no mercado, porém pode-se utilizar um computador inferior (mais frequente no setor de manutenção da indústria) sem que haja problemas na execução do aplicativo.

Com a modelagem do sistema, a empresa pode conseguir um modelo sistematizado de manutenção, fazendo com que o serviço se torne mais confiável e previsível. O levantamento dos equipamentos instalados também foi algo que não se tinha na empresa, que pode passar a analisar melhor o sistema elétrico que possui.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES

7.1 A PESQUISA

A pesquisa aqui apresentada foi realizada após um levantamento bibliográfico sobre o assunto, partindo de manuais, apostilas, artigos e normas que abordam o tema e a fundamentação teórica encontrada em livros. A partir das informações encontradas, pode-se notar a importância de um modelo sistemático de manutenção e sua função dentro do sistema organizacional de uma empresa.

Com o intuito de se conseguir uma sistematização do sistema de manutenção, a referida pesquisa propôs um modelo, visando contemplar as etapas clássicas da manutenção: a corretiva e a preventiva. Assim, partindo desse ponto, foi possível vislumbrar que a evolução da manutenção deve ocorrer de maneira sequencial, não podendo pular etapas, etapas essas essenciais para um sólido PCM. Desta forma, a implantação de uma política eficaz de manutenção evolui das metodologias clássicas para as modernas naturalmente.

Uma documentação deve registrar todas as intervenções do setor, sendo a ordem de trabalho a protagonista deste processo. Ainda com a finalidade de registro, fichas contendo detalhes da história de um equipamento são ferramentas excepcionais para o PCM, pois assim se consegue comunicação entre a manutenção e o almoxarifado, além dos índices de manutenção tão requisitados.

Os planos de manutenção propostos foram divididos em categorias, para aumentar a eficiência das ações mantenedoras, evitando paradas não programadas. Assim, um diagrama unifilar modelo foi utilizado, contendo: chaves seccionadoras, disjuntores de pequeno volume de óleo, transformadores, cabos, barramentos, motores de indução e motores de corrente contínua. Com todos os planos sistematizados propostos, a manutenção pode desenvolver uma metodologia prática e eficiente, contemplando grande parte dos equipamentos presentes no sistema elétrico brasileiro.

O aplicativo desenvolvido, aliado com a crescente necessidade de informatização do setor de manutenção, contemplou a metodologia proposta através da inserção dos planos de manutenção dos equipamentos mais presentes no setor elétrico brasileiro. Ainda nessa linha de evolução tecnológica, o aplicativo apresentou sistemas de treinamento em ambientes virtuais, facilitando o entendimento dos procedimentos de manutenção em questão.

A utilização do C# como linguagem de programação principal do programa foi importante para a consolidação do aplicativo, pois se conseguiu um sistema robusto, e ainda passível de execução em computadores relativamente simples.

O banco de dados utilizado, o SQL Server 2008, apresentou um desempenho eficaz, efetuando as pesquisas em tempos considerados eficazes (média de 2,5s), inferiores aos 8 segundos

recomendados [2]. Sua estrutura também apresentou grande confiabilidade no armazenamento de dados, não ocorrendo nenhum problema, como aparecimento de arquivos corrompidos.

A linguagem de comunicação com o banco de dados, a LINQ, se mostrou eficaz, pois conseguiu intermediar o aplicativo em C# com o banco do SQL Server 2008 de maneira bastante simples. A classe criada com todas as funções de comunicação com o banco de dados apresentou uma possibilidade de alteração simples e eficiente, não acarretando problemas em cascata no sistema.

O navegador adicionado no aplicativo conseguiu executar o *plugin* Cortona satisfatoriamente, utilizando todas as vantagens da linguagem de Realidade Virtual. A VRML utilizada conseguiu com que os arquivos que continham a modelagem 3D apresentassem tamanhos pequenos, fazendo com que o aplicativo ficasse mais leve.

Outros fatores que justificam e mostram a contribuição do desenvolvimento do tipo de interface 3D desenvolvida baseiam-se no custo dos equipamentos e na facilidade de concepção de aplicativos. Além disso, o uso destes ambientes virtuais como suporte ao treinamento e montagem de projetos pode ser mais eficiente, conveniente e até mais barato do que custear os equipamentos para a montagem, já que ferramentas gratuitas podem ser usadas nas suas criações e no desenvolvimento, propiciando a aplicação de RV associado à Internet em soluções relacionadas com suporte técnico à distância.

De maneira geral, o aplicativo conseguiu:

- Organizar e padronizar os procedimentos ligados aos serviços de manutenção;
- Facilitar a obtenção de informações da manutenção;
- Gerenciar a estratégia de manutenção através dos planos preventivos;
- Aumentar a produtividade da manutenção através de informações;
- Controlar o estado dos equipamentos;
- Fornecer relatórios de histórico de equipamentos;
- Treinar o usuário dos procedimentos de manutenção.

O sistema real modelado foi o do CENTER SHOPPING S/A, podendo gerar resultados positivos para a empresa, pois a mesma não possui uma metodologia sistemática de manutenção. O sistema da empresa é o de simples armazenamento de relatórios de manutenção, não os utilizando para nenhum fim. Desta maneira o aplicativo tem a possibilidade de renovar essa sistemática, pois com o registro de todas as informações feitas, a empresa pode visualizar melhor o panorama da situação atual da manutenção.

O aplicativo se mostrou eficiente, sendo executado em computadores simples, tendo um tamanho razoável (cerca de 300 MB quando instalado) e conseguindo gerenciar satisfatoriamente a

manutenção de pequenas e médias empresas. A possibilidade de treinamento em ambientes virtuais torna ainda mais atrativa sua utilização, auxiliando todo o pessoal que dedica sua vida profissional a essa área de extrema importância para a indústria.

7.2 TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho apresenta uma metodologia sistemática de manutenção de sistemas elétricos auxiliada por técnicas de realidade virtual, sendo que diversos aprimoramentos ainda podem ser realizados.

A inserção de mais equipamentos pode ser realizada de maneira simples, já que o sistema foi programado utilizando a técnica de orientação a objetos, fazendo com que uma atualização não seja tão complexa. A interface de vídeo também pode ser atualizada contendo as adições de equipamentos diferentes bem como vídeos produzidos com equipamentos de filmagem de maior qualidade, tornando tal interface mais didática e prática.

Como a VRML apresenta tamanhos de arquivos relativamente pequenos, a possibilidade de treinamento à distância com o auxílio de realidade virtual também pode ser analisada, utilizando o ensino à distância (EAD) de uma maneira mais voltada para o setor industrial, agregada às diversas vantagens do uso da RV.

Pode ser considerada também a inserção de sistemas em realidade aumentada (RA), podendo trazer todos os recursos de imersão dessa tecnologia, agora suportada por programação auxiliada por flash, através do FLARToolkit [5]. É importante observar que a inserção da plataforma flash no aplicativo, através do Microsoft Visual Studio, é realizada de maneira simples.

Existe ainda a possibilidade de utilização do aplicativo em dispositivos portáteis, como smartphones, tablets, etc., fazendo com que o sistema fique mais dinâmico e portátil, facilitando assim os procedimentos de manutenção para os operadores.

Como o aplicativo foi desenvolvido na plataforma Microsoft Visual Studio 2010, utilizando o banco de dados SQL Server 2008, a ferramenta “Windows Azure”, criada comercialmente pela Microsoft no ano de 2011, pode ser uma alternativa relativamente simples para execução do aplicativo na nuvem.

O Windows Azure consiste em uma plataforma especial para execução de aplicativos e serviços (como a execução do banco de dados SQL Server), baseada em computação em nuvem. Assim, o desenvolvedor poderá enviar seus aplicativos para o Azure e executá-los diretamente através do serviço, que confere escalabilidade e economia de licenciamento. Alguns testes foram realizados com essa ferramenta e os resultados foram animadores, porém não completos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GRUPPI, G. F. **Estrutura de manutenção na indústria automobilística: uma análise comparativa dos modelos especialista e generalista**. Dissertação (mestrado em Sistemas de gestão) - Universidade Federal Fluminense. Niterói. 2006.
- [2] VIANA, H. R. G. **Planejamento e controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Quality Mark, 2002.
- [3] KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica**. [S.l.]: Quality Mark, 1998.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO. **Documento Nacional: A situação da manutenção no Brasil**. Rio de Janeiro. 2009.
- [5] TORI, R.; KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. **Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada**. Belém - PA: SBC - Sociedade Brasileira de Computação, 2006.
- [6] BYRNE, C. **Water on Tap: The use of virtual reality as an educational tool**. Tese (Doutorado) - University of Washington. Washington. 1996.
- [7] CARVALHO, C. R. D.; KARDEC, A. **Gestão Estratégica e Tercerização**. [S.l.]: Quality Mark, 2002.
- [8] ACURI FILHO, R.; CARVALHO, N. C. Medicina de Sistemas: o futuro conceito de Manutenção. **Revista de Ensino de Engenharia**, Rio de Janeiro, n. 12, p. 11-17, Julho 1995.
- [9] BRANCO FILHO, G. **Dicionário de termos de manutenção, confiabilidade e qualidade**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2004.
- [10] ARAÚJO, I. M.; SANTOS, C. K. S. **O Conceito atual de manutenção: terotecnologia - Projeto Apostila Virtual**. Departamento de Engenharia elétrica e manutenção industrial - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. 2002.
- [11] RAPOSO, J. L. O. **Manutenção Centrada em Confiabilidade aplicada a sistemas elétricos: uma proposta para uso de análise de risco no diagrama de decisão**. Dissertação (Mestrado em Engenharia elétrica) - Universidade Federal da Bahia. Salvador. 2004.
- [12] ROMERO, A. V. M. **Desenvolvimento de sistemática para análise de sistemas de informação: uma aplicação para gestão de manutenção**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2001.
- [13] BISPO, D. **Planejamento, organização e controle da manutenção**. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2005.
- [14] MEDEIROS FILHO, S. **Fundamentos de medidas elétricas**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 1981.
- [15] MEDEIROS FILHO, S. **Medição de Energia Elétrica**. 4ª. ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 1997.
- [16] WOOD, G. A. **Desenvolvimento de um software para o treinamento de técnicos de manutenção de equipamentos biomédicos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2003.
- [17] PINTO, A. K.; XAVIER, J. A. N. **Manutenção: função estratégica**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.
- [18] CUNHA, D. G. D. **Modelo de manutenção integrada para equipamentos de sistemas elétricos e ferramentas computacionais de suporte**. Dissertação (mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2007.
- [19] AINGE, D. Grade-six Student's Recall of detail: V.R. compared with photographs. **V.R. in the Schools**, v. 1, Março 1996.
- [20] TUFTE, E. R. **Beautiful Evidence**. USA: Graphic Press, 2006.
- [21] FRIEDMAN, B. **Capital Humano: como atrair, gerenciar e manter funcionários**. São Paulo: Futura, 1998.
- [22] CARRIJO, J. R. S. **Administração avançada - Apostila**. ITE. [S.l.]. 2001.
- [23] MONCHY, F. **Maintenance: Methodes et organisations**. 2ª. ed. Paris: Dunod, 2003.
- [24] TAVARES, L. A. **Administração moderna da Manutenção**. Rio de Janeiro: Novo Polo, 2000.
- [25] ALMEIDA, C. S.; VIDAL, M. C. R. **Gestão da manutenção predial: a tecnologia, a organização e as pessoas**. Rio de Janeiro: Gestalent, 2001.
- [26] LIMA, G. B. A.; GOMES, N. D.; MENDONÇA, R. R. S. **Manutenção produtiva total: proposta de um instrumento de avaliação objetivando verificar o grau de adequação aos pilares da TPM**. XXII Encontro Nacional de Engenharia de produção. Curitiba: Anais. 2002. p. 1.
- [27] MOUBRAY, J. **Manutenção centrada em confiabilidade**. [S.l.]: Atlas, 2000.
- [28] RISS, J. O. A situational maintenance model. **International journal of quality & reliability engineering**,

-
- Bradford, v. 14, n. 4, p. 349-366, 1997.
- [29] GOMES, N. D. **Manutenção Produtiva Total: proposta de um instrumento de avaliação objetivando verificar o grau de adequação aos pilares da TPM**. Dissertação (Mestrado em Sistemas de gestão) - Universidade Federal Fluminense. Niterói. 2001.
- [30] FLORES FILHO, J. A manutenção no segmento metro-ferroviário. **Revista Ferroviária**, Rio de Janeiro, p. 55, outubro 2004.
- [31] DHILLON, B. S. **Reliability engineering in systems design and operation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1982.
- [32] NUNES, E. L. **Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC): Análise da implantação em uma sistemática de manutenção preventiva consolidada**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de produção) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2001.
- [33] XAVIER, J.; DODRIGO, L. TÉCEM - Tecnologia Empresarial (Maintenance Management Expertise). Disponível em: <http://www.icapdelrei.com.br/arquivos/artigos/trabalho_20_CBM_nascif_dorigo.pdf>. Acesso em: 26 Abril 2011.
- [34] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NOMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade - Terminologia**. Rio de Janeiro. 1994.
- [35] TAVARES, L. A. **Excelência na manutenção: estratégias, otimização e gerenciamento**. Salvador: Casa da qualidade, 1996.
- [36] WYREBSKI, J. **Manutenção produtiva total - um modelo adaptado**. Dissertação (Mestrado em engenharia de produção) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 1997.
- [37] MIRSHAWKA, V. **Aplicação de pesquisa operacional**. [S.l.]: Nobel, 1991.
- [38] PAZ, N. M.; LEIGH, W. Maintenance scheduling: issues, results and research needs. **International Journal of Operations and Production Management**, Bradford, v. 14, p. 47-69, 1994.
- [39] COETZEE, J. L. A holistic approach to the maintenance "problem". **Journal of quality in maintenance engineering**, Bradford, v. 5, p. 276-280, 1999.
- [40] HAUGE, B. S. **Optimizing intervals for inspection and failure-finding tasks**. Annual Reliability and maintainability symposium - IEEE. Proceedings: IEEE. 2002. p. 14-19.
- [41] ZEN, M.; KARDEC, A. **Gestão estratégica e fator humano**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.
- [42] SANTIAGO, T. **A importância da manutenção no desenvolvimento econômico das nações**. Congresso Brasileiro de manutenção. Belo Horizonte: ABRAMAN. 2005.
- [43] SANTOS, H. J. J. Manutenção Elétrica Industrial. **Manual NTT - Núcleo de Treinamento Tecnológico**.
- [44] LIMA, G. B. A. **Aspectos da produção civil na manutenção de edifícios**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal Fluminense. Niterói. 1993.
- [45] MOREIRA, L. Medição de temperatura usando-se termopar. **Cerâmica Industrial**, Setembro/Outubro 2002.
- [46] OMEGA ENGINEERING. **The temperature handbook**. Stamford. 1989.
- [47] WIKA. **Manual de instruções de termômetros bimetalicos**. Wika Alexander Wiegand SE & Co. KG. Klingenberg - Alemanha. 2009.
- [48] FLK INSTRUMENTAÇÃO ELETRÔNICA LTDA. **Termovisores compactos - Manual de instrução**. Rio de Janeiro. 2011.
- [49] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NR 10 - Segurança em instalações e serviços em eletricidade**. [S.l.]. 2004.
- [50] MILASCH, M. **Manutenção de Transformadores em Líquido Isolante**. Itajubá: Edgar Blucher, 2003.
- [51] LIMA, R. T. D. **Desenvolvimento de software para medição dos tempos de operação durante ensaios em disjuntores de alta tensão**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Itajubá. Itajubá. 2010.
- [52] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 62271-100 - Equipamentos de alta tensão - parte 100: Disjuntores de alta tensão de corrente alternada**. [S.l.]. 2006.
- [53] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11066 - Substâncias graxas - Determinação do ponto de solidificação condicionado**. Rio de Janeiro. 1997.
- [54] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7034 - Materiais isolantes elétricos - Classificação térmica**. Rio de Janeiro. 2008.
- [55] DEPARTAMENTO NACIONAL DE COMBUSTÍVEIS. **Regulamento Técnico DNC Nº 03/94 - Anexo à portaria DNC Nº 46/94**. [S.l.]. 1994.
-

-
- [56] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5779 - Óleos minerais isolantes - Determinação qualitativa de cloretos e sulfatos inorgânicos**. Rio de Janeiro. 1989.
 - [57] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14483 - Produtos de petróleo - Determinação da cor - Método do colorímetro ASTM**. Rio de Janeiro. 2008.
 - [58] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7148 - Petróleo e produtos de petróleo - Determinação da massa específica, densidade relativa e °API - Método do densímetro**. Rio de Janeiro. 2001.
 - [59] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10505 - Óleo mineral isolante - Determinação de enxofre corrosivo**. Rio de Janeiro. 2006.
 - [60] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10504 - Óleo mineral isolante - Determinação da estabilidade à oxidação**. Rio de Janeiro. 2010.
 - [61] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12133 - Líquidos isolantes elétricos - Determinação do fator de perdas dielétricas e da permissividade relativa (constante dielétrica) - Método de ensaio**. Rio de Janeiro. 1991.
 - [62] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT/MB 101 - Método para a determinação do índice de neutralização de produtos de petróleo**. Rio de Janeiro. 1968 - Cancelada em 1999.
 - [63] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11343 - Produtos de petróleo - Determinação do ponto de anilina e do ponto de anilina misto**. Rio de Janeiro. 2003.
 - [64] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11349 - Produto de petróleo - Determinação do ponto de fluidez**. Rio de Janeiro. 2009.
 - [65] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11341 - Derivados de petróleo - Determinação dos pontos de fulgor e de combustível em vaso aberto Cleveland**. Rio de Janeiro. 2008.
 - [66] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-IEC-60156 - Líquidos isolantes - Determinação da rigidez dielétrica à frequência industrial - Método de ensaio**. Rio de Janeiro. 2004.
 - [67] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D877 - Standard Test Method for Dielectric Breakdown Voltage of Insulating Liquids Using Disk Electrodes**. [S.l.]. 2007.
 - [68] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6869 - Líquidos isolantes elétricos - Determinação da rigidez dielétrica (eletrodos de disco)**. Rio de Janeiro. 1989.
 - [69] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D2300 - Standard Test Method for Gassing of Electrical Insulating Liquids Under Electrical Stress and Ionization (Modified Pirelli Method)**. [S.l.]. 2008.
 - [70] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7274 - Interpretação da análise dos gases de transformadores em serviço**. Rio de Janeiro. 1982.
 - [71] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6234 - Método de ensaio para a determinação de tensão interfacial de óleo-água**. Rio de Janeiro. 1965.
 - [72] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D2140 - Standard Practice for Calculating Carbon-Type Composition of Insulating Oils of Petroleum Origin**. [S.l.]. 2008.
 - [73] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12134 - Óleo mineral isolante - Determinação do teor de 2,6-di-terciário-butil paracresol - Método de ensaio**. Rio de Janeiro. 1991.
 - [74] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D4059 - Standard Test Method for Analysis of Polychlorinated Biphenyls in Insulating Liquids by Gas Chromatography**. [S.l.]. 2010.
 - [75] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10710 - Líquido isolante elétrico - Determinação do teor de água**. Rio de Janeiro. 2006.
 - [76] MYERS, S. D. et al. **Transformers Maintenance Guide**. 3ª. ed. Transformer Maintenance Institute: S D Myers Inc., 2004.
 - [77] ALMEIDA JUNIOR, A. B. **Relatório de Estágio supervisionado**. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2009.
 - [78] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7037 - Recebimento, instalação e manutenção de transformadores de potência em óleo isolante mineral**. Rio de Janeiro. 1993.
 - [79] ALMEIDA JUNIOR, A. B.; CAMACHO, J. R.; BISPO, D. **Skin effect in ground cables of overhead transmission lines using the finite elements method**. Conferência brasileira sobre qualidade de energia elétrica. Cuiabá: Anais do CBQEE. 2011.
 - [80] EMBRASUL. **Analizador de Energia - RE6000 - Manual**. Embrasul Indústria Eletrônica Ltda. Porto Alegre.
 - [81] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6813 - Fios e cabos elétricos - Ensaio de resistência de isolamento**. Rio de Janeiro, p. 5. 1981.
 - [82] PADRÃO INTERNACIONAL. **ISO 1940 - Qualidade do balanceamento de corpos rígidos rotativos**. [S.l.].
-

1973.

- [83] MICROSOFT. Microsoft Visual Studio 2010, 2010. Disponível em: <<http://www.microsoft.com/visualstudio/pt-br/visual-studio-2010-launch>>. Acesso em: 01 Setembro 2011.
- [84] MICROSOFT. Visual C# 2010 Express, 2010. Disponível em: <<http://www.microsoft.com/visualstudio/en-us/products/2010-editions/visual-csharp-express>>. Acesso em: 01 Setembro 2011.
- [85] PARALLEL GRAPHICS. VRMLpad 3.0, 2011. Disponível em: <<http://www.parallelgraphics.com/products/vrmlpad/download/>>. Acesso em: 06 Setembro 2011.
- [86] AUTODESK. 3ds Max - 3D Modeling, Animation, and Rendering Software - Autodesk, 2011. Disponível em: <<http://usa.autodesk.com/3ds-max/>>. Acesso em: 06 Setembro 2011.
- [87] HADDAD, R. Visão Geral do.NET compact framework, 2004. Disponível em: <<http://www.microsoft.com/brasil/msdn/Tecnologias/Default.msp>>. Acesso em: 09 Setembro 2009.
- [88] MICROSOFT. O que é o SQL Server, 2008. Disponível em: <<http://www.microsoft.com/brasil/servidores/sql/2005/prodinfo/overview/what-is-sql-server.msp>>. Acesso em: 01 Setembro 2011.
- [89] HEJLSBERG, A. O projeto LINQ -.NET Language Integrated Query, 2005. Disponível em: <<http://msdn.microsoft.com/pt-br/library/bb308959.aspx>>. Acesso em: 01 Setembro 2011.
- [90] PARALLEL GRAPHICS. Cortona3D software creates interactive 2D and 3D technical communications and documentation. Disponível em: <<http://www.cortona3d.com/>>. Acesso em: 01 Setembro 2011.
- [91] DEITEL, H. M.; DEITEL, P. J.; LISTFIELD. **C# Como programar**. São Paulo: Makron Books, 2003.
- [92] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 32000-1 - Document management - Portable document format**. [S.l.]. 2008.
- [93] WEG. **Catálogo de Motores Elétricos**. WEG Equipamentos Elétricos S.A. São Paulo. 2011.
- [94] BTC INSTRUMENTATION. "**Megger" insulation test on a bad motor**, 2010. Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=Fyd3S1EWfYA>>. Acesso em: 26 Setembro 2011.
- [95] CENTER SHOPPING S/A. O Shopping - Center Shopping - O Shopping da sua vida. **Center Shopping**, 2011. Disponível em: <<http://www.centershopping.com.br/interna.php?referencia=shopping>>. Acesso em: 13 Setembro 2011.
- [96] NAKAJIMA, S. **La maintenance productive totale (TPM): mise en oeuvre**. 2ª. ed. Paris: Afnor, 1991.
- [97] TSANG, A. H. C. Strategic dimensions of maintenance management. **Journal of quality in maintenance engineering**, Bradford, v. 8, p. 7-39, 2002.
- [98] MIRSHAWKA, V.; OLMEDO, N. **TPM à moda brasileira**. São Paulo: Makron Books, 1994.
- [99] LAFRAIA, J. R. B. **Manual de confiabilidade. manutenibilidade e disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.
- [100] AZEVEDO, C. **Asset Management (Gestão de ativos industriais): novas oportunidades para a manutenção**. Congresso Iberoamericano de Mantenimiento. Florianópolis: ABRAMAN. 2001. p. 11.
- [101] NUNES, E. L.; VALLADARES, A. **Potencialidades da MCC para a gestão integrada da manutenção e da mudança de organizações**. Encontro Nacional de Engenharia de produção - ENEGEP. Curitiba: ABEPRO. 2002.
- [102] OLIVEIRA, L. F. S. **Introdução à MCC (Manutenção Centrada em confiabilidade)**. Niterói: Principia, 1996.
- [103] SAE JA 1011 1999. The engineering society for advancing mobility land sea air and space: Evaluation criteria for reliability-centered maintenance (RCM) processes, Warrendale, USA, 1999.
- [104] SAE JA 1012 2002. The engineering society for advancing mobility land sea air and space: A guide to the reliability-centered maintenance (RCM) standard, Warrendale, USA, 2002.
- [105] CAREY, K. E. **Reliability-based maintenance strategies**. Knoxville, USA: CSI, 1994.
- [106] ENDRENYI, J. The present status of maintenance strategies and the impact of maintenance on reliability. **IEEE Transactions on power systems, risk and probability applications subcommittee**, USA, v. 16, n. 4, p. 638-646, Novembro 2001.
- [107] CAMPOS, V. F. **TQC: Controle da qualidade total (No estilo Japonês)**. Belo Horizonte: Bloch Editores, 1992.
- [108] UMEDA, M. **99 perguntas e 99 respostas sobre o TQC no estilo japonês**. Belo Horizonte: Bloch Editores, 1995.

ANEXOS

ANEXO A

ARTIGO PUBLICADO – WRVA 2009

Realidade Virtual como Ferramenta no Estudo de Sistemas de Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica

6º Workshop de Realidade Virtual e Aumentada – WRVA 2009

Santos – SP

2009

REALIDADE VIRTUAL COMO FERRAMENTA NO ESTUDO DE SISTEMAS DE GERAÇÃO, TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Afonso B. Almeida, Alexandre Cardoso, Edgard Lamounier
Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia.
CEP 38400-000, Uberlândia - MG.
Brasil
e-mail: afonsobe@gmail.com, alexandre@ufu.br, lamounier@ufu.br

Abstract

The search for better methods of learning is emerging, which allows a better formation of professionals and, consequently, an improvement on their activities. Virtual Reality has become a suitable tool for Education, providing excellent results. In Electric Engineering presents a problem in the teaching of structures that composes electrical systems. Only illustrations are supplied to students, who must only imagine its functioning. Moreover, the visualization of certain structures is not possible when functioning, causing a deficit in the learning process. This research considers a system, compatible with the WEB and supported by techniques of Virtual Reality, that makes possible to the user the understanding of the functioning of such electrical systems, improving the set of tool for Education in Electric Engineering.

Palavras-chave

Software Educativo, Ensino à Distância, Realidade Virtual.

1. Introdução

A educação pode ser pensada como um processo de descoberta, exploração, observação e construção de uma visão do conhecimento [1]. Contudo, em muitos conteúdos, estas características não são fáceis de serem obtidas. É o caso, por exemplo, do ensino e aprendizagem de sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.

Analisando os recursos tradicionais utilizados em tais aulas, percebeu-se que vários fatores dificultam o aprendizado. Dentre tais fatores, podemos citar a dificuldade de encontrar material didático relacionado, principalmente imagens das estruturas e de seus componentes. Quando encontradas, as imagens fornecem apenas uma visão bidimensional, que não permite entender, interativamente, o comportamento das estruturas no espaço, conforme comprovado na Figura 1.



Figura 1. Visão bidimensional de uma estrutura de transmissão.

Por outro lado, sendo grande o número de estruturas, o conhecimento real da maioria delas através de visitas técnicas demanda grande quantidade de tempo, sem falar na dificuldade de visualização dos detalhes no topo de uma estrutura (devido à altura das linhas e da presença de altos níveis de tensão).

A criação de um ambiente virtual para a aprendizagem pode ser um importante aliado na aquisição adequada de conhecimento [2]. A artificialidade pode melhorar a concentração no conteúdo a ser ensinado, enquanto as relações com o exterior conferem veracidade às propostas. Isso gera possibilidade de troca de informações, proporcionando uma evolução no processo de ensino e aprendizagem.

No entanto, é importante ressaltar que um sistema de RV não é uma ferramenta que ensina por si só, mas uma ferramenta auxiliar para a execução de um plano de estudos [3]. Na verdade, pode-se dizer que a realidade virtual é uma forma de interface, onde o usuário pode interagir com sistemas computacionais e trabalhar com dados extremamente complexos através da navegação, interação e imersão [4].

A Realidade Virtual (RV) tem sido utilizada de diversas maneiras como ferramenta de suporte ao processo cognitivo de aprendizagem. Neste contexto, este trabalho visa desenvolver e avaliar a adequação do uso de técnicas de RV para uma aplicação de ensino de sistemas elétricos de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Ela tem sido intensamente explorada como uma ferramenta que possa produzir ambientes educacionais para o Ensino à Distância de baixo custo técnico. Um dos principais objetivos desta investigação é a concepção de laboratórios virtuais que proporcionam aos usuários um ambiente de Realidade Virtual à distância para simulação de sistemas, sem riscos de situações reais.

Um estudo do professor David Ainge, da Escola de Educação da James Cook University, na Austrália, consistiu em algumas experiências que comparavam a utilização de fotos e da realidade virtual no ensino. Como resultado, concluiu que os alunos tiveram certa dificuldade de construir um modelo mental tridimensional a partir de imagens bidimensionais. Assim o desenvolvimento de uma aplicação de realidade virtual, funciona como auxílio, visando utilizá-la no ensino na área de engenharia [5].

Dentre os mais importantes dos dispositivos de conversão de energia, estão aqueles que convertem energia elétrica em mecânica, ou energia mecânica em elétrica [6]. A conversão eletromecânica de energia depende, portanto, da existência

na natureza de fenômenos que inter-relacione campos elétrico e magnético por um lado com força mecânica e movimento por outro [7]. A Figura 2 representa o modelo de geração e distribuição resumido.



Figura 2. – Modelo resumido de geração e distribuição de energia.

Outro bom exemplo é a forma como os transformadores de tensão (força ou distribuição) são apresentados no decorrer do curso, uma forma de pouca interação com o aluno utilizando sistemas em apenas duas dimensões (Figura 3).

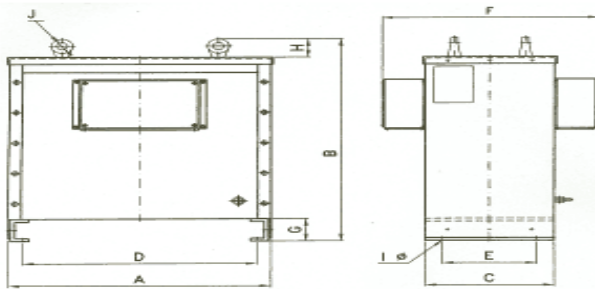


Figura 3. Transformador monofásico, a seco.

O desafio consiste em visualizar as estruturas das máquinas elétricas em funcionamento, sendo algumas visualizações impossíveis nos métodos comuns [8].

A motivação deste trabalho é prover ao usuário o aprendizado de técnicas que expliquem o funcionamento do sistema de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.

2. Objetivos

São objetivos deste trabalho:

- Desenvolvimento de um conjunto de ambientes virtuais equivalente aos ambientes reais encontrados nas etapas de geração, transmissão e distribuição de energia, bem como seus componentes de forma detalhada.
- Por meio de interação com estes ambientes virtuais, prover ao usuário a possibilidade de observar com precisão o funcionamento das estruturas do sistema elétrico, inclusive aquelas cuja visualização é impossível no ambiente real.
- Verificação da aplicação de tal conteúdo como ferramenta educacional através da utilização deste por alunos e professores da área de Engenharia.

Desta maneira, esta pesquisa tem como objetivo realizar a integração da Realidade Virtual aplicada ao sistema elétrico,

com o olhar voltado ao ensino de funcionamento, tornando propícia a utilização por estudantes e professores um ambiente de aprendizagem mais envolvente e intuitivo, que simule o funcionamento e os aspectos construtivos do sistema supracitado [9].

3. Desenvolvimento

O processo de desenvolvimento dos ambientes virtuais se deu por:

1. Verificação das plantas e detalhes reais dos componentes das usinas hidrelétricas, das subestações e de máquinas elétricas;
2. Modelagem geométrica de tais componentes, com uso de VRML;
3. Modelagem comportamental dos componentes, baseados também em análises reais;
4. União dos ambientes virtuais com imagens reais das usinas e construção de páginas Web capazes de associar estes a tais imagens.

Para a implementação destas técnicas de Realidade Virtual, utilizou-se o software VRMLpad que utiliza a linguagem VRML (Virtual Reality Modeling Language), aplicada com bastante sucesso em diversos projetos de concepção de ambientes virtuais [10].

A visualização destes ambientes tridimensionais, por sua vez, pode ser feita por meio de um simples navegador de Internet associado a um plug-in, que interpretará o código criando as estruturas definidas. Abaixo pode ser visto uma figura (Figura 4) que representa a arquitetura desse sistema.



Figura 4. Arquitetura do sistema utilizando VRML.

Como exemplo, a Figura 5 apresenta a turbina e a sala de controle, e a Figura 6 traz a subestação virtual e a subestação real, de uma unidade geradora de Energia Elétrica. Observa-se também o nível de precisão da modelagem do modelo virtual com o modelo real (Figura 6).

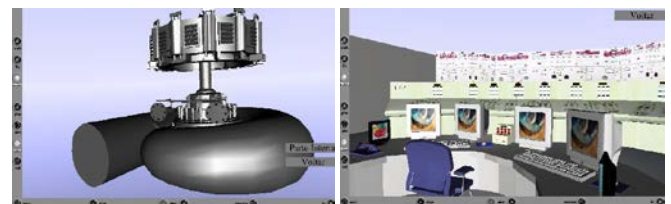


Figura 5. Turbina e Sala de controle.



Figura 6. Subestação virtual e subestação real, respectivamente.

Para o estudo do funcionamento do motor de indução, foi-se necessário a modelagem do motor juntamente com um sistema de aprendizagem autônoma, enfatizando ainda mais a Educação a Distância (EAD). Para tal fim, foram desenvolvidos gráficos, animações e interações do ambiente virtual com o usuário, tornando o ensino mais flexível e consistente [11].

Um painel virtual foi desenvolvido para controlar a navegação (por meio da união com o JavaScript). Os cabos de transmissão foram modelados com utilização do software ArtOfIllusion sendo exportados para o VRML97 [12].

Cada estrutura modelada pode ser acessada por partes, ou seja, há a possibilidade de analisar apenas partes da estrutura como, por exemplo, o transformador, o rotor, entre outros, proporcionando também informações técnicas sobre as estruturas secundárias.

A tela inicial do modelo de geração de energia elétrica dá uma idéia geral da usina e proporciona uma idéia de imersão ao usuário, que ao clicar na área requerida é “transportado” para o ambiente virtual equivalente ao local desejado.

Existem apontadores que são direcionadas para regiões do sistema onde se encontram as estruturas modeladas e ao selecionar a região indicada, a mesma, oferece os dados primários da estrutura.

Um transformador foi modelado também para análise de sua estrutura (Figura 7). Um painel de controle foi desenvolvido para que o usuário possa ligar o transformador e observar o fluxo magnético no núcleo de ferro do mesmo. Assim observa-se claramente a variação de fluxo devido à variação das correntes aplicadas ao mesmo. Ainda no transformador, o usuário tem a possibilidade de vê-lo de um modo impossível em um sistema real: de maneira transparente [13]. Tal visualização permite um entendimento de como o núcleo é posicionado no transformador. Para simulação do fluxo no núcleo do transformador foi utilizado o software Femm [14].

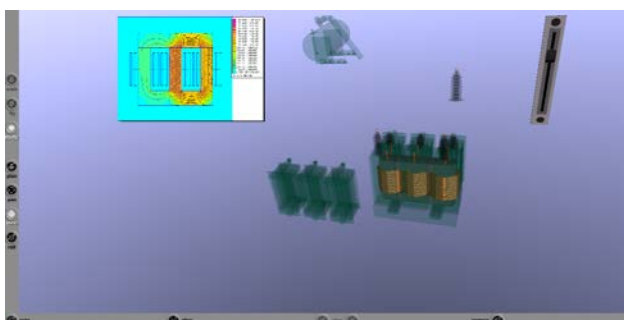


Figura 7. Transformador semitransparente sendo analisado.

O sistema virtual do motor de indução foi feito com a utilização de arquivos de áudio com o intuito de facilitar ainda mais o aprendizado. O motor modelado pode ser aberto, ligado e desmontado (Figura 8) da maneira que o usuário achar melhor [15].

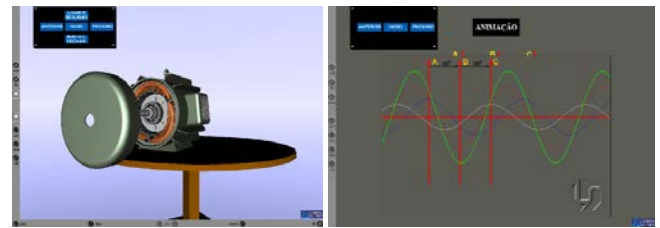


Figura 8. Sistema virtual do motor de indução trifásico e a demonstração do campo girante no mesmo, respectivamente.

O sistema de transmissão neste trabalho possui oito ambientes virtuais, onde em cada um deles existe uma estrutura de transmissão e seus acessórios típicos. Estes ambientes são divididos em duas categorias: Auto Portantes e Estaiadas (definidas de acordo com as características construtivas das torres) [16].

Ao escolher um determinado ambiente, o estudante visualiza uma estrutura de transmissão de energia elétrica, porém ela é vista sem nenhum acessório. Para visualizar os engates, os isoladores e pára-raios, o navegador precisa escolher uma especificação elétrica para a estrutura em questão. Um menu que aparece do lado da torre oferece estas opções sob a forma de vários níveis de tensão (Figura 9).

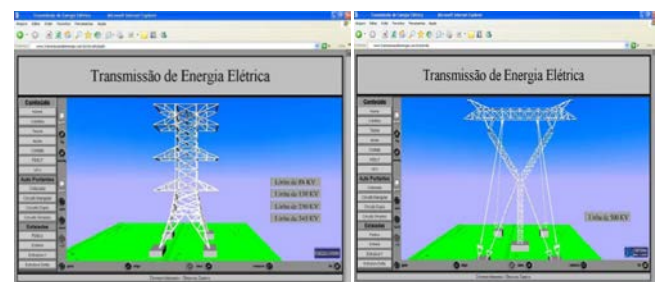


Figura 9. Estruturas sendo selecionadas para visualização mais detalhada.

4. Resultados

O sistema desenvolvido permitiu ao usuário ter um enorme controle sobre as estruturas, podendo até desmontá-las se achar viável.

Como vantagem, a pesquisa apresenta ambientes virtuais que permitem a exploração pelo usuário de forma particular e capaz de atender suas expectativas com respeito à investigação. Por exemplo, é possível simular uma visita a um laboratório, levando o estudante a inserção no contexto de um dado tópico ou assunto, sem riscos, como os presentes no manuseio dos equipamentos.

Um site também foi desenvolvido para demonstrar a versatilidade da RV e sua compatibilidade com sistemas WEB. A Figura 10 mostra o layout do site.



Figura 10. Layout do site construído para hospedar o projeto desenvolvido.

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Apontam como principais vantagens da utilização de técnicas de realidade virtual para fins educacionais, nesta específica pesquisa de conjunto de ambientes virtuais aplicados na engenharia, os seguintes itens:

- Motivação de estudantes e usuários de forma geral, baseada na experiência de visualizar o funcionamento de um aparelho virtualmente.

- Grande poderio de ilustrar características e processos, em relação a outros meios multimídias.

- Permite visualização em detalhe dos equipamentos da área da engenharia.

- Poder permitir a visualização de aparelhos de forma imersiva.

- Permite experimentos virtuais, principalmente na falta de recursos, para fins educação virtual interativa.

- Permite ao aprendiz, a partir da teoria dada em livros entender, o funcionamento interno de um aparelho sem ter que desmontá-lo.

- Pelo fato de requerer interação, exige que cada participante se torne ativo dentro de um processo de visualização.

- Encoraja a criatividade do usuário, que estará mais motivado por visualizar características internas de uma peça.

- Provê igual oportunidade de comunicação para estudantes de culturas diferentes, a partir dos modelos virtuais.

- Ensina habilidades computacionais e de domínio de periféricos.

Observa-se também que apenas o curso de máquinas elétricas, feito através de fotos e texto, ocupava um espaço equivalente a 200 Mb e que o sistema modelado, incluindo o curso, em 3D (RV) ocupa apenas 20 Mb de armazenamento, mostrando ainda mais quão flexível pode ser a RV apoiando o EAD.

Como aplicação futura para o trabalho está a implementação de um painel aprimorado, com mais detalhes permitindo maior interação do usuário. Além disso, será avaliada uma modelagem inserindo os dados técnicos em todas as estruturas e uma implementação em realidade aumentada (RA).

6. Referências Bibliográficas

- [1] PINHO, M.S. Resumo do SBIE, Belo Horizonte, 1996.
http://grv.inf.pucrs.br/tutorials/rv_educa/index.htm, acesso em 02/09/2009.
- [2] BRAGA, Mariluce. Realidade Virtual e Educação. Revista de Biologia e ciência da terra. Volume 1 – 2008.
- [3] CAPATAN, ARACI H; FIALHO, FRANCISCO A. P. Pedagogia e tecnologia: a comunicação digital no processo pedagógico. Universidade Federal de Santa Catarina, 1996.
- [4] AUKSTAKALNIS, S.; BLATNER, D. - Silicon Mirage: The Art and Science of Virtual Reality, Peachpit Press, Berkeley, CA, 1992.
- [5] Ainge, D. Grade-six Student's Recall of detail: V.R. compared with photographs. V.R. in the Schools, vol. 1, no. 4. Mar 1996.
- [6] Bandini, Alfredo, *Generalidades sobre os aproveitamentos hidroelétricos - produção e consumo de energia elétrica* / Alfredo Bandini, São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, 1963.
- [7] Central Electricity Generating Board. *Mechanical; turbines and auxiliary equipment*. Oxford: Pergamon Press, c1971.
- [8] D'Ajuz, Ary. Equipamentos elétricos; *especificação e aplicação em subestações de alta tensão*. Rio de Janeiro: FURNAS, c1985.
- [9] Byrne, C. Water on Tap: *The Use of Virtual Reality as an Educational Tool*. Washington, 1996. Tese (Doutorado) - University of Washington.
- [10] PARALLEL GRAPHICS,
<http://www.parallelgraphics.com/>, Acesso em 02/09/2009.
- [11] CARDOSO, Alexandre; LAMOUNIER, Edgard e TORI, Romero, *"Sistema de Criação de Experiências de Física em Realidade Virtual para Educação a Distância"*, II Workshop Brasileiro de Realidade Virtual, WRV'99, pp 174-181, Marília, 1999.
- [12] ART OF ILLUSION,
<http://www.artofillusion.org/>, Acesso em 02/09/2009.
- [13] FITZGERALD, E.; KINGSLEY, Charles; UMANS, Stephen. *Electric Machinery*. 5 ed. New York: McGraw Hill, 1990.
- [14] FINITE ELEMENT METHOD MAGNETICS,
<http://www.femm.info/wiki/HomePage>, Acesso em 02/09/2009.
- [15] CARDOSO, ALEXANDRE; DELAIBA, ANTÔNIO CARLOS; MORETTI FLÁVIO; DAUD JÚNIOR; CAMPOS, TÚLIO. "Motor Elétrico Virtual". In: Symposium on virtual reality - SVR03, 2003, Ribeirão Preto.
- [16] FUCHS, R.D., ALMEIDA, M.T. *Projetos mecânicos das linhas aéreas de transmissão*, 2ª edição, São Paulo, 1992.

ANEXO B

ARTIGO PUBLICADO – SBSE 2010

Uma Proposta de Organização Efetiva Auxiliada por Técnicas de Realidade Virtual para Manutenção de Sistemas Elétricos

III Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos – SBSE 2010

Belém – Pará

2010

Uma Proposta de Organização Efetiva Auxiliada por Técnicas de Realidade Virtual para Manutenção de Sistemas Elétricos

Afonso Bernardino de Almeida Junior, Décio Bispo, Edgard Afonso Lamounier Júnior, Antônio Carlos Delaiba e Sérgio Ferreira de Paula Silva

Resumo-- O maior desafio de qualquer empresa, seja qual for a sua dimensão, é reduzir seus custos para poder sobreviver no atual contexto da globalização. O mercado define o preço de um produto, portanto, a única maneira de sobreviver e ter lucros é reduzir os custos ao ponto de conseguir margens de compensação.

A Manutenção Produtiva Total, que o objetivo principal é a redução dos custos de manutenção dos meios de produção, torna-se então, uma ferramenta indispensável para o crescimento de vida e a manutenção de uma indústria.

O objetivo deste trabalho é o de ter a capacidade de gerir a manutenção elétrica suportada por um software que possa associar Realidade Virtual para treinar usuários e controlar os procedimentos necessários de um confiável sistema de Manutenção Elétrica.

Palavras-chave — Realidade Virtual, Software de treinamento, Apoio à distância, Manutenção Elétrica.

I. INTRODUÇÃO

O nível da organização da manutenção reflete as particularidades do estágio de desenvolvimento industrial de um país. Parte dos investimentos de grande porte, realizados nessa área, nas indústrias, são relativamente recentes, contando com idade média pouco superior à dezenas de anos.

No Brasil, no início do seu desenvolvimento industrial, a baixa produtividade industrial, baixa taxa de utilização anual e os altos custos de operação e de produção, refletiam justamente um baixo nível ou até inexistência quase total de organização na manutenção [1].

Afonso Bernardino de Almeida Junior é aluno de mestrado da Universidade Federal de Uberlândia (UFU)* e integrante do núcleo de pesquisa de Computação Gráfica e Eficiência Energética, do departamento de Engenharia Elétrica da mesma - email: afonso@eel.ufu.com.

Décio Bispo é professor e integrante do núcleo de Pesquisa em Eficiência Energética, do departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia (UFU)* - email: decioebispo@yahoo.com.br

Antônio Carlos Delaiba é professor e integrante do núcleo de Pesquisa em Eficiência Energética e Qualidade da energia Elétrica, do departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia (UFU)* - email: delaliba@ufu.br.

Sérgio Ferreira de Paula Silva é professor e integrante do núcleo de Pesquisa em Eficiência Energética e Qualidade da energia Elétrica, do departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia (UFU)* - email: sergio@feelt.ufu.br.

Edgard Afonso Lamounier Júnior é professor e integrante do núcleo de Pesquisa em Computação Gráfica, do departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia (UFU)* - email: lamounier@ufu.br.

*localizada na Avenida João Naves de Ávila, 2121, Santa Mônica, Uberlândia-MG, Brasil, CEP 38400-902 (Fone:34-3239-4812).

No entanto, com o passar dos anos e o amadurecimento industrial, fez-se sentir a pesada necessidade de reestruturação no nível e na filosofia da organização da manutenção, de modo que hoje, já temos um esforço maior nesse sentido, e podemos até dizer, que a manutenção ganha o seu destaque no processo produtivo, como não poderia deixar de ocorrer, em benefício próprio das empresas e indústrias.

Apesar deste passo frente à melhora da estruturação da manutenção no país, temos ainda problemas relacionados ao planejamento da mesma. A ausência de pessoal com conhecimento inicial, escassez de dados de consulta necessários para a correta pesquisa de anomalias, escassez de desenhos de projetos detalhados referentes aos equipamentos instalados, inexistência de rotinas de manutenção preventiva, inexistência de procedimentos normalizados e racionalizados para a manutenção periódica e a inexistência de fichários históricos para registro de tempo e ocorrências são alguns dos graves problemas encontrados na grande maioria de empreendimentos tecnológicos.

A implantação da manutenção se resume, na grande maioria das industriais, apenas na corretiva, ocasionando baixa utilização anual dos equipamentos, paradas aleatórias para manutenção e uma gama de problemas que poderiam ser evitados, caso se planejasse melhor a manutenção, incluindo a preventiva e preditiva [2].

Para melhorar o desempenho da manutenção, na fase de operação dos equipamentos e instalações, deve-se concentrar a atenção e energia sobre alguns fatores como a adequação e utilização dos equipamentos, sobre a eficiência da manutenção ou sobre a sua organização. Por isso não basta possuir equipamentos confiáveis para obter elevados índices de disponibilidade, visto que se a manutibilidade do equipamento não for adequada ou a logística não estiver corretamente afinada, os resultados finais serão fortemente afetados com impactos negativos ao nível do retorno do investimento.

A adequação de um empreendimento tecnológico em um planejamento mais eficaz requer também um sistema de gerenciamento que consiga organizar e planejar os procedimentos a serem realizados. Tal sistema, que hoje consiste em escritórios de planejamento contendo documentos impressos ou escritos à mão, ainda pode ser melhorado com o advento da tecnologia tão importante atualmente.

Na atualidade se torna cada vez mais difícil a um planejamento e controle da manutenção trabalhar sem o auxílio de um software, diante do volume de informações a serem processadas; os controles manuais e as planilhas eletrônicas são ineficazes, acarretando atrasos e pobreza da

qualidade dos dados fornecidos para tomada de decisão gerencial. Esta tendência do mercado é comprovada, quando verificamos que cerca de 89% das empresas consultadas pela ABRAMAN utilizam sistemas (softwares) de manutenção, ou seja, já não há mais espaço para controles limitados e registros arcaicos como cartão de tempo, instruções de manutenção em matrizes impressas, etc [3].

A tecnologia disponível hoje possui características alinháveis ao sistema de manutenção de sistemas elétricos e uma de suas ferramentas pode ter um destaque eficaz no treinamento de técnicas otimizadas de manutenção: A Realidade Virtual. A RV é utilizada das mais diversas maneiras possíveis, auxiliando melhor determinada aplicação com o intuito de facilitar o procedimento em questão, como treinar um usuário em um ambiente virtual onde o mesmo não corra risco de morte e tenha um desempenho aceitável para este treinamento.

Foi realizado um estudo aprofundado na área de Realidade Virtual, focando sua validade na utilização, em que se consistiu em algumas experiências que comparavam a utilização de fotos e da Realidade Virtual no treinamento de alunos universitários [4]. Concluiu-se que os alunos tiveram certa dificuldade de construir um modelo mental tridimensional a partir de imagens bidimensionais, como desenhos de três ou mais vistas. Já os alunos que tiveram o contato com aplicações desenvolvidas em Realidade Virtual tiveram mais facilidade de assimilação de estruturas em três dimensões. Assim o desenvolvimento de uma aplicação de realidade virtual, funciona como auxílio, visando utilizá-la no treinamento na área de Engenharia Elétrica, tornando o ensino mais eficaz e sem riscos para o aprendiz.

Apontam como principais vantagens da utilização de técnicas de realidade virtual para fins de treinamento técnico, nesta específica pesquisa de conjunto de ambientes virtuais aplicados na área de manutenção elétrica, os seguintes itens:

- Motivação dos usuários de forma geral, baseada na experiência de visualizar o funcionamento de um equipamento virtualmente.
- Grande poderio de ilustrar características e processos, em relação a outros meios multimídias.
- Permite visualização em detalhe dos equipamentos da área da engenharia elétrica.
- Poder permitir a visualização de aparelhos de forma imersiva.
- Permite experimentos virtuais, principalmente na falta de recursos, para fins educação virtual interativa.
- Permite ao aprendiz, a partir da teoria dada em livros entender, o funcionamento interno de um aparelho sem ter que desmontá-lo.
- Pelo fato de requerer interação, exige que cada participante se torne ativo dentro de um processo de visualização.
- Encoraja a criatividade do usuário, que estará mais motivado por visualizar características internas de uma peça.
- Provê igual oportunidade de comunicação para usuários de culturas diferentes, a partir dos modelos virtuais.
- Ensina habilidades computacionais e de domínio de periféricos.

II. OBJETIVOS

São objetivos deste trabalho:

- Desenvolvimento de um software que organize e padronize os procedimentos ligados aos serviços de manutenção, através de um banco de dados conciso e eficiente, facilitando a obtenção de informações;
- Com a utilização do software pode-se gerenciar a estratégia de manutenção através dos planos preventivos, de forma a garantir que as tarefas planejadas sejam automaticamente emitidas em forma de Ordem de Manutenção;
- Fornecer relatórios de histórico dos equipamentos, bem como de índices consolidados, como backlog, índice de corretiva, MTTR, etc.;
- Por meio de interação com os ambientes virtuais, prover ao usuário a possibilidade de observar com precisão as estruturas que compõe o sistema elétrico industrial, inclusive aquelas cuja visualização é impossível no ambiente real;
- Verificação da aplicação de tal conteúdo por uma indústria através da utilização do software pelo setor de gestão da manutenção elétrica, observando o aumento da produtividade da manutenção através de informações, otimização de mão-de-obra, controle do estado dos equipamentos, etc.

Desta maneira, esta pesquisa tem como objetivo realizar a integração da Realidade Virtual aplicada à manutenção do sistema elétrico, com o olhar voltado ao treinamento de rotinas, tornando propícia a utilização por técnicos e administradores do sistema de manutenção elétrica, tornando o sistema mais intuitivo, seguro e eficaz. [5].

III. DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento do software de controle e integração, utilizando técnicas de banco de dados, está sendo desenvolvido na linguagem C# (C Sharp).

O C# é uma linguagem de programação desenvolvida pela Microsoft que é completamente suportada pela plataforma .NET Framework, abrange o poder e a versatilidade do Visual Basic, a força e a criatividade do C++ e a inteligência do Javascript para validações. Além disso, por ser derivado de C++ e C e por possuir uma grande semelhança com a linguagem de programação Java, permitindo que desenvolvedores destas linguagens pudessem se adaptar com facilidade ao C#.

O C# possuiu grandes vantagens, uma delas é a possibilidade de maior interatividade com os internautas, que passam a poder postar informações a qualquer momento, com o C# controlando o envio e recebimento de dados, principalmente a partir da mesma página. Outra vantagem na utilização de C# é programação orientada a objeto, não possível em C e em Visual Basic.

Segundo Haddad [6] este seria um dos melhores recursos oferecidos por esta linguagem, visto que os códigos podem ser utilizados facilmente, pois existem heranças poliformismo e encapsulamento. Um outro tão esperado recurso oferecido pelo C# é o recurso de programação orientado a evento, que significaria não ter de programar linhas em Javascript para disparar os poucos eventos existentes em alguns controles. Novos eventos de página e controles foram criados visando facilitar a programação.

Uma outra vantagem é o recurso do ambiente Windows. No C# o desenvolvimento é muito semelhante com aplicações desktop, utilizando recursos do ambiente Windows. Assim, alguns dos controles que somente eram encontrados em componentes são agora nativos. Outros aspectos vantajosos no C#, é que toda *Dynamic-link library* (DLL) ou componente não precisa mais ser registrado, extingue-se o papel do registry e com os novos controles validadores, torna-se mais fácil consistir e validar dados na web, bastando apenas invocar o componente, estabelecer a propriedade e vincular a algum controle. Além disso, tratar erros também se tornou muito fácil, por meio do Exception, o próprio C# identifica e trata o erro.

Em síntese, a linguagem de programação C# disponibiliza os seguintes aspectos:

- I. Maior interatividade com os internautas;
- II. Possui recurso de programação orientada a objeto;
- III. Uso de evento nos controles;
- IV. Desenvolvimento em ambiente Windows;
- V. Não precisa registrar componentes;
- VI. Possui fácil validação de dados;
- VII. Fácil tratamento de erros.

A programação do software de gerenciamento e controle visa então integrar o sistema de ambientes virtuais com o planejamento e controle da manutenção elétrica.

A interface inicial idealizada se baseia na idéia de Tufte [7], utilizando a visualização da informação para demonstrar de maneira simples e eficaz todo o sistema, através de um diagrama unifilar.

Com a implementação do diagrama unifilar o usuário terá a possibilidade de observar, através de cores, quais as prioridades de manutenção dos equipamentos e poderá ser avisado, através de uma janela prompt, de alguma informação importante, como por exemplo, lembrá-lo de um agendamento prévio para que o mesmo não deixe de ser realizado[8].

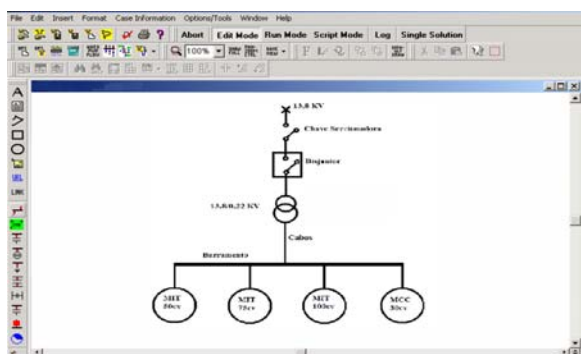


Fig. 1. Modelo de interface inicial idealizado.

Os equipamentos terão indexados aos seus respectivos símbolos, fichas, como fichas históricas, características, etc. A geração de Ordem de Manutenção também deve ser realizada de maneira automática e manual, assim como a emissão de relatórios consolidados dos índices de manutenção (com opção gráfica).

Tal sistema que está sendo desenvolvido terá o esteriótipo definido para todos os tipos de manutenção: corretiva, preventiva e preditiva. Assim, a medida que o usuário fornece informações para o sistema, o software já as organiza de maneira que quando recebe dados suficientes começa a gerenciar a manutenção de maneira automática, ou

seja, de posse de dados históricos da manutenção corretiva, ele já planeja manutenções preventivas e preditivas, respectivamente.

A idealização das características a serem mostradas nos equipamentos inclui fotos, diagramas, modelos, etc. e suas respectivas fichas. As fichas a serem inseridas servirão como base de dados para todo eventual processamento efetuado pelo software, gerenciando e planejando todo o processo de manutenção elétrica.

Do ponto de vista operacional é necessário criar uma estrutura que garanta as funções de Execução, Gestão de Análise e Controle. Esta Estrutura em Geral designada por gabinete Técnico tem o conteúdo descrito na tabela 1, onde PT é o pedido de trabalho, OM é operação de manutenção e OT é Ordem de trabalho [9].

TABELA I
ESTRUTURA DO GERENCIAMENTO A SER REALIZADO PELO SOFTWARE

Execução	Gestão
Emissão de PTs	Planificação das OMs
Execução de intervenções	Emissão de OTs
Reporte de intervenções	Requisição ao Armazém
Registo avarias/interrupções	Gestão de Stocks
Registo de contadores	Emissão de relatórios
Planos de Controle	Análise
Confiabilidade	Informação
Manutenção	Relatórios de falhas
Planificação	Tipificação do desempenho
Desempenho	Pedidos de estudos/melhorias
Logística	Emissão de relatórios

Com a gama de possibilidades que a linguagem C# oferece, e baseando-se ainda na pesquisa de Tufte [7], O diagrama unifilar inicial pode ganhar visualizações que envolvam cores para demonstrar o quão importante ou prioritário se é fazer a manutenção em determinado equipamento.

A partir daí pode-se também encapsular diagramas em ícones, tornando a visualização das estruturas que compõe o sistema industrial mais simples e objetiva. O usuário poderá acessar seu modelo de sistema por camadas, ou seja, poderá selecionar, com um grande nível de detalhe, apenas a área de seu interesse. É importante ressaltar que o sistema em desenvolvimento será bastante autônomo, porém não descarta a necessidade de um profissional capacitado para que a operação de planejamento e controle da manutenção seja realizada de maneira eficaz.

O processo de modelagem dos ambientes virtuais se deu por:

1. Verificação dos projetos e detalhes reais dos componentes a serem analisados para a área de manutenção elétrica;
2. Modelagem geométrica de tais componentes, com uso de VRML (Virtual Reality Modeling Language);
3. Modelagem comportamental dos componentes, baseados também em análises reais;
4. União dos ambientes virtuais com imagens reais dos equipamentos e adequação deste ambiente com o software de gestão e controle.

Para a implementação das técnicas de Realidade Virtual, utilizou-se o software VRMLpad que utiliza a linguagem VRML (Virtual Reality Modeling Language), aplicada com bastante sucesso em diversos projetos de concepção de ambientes virtuais [10]. O surgimento da linguagem está interligada à colaboração de diversas empresas e pesquisadores, que tinham o propósito de desenvolver uma infra-estrutura para aplicações gráficas tridimensionais interativas, e que proporcionassem uma capacidade de criação de uma gama variada de aplicações. Aprimorada, hoje a linguagem VRML é capaz de tudo isso, permitindo ainda, definições de comportamentos (com mais interação e animação) dos componentes tridimensionais.

Os arquivos que simulam os mundos tridimensionais utilizando linguagem VRML não requerem compiladores específicos para a sua geração. Assim, por meio de qualquer editor de textos, o desenvolvedor pode conceber tais arquivos, bastando salvá-los com a extensão “.wrl”. Estes arquivos definem quais formas geométricas estarão presentes no ambiente e em quais posições, quais as cores, as associações e os movimentos. Enfim, definem todos os aspectos necessários para a composição dos ambientes.

A construção do código está relacionada com a concepção de formas. Estas nada mais são do que associações entre elementos tridimensionais geométricos pré-definidos, tais como cones, cilindros, esferas e paralelepípedos. Cada forma pré-definida possui atributos variáveis que controlam tamanho, cor, posição e ângulos. Nestas formas também é possível inserir texturas, tornando o objeto virtual mais próximo do real.

Pode-se ainda modificar os fundos, através de funções específicas que permitem simular ambientes diferenciados que se assemelham às condições climáticas, que variam de um lindo dia de sol, um dia nublado ou com muita neblina, dentre outros. É possível também controlar a aparência de elementos do cenário, bem como a inserção de diferentes formas de fontes de luz.

Alguns recursos extras permitem inserir sons ou vídeos ao ambiente virtual. Em geral, a própria linguagem VRML possui alguns tipos pré-definidos de animações, como a navegação do usuário levando em conta a colisão entre objetos. No entanto, para animações mais complexas, ela possui compatibilidade com scripts elaborados em Java ou JavaScript, que podem ser inseridos em qualquer mundo virtual.

A visualização destes ambientes tridimensionais, por sua vez, pode ser feita por meio de um simples navegador de Internet ou uma GUI (Graphic User Interface) simples que possa ser associada a um plug-in, que interpretará o código criando as estruturas definidas. Abaixo pode ser visto uma Fig. (Fig. 2) que representa a arquitetura do sistema de ambientes virtuais.

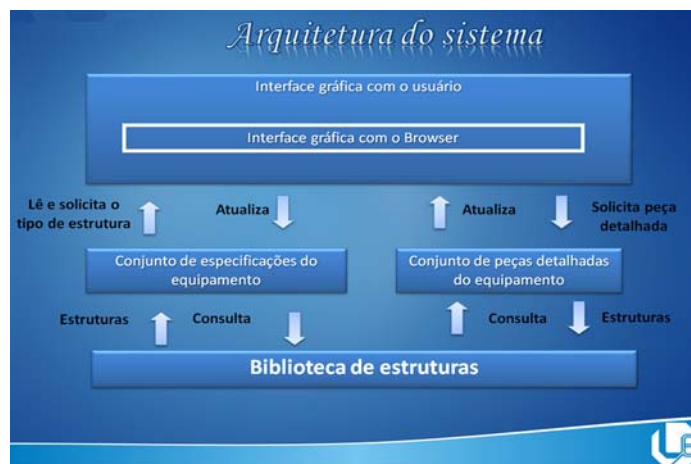


Fig. 2. Arquitetura do sistema de ambientes virtuais utilizando VRML.

Apesar das inúmeras funções presentes no VRML optou-se por sua modelagem apenas, com o intuito de se conseguir um código-fonte mais simples e, assim, criação de arquivos menores.

Um transformador foi modelado também para análise de sua estrutura. Um painel de controle foi desenvolvido para que o usuário possa ligar o transformador e observar o fluxo magnético no núcleo de ferro do mesmo. Assim observa-se claramente a variação de fluxo devido à variação das correntes aplicadas ao mesmo. Ainda no transformador, o usuário tem a possibilidade de vê-lo de um modo impossível em um sistema real: tornar sua parte externa, como o tanque de óleo e os isolantes, semi-transparente, a fim de se observar a disposição do núcleo do mesmo [11]. Tal visualização permite um entendimento de como o núcleo é posicionado no transformador. Com o intuito de incrementar informações sobre o funcionamento do transformador para o usuário, realizou-se uma simulação do fluxo de indução no núcleo do transformador, onde foi utilizado o software Femm [12].

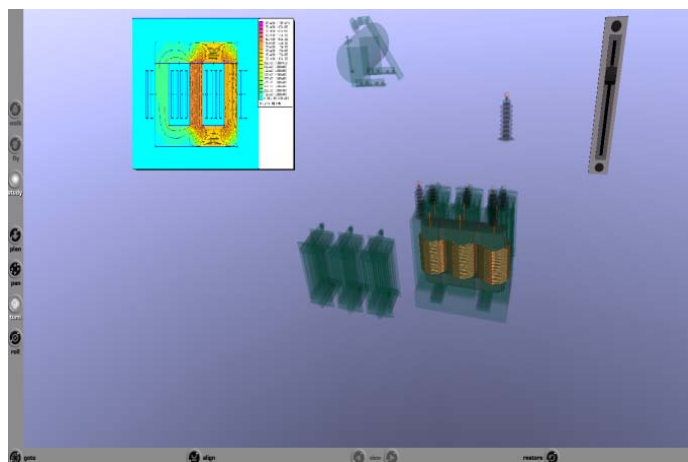


Fig. 3. Transformador semitransparente sendo analisado.

O sistema virtual do motor de indução foi feito com a utilização de arquivos de áudio com o intuito de facilitar ainda mais o treinamento. O motor modelado pode ser aberto, ligado e desmontado da maneira que o usuário achar melhor [11;13;14].

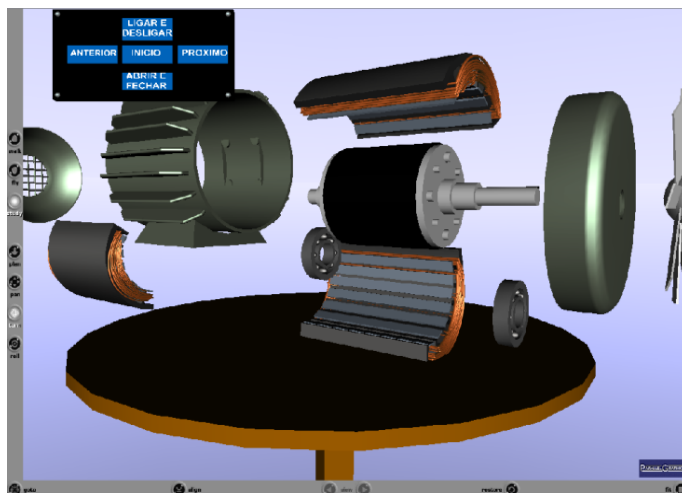


Fig. 4. Sistema virtual do motor de indução trifásico.

A partir do modelo virtual do motor, por exemplo, o usuário poderá realizar um treinamento de manutenção, caso o mesmo opte por isso. Assim, quando existir a necessidade de se realizar uma manutenção, seja ela corretiva ou preventiva, o usuário poderá realizar um treinamento prévio no ambiente virtual, conhecendo os métodos de manutenção a serem realizados no motor, como verificação da resistência de isolamento, antes de executá-los no mundo real.

O intuito dessa manutenção prévia no ambiente virtual é de capacitar, por mais leigo que o usuário seja, o profissional da área para que não cometa erros relativos à manutenção de sistemas elétricos e, principalmente, evitar um possível acidente, já que este não ocorre no ambiente virtual.

Assim, o usuário modelará seu sistema elétrico, via o software implementado, e seus equipamentos cadastrados terão, além de toda estrutura de organização do banco de dados, a possibilidade de serem visualizados em um ambiente virtual, ambiente este que não funcionará apenas como uma forma de visualização da informação, mas como um método interativo de treinamento.

A Realidade Virtual então se torna uma ferramenta de capacitação e treinamento, agregada à manutenção de sistemas elétricos, podendo evitar acidentes e erros em procedimentos nesta área.

IV. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

A utilização de softwares de apoio ao planejamento e controle da manutenção elétrica é uma característica essencial em um empreendimento tecnológico que possui um elevado e avançado desenvolvimento nessa área.

A partir do software proposto, o gestor da manutenção terá a sua disposição as informações essenciais para que possa ter uma visão geral de todo o seu sistema, seja ele simples ou não. O mesmo terá um banco de dados completo sobre o sistema elétrico em questão que o auxiliará na tomada de decisões, referentes à manutenção de sistemas elétricos.

O desenvolvimento de ambientes virtuais, para simulações de situações reais pode ser efetuado com uso de linguagens de programação compatíveis com a WEB, sem custos exagerados [15].

Outros fatores que justificam e mostram a contribuição do desenvolvimento deste tipo de interface baseiam-se no custo dos equipamentos e na facilidade de concepção de

aplicativos. Além disso, o uso destes ambientes virtuais como suporte ao treinamento e montagem de projetos pode ser mais eficiente, conveniente e até mais barato do que custear os equipamentos para a montagem, já que ferramentas gratuitas podem ser usadas nas suas criações e no desenvolvimento, propiciando a aplicação de RV associado à Internet em soluções relacionadas com Suporte Técnico à distância [16].

Como aplicação futura está a implementação do software de associação, contendo as fichas dos equipamentos e modelos de relatórios e ordens de trabalho, além da modelagem de mais estruturas que compõem o setor industrial brasileiro, como chaves seccionadoras, disjuntores, cabos, etc.

Tem-se também a necessidade de implementação do módulo de treinamento no ambiente virtual, onde o usuário, após realizar o treinamento de alguma manutenção em um equipamento, será avaliado pelo sistema e assistido, caso tenha cometido algum erro, para que possa corrigir e assim conseguir realizar o procedimento de maneira eficaz e correta.

Além disso, será avaliada a inserção de sistemas em realidade aumentada (RA), podendo trazer todos os recursos de imersão dessa tecnologia, agora suportada por programação auxiliada por flash, através do FLARToolkit [17].

V. REFERÊNCIAS

- [1] MANUTENÇÃO ELÉTRICA NA INDÚSTRIA, Arlindo Ferreira Sebastião e Luiz Antonio Quintanilha Novo, Manuais CNI.
- [2] MANUTENÇÃO: FUNÇÃO ESTRATÉGICA, Alan Kardec e Júlio Nascif, Qualitymark Editora, Rio de Janeiro, 1998
- [3] VIANA, Herbert Ricardo Garcia. PCM – Planejamento e Controle de manutenção – Rio de Janeiro: Qualitymark Ed. 2009.
- [4] Ainge, D. Grade-six Student's Recall of detail: V.R. compared with photographs. V.R. in the Schools, vol. 1, no. 4, Mar 1996.
- [5] Byrne, C. Water on Tap: The Use of Virtual Reality as an Educational Tool. Washington, 1996. Tese (Doutorado) - University of Washington.
- [6] HADDAD, Renato. Visão geral do .NET compact framework. São Paulo, [2004]. Disponível em: <<http://www.microsoft.com/brasil/msdn/Tecnologias/Default.aspx>>. Acesso em: 09 set. 2009.
- [7] TUFTE, E R. Beautiful Evidence, 2006 - Graphics Press USA.
- [8] POWER WORLD, <http://www.powerworld.com/>. Acesso em 13/11/2009.
- [9] PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO PARA ECONOMIA DE ENERGIA, Agência para Aplicação de Energia, CESP/CPFL/ELETPAULO/COMGÁS, São Paulo, 1993.
- [10] PARALLEL GRAPHICS, <http://www.parallelgraphics.com/>, Acesso em 02/09/2009.
- [11] FITZGERALD, E.; KINGSLEY, Charles; UMANS, Stephen. Electric Machinery, 5 ed. New York: McGraw Hill, 1990.
- [12] FINITE ELEMENT METHOD MAGNETICS, <http://www.femm.info/wiki/HomePage>, Acesso em 02/09/2009.
- [13] D'Ajuz, Ary. Equipamentos elétricos; especificação e aplicação em subestações de alta tensão. Rio de Janeiro: FURNAS, c1985.
- [14] CARDOSO, ALEXANDRE; DELAIBA, ANTÔNIO CARLOS; MORETTI FLÁVIO; DAUD JÚNIOR; CAMPOS, TÚLIO. "Motor Elétrico Virtual". In: Symposium on virtual reality - SVR03, 2003, Ribeirão Preto.
- [15] AUKSTAKALNIS, S.; BLATNER, D. - Silicon Mirage: The Art and Science of Virtual Reality, Peatchpit Press, Berkeley, CA, 1992.
- [16] CARDOSO, Alexandre; LAMOUNIER, Edgard e TORI, Romero, "Sistema de Criação de Experiências de Física em Realidade Virtual para Educação a Distância", II Workshop Brasileiro de Realidade Virtual, WRV'99, pp 174-181, Marília, 1999.
- [17] KIRNER, C. ; TORI, R. (2004) - Introdução à Realidade Virtual, Realidade Misturada e Hiper-realidade. In: Kirner, C.; Tori, R. (Org.). Realidade Virtual: Conceitos, Tecnologia e Tendências. 1 ed. São Paulo: Editora SENAC, 2004, v. 1, p. 3-20. Disponível em:

VI. BIOGRAFIAS

Afonso Bernardino de Almeida Junior nasceu em Monte Carmelo-MG, Brasil. Graduou-se em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Atualmente é aluno de mestrado em Engenharia Elétrica, na área de Máquinas e Aterramentos Elétricos, na Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e trabalha no Laboratório de Sistemas Motrizes desta instituição como pesquisador.

Décio Bispo nasceu em São Vicente-SP, Brasil. Graduou-se em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Fez Especialização em Sistemas Elétricos de Potência na Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Obteve o título de Mestre e de Doutor em Engenharia Elétrica pela Unicamp. Fez curso de Especialização em Eficiência Energética pela Procel/Eletrobrás. Atualmente trabalha como professor e pesquisador na Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), onde tem lecionado e publicado sobre vários assuntos relacionados com Máquinas Elétricas, Eficiência Energética e Instalações Elétricas.

Edgard Afonso Lamounier Júnior possui Licenciatura Plena em Matemática (1986) e mestrado em Engenharia Elétrica (1989) pela Universidade Federal de Uberlândia. Em 1996, obteve o título de PhD em Computer Studies pela Universidade de Leeds, Inglaterra. Atualmente, é professor associado da Universidade Federal de Uberlândia. Tem experiência na área de Engenharia e Ciência da Computação, com ênfase em Arquitetura de Sistemas de Computação. Atua, principalmente, nos seguintes temas: aplicações de Realidade Virtual e Aumentada, Engenharia de Software, Educação à Distância e CAD. Em 2007, concluiu um MBA na área de Administração de Negócios e Comércio Eletrônico pela Abet Open University, USA.

Antônio Carlos Delaiba nasceu em Botucatu-SP, Brasil. Graduou-se em Engenharia Elétrica pela Fundação Educacional de Barretos (FEB). Obteve o título de Mestre em Engenharia Elétrica pela USP-SP (São Carlos) e de Doutor pela USP-SP (capital). Atualmente, trabalha como pesquisador e professor na Faculdade de Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Tem lecionado e publicado sobre vários assuntos relacionados com Sistemas Elétricos de Potência e Qualidade e Racionalização da Energia Elétrica.

Sérgio Ferreira de Paula Silva possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (1996), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (2000) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia (2007). Atualmente é professor adjunto da Universidade Federal de Uberlândia. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Qualidade da Energia, atuando principalmente nos seguintes temas: eficiência energética, distorções harmônicas, qualidade da energia elétrica, harmônicos em sistemas elétricos de potência, atribuição de responsabilidade e normas e indicadores de qualidade.

APÊNDICES

APÊNDICE I

POLÍTICAS MODERNAS DE MANUTENÇÃO

TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE (TPM)

O TPM é um conceito gerencial que se inicia pela liberação da criatividade normalmente inexplorada de qualquer equipe de trabalho, que, quase sempre assoberbada com tarefas repetitivas, muito tem a contribuir para a melhoria dos processos, caso isso lhe seja possibilitado [96] [29]. A política visa, assim, promover uma cultura na qual os operadores sintam-se como “proprietários” das máquinas em que atuam, aprendendo muito mais sobre elas e melhorando a precisão do diagnóstico dos problemas, com o consequente aperfeiçoamento do equipamento. Com tais posturas e ações, busca-se, então, atingir a efetividade global máxima dos ativos (a chamada OEE - *Overall Equipment Effectiveness*), aliada ao mais baixo custo possível para o seu ciclo de vida (LCC - *Life Cycle Cost*). O TPM tem seu foco orientado para as pessoas, constituindo-se, ainda, numa parte integrante da filosofia de TQM - *Total Quality Management* (ou GQT - Gestão pela Qualidade Total), para o que os seguintes princípios básicos são aplicados na redefinição da organização da Manutenção [97]:

- Introdução da chamada Manutenção Autônoma, em que, através do desenvolvimento da já mencionada cultura de “propriedade” da máquina (“Jishu Hozen”), os operadores assumem a responsabilidade por tarefas de Manutenção rotineiras de menor monta, como limpeza, inspeção geral, lubrificação, ajustes, regulagens e pequenos reparos, visando a preservação das condições ideais de funcionamento;
 - Incremento das habilidade dos operadores e do seu nível de conhecimento da instalação da instalação, capacitando-os a efetuar a detecção precoce dos sintomas de desgastes, desajustes, vazamentos ou partes soltas e incentivando-os a apresentar sugestões para evitar a performance da planta fora dos padrões estabelecidos como ótimos;
 - Utilização de equipes multifuncionais e multidisciplinares para melhorar o desempenho geral dos ativos;
 - Estabelecimento de uma programação de Manutenção que favoreça a extensão da vida útil da instalação e a maximização da sua disponibilidade.
-

O TPM foi criado no Japão, fundamentado em suas milenares tradições culturais - que também contribuíram para o desenvolvimento dos 5S - tendo sua primeira aplicação formalmente estruturada ocorrido na fabricante de autopeças Nippon Denso, o que lhe valeu, em 1971, o Prêmio de Excelência em Manutenção Industrial (Prêmio PM) conferido pelo JIPM - *Japan Institute of Plant Maintenance*. Reconhecendo o potencial da então revolucionária estratégia, o Instituto lançou uma forte campanha para sua divulgação e disseminação, fazendo com que o método, originalmente voltado para o setor fabril, rapidamente se espraiasse por todos os segmentos e atividades produtivas, tanto no Japão, como em todo o mundo, tendo ele chegado ao Brasil em 1987 [96] [98].

Além dos conceitos e princípios fundamentais já abordados, os diversos autores que tratam do tema estabelecem ainda que a “casa” do TPM é construída sobre oito pilares básicos.

Assim, o primeiro pilar a ser assentado é o da Educação e Treinamento, buscando elevar a qualificação, capacitação e conscientização de todo o pessoal da planta, com ênfase para a Manutenção e a Operação, como já comentado. Em seguida, estimula-se o Gerenciamento Antecipado, conceito cuja melhor interpretação é, incluída na introdução desta pesquisa: “usar a cabeça hoje, para amanhã não ter que intervir com os braços e mãos.” [3]. Com o pilar da Segurança, Meio Ambiente e Saúde, procura-se manter as áreas de trabalho limpas e saudáveis, favorecendo a ideia central de busca das condições conhecidas como “Zero Acidente” e “Zero de Impacto Ambiental”, enquanto que com a Qualidade procura-se atingir o “Zero Defeito”. O pilar da Engenharia de Manutenção trabalha ancorado na maximização da confiabilidade (aumento do tempo médio entre falhas – MTBF), da manutenibilidade (diminuição do MTTR) e da própria efetividade global dos ativos físicos, visando alcançar a chamada “Quebra Zero”. Já as Melhorias se baseiam, principalmente, nos *feedbacks* fornecidos pelos operadores e manutentores para aumentar a eficiência/eficácia dos processos produtivos e reduzir custos, trabalhando, assim, de mãos dadas com a Manutenção Autônoma, dentro das características anteriormente explicadas.

O 8º pilar - Foco na Eliminação das Perdas - sintetiza a própria essência da filosofia do TPM, que reside na verificação das perdas de produção ocorridas nos diversos processos, para utilizá-las na identificação das inúmeras disfunções organizacionais quase sempre ocultas pelos comportamentos equivocados que se satisfazem em continuar repetindo aquilo que “sempre deu certo”, sem se dar conta do gigantesco “iceberg do desperdício” que se avoluma a cada instante, como ilustrado na Figura I.1 [28].



Figura 1.1: Iceberg do Desperdício e as Perdas Ocultas.

REALIABILITY-CENTERED MAINTENENCE (RCM)

A confiabilidade pode ser definida como o nível de “confiança” de que um determinado componente, equipamento ou sistema desempenhe a função básica para a qual foi projetado e instalado, durante um período de tempo pré-estabelecido e sob condições de operação padronizadas. Assim, a confiabilidade de um ativo é quase que exclusivamente dependente da qualidade do programa de Manutenção, uma vez que a confiabilidade intrínseca, agregada a este ativo por seu fabricante, só pode ser aumentada através de mais e melhores materiais e redimensionamentos de parâmetros, o que implica em maiores investimentos. Da mesma forma, uma alta confiabilidade intrínseca pode ser rapidamente perdida pela aplicação de um programa de Manutenção precário [99]. Com base nestas assertivas, criou-se a política de RCM, que, foi desenvolvida nas décadas de 60, 70 e início de 80 pela indústria aeronáutica norte-americana, a partir dos trabalhos pioneiros de Stanley Nowlan e Howard Heap, motivados pela necessidade de reexame das atividades de Manutenção provocada pelo surgimento de novas aeronaves, maiores, mais complexas e com sistemas mais sofisticados, sem perder de vista a preservação da segurança de voo e a racionalização dos custos operacionais das empresas [27] [100] [101]. Diferentemente das práticas de Manutenção até então adotadas, que não priorizavam o contexto operacional na definição do planejamento correspondente, a aplicação da RCM proporcionou uma forma própria de avaliação, centrada numa visão sistêmica e global de inserção dos ativos nos processos e meios de produção. Dentro desta nova abordagem, a preservação das funções dos equipamentos, muito mais do que eles

próprios, passou, assim, a representar o foco principal e o paradigma central da análise de Manutenção [102].

Nas aplicações de RCM, são, então, definidas as tarefas não só preventivas (sistemáticas e/ou por estado) e corretivas, mas também de detecção de falhas, bem como as periodicidades a elas inerentes e os recursos necessários à sua execução, através da realização de reuniões técnicas com a participação de representantes de todas as áreas envolvidas, visando uma reavaliação dos procedimentos de Manutenção existentes e a eventual proposição de novos. Assim, conforme também estabelecido nas normas SAE JA 1011 [103] e JA 1012 [104], a RCM constitui-se num método desenvolvido para refinar o planejamento de Manutenção, integrando as suas diversas formas de atividades e racionalizando a sua programação.

Para uma boa implementação de qualquer projeto RCM, alguns cuidados especiais devem ser tomados, levando em conta os seguintes fatores críticos de sucesso [27]:

- Definição clara e precisa dos objetivos a serem alcançados;
- Conscientização e engajamento do pessoal em todos os níveis hierárquicos (gerência / supervisão / execução);
- Planejamento e organização das atividades que serão desempenhadas pela equipe de análise;
- Priorização dos ativos que serão enfocados;
- Delimitação rígida dos sistemas e da profundidade das análises;
- Controle da coleta e seleção dos dados a serem utilizados, assim como da documentação técnica que será revisada e/ou gerada;
- Avaliação preliminar e aquisição dos eventuais *hardwares* e *softwares* necessários;
- Especificação e aplicação do treinamento requerido.

Os principais benefícios da política de RCM, subentendo-se que ela tenha sido implantada de acordo com os requisitos anteriormente indicados, o fornecimento de bases racionais para o plano de Manutenção, com a eliminação de intervenções desnecessárias e otimização das necessárias; a redução dos custos de Manutenção, especialmente nas tarefas rotineiras de Preventiva baseada em tempo; o aumento da disponibilidade da instalação, mediante a detecção e bloqueio de falhas funcionais antes de sua ocorrência; o aprendizado de como a instalação deve ser efetivamente operada; e a otimização do estoque, mediante a eliminação de supérfluos e a priorização dos itens críticos para a continuidade funcional dos processos [8] [27].

Como exemplo prático dos bons resultados que podem ser atingidos com a filosofia de RCM, como no setor de distribuição de energia elétrica francês, a redução média da quantidade de horas gastas em Preventiva Clássica chegou a 35%, com 42,5% de todas as tarefas tendo sido também reorganizadas e otimizadas [100]. Registrou-se números ainda mais expressivos nas

indústrias de processo norte-americanas, como uma redução dos custos de manutenção da ordem de 27%, ganhos médios de produtividade de 21% e redução média de 74% nas quebras de equipamentos [3].

Resumindo os preceitos da RCM para selecionar, sem jamais excluí-las a priori, as práticas e procedimentos de Manutenção que, sob determinadas condições, devem ser empregados para cumprir as diretrizes estratégicas de integração desta política, formulam-se diagramas de decisão detalhados, já admitindo a instalação de redundâncias e a modificação / melhoria de projetos como atividades inerentes à função [105].

A Manutenção Centrada em Confiabilidade é uma ferramenta que através de uma sistemática conhecida permite a aplicação dos tipos de manutenção citados anteriormente de acordo com as características do modo de falha [17].

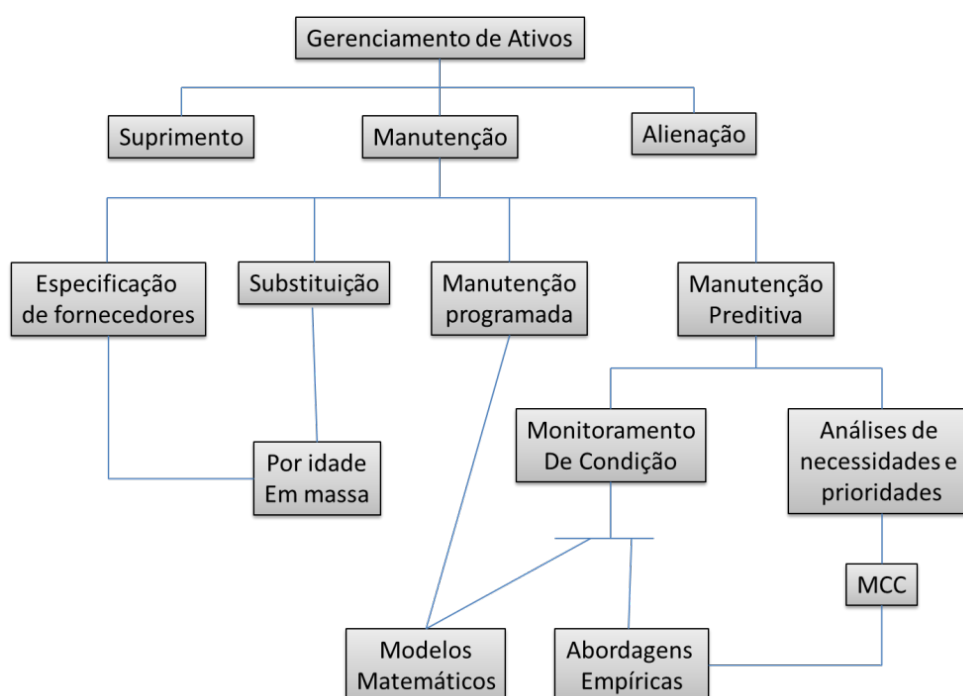


Figura I.2: Visão Geral das abordagens de manutenção.

A Figura I.2 reproduz uma classificação das várias abordagens de manutenção, mostrando como se situa a MCC neste contexto [106].

GESTÃO DE ATIVOS FÍSICOS INDUSTRIAIS (ASSET MANAGEMENT)

A metodologia de *asset management* é fundamentada na consideração da totalidade do ciclo de vida dos ativos físicos empregados em uma determinada instalação, e não simplesmente no

enfoque individual de sua fase de utilização/produção (operação e manutenção) ou na de especificação, projeto e aquisição, como é comum nas filosofias com perfil menos integrador [100].

Dentro desta abordagem global, o ciclo de vida de um ativo constitui-se, então, do conjunto de estágios ou fases por ele vivenciadas ao longo de toda a sua existência, indo desde a etapa de Especificação até o Descarte, passando pelo Projeto; Aquisição, compra, leasing (ou aluguel); Montagem (ou Instalação); Comissionamento; Operação (Produção); Manutenção (incluindo Recuperação e Modificação); e, finalmente, Substituição, Reciclagem ou Descarte.

Assim, a estratégia de *asset management* busca fazer com que a organização e administração da manutenção realmente agreguem valor para a corporação, através da conciliação do desempenho técnico com o interesse dos acionistas. Para tanto, ela emprega uma série de ferramentas quantitativas de análise e decisão, com destaque para a metodologia de otimização custo-risco (OCR), que permite alcançar uma combinação ideal entre os custos associados a uma determinada atividade, a decisão de realizá-la ou não e os benefícios potenciais que tais aspectos podem gerar, levando também em consideração os riscos de não efetuar-la ou executá-la num momento inadequado, em função dos recursos disponíveis.

O método possibilita, assim, a tomada de decisões sustentadas pelo conceito de impacto total mínimo sobre o negócio, resumindo o exposto, o *asset management* funciona como uma filosofia de Manutenção inovadora que associa técnicas de modelagem econômico-financeira, de avaliação da confiabilidade e de melhoria do desempenho operacional com os fatores ligados à responsabilidade pela segurança e respeito ao meio ambiente, de modo a responder, com maior efetividade, às pressões corporativas por melhores níveis de ROI (Retorno de investimento - *return on investment*). Nela, os ativos físicos industriais não são mais percebidos como objetos puramente técnicos, mas sim como os principais vetores de criação de valor de uma organização, passando, então, a merecer um enfoque altamente estratégico que visa transformar o capital neles imobilizado em fonte de receitas sustentáveis, sem a qual uma produção segura e lucrativa não é possível [100].

CONTROLE DA QUALIDADE TOTAL (TQC)

O objetivo da utilização do TQC ("*Total Quality Control*", ou CQT - Controle da Qualidade Total), como abordagem gerencial nas empresas, é justamente criar condições internas que garantam a sobrevivência das organizações a longo prazo.

Não se faz qualidade com exortações, ou seja, não adianta dizer as pessoas que precisam melhorar os resultados. Os gerentes precisam de um método para gerenciar e, através dele conseguir atingir as metas. O TQC é, portanto, um método para que os gerentes e empregados possam atingir as suas metas e a satisfação das necessidades das pessoas afetadas pela organização - clientes,

empregados, acionistas e sociedade. Se a organização tem sucesso nesse objetivo ela garante a sua sobrevivência, seus resultados desejados e seu lucro [107].

Com esse conceito bem claro, pode-se entender como agir para satisfazer as necessidades de cada um. Os clientes, o mercado consumidor, querem a garantia da qualidade dos produtos e serviços entregues - vistos dentro das cinco dimensões da qualidade (qualidade intrínseca, custo, atendimento/prazo de entrega, segurança e moral). Os acionistas, atuando como o mercado financeiro, querem um sistema de garantia do lucro, de retorno de seus investimentos. Se não atendermos suas necessidades, eles retiram o dinheiro investido nas organizações. Os empregados, o mercado de trabalho, procuram ter suas necessidades atendidas, pois se assim não for, eles trocam de emprego ou produzem de forma inadequada, trazendo grandes prejuízos à organização. A sociedade quer a garantia da preservação do meio ambiente e quando não tem as suas necessidades atendidas, principalmente em organizações públicas, a sociedade reage deixando que essas organizações sejam fechadas, privatizadas ou globalizadas.

Com o passar dos anos o controle da qualidade, que estava centralizado nos produtos, passou a dar importância à qualidade do trabalho executado e à qualidade do gerenciamento, tendo assim uma maior abrangência. Podendo-se falar que o TQC é uma prática de gerenciamento científico centralizado na qualidade, com o objetivo de assegurar a satisfação dos clientes [108].

APÊNDICE II

TABELAS DE FATORES DE CORREÇÃO DEVIDO À TEMPERATURA

TABELA I: CORREÇÃO DO FP DE PERDAS - GENERAL ELETRIC E WESTINGHOUSE

General Eletric				Temp. (°C)	Westinghouse				
Tipo B	Tipo F	Tipos L –LC – LI - LM	Tipos OF – OFI - OFM		Tipos S –SI - SM	Tipo U	Tipo D	Condensiva, exceto Tipo O	Tipo O
1,09	0,93	1,00	1,18	0	1,26	1,02	1,26	1,21	1,11
1,09	0,94	1,00	1,17	1	1,25	1,02	1,24	1,56	1,10
1,09	0,95	1,00	1,16	2	1,24	1,02	1,23	1,52	1,10
1,09	0,96	1,00	1,15	3	1,22	1,02	1,22	1,48	1,09
1,09	0,97	1,00	1,15	4	1,21	1,02	1,20	1,44	1,09
1,09	0,98	1,00	1,14	5	1,20	1,02	1,19	1,40	1,08
1,08	0,98	1,00	1,13	6	1,19	1,01	1,18	1,36	1,08
1,08	0,98	1,00	1,12	7	1,17	1,01	1,16	1,33	1,07
1,08	0,66	1,00	1,11	8	1,16	1,01	1,15	1,30	1,07
1,07	0,99	1,00	1,11	9	1,15	1,01	1,14	1,26	1,06
1,07	0,99	1,00	1,10	10	1,14	1,01	1,12	1,23	1,05
1,07	0,99	1,00	1,09	11	1,12	1,01	1,10	1,21	1,05
1,06	0,99	1,00	1,08	12	1,11	1,01	1,09	1,18	1,04
1,06	0,99	1,00	1,07	13	1,10	1,01	1,07	1,16	1,04
1,05	1,00	1,00	1,06	14	1,08	1,01	1,06	1,13	1,03
1,05	1,00	1,00	1,05	15	1,07	1,01	1,05	1,11	1,03
1,04	1,00	1,00	1,04	16	1,06	1,00	1,04	1,09	1,02
1,03	1,00	1,00	1,03	17	1,04	1,00	1,03	1,06	1,02
1,02	1,00	1,00	1,02	18	1,03	1,00	1,02	1,04	1,01
1,01	1,00	1,00	1,01	19	1,01	1,00	1,01	1,02	1,01
1,00	1,00	1,00	1,00	20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,98	0,99	1,00	0,99	21	0,98	1,00	0,99	0,98	0,99
0,97	0,99	0,99	0,97	22	0,97	1,00	0,97	0,96	0,99
0,95	0,98	0,99	0,96	23	0,95	1,00	0,96	0,94	0,98
0,93	0,97	0,99	0,94	24	0,93	1,00	0,95	0,92	0,98
0,92	0,97	0,99	0,93	25	0,92	1,00	0,94	0,90	0,97
0,90	0,96	0,98	0,91	26	0,90	1,00	0,92	0,88	0,96
0,88	0,95	0,98	0,90	27	0,89	0,99	0,91	0,86	0,96
0,85	0,94	0,97	0,88	28	0,87	0,99	0,90	0,84	0,95
0,83	0,93	0,96	0,87	29	0,86	0,99	0,89	0,83	0,94
0,81	0,92	0,96	0,86	30	0,84	0,99	0,87	0,81	0,94
0,80	0,91	0,95	0,84	31	0,83	0,99	0,86	0,79	0,93
0,77	0,89	0,95	0,83	32	0,81	0,99	0,85	0,77	0,93
0,75	0,88	0,95	0,81	33	0,79	0,99	0,83	0,75	0,92
0,73	0,87	0,94	0,80	34	0,77	0,99	0,82	0,74	0,92
0,71	0,85	0,94	0,78	35	0,76	0,99	0,81	0,72	0,91
0,69	0,84	0,93	0,77	36	0,74	0,98	0,79	0,70	0,91
0,67	0,83	0,92	0,75	37	0,72	0,98	0,78	0,69	0,90
0,65	0,81	0,91	0,74	38	0,70	0,98	0,77	0,67	0,89
0,63	0,80	0,90	0,72	39	0,68	0,98	0,75	0,66	0,88
0,61	0,78	0,89	0,70	40	0,67	0,98	0,74	0,64	0,88
-	0,76	0,88	0,68	41	0,65	0,98	0,73	0,63	0,87
-	0,74	0,87	0,67	42	0,63	0,98	0,71	0,62	0,87
-	0,72	0,86	0,65	43	0,61	0,98	0,70	0,60	0,86
-	0,70	0,85	0,63	44	0,60	0,98	0,69	0,59	0,86
-	0,67	0,84	0,62	45	0,58	0,98	0,67	0,57	0,85
-	0,64	0,83	0,61	46	0,56	0,97	0,65	0,56	0,85
-	0,61	0,82	0,60	47	0,55	0,97	0,64	0,55	0,84
-	0,58	0,82	0,58	48	0,53	0,97	0,62	0,53	0,83
-	0,55	0,81	0,57	49	0,52	0,97	0,61	0,52	0,82
-	0,52	0,80	0,56	50	0,50	0,97	0,59	0,51	0,82
-	-	0,79	0,53	52	0,47	0,97	0,58	0,50	0,81
-	-	0,78	0,51	54	0,44	0,97	0,57	0,48	0,80
-	-	0,77	0,49	56	0,41	0,96	0,56	0,47	0,79
-	-	0,76	0,46	58	0,38	0,96	0,55	0,46	0,78
-	-	0,74	0,44	60	0,36	0,96	0,54	0,45	0,77
-	-	0,73	0,42	62	0,33	-	0,53	0,44	0,76
-	-	0,72	0,40	64	0,31	-	0,52	0,43	0,75
-	-	0,70	0,39	66	0,28	-	0,51	0,42	0,74
-	-	0,69	0,37	68	0,26	-	0,50	0,41	0,73
-	-	0,66	0,36	70	0,23	-	0,49	0,40	0,73
-	-	-	0,34	72	0,21	-	-	-	-
-	-	-	0,33	74	0,19	-	-	-	-
-	-	-	0,31	76	0,17	-	-	-	-
-	-	-	0,30	78	0,16	-	-	-	-
-	-	-	0,29	80	0,15	-	-	-	-

TABELA II: CORREÇÃO DE FP DE PERDAS - OHIO BRASS E LÍQUIDOS ISOLANTES

Buchas Ohio Brass					Temp. (°C)	Líquidos Isolantes			
Classe POC – 15 kV até 69 kV	Classe G & L – 46 kV até 138 kV	Classe L – 7,5 kV até 34,5 kV	Classe GK – 69 kV até 196 kV	Classe LK – 23 kV até 69 kV		Ascarel	Com respiradouro ou conservador	Selado ou com vedação à gás	TP's com óleo
1,00	1,54	1,29	0,90	0,85	0	-	1,56	1,57	1,67
1,00	1,50	1,27	0,90	0,86	1	-	1,54	1,54	1,64
1,00	1,47	1,26	0,91	0,86	2	-	1,52	1,50	1,61
1,00	0,43	1,25	0,91	0,86	3	-	1,50	1,47	1,58
1,00	1,40	1,24	0,91	0,87	4	-	1,48	1,44	1,55
1,00	1,37	1,23	0,91	0,88	5	-	1,46	1,41	1,52
1,00	1,34	1,21	0,92	0,89	6	-	1,45	1,39	1,49
1,00	1,32	1,20	0,92	0,89	7	-	1,44	1,34	1,46
1,00	1,29	1,19	0,92	0,90	8	-	1,43	1,31	1,43
1,00	1,26	1,17	0,93	0,91	9	-	1,41	1,28	1,40
1,00	1,24	1,16	0,93	0,92	10	-	1,38	1,25	1,36
1,00	1,21	1,14	0,94	0,92	11	-	1,35	1,22	1,33
1,00	1,18	1,12	0,94	0,93	12	-	1,31	1,19	1,30
1,00	1,16	1,11	0,95	0,94	13	-	1,27	1,16	1,27
1,00	1,14	1,09	0,95	0,95	14	-	1,24	1,14	1,23
1,00	1,11	1,07	0,96	0,95	15	-	1,20	1,11	1,19
1,00	1,09	1,06	0,97	0,96	16	-	1,16	1,09	1,16
1,00	1,07	1,04	0,97	0,97	17	-	1,12	1,07	1,12
1,00	1,04	1,03	0,98	0,98	18	-	1,08	1,05	1,08
1,00	1,02	1,02	0,99	0,99	19	-	1,04	1,02	1,04
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	20	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	0,98	0,99	1,01	1,01	21	0,95	0,96	0,98	0,97
1,00	0,95	0,97	1,02	1,02	22	0,90	0,91	0,96	0,93
1,00	0,93	0,96	1,03	1,03	23	0,85	0,87	0,94	0,90
1,00	0,91	0,94	1,04	1,04	24	0,81	0,83	0,92	0,86
1,00	0,89	0,93	1,05	1,05	25	0,76	0,79	0,90	0,83
1,00	0,88	0,91	1,06	1,06	26	0,82	0,76	0,88	0,80
1,00	0,86	0,90	1,08	1,07	27	0,68	0,73	0,86	0,77
1,00	0,84	0,88	1,9	1,08	28	0,64	0,70	0,84	0,74
1,00	0,82	0,87	1,10	1,09	29	0,60	0,67	0,82	0,71
1,00	0,80	0,86	1,11	1,10	30	0,56	0,63	0,80	0,69
1,00	0,79	0,84	1,12	1,11	31	0,53	0,60	0,78	0,67
1,00	0,77	0,83	1,13	1,12	32	0,51	0,58	0,76	0,65
1,00	0,75	0,82	1,14	1,13	33	0,48	0,56	0,75	0,62
1,00	0,74	0,80	1,15	1,14	34	0,46	0,53	0,73	0,60
1,00	0,72	0,79	1,16	1,15	35	0,44	0,51	0,71	0,58
1,00	0,71	0,78	1,17	1,15	36	0,42	0,49	0,70	0,56
1,00	0,69	0,76	1,18	1,16	37	0,40	0,47	0,69	0,54
1,00	0,68	0,75	1,19	1,17	38	0,39	0,45	0,67	0,52
1,00	0,66	0,74	1,20	1,18	39	0,37	0,44	0,66	0,50
1,00	0,65	0,72	1,21	1,18	40	0,35	0,42	0,65	0,48
-	-	-	1,21	1,19	41	0,34	0,40	0,63	0,47
-	-	-	1,22	1,19	42	0,33	0,38	0,62	0,45
-	-	-	1,23	1,20	43	0,31	0,37	0,60	0,44
-	-	-	1,24	1,20	44	0,30	0,36	0,59	0,42
-	-	-	1,25	1,21	45	0,29	0,34	0,57	0,41
-	-	-	1,26	1,21	46	0,28	0,33	0,56	-
-	-	-	1,26	1,21	47	0,27	0,31	0,55	-
-	-	-	1,27	1,21	48	0,26	0,30	0,54	-
-	-	-	1,28	1,22	49	0,25	0,29	0,52	-
-	-	-	1,29	1,22	50	0,24	0,28	0,51	-
-	-	-	1,30	1,22	52	0,22	0,26	0,49	-
-	-	-	1,31	1,22	54	0,21	0,23	0,47	-
-	-	-	1,33	1,22	56	0,19	0,21	0,45	-
-	-	-	1,34	1,21	58	0,18	0,19	0,43	-
-	-	-	1,35	1,21	60	0,16	0,17	0,41	-
-	-	-	-	-	62	0,15	0,16	0,40	-
-	-	-	-	-	64	0,14	0,15	0,38	-
-	-	-	-	-	66	0,14	0,14	0,36	-
-	-	-	-	-	68	0,13	0,13	0,35	-
-	-	-	-	-	70	0,12	0,12	0,33	-
-	-	-	-	-	72	0,11	0,12	0,32	-
-	-	-	-	-	74	0,11	0,11	0,31	-
-	-	-	-	-	76	0,10	0,10	0,30	-
-	-	-	-	-	78	0,09	0,09	0,28	-
-	-	-	-	-	80	0,09	0,09	0,27	-

TABELA III: CORREÇÃO DA MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO, A 20°C

Temperatura (°C)	Fator de correção	Temperatura (°C)	Fator de correção
0	0,250	40	3,95
1	0,270	41	4,25
2	0,290	42	4,50
3	0,310	43	4,85
4	0,334	44	5,22
5	0,360	45	5,60
6	0,380	46	5,98
7	0,410	47	6,40
8	0,440	48	6,85
9	0,470	49	7,35
10	0,500	50	7,85
11	0,540	51	8,35
12	0,580	52	9,10
13	0,620	53	9,70
14	0,665	54	10,40
15	0,704	55	11,20
16	0,765	56	12,05
17	0,820	57	12,90
18	0,875	58	13,80
19	0,935	59	14,85
20	1,00	60	15,85
21	1,065	61	17,00
22	1,145	62	18,20
23	1,230	63	19,50
24	1,31	64	21,00
25	1,40	65	22,40
26	1,51	66	24,20
27	1,68	67	25,80
28	1,73	68	27,70
29	1,84	69	29,60
30	1,98	70	31,75
31	2,12	70	34,00
32	2,28	72	36,40
33	2,44	73	39,00
34	2,62	74	41,70
35	2,80	75	44,70
36	3,00	76	48,73
37	3,22	77	52,20
38	3,44	78	56,00
39	3,70	79	59,60
		80	63,75