

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

***UM MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO QUALITATIVA
DE SOBRESSALENTES PARA HIDROGERADORES***

LUIZ FRANCISCO GIACOMET

FLORIANÓPOLIS

2001

LUIZ FRANCISCO GIACOMET

***UM MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO QUALITATIVA
DE SOBRESSALENTE PARA HIDROGERADORES***

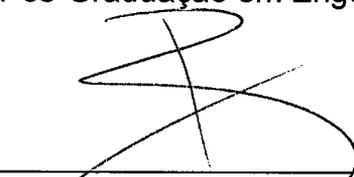
Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia, especialidade Engenharia de Produção, aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

FLORIANÓPOLIS

2001

UM MÉTODO PARA DETERMINAÇÃO QUALITATIVA DE SOBRESSALENTES PARA HIDROGERADORES

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia, especialidade Engenharia de Produção, aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.



Prof. Ricardo Miranda Barcia, Ph.D
Coordenador do Curso de Pós-Graduação

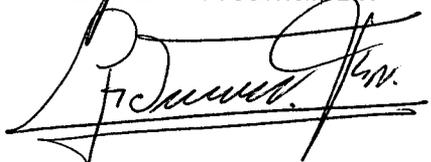
Banca Examinadora:



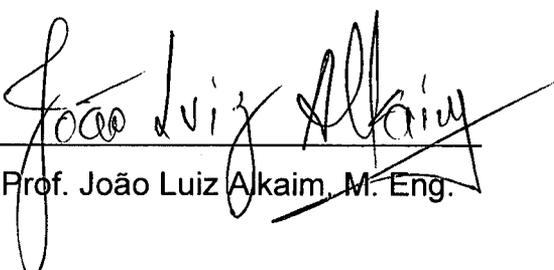
Prof. Oscar Ciro Lopez Vaca, Dr. Eng.
Orientador



Prof. Osmar Possamai, Dr.



Eng.º. Carlos Manuel Cardozo Florentin, Dr. Eng.



Prof. João Luiz Akaim, M. Eng.

Senhor !

Fazei de mim um instrumento de Vossa paz !

Onde houver ódio, que eu leve o amor.

Onde houver ofensa, que eu leve o perdão.

Onde houver discórdia , que eu leve a união.

Onde houver dúvidas, que eu leve a fé

Onde houver erros, que eu leve a verdade.

Onde houver desespero, que eu leve a esperança

Onde houver tristeza, que eu leve a alegria

Onde houver trevas, que eu leve a luz.

Ó mestre, fazei que eu procure mais

consolar, que ser consolado;

compreender, que ser compreendido;

amar, que ser amado...

pois

é dando que se recebe;

é perdoando que se é perdoado;

e é morrendo que se vive para a vida eterna.

Amém.

Oração de São Francisco de Assis

Dedico este trabalho à minha esposa Anelise e aos meus filhos Bruno e Bianca, a quem amo, admiro e me orgulho!

Agradecimentos

Os meus sinceros agradecimentos a todas às pessoas e instituições, cuja ajuda, direta ou indireta, tornou possível a realização deste trabalho.

Ao meu Professor orientador Oscar Ciro Lopez V., Dr. pelo auxílio e orientação na execução deste trabalho.

Ao professor Osmar Possamai, Dr., cujo apoio e contribuição enriqueceram o trabalho e pela sua participação na banca examinadora.

Ao Prof. João Luiz Alkaim, M. Eng. e ao Eng^o. Carlos Manuel Cardozo Florentin, Dr. pela participação na banca examinadora.

À Itaipu Binacional, aos colegas, ao Eng^o. Alexandre Machado Fernandes Filho e ao Eng^o. Ricardo Cesar Pamplona da Silva o agradecimento pela viabilização da minha participação, pelo apoio e colaboração neste curso de mestrado.

À Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC , aos professores do Curso de Engenharia de Produção e Sistemas - EPS, pelo apoio, incentivo e colaboração no curso de mestrado.

Ao meu amigo e colega Eng. Edson Luis Pedrassani pelo apoio e pelas idéias na elaboração deste trabalho.

Ao Mr. Sammers Holway pelo auxílio e contribuição nos trabalhos de tradução.

À minha amiga Professora Maria Aparecida Q. Fernandes pelo trabalho de correção e enriquecimento do texto.

A minha esposa Anelise e aos meus filhos Bruno e Bianca pela compreensão, estímulo e paciência que foram fundamentais durante a elaboração deste trabalho.

SUMÁRIO

| | |
|--|-------------|
| LISTA DE FIGURAS | IX |
| LISTA DE TABELAS | X |
| LISTA DE QUADROS | XI |
| LISTA DE ANEXOS | XII |
| GLOSSÁRIO | XIV |
| RESUMO | XVI |
| ABSTRACT | XVII |
| CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 Objetivo geral | 3 |
| 1.2 Objetivos específicos | 3 |
| 1.3 Metodologia | 4 |
| 1.4 Delimitação | 4 |
| 1.5 Estrutura do trabalho | 4 |
| CAPÍTULO 2 - A ENERGIA ELÉTRICA | 6 |
| 2.1 A história da eletricidade | 7 |
| 2.1.1 A eletricidade no Brasil | 8 |
| 2.1.2 O papel do estado no mercado da energia elétrica | 10 |
| 2.1.3 A integração dos Sistemas Elétricos | 11 |
| 2.1.4 O novo modelo do setor elétrico | 11 |
| 2.1.5 Sistema Elétrico atual do Brasil | 12 |
| 2.2 Qualidade da energia elétrica | 14 |
| 2.2.1 Características técnicas da energia elétrica | 16 |
| 2.2.2 Adequação ao uso da energia elétrica | 18 |
| CAPÍTULO 3 - A MANUTENÇÃO | 19 |
| 3.1 Os aspectos do projeto | 19 |
| 3.1.1 Confiabilidade | 22 |
| 3.1.2 Curva da banheira tradicional | 23 |
| 3.1.3 Manutenibilidade | 25 |
| 3.1.4 Disponibilidade | 26 |

| | |
|--|-----------|
| 3.2 Manutenção | 26 |
| 3.2.1 Conceitos básicos de manutenção | 27 |
| 3.2.2 Evolução da manutenção..... | 31 |
| 3.2.3 Um novo conceito de manutenção..... | 33 |
| 3.3 Administração de materiais | 34 |
| 3.3.1 Sistema logístico de suprimento de materiais | 35 |
| 3.4 Sobressalente como suporte à manutenção | 36 |
| 3.4.1 Características das peças sobressalentes | 36 |
| 3.4.2 Gerenciamento de peças sobressalentes | 39 |
| 3.4.3 Técnica de previsão de consumo..... | 40 |
| 3.4.4 Local de armazenagem..... | 42 |
| 3.5 Análise da modalidade de falha | 43 |
| 3.5.1 As ferramentas tradicionais da qualidade | 44 |
| 3.5.2 Construção da hierarquia dos conjuntos..... | 45 |
| 3.5.3 Análise do componente na hierarquia | 46 |
| 3.6 Análise de manutenção corretiva - AMC | 46 |
| CAPÍTULO 4 - MÉTODO PROPOSTO PARA DETERMINAÇÃO QUALITATIVA DOS SOBRESSALENTES | 49 |
| 4.1 Preparação e estudos preliminares | 49 |
| 4.1.1 Elaboração da árvore hierárquica do gerador | 49 |
| 4.1.2 Levantamento dos modos defalha | 50 |
| 4.2 Procedimento de análise | 51 |
| 4.2.1 Procedimento de análise dos modos de falha..... | 53 |
| 4.2.2 Preenchimento do Formulário de Análise do Modo e Fonte de Falha | 56 |
| 4.2.3 Determinação dos sobressalentes pela aplicação do método | 57 |
| CAPÍTULO 5 - ESTUDO DE CASO | 60 |
| 5.1 Requisitos técnicos do projeto de Itaipu | 61 |
| 5.1.1 Arranjo da Casa de Força de Itaipu | 61 |
| 5.1.2 A unidade Geradora | 63 |
| 5.1.3 Gerador | 64 |
| 5.1.4 Estator | 66 |
| 5.1.5 Rotor | 68 |
| 5.1.6 Eixo | 69 |
| 5.1.7 Cruzeta superior..... | 69 |
| 5.1.8 A perspectiva do gerador | 70 |
| 5.2 Relação atual de peças sobressalentes do gerador | 72 |
| 5.3 Aplicação do método proposto | 73 |
| 5.3.1 Aplicação do método proposto na Unidade Geradora | 73 |
| 5.3.2 Obtenção da Lista de Sobressalentes pela aplicação no método..... | 74 |

| | |
|--|-----------|
| 5.4 Listas de sobressalentes do gerador..... | 75 |
| 5.4.1 Lista de sobressalentes descartáveis do gerador..... | 78 |
| 5.4.2 Lista de sobressalentes reparáveis (recicláveis) do gerador..... | 79 |
| 5.4 Comparação dos resultados obtidos com a relação atual do gerador..... | 75 |
| CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES | 80 |
| 6.1 Conclusões | 80 |
| 6.2 Sugestões para trabalhos futuros de dissertação..... | 81 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 83 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 87 |
| ANEXOS..... | 88 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Conceitos de vida útil de um equipamento..... | 21 |
| Figura 2 - Curva da banheira tradicional..... | 23 |
| Figura 3 - Hierarquia dos conjuntos | 45 |
| Figura 4 - Fluxograma Análise de manutenção Corretiva – AMC..... | 52 |
| Figura 5 - Configuração da Unidade Geradora..... | 62 |
| Figura 6 - Configuração do Gerador..... | 63 |
| Figura 7 - Configuração do Gerador objeto de estudo do trabalho..... | 64 |
| Figura 8 - Configuração da árvore hierárquica do Gerador..... | 65 |
| Figura 9 - Perspectiva do Gerador de Itaipu; | 69 |
| Figura 10 - Perspectiva explodida da Unidade Geradora de Itaipu; | 70 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Geração de energia elétrica no Mundo e no Brasil..... | 12 |
| Tabela 2 - Evolução da capacidade instalada de energia elétrica em MW..... | 13 |
| Tabela 3 - Evolução da Usina de Itaipu no sistema elétrico nacional..... | 14 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 - Modos de falha | 48 |
| Quadro 2 - Formulário de Análise do Modo e Fonte de Falha..... | 50 |
| Quadro 3 - Relação atual de peças sobressalentes do gerador..... | 71 |
| Quadro 4 - Componentes, peças e equipamentos analisados do gerador..... | 73 |
| Quadro 5 - Lista de sobressalentes obtida pela aplicação do método..... | 74 |
| Quadro 6 - Lista de sobressalentes descartáveis..... | 76 |
| Quadro 7 - Lista de sobressalentes recuperáveis (recicláveis) | 77 |
| Quadro 8 - Comparação dos resultados | 78 |

LISTA DE ANEXOS

| | |
|--|-----|
| Anexo -1 – anel coletor..... | 89 |
| Anexo -2 – termostato 38SH..... | 90 |
| Anexo -3 – porta-escova..... | 91 |
| Anexo -4 – escova..... | 92 |
| Anexo -5 – barramento de campo..... | 93 |
| Anexo -6 – pólo..... | 94 |
| Anexo-7 - chaveta de fixação..... | 95 |
| Anexo -8 – conexão polar..... | 96 |
| Anexo-9 - parafuso de fixação..... | 97 |
| Anexo -10 – conexão de amortecimento..... | 98 |
| Anexo-11 - parafuso de fixação..... | 99 |
| Anexo -12 – coroa; | 100 |
| Anexo -13 – cubo e aranha. | 101 |
| Anexo -14 – RTD entre barras..... | 102 |
| Anexo -15 – esteca..... | 103 |
| Anexo -16 – barra estatórica..... | 104 |
| Anexo -17 – enrolamento da armadura..... | 105 |
| Anexo -18 – tirante de aperto do núcleo..... | 106 |
| Anexo -19 – RTD do núcleo..... | 107 |
| Anexo-20 - guias de ar..... | 108 |
| Anexo-21 - junta flexível..... | 109 |
| Anexo -22 – radiador. | 110 |
| Anexo -23 – RTD ar do radiador..... | 111 |
| Anexo -24 – RTD água de saída do radiador..... | 112 |
| Anexo -25 – válvulas do radiador..... | 113 |
| Anexo -26 – juntas de vedação..... | 114 |
| Anexo-27 – fluxômetro | 115 |
| Anexo -28 – carcaça-núcleo. | 116 |
| Anexo -29 – sensor de umidade 45HU..... | 118 |
| Anexo -30 – sapata. | 119 |
| Anexo -31 – RTD sapata do MGS..... | 120 |
| Anexo-32 - aeração..... | 121 |

| | |
|---|-----|
| Anexo-33 - labirinto..... | 122 |
| Anexo -34 – óleo lubrificante..... | 123 |
| Anexo -35 – RTD óleo lubrificante. | 124 |
| Anexo -36 – supervisão do MGS..... | 125 |
| Anexo -37 – trocador de calor..... | 127 |
| Anexo -38 – RTD água do trocador de calor..... | 128 |
| Anexo -39 – junta de vedação do MGS..... | 129 |
| Anexo -40 – mancal guia superior..... | 130 |
| Anexo -41 – eixo superior..... | 131 |
| Anexo-42 - parafuso de acoplamento eixo superior..... | 132 |
| Anexo -43 – eixo inferior..... | 133 |
| Anexo-44 - parafuso de acoplamento eixo inferior..... | 134 |

GLOSSÁRIO

| | |
|--|-----|
| AAC - Ajustar, Alinhar, Calibrar..... | 50 |
| ABINEE - Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica..... | 2 |
| ABNT – Associação brasileira de Normas Técnicas | 60 |
| AMC - Análise de Manutenção Corretiva..... | 4 |
| AMFORD - <i>American Foreign & Power Company</i> | 9 |
| ANDE - <i>Administracion Nacional de Eletricidad</i> | 11 |
| ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica..... | 17 |
| ANSI - <i>American National Standards Institute</i> | 60 |
| ASTM - <i>American Society for Testing and Material</i> | 60 |
| BOEING - <i>The Boeing Company</i> | 43 |
| CESP - Companhia Energética de São Paulo SA..... | 33 |
| CD - <i>Compact disc</i> | 6 |
| CI - Circuito Integrado..... | 14 |
| CIER - <i>Comisión de Integración Eléctrica Regional</i> | 12 |
| DSC - Descartar o Item..... | 50 |
| ELETOBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras SA..... | 10 |
| ELETRONORTE - Centrais Elétrica do Norte do Brasil SA | 11 |
| ELETROSUL- Centrais elétrica do Sul do Brasil SA | 11 |
| F - Classificação de isolante elétrico quanto à temperatura..... | 66 |
| f.e.m - Força Eletromotriz Induzida..... | 104 |
| FURNAS - Furnas Centrais Elétricas SA..... | 10 |
| GE - <i>General Electric</i> | 7 |
| GWh - Giga Watt hora..... | 13 |
| Hz – Frequência em Hertz..... | 20 |
| IEC - <i>International Electrotechnical Commission</i> | 60 |
| IECO-ELC - <i>International Engineering Company - Electroconsult</i> | 59 |
| IEEE - <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> | 14 |
| ILR - Inspeccionar, Limpar Reapertar o item..... | 50 |
| ISO - <i>International Standards Organization</i> | 60 |
| KW - Kilo Watt | 1 |
| KWh - Kilo Watt hora..... | 33 |
| LIGTH - <i>The São Paulo Ligth & Power Company</i> | 8 |

| | |
|--|----|
| MCC - Manutenção Centrada em confiabilidade..... | 4 |
| MGS - Mancal Gula Superior..... | 65 |
| MTBF - Mean Time Between Failure | 20 |
| MTTR - Média dos Tempos Técnicos de Reparo | 21 |
| MW - Mega Watt..... | 10 |
| MWh - Mega Watt hora..... | 27 |
| NA - Não Aplicável..... | 50 |
| NEMA - <i>National Electrical Manufactures Association</i> | 60 |
| NPB - Nível Próximo mais Abaixo na Hierarquia..... | 50 |
| ONS - Operador Nacional de Sistema | 12 |
| PETROBRÁS - Petróleo Brasileiro S. A..... | 78 |
| PIC - Planilha de Inspeção e Controle | 48 |
| RBE – Revista Brasileira de Energia..... | 34 |
| RCS - Reliability Centered Spares..... | 2 |
| REP - Reparar o Item..... | 60 |
| RL - Reparar no Local do Item..... | 60 |
| R&S - Substituir o Item..... | 60 |
| RTD - <i>Resistor Temperature Detector</i> | 66 |
| SEL - Selecionar se Descarta ou Repara o Item..... | 60 |
| SOM - Sistema de Operação e Manutenção..... | 84 |
| TBF - Tempo de Bom Funcionamento..... | 21 |
| UNIOESTE - Universidade Estadual do Oeste do Paraná | 12 |

RESUMO

A dependência e o consumo de energia elétrica, atualmente, para o mundo civilizado desenvolveram-se de tal maneira que a falta de fornecimento é catastrófica. A reestruturação e as mudanças do sistema elétrico brasileiro, em 1995, no que se refere à continuidade e conformidade de fornecimento, introduziram a figura do cliente de energia elétrica e o incremento de consumidores com equipamentos sensíveis a qualquer variação da qualidade de energia elétrica, obrigando as empresas de energia elétrica a assegurarem, de forma contínua e eficiente, o fornecimento de energia elétrica, evitando a todo o custo as interrupções. Para o atendimento das necessidades de manutenção, o estoque de sobressalentes das empresas de energia elétrica, deve ser assegurado com uma grande variedade de componentes, peças e equipamentos, de custos elevados. Este trabalho tem como objetivo desenvolver um método para determinação qualitativa dos componentes, peças e equipamentos que devem fazer parte do escopo ou inventário dos sobressalentes, como suporte à manutenção, da unidade geradora de uma usina hidrelétrica, através do método de análise da manutenção corretiva, que procura identificar as tarefas específicas de cada modalidade de falha e as respectivas fontes de falha. Também o método identifica as peças e equipamentos que são descartados e os que são recuperados (reciclados) e retornam para o escopo de sobressalentes e ressalta os envolvimento com a qualidade da energia elétrica, a confiabilidade, a manutenibilidade e a disponibilidade.

ABSTRACT

The dependence and consumption of electric power throughout the civilized world has developed in such a manner that a break in the supply produces catastrophic results. The restructuring and changes that have occurred since 1995 in the Brazilian electrical system regarding the continuity and conformity of the supply, have introduced the demands of the electric power customer and the increase in consumers with equipment that is sensitive to any variation in the quality of the supply. This has obliged the electric utilities to ensure the provision of electric power in a continuous and efficient manner, at all costs avoiding interruptions. In order to cover maintenance requirements, a constant provision of spare parts should be assured by stocking a great variety of highly-priced components, spares parts and equipments. The purpose of the present paper is to develop a method for qualitative evaluation of the components, parts and equipment that comprise the scope or inventory of the spares destined to support the maintenance of the generator plant of a hydroelectric power station, by employing the method of analysing the corrective maintenance which a view to identifying the specific tasks involved in each failure mode and the respective sources of failure. The method also identifies the parts and equipment to be discarded or which, after recuperation (recycling), return to stock, and highlights the commitment to electric power quality and reliability, together with its dependence on the maintainability and availability of the generating plant.

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Desde a antigüidade, a economia das civilizações sempre foi fortemente baseada na agricultura. O homem, na luta pela sobrevivência e melhoria de condições de vida, defrontou-se com os problemas de deslocar a água ou outro líquido de um local para outro, e o de utilizar a energia da água para acionar dispositivos mecânicos, capazes não só de substituir o trabalho braçal, mas também de realizar trabalhos, cuja magnitude pudesse superar qualquer conjugação de esforços humanos. (Macintyre, 1983, p.1)

A principal fonte de energia utilizada na época do descobrimento do Brasil era a força animal, que desempenhava um papel fundamental nas atividades agrícolas, no transporte de mercadorias e de pessoas por via terrestre. A lenha era usada como fonte de calor, a energia hidráulica nos moinhos d'água, e em menor escala os moinhos de vento, completavam a força humana nas atividades produtivas. (500 anos Energia Elétrica no Brasil, 2000, p.16 e17)

O aproveitamento da energia hidráulica, com finalidade de transformá-la em trabalho mecânico, permitiu a fabricação de uma grande variedade de máquinas, em geral, classificadas segundo o modo preponderante pela qual a energia hidráulica é transformada em trabalho mecânico.

A turbina é uma máquina hidráulica, cuja origem remonta ao ano de 1827, de onde evoluiu, desde algumas dezenas de kW, fornecidos pelos modelos primitivos até alcançarem hoje em dia potências consideráveis (Macintyre, 1983, p.2), como é o caso da Usina Hidroelétrica de Itaipu, que possui turbinas com potência superior a 700 000 kW. (Itaipu, 1994, p.3.11)

O progresso tecnológico e científico tornou possível a transformação da energia hidráulica em energia elétrica, graças à qual foi possível chegar-se ao grau de adiantamento e conforto em que hoje em dia parte da humanidade vive.

Mas a dependência e o consumo de energia elétrica do mundo civilizado desenvolveu-se de tal maneira que a falta de fornecimento, hoje, é catastrófica.

Com a segmentação da indústria eletrotécnica e a indústria da energia elétrica, no final do século XIX, houve a quebra do vínculo, entre o fabricante e os usuários dos equipamentos, e forçou a necessidade da empresa de energia elétrica de manter estoque de componentes, peças e equipamentos sobressalentes, para seu uso nas manutenções.

A indústria, neste século, mecanizou-se de uma forma crescente, para gerar bens e a medida que as máquinas se tornaram parte mais importante na produção, o tempo de parada dos equipamentos, por falha, ficou cada vez mais crítico.

O ano de 1995 marcou o início de uma profunda reestruturação do sistema elétrico brasileiro, e o novo modelo institucional inseriu, no setor elétrico nacional, mudanças de comportamento.

A legislação vigente está sendo modificada pelo órgão regulador, no que se refere à continuidade e conformidade de fornecimento de energia elétrica, limitando, controlando e até penalizando em caso de violações dos padrões de continuidade e as empresas foram obrigadas a assegurarem, de forma contínua e eficiente, o fornecimento de energia elétrica, com melhor qualidade, evitando, a todo custo, as interrupções. (Revista ABINEE, 2000, p.11)

Para o atendimento de suas necessidades de manutenção e operação, o estoque de peças sobressalentes das empresas de energia elétrica, deve assegurar uma grande variedade de peças e equipamentos, desde os consumíveis mais baratos, aos de peças críticas de reserva assegurada, com custos elevados, as quais poderão não ser usadas durante a vida inteira do equipamento ou até da empresa.(RCS,1999, Internet)

Olhando pela ótica financeira, talvez estas peças ou equipamentos nunca deveriam ter sido comprados e por outro lado, se não estivessem disponíveis quando necessárias, a empresa poderia sofrer conseqüências de tempo de manutenção prolongada e perdas econômicas de vulto.

Na elaboração de especificação técnica, ordem de compra, projetos, que envolvam a determinação de peças sobressalentes para um equipamento a ser adquirido, há dificuldade em avaliar se a escolha das peças que compõem o escopo de peças sobressalentes de um determinado equipamento, foram as mais adequadas.

No processo de escolha tradicionalmente prevalecem a opinião e a preferência de técnicos especializados, com larga experiência de campo cujos critérios normalmente não são explícitos. O inventário ou levantamento para determinação de peças sobressalentes deve basear-se nos requisitos de projeto e nas exigências da manutenção e operação e não em recomendações ou julgamentos subjetivos.

1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um método para determinação qualitativa de quais componentes, peças e equipamentos devem fazer parte da lista ou inventário das peças sobressalentes, como suporte às atividades de manutenção e operação dos equipamentos.

1.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos este trabalho procura:

- identificar os componentes, peças e equipamentos críticos, pertencentes ao grupo de sobressalentes necessários, como suporte às atividades de manutenção;
- identificar as peças e equipamentos que foram substituídos, na ocorrência de falhas e descartados do processo;
- identificar os equipamentos e peças substituídos, na ocorrência de falhas, e restauradas ou recicladas para retornarem como sobressalentes;
- Obter uma memória documentada sobre o processo de determinação do inventário dos sobressalentes.

1.3 Metodologia

O método empregado neste trabalho, para o levantamento do escopo de sobressalentes, é baseado na análise de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) e na Análise de Manutenção Corretiva (AMC).

1.4 Delimitação

As limitações para desenvolvimento e execução deste trabalho devem-se de que o tema proposto é muito amplo e deve considerar uma grande variedade de componentes, peças e equipamentos, das mais diversas procedências e, desta forma, este trabalho enfatiza o levantamento qualitativo dos sobressalentes que devem fazer parte do escopo para o equipamento avaliado.

Para uma análise mais completa dos sobressalentes é necessário determinar quais componentes, peças e equipamentos devem fazer parte do escopo, ou seja análise qualitativa, e também é importante dimensioná-los, o que não faz parte do presente trabalho pois envolve análise de taxa de falha e modelos matemáticos de confiabilidade, o que não é objeto de estudo do presente trabalho.

1.5 Estrutura do trabalho

O trabalho está estruturado da seguinte forma:

O Capítulo 2, A Energia Elétrica descreve a história e o papel do estado no mercado da energia elétrica, a integração dos sistemas elétricos, o novo modelo institucional do setor elétrico brasileiro e o sistema elétrico brasileiro atual. Também aborda sobre a qualidade, as características técnicas e a adequação do uso da energia elétrica.

O Capítulo 3, A Manutenção descreve os aspectos de projeto, a confiabilidade, a curva da banheira tradicional, a manutenibilidade e a disponibilidade. Define manutenção e os termos de uso corrente nas atividades e a

sua evolução para manutenção preditiva, a administração dos materiais e sistema logístico de suprimento, o sobressalente como suporte à manutenção, as características, o gerenciamento, as técnicas de previsão de consumo e armazenagem dos sobressalentes. O conceito da Manutenção Centrada em Confiabilidade – MCC, as ferramentas tradicionais da qualidade, a construção e análise da árvore hierárquica dos conjuntos, e finalmente o conceito da Análise de Manutenção Corretiva – AMC.

O Capítulo 4, Método Proposto para Determinação Qualitativa dos Sobressalentes mostra a preparação, estudos preliminares, a elaboração da árvore hierárquica dos conjuntos, o levantamento das modalidades de falha e suas respectivas fontes de falha, o procedimento de análise das modalidades de falha e a determinação dos sobressalentes pela aplicação do método.

O Capítulo 5, Estudo de Caso apresenta os requisitos técnicos do projeto e o arranjo da Casa de Força de Itaipu. Mostra a estrutura hierárquica da unidade geradora, o gerador e a configuração da árvore hierárquica, objeto de estudo do trabalho, uma descrição sucinta do gerador e as suas partes principais, a relação atual das peças sobressalentes da especificação técnica do gerador. Apresenta aplicação do Método Proposto na Unidade Geradora e a Lista de Sobressalentes do gerador obtida pela aplicação do método, lista de sobressalentes descartáveis, a lista de sobressalentes reparáveis (recicláveis) e finalmente a comparação entre a lista de sobressalentes obtida pela aplicação do método com a relação atual dos sobressalentes do gerador.

O Capítulo 6, Conclusões apresenta as conclusões do trabalho e as sugestões para trabalhos futuros. As Referências Bibliográficas e Bibliografia apresentam o material bibliográfico analisado, para a elaboração do trabalho. Os Anexos mostram os Formulários de Análise do Modo de Falha e Fonte de Falha da Unidade Geradora, devidamente preenchidos, para o estudo de caso.

CAPÍTULO 2 - A ENERGIA ELÉTRICA

Este capítulo relata a história da eletricidade, o início da necessidade de sobressalentes para a indústria da energia elétrica, a integração, situação atual do sistema elétrico brasileiro e a qualidade da energia elétrica, em especial a interrupção de fornecimento, com as novas exigências do mercado de energia.

2.1 A história da eletricidade

Chama-se eletrotécnica a parte da física que se dedica aos estudo das aplicações técnicas da eletricidade. Embora muitos fenômenos elétricos tivessem sido observados já na antigüidade, quase todas as leis que os regem só foram descobertas no século XIX. (Barsa CD,1998,sp)

A utilização comercial da energia elétrica ocorreu progressivamente ao longo do século XIX, sendo destinada inicialmente às comunicações via telégrafo e à galvanoplastia na indústria metalúrgica.

Uma série de descobertas científicas no século XIX criou as condições para o uso comercial da energia elétrica em larga escala, e as mais importantes, que ampliaram as perspectivas econômicas para o desenvolvimento da indústria da eletricidade e transformaram cada habitante urbano em um consumidor e/ou cliente em potencial da energia elétrica, foram a lâmpada incandescente e o motor elétrico.

O cientista Thomas Alva Edison inventou a lâmpada incandescente com filamento de carbono, em 21 de outubro de 1879, e o engenheiro sérvio-americano Nikola Tesla inventou o primeiro motor de indução de corrente alternada, em 1883, sendo considerado o protótipo do motor elétrico moderno. (Britannica,2000, Internet).

Para generalizar o consumo era preciso, no entanto, viabilizar um sistema centralizado de geração e distribuição de energia, aperfeiçoando-se o modelo de rede elétrica. Até então prevaleciam as pequenas fontes geradoras próprias, de localização pontual.

A primeira central elétrica dos Estados Unidos foi instalada por Thomas Edison, no ano de 1882, em Nova York. Tratava-se de um gerador movido a vapor com capacidade de 560 kW, que atendia 59 moradores, situados a distâncias inferiores a 800 metros. (Revista ABINEE, 2000, p.5)

A construção de centrais geradoras de maior porte ocorreu após o desenvolvimento comercial da corrente alternada, e a sua adoção no sistema de transmissão de energia elétrica no Estados Unidos pela empresa Westinghouse, em 1886, possibilitou a transmissão de energia elétrica a longas distâncias. (Britannica,2000, Internet)

Além da iluminação, a energia elétrica era aplicada no transporte urbano, como fonte de tração para veículos, e na indústria, como força motriz de motores fixos. Em 1879, a *Siemens* demonstrou, na Exposição Industrial de Berlim, a primeira ferrovia eletrificada. (Revista ABINEE, 2000, p.5)

As indústrias eletrotécnicas adquiriram a característica principal no final do século XIX, tornando-se grandes monopolistas, graças às fusões de empresas do setor. Como exemplos a *General Electric - GE*, em 1892 (Revista ABINEE, 2000, p.6) e a *Westinghouse Electric Company* em 1886. (Britannica,2000, Internet)

A indústria da eletricidade passou então a compor-se de dois ramos distintos, a indústria eletrotécnica, responsável pela produção de aparelhos, equipamentos e a sua instalação, e a indústria de energia elétrica, que exigia grandes volumes de capital para investir nos segmentos de geração, transmissão e distribuição.

No início da utilização comercial da energia elétrica não havia separação entre as duas áreas industriais. As empresas Edison ou Siemens, por exemplo, eram simultaneamente produtoras de equipamentos e geradoras de energia para consumo de terceiros. Com a tendência à especialização, as indústrias passaram a dedicar-se a apenas um dos tipos de produção.

Aqui caracteriza-se o início da necessidade, e previsão, das empresas da indústria da energia elétrica de estabelecer o estoque de peças e equipamentos sobressalentes para atender às necessidades da manutenção de suas empresas. Com a separação das duas áreas industriais rompeu-se o vínculo da indústria da eletricidade com o fabricante das peças e equipamentos.

2.1.1 A eletricidade no Brasil

A economia brasileira no final do século XIX, apoiava-se na exportação de bens primários. A crescente urbanização, o aumento da demanda por serviços públicos e o incremento das atividades industriais foram a mola propulsora das primeiras experiências no campo da energia elétrica.

O imperador D. Pedro II conheceu a eletricidade na exposição de Filadélfia em 1876 e introduziu a energia elétrica no Brasil. A primeira demonstração pública de iluminação, com lâmpadas elétricas, no Brasil foi em 1879, na atual Central do Brasil, com a instalação de seis lâmpadas na então chamada Estação Central da Estrada de Ferro D. Pedro II. (500 anos Energia Elétrica no Brasil, 2000, p.30)

A primeira utilização da energia hidrelétrica no país deu-se em 1883, quando foi instalada no ribeirão do Inferno (Diamantina - MG) a pequena usina para geração de energia elétrica para acionar máquinas de uma mina de diamantes. (500 anos Energia Elétrica no Brasil, 2000, p.32).

Impulsionada pela forte expansão da cafeicultura e o promissor início das atividades industriais, São Paulo era a porta ideal para os grupos estrangeiros, quando em 1899 a empresa canadense *The São Paulo Light & Power Co – Light* começou as suas atividades, atuando no transporte urbano movido a tração elétrica e a produção e distribuição de eletricidade para iluminação pública, doméstica e de uso industrial. (Revista ABINEE, 2000, p.6)

“Anunciou-se que em São Paulo ia ter bondes elétricos. Os tímidos veículos puxados a burros que cortavam a cidade provinciana, iam desaparecer para

sempre (...)” (Andrade, 1990, p.46) trecho do livro *Um Homem Sem Profissão*, escrito em 1900, fazendo uma referência histórica que retrata a chegada da *Light* em São Paulo.

Fortalecido, o grupo canadense estendeu seus negócios à capital da República, Rio de Janeiro, em 1905, onde se consolidaria com a construção da usina hidrelétrica de Ribeirão das Lajes. (Revista ABINEE, 2000, p.6)

Com a multiplicação do número de fábricas, e também graças à progressiva substituição do vapor pela eletricidade, o fortalecimento da energia elétrica ganhava importância decisiva e o consumo industrial crescia. Em São Paulo foram criadas pequenas empresas de energia elétrica que depois partiram para fusões. Processo semelhante ocorreu no Rio de Janeiro.

Na década de 1920, a *Light* promoveu um intenso processo de incorporação de empresas visando um crescimento de seu mercado. Em 1927, com a chegada da *American Foreign & Power Co. - Amford* (ligada ao poderoso grupo *Electric Bond & Share*) completou-se o capítulo de concentração e centralização do setor elétrico no Brasil, entre as duas empresas, ao se estabelecer, na prática, uma tácita divisão de mercados. (Revista ABINEE, 2000, p.7)

A *Light* concentrava suas atividades no eixo Rio-São Paulo, sobretudo nos pólos urbanos e industriais desses dois estados; e a *Amford* tomou conta do restante do país. O mercado de energia elétrica ficou praticamente dividido entre os dois grupos estrangeiros.

2.1.2 O papel do estado no mercado da energia elétrica

O aparato legal vigente no Brasil não colocava obstáculos ao capital estrangeiro. Não havia nenhum tipo de coordenação, controle ou política governamental que preservasse espaços para a empresa nacional ou interesses do governo federal.

Essa situação perdurou e foi aceita pelo Brasil até 1934, quando o Governo de Getúlio Vargas decretou o Código de Águas, que caracterizou as quedas d'água como bens distintos das terras e as incorporou ao patrimônio da nação. Seu aproveitamento industrial passou a depender de concessões que só poderiam ser outorgadas pelo governo federal. (500 anos Energia Elétrica no Brasil, 2000, p.94)

Até o final da década de 1940, o capital privado reinou absoluto no sistema elétrico brasileiro. As concessionárias estrangeiras controlavam cerca de 90% do suprimento de energia, sobretudo nas regiões mais desenvolvidas do país. Mas, ao longo da segunda metade do século, o quadro se modificou radicalmente.

Sob o ponto de vista da qualidade da energia elétrica, o Código de Águas de 1934 foi o primeiro documento a mencionar que "o serviço adequado é reconhecido como exigência fundamental, do ponto de vista das necessidades públicas". Em 1957, o Decreto 41.019, estabelecia a necessidade das empresas se organizarem de forma a assegurar um serviço técnico adequado e a continuidade e a eficiência dos fornecimentos. (500 anos Energia Elétrica no Brasil, 2000, p.33)

Entrou em cena o Estado, que passou a ter crescente papel na expansão do setor. Os pilares dessa mudança foram lançados, nos anos 50, durante o segundo governo de Getúlio Vargas, que assumiu explicitamente a proposta de intervenção do Estado na economia, a fim de superar os entraves ao desenvolvimento econômico e social do Brasil (Revista ABINEE, 2000, p.9).

2.1.3 A integração dos Sistemas Elétricos

No final da década de 50, iniciou-se o período das grandes hidrelétricas, entre as quais destacou-se a Usina de FURNAS (Furnas Centrais Elétricas) situada no triângulo Rio-São Paulo-Minas. Mas, o aproveitamento do potencial hidrelétrico do país se acelerou, de verdade, quando foi instalada a ELETROBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras S.A. em 1962. A capacidade geradora do país, na época, totalizava 5.800 MW e a presença do governo representava 36% da potência instalada. (Revista ABINEE, 2000, p.11), (Memória, 1987, p.9)

Dos meados da década de 60, em diante, a participação estatal foi crescendo, acabando por incorporar praticamente todo o setor privado. Um dos primeiros atos neste sentido deu-se, em 1964, com a decisão do presidente Castelo Branco em comprar as concessionárias do grupo Amforp. A Light foi adquirida em janeiro de 1979, pelo governo Geisel. (Revista ABINEE, 2000, p.11)

O Sistema ELETROBRÁS expandiu-se ainda mais com a formação de duas subsidiárias regionais: a ELETROSUL - Centrais Elétricas do Sul do Brasil, em 1968, e a ELETRONORTE - Centrais Elétricas do Norte do Brasil, em 1973. (500 anos Energia Elétrica no Brasil, 2000, p.125-130) Neste mesmo ano, foi estabelecido o acordo bilateral com a ANDE - *Administración Nacional de Electricidad*, estatal paraguaia, visando a construção da Usina de Itaipu, no rio Paraná. (Itaipu, 1994,p.1.7)

2.1.4 O novo modelo do setor elétrico

O ano de 1995 marcou o início de uma profunda reestruturação do sistema elétrico brasileiro, a partir da nova legislação sancionada pelo Presidente da República, Fernando Henrique Cardoso. A nova lei de concessão de serviços de eletricidade, sancionada pelo executivo, abriu as portas para o capital privado e instaurou um processo de desregulamentação que culminará no mercado livre, em 2003. (Revista ABINEE, 2000, p.13)

A nova estruturação do setor caracteriza-se por um modelo funcional desverticalizado que implica na segregação das funções de produção, transporte, incluindo, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica. A partir deste novo modelo os agentes encarregados relacionam-se através de um conjunto de contratos que tem como finalidade estabelecer, entre outros requisitos, os diversos níveis de responsabilidade, visando, sobretudo, o atendimento adequado das necessidades de energia elétrica, demandadas pelo mercado.

E por intermédio do **mercado spot** (concorrência entre fornecedores e compradores de energia além das áreas de concessão), permite a existência de um

preço livre da energia comercializada no curto prazo. As empresas devem cada vez mais se preocupar com o consumidor, visto agora de forma individual. (Revista CIER, 2000, p.11)

O novo modelo institucional inseriu no setor elétrico uma mudança de comportamento, num cenário globalizado. Grandes, médias e pequenas indústrias passaram a enfrentar os desafios impostos pela acirrada competitividade. Presente no mundo inteiro, essa tendência é irreversível e atinge os diferentes setores produtivos onde o cliente busca se concentrar cada vez mais na sua área de competência específica. Qualquer projeto que esteja fora desse foco, ficará a cargo do fornecedor que oferecer o menor custo e o maior valor agregado.

2.1.5 Sistema Elétrico atual do Brasil

A energia elétrica tem importância estratégica de alta relevância para a economia de qualquer país e o inegável bem social que proporciona à população. (ONS, 2000, Internet) As usinas hidrelétricas no Brasil representam, atualmente, uma parcela significativa de 96,8% da potência instalada no sistema interligado, conforme a Tabela 1, fornecendo ou disponibilizando energia elétrica para todos os clientes e consumidores. Assim sua performance operativa influi diretamente sobre a qualidade da energia fornecida a todo o sistema elétrico interligado.

A geração de energia elétrica no mundo tem a distribuição, de acordo com a fonte de energia, conforme a Tabela 1, que mostra bem claro a importância e a nossa dependência da geração de energia elétrica de fonte hidráulica.

Tabela 1 – Geração de energia elétrica no Mundo e no Brasil

| | Carvão | Hidrelétrica | nuclear | gás | petróleo |
|-------------------|---------------|---------------------|----------------|------------|-----------------|
| Mundo (%) | 40 | 19 | 17 | 13 | 11 |
| Brasil (%) | 1,2 | 96,8 | 0,7 | 0 | 1,3 |

Fonte: ELETROBRÁS apud UNIOESTE (2000) - adaptado

O Sistema de Geração de energia, bem como o seu Sistema de Transmissão associado, dispõem de uma grande quantidade de equipamentos,

0.339.244.1

constituindo conjuntos integrados e complexos. Todos os aspectos observados, de forma global, evidenciam a necessidade da adoção de um método de operação e manutenção eficaz, adequado à exploração dos recursos hídricos, contribuindo para a redução dos riscos de interrupção do fornecimento de energia.

O Sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil é um sistema hidráulico e térmico de grande porte, com forte predominância de usinas hidrelétricas, formado por dois grandes sistemas interligados, um das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste e outro da região Nordeste e parte da região Norte. (ONS, 2000, Internet)

A evolução da capacidade instalada de energia elétrica do Sistema Elétrico do Brasil é mostrada na Tabela 2, a seguir, onde se nota a predominância das usinas hidrelétricas, na capacidade instalada do sistema interligado.

Tabela 2 - Evolução da capacidade instalada de energia elétrica em MW

| Anos | 1900 | 1910 | 1920 | 1930 | 1940 | 1950 | 1960 | 1970 | 1980 | 1990 | 2000 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| Hidrelétrica | 5 | 124 | 301 | 630 | 1009 | 1536 | 3642 | 8823 | 27522 | 44198 | 59000 |
| Termelétrica | | | | | | 347 | 1158 | 2405 | 5771 | 6835 | 10300 |

(*) estimativa

Fonte: ELETROBRÁS apud ABINEE (2000,p.15) - adaptado

A água acumulada na barragem é importante e necessária para o funcionamento da indústria da energia elétrica, a qual deve ser armazenada, na quantidade máxima possível, para a geração de energia elétrica. A usina de Itaipu, atualmente, é a maior usina hidrelétrica construída com 12.600 MW de potência instalada e com capacidade de gerar em torno de 90.000 GWh de energia. Além disso a usina de Itaipu opera em regime de base na curva de demanda (usina que opera em plena carga durante o tempo de operação). (500 anos Energia Elétrica no Brasil, 2000, p.188)

Para comparar a importância da água disponível para a geração de energia, está em construção, na China, a usina hidrelétrica de Três Gargantas (Yangtze Three Gorges Plant) com 18.200 MW de potência instalada, mas que

poderá gerar em torno de 70.500 GWh de energia, justamente em função da capacidade de acumulação de água no seu reservatório.(Three Gorges, 1996, p.2-3)

A Usina Hidrelétrica de Itaipu iniciou sua operação comercial em maio de 1984 e a partir daí, com a entrada em operação de duas unidades geradoras por ano, sua produção de energia elétrica foi crescendo e a evolução da sua participação no sistema elétrico brasileiro é mostrada na Tabela 3.

Tabela 3 - Evolução da Usina de Itaipu no sistema elétrico nacional

| Anos | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 |
|------------------|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Participação (%) | 0,1 | 3,0 | 10 | 17 | 17 | 20 | 22 | 23 | 20 | 22 | 24 | 26 | 25 | 26 | 25 | 25 |

Fonte: dados de operação de Itaipu - adaptado

2.2 Qualidade da energia elétrica

No século XIX a lâmpada e o motor elétrico representaram o avanço e a transformação do habitante urbano em consumidor de energia elétrica, hoje podemos dizer que outro invento revolucionou o nosso mundo, o componente eletrônico chamado CI (circuito integrado), o popular *chip* (Schilling,1968, p.326-328), que tornou todos os habitantes ainda mais dependentes e também consumidores de energia elétrica. Estamos na era digital, onde quase todas as atividades da sociedade são controladas por um equipamento eletrônico, que necessita de energia elétrica.

O circuito integrado é muito suscetível a qualquer oscilação ou variação de tensão, mesmo aos fenômenos de rápida atuação, conforme IEEE (1995,p.25), e uma sobretensão que ultrapasse seu limite de suportabilidade é fatal, podendo ser danificado e queimar (alta temperatura interna do componente por sobrecarga), tornando inoperante todo um equipamento, conformes IEEE (1995, p.15), provocando uma falha no equipamento. Este consumidor exige uma qualidade da energia elétrica ainda mais elevada.

O termo Qualidade da Energia Elétrica se refere a uma grande variedade de fenômenos eletromagnéticos que caracterizam a tensão e a corrente em um

determinado momento e em um determinado local no sistema de potência. (IEEE, 1995, p.9)

Esta definição de qualidade da energia elétrica vem sendo utilizada amplamente no mundo, desde os anos 80, e é usada sem nenhuma restrição e incluindo todos os tipos de eventos ou fenômenos que ocorrem nas cargas devido a possíveis problemas no fornecimento da energia elétrica. Existem quatro razões para que esta denominação esteja em moda. (Revista CIER, 2000, p.36-37)

Em primeiro, lugar as cargas atuais são mais sensíveis a variações da qualidade da energia elétrica do que os equipamentos do passado. Muitas das novas cargas contém equipamentos baseados em microprocessadores utilizados para o controle do processo ou foram empregados equipamentos de eletrônica de potência que são mais sensibilizados a vários tipos de distúrbios. (Revista CIER, 2000, p.37)

Em segundo lugar, a ênfase no aumento da eficiência, de todo o sistema de potência, resultou em um contínuo desenvolvimento de mecanismos de alta eficiência, tais como controladores de velocidade para motores, bancos de capacitores em paralelo, para a correção do fator de potência e redução de perdas. Isto pode resultar em um possível incremento dos níveis dos harmônicos em um sistema de potência. (Revista CIER, 2000, p.37)

Em terceiro lugar, o Sistema Elétrico Brasileiro é interligado, entre si através de linhas de transmissão, o que proporciona altos benefícios, mas igualmente traz algumas conseqüências não desejadas, tais como a transferência de eventos anômalos em pontos distintos da rede. (Revista CIER, 2000, p.37)

Em quarto lugar, os clientes e consumidores finais, conhecendo os benefícios da qualidade da energia elétrica, estão aumentando os seus interesses e começando a informar-se melhor sobre o assunto e solicitam, das empresas de serviços, incrementos na qualidade da energia elétrica fornecida. (Revista CIER, 2000, p.37)

2.2.1 Características técnicas da energia elétrica

A avaliação das características do produto é essencial, conforme Juran (1990,p.138) e muitas dessas avaliações podem ser feitas em laboratórios, mas outras devem ser feitas nas condições reais de operação.

A qualidade da energia elétrica pode ser quantificada tecnicamente, levando-se em conta a Forma de Onda, que obedeça a uma forma da mais pura senóide, sem que tenha perturbações permanentes, harmônicos ou transitórios, a Freqüência se mantenha constante, dentro de uma faixa estabelecida pelas normas, o Sistema Trifásico Equilibrado deve ser o mais simétrico possível, com defasamento de 120° e manter o Valor Eficaz da tensão o mais estável possível. (revista CIER, 2000,p.37)

Os tipos de fenômenos (perturbações) que mais afetam a qualidade da energia elétrica são os seguintes (Revista CIER, 2000, p.37):

- as oscilações momentâneas de tensão (*sag* e *swell*);
- as flutuações de tensão;
- os harmônicos;
- os transitórios;
- as interrupções permanentes.

O cliente, em um sentido mais amplo, é toda a pessoa afetada por nossos processos e produtos, conforme Juran (1990,p.9), e as empresas fornecedoras de energia elétrica, para toda a população, deverão ter um sistema elétrico suficientemente rígido (com capacidade), de modo a manter uma confiabilidade e disponibilidade de fornecimento, para que o cliente não seja prejudicado por possíveis interrupções de energia elétrica. Essas falhas do produto, conforme Juran (1990,p.149), somam-se aos outros custos, podendo chegar a valores bastante expressivos.

Um tipo de perturbação que afeta a confiabilidade e a disponibilidade do sistema elétrico, e por conseqüência o cliente, é a interrupção de tensão, que é caracterizada por uma diminuição para zero da tensão de alimentação, em um

período de tempo maior de um minuto, numa ou mais fases, conforme o IEEE (1995, p.7). A interrupção pode ser o resultado de falta no sistema de potência, falha no controle, e também pode ser falha do equipamento.

As novas ações da ANEEL estão modificando a legislação vigente, referente à continuidade do fornecimento de energia elétrica, de forma a adequá-los ao novo arcabouço legal. Todo o esforço à nível de fábrica (geração de energia), conforme Paladini (1995,p.26) deve ser feito para produzir a energia elétrica de qualidade, de acordo com a sua especificação básica. As principais modificações a serem inseridas no novo regulamento relativo à continuidade do fornecimento são (Revista CIER, 2000, p.13-14):

- limitação de duração de cada interrupção ocorrida no sistema;
- padrões de continuidade diferenciados para cada concessionária e considerando-se as características regionais;
- obrigatoriedade da concessionária informar na fatura de energia elétrica os índices de continuidade das unidades consumidoras;
- critérios e procedimentos para aviso das interrupções programadas para os consumidores;
- penalidades a favor do órgão regulador ou consumidor individual, no caso de violação dos padrões de continuidade.

Se uma falha ocorrer no equipamento e a manutenção determinar que seja necessário substituir a peça defeituosa e não houver sobressalente disponível para este fim, poderá haver falta de fornecimento de energia elétrica, maior tempo de parada para manutenção, perdas, multas, baixar o índice de confiabilidade e disponibilidade.

Também aqui notamos um vínculo das peças sobressalentes disponíveis com a qualidade da energia elétrica (as interrupções).

2.2.2 Adequação ao uso da energia elétrica

Na empresa, a qualidade do produto é o resultado do trabalho e esforço conjunto de todas as áreas, sendo algumas mais especializadas que outras. Todos

devem executar o seu trabalho o mais correto possível juntamente com suas atividades principais, ou seja seus produtos devem adequar-se ao uso, conforme Juran (1991,p.17,v.1). A qualidade da energia elétrica para o consumidor deve ser a meta do conjunto de todos os esforços deste processo produtivo.

As atividades coletivas da empresa que atuam para a qualidade do produto é a função qualidade, definida como:

"O conjunto de atividades através das quais atingimos a adequação ao uso, não importando em que parte da Organização essas atividades são executadas." (Juran, 1991, p.16,v.1)

Este conceito mostra que todos os setores da empresa são relevantes para a atividade fim da empresa, e há dificuldade em definir e quantificar o nível de participação de cada setor ou atividade para a adequação do produto à sua efetiva utilização.

O capítulo seguinte apresenta os aspectos do projeto, confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade, o conceito e a evolução da manutenção, o sobressalente como suporte à manutenção, a manutenção centrada em confiabilidade e análise de manutenção corretiva.

CAPÍTULO 3 - A MANUTENÇÃO

Este capítulo relata os aspectos do projeto, o conceito e a evolução da manutenção, a administração dos materiais, o sobressalente, a análise do modo de falha e fonte de falha, a construção da hierarquia dos conjuntos e análise da manutenção corretiva. Estes conceitos são relevantes para a compreensão da importância da disponibilidade dos sobressalentes para confiabilidade e também como suporte à manutenção.

3.1 Os aspectos do projeto

Modernamente o processo do projeto possui uma considerável abrangência, e apenas se completa quando engloba toda as atividades, desde o pensamento original de concepção, desenvolvimento, fabricação, montagem e até mesmo a operação. O cuidado e o esmero na elaboração das especificações do projeto visa a evitar ou reduzir os riscos com a confiabilidade do produto.(Hutchins, 1993,p.79)

O que é processo? Juran (1990, p.196) define processo como uma série sistemática de ações direcionadas para a consecução de uma meta. É aplicável a processos de todos os tipos para produzir bens e fornecer serviço aos clientes. Para estar de acordo com esta definição, um processo deve ser direcionado, sistemático, capaz e legítimo em função de uma meta. O planejamento do processo é dar às forças envolvidas os meios para atingir as metas (Juran,1990, p.199), ou seja pelo uso das instalações físicas, equipamentos, ferramentas, instrumentos e dos sobressalentes.

O termo qualidade, como é usado na indústria, é uma característica do produto, embutido no mesmo, enquanto é manufaturado, e confiabilidade e manutenibilidade são características inteiramente inerentes ao projeto do produto e são, portanto, de responsabilidade do projetista que o especificou. (Moss,1985, p.2)

O gerador é projetado para produzir energia elétrica, conforme os parâmetros técnicos de forma de onda, frequência, simetria e o valor eficaz da

tensão (CIER,2000, p.37). O risco de falha, a confiabilidade, a manutenibilidade e a disponibilidade do equipamento são devidas ao seu projeto.

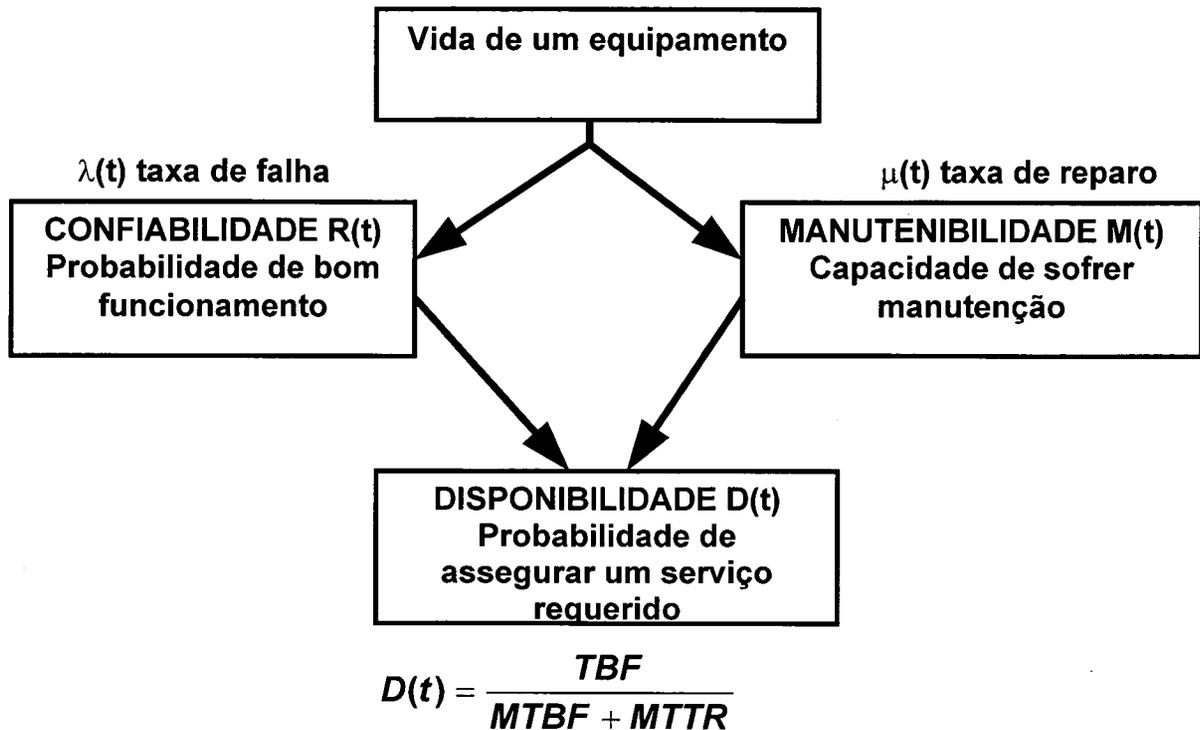
Em particular para o projeto de Itaipu, os Requisitos Técnicos levaram em conta várias premissas para que a escolha dos equipamentos se pautasse no mais alto grau de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade na operação das unidades geradoras, de modo que a produção de energia elétrica tenha as características de qualidade para atender às necessidades de energia elétrica para o Brasil (60 Hz) e o Paraguai (50 Hz). As soluções de engenharia devem ser simples, confiáveis seguras, e de experiência comprovada. Os melhores padrões de segurança, economia e confiabilidade deverão ser usados na engenharia dos componentes do projeto. (Ieco-Elc,1997,p.II-15)

O projeto com o mínimo custo de manutenção, deve levar em consideração a manutenibilidade ao invés da confiabilidade. Entretanto para compreender bem manutenibilidade deve-se aprender a confiabilidade, porque o usuário de um produto necessita de um meio simples e conveniente para expressar o efeito combinado de ambos no produto a medida que ele o utiliza, e assim um outro atributo de projeto chamado disponibilidade foi estabelecido. Desta forma a confiabilidade, manutenibilidade e a disponibilidade devem ser estudadas e melhor compreendidos nesta ordem. (Moss, 1985,p.2)

O tempo médio entre falhas - MTBF (*Mean Time Between Failures*) de um sistema é calculado baseando-se em um conhecimento da confiabilidade das suas partes componentes, sendo necessária compreensão de estatística. As falhas, quando ocorrem, geralmente se distribuem de forma descrita por um modelo matemático específico. Para a previsão de confiabilidade um dos modelos utilizados é a distribuição de Poisson. (Hutchins, 1993,p.100)

A confiabilidade, a manutenibilidade e a disponibilidade são funções do tempo e por esse motivo é indispensável precisar a noção tempo em manutenção, conforme a figura 1. Desta forma estes três conceitos devem ser analisados seja de modo antecipado (antes do uso) ou de modo operacional (durante e após o uso). (Monchy,1989, p.19)

Figura 1 – Conceitos de vida útil de um equipamento.



Onde:

- TBF** - Tempo de bom funcionamento;
- MTBF** - Média dos tempos de bom funcionamento;
- MTTR** - Média dos tempos técnicos de reparo.

Fonte : Monchy,1989, p.19

3.1.1 Confiabilidade

Confiabilidade é a probabilidade de um equipamento ser capaz de desempenhar a sua função requerida de forma satisfatória, por um período de tempo determinado. (Itaipu,1995,p.14) É um atributo inerente de seu projeto. O equipamento deve funcionar e ser mantido, dentro das características estabelecidas pelo fabricante. Confiabilidade não deve ser confundida com a conformidade do produto, especificações ou com ensaios de laboratório de vida útil. A avaliação da confiabilidade é estabelecida pelo uso efetivo do produto. (Moss 1985,p.17)

A análise da confiabilidade, conforme Moss (1985,p.29) gera informações importantes para a análise da manutenção. Devemos obter benefícios e resultados práticos através da aplicação deste conceito, resultando uma escolha criteriosa para

o levantamento do inventário das peças sobressalentes principalmente às de baixa rotatividade de uso.

Nesta escolha do escopo, a indisponibilidade pode representar impacto muito significativo na produção da empresa e nos equipamentos, pois, muitas peças tem um processo longo de compra e de fabricação, que implica em um tempo longo de concerto, em caso de falha.

O projetista pode controlar a confiabilidade do produto pela seleção de uma combinação adequada de alternativas de concepção de projeto, configuração detalhada do circuito, níveis de qualidade das partes, e redundâncias. Mas para fazer a seleção ótima ele deve ter alguns meios de determinar a confiabilidade oferecida por qualquer combinação dada destes fatores, e o efeito de variar qualquer um deles. (Moss, 1985,p.29)

O desempenho de um equipamento ou produto deve ser satisfatório quando adquirido e continuar ao longo de toda a sua vida, sob as condições de operação, conforme especificado. Este aspecto da qualidade é descrito pela confiabilidade e determinado pela probabilidade de apresentar um desempenho satisfatório durante o período de tempo especificado.

Não somente a reputação do fabricante e ou da empresa são influenciadas, mas também, em todas as decisões relacionadas com o fornecimento e estoque de sobressalentes, em quantidade suficiente, as quais dependem das expectativas em relação à confiabilidade, que pode ser vista como o aspecto vivo da qualidade. (Hutchins, 1993, p.95-96)

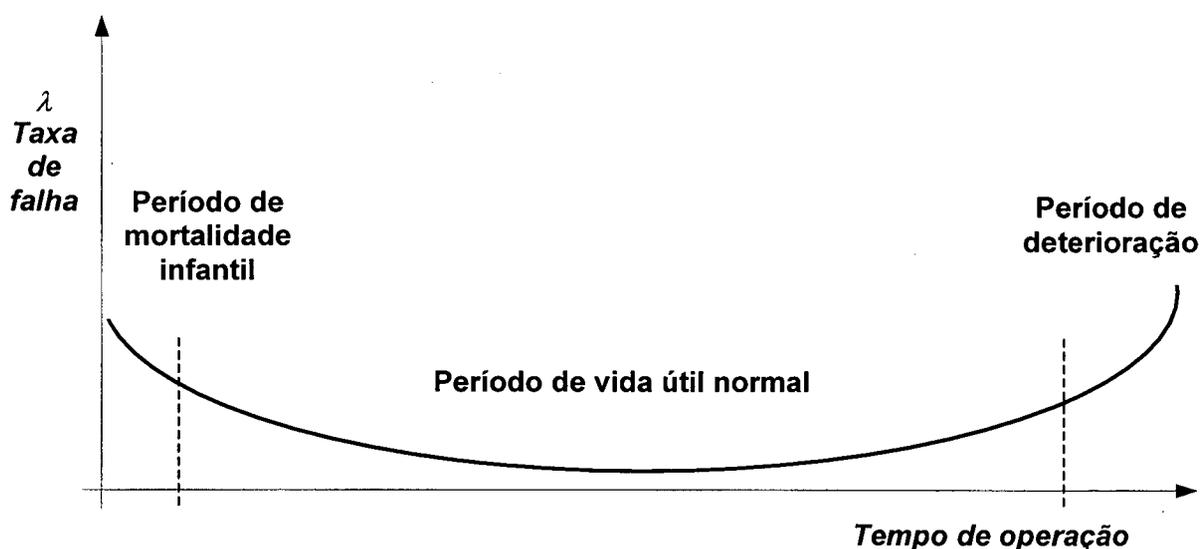
3.1.2 Curva da banheira tradicional

Confiabilidade é, nos tempos modernos, uma questão de confiança que o carro vai pegar de manhã, de que o extintor de incêndio vai funcionar depois de estar preso à parede por muitos anos, de que um avião com cerca de duzentos passageiros aterrissará por instrumentos sob forte neblina, de que os milhares de

sistemas em operação, nos vôos do homem ao espaço, permanecerão operando, tal que permita a todos voltarem à Terra em segurança.

É essencial levar em conta a probabilidade de ocorrerem falhas e infelizmente essa probabilidade não é, em geral, constante ao longo da vida do produto. Com base nos testes de durabilidade feitos em lotes de produção de equipamentos e produtos de diferentes tipos foi estabelecido um gráfico que representa a taxa de falha em função do tempo de operação.

Figura 2 - Curva da banheira tradicional



Fonte: Moss, 1985,p.22 - adaptado

Os textos sobre a curva da banheira tradicional, como Hutchins (1993,p.97), Takahashi (1993,p.255) e Moss (1985,p.21) descrevem a vida do produto em três fases sucessivas, identificadas na Figura 2, acima:

- primeira fase da curva é o **período de mortalidade infantil**, ou **de desgaste inicial**, que caracteriza o período em que a taxa de falha do produto decresce rapidamente. As causas das falhas são, freqüentemente, devidas aos defeitos de fabricação, falhas humanas na produção, inspeção ineficiente, falha de montagem ou instalação e operação inadequadas pelo usuário. Nesta fase da vida do produto ou equipamento o fabricante e o montador estão juntos, acompanhando o início de operação, ensaios de comissionamento e aceitação, e principalmente o equipamento está operando no período de garantia, onde o fabricante assume

qualquer ocorrência que caracterize uma falha, substituindo a peça ou equipamento. Desta forma a necessidade de sobressalentes nesta fase é assegurada pelo fabricante e pelo contrato.

- segunda fase da curva é o **período de vida útil normal**, durante o qual a taxa de falhas é razoavelmente constante, com o passar do tempo, e para um produto bem projetado é freqüentemente baixa. Esta fase é a mais longa dos três estágios e por esta razão também é chamada de período de utilização segura do equipamento. (Moss,1985,p.21) Neste período de vida do equipamento as causas e os tipos das falhas que ocorrem são ocasionais, de natureza aleatória e, portanto, imprevisíveis. Nesta fase da vida do equipamento as atividades de manutenção são normalmente executadas por intermédio de sua própria equipe de manutenção ou de serviços terceirizados. Todas as questões de determinação e dimensionamento de sobressalentes devem ser enfocadas para este período de vida do equipamento, na curva da banheira, onde a vida útil e taxa de falhas do equipamento permanece quase inalterada com o passar do tempo, ou seja, praticamente constante. (Melo,1998,sp)
- terceira e última fase da vida, **período de deterioração**, do equipamento, não existe sentido em se estudar o problema do dimensionamento de sobressalentes, pois nesta fase os tipos de falhas que ocorrem é devido, principalmente ao desgaste que os equipamentos apresentam com o tempo. É importante lembrar que nesta fase a taxa de falhas do equipamento é crescente com o tempo, ou seja, a realização de reparo nos mesmos não altera muito este fato. Nesta fase são necessários estudos para o dimensionamento de reposições programadas, renovação de equipamentos, ou seja, os estudos devem ser voltados com respeito a manutenção preventiva, o que não é objeto de estudo deste trabalho. A taxa de falhas crescerá com o tempo, podendo esse crescimento ser abrupto ou gradativo, o que determina a estratégia apropriada de manutenção e/ou substituição.

A previsão de confiabilidade, usualmente, é feita no início do processo de projeto e engloba o arranjo, em diagrama de blocos, das partes componentes de um sistema. Os dados utilizados são, geralmente, tomados de testes anteriores ou de folhas de dados relacionadas com as partes componentes. Os dados estão sempre

relacionados com a porção da curva da banheira relativa à vida útil normal, portanto, assumem apenas falhas aleatórias.

Um programa de confiabilidade deve basear-se em um compromisso entre o custo de teste e o custo decorrente do problema. Enquanto resolver um problema no estágio de projeto tem um custo muito baixo e mais a ajuda de lápis e borracha, já no estágio de fabricação o custo pode ser bem maior em materiais e componentes refugados, alterações de equipamento e quando o produto já tenha sido distribuído, em grande escala, o custo pode ser muito alto.

3.1.3 Manutenibilidade

É a capacidade do equipamento em receber manutenção, ou seja, é a probabilidade do equipamento retornar a desempenhar a sua função requerida, dentro de um intervalo de tempo, quando a manutenção é realizada de acordo com procedimentos prescritos. (Itaipu, 1995, p.14)

A eficácia da manutenção é fortemente influenciada pela tecnologia de apoio: projeto para um acesso fácil e reposição modular nas instalações do usuário, instrumentos especiais para o diagnóstico fácil das causas da falha, ferramentas especiais e informações técnicas sobre o produto e a sua utilização. Geralmente considera-se como parte do assunto manutenção o fornecimento dessa tecnologia de apoio.(Juran, 1991,p.26)

A padronização e a modularização de componentes e peças tendem a minimizar o número de sobressalentes necessários. (Moss, 1985, p.36)

A manutenibilidade deve ser pensada já na fase de projeto de um equipamento, com o objetivo de facilitar o diagnóstico das falhas, as manutenções que deverão ser feitas, seja para atender o política de manutenção da empresa, bem como, às intervenções não programadas, permitindo acesso, desmontagem, retirada e normalização do equipamento com toda a rapidez e simplicidade dos meios necessários para tal.(Monchy, 1989,p.159)

3.1.4 Disponibilidade

Dizemos que um equipamento está disponível quando está em estado operacional (Juran, 1991, p.23). Todo o esforço empregado para descobrir e minimizar as falhas, bem como restabelecer o equipamento, o mais rápido possível, em caso de interrupção para a continuidade do fornecimento de energia elétrica deve ser assegurado.

Disponibilidade é a percentagem de tempo que um equipamento ou sistema está apto a desempenhar a sua função requerida, ou então, é a probabilidade de, em um dado momento, o equipamento ou sistema estar no estado disponível. (Itaipu, 1995, p.14)

Para aumentar a disponibilidade de um equipamento, conforme Monchy (1989,p.167), é necessário reduzir o seu número de paradas (confiabilidade), e o tempo gasto para resolver o problema (manutenibilidade).

3.2 Manutenção

Todos os equipamentos, peças e componentes de qualquer processo produtivo se deterioram com o uso e mesmo se não estiverem sendo utilizados. Conforme Juran (1999, p.102) para o funcionamento adequado e correto dos equipamentos e a produção de energia elétrica com qualidade é necessário que estabeleçamos uma sistemática de manter a sua integridade, ou seja um plano ou programa de manutenção

Nos processos convencionais, o planejamento de manutenção (frequência de checagem, contagem regressiva durante a checagem) é feito pelas forças operacionais. Nos processos críticos a necessidade de manutenção torna-se absoluta; esses processos são planejados para dependerem totalmente do funcionamento apropriado dos equipamentos e dispositivos de segurança e tecnológicos. Essa dependência, por sua vez exige que o sistema básico de planejamento inclua o estabelecimento de critérios de manutenção que devem ser respeitados para que se garanta a integridade do sistema. (Juran, 1999, p.268)

Todas as empresas de energia elétrica devem ter uma visão de futuro e preocuparem-se em reduzir o seu custo de manutenção. A atividade precisa deixar de ser apenas eficiente para se tornar eficaz, ou seja, não basta simplesmente reparar o equipamento ou a instalação tão rápido quanto possível, mas principalmente, é preciso manter a função do equipamento disponível para operação, evitar a falha do equipamento e reduzir os riscos de paradas de produção indevidas. (Pinto e Xavier, 1998,p.11)

O custo anual de manutenção, conforme Pinto e Xavier (1998,p14) representa 3% do faturamento bruto, para o setor de eletricidade. Em 1999 a produção de energia elétrica da Usina Hidroelétrica de Itaipu foi 90 000 MWh, com um faturamento de 2279 milhões de dólares. (Unioeste, 2000, Internet)

3.2.1 Conceitos básicos de manutenção

Apresentamos, a seguir, as definições de termos de uso corrente nas atividades de operação e manutenção:

Manutenção é toda ação realizada em um equipamento, conjunto de peças, componentes, dispositivos, circuito ou estrutura que se esteja controlando, mantendo ou restaurando, a fim de que o mesmo permaneça em operação ou retorne a sua função requerida ou seja o conjunto de condições de funcionamento para o qual o equipamento foi projetado, fabricado ou instalado. O equipamento deve desempenhar sua função requerida com segurança e eficiência, considerando as condições de operativas, econômicas e ambientais.

De uma maneira geral se divide em manutenção corretiva, que é toda manutenção realizada após a falha do equipamento, visando restabelecê-lo à sua função requerida e manutenção preventiva, que é toda manutenção realizada em um equipamento, com a intenção de reduzir a probabilidade de falha. É uma intervenção de manutenção prevista, preparada e programada antes da data provável do aparecimento da falha. (Itaipu, 1995, p.6)

Missão da manutenção é garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações, de modo a atender a um processo de produção e a preservação do meio ambiente, com confiabilidade, segurança e custo adequado.

Sistema é qualquer agregado de equipamentos que trabalham juntos para desempenharem uma missão projetada ou um conjunto de missões relacionadas. Por extensão cada uma destas submissões é desempenhada por um distinto subgrupo de equipamentos, e podem ser chamados como subsistema. (Moss, 1985,p.10)

Circuito é qualquer grupo de equipamentos, dentro de sistema ou subsistema, que opera junto para desempenhar uma simples e distinta função, contribuindo para a realização da missão do sistema. (Moss, 1985,p.11)

Peça (ou **parte**) é qualquer item de equipamento que não pode ser desmontado em componentes subordinados, sem romper o vínculo físico permanente. (Moss, 1985,p.13)

Dispositivo ou equipamento é qualquer estrutura ou item funcional que pode se dividir, em dois ou mais componentes subordinados, sem romperem o vínculo físico permanente, e os componentes de qualquer dispositivo podem ser qualquer combinação de dispositivos subordinados ou peças. (Moss, 1985,p.13)

Hierarquia dos dispositivos descreve a organização do sistema dos elementos dos equipamentos nos pacotes de montagem, em níveis decrescentes desde o topo até a base (ou níveis do sistema) das funções e/ou estrutura inter-relacionada, conforme é descrito no item 3.5.2. Uma hierarquia de equipamentos é freqüentemente referida como uma árvore de equipamentos, mas é representado em desenhos semelhantes à raízes de uma árvore, onde cada terminação da raiz é uma peça. (Moss, 1985,p.13)

Avaria é qualquer ocorrência, outra que uma saída intencional, onde o sistema cessa de atender sua missão específica ou um circuito de desempenhar a

sua função. (Moss, 1985,p.14) Uma avaria pode ser resultante de qualquer uma das seguintes circunstâncias, conforme Moss (1985,p.14):

- componente defeituoso ou mal ajustado;
- desalinhamento funcional ou defeito de interligação entre as interfaces de componentes;
- dano físico de uma causa externa;
- erro do sinal de controle externo ou par um circuito de transmissão ou computador, um erro de sinal de dado de entrada;
- controle ou interferência de uma fonte externa (por exemplo radiação ou ruído de condutor eletromagnético ou pulsos);
- Uma aberração de fornecimento de energia externa.

Defeito, conforme Itaipu (1995, p.10), é toda alteração física ou química no estado de um equipamento que não o impede de desempenhar a sua função requerida, podendo o mesmo operar com restrições. Conforme Moss (1985,p.14) se refere ao mecanismo físico da fonte de falha, tal como desgaste mecânico, corrosão química, envelhecimento de material, ou deformação estrutural ou ruptura.

Falha, conforme Itaipu (1995, p.8), é toda alteração física ou química no estado do equipamento que o impede de desempenhar sua função requerida e o leva invariavelmente à indisponibilidade. Conforme Moss (1985,p.14) é qualquer mau funcionamento de um sistema ou circuito que persiste ou retorna até que uma apropriada ação corretiva seja tomada. No caso de um sistema que cumpre mais do que uma missão independente, um defeito que impeça a habilidade do sistema, de cumprir qualquer uma das missões, é julgada uma falha, mesmo que a capacidade da outra missão não seja afetada.

Fonte de falha é o componente, do próximo nível hierárquico inferior, no qual a falha de um item pode ser isolada (ver item 3.5.2). A última fonte de falha é a peça defeituosa ou é a interconexão com defeito entre as peças ou dispositivos nos quais deterioração física ou destruição causou a falha. (Moss, 1985,p.15)

Modo de falha é qualquer um dos cenários que um dado sistema ou circuito pode exibir, em termos de seu desempenho da missão ou função (Moss, 1985,p.15).

Para tornar bem claro o entendimento e a relação entre modo de falha e fonte de falha, considerar um automóvel que sofreu uma ruptura no tubo do radiador causando uma falha. A fonte de falha é o próprio tubo do radiador, e o modo de falha imediato é a ruptura estrutural do tubo sob a pressão do vapor por causa da deterioração do material.

Os sintomas incluem vapor emergindo da tampa do carro e uma poça de refrigerante no chão por debaixo do radiador. E o mais significativo elemento deste modo de falha é a perda do refrigerante do circuito de refrigeração que, se não for detectado a tempo, pode resultar em perda de potência e muito provavelmente, danos substanciais para o motor.

Desta forma o modo de falha pode resultar em danos sérios se não corrigidas prontamente. Falhas de outros componentes do sistema de refrigeração podem ser caracterizadas pelo mesmos sintomas e pelo mesmo efeito no circuito de operação, o que se deve salientar é que deve ser identificado o modo de falha e as respectivas fontes de falha e a maneira no qual ela falha.

Vida útil (durabilidade) determina a extensão de tempo durante o qual espera-se que o produto ou equipamento opere de forma segura e dentro das especificações de desempenho das normas, quando mantido de acordo com as instruções do fabricante e não submetido a tensões de ambiente ou operacional além dos limites especificados. (Moss, 1985,p.16)

3.2.2 Evolução da manutenção

A operação e manutenção têm passado por fases bem características desde o início da industrialização, o que contribuiu para a sua evolução até o seu estado da arte atual.

A Primeira Revolução Industrial, na metade do século XVIII, inicialmente se confinou na Inglaterra e depois se expandiu para outros países da Europa continental. Este período teve início com a invenção da máquina a vapor, que revolucionou as técnicas de manufatura. (Britannica, 2000, Internet)

É caracterizada pela produção artesanal, onde as atividades ficavam a cargo de uma mesma pessoa, que executava todo o processo, desde projetar, fabricar e operar as suas ferramentas e máquinas e com isto produzir os bens desejados, e também, executar a manutenção corretiva nas suas máquinas, quando ocorressem as falhas. A produção era mínima, os produtos não tinham padronização e eram manufaturados, conforme a criatividade dos próprios artesãos, para atender as necessidades e gostos individuais dos consumidores, em geral a classe com poder aquisitivo.

Nesta condição de trabalho, operação e manutenção constituíam uma única atividade, ou seja o próprio artesão as executava. Também se pressupõe que eram tomadas somente medidas corretivas de manutenção, ou seja, a máquina operava até falhar. Com a prática e conhecimento do processo de produção e a repetição de ocorrência de alguns tipos de falhas, o artesão aprendeu que se tivesse feito algum trabalho de limpeza, reaperto ou lubrificação com alguma periodicidade a sua máquina não teria falhado. Percebemos nesta atitude simples o primeiro esboço de um plano de manutenção preventiva.

Para este caso o sobressalente era suprido pelo próprio fabricante da máquina, que produzia suas peças, a medida que as mesmas fossem necessárias para serem substituídas.

Com o contínuo crescimento populacional e da demanda por produtos, rapidamente esgotou-se a capacidade da produção artesanal. A indústria evoluiu e passou a substituir paulatinamente o esforço braçal pela utilização de máquinas, cada vez mais poderosas e produtivas.

O processo produtivo caracteriza-se com a predominância da utilização de máquinas e os produtos seriados e mais padronizados. A industrialização passou

a atender as necessidades de grupos e não mais as necessidades individuais. Também o processo passou a incrementar acentuadamente a utilização de recursos naturais para suprir as necessidades de matérias primas e conseqüentemente passou a usar mais intensivamente a energia.

Com a melhoria crescente dos sistemas produtivos e também do acirramento do ambiente de concorrência, o controle, a supervisão e a execução das atividades do processo produtivo passaram a ser feitos por pessoas distintas, provocando a segmentação do processo produtivo, nos quais os empregados passaram a se especializar nas atividades (operação e manutenção). Desta forma a manutenção também evoluiu, passando a executar intervenções nas máquinas antes da falha ocorrer, prevendo o fato, ou seja, a manutenção preventiva ou programada.

O ambiente das empresas está continuamente evoluindo, se modificando, e pela necessidade do aprimoramento da eficiência, o processo produtivo se automatiza, caracterizado pela utilização de dispositivos elétricos, eletrônicos e pneumáticos na supervisão e controle. Mais tarde passou-se a utilização de computadores no processo de produção industrial, revolucionando a sociedade atual, tornando factíveis coisas que anteriormente eram objetos de ficção, propiciando recursos mais poderosos e ágeis, permitindo acompanhar o processo nos mínimos detalhes, a ponto de interferir no instante em que os fenômenos estão acontecendo, em tempo real.

Se por um lado a crescente padronização permitiu cada vez mais a produção em série, que por sua vez possibilitou a produção em grande escala, por outro as interrupções nas linhas de produção, causadas por defeitos ou falhas, tornaram-se altamente indesejadas. (RCS, 1999, Internet)

A necessidade de aumentar a produtividade condicionou a operação e a manutenção a cada vez mais se especializarem, requerendo um tratamento mais elaborado, evoluindo para a Operação de Sistemas e para os Programas de Manutenção Preventiva. O aprimoramento da gerência de produção deveu-se à aplicação das teorias estatísticas e probabilísticas, especialmente dos conceitos de

disponibilidade, confiabilidade e manutenibilidade. Chegou-se ao extremo de uma estanqueidade quase completa das atividades de operação e manutenção convencionais.

Ao mesmo tempo que os bens se tornaram mais caros, as suas peças e equipamentos sobressalentes ficaram mais custosos e mais difíceis de se fabricar, e o problema de manter estoque de peças sobressalentes se torna indispensável, e cada vez mais integrado no processo produtivo e nos programas de manutenção. (RCS, 1999, Internet)

3.2.3 Um novo conceito de manutenção

O equipamento deve estar sempre pronto para o uso, mas também deve obedecer ao programa de parada para manutenção, que cada empresa planeja para sua instalação e equipamentos. O conceito de manutenção corretiva é o de parada para intervenção não-planejada no equipamento e para a manutenção preventiva é o de parada para intervenção planejada, em intervalos periódicos. A frequência e a duração das paradas programadas dependem da política de manutenção adotada pelas empresas e do tempo de operação dos equipamentos. (Okongli e Gonzaga, 1987, s.p.)

O conceito tradicional de manutenção é prevenir e corrigir (Okongli e Gonzaga, 1987, s.p.). A manutenção preventiva é feita para reduzir o número de falhas que resultarão em manutenção corretiva. Sabemos que mais manutenção preventiva diminui a corretiva, e inversamente, uma diminuição da preventiva resulta em aumento da manutenção corretiva. A manutenção ótima é aquela na qual a soma dos tempos de parada de máquina para os dois tipos de manutenção é a menor possível.

Em 1985, a improdutividade das máquinas da CESP - Companhia Energética de São Paulo em virtude da manutenção foi de 6,93% do tempo possível de operação. A energia não produzida foi de 4,68 bilhões de kWh e a potência média indisponível foi de 534 MW contínuos. O percentual de 6,93% dividiu-se em 3,57% de manutenção corretiva e 3,36% de manutenção preventiva. Os percentuais de improdutividade por manutenção não sofreram significativa alteração nos últimos anos, indicando que a

tecnologia e os métodos usados estavam esgotados e deles nada mais se podia extrair. (Okongli e Gonzaga, 1987, s.p.)

Para mudar esta situação e obter menor improdutividade por manutenção se iniciou a implantação de um novo conceito de manutenção, a manutenção preditiva, que consiste em fazer um conjunto planejado de ensaios na máquina, analisar o seu desempenho global e se detectado alguma falha incipiente fazer a parada de manutenção geral, na época mais oportuna. Para tornar possível a manutenção preditiva é necessário instalar na máquina um adequado sistema de monitoramento que permita fazer os ensaios com a máquina em operação. (Okongli e Gonzaga, 1987, s.p.)

A definição de monitoramento é a supervisão dos parâmetros da unidade em funcionamento para o reconhecimento do seu estado atual e para a detecção de tendências de deterioração. (RBE, 1991, p. 21)

3.3 Administração de materiais

A produção, dentro das empresas, sempre foi vista como atividade mais importante do que a administração dos materiais.

Os administradores reconhecem a necessidade de se estabelecer um conceito de logística industrial, para compreenderem melhor o controle, fluxo, as relações tempo-estoque dos materiais, equipamentos, peças e componentes, evoluindo para um conceito mais atualizado que envolve definição de mercado, planejamento do produto e apoio logístico (Dias, 1985,p.15) e isto influencia a eficácia da manutenção pela pronta disponibilidade das peças sobressalentes, no momento em que forem necessárias. (Juran, 1991,p.26)

Com a introdução do computador para auxiliar a gerência, outras informações foram sendo exploradas como a lista de materiais do produto, técnicas de cálculo de ponto de reposição, lotes econômicos de compra, banco de dados de informações de custo, do produto, de mercado, que mantém toda informação necessária para um processamento de forma rápida e eficiente. (Dias, 1985,p.25)

Na administração de materiais é necessário conhecer perfeitamente todas as necessidades, conforme Araújo (1980,p.33) e incluí-las nas atividades logísticas de compras, controle de estoques, armazenagem e previsão de materiais, equipamentos, peças e componentes.

3.3.1 Sistema logístico de suprimento de materiais

Em qualquer decisão de se estocar ou não um determinado item, deve-se considerar, conforme Dias (1985,p.86) que, em geral, não é econômico se isso excede o custo de comprá-lo ou produzi-lo, de acordo com as necessidades.

O sistema logístico, conforme Dias (1988,p.19) deve preocupar-se mais com quando repor ao estoque, do que quanto comprar.

Esta consideração está de acordo com o estoque de peças sobressalentes, para manutenção da unidade geradora, porque o custo de comprar ou produzir uma peça pode ser alto, em função de ser especial e de uso específico somente para determinada máquina. Além disso o fabricante das mesmas também pode ser único, e o tempo para a produção de determinadas peças pode ser longo, de tal forma que os custos envolvidos superem o próprio custo da peça ou do equipamento.

As peças sobressalentes são específicas e necessárias para máquina ou equipamento e quando a atividade de manutenção determinar a substituição, a peça sobressalente deve estar em condições perfeitas de uso e neste momento se mostra a importância do trabalho de armazenagem adequada, facilidade de localização e movimentação das peças.

Os clientes internos são a manutenção e operação, que necessitam executar suas atividades, eventualmente da disponibilidade de sobressalentes, os quais devem estar prontos e adequados ao uso. E neste momento o tempo necessário para comprá-los ou produzi-los pode ser muito longo, e a decisão de dispor de determinadas peças ou componentes, em estoque, deve ter por base a sua importância.

3.4 Sobressalente como suporte à manutenção

A manutenção está integrada ao processo produtivo, portanto toda a empresa deve ter um programa de manutenção preventivo, que está integrado com o planejamento da produção. Além disso, a manutenção, hoje em dia, dispõe de recursos tecnológicos de apoio, instrumentos e ferramentas especiais, informações técnicas sobre os produtos e processos, que facilitam de sobremaneira a sua execução.

A eficácia da manutenção, conforme Juran (1991, p.26,v.1) é fortemente influenciada pela disponibilidade de peças sobressalentes, denominado apoio logístico.

A sistemática de manutenção e operação adotada devem considerar a grande variedade de equipamentos das mais diversas procedências e permitir a capacitação dos técnicos na execução dos respectivos serviços de forma homogênea e padronizada. Através desta sistemática as atividades de operação e manutenção são definidas, analisadas, programadas e controladas, dentro de um processo de gerência capaz de evidenciar desvios, permitindo planejamento e a adoção de ações preventivas e/ou corretivas em tempo hábil. (Itaipu, 1966, p.1)

Portanto é necessário elaborar uma metodologia racional para se determinar o escopo de peças sobressalentes que são necessários para assegurar suporte às atividades da manutenção (apoio logístico), bem como a continuidade de operações de uma empresa ou equipamento ao longo de toda a sua vida útil.

3.4.1 Características das peças sobressalentes

Em geral, é difícil selecionar os sobressalentes (materiais, peças e componentes) que devem ser adquiridos, bem como, planejar as quantidades e a disponibilidade. Além disso, devido às variações da vida útil, mesmo que algumas peças sejam substituídas periodicamente, nem sempre é possível evitar as falhas catastróficas e inesperadas.

Quanto maior o número de peças sobressalentes disponíveis, maior o estoque regular. Portanto, o nível do estoque de peças sobressalentes é determinado, em grande parte, pelo nível dos padrões de engenharia de manutenção e pela qualidade dos padrões de gerenciar estoque.

Assim, a definição do estoque de peças sobressalentes deve considerar os itens estocados, a quantidade, a localização e a manutenção de forma econômica e eficiente.

Também se deve estar atento à obsolescência das peças sobressalentes para manutenção, devido às modificações do equipamento ou às alterações de desenho. Portanto, é importante verificar periodicamente o estoque.

O estoque de segurança conserva itens, independente da ausência de planos específicos para sua utilização. Na ausência desses itens, pode haver perdas significativas se ocorrer falhas do equipamento e paralisação da produção, ou se produtos importados, de difícil obtenção, necessitarem de reparo. Nessa categoria, é preciso adotar medidas para reduzir o processo de busca ou recuperação e evitar a deterioração pelas condições de armazenagem.

Em geral, as peças sobressalentes são estocadas sob ameaça do inesperado, podendo resultar em níveis de estoque excessivos. O programa de manutenção planejada precisa ser acompanhado assiduamente, identificando a vida útil de peças e componentes de forma clara. Se for possível evitar o estoque excessivo, para falhas imprevisíveis, a compra das peças sobressalentes pode ser planejada. Através desse enfoque sistemático, é possível até solucionar alguns problemas relacionados ao custo de sobressalentes e mesmo reduzi-lo.

Muitas peças sobressalentes que foram substituídas pela manutenção podem ser recuperadas (recicladas) e reutilizadas. No caso de itens de alto custo são necessários esforços para transformar estas peças em itens reciclados internamente e reutilizá-las.

Todos os sobressalentes devem ser examinados e selecionados, para se determinar quantas vezes é possível reciclar ou restaurar uma peça e quando é o momento de descartá-la.

Os itens que podem ser restaurados, se transformam em peças sobressalentes recicláveis e exigem um método de gerenciamento de estoque diferente. Para restaurar e reutilizar peças e componentes, transformando-os em peças sobressalentes, são necessárias técnicas de manutenção específicas e atividades de manutenção adicionais que, contudo, podem ser bastante eficazes.

As máquinas e equipamentos utilizam uma ampla variedade de peças, entretanto, se cada peça for individualmente analisada do ponto de vista do uso comum, pode ser imediatamente organizada em grupos. É importante manter a menor variedade de peças possível. Quando essa meta é bem sucedida, é possível reduzir significativamente o trabalho de gerenciamento de estoque e a preocupação com as faltas de estoque.

O método de gerenciamento de estoque deve ser simples e eficiente, de forma que possa ser usado por todos, conforme Takahashi (1993,p.220), e para obter esse plano, é preciso investigar os seguintes pontos:

- o valor monetário das peças sobressalentes, a frequência de uso e o custo;
- a relação entre o custo de manutenção do estoque e as perdas provocadas por paralisações de produção, decorrentes de falta de estoque;
- no caso de avarias abruptas, algumas peças sobressalentes devem ser estocadas? Ou devem ser compradas de acordo com um plano?
- algumas peças sobressalentes podem ser recicladas? Quantas vezes?
- qual o tempo de entrega necessário para aquisição das peças sobressalentes?

À luz desse fato, é importante ter em mente o propósito fundamental do estoque de peças sobressalentes, a fim de simplificar ao máximo a sua manutenção. As atividades, com esse objetivo, podem ser resumidas nos seguintes princípios, conforme Takahashi (1993,p.216):

- o gerenciamento de materiais no local de armazenagem deve ser impecável (o aspecto isolado mais importante do gerenciamento);

- é preciso criar um método de gerenciamento de estoque simples e claro;
- é preciso reduzir o estoque de peças sobressalentes.

Quando ocorrer falha catastrófica no equipamento, geralmente a prioridade é consertá-lo o mais rápido possível, esquecendo-se das conseqüências, em termos de custos.

3.4.2 Gerenciamento de peças sobressalentes

O objetivo principal do estoque de peças sobressalentes, conforme Takahashi (1993,p.214) é reduzir o tempo necessário para o reparo das falhas do equipamento e em especial às falhas repentinas. A eficácia da manutenção, conforme Juran (1991,p.26,v1), é influenciada pelo apoio logístico.

Se não ocorressem falhas abruptas e toda manutenção pudesse ser feita através de um programa de manutenção planejada, as peças sobressalentes poderiam ser adquiridas apenas de acordo com a necessidade. Entretanto, adquirir todas peças, através de somente um plano, é muito arriscado e até embaraçoso.

A meta do gerenciamento de peças sobressalentes é tornar o estoque mais econômico, evitando os excessos e redundâncias e aumentando, em contrapartida, o nível de confiabilidade e manutenibilidade do equipamento.

À medida que as máquinas e equipamentos se tornaram mais importantes e complexos as suas peças sobressalentes também foram ficando mais difíceis de se obter ou de fabricar. (RCS, 1999, Internet)

Evidentemente, devemos considerar que não somente o estoque de peças sobressalentes necessita de bom gerenciamento. As peças sobressalentes devem estar disponíveis e em ótimo estado de conservação e aptas a serem utilizadas, quando necessárias à manutenção. Também é preciso adotar medidas para evitar a deterioração das peças sobressalentes provocada por ferrugem, arranhões, sujeira e umidade. (Takahashi,1993,p.218)

É importante identificar a quantidade e a localização da peça sobressalente de forma clara, rápida e sem possibilidade de erro.

No que se refere ao corte de custos dos sobressalentes, os seguintes pontos são pertinentes, conforme Takahashi (1993,p.214):

- para diminuir o tempo de paralisação decorrente de falhas catastróficas do equipamento e intervenções programadas (tempo de recuperação) é necessário manter um estoque regular de peças sobressalentes e materiais;
- o gerenciamento do estoque de peças sobressalentes precisa incluir análises suficientes das melhorias de confiabilidade e ampliação da vida útil do equipamento no momento em que os materiais e peças são colocados à disposição;
- é preciso desenvolver um método para redução dos custos de aquisição e armazenagem do material.

A verificação deve ser feita a cada reposição do material, e o desempenho dos itens retrabalhados ou reciclados deve ser testado. Também é necessária uma provisão para o transporte e movimentação dos itens pesados, encontrados entre as peças sobressalentes. (Takahashi,1993,p.219)

As peças sobressalentes também podem precisar de manutenção e devem ser inspecionadas, testadas periodicamente. No caso de materiais e suprimentos para manutenção, há itens fungíveis (que se consome no primeiro uso), que se desgastam ou deterioram e são descartados, e unidades ou peças sobressalentes que são recicladas, retornando ao estoque e servindo para manutenção e novas substituições. Portanto, para algumas peças e componentes, a manutenção de estoque é mais econômica, embora as necessidades devam ser planejadas. (Takahashi,1993,p.215)

3.4.3 Técnica de previsão de consumo

Deve-se considerar que o custo do item relativo a sobressalentes, no aspecto geral, é importante para a redução global de qualquer projeto, empreendimento ou negócio, e para tanto, deve ser aplicado este conceito para avaliar o grau de importância das peças sobressalentes, a fim de otimizar e reduzir

ao mínimo o seu escopo. Os custos de manutenção, de mão-de-obra e peças sobressalentes, conforme Casarotto (1996,p.199), estão incluídos nos custos de produção indiretos.

A mesma importância dada à matéria-prima, deverá ser dada a peças de reserva para manutenção. O custo de interrupção da produção é constituído das despesas correspondentes à mão-de-obra parada, ao equipamento ocioso, ao prazo de entrega adiado e à própria perda ocasional da encomenda, quando não do cliente. Acrescido a tudo isto, o custo da interrupção da oportunidade perdida de obter rendimento, durante o tempo de parada, ou seja, o lucro cessante. Podemos ver que o mesmo risco incorrido com a falta de uma matéria-prima pode ocorrer com as peças de reposição, e atualmente as empresas industriais estão dando maior importância a este grupo de estoque. (Dias, 1985, p.30)

Nos almoxarifados das empresas modernas encontra-se armazenadas uma grande variedade de itens e peças que formam o estoque, desde os mais baratos consumíveis, utilizados aos milhares anualmente, às peças de reserva críticas, as quais podem nunca ser usadas, durante a vida inteira da usina ou equipamento, custando dezenas ou centenas de milhares de reais.

Mais de 50% do levantamento dos valores podem consistir em partes sobressalentes que são usados à taxa de uma por ano ou menos; uma parcela dos valores de 10% a 30% do levantamento pode permanecer, sem uso, estocado nas prateleiras de um almoxarifado, durante todo o tempo de vida previsto da usina. (RCS, 1999, Internet)

Olhando pela ótica financeira, talvez estas partes ou peças nunca deveriam ter sido compradas; por outro lado, se elas não estiverem disponíveis quando for preciso, a empresa e o negócio poderão sofrer conseqüências de tempo de parada para manutenção severa e perdas econômicas de vulto.(RCS, 1999, Internet)

Na elaboração de especificação técnica, ordem de compra, projeto de um equipamento a ser adquirido, sempre há dificuldades na análise dos sobressalentes. Avaliar se o escopo de fornecimento de peças sobressalentes (determinação das

peças bem como o seu dimensionamento) de um equipamento ou projeto foi a mais adequada. Na escolha, tradicionalmente prevalece a opinião de técnicos especializados, com larga experiência de campo, e os critérios normalmente não são explícitos e muitas vezes são consideradas opinião ou sugestão do fabricante, do fornecedor ou de terceiros.

As técnicas de previsão do consumo conforme Dias (1985,p.37) podem ser classificadas em três grupos:

- **projeção** são aquelas que admitem que o futuro será a repetição do passado, segundo a mesma lei observada;
- **explicação** procura-se explicar o comportamento passado, mediante leis que correlacionem as mesmas com outras variáveis. cuja evolução é conhecida ou previsível. São basicamente aplicações de técnicas de regressão e correlação;
- **predileção** de funcionários experientes, conhecedores de fatores influentes, que estabelecem a evolução das necessidades.

É inegável a importância de definir uma sistemática aplicável para todo processo de produção, manutenção e operação. Um sistema eficaz e de grande previsibilidade no controle dos equipamentos, de forma a garantir a disponibilidade de geração e a continuidade operativa.

Cumpre-se também destacar a importância no acompanhamento da performance dos equipamentos, eliminação de defeitos sistemáticos, prevenção de falhas, análise de desempenho do processo operacional, prolongamento de vida útil dos equipamentos com o objetivo final de aumentar a confiabilidade da instalação, sempre aliado à análise de custo benefício envolvido.

3.4.4 Local de Armazenagem

A avaliação da localização do estoque de peças sobressalentes é feita com base na rapidez de recuperação de uma peça sobressalente, em circunstâncias normais. É preciso especificar e identificar as peças sobressalentes pelo nome do item. Utilizar recursos visuais e/ou sinais no armazém para facilitar a localização das peças. As estantes devem ser visualizadas com facilidade, através de tampas ou

capas transparentes ou da exibição de amostras, e peças semelhantes devem ser claramente identificadas, para evitar confusão.

Um dos piores cenários no gerenciamento de estoque ocorre quando a equipe de manutenção descobre que uma peça sobressalente está trancada em um armazém e não pode ser retirada. A manutenção deve estar sempre informada dos itens, quantidades e locais de armazenagem exatos, inclusive prateleira e recipiente. Se a equipe não consegue encontrar as peças de que precisa simplesmente porque o funcionário do estoque faltou, não pode solucionar as emergências. Uma situação comparável a um soldado à procura de munição em pleno campo de batalha.

Uma observação no local, de armazenagem de peças sobressalentes, valerá por mil palavras sobre os esforços para reduzir o tempo de manutenção, as peças utilizadas nas avarias freqüentes e a atitude da equipe de manutenção em relação às atividades de manutenção. (Takahashi,1993,p.219)

3.5 Análise da modalidade de falha

O termo confiabilidade se originou na década de 50, das análises de falhas em equipamentos eletrônicos de uso militar e mais tarde, em 1968, a indústria aeronáutica (*Boeing*) adotou um programa dentro dos princípios de Manutenção Centrada em Confiabilidade. (Pinto e Xavier, 1998,p.85)

A metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) está estruturada para implementar o princípio de que nenhuma tarefa de manutenção preventiva será executada, exceto que seja justificada e o critério de justificativa é a segurança, a disponibilidade e a economia de se postergar ou prevenir uma modalidade específica de falha.

Este critério leva implicitamente a premissa de que toda modalidade em que o equipamento poderá falhar, pode ser identificada e analisada, para determinar se, pode ou não ser encontrada, uma correspondente tarefa de manutenção preventiva.(Moss,1985,p.61)

A Manutenção Centrada em Confiabilidade - MCC é aplicada sob a forma de uma análise de duas partes do projeto de um equipamento.

A primeira parte da análise identifica as modalidades das falhas em potencial, suas origens e a sua freqüência de ocorrência (índice de falhas). Esta parte é atualmente conhecida como Análise do Modo de Falha. A segunda parte, a análise da MCC em si, formula uma seqüência lógica de perguntas a cada modo de falha. As respostas a estas perguntas determinam quais tarefas de manutenção preventiva devem ser executadas, e podem descobrir deficiências de manutenção que deverão ser corrigidas.

Este trabalho aplica somente a primeira parte da análise da Manutenção Centrada em confiabilidade - MCC.

3.5.1 As ferramentas tradicionais da qualidade

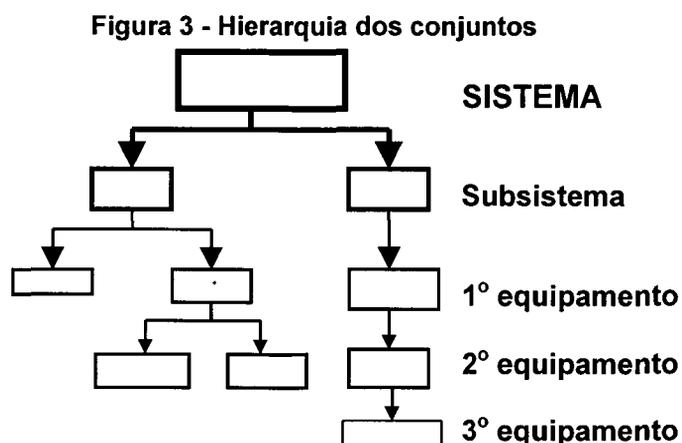
As ferramentas tradicionais da qualidade são aquelas já desenvolvidas em outras ciências ou áreas do conhecimento, para o controle da qualidade em processos e produtos.

As sete ferramentas básicas para a qualidade, conforme Paiva (2000, internet) se revelam de importância fundamental na análise estruturada dos dados e fatos disponíveis e são de aplicação generalizada para quase todos os níveis da empresa. Para a resolução de um determinado problema é necessário, primeiro, identificá-lo e caracterizá-lo convenientemente. A fase de resolução passa por listar todas as suas potenciais causas, selecionar as mais importantes, desenvolver um plano para implementar efetivamente as soluções, e sempre que possível, avaliar o efeito da sua implementação.

"O objetivo básico destas sete ferramentas é auxiliar seus usuários a entenderem o processo, para providenciar o meio de melhorá-lo." As sete ferramentas básicas da qualidade, conforme Paladini (1997,p.67) são Diagrama de Causa-efeito; Histogramas; Gráficos de controle; Folhas de Checagem; Gráficos de Pareto; Fluxogramas; Diagramas de Dispersão.

3.5.2 Construção da hierarquia dos conjuntos

A hierarquia dos conjuntos é a organização dos elementos de um sistema dentro de uma estrutura que se assemelha à de uma árvore, conforme mostra a Figura 3. É desenvolvida ao se dividir o equipamento em conjuntos que são sucessivamente cada vez de menor nível, até que todas as peças ou componentes da árvore sejam identificadas.



Fonte: Moss, 1985,p.64 - adaptado

Uma hierarquia de conjuntos pode ser disposta em forma de um organograma ou como uma lista formalizada de um catálogo de peças. No nível mais elevado é colocado o produto inteiro, considerado como um sistema que executa uma missão ou um conjunto de missões.

O sistema geralmente se compõe de um grupo de circuitos, cada um dos quais desempenha funções específicas que habilitam o sistema a executar sua missão solicitada. Cada circuito está constituído por componentes interconectados, cada um dos quais é também uma peça individual, ou um conjunto que pode ser discriminado em peças individuais ou conjuntos subordinados.

Estes subconjuntos podem, por sua vez, serem discriminados em peças individuais e/ou subconjuntos em nível mais baixo. Em última instância cada linha de descenso dentro deste sistema estruturado tem que terminar em peças individuais.

3.5.3 Análise do componente na hierarquia

Cada componente incluído na hierarquia do conjunto é analisado na sua vez, começando com o nível do sistema e prosseguindo para baixo. Um formulário, (vide item 4.2) para cada componente, em separado, é preenchido, salvo que este

não seja possível de ser reparado. Sem dúvida, os componentes que não podem ser reparados são incluídos no formulário como fontes de falhas para o seguinte conjunto de nível superior.

As informações no momento da análise e preenchimento dos formulários (item 4.2) devem ser feitas com cuidado, para que o dado definido no item que está sendo analisado reaja ao raciocínio do analisador, ao executar a análise. De todos os modos, salvo os casos mais simples, o analista pode voltar atrás para trocar o registro de uma informação, à medida que progride através da análise de um item, ou ao de um componente subordinado que se encontra vários níveis do conjunto mais abaixo. Devido ao efeito cascata que um dado ou informação de um item mais elevado exerce sobre o esforço de análise para baixo, o quanto antes se realize a correção, tanto melhor. Enquanto que este processo iterativo de correção pode ser um pouco exaustivo, o mesmo deverá ser perseguido fielmente para que a análise cumpra a sua finalidade.

3.6 Análise de manutenção corretiva - AMC

Poderia ser possível, teoricamente, eliminar qualquer necessidade para manutenção corretiva ao se projetar produtos e equipamentos que não estejam sujeitos a falhas, empregando a combinação apropriada de componentes de alta confiabilidade, a incorporação de previsões para os ensaios e manutenção preventivo. (Moss, 1985, p.87)

O procedimento para a análise AMC deve identificar as tarefas específicas de manutenção corretiva a ser realizada para cada modalidade de falha. Também deve determinar o destino a ser dado ao item defeituoso substituído para corrigir a falha, ou seja, determinar se deve ser descartado ou reparado.

No capítulo 4, a seguir, mostra-se como está estruturado o método para determinação qualitativa dos sobressalentes, necessários como suporte às atividades de manutenção.

CAPÍTULO 4 - MÉTODO PROPOSTO PARA DETERMINAÇÃO QUALITATIVA DOS SOBRESSALENTES

O método proposto para determinação qualitativa dos sobressalentes, necessários como suporte das atividades de manutenção, está baseado na Manutenção Centrada em Confiabilidade – MCC e Análise de Manutenção Corretiva – AMC, e desenvolvido com a utilização das ferramentas tradicionais da qualidade.

4.1 Preparação e estudos preliminares

É importante e necessário que o trabalho de estudos, preparação, aplicação e análise do método proposto seja feito por uma equipe de técnicos de todas as áreas envolvidas (elétrica, mecânica, eletrônica) com a manutenção e operação do equipamento sob análise.

Inicialmente deve ser feito o levantamento de toda a documentação necessária, ou seja, os desenhos, esquemas, circuitos, manuais de montagem, manuais de manutenção e operação, catálogos, listas de materiais, relatórios de manutenção, relatórios de falhas e o programa ou plano de manutenção preventiva, aplicado pela equipe de manutenção da empresa, para o equipamento a ser avaliado.

4.1.1 Elaboração da árvore hierárquica

A Construção da hierarquia dos conjuntos, é desenvolvida dividindo-se a máquina ou o equipamento, a ser avaliado, em elementos que são sucessivamente cada vez de menor nível, até que todas as suas peças ou componentes sejam identificadas (vide item 3.5.2).

No nível mais elevado é colocado o produto inteiro, considerado como um sistema, que executa uma missão ou um conjunto de missões.

Cada elemento da árvore é constituído por componentes interconectados, cada um dos quais é também uma peça individual, ou um conjunto que pode ser

discriminado em peças individuais ou subconjuntos subordinados, que podem, por sua vez, também serem discriminados em peças individuais, em nível mais baixo, até que todas as peças ou componentes sejam identificadas.

4.1.2 Levantamento dos modos de falha

Para o equipamento a ser avaliado e considerando cada elemento da sua árvore hierárquica construída, deve ser feito um levantamento de todos os modos de falha e a suas respectivas fontes de falha, em que o item sob análise pode afetar o cumprimento da missão ou função, conforme se aplica.

Para tal devem ser analisados os planos e programas de manutenção preventiva do equipamento sob análise, manuais de manutenção e operação, relatórios de manutenção e, primordial, a consulta aos técnicos especialistas de cada área (elétrica, mecânica, eletrônica).

Conforme Monchy (1989,p.76) as falhas de componentes, peças e equipamentos pertencem a uma família ou modo de falha, com processos de degradação próprios, conforme o Quadro 1 abaixo.

Quadro 1 – Modos de falha

| | |
|---------------------------------|--|
| Modos de Falha mecânicos | Choque; sobrecarga; fadiga; fadiga térmica; fluência; desgaste pelo uso; Abrasão; erosão; perda da eficiência; desajuste; descalibração; desalinhamento; estrutural. |
| Modos de Falha elétricos | Degradação da isolação; ruptura da ligação; colagem dos contatos; desgaste dos contatos; sobrecarga; queima; ruptura da isolação. |

Fonte: Monchy,1989,p.76 - adaptado

Para o estudo de caso deste trabalho, foi feito o levantamento das modalidades de falhas e as suas respectivas fontes de falha dos equipamentos, peças e componentes do gerador, através da análise das planilhas de Inspeção e Controle (PIC) semestrais, anuais e quadrienais dos planos de manutenção preventiva, referentes aos equipamentos elétricos (Itaipu,1999, r5) e equipamentos mecânicos (Itaipu,1998, r5).

O levantamento efetuado, objeto de análise do estudo de caso deste trabalho, estão listadas nos formulários do ANEXOS I, para cada componente, peça ou equipamento considerado (vide item 5.3).

4.2 Procedimento de análise

Para o procedimento de análise, após o levantamento dos Modos de Falha e as suas fontes de falha, para cada componente, peça e equipamento da árvore hierárquica as informações devem ser registradas no Formulário de Análise do Modo de Falha e Fonte de Falha, Quadro 2, os quais, uma vez preenchidos, identificam as tarefas de manutenção corretiva para as quais deverá ser providenciado suporte, sob a forma de manuais, reparos, materiais especiais, ferramentas, equipamentos de ensaios e peças sobressalentes.

O Formulário de Análise do Modo e Fonte de Falha, mostrado no Quadro 2, é composto de duas partes, sendo a primeira parte, referente à Análise da Modalidade de falha (vide item 3.5), que inicialmente deve ser identificado pelo número arábico da folha correspondente e após o número total das folhas que compõem a análise em questão, e logo após, na próxima linha deve ser posto o nome do item sob análise ou seja o componente, a peça ou o equipamento que está sendo avaliado.

No espaço seguinte preencher as informações complementares do item sob análise, conforme solicitado, observando a hierarquia estabelecida na árvore hierárquica do equipamento para o Próximo Dispositivo Superior, que vem a ser o elemento em nível hierárquico acima, na árvore, e os próximos três espaços devem ser preenchidos, obedecendo o mesmo critério de preenchimento para o solicitado.

Na linha seguinte deve ser descrita a função desempenhada pelo item sob análise, de forma sucinta, ou seja, qual trabalho o item executa no sistema considerado.

Logo abaixo, no espaço seguinte, deve ser apresentada a lista das Modalidades de Falha levantadas para o item da árvore que está sendo analisado,

considerando que ele não poderia chegar a cumprir sua missão ou função, conforme se aplica. Todos os modos de falha registrados e descritos em ordem e identificados por um número arábico no espaço **No.** do formulário, colocado à esquerda, de forma a permitir uma correlação com as respectivas fontes de falha, preenchidas com o número correlacionado, na segunda parte do formulário do Quadro 2, a seguir.

Quadro 2 – Formulário de Análise do Modo e Fonte de Falha

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | | | | | FOLHA N ^o . 000/000 | | | | |
|---|-----------------------------|--------------------|-----|----|--|--------------------------------|-------------------------------|-----|-----|-----|
| Item sob Análise: | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1 ^o equipamento: | | | | | | | | | |
| | Subsistema: | | | | | | | | | |
| | Sistema: | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA – AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar ILR- inspecionar, limpar, reapertar RL- reparar no local R&S- substituir NA- não aplicável | | | | | DSC- descartar o item SEL- selecionar se descarta ou repara o item REP- reparar o item NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |

Fonte: Moss, 1985, p.66, 90 – adaptado

Na parte 2 do Formulário de Análise de Modo e Fonte de Falha, Quadro 2, registrar a correspondente origem da falha, ou seja, a Fonte da Falha, para cada Modalidade de Falha listada na parte 1, identificada por um numeral arábico, escrito em seqüência, na coluna à esquerda, correlacionando com estas duas informações, considerando que o item sob análise pode ser o elemento causador daquela modalidade de falha.

A Análise de Manutenção Corretiva – AMC, Quadro 2, é feita na segunda parte do Formulário de Análise do Modo e Fonte de Falha, e tem como objetivo identificar as tarefas de manutenção corretiva específicas para cada modalidade de falha, listadas no quadro anterior, para o item sob análise.

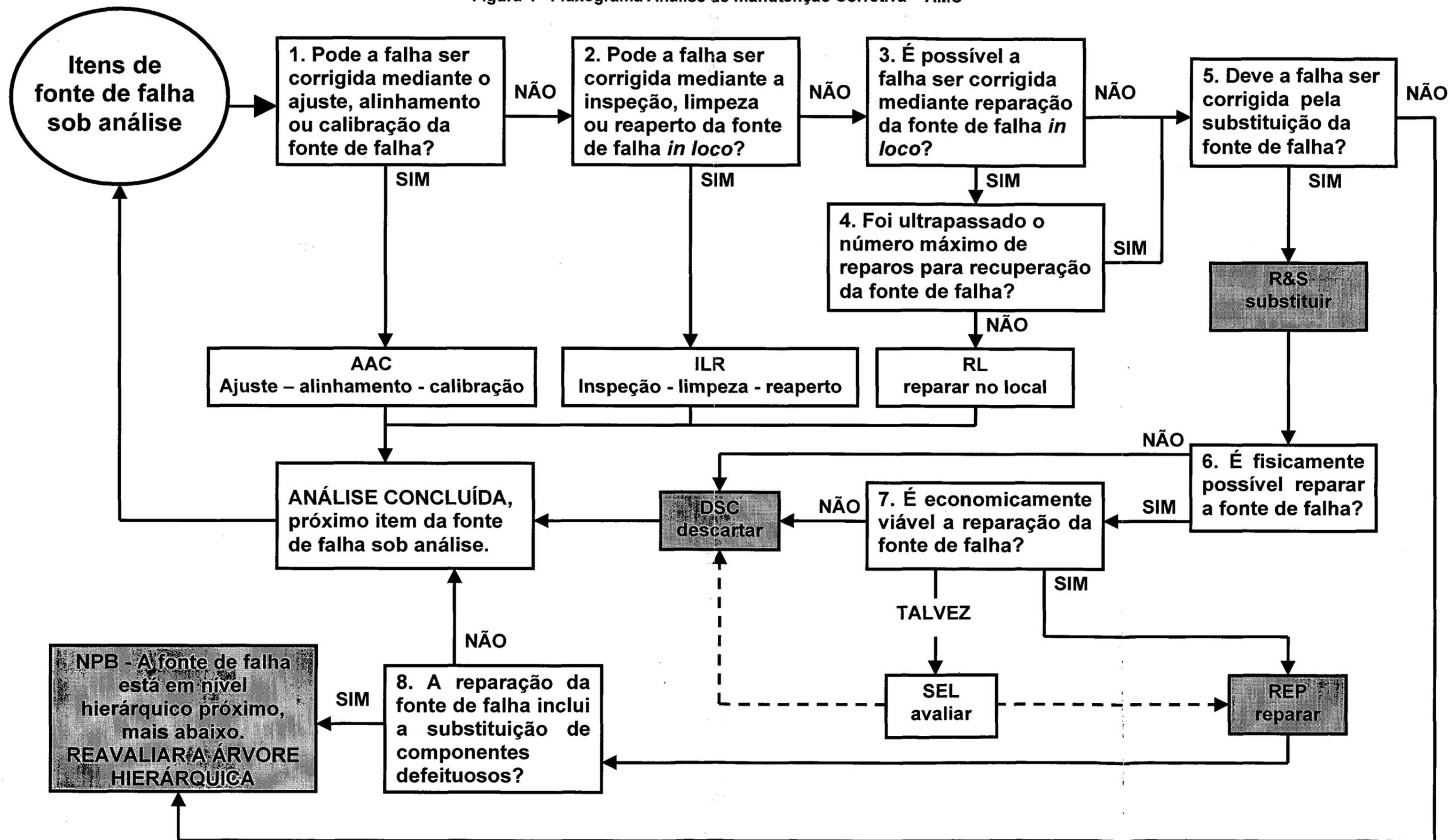
4.2.1 Procedimento de análise dos modos de falha

O procedimento AMC é elaborado com o enfoque de perguntas, em uma seqüência lógica, feitas para a análise, dirigidas para cada modalidade de falha e as respectivas fontes de falha, correspondente ao item sob análise, conforme a Figura 4 Fluxograma de Análise de Manutenção Corretiva.

O procedimento para Análise de Manutenção Corretiva - AMC deve identificar as tarefas específicas de manutenção corretiva a serem realizadas para cada fonte de falha com o preenchimento dos espaços dos blocos 2.1- AÇÃO CORRETIVA. Também deve determinar a disposição a ser efetuada dos itens defeituosos substituídos no curso de corrigir a falha, se as mesmas devem ser reparadas ou rejeitadas, conforme determinado pelo bloco 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA.

A informação desenvolvida, ao responder a seqüência de perguntas sobre manutenção corretiva, é registrada no Formulário de Análise de Modo e Fonte de Falha, mostrada no Quadro 2. Um formulário é completado, para cada item de *hardware*, componente, peça ou equipamento, em cada nível na árvore hierárquica de conjuntos, analisando até, mas sem incluir, os itens não reparáveis, tais como peças individuais.

Figura 4 - Fluxograma Análise de manutenção Corretiva – AMC



Depois de registrar a informação do cabeçalho, identificando o item sob análise, os dispositivos na hierarquia e a função desempenhada pelo item, comece a análise confeccionando uma lista dos modos de falha do item que está sendo analisado na coluna MODO DE FALHA, identificando a cada um por meio do código correspondente (No.) registrado à esquerda de cada modo de falha, no Bloco 1 do formulário.

A seguir deve ser preenchido o Bloco 2 – Análise de Manutenção Corretiva que identifica cada fonte de falha, com o código correspondente ao Modo de Falha, descrito no Bloco 1.

A análise se efetua submetendo a cada fonte de falha, na sua vez, à seqüência de perguntas esboçadas na Figura 4 – Fluxograma Análise Manutenção Corretiva – AMC com as perguntas e respostas para identificação das tarefas de manutenção corretiva, e documentando as respostas nas colunas 2.1 AÇÃO CORRETIVA e 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA no Bloco 2 do Formulário de Análise de Modo e Fonte de Falha. As abreviações no cabeçalho das colunas 2.1 e 2.2 serão explicadas a seguir e os termos de manutenção corretivo usados são definidos no item 3.2.2 conceitos básicos de manutenção.

Bloco 2.1 AÇÃO CORRETIVA:

- **AAC:** ajuste, alinhamento ou calibração da fonte de falha (nenhum reparo nem substituição requerida de peças);
- **ILR:** Inspeccionar fisicamente a fonte de falha no local, fazendo uma limpeza e um reaperto no local, e esta categoria de ação corretiva também tem a função de preparar o equipamento para um reparo no local da fonte da falha.
- **RL:** Reparar a fonte de falha no local físico, apesar de que esta categoria de ação corretiva tem a intenção de reparar a fonte da falha enquanto permanece na sua posição instalada. A categoria também deve incluir a reparação de fontes retiradas de suas posições instaladas para facilitar o reparo, com a condição de que toda a tarefa de reparação pode ser executada imediatamente adjacente ao seu local de instalação (por exemplo, retirar as velas de um motor de automóvel para limpeza e reajuste);

- **R&S**: substituir a fonte de falha, do item em análise, por uma unidade equivalente (sobressalente), que opere corretamente;
- **NA**: não aplicável (a ação apropriada de manutenção corretiva é empreendida por AAC ou RL da fonte de falha, ou é realizada em nível de hierarquia abaixo da fonte de falha; em qualquer dos dois casos, a reparação da fonte de falha em um lugar distante da sua posição de instalação não é aplicável).

Bloco 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA:

- **DSC**: Descartar a fonte de falha (sucata);
- **SEL**: Avaliar (i.e., examinar) a fonte de falha para determinar qual a opção que oferece uma melhor relação custo benefício, se reparar ou o descartar;
- **REP**: Reparar (ou reciclar) a fonte de falha, com o retorno da mesma para o estoque de peças sobressalentes;
- **NPB**: Nível seguinte mais baixo na hierarquia (um x nesta coluna indica que a fonte de falha deve ser analisada, ou seja, ser tratada como um dos itens que estão sendo analisados no nível hierárquico do conjunto seguinte, mais abaixo).

4.2.2 Preenchimento do Formulário de Análise de Modo e Fonte de Falha

A resposta a cada pergunta formulada na Figura 4 deve ser realizada como se explica logo a seguir. As primeiras cinco perguntas tratam da manutenção corretiva realizada na fonte de falha defeituosa e as três perguntas seguintes se ocupam do destino a ser dado para a fonte de falha defeituosa.

PERGUNTA 1: Pode a falha ser corrigida mediante o ajuste, alinhamento ou a calibração da fonte de falha?

- A resposta a Pergunta 1 será SIM somente se a falha poderá ser corrigida sem nenhum reparo físico, nem substituição de qualquer de seus componentes.
- Se a resposta for SIM, registre um x na coluna AAC do Bloco 2.1 do formulário, mostrado no Quadro 2. Com isto se conclui a análise desta fonte de falha. Prossiga para a seguinte item da fonte de falha.
- Se a resposta for NÃO, prossiga para a Pergunta 2.

PERGUNTA 2: Pode a falha ser corrigida mediante a inspeção, limpeza ou reaperto da fonte de falha *in loco*?

- A resposta à Pergunta 2 será SIM quando a fonte de falha puder ser inspecionada, limpa e reapertada na sua posição física, sem a troca de qualquer um de seus componentes.
- Se a resposta for SIM, registre um x na coluna ILR do bloco 2.1. Com isto se conclui a análise desta fonte de falha. Análise concluída, continue com o seguinte item da fonte de falha da lista.
- Se a resposta for NÃO, prossiga à Pergunta 3.

PERGUNTA 3: É possível a falha ser corrigida mediante a reparação da fonte de falha *in loco*?

- A resposta à Pergunta 3 será SIM quando a fonte de falha puder ser reparada na sua posição por uma intervenção na mesma, sem a troca de qualquer um de seus componentes.
- Se a resposta for SIM, prossiga para a Pergunta 4.
- Se a resposta for NÃO, prossiga à Pergunta 5.

PERGUNTA 4: Foi ultrapassado o número máximo de reparos para a recuperação da fonte de falha?

- Se a resposta à pergunta 4 for NÃO estabelece que a correção da falha pode ser feita por reparo da fonte de falha na sua posição.
- Registre um x na coluna RL do bloco 2.1. Com isto se finaliza a análise desta fonte de falha. Análise concluída, continue com o seguinte item da fonte de falha da lista.
- A resposta à Pergunta 4 será SIM quando já se esgotou o número de vezes que a fonte de falha pode ser reparada (recuperada ou reciclada). Desta forma a análise da fonte de falha deve prosseguir para a pergunta 5.

PERGUNTA 5: Deve a falha ser corrigida mediante a substituição da fonte de falha?

- A resposta NÃO às Perguntas 1,2 e 3 ou SIM à pergunta 4 estabelece que a correção da falha não pode ser feita por ajuste, alinhamento, calibração, limpeza, reaperto ou reparo da fonte de falha na sua posição. Então deve-se presumir que a falha somente pode ser corrigida pela substituição da última fonte de falha, ou seja,

a fonte de falha que efetivamente sofreu a falha física. A última fonte de falha pode ser ou a fonte que atualmente está sendo analisada ou um de seus componentes. A resposta à Pergunta 5 será SIM quando não é factível substituir a última fonte de falha sem substituir a fonte de falha que atualmente está sendo analisada.

- Se a resposta for SIM, registre um **x** na coluna R&S do Bloco 2.1 e prossiga à Pergunta 6.
- Se for possível substituir a última fonte de falha mediante a substituição de um componente e qualquer nível de conjunto abaixo do nível da fonte que está sendo analisada, a resposta será NÃO. Neste caso, ingresse com um **x** na coluna NPB do Bloco 2.1, e reavaliar a árvore hierárquica. Com isto se conclui a análise para esta fonte de falha mas será necessário realizar análise dos novos elementos do arranjo da árvore hierárquica.

PERGUNTA 6: É fisicamente possível reparar a fonte de falha?

- Certas fontes de falha sempre serão convertidas em uma falha impossível de ser reparada. Toma-se por exemplo, uma lâmpada comum incandescente com a modalidade de falha prevista da queima do filamento, e a reparação não é factível. Outra modalidade de falha é a quebra de um globo de vidro, cuja reparação é um tanto menos factível. As falhas catastróficas geralmente não são reparáveis. Por outro lado, as falhas por desgaste, em geral, podem ser reparadas.
- Quando a reparação da fonte de falha é fisicamente factível, registre um **x** na coluna REP do Bloco 2.2 e prossiga à Pergunta 7.
- Quando a reparação da fonte de falha não é fisicamente factível, registre um **x** na coluna DSC do Bloco 2.2. Análise concluída desta fonte de falha, prossiga para o seguinte item da lista de fonte de falha.

PERGUNTA 7: É economicamente viável a reparação da fonte de falha?

- Existem três possíveis respostas a esta pergunta – SIM, NÃO ou TALVEZ. A resposta será SIM ou NÃO naqueles casos em que as conseqüências da modalidade de falha são consistentes e sem dúvidas. Mas uma situação, mais complexa, se apresenta com as fontes de falha, nas quais a extensão dos danos resultantes e a possibilidade do reparo deverão ser avaliados separadamente, em cada caso. Esta avaliação somente poderá ser efetuada baseada no exame do equipamento depois da ocorrência da falha.

- Se a resposta à Pergunta 7 for NÃO, a fonte de falha deverá ser descartada; registre com um x na coluna DSC do Bloco 2.2. Com isto se conclui a análise desta fonte de falha. Prossiga para a seguinte item fonte de falha da lista.
- Se a resposta à Pergunta 7 for SIM, a fonte de falha deverá ser reparada; registre com um x na coluna REP e continue com a Pergunta 8.
- Se a resposta à Pergunta 7 for TALVEZ, a decisão de se deve descartar ou reparar a fonte de falha somente poderá ser tomada depois de um exame; registre um x na coluna SEL. Com isto se conclui a análise desta fonte de falha. Prossiga para a seguinte fonte de falha da lista.

PERGUNTA 8: A reparação da fonte de falha inclui a substituição de componentes defeituosos?

- Se a resposta for NÃO, não será necessário incluir os componentes de uma fonte de falha em análise desta modalidade de falha nos níveis de conjuntos de hierarquias inferiores. Com isto se conclui a análise desta fonte de falha. Prossiga para a seguinte item da lista da fonte de falha.
- Se a resposta for SIM, registre com um x na coluna NPB do Bloco 2.2, indicando que a análise incluirá componentes de fontes da falha na hierarquia seguinte de nível mais baixo e reavaliar a árvore hierárquica. Com isto se conclui a análise de todas as fontes de falha neste nível. Continuar no nível seguinte da árvore, mais abaixo.

Este procedimento deve ser feito de forma repetitiva, até esgotar, para que todas as fontes de falha dos elementos da árvore hierárquica, do equipamento avaliado, sejam analisadas.

4.2.3 Determinação dos sobressalentes pela aplicação do método

A partir da análise dos dados e das informações, dos formulários de análise do Modo e Fonte de Falha, todos preenchidos com a aplicação do método são determinados os sobressalentes do equipamento, como suporte às atividades de manutenção.

Para a determinação da lista de sobressalentes são considerados todos os componentes, as peças e equipamentos, cuja fonte de falha teve de ser substituída na análise AMC, bloco 2.1 AÇÃO CORRETIVA, no qual pela ocorrência do modo de falha, a sua respectiva fonte de falha foi classificado na coluna **R&S** dos formulários de análise.

Para a lista de sobressalentes descartáveis do gerador são considerados todos os componentes, peças e equipamentos (fontes de falha), que pela aplicação do Método de Determinação Qualitativa dos Sobressalentes, tiveram de ser removidos e substituídos em função da AÇÃO CORRETIVA e como DESTINO DA FONTE DE FALHA foram descartados (**DSC**).

E a lista de sobressalentes reparáveis (recicláveis) contém todos os componentes, peças e equipamentos (fontes de falha), que pela aplicação do Método de Determinação Qualitativa dos Sobressalentes, tiveram de ser removidos e substituídos em função da AÇÃO CORRETIVA e como DESTINO DA FONTE DE FALHA foram reparados ou reciclados (**REP**).

Desta forma, a determinação qualitativa dos sobressalentes está devidamente documentada e preservada, com as informações sobre o processo, os critérios e procedimentos da escolha dos sobressalentes disponível, em qualquer tempo, para consulta e reavaliação.

No capítulo seguinte, é analisado o estudo de caso, com a aplicação prática do método e os resultados obtidos.

CAPÍTULO 5 - ESTUDO DE CASO

No estudo de caso, para aplicação do método de determinação de sobressalentes, foi escolhida a unidade geradora de Itaipu e seus equipamentos associados, a qual é composta de um conjunto de equipamentos e peças bastante variados e de diversas procedências. Desta forma foram feitas algumas limitações no estudo e o trabalho restringiu-se a estudar somente o gerador.

5.1 Requisitos técnicos do projeto de Itaipu

Em 26 de abril de 1973 foi assinado o Tratado regulamentando a construção e operação da Usina Hidrelétrica de Itaipu, sendo assim criada a entidade ITAIPU BINACIONAL. (500 anos Energia Elétrica no Brasil, 2000, p.186)

No Projeto Básico, foi definida a configuração atual do projeto e todos os sistemas e equipamentos. Nesta fase de estudos, obteve-se uma quantidade considerável de informações dos fabricantes, que foram devidamente analisadas. O estudo de viabilidade do projeto estabeleceu as definições básicas e os parâmetros gerais do projeto da Usina Hidrelétrica de Itaipu. (Ieco-Elc,1997,p.II-15)

5.1.1 Arranjo da Casa de Força de Itaipu

Os geradores síncronos de Itaipu foram projetados para serem semelhantes, mecanicamente e eletricamente. Para as máquinas de mesma freqüência, as dimensões físicas são idênticas e as peças são intercambiáveis, independentes da origem da fabricação e dos avanços tecnológicos disponíveis.

A solução adotada foi da utilização de duas freqüências, ou seja, metade dos geradores em 60 Hz e a outra metade de 50 Hz. (Ieco-Elc,1997,p.II-14)

Os geradores síncronos e seus equipamentos associados deveriam ser escolhidos em atendimento aos seguintes requisitos(Ieco-Elc,1997,p.II-15):

- todos os sistemas, equipamentos e componentes devem operar dentro da capacidade técnica de fabricação da indústria elétrica;

- ter dimensões físicas e pesos em conformidade com as rodovias de acesso a Usina Hidrelétrica de Itaipu e aos meios de transporte terrestre e marítimo;
- a escolha de sistemas e equipamentos com o mais alto grau de confiabilidade, de maneira que a usina opere sem qualquer dependência de outros sistemas ou instalações fora da área do projeto;
- ter seu projeto, fabricação e tipo já empregados com sucesso comprovado. A utilização de tecnologia nova somente seria permitida quando não se pudesse evitá-la e quando as vantagens técnicas e econômicas fossem consideráveis;
- os geradores deveriam ter arranjo físico, disposição dos equipamentos, características e dimensões físicas iguais ou similares, independentes da freqüência e da origem da fabricação;
- a tensão de geração teria que ser de igual valor para qualquer gerador, independente da freqüência e da origem de fabricação;
- as soluções empregadas no gerador para classificação térmica de isolamento do estator e do rotor, para refrigeração, para fixação do estator no concreto, para frenagem e levantamento do rotor, arranjo dos mancais, sistema de excitação teriam que ser as mesmas, independente da origem e da freqüência;
- as peças de reserva, para os equipamentos de mesma freqüência e independentes da origem de fabricação, teriam que ser de mesmo projeto e intercambiáveis;
- o projeto, tanto quanto possível em função da viabilidade, deveria considerar os materiais de fabricação nacional;
- o poço de cada gerador teria de ser em concreto e possuir duas portas para acesso de pessoal ao recinto dos trocadores de calor ar - água e da carcaça do estator;
- a escolha dos equipamentos e peças deveria se pautar no mais alto grau de confiabilidade na operação das unidades geradoras;
- a produção de energia elétrica deve ter as características de qualidade de modo a atender às necessidades de energia elétrica do Brasil (60 Hz) e Paraguai (50 Hz);
- as soluções de engenharia devem ser simples, confiáveis seguras, e de experiência comprovada. Utilizar os melhores padrões de segurança, economia e confiabilidade na engenharia de todos os componentes do projeto;
- as seguintes normas técnicas teriam de ser atendidas: ABNT, IEC, IEEE, ISO, ASTM, ANSI, NEMA.

Foram fixadas as três classes de serviços (Ieco-Elc, 1997, p.II-15):

- os sistemas que são necessários, durante e após acontecimentos catastróficos, para assegurar a integridade das estruturas da usina (por exemplo bombas de drenagem, vertedouro);
- os sistemas que são necessários para assegurar a entrega de potência gerada na usina ao sistema de transmissão, em condições de segurança (por exemplo gerador, proteções elétricas, serviços auxiliares);
- os sistemas necessários, para assegurar continuidade dos trabalhos de manutenção, nas unidades geradoras e auxiliares gerais, contribuindo para o seu retorno o mais rápido possível, às condições normais de operação e outros sistemas importantes, ao conforto dos operadores e que assegurem certas facilidades durante a operação (por exemplo iluminação normal, ventilação, comunicação).

A análise dos diferentes *layouts* investigados para a Casa de força, durante os estudos de viabilidade, concluiu que a configuração mais favorável, para a localização da mesma, deveria ser próxima da base da barragem principal, em função dos arranjos dos equipamentos e das estruturas. (Itaipu, 1994,p.11.3)

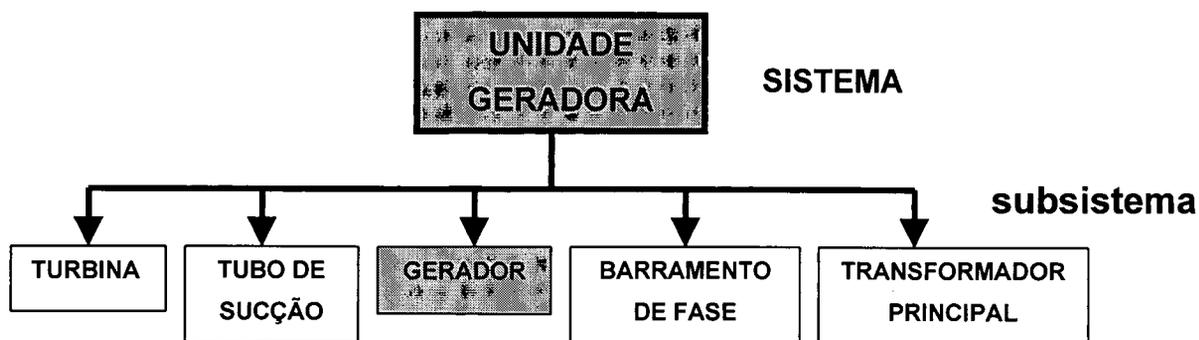
A Casa de força da Usina Hidrelétrica de Itaipu é uma estrutura de concreto armado do tipo abrigada com 968 m de comprimento e foi construída para abrigar vinte (20) unidades geradoras de eixo vertical, sendo dezesseis (16) no trecho antigo do rio Paraná e quatro (4) no canal de desvio, instaladas entre as elevações 108,00 m e 78,00 m. (Ieco-Elc,1997,p.II-16)

5.1.2 A Unidade geradora

Cada unidade geradora, considerada na estrutura hierárquica (item 3.5.2) como sistema, conforme mostra a Figura 5, é composta dos seguintes subsistemas, que operam em conjunto para gerar energia elétrica (Ieco-Elc,1997,p.II-42):

- uma turbina e seu sistema de regulação de velocidade;
- um tubo de sucção e seus equipamentos associados;
- um gerador e seus equipamentos associados;
- um barramento de fase isolada;
- um banco de transformadores principais;

Figura 5 - Configuração da Unidade Geradora



Fonte: Itaipu,1994, p.12.5) - adaptado

Devido às limitações feitas no estudo de caso, o trabalho se restringiu a analisar somente o gerador.

5.1.3 Gerador

Os geradores síncronos de Itaipu foram projetados para serem semelhantes, mecânica e eletricamente. Para as máquinas de mesma frequência, as dimensões físicas são idênticas e as peças são intercambiáveis, independentes da origem da fabricação, existindo algumas exceções. (Itaipu, 1994,p.12.59)

Devido à potência, às dimensões físicas e aos pesos sem precedentes no mundo, o projeto do gerador de Itaipu foi cercado de todos os cuidados e analisadas, na ocasião, as tendências mundiais e os avanços tecnológicos disponíveis.

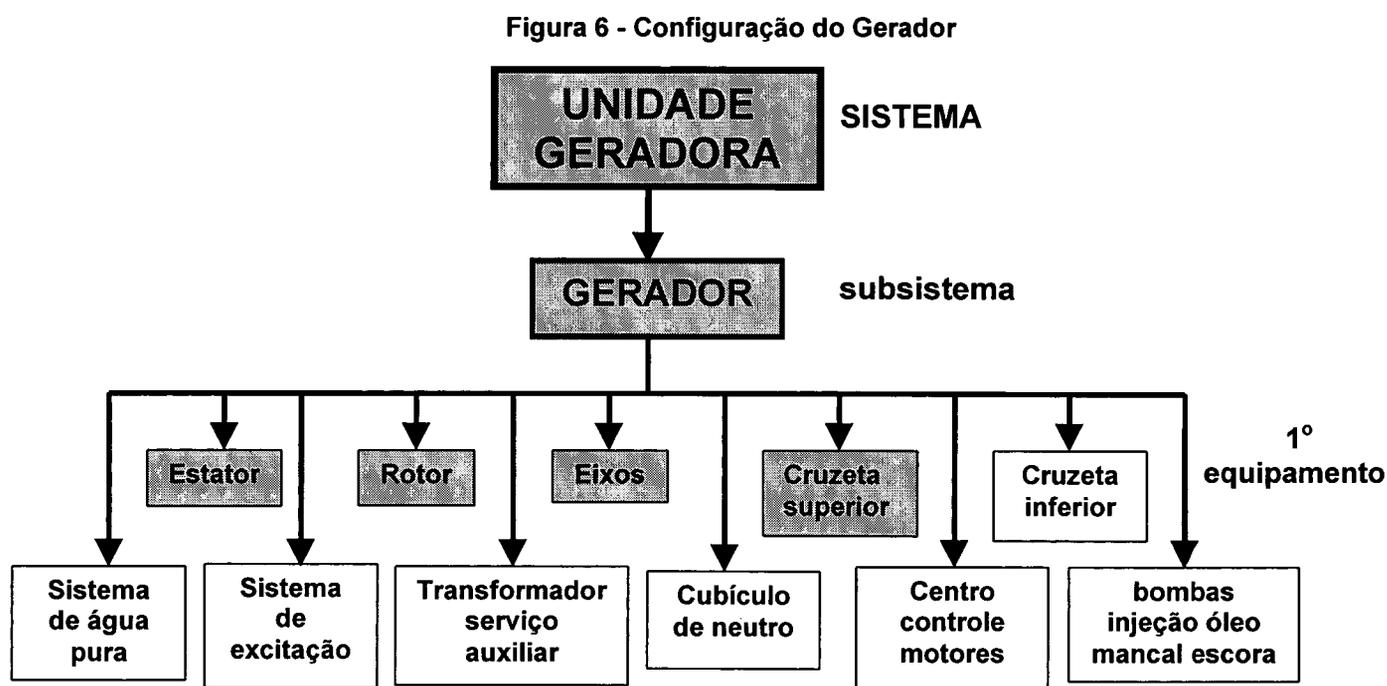
As principais partes que compõem o subsistema gerador estão contidas em um bloco de concreto de aproximadamente 22 m de diâmetro e 10 m de profundidade. A tampa superior do gerador está na elevação 108,00 m e a tampa inferior está fixada na cruzeta inferior na elevação 95,30 m. (Itaipu, 1994,p.12.5)

Os equipamentos auxiliares do subsistema gerador, que estão instalados externamente ao bloco de concreto, (Itaipu,1994,p.12.5) são:

- Bombas de óleo da alta pressão para o mancal escora (partida e parada do gerador);

- transformador de serviços auxiliares da unidade geradora;
- centro de controle dos motores;
- cubículo de neutro do gerador;
- subsistema de excitação e transformador;
- subsistema de água pura (resfriamento do enrolamento do gerador).

A figura 6 abaixo, mostra os componentes do subsistema gerador e seus equipamentos auxiliares (1º equipamento).

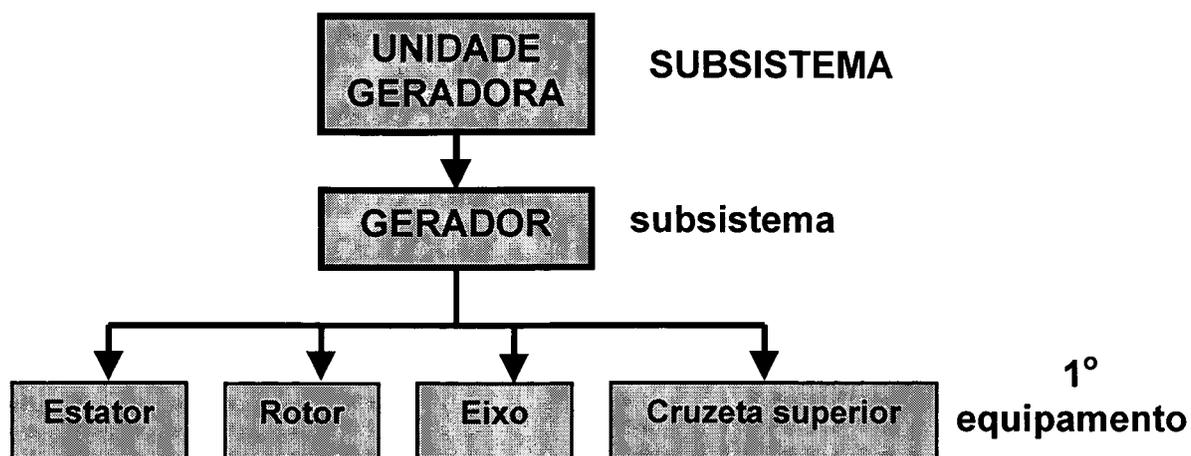


Fonte: Itaipu (1994,p.12.5) - adaptado

O subsistema do gerador e seus equipamentos associados também compõem um conjunto de equipamento e peças bastante variadas e de diversas procedências. Desta forma, também foram feitas algumas limitações no estudo, e alguns dos subsistemas do gerador não serão objeto de análise neste trabalho, sendo indicados, na Figura 7 abaixo, os equipamentos (1º equipamento) que estão incluídos no grupo de análise do trabalho.

O arranjo fundamental do subsistema gerador, objeto de estudo do trabalho é constituído dos seguintes subsistemas e equipamentos, conforme o arranjo hierárquico mostrado na Figura 7.

Figura 7 - Configuração do Gerador objeto de estudo do trabalho



Fonte: Itaipu (1994,p.12.5) - adaptado

5.1.4 Configuração da árvore hierárquica do gerador

Para a montagem da árvore hierárquica do gerador de Itaipu foram analisados desenhos, plantas, esquemas, circuitos, manuais do gerador e consultas aos técnicos e especialistas de manutenção, considerando como configuração básica o arranjo fundamental dos equipamentos estabelecido na Figura 7.

Da análise feita para cada equipamento em particular foram sendo estabelecidos os níveis hierárquicos das partes, descendo até o nível de componente. A figura 8, a seguir, mostra a configuração da árvore hierárquica do gerador, considerado para análise de estudo de caso deste trabalho.

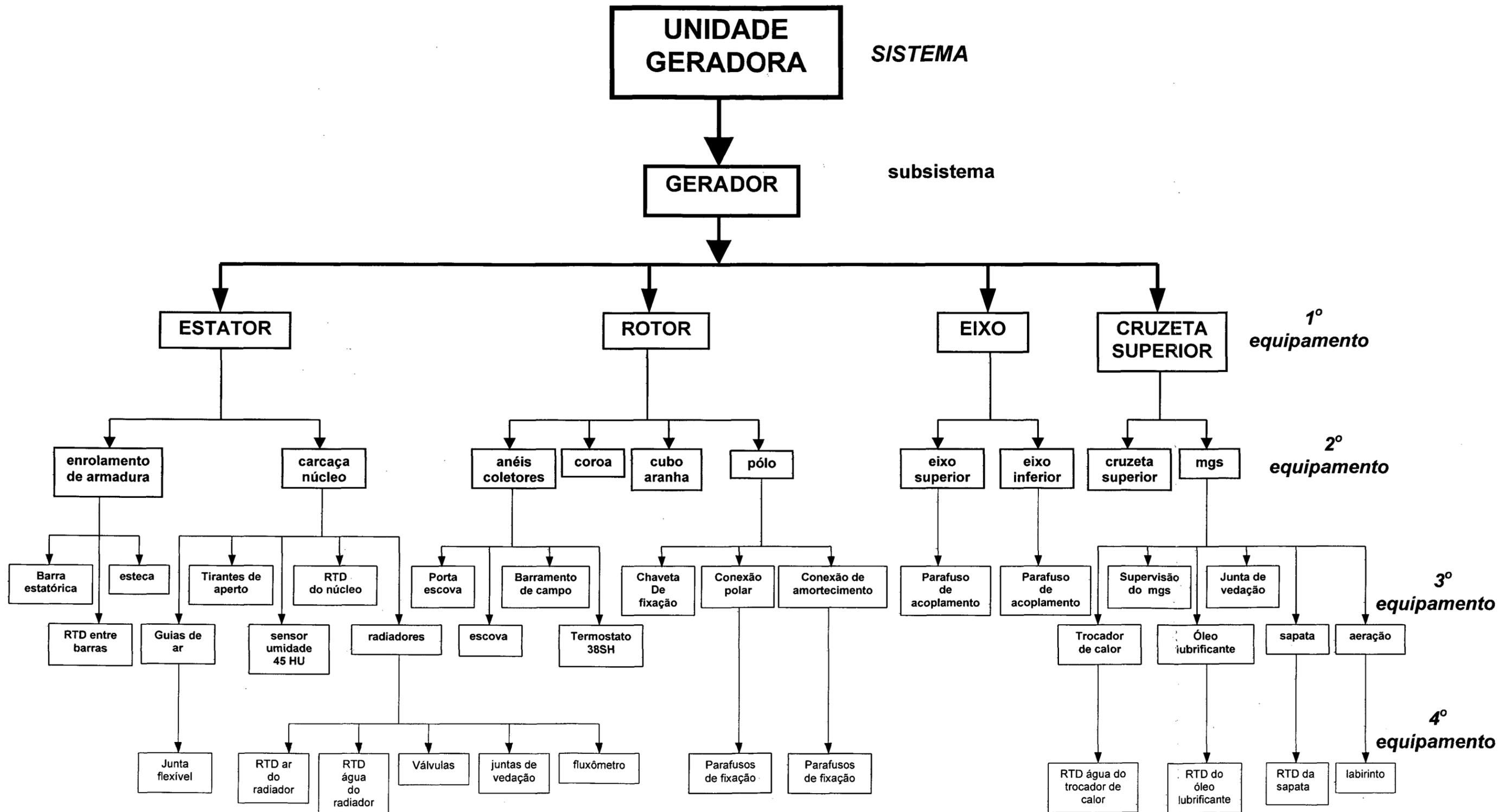
A seguir é feita uma descrição sucinta dos equipamentos ou subsistemas do gerador, que são objeto de estudo deste trabalho. Esta descrição é simplificada, pois fazer uma descrição elaborada e completa não é o objetivo principal do trabalho e a referência bibliográfica fornece uma relação de documentos que podem esclarecer, de forma mais detalhada, todos estes equipamentos.

5.1.5 Estator

O estator do gerador síncrono de ITAIPU, é constituído de:

- **carcaça**, tem como finalidade suportar mecanicamente o conjunto do estator, transferir o torque do gerador às fundações, ação do conjugado de curto-circuito,

Figura 8 – Configuração da Árvore Hierárquica do Gerador



empuxo magnético, suportar o peso do núcleo, do enrolamento estatórico, da cruzeta superior e dos revestimentos do gerador; manter a circularidade do núcleo do estator; fixar os terminais do gerador, guias de ar inferiores e os dezesseis (16) trocadores de calor ar-água (radiadores); direcionar o fluxo de ar de resfriamento do gerador para os trocadores de calor.

- **núcleo magnético**, é constituído de chapas laminadas de aço silicioso, de espessura de 0,5 mm, de alta permeabilidade magnética e de baixas perdas, empilhadas no diâmetro interno da carcaça. As lâminas, estampadas em segmentos com ranhuras para as barras estatóricas, são livres de rebarbas e são tratadas com verniz e pintura para isolamento elétrico e para proteção contra oxidação. Todos os dentes do núcleo são pressionados por meio dos dedos de aperto e o núcleo é fixado à carcaça por meio de um sistema de cunha em forma de rabo de andorinha e por meio de pressão superior que comprime o núcleo através de tirantes passantes dentro do mesmo. Ao longo de todo o núcleo estão instalados trinta e seis (36) detetores de temperatura RTD tipo Pt100 (*resistor temperature detector*).
- **enrolamento de armadura**, é do tipo ondulado, constituído de 1008 barras, instaladas em 504 ranhuras do núcleo do estator, fixadas na ranhura por meio de estecas. A isolação das barras do enrolamento do estator é de classificação térmica F, com tensão nominal de 18 kV. Todo o enrolamento estatórico é resfriado por circulação forçada de água pura, desmineralizada e desionizada, em circuito fechado. Os terminais de saída de fase do gerador são em número de três (03) e cada um deles é formado de seis (06) ramos paralelos que formam a fase do enrolamento, conectados em estrela. Os terminais das fases são conectados ao transformador principal e os de neutro são aterrados por meio de transformador de aterramento.

5.1.6 Rotor

O rotor do gerador de ITAIPU, é constituído de:

- **coroa**, também denominada anel magnético do rotor, é constituída de chapas de aço superpostas, empilhadas e prensadas de forma a manter a concentricidade e circularidade do rotor dentro de limites aceitáveis, quando estiver sujeita aos esforços de origens mecânica ou magnética. Ela gira solidariamente com o eixo do

gerador por intermédio da aranha, que possui braços radiais soldados ao cubo do rotor. Cada braço da aranha está soldada em um dos extremos ao cubo do rotor e no outro extremo possui uma viga "U" vertical, soldada à aranha, de maneira a transmitir à coroa o torque mecânico necessário, produzido pela turbina. Na parte externa do anel magnético há ranhuras (tipo rabo de andorinha) destinadas à fixação dos pólos, por meio de chavetas.

- **pólo** é construído em chapas de aço, comprimidas por tirantes, que os atravessam na direção axial e são fixados à coroa por meio de ranhuras tipo rabo de andorinha. O enrolamento de campo é de classificação térmica F e constituído de bobinas de cobre eletrolítico com 14 espiras, alojadas em cada núcleo de pólo e ligadas em série através de conexões flexíveis. O enrolamento amortecedor é composto de barras de cobre eletrolítico inseridas em ranhuras axiais na sapata de cada pólo. Estas barras são interligadas por conexões semelhantes às dos pólos.
- **anéis coletores** estão montados no prolongamento do eixo superior do gerador, em um recinto próprio. Sua função é fazer o contato elétrico entre a excitatriz (estática) e o campo (parte girante) do gerador por meio de escovas fixadas nos porta-escovas. O acesso a este recinto é pela tampa superior do gerador. Os anéis coletores são fabricados em aço, polidos na superfície de contato com as escovas. As ligações dos anéis coletores ao enrolamento de campo são por meio de barramentos de cobre, com isolamento classe F, aparafusados nos anéis coletores e suportadas na aranha e coroa do rotor e eixo superior do gerador. Das escovas montadas nos porta-escovas faz-se a ligação com os cubículos de excitação.

5.1.7 Eixo

O gerador possui dois (02) eixos, acoplados no cubo do rotor, na parte superior e inferior:

- **eixo superior** é constituído de aço forjado dividido em duas partes, o colar e o eixo, sendo isolados eletricamente um do outro. É acoplado ao cubo do rotor através de uma flange na extremidade inferior do eixo, por meio de parafusos. Na parte superior deste eixo estão alojados o colar de guia do mancais guia superior e serve, também, para alojamento, na extremidade superior, dos anéis coletores, que são ligados ao campo do gerador.

- **eixo inferior** é constituído de três (03) peças forjadas e soldadas formando uma peça. É acoplado ao cubo do rotor do gerador pela flange superior, por meio de parafusos e pinos de cisalhamento. Com a flange inferior é feito o acoplamento com o eixo da turbina, por meio de parafusos.

5.1.8 Cruzeta superior

A cruzeta superior é constituída de uma estrutura de aço composta:

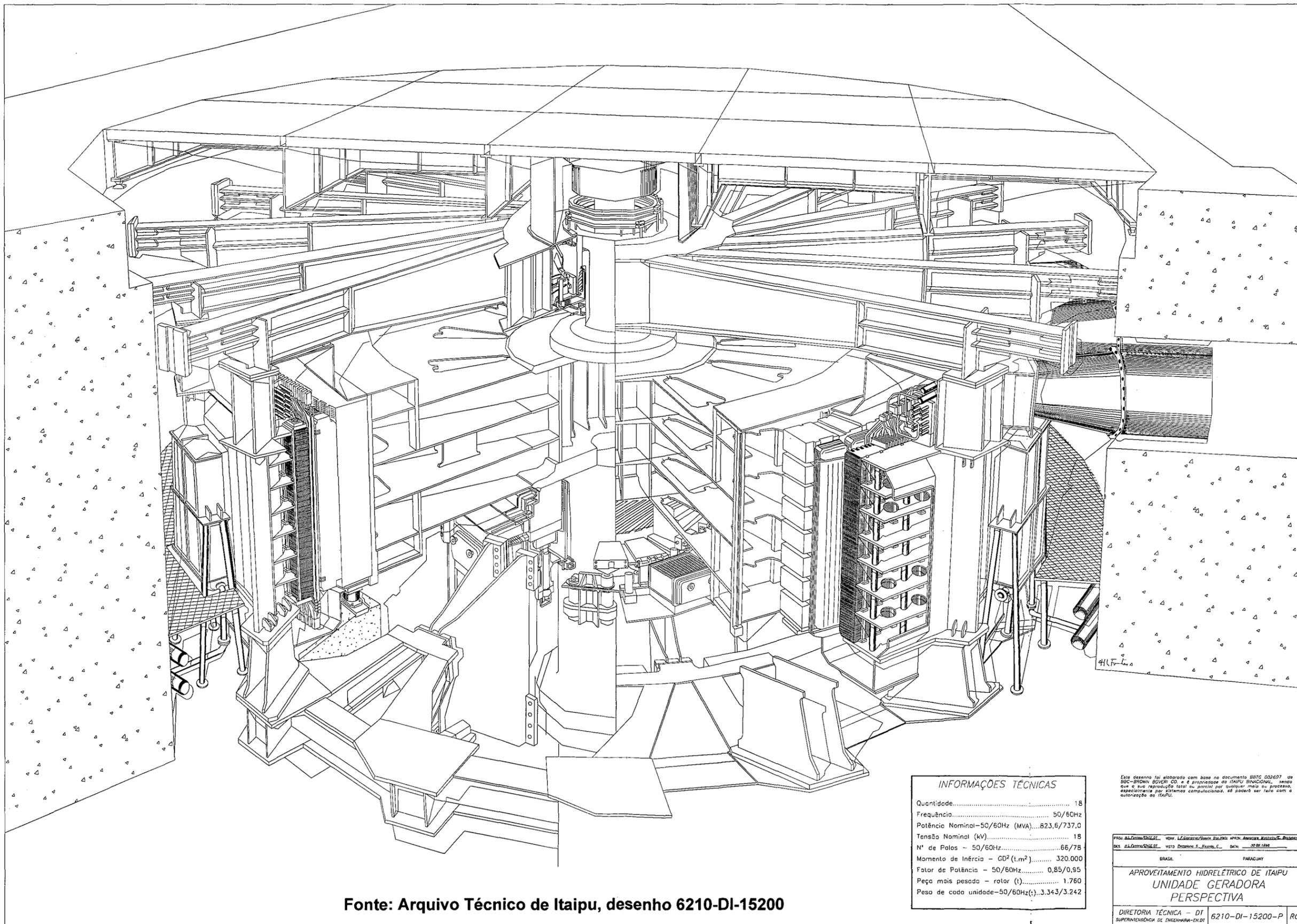
- **cruzeta superior** constituída de dezesseis (16) braços de chapas de aço plano soldadas. Transmite os esforços do mancal guia superior para a estrutura de concreto. Os braços da cruzeta são conectados à carcaça do estator e a estrutura de concreto. Na região central da cruzeta está o MGS - mancal guia superior, constituído de dezesseis segmentos de forma retangular eqüidistantes em torno do eixo superior, no sentido vertical, apoiados sobre um anel na parte central da cruzeta superior e, no sentido radial, são apoiados na parte central através de cunhas, para manter uniformes as folgas do mancal guia superior.

5.1.9 A perspectiva do gerador

O gerador de Itaipu é um equipamento de grandes dimensões e para uma melhor compreensão e também possibilitar uma visualização mais detalhada, o desenho da Figura 9 mostra uma visão em perspectiva do conjunto do gerador com um corte, onde pode-se observar internamente o subsistema do gerador. Nesta perspectiva mostrada, na Figura 9, também pode-se ver as partes componentes do gerador, objeto de estudo do trabalho, ou seja, o estator, o rotor, a cruzeta superior e os eixos.

Outra visualização da unidade geradora é apresentada na perspectiva explodida, que permite ver uma perspectiva dos equipamentos, mostrados no desenho da Figura 10 abaixo. Este desenho ressalta o conjunto das peças que compõem o estudo de caso (vide 5.1.3) ou seja, o estator, o rotor, a cruzeta superior e os eixos, bem como mostra também as peças e equipamentos que não foram considerados, no estudo de caso.

Figura 9 - Perspectiva do gerador de Itaipu



INFORMAÇÕES TÉCNICAS

| | |
|---|-------------|
| Quantidade..... | 18 |
| Frequência..... | 50/60Hz |
| Potência Nominal-50/60Hz (MVA)..... | 623,6/737,0 |
| Tensão Nominal (kV)..... | 18 |
| Nº de Polos - 50/60Hz..... | 66/78 |
| Momento de Inércia - GD ² (t.m ²)..... | 320.000 |
| Fator de Potência - 50/60Hz..... | 0,85/0,95 |
| Peça mais pesada - rotor (t)..... | 1.760 |
| Peso de cada unidade-50/60Hz(t)..... | 3.343/3.242 |

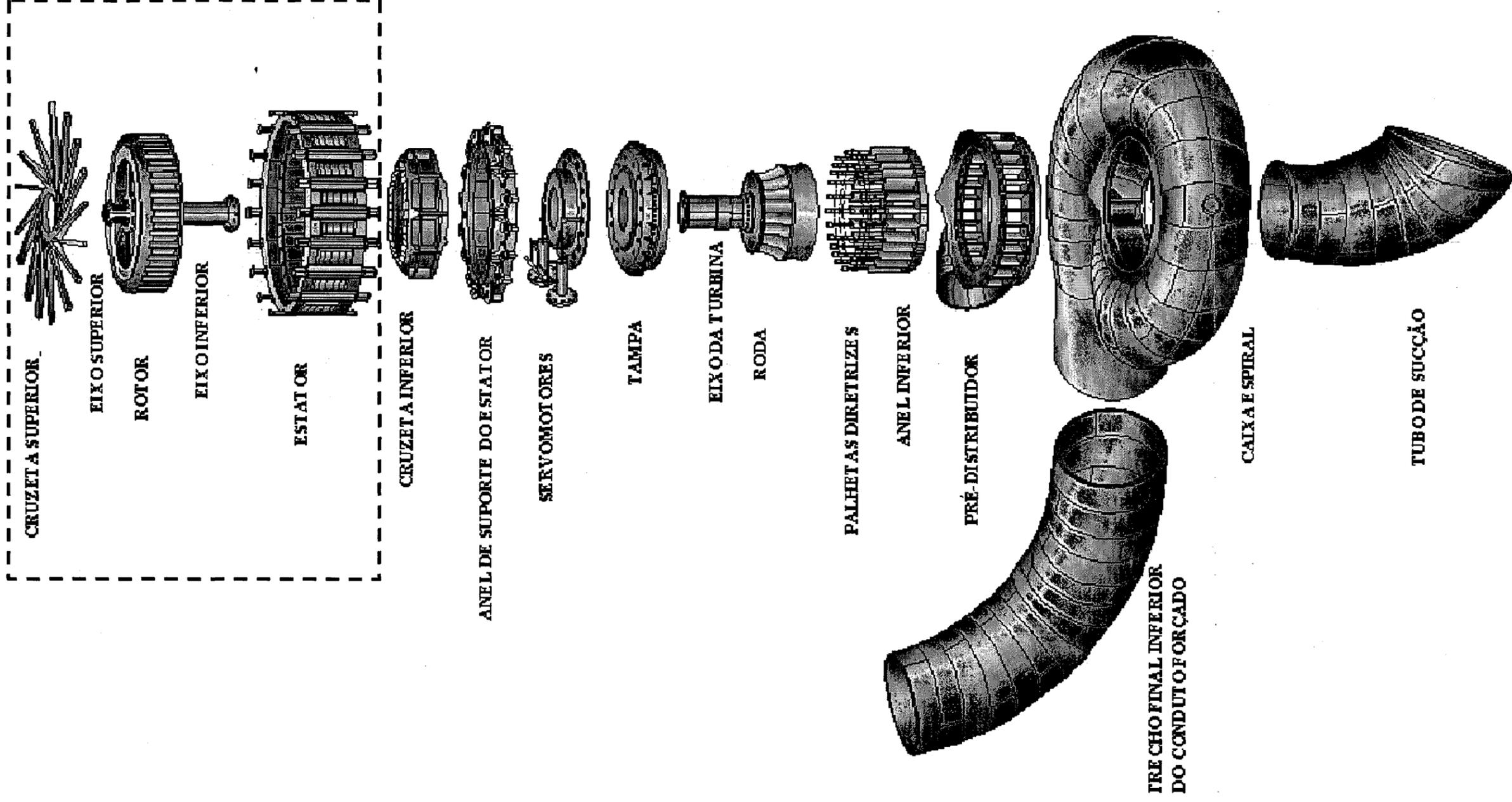
Este desenho foi elaborado com base no documento B07C 032607 de BSC-BROWN ROTARY CO. e é propriedade de ITAIPU S/A. Qualquer reprodução, mesmo que parcial, sem a autorização expressa da BSC-BROWN ROTARY CO. é proibida. Este desenho não pode ser usado para fins comerciais sem a autorização de ITAIPU.

| | |
|--|---|
| PROJ. ALFONSO/ALBERTO | REV. L. GONCALVES/JOSE EDUARDO APONTE/ANDRÉ KESTER/C. BRUNO |
| DES. ELIZABETH/ALBERTO | VISTO: DOMINGOS F. FERREI, C. DATA: 30.09.1994 |
| BRASIL | PARAGUAY |
| APROVEITAMENTO HIDRELÉTRICO DE ITAIPU | |
| UNIDADE GERADORA | |
| PERSPECTIVA | |
| DIRETORIA TÉCNICA - DT | 6210-DI-15200-P RO |
| SUPERINTENDÊNCIA DE ENGENHARIA-EN-01 | |

Fonte: Arquivo Técnico de Itaipu, desenho 6210-DI-15200

Figura 10 – perspectiva explodida da Unidade geradora de Itaipu

CONJUNTO DA UNIDADE GERADORA



5.2 Relação atual de peças sobressalentes do gerador

A relação de peças sobressalentes, elaborada para a especificação do gerador, considerando a limitação do estudo de caso do trabalho (vide item 5.1), é mostrada no Quadro 3, abaixo. A relação de componentes, peças e equipamentos sobressalentes foi elaborada pela forma tradicional de escolha por predileção, conforme Dias (1985,p.37), prevalecendo sempre a recomendação de técnicos especializados com larga experiência, consulta a empresas congêneres, o fabricante, consultorias e a própria experiência da empresa (vide 3.4.1). Não há documentação referente aos critérios e procedimentos para esta escolha e dimensionamento dos sobressalentes.

Quadro 3 - Relação atual de peças sobressalentes do gerador

| Descrição |
|---|
| Um conjunto completo (16) de sapatas para o MGS; |
| Um conjunto de selo tipo labirinto para o MGS; |
| Dois trocadores de calor completos de cada tipo usadas; |
| Dez % (10) haste e parafusos de acoplamento de cada tipo, com o mínimo de um (1); |
| Dois (2) chaves limites, bóia, de pressão, de fluxo, de nível, de cada tipo usado; |
| Dois (2) sensores de temperatura, nível, pressão e fluxo de cada tipo usado, completos com os instrumentos de transmissão necessários; |
| Uma (1) válvula solenóide de cada tipo usada; |
| Uma (1) válvula especial de cada tipo usada; |
| Cinco % (5) parafusos especiais de cada tipo usado, com o mínimo de um (1); |
| Dez % (10) juntas flexíveis de cada tipo usada, com o mínimo de um (1); |
| Dez % (10) conexões de cada tipo usada, com o mínimo de um (1); |
| Dez % (10) barras do enrolamento do estator de cada diferente tipo, completa com conectores de cabeça de bobina, suportes isolados, isolamento da ranhura, fitas, acessórios incluindo todos os materiais para instalação e conexão (mangueiras); |
| Dez % (10) estecas de ranhuras; |
| Dois (2) pólos completos de cada tipo; |
| Dez % (10) conjunto de fixação dos pólos; |
| Um (1) conjunto completo de anéis coletores; |
| Três (3) conjuntos completos de escovas; |
| Um conjunto completo de porta escovas; |
| Um conjunto completo de conectores flexíveis de cada tipo usado; |
| Quatro (4) detetores de temperatura resistivos (RTD), de cada tipo usado; |
| Dois (2) transdutores de cada tipo usado; |

Fonte: ITAIPU (1997) adaptado

5.3 Aplicação do método proposto

Este trabalho aplicou o método proposto para determinação qualitativa de sobressalentes, estruturado e detalhado no capítulo no capítulo 4, como estudo de caso, para avaliar quais componentes, peças ou equipamentos devem ser considerados para fazer parte do escopo de sobressalentes da Unidade Geradora da Usina Hidrelétrica de Itaipu.

5.3.1 Aplicação do método na Unidade Geradora

A aplicação do método proposto para determinação de sobressalentes limitou-se ao estudo da Unidade Geradora, (vide 5.2), em função da grande variedade de componentes, peças e equipamentos que formam o conjunto da Usina de Itaipu.

A estrutura hierárquica montada para a Unidade Geradora e do gerador é composta de vários subsistemas e equipamentos, conforme mostrados nas Figuras 5 e 6, também foram feitas limitações, dentro do estudo do Subsistema Gerador (vide item 5.2.1), e desta forma, para que o trabalho de aplicação do modelo envolva análises dos equipamentos, peças e componentes típicos, procurou-se descartar os casos repetitivos, que aumentam o volume do estudo do trabalho. Neste sentido a aplicação do modelo proposto restringiu-se ao arranjo fundamental do Subsistema Gerador mostrado na Figura 6, foi analisado e aplicado o modelo proposto para componentes, peças e equipamentos do gerador, listado no Quadro 4, abaixo.

Para cada um dos componentes, peças e equipamentos analisados, considerados na árvore hierárquica do gerador, Figura 8 acima, foram pesquisadas e relacionadas todas as modalidades de falha e as suas respectivas fontes de falha, e todos estes dados e informações estão registradas nos Anexo-1 ao Anexo-44.

5.3.2 Obtenção da Lista de Sobressalentes pela aplicação do método

A partir da análise dos dados e das informações dos formulários preenchidos pela aplicação do método (vide em ANEXOS), foram obtidas as listas

de componentes, peças e equipamentos sobressalentes para o gerador.

Quadro 4 – Componentes, peças e equipamentos analisados do gerador

| | |
|-------------------------|--|
| ESTATOR | Rtd entre barras; esteca; barra do enrolamento; enrolamento de armadura; tirantes de aperto; rtd núcleo; radiador; rtd ar do radiador; rtd água de saída do radiador; juntas de vedação, válvulas; carcaça-núcleo; guias de ar; junta flexível; fluxômetro . |
| ROTOR | anéis coletores; porta-escova; escova; barramento de campo; pólos; conexões polares; conexões de amortecimento; coroa; cubo e aranha; chaveta de fixação; parafusos de fixação. |
| EIXO | eixo superior; eixo inferior; parafuso de acoplamento. |
| CRUZETA SUPERIOR | Sapata; rtd sapata do MGS; óleo lubrificante; rtd óleo lubrificante; supervisão do MGS; trocador de calor do MGS; rtd água do trocador de calor; mancais guia superior; juntas de vedação; aeração; labirinto. |

Fonte: Itaipu, 1994,p.12.5 - adaptado

Para a lista de sobressalentes do gerador foram considerados todos os componentes, as peças e equipamentos, cuja fonte de falha foi substituída, na análise AMC, pela ocorrência do modo de falha, ou seja, foi classificado na coluna **R&S** dos formulários de análise (vide em ANEXOS).

Como exemplo de peça sobressalente, determinada pelo método, apresenta-se o formulário de análise do Modo de Falha e Fonte de falha do Anel Coletor, **Anexo - 1**, onde a análise AMC do Modo de Falha “2-Falha da isolamento dielétrica” e como Fonte de Falha “2 Anel Coletor” foi classificada na coluna **R&S** e como destino da fonte de falha **REP**, logo para o Anel Coletor, se ocorrer esta falha será necessário sobressalente e também é classificado como sobressalente reparável.

Também como exemplo de sobressalente necessário, e determinado pela aplicação do método, mostra-se o Formulário de Análise do Modo de Falha e Fonte de Falha do termostato 38SH, **Anexo - 2**, onde na análise AMC do Modo de Falha “2-Falha do Termostato 38SH” e como Fonte de Falha “2-Termostato 38SH” foi classificado na coluna **R&S** e como destino da fonte de falha **DSC**, logo o Termostato 38SH, se ocorrer a falha considerada será necessário um sobressalente, e também é considerado sobressalente descartável, ou seja após a falha a peça é sucateada.

Como exemplo de peça que não foi considerado necessário sobressalente pelo método mostra-se o **Anexo - 5** Barramento de Campo, onde a análise AMC mostra que na ocorrência de todos os Modos de Falha, as suas respectivas fontes de falha são corrigidas ou reparadas no local, sem a necessidade de substituir a peça.

5.4 Lista de sobressalentes do gerador

Esta lista contém todos os componentes, peças e equipamentos (fontes de falha), mostrados no Quadro 5, que pela aplicação do Método de Determinação Qualitativa dos Sobressalentes, tiveram de ser removidos e substituídos em função da AÇÃO CORRETIVA e como DESTINO DA FONTE DE FALHA foram descartados e/ou reparados.

Quadro 5 - Lista de sobressalentes obtida pela aplicação do método

| Sobressalente (fonte de falha) | Modo de Falha | Ação Corretiva | Destino da Fonte de Falha |
|--------------------------------|---|----------------|---------------------------|
| Anel coletor | Falha da isolação dielétrica | R&S | REP |
| Termostato 38SH | Falha do termostato | R&S | DSC |
| Porta-escova | Sinais de sobreaquecimento; Condição da mola; Condição do dedo de pressão; Desgaste excessivo das partes | R&S | DSC |
| Escova | Desgaste excessivo; Presença de danos mecânicos; Deformação da escova; Integridade da escova; | R&S | DSC |
| Pólo | Integridade do pólo; Falha da isolação dielétrica enrolamento pólos; | R&S | REP |
| Chaveta de fixação | Sinais de deslocamento; | R&S | DSC |
| Conexão polar | Integridade da conexão polar; Deformação; | R&S | DSC |
| Parafuso de fixação | Engripamento da rosca; | R&S | DSC |
| Conexão de amortecimento | Integridade da conexão polar; Deformação; | R&S | DSC |
| Parafuso de fixação | Engripamento da rosca; | R&S | DSC |
| RTD entre barras | Falha do sensor do RTD | R&S | DSC |
| Esteca | Integridade das estecas; Quebra das estecas; Deformação das estecas | R&S | DSC |
| Barra estática | Falha da isolação dielétrica dentro do núcleo; | R&S | DSC |
| RTD núcleo | Falha do sensor do RTD | R&S | DSC |

| | | | |
|----------------------------|--|-----|-----|
| Junta flexível | Deterioração (ressecamento, endurecimento, rachaduras); | R&S | DSC |
| Radiador | Vazamentos no radiador; | R&S | REP |
| RTD ar do radiador | Falha do sensor do RTD | R&S | DSC |
| RTD água saída do radiador | Falha do sensor do RTD | R&S | DSC |
| Válvulas do radiador | Presença de vazamentos nas tubulações, válvulas, conexões; | R&S | DSC |
| Juntas de vedação | Presença de vazamentos na junta de vedação entre o trocador e a carcaça; Presença de vazamentos de água nas juntas de vedação da câmara de retorno; | R&S | DSC |
| Fluxômetro 80WO | Aferição do fluxômetro 80 WO; | R&S | REP |
| Sensor de umidade 45HU | Falha do Sensor; | R&S | DSC |
| Sapatas do MGS | Descolamento metal Patente; Desgaste do metal patente; | R&S | REP |
| RTD da sapata do MGS | Falha do sensor do RTD | R&S | DSC |
| Labirinto | Desgaste excessivo labirinto. | R&S | DSC |
| Óleo lubrificante | Degradação do óleo; Contaminação do óleo; | R&S | REP |
| Juntas de vedação | Presença de vazamento no visor de nível do MGS; Vazamento de óleo nas juntas de vedação da cuba do MGS; | R&S | DSC |
| RTD óleo lubrificante MGS | Falha do sensor do RTD | R&S | DSC |
| Relé 33S | Falha do relé; | R&S | DSC |
| Relé 38 U1 | Falha do relé; | R&S | DSC |
| Relé 38U2 | Falha do relé; | R&S | DSC |
| Relé 38UQ | Falha do relé; | R&S | DSC |
| Relé 71 TL | Falha do relé; | R&S | DSC |
| Relé 71 TH | Falha do relé; | R&S | DSC |
| Relé 39 UW | Falha do relé; | R&S | DSC |
| Relé 39VB1 | Falha do relé; | R&S | DSC |
| Relé 33S | Falha do relé; | R&S | DSC |
| Trocador de Calor do MGS | Vazamento; Entupimento; | R&S | REP |
| RTD água troc. calor MGS | Falha do sensor do RTD | R&S | DSC |
| Junta de vedação do MGS | Vazamento no visor de nível; Vazamento na cuba do MGS; | R&S | DSC |
| Eixo superior | Falha da isolamento dielétrica eixo/colar; | R&S | REP |

5.4.1 Lista de sobressalentes descartáveis do gerador

Esta lista contém todos os componentes, peças e equipamentos (fontes de falha), mostrados no Quadro 6, que pela aplicação do Método de Determinação Qualitativa dos Sobressalentes, tiveram de ser removidos e substituídos em função da AÇÃO CORRETIVA e como DESTINO DA FONTE DE FALHA foram descartados.

Quadro 6 - Lista de sobressalentes descartáveis

| Sobressalente (fonte de falha) | Ação Corretiva | Destino da Fonte de Falha |
|--------------------------------|----------------|---------------------------|
| Termostato 38SH | R&S | DSC |
| Porta-escova | R&S | DSC |
| Escova | R&S | DSC |
| Chaveta de fixação | R&S | DSC |
| Conexão polar | R&S | DSC |
| Parafuso de fixação | R&S | DSC |
| Conexão de amortecimento | R&S | DSC |
| Parafuso de fixação | R&S | DSC |
| RTD entre barras | R&S | DSC |
| Esteca | R&S | DSC |
| Barra estática | R&S | DSC |
| RTD núcleo | R&S | DSC |
| Junta flexível | R&S | DSC |
| RTD ar do radiador | R&S | DSC |
| RTD água saída do radiador | R&S | DSC |
| Válvulas | R&S | DSC |
| Juntas de vedação | R&S | DSC |
| Sensor de umidade 45HU | R&S | DSC |
| RTD da sapata do MGS | R&S | DSC |
| Labirinto | R&S | DSC |
| Juntas de vedação | R&S | DSC |
| RTD óleo lubrificante MGS | R&S | DSC |
| Relé 33S | R&S | DSC |
| Relé 38 U1 | R&S | DSC |
| Relé 38U2 | R&S | DSC |
| Relé 38UQ | R&S | DSC |
| Relé 71 TL | R&S | DSC |

| | | |
|--------------------------------|-----|-----|
| Relé 71 TH | R&S | DSC |
| Relé 39 UW | R&S | DSC |
| Relé 39VB1 | R&S | DSC |
| Relé 33S | R&S | DSC |
| RTD água trocador de calor MGS | R&S | DSC |
| Junta de vedação do MGS | R&S | DSC |

5.4.2 Lista de sobressalentes reparáveis (recicláveis) do gerador

Esta lista contém todos os componentes, peças e equipamentos (fonte de falha), mostrados no Quadro 7, que pela aplicação do Método de Determinação Qualitativa dos Sobressalentes, tiveram de ser removidos e substituídos em função da AÇÃO CORRETIVA e como DESTINO DA FONTE DE FALHA foram reparados (reciclados).

Quadro 7 - Lista de sobressalentes recuperáveis (recicláveis)

| Sobressalente (fonte de falha) | Ação Corretiva | Destino da Fonte de Falha |
|---|-----------------------|--------------------------------------|
| Anel coletor | R&S | REP |
| Pólo | R&S | REP |
| Radiador | R&S | REP |
| Fluxômetro 80WO | R&S | REP |
| Conj. Sapatas – MGS | R&S | REP |
| Óleo lubrificante | R&S | REP |
| Trocador de Calor do MGS | R&S | REP |
| Eixo superior | R&S | REP |

5.5 Comparação dos resultados obtidos com a relação atual do gerador

A relação de peças e equipamentos obtida pela aplicação do Método de Determinação Qualitativa dos Sobressalentes, quando comparada com a lista atual, mostrado no Quadro 8 abaixo, apresenta diferença dos seguintes componentes:

- eixo superior;
- óleo lubrificante;
- parafusos de acoplamento do eixo.

Quadro 8 – Comparação dos resultados

| LISTA OBTIDA PELA APLICAÇÃO DO MÉTODO | LISTA ATUAL DO GERADOR | |
|---------------------------------------|--|-------|
| Anel coletor | Um conjunto completo de anéis coletores; | |
| Pólo | Dois pólos completos de cada tipo | |
| Chaveta de fixação | Dez % do conjunto de dispositivos de fixação dos pólos; | |
| Radiador | Dois trocadores de calor completos de cada tipo usadas; | |
| Trocador de Calor do MGS | | |
| Sapatas do MGS | Um conjunto completo de 16 de sapatas para o MGS; | |
| Labirinto | Um conjunto de selo tipo labirinto para o MGS; | |
| Óleo lubrificante | | |
| Eixo superior | | |
| Porta-escova | Um conjunto completo de porta escovas; | |
| Escova | Três conjuntos completos de escovas; | |
| Conexão polar | Um conjunto completo de conectores flexíveis de cada tipo usado; | |
| Conexão de amortecimento | | |
| | Dez % das haste e parafusos de acoplamento de cada tipo, mínimo de um ; | |
| Parafuso de fixação | Cinco % dos parafusos especiais de cada tipo usado, o mínimo de um; | |
| Esteca | Dez % de estecas de ranhuras; | |
| Barra estatórica | Dez % das barras do enrolamento do estator de cada diferente tipo, completa com conectores de cabeça de bobina, suportes isolados, isolação da ranhura, fitas, acessórios incluindo todos os materiais para instalação e conexão (mangueiras); | |
| Válvulas | Uma válvula solenóide de cada tipo usada; | |
| RTD núcleo | Quatro detetores de temperatura resistivos (RTD), de cada tipo usado; | |
| RTD ar do radiador | | |
| RTD água saída do radiador | | |
| RTD entre barras | | |
| RTD da sapata do MGS | | |
| RTD água troc. Calor MGS | | |
| RTD óleo lubrif.MGS | | |
| | | |
| Juntas de vedação | Dez % das juntas flexíveis de cada tipo usada, com o mínimo de um (1); | |
| Sensor de umidade 45 HU | Dois sensores e/ou chaves de cada tipo usado, completos com os transdutores, relé auxiliar, instrumentos de transmissão necessários; | |
| Termostato 38SH | | |
| Relé de Temperatura | | 38 U1 |
| | | 38 U2 |
| | | 38 UQ |
| Chave de Nível | | 71 TL |
| | | 71 TH |
| Água no óleo 39 UW | | |
| Vibração 39 VB1 | | |
| Desloca. Axial 33 S | | |
| Fluxômetro 80WO | | |

Para o **eixo superior do gerador** não foi considerada a necessidade de dispor de sobressalente, à critério da empresa, porque na análise de custo da peça e pela taxa de falha deste equipamento ser muito baixa, embora, pela aplicação do método, seja considerado necessário o sobressalente.

O **óleo lubrificante** usada no mancais guia superior é um tipo de óleo com as características adequadas e específicas para o uso nas máquinas de Itaipu, o qual pela aplicação do método de determinação de sobressalentes, seja considerado necessário o sobressalente. A manutenção de Itaipu considera o óleo lubrificante um material de consumo e dispõe de uma quantidade mínima deste óleo estocado para ser utilizado pela manutenção. Este óleo é produzido pela empresa PETROBRÁS, que garante fornecimento e entrega para Itaipu, quando necessário.

Os **parafusos de acoplamento do eixo** apresentam uma situação contrária aos componentes anteriores, ou seja, pela aplicação do método não foi determinada a necessidade de sobressalente para os mesmos, mas foram adquiridos pela empresa, como peças de reserva.

No capítulo seguinte, Conclusões, são apresentadas as conclusões do trabalho, as sugestões para trabalhos futuros, a referência bibliográfica e os anexos.

CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um método, baseado em análise de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) e a Análise de Manutenção Corretiva (AMC), para determinação qualitativa de quais componentes, peças e equipamentos devem fazer parte da lista ou inventário dos sobressalentes, como suporte à manutenção e à operação e como objetivo específico este trabalho procura obter uma memória documentada sobre o processo de determinação do inventário dos sobressalentes.

As limitações para desenvolvimento e execução deste trabalho se devem ao fato do tema proposto ser amplo e enfatiza a determinação qualitativa dos sobressalentes e para o estudo de caso limitou-se a analisar uma parte do gerador.

6.1 Conclusões

Com relação aos resultados obtidos, pode-se concluir:

- o método proposto é geral e pode ser aplicado em qualquer equipamento, para determinação qualitativa dos sobressalentes, respeitando as suas características e também obedecendo os procedimento para aplicação do método.
- dificuldade de encontrar material bibliográfico, em nosso meio, relacionado à avaliação de sobressalentes.
- a lista de sobressalentes obtida pelo método é uma relação primária (levantamento geral dos sobressalentes).
- a lista de sobressalentes obtida pode servir de base para outras análises e considerações, tais como análise da taxa de falha, análise de custo-benefício, fornecedores, avaliação do prazo de entrega pelo fabricante ou fornecedor, equipamento nacional ou importado.

- para a aplicação do método é necessário o conhecimento, a nível de detalhe, de todos os componentes, peças e equipamentos que compõem o equipamento a ser avaliado para a elaboração da árvores hierárquica dos seus componentes.
- também são necessários e importantes os conhecimentos e a experiência de manutenção e operação do equipamento a ser avaliado, para permitir uma análise completa, abordando todos os modos de falha e as respectivas fontes de falha, porque o método se torna mais completo a medida em que o assunto é exaurido.
- a aplicação do método preserva a memória documental da empresa, sobre a determinação dos sobressalentes, formando o banco de dados dos sobressalentes, disponível em qualquer tempo e para qualquer consulta.
- para que o método tenha uma maior abrangência e analise todos os equipamentos, com os seus modos de falha e as fontes de falha, é importante que o trabalho seja desenvolvido por uma equipe de profissionais de todas as especialidades que compõem o equipamento a ser avaliado (engenheiros, eletricitas, mecânicos, eletrônicos, operadores, técnicos), e desta forma, as análises feitas devem abranger todas as partes, peças e componentes, equipamentos para que o método esgote todas as possibilidades, ou seja, analise todo o equipamento considerado.

6.2 Sugestões para trabalhos futuros

Visando a dar continuidade e complemento a este assunto é sugerido para trabalhos futuros:

- 1 - desenvolver um método para determinação quantitativa de componentes, peças e equipamentos sobressalentes para hidrogeradores;
- 2 – desenvolver um método para avaliação do dimensionamento de sobressalentes, para um sistema técnico qualquer, tendo por base um orçamento limitado;
- 3 – desenvolver um método de avaliação total dos custos de estoque de sobressalentes, considerando todas as características da administração, longo

tempo de estocagem, gastos com a manutenção, testes e inspeções, transporte, armazenamento especial, o valor monetário e o custo financeiro e comparar este montante com custo para adquirir o sobressalente necessário acrescido do lucro cessante pelo tempo de parada do equipamento (não produção), considerando que não estivesse disponível o sobressalente quando fosse preciso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, Osvaldo de. *Um homem sem profissão*. São Paulo : Globo, 1990.

ARAÚJO, Jorge S. *Administração de materiais*. São Paulo : Atlas, 1980.

BARSA CD. *Enciclopédia Britannica*. São Paulo : Britannica, 1998.

BRITANNICA. *Industrial revolution*. [on-line]. Disponível na Internet
<<http://www.britannica.com/bcom/eb/article>>(29/06/00).

_____. *Edison, Thomas Alva*. [on-line]. Disponível na Internet
<<http://www.britannica.com/bcom/eb/article/6/>>(20/10/00).

_____. *Westinghouse, george*. [on-line]. Disponível na Internet
<<http://www.britannica.com/bcom/eb/article/o/>>(28/10/00).

CASAROTTO, N.; KOPITTKE, B.H. *Análise de investimentos*. São Paulo : Atlas, 1996.

DIAS, Marco Aurélio P. *Administração de materiais*. Uma abordagem logística. São Paulo : Atlas, 1985.

_____. *Gerência de materiais*. São Paulo : Atlas, 1988.

FURNAS. *Trinta anos de energia e desenvolvimento*. São Paulo : Mauro Ivan, 1987

HUTCHINS, David. *Just-in-time*. São Paulo : Atlas, 1993.

IECO-ELC. *Relatório final de projeto da central hidroelétrica de Itaipu*. Rio de Janeiro : Itaipu Binacional, 1997.

IEEE Std 1159 – IEEE. *Recommended practice for monitoring electric power quality*, New York, 1995.

ITAPU BINACIONAL. *Itaipu hydroelectric project*. Curitiba : Itaipu Binacional ,1994.

_____. *Som - sistema de operação e manutenção*. G01- manual descrição geral do som. Foz do Iguaçu : Itaipu Binacional, 1995.

_____. *Technical specification*. ESP 022/97 - chapter III - generator and accessories. Foz do Iguaçu : Itaipu Binacional, 1997.

_____. *Som - sistema de operação e manutenção*. planilha de inspeção e controle de equipamentos mecânicos - PIC 001.ME.01 r5. Foz do Iguaçu : Itaipu Binacional, 1998.

_____. *Som - sistema de operação e manutenção*. planilha de inspeção e controle de equipamentos elétricos - PIC 001.EQ.01 r6. Foz do Iguaçu : Itaipu Binacional, 1999.

JURAN, J. M.; GRZYNA, F.M. *Controle da qualidade handbook*. v.1. São Paulo : McGraw-Hill, 1991.

JURAN, J. M. *Juran planejando para a qualidade*. São Paulo : Pioneira, 1990.

MACINTYRE, Archibald Joseph. *Máquinas motrizes hidráulicas*. Rio de Janeiro : Guanabara Dois, 1983.

MELO, C. S. L. de, FERNANDES, R.A.C., ALMEIDA, A.T., Utilidade multiatributo aditiva no dimensionamento de sobressalentes. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO,18, 1998. *Anais...* Niterói, RJ. UFF. TEP. 1998.

MOSS, A.M. *Designing for a minimal maintenance expense : the practical application of reliability and maintainability*. São Paulo : Marcel Dekker, 1985.

OKONGLI, K.; GONZAGA, J.L. Medição de descargas parciais em hidrogeradores por sistemas permanentes. In: ENCONTRO NACIONAL DE DESCARGAS PARCIAIS,3, : São Paulo. *Anais...*, CESP, São Paulo, 1987.

ONS. *O Sistema Elétrico*. [on-line]. Disponível na Internet
<<http://www.ons.com.br/>>(06/04/2000).

PAIVA, L.A. *Manual de gestão da qualidade total e certificação de empresas: as 7 ferramentas básicas da qualidade*. [on-line]. Disponível na Internet
<URL:<http://www2.esb.ucp.pt/tqtoolkit/manuais.html>> (30/09/2000).

PALADINI, E.P. *Qualidade total na prática : implementação e avaliação de sistemas de qualidade total*. 2.ed. São Paulo : Atlas, 1997.

_____. *Gestão de qualidade no processo : a qualidade na produção de bens e serviços*. São Paulo : Atlas, 1995.

PINTO, A.K.; XAVIER, J.N. *Manutenção : Função estratégica*. Rio de Janeiro : Qualitymark, 1998.

500 anos ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL - Centro de Memória da Eletricidade no Brasil - MEMÓRIA DA ELETRICIDADE. Rio de Janeiro : Grafitto, 2000

RBE - Revista Brasileira de Engenharia. *Monitoramento de grandes geradores*. Associação Brasileira de Engenheiros Eletricistas : Rio de Janeiro, vol.6 / n.2, 1991.

RCS. *Reliability Centered Spares*. [on-line]. Disponível na Internet
<<http://www.insci.demon.co.uk/>>(21/07/1999).

REVISTA ABINEE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA, Morganti, Ano II No. 10, São Paulo, maio/2000.

REVISTA CIER - COMISSION DE INTEGRACIÓN ELÉCTRICA REGIONAL,
Morganti, Año IX, No. 32, Montevideo, JUNIO/JULIO DE 2000.

SCHILING, Donald L., BELOVE, Charles. *Electronic circuits: discrete and integrated*.
McGraw, New York, 1968.

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

THREE GORGES PROJECT. *Bidding documents*. China : Yangtze Three Gorges
project development corporation ,1996.

UNIOESTE. *O Setor Elétrico e a Engenharia Brasileira*. [on-line]. Disponível na
Internet <http://www.ee.unioeste-foz.br/planos_e_cumprimentos/apee>
(10/10/2000).

BIBLIOGRAFIA

- BARLOW, Richard E., PROSCHAN, F., HUNTER, L.C. *Mathematical Theory of Reliability : John Wiley & Sons, New York , 1965.*
- BASSO, José Luiz. *Engenharia e análise do valor.* São Paulo : Iman, 1991.
- CHIAVENATO, Idalberto. *Teoria geral da administração.* 3.ed. São Paulo : McGraw-Hill, 1987.
- CSILLAG, João Mário. *Análise do valor: metodologia do valor.* 3. ed. São Paulo : Atlas, 1991.
- DORF, Richard C., *Electrical engineering handbook.* Florida : CRC Press, 1993.
- INTERNACIONAL SOCIETY FOR THE SYSTEMS SCIENCE. [online]. Disponível na Internet <URL: <http://www.iss.org/lumLVB.html>> (04/12/2000).
- RODRIGUES, J.J.G. *Redução de estoques em 3 dimensões.* São Paulo : Iman, 1993.
- RUSSEL, M. K. :CORCORAN, G.F. *Circuitos de corrente alternada,* Porto Alegre : Globo, 1968.
- WILSON, B. Lloyd. *Guidelines for making value programs work.* Texas, SAVE Proc., 1980.

ANEXOS

Formulários de análise do Modo de falha e Fonte de falha

Anexo-1 – anel coletor

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | FOLHA N^o. 01/44 | | | | | | | | |
|--|---|-----------------------------------|------------|-----------|--|-----------|--------------------------------------|------------|------------|------------|
| Item sob Análise: ANEL COLETOR | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: ROTOR | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1^o Equipamento: ROTOR | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: Equipamento rotativo, acoplado ao eixo superior, para interligação elétrica entre a excitatriz (estática) e o campo (parte girante) por meio de escovas. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| <p>1 – Estado de conservação do recinto dos anéis;</p> <p>1.1 – Condições da pátina (consistência, uniformidade, estrias, porosidade);</p> <p>1.2 – Presença de sinais de danos mecânicos;</p> <p>1.3 – Integridade (trincas, ruptura, desgaste, rugosidade, pintura);</p> <p>1.4 – Fixação (parafusos, arruelas, chapa trava);</p> <p>1.5 – Contaminação por óleo lubrificante e/ou poeira;</p> <p>1.6 – Aperto e fixação dos anéis coletores;</p> <p>1.7 – Vibração excessiva dos anéis coletores</p> <p>1.8 – Presença de centelhamento entre escovas e anéis</p> <p>1.9 – Estado de conservação e presença de oxidação nos anéis coletores;</p> <p>2 – Falha da isolação dielétrica;</p> | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA - AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | Recinto do anel coletor | | X | | | | | | | |
| 1.1 | Anel coletor | | | X | | | | | | |
| 1.2 | Anel coletor | | | X | | | | | | |
| 1.3 | Anel coletor | | | X | | | | | | |
| 1.4 | Anel coletor | | X | | | | | | | |
| 1.5 | Anel coletor | | X | | | | | | | |
| 1.6 | Anel coletor | | X | | | | | | | |
| 1.7 | Anel coletor | | | X | | | | | | |
| 1.8 | Anel coletor | X | | | | | | | | |
| 1.9 | Anel coletor | | X | | | | | | | |
| 2 | Anel coletor | | | | X | | | | X | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar ILR- inspecionar, limpar, reapertar RL- reparar no local R&S- substituir NA- não aplicável | | | | | DSC- descartar o item SEL- selecionar se descarta ou repara o item REP- reparar o item NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |

Anexo-2 termostato 38SH

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | | | | FOLHA N ^o . 02/44 | | | | | |
|--|-----------------------------------|--------------------|-----|----|--|----|-------------------------------|-----|-----|-----|
| Item sob Análise: TERMOSTATO 38SH | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: ANEL COLETOR | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1 ^o Equipamento: ROTOR | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: Dispositivo para controle de temperatura dentro do recinto dos anéis coletores. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 – Estado de conservação do termostato; | | | | | | | | | | |
| 2 – Falha do termostato 38SH; | | | | | | | | | | |
| 2.1 – Atuação indevida do termostato 38SH; | | | | | | | | | | |
| 2.2 – Aferição do termostato 38SH; | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA - AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | Termostato 38SH | | X | | | | | | | |
| 2 | Termostato 38SH | | | | X | | X | | | |
| 2.1 | Termostato 38SH | X | | | | | | | | |
| 2.2 | Termostato 38SH | X | | | | | | | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar | | | | | DSC- descartar o item | | | | | |
| ILR- inspecionar, limpar, reapertar | | | | | SEL- selecionar se descarta ou repara o item | | | | | |
| RL- reparar no local | | | | | REP- reparar o item | | | | | |
| R&S- substituir | | | | | NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |
| NA- não aplicável | | | | | | | | | | |

Anexo-3 porta-escova

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | | | | FOLHA N ^o . 03/44 | | | | | |
|--|----------------|-----------------------------------|-----|----|--|----|-------------------------------|-----|-----|-----|
| Item sob Análise: PORTA-ESCOVA | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: ANEL COLETOR | | | | | | | | | | |
| Dispositivos | | 1 ^o equipamento: ROTOR | | | | | | | | |
| na hierarquia | | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | |
| (Figura 8) | | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: Dispositivo para posicionar, fixar e conectar eletricamente a escova, sobre o anel coletor e barramento de campo, e permitir o escalonamento correto das mesmas, no circuito de excitação do gerador. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 – Integridade do porta-escova (trincas, rupturas, oxidação, rugosidade); | | | | | | | | | | |
| 1.1 – Sinais de sobreaquecimento; | | | | | | | | | | |
| 1.2 – Fixação do porta-escova; | | | | | | | | | | |
| 1.3 – Escalonamento correto das escovas sobre os anéis coletores; | | | | | | | | | | |
| 1.4 – Baixa pressão da mola do porta-escova; | | | | | | | | | | |
| 1.5 – Condição da mola do porta-escova; | | | | | | | | | | |
| 1.6 – Condição do dedo de pressão; | | | | | | | | | | |
| 1.7 – Desgaste excessivo das partes móveis; | | | | | | | | | | |
| 1.8 – Presença de danos mecânicos; | | | | | | | | | | |
| 2 – Falha da isolação dielétrica do suporte; | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA - AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | Porta-escova | | | X | | | | | | |
| 1.1 | Porta-escova | | | | X | | X | | | |
| 1.2 | Porta-escova | | X | | | | | | | |
| 1.3 | Porta-escova | | X | | | | | | | |
| 1.4 | Porta-escova | | | | X | | X | | | |
| 1.5 | Porta-escova | | | | X | | X | | | |
| 1.6 | Porta-escova | | | | X | | X | | | |
| 1.7 | Porta-escova | | | X | | | | | | |
| 1.8 | Porta-escova | | | X | | | | | | |
| 2 | Porta-escova | | | X | | | | | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar | | | | | DSC- descartar o item | | | | | |
| ILR- inspecionar, limpar, reapertar | | | | | SEL- selecionar se descarta ou repara o item | | | | | |
| RL- reparar no local | | | | | REP- reparar o item | | | | | |
| R&S- substituir | | | | | NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |
| NA- não aplicável | | | | | | | | | | |

Anexo-4 escova

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | FOLHA N ^o . 04/44 | | | | | | | | |
|---|-----------------------------------|------------------------------|-----|----|--|----|-------------------------------|-----|-----|-----|
| Item sob Análise: ESCOVA | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: ANEL COLETOR | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1 ^o equipamento: ROTOR | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: Elemento de contato elétrico entre a parte rotativa e a estática, feito de carbono eletrografitado de baixa resistência elétrica e baixo coeficiente de atrito, para interligação elétrica da corrente de excitação do gerador. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 – Desgaste excessivo das escovas; 1.1- Sinais de sobreaquecimento das escovas 1.2 – Fixação das escovas 1.3 – Condições da superfície de contato das escovas 1.4 – Presença de escova presa no porta-escova 1.5 – Presença de danos mecânicos 1.6 – Deformação da escova; 1.7 – Integridade da escova (trincas, rupturas, quebra); 1.8 – Continuidade elétrica da escova; | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA - AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | Escova | | | | X | | X | | | |
| 1.1 | Escova | | | X | | | | | | |
| 1.2 | Escova | | X | | | | | | | |
| 1.3 | Escova | | | X | | | | | | |
| 1.4 | Escova | | | X | | | | | | |
| 1.5 | Escova | | | | X | | X | | | |
| 1.6 | Escova | | | | X | | X | | | |
| 1.7 | Escova | | | | X | | X | | | |
| 1.8 | Escova | | X | | | | | | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar ILR- inspecionar, limpar, reapertar RL- reparar no local R&S- substituir NA- não aplicável | | | | | DSC- descartar o item SEL- selecionar se descarta ou repara o item REP- reparar o item NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |

Anexo-5 barramento de campo

| | | | | | | | | | | |
|--|---------------------------|--------------------|-----|----|--|-----------------|-------------------------------|-----|-----|-----|
| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | | | | | FOLHA Nº. 05/44 | | | | |
| Item sob Análise: BARRAMENTO DE CAMPO | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: ANEL COLETOR | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1º equipamento: ROTOR | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: Barramento de interligação elétrica entre os anéis coletores e os pólos do gerador. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 – Integridade do barramento (trincas, rupturas, quebra); | | | | | | | | | | |
| 1.1 – Deformação do barramento; | | | | | | | | | | |
| 1.2 – Aquecimento do barramento; | | | | | | | | | | |
| 1.3 – Continuidade elétrica do barramento; | | | | | | | | | | |
| 1.4 – Oxidação do barramento; | | | | | | | | | | |
| 2 – Falha da isolação dielétrica do barramento; | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA – AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | Barramento de campo | | | X | | | | | | |
| 1.1 | Barramento de campo | | | X | | | | | | |
| 1.2 | Barramento de campo | | | X | | | | | | |
| 1.3 | Barramento de campo | | | X | | | | | | |
| 1.4 | Barramento de campo | | X | | | | | | | |
| 2 | Barramento de campo | | | X | | | | | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar | | | | | DSC- descartar o item | | | | | |
| ILR- inspecionar, limpar, reapertar | | | | | SEL- selecionar se descarta ou repara o item | | | | | |
| RL- reparar no local | | | | | REP- reparar o item | | | | | |
| R&S- substituir | | | | | NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |
| NA- não aplicável | | | | | | | | | | |

Anexo-6 pólo

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | | | | | FOLHA N.º 06/44 | | | | |
|--|---------------------------|--------------------|-----|----|--|-----------------|-------------------------------|-----|-----|-----|
| Item sob Análise: POLO | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: ROTOR | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1º equipamento: ROTOR | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: Dispositivo do campo do gerador que produz fluxo magnético, pela circulação da corrente de campo, para produção da f.e.m no enrolamento de armadura do gerador. | | | | | | | | | | |
| No. MODO DE FALHA | | | | | | | | | | |
| 1 – Integridade do pólo (trincas, rupturas, quebra); | | | | | | | | | | |
| 1.1 – Deformação do enrolamento do pólo; | | | | | | | | | | |
| 1.2 – Aquecimento do pólo; | | | | | | | | | | |
| 1.3 – Oxidação do pólo; | | | | | | | | | | |
| 1.4 – Fixação do pólo; | | | | | | | | | | |
| 1.5 – Contaminação do pólo; | | | | | | | | | | |
| 2 – Falha da isolação dielétrica enrolamento pólos; | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA - AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | Pólo | | | | X | | | | X | |
| 1.1 | Pólo | | | X | | | | | | |
| 1.2 | Pólo | | | X | | | | | | |
| 1.3 | Pólo | | | X | | | | | | |
| 1.4 | Pólo | | | X | | | | | | |
| 1.5 | Pólo | | X | | | | | | | |
| 2 | Pólo | | | | X | | | | X | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar | | | | | DSC- descartar o item | | | | | |
| ILR- inspecionar, limpar, reapertar | | | | | SEL- selecionar se descarta ou repara o item | | | | | |
| RL- reparar no local | | | | | REP- reparar o item | | | | | |
| R&S- substituir | | | | | NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |
| NA- não aplicável | | | | | | | | | | |

Anexo-7 chaveta de fixação

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | | | | FOLHA Nº. 07/44 | | | | | |
|--|----------------------------------|--------------------|-----|----|--|----|-------------------------------|-----|-----|-----|
| Item sob Análise: CHAVETA DE FIXAÇÃO | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: PÓLO | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1º equipamento: ROTOR | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: Chaveta e parafuso para fixar e posicionar o pólo na coroa do rotor. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 – Integridade da chaveta de fixação (trincas, rupturas, quebra); | | | | | | | | | | |
| 1.1 – Sinais de deslocamento; | | | | | | | | | | |
| 1.2 – Condições do travamento e fixação; | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA - AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | Chaveta de fixação | | | X | | | | | | |
| 1.1 | Chaveta de fixação | | | | X | X | | | | |
| 1.2 | Chaveta de fixação | | | X | | | | | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar ILR- inspecionar, limpar, reapertar RL- reparar no local R&S- substituir NA- não aplicável | | | | | DSC- descartar o item SEL- selecionar se descarta ou repara o item REP- reparar o item NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |

Anexo-8 conexão polar

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | | | | FOLHA N ^o . 08/44 | | | | | |
|---|-----------------------------------|--------------------|-----|----|--|----|-------------------------------|-----|-----|-----|
| Item sob Análise: CONEXÃO POLAR | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: PÓLO | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1 ^o equipamento: ROTOR | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: Conector de cobre para interligação elétrica entre os enrolamentos dos pólos para formar o campo do gerador. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 – Integridade da conexão polar (trincas, rupturas, quebra); | | | | | | | | | | |
| 1.1 – Deformação; | | | | | | | | | | |
| 1.2 – Sinais de aquecimento; | | | | | | | | | | |
| 1.3 – Continuidade elétrica da conexão polar; | | | | | | | | | | |
| 1.4 – Oxidação; | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA - AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | conexão polar | | | | X | | X | | | |
| 1.1 | conexão polar | | | | X | | X | | | |
| 1.2 | conexão polar | | | X | | | | | | |
| 1.3 | conexão polar | | | X | | | | | | |
| 1.4 | conexão polar | | | X | | | | | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar | | | | | DSC- descartar o item | | | | | |
| ILR- inspecionar, limpar, reapertar | | | | | SEL- selecionar se descarta ou repara o item | | | | | |
| RL- reparar no local | | | | | REP- reparar o item | | | | | |
| R&S- substituir | | | | | NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |
| NA- não aplicável | | | | | | | | | | |

Anexo-9 parafuso de fixação

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | | | | FOLHA N ^o . 09/44 | | | | | |
|---|-----------------------------------|--------------------|-----|----|--|----|-------------------------------|-----|-----|-----|
| Item sob Análise: PARAFUSO DE FIXAÇÃO | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: CÓNEXÃO POLAR | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1 ^o equipamento: ROTOR | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: Fixar a conexão polar entre poios para permitir a continuidade elétrica do circuito de campo do gerador. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 – Integridade dos parafusos de fixação; | | | | | | | | | | |
| 1.1 – Sinais de aquecimento; | | | | | | | | | | |
| 1.2 – Fixação e aperto; | | | | | | | | | | |
| 1.3 – Presença de danos mecânicos; | | | | | | | | | | |
| 1.4 – Engripamento da rosca do parafuso; | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA – AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | Parafuso de fixação | | | X | | | | | | |
| 1.1 | Parafuso de fixação | | | X | | | | | | |
| 1.2 | Parafuso de fixação | | | X | | | | | | |
| 1.3 | Parafuso de fixação | | | X | | | | | | |
| 1.4 | Parafuso de fixação | | | | X | | X | | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar ILR- inspecionar, limpar, reapertar RL- reparar no local R&S- substituir NA- não aplicável | | | | | DSC- descartar o item SEL- selecionar se descarta ou repara o item REP- reparar o item NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |

Anexo-10 conexão de amortecimento

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | | | | FOLHA N ^o . 10/44 | | | | | |
|---|-----------------------------------|--------------------|-----|----|--|----|-------------------------------|-----|-----|-----|
| Item sob Análise: CONEXÃO DE AMORTECIMENTO | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: ROTOR | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1 ^o equipamento: ROTOR | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: Conector para interligação elétrica entre os barramentos de amortecimento do gerador, instalados na face de cada pólo do campo do gerador. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 – Integridade das conexões de amortecimento (trincas, rupturas, quebra); | | | | | | | | | | |
| 1.1 – Deformação; | | | | | | | | | | |
| 1.2 - Sinais de sobreaquecimento; | | | | | | | | | | |
| 1.3 - Continuidade elétrica das conexões de amortecimento; | | | | | | | | | | |
| 1.4 – Oxidação; | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA - AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | conexão de amortecimento | | | | X | | X | | | |
| 1.1 | conexão de amortecimento | | | | X | | X | | | |
| 1.2 | conexão de amortecimento | | | X | | | | | | |
| 1.3 | conexão de amortecimento | | X | | | | | | | |
| 1.4 | conexão de amortecimento | | | X | | | | | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar | | | | | DSC- descartar o item | | | | | |
| ILR- inspecionar, limpar, reapertar | | | | | SEL- selecionar se descarta ou repara o item | | | | | |
| RL- reparar no local | | | | | REP- reparar o item | | | | | |
| R&S- substituir | | | | | NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |
| NA- não aplicável | | | | | | | | | | |

Anexo-11 parafuso de fixação

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | | | | FOLHA N ^o . 11/44 | | | | | |
|--|-----------------------------------|--------------------|-----|----|--|----|-------------------------------|-----|-----|-----|
| Item sob Análise: PARAFUSO DE FIXAÇÃO | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: CÓNEXÃO DE AMORTECIMENTO | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1 ^o equipamento: ROTOR | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: Fixar a conexão de amortecimento dos pólos para permitir a continuidade elétrica do circuito de amortecimento elétrico do campo do gerador. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 – Integridade dos parafusos de fixação; 1.1 – Sinais de aquecimento; 1.2 – Fixação e aperto; 1.3 – Presença de danos mecânicos; 1.4 – Engripamento da rosca do parafuso; | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA - AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | Parafuso de fixação | | | X | | | | | | |
| 1.1 | Parafuso de fixação | | | X | | | | | | |
| 1.2 | Parafuso de fixação | | | X | | | | | | |
| 1.3 | Parafuso de fixação | | | X | | | | | | |
| 1.4 | Parafuso de fixação | | | | X | | X | | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar ILR- inspecionar, limpar, reapertar RL- reparar no local R&S- substituir NA- não aplicável | | | | | DSC- descartar o item SEL- selecionar se descarta ou repara o item REP- reparar o item NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |

Anexo-12 coroa

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | FOLHA N ^o . 12/44 | | | | | | | | |
|---|--|------------------------------|-----|----|--|----|-------------------------------|-----|-----|-----|
| Item sob Análise: COROA | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: ROTOR | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1 ^o equipamento: ROTOR | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: Anel magnético do rotor, constituído de chapas de aço superpostas, que gira solidário ao eixo, acoplado à aranha e na parte externa estão fixados os pólos do gerador. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 - Integridade da coroa do rotor (trincas, rupturas, quebra); | | | | | | | | | | |
| 1.1 - Verificar quanto ao estado de conservação; | | | | | | | | | | |
| 1.2 – Deformação pontual e localizada; | | | | | | | | | | |
| 1.3 – Presença de sinais de danos mecânicos; | | | | | | | | | | |
| 1.4 - Oxidação; | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA - AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | Coroa | | | X | | | | | | |
| 1.1 | Coroa | | X | | | | | | | |
| 1.2 | Coroa | | | X | | | | | | |
| 1.3 | Coroa | | | X | | | | | | |
| 1.4 | Coroa | | | X | | | | | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar | | | | | DSC- descartar o item | | | | | |
| ILR- inspecionar, limpar, reapertar | | | | | SEL- selecionar se descarta ou repara o item | | | | | |
| RL- reparar no local | | | | | REP- reparar o item | | | | | |
| R&S- substituir | | | | | NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |
| NA- não aplicável | | | | | | | | | | |

Anexo-13 cubo e aranha

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | | | | FOLHA N ^o . 13/44 | | | | | |
|---|----------------|-----------------------------------|-----|----|--|----|-------------------------------|-----|-----|-----|
| Item sob Análise: CUBO E ARANHA | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: ROTOR | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | | 1 ^o equipamento: ROTOR | | | | | | | | |
| | | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | |
| | | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: o cubo é uma estrutura de quatro discos paralelos sustentado por chapas verticais e a aranha constituída de braços radiais soldados ao cubo e na parte externa fixa o anel magnético da coroa, que gira solidário ao eixo. | | | | | | | | | | |
| MODO DE FALHA | | | | | | | | | | |
| 1 - Integridade da coroa do rotor (trincas, rupturas, quebra); | | | | | | | | | | |
| 1.1 - Verificar quanto ao estado de conservação; | | | | | | | | | | |
| 1.2 – Deformação pontual e localizada; | | | | | | | | | | |
| 1.3 – Presença de sinais de danos mecânicos; | | | | | | | | | | |
| 1.4 - Oxidação; | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA - AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | Cubo e aranha | | | X | | | | | | |
| 1.1 | Cubo e aranha | | X | | | | | | | |
| 1.2 | Cubo e aranha | | | X | | | | | | |
| 1.3 | Cubo e aranha | | | X | | | | | | |
| 1.4 | Cubo e aranha | | | X | | | | | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar | | | | | DSC- descartar o item | | | | | |
| ILR- inspecionar, limpar, reapertar | | | | | SEL- selecionar se descarta ou repara o item | | | | | |
| RL- reparar no local | | | | | REP- reparar o item | | | | | |
| R&S- substituir | | | | | NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |
| NA- não aplicável | | | | | | | | | | |

Anexo-14 RTD entre barras

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | | | | FOLHA N ^o . 14/44 | | | | | |
|--|-------------------------------------|--------------------|-----|----|--|----|-------------------------------|-----|-----|-----|
| Item sob Análise: RTD ENTRE BARRAS | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: ENROLAMENTO DE ARMADURA | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1 ^o equipamento: ESTATOR | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: Detetor de temperatura pela variação de resistência (tipo Pt100) localizado entre as barras na ranhura, do enrolamento de armadura. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 - Falha do sensor do RTD; | | | | | | | | | | |
| 1.1 - Falha da isolação dielétrica fiação do RTD; | | | | | | | | | | |
| 1.2 - Mau contato da fiação do RTD; | | | | | | | | | | |
| 1.3 - Falha na continuidade da fiação dos RTD (ruptura); | | | | | | | | | | |
| 1.4 - Aferição ou calibração dos RTDs (gerador em potência nominal estabilizada); | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA - AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | RTD entre barras | | | | X | | X | | | |
| 1.1 | RTD entre barras | | | X | | | | | | |
| 1.2 | RTD entre barras | | | X | | | | | | |
| 1.3 | RTD entre barras | | | X | | | | | | |
| 1.4 | RTD entre barras | X | | | | | | | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar | | | | | DSC- descartar o item | | | | | |
| ILR- inspecionar, limpar, reapertar | | | | | SEL- selecionar se descarta ou repara o item | | | | | |
| RL- reparar no local | | | | | REP- reparar o item | | | | | |
| R&S- substituir | | | | | NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |
| NA- não aplicável | | | | | | | | | | |

Anexo-15 esteca

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | | | | FOLHA N^o. 15/44 | | | | | |
|--|---|---------------------------|------------|-----------|---|-----------|--------------------------------------|------------|------------|------------|
| Item sob Análise: ESTECA | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: ENROLAMENTO DE ARMADURA | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1^o equipamento: ESTATOR | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: Elemento de fechamento, fixação e aperto das barras na ranhura por meio de cunhas de aperto. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 - Integridade das estecas na ranhura (trincas, danos mecânicos); | | | | | | | | | | |
| 1.1- Quebra das estecas na ranhura | | | | | | | | | | |
| 1.2 - Afrouxamento das estecas na ranhura; | | | | | | | | | | |
| 1.3 - Deformação das estecas na ranhura; | | | | | | | | | | |
| 1.4 – Afrouxamento da colagem das estecas das extremidades da ranhura. | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA - AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | Esteca | | | | X | | X | | | |
| 1.1 | Esteca | | | | X | | X | | | |
| 1.2 | Esteca | | | X | | | | | | |
| 1.3 | Esteca | | | | X | | X | | | |
| 1.4 | Esteca | | | X | | | | | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar | | | | | DSC- descartar o item | | | | | |
| ILR- inspecionar, limpar, reapertar | | | | | SEL- selecionar se descarta ou repara o item | | | | | |
| RL- reparar no local | | | | | REP- reparar o item | | | | | |
| R&S- substituir | | | | | NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |
| NA- não aplicável | | | | | | | | | | |

Anexo-16 barra estatórica

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | FOLHA N.º 16/44 | | | | | | | | |
|--|----------------------------------|---------------------------|------------|-----------|---|-----------|--------------------------------------|------------|------------|------------|
| Item sob Análise: BARRA ESTATORICA | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: ENROLAMENTO DE ARMADURA | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1º equipamento: ESTATOR | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: Elemento básico do enrolamento da armadura, formando as fases, onde é induzida a f.e.m do gerador. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 - Integridade das barras estatóricas; | | | | | | | | | | |
| 1.1 - Deterioração superficial da pintura protetora das barras (pontos brancos ou cinza) | | | | | | | | | | |
| 1.2 - Contaminação do isolante das barras; | | | | | | | | | | |
| 1.3 - Trincas visíveis no acabamento das barras | | | | | | | | | | |
| 1.4 - Presença de sinais de degradação elétrica, térmica ou esforços mecânicos; | | | | | | | | | | |
| 2 - Falha da isolação dielétrica das barras estatóricas, dentro do núcleo; | | | | | | | | | | |
| 2.1 - Falha da isolação dielétrica das barras estatóricas, fora do núcleo; | | | | | | | | | | |
| 3 - Afrouxamento das amarrações das barras | | | | | | | | | | |
| 3.1 - Presença de sinais de vibração ou deslocamento das barras; | | | | | | | | | | |
| 4 - Vazamento de água pura nas conexões hidráulicas das barras. | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA - AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | barra estatórica | | X | | | | | | | |
| 1.1 | barra estatórica | | | X | | | | | | |
| 1.2 | barra estatórica | | | X | | | | | | |
| 1.3 | barra estatórica | | | X | | | | | | |
| 1.4 | barra estatórica | | | X | | | | | | |
| 2 | barra estatórica | | | | X | | X | | | |
| 2.1 | barra estatórica | | | X | | | | | | |
| 3 | barra estatórica | | | X | | | | | | |
| 3.1 | barra estatórica | | | X | | | | | | |
| 4 | barra estatórica | | | X | | | | | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar | | | | | DSC- descartar o item | | | | | |
| ILR- inspecionar, limpar, reapertar | | | | | SEL- selecionar se descarta ou repara o item | | | | | |
| RL- reparar no local | | | | | REP- reparar o item | | | | | |
| R&S- substituir | | | | | NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |
| NA- não aplicável | | | | | | | | | | |

Anexo-17 enrolamento da armadura

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | FOLHA N ^o . 17/44 | | | | | | | | |
|--|-------------------------------------|------------------------------|-----|----|--|----|-------------------------------|-----|-----|-----|
| Item sob Análise: ENROLAMENTO DA ARMADURA | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: ESTATOR | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1 ^o equipamento: ESTATOR | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: Enrolamento trifásico, conectado em estrela, do tipo ondulado, composto de 1008 barras formando o enrolamento de armadura do gerador. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 - Integridade do enrolamento de armadura; | | | | | | | | | | |
| 1.1 – Vazamento de água pura nas conexões hidráulicas do enrolamento; | | | | | | | | | | |
| 1.2 - Deterioração superficial da tinta protetora das barras (áreas descoloridas, pontos brancos ou cinzas) | | | | | | | | | | |
| 1.3 - Afrouxamento das amarrações do enrolamento; | | | | | | | | | | |
| 1.4 - Presença de vibração e/ou deslocamento do enrolamento; | | | | | | | | | | |
| 1.5 - Degradação elétrica, térmica ou esforços mecânicos no enrolamento; | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA – AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | Enrolamento de armadura | | X | | | | | | | |
| 1.1 | Enrolamento de armadura | | | X | | | | | | |
| 1.2 | Enrolamento de armadura | | | X | | | | | | |
| 1.3 | Enrolamento de armadura | | | X | | | | | | |
| 1.4 | Enrolamento de armadura | | | X | | | | | | |
| 1.5 | Enrolamento de armadura | | | X | | | | | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar | | | | | DSC- descartar o item | | | | | |
| ILR- inspecionar, limpar, reapertar | | | | | SEL- selecionar se descarta ou repara o item | | | | | |
| RL- reparar no local | | | | | REP- reparar o item | | | | | |
| R&S- substituir | | | | | NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |
| NA- não aplicável | | | | | | | | | | |

Anexo-18 tirante de aperto do núcleo

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | FOLHA N ^o . 18/44 | | | | | | | | |
|--|-------------------------------------|------------------------------|-----|----|--|----|-------------------------------|-----|-----|-----|
| Item sob Análise: TIRANTE DE APERTO DO NÚCLEO | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: CARÇAÇA – NÚCLEO | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1 ^o equipamento: ESTATOR | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: Elemento de fixação do núcleo à carcaça e compressão do conjunto de chapas do núcleo magnético do estator do gerador. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 - Redução da isolamento dielétrica dos tirantes de aperto do núcleo; | | | | | | | | | | |
| 1.1 - Redução do pré-tensionamento dos tirantes; | | | | | | | | | | |
| 1.2 - Contaminação do isolante dos tirantes; | | | | | | | | | | |
| 1.3 - Oxidação dos tirantes; | | | | | | | | | | |
| 2 - Verificar e medir o torque de aperto dos tirantes do núcleo do estator. | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA – AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | Tirante | | | X | | | | | | |
| 1.1 | Tirante | | X | | | | | | | |
| 1.2 | Tirante | | | X | | | | | | |
| 1.3 | Tirante | | | X | | | | | | |
| 2 | Tirante | X | | | | | | | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar | | | | | DSC- descartar o item | | | | | |
| ILR- inspecionar, limpar, reapertar | | | | | SEL- selecionar se descarta ou repara o item | | | | | |
| RL- reparar no local | | | | | REP- reparar o item | | | | | |
| R&S- substituir | | | | | NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |
| NA- não aplicável | | | | | | | | | | |

Anexo-19 RTD do núcleo

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | FOLHA N ^o . 19/44 | | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|------------------------------|-----|----|--|----|-------------------------------|-----|-----|-----|
| Item sob Análise: RTD DO NÚCLEO | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: CARÇAÇA – NÚCLEO | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1 ^o equipamento: ESTATOR | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: Detetor de temperatura do núcleo, pela variação de resistência (tipo Pt100) localizado no núcleo magnético do estator. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 - Falha do sensor dos RTDs; | | | | | | | | | | |
| 1.1 – Falha da isolação dielétrica fiação dos RTDs; | | | | | | | | | | |
| 1.2 - Mau contato da fiação dos RTDs; | | | | | | | | | | |
| 1.3 - Falha na continuidade da fiação dos RTDs (ruptura); | | | | | | | | | | |
| 1.4 - Aferição ou calibração dos RTDs (gerador em potência nominal estabilizada); | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA – AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | RTD núcleo | | | | X | | X | | | |
| 1.1 | RTD núcleo | | | X | | | | | | |
| 1.2 | RTD núcleo | | | X | | | | | | |
| 1.3 | RTD núcleo | | | X | | | | | | |
| 1.4 | RTD núcleo | X | | | | | | | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar | | | | | DSC- descartar o item | | | | | |
| ILR- inspecionar, limpar, reapertar | | | | | SEL- selecionar se descarta ou repara o item | | | | | |
| RL- reparar no local | | | | | REP- reparar o item | | | | | |
| R&S- substituir | | | | | NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |
| NA- não aplicável | | | | | | | | | | |

Anexo-20 guias de ar

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | FOLHA N ^o . 20/44 | | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|------------------------------|-----|----|--|----|-------------------------------|-----|-----|-----|
| Item sob Análise: GUIAS DE AR | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: CARCAÇA - NÚCLEO | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1 ^o equipamento: ESTATOR | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: Proteção mecânica e direcionamento do ar de resfriamento do enrolamento estatórico do gerador. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 – integridade (pintura, oxidação); | | | | | | | | | | |
| 1.1 – Sinais de aquecimento; | | | | | | | | | | |
| 1.2 – Estado da fixação do conjunto; | | | | | | | | | | |
| 1.3 – Ajuste das folgas; | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA - AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | guias de ar | | | X | | | | | | |
| 1.1 | guias de ar | | | X | | | | | | |
| 1.2 | guias de ar | | | X | | | | | | |
| 1.3 | guias de ar | | | X | | | | | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar | | | | | DSC- descartar o item | | | | | |
| ILR- inspecionar, limpar, reapertar | | | | | SEL- selecionar se descarta ou repara o item | | | | | |
| RL- reparar no local | | | | | REP- reparar o item | | | | | |
| R&S- substituir | | | | | NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |
| NA- não aplicável | | | | | | | | | | |

Anexo-21 junta flexível

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | FOLHA N ^o . 21/44 | | | | | | | | |
|--|-------------------------------------|------------------------------|-----|----|--|----|-------------------------------|-----|-----|-----|
| Item sob Análise: JUNTA FLEXIVEL | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: GUIAS DE AR | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1 ^o equipamento: ESTATOR | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: Conexão flexível de borracha para vedação na junção de partes que sofrem deslocamento ou vibração no gerador. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 – Integridade das juntas flexíveis; | | | | | | | | | | |
| 1.1 – Deterioração (ressecamento, endurecimento, rachaduras); | | | | | | | | | | |
| 1.2 – Ajuste de folgas; | | | | | | | | | | |
| 1.3 – Vedação; | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA - AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | Junta flexível | | | X | | | | | | |
| 1.1 | Junta flexível | | | | X | | X | | | |
| 1.2 | Junta flexível | | | X | | | | | | |
| 1.3 | Junta flexível | | | X | | | | | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar | | | | | DSC- descartar o item | | | | | |
| ILR- inspecionar, limpar, reapertar | | | | | SEL- selecionar se descarta ou repara o item | | | | | |
| RL- reparar no local | | | | | REP- reparar o item | | | | | |
| R&S- substituir | | | | | NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |
| NA- não aplicável | | | | | | | | | | |

Anexo-22 radiador

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | FOLHA N ^o . 22/44 | | | | | | | | |
|--|-------------------------------------|------------------------------|-----|----|--|----|-------------------------------|-----|-----|-----|
| Item sob Análise: RADIADOR | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: CARÇAÇA – NÚCLEO | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1 ^o equipamento: ESTATOR | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: Trocador de calor ar-água para retirada de calor das partes do gerador. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 – Integridade do radiador; | | | | | | | | | | |
| 1.1 - Presença de sinais de vibração e/ou esforços mecânicos no radiador; | | | | | | | | | | |
| 1.2 - Oxidação do radiador; | | | | | | | | | | |
| 1.3 – Estado de conservação, limpeza e amassamento excessivo das aletas | | | | | | | | | | |
| 2 - Vazamentos no radiador; | | | | | | | | | | |
| 2.1 - Entupimento no radiador; | | | | | | | | | | |
| 2.2- Vazamentos nas tubulações e válvulas do radiador; | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA - AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | Radiador | | X | | | | | | | |
| 1.1 | Radiador | | | X | | | | | | |
| 1.2 | Radiador | | | X | | | | | | |
| 1.3 | Radiador | | X | | | | | | | |
| 2 | Radiador | | | | X | | | | X | |
| 2.1 | Radiador | | | X | | | | | | |
| 2.2 | Tubulações e válvulas | | | X | | | | | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar | | | | | DSC- descartar o item | | | | | |
| ILR- inspecionar, limpar, reapertar | | | | | SEL- selecionar se descarta ou repara o item | | | | | |
| RL- reparar no local | | | | | REP- reparar o item | | | | | |
| R&S- substituir | | | | | NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |
| NA- não aplicável | | | | | | | | | | |

Anexo-23 RTD ar do radiador

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | FOLHA N^o. 23/44 | | | | | | | | |
|--|---|-----------------------------------|------------|-----------|---|-----------|--------------------------------------|------------|------------|------------|
| Item sob Análise: RTD AR DO RADIADOR | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: RADIADORES | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1^o equipamento: ESTATOR | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise Detetor de temperatura do ar frio de saída do radiador, pela variação de resistência (tipo Pt100) localizado na saída de ar do radiador do gerador. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 - Falha do sensor dos RTDs; | | | | | | | | | | |
| 1.1 - Falha da isolação dielétrica fiação dos RTDs; | | | | | | | | | | |
| 1.2 - Mau contato da fiação dos RTDs; | | | | | | | | | | |
| 1.3 - Falha na continuidade da fiação dos RTDs (ruptura); | | | | | | | | | | |
| 1.4 - Aferição ou calibração dos RTDs (gerador em potência nominal estabilizada); | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA - AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | RTD ar do radiador | | | | X | | X | | | |
| 1.1 | RTD ar do radiador | | | X | | | | | | |
| 1.2 | RTD ar do radiador | | | X | | | | | | |
| 1.3 | RTD ar do radiador | | | X | | | | | | |
| 1.4 | RTD ar do radiador | X | | | | | | | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar | | | | | DSC- descartar o item | | | | | |
| ILR- inspecionar, limpar, reapertar | | | | | SEL- selecionar se descarta ou repara o item | | | | | |
| RL- reparar no local | | | | | REP- reparar o item | | | | | |
| R&S- substituir | | | | | NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |
| NA- não aplicável | | | | | | | | | | |

Anexo-24 RTD água de saída do radiador

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | | | | | FOLHA N ^o . 24/44 | | | | |
|---|---|---------------------------|------------|-----------|---|------------------------------|--------------------------------------|------------|------------|------------|
| Item sob Análise: RTD ÁGUA DE SAÍDA DO RADIADOR | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: RADIADORES | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1^o equipamento: ESTATOR | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise Detetor de temperatura da água de saída do radiador, pela variação de resistência (tipo Pt100) localizado na tubulação de saída de água bruta do radiador do gerador. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 - Falha do sensor dos RTDs; | | | | | | | | | | |
| 1.1 - Falha da isolamento dielétrica fiação dos RTDs; | | | | | | | | | | |
| 1.2 - Mau contato da fiação dos RTDs; | | | | | | | | | | |
| 1.3 - Falha na continuidade da fiação dos RTDs (ruptura); | | | | | | | | | | |
| 1.4 - Aferição ou calibração dos RTDs (gerador em potência nominal estabilizada); | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA - AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | RTD água de saída do radiador | | | | X | | X | | | |
| 1.1 | RTD água de saída do radiador | | | X | | | | | | |
| 1.2 | RTD água de saída do radiador | | | X | | | | | | |
| 1.3 | RTD água de saída do radiador | | | X | | | | | | |
| 1.4 | RTD água de saída do radiador | X | | | | | | | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar | | | | | DSC- descartar o item | | | | | |
| ILR- inspecionar, limpar, reapertar | | | | | SEL- selecionar se descarta ou repara o item | | | | | |
| RL- reparar no local | | | | | REP- reparar o item | | | | | |
| R&S- substituir | | | | | NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |
| NA- não aplicável | | | | | | | | | | |

Anexo-25 válvulas do radiador

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | FOLHA N^o. 25/44 | | | | | | | | |
|---|---|-----------------------------------|------------|-----------|---|-----------|--------------------------------------|------------|------------|------------|
| Item sob Análise: VALVULAS DO RADIADOR | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: RADIADOR | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1^o equipamento: ESTATOR | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise Elemento de controle do circuito hidráulico que permite regular vazão, pressão e isolação do fluxo d'água de entrada e saída do radiador do gerador. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 – Estado de conservação das tubulações, válvulas e conexões do trocador; | | | | | | | | | | |
| 1.1 – Verificar o perfeito funcionamento das tubulações, válvulas e conexões do trocador; | | | | | | | | | | |
| 1.2 – Presença de vazamentos nas tubulações, válvulas e conexões do trocador; | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA – AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | tubulações, válvulas e conexões | | X | | | | | | | |
| 1.1 | tubulações, válvulas e conexões | | | X | | | | | | |
| 1.2 | tubulações, válvulas e conexões | | | | X | | X | | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar | | | | | DSC- descartar o item | | | | | |
| ILR- inspecionar, limpar, reapertar | | | | | SEL- selecionar se descarta ou repara o item | | | | | |
| RL- reparar no local | | | | | REP- reparar o item | | | | | |
| R&S- substituir | | | | | NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |
| NA- não aplicável | | | | | | | | | | |

Anexo-26 juntas de vedação

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | | | | FOLHA N ^o . 26/44 | | | | | |
|---|--|--------------------|-----|----|--|----|-------------------------------|-----|-----|-----|
| Item sob Análise: JUNTAS DE VEDAÇÃO | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: RADIADORES | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1 ^o equipamento: ESTATOR | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise Componente vedante de água, instalado entre as conexões das tubulações, válvulas, entrada e saída de água do radiador do gerador. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 – Estado de conservação das juntas de vedação; | | | | | | | | | | |
| 1.1 – Integridade das juntas flexíveis de vedação; | | | | | | | | | | |
| 1.1 – Verificar a limpeza das juntas de vedação; | | | | | | | | | | |
| 1.2 – Verificar a correta fixação das juntas de vedação; | | | | | | | | | | |
| 1.3 – Ajuste de folgas e vedação; | | | | | | | | | | |
| 2 – Vazamentos na junta de vedação entre o trocador e a carcaça | | | | | | | | | | |
| 2.1 – Vazamentos de água nas juntas de vedação da câmara de retorno e de pressão; | | | | | | | | | | |
| 2.2 – Deterioração (ressecamento, endurecimento, rachaduras); | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA – AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | Juntas de vedação | | X | | | | | | | |
| 1.1 | Juntas de vedação | | X | | | | | | | |
| 1.2 | Juntas de vedação | | X | | | | | | | |
| 1.3 | Juntas de vedação | | | X | | | | | | |
| 2 | Juntas de vedação | | | | X | | X | | | |
| 2.1 | Juntas de vedação | | | | X | | X | | | |
| 2.2 | Juntas de vedação | | | | X | | X | | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar | | | | | DSC- descartar o item | | | | | |
| ILR- inspecionar, limpar, reapertar | | | | | SEL- selecionar se descarta ou repara o item | | | | | |
| RL- reparar no local | | | | | REP- reparar o item | | | | | |
| R&S- substituir | | | | | NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |
| NA- não aplicável | | | | | | | | | | |

Anexo-27 fluxômetro

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | FOLHA N^o. 27/44 | | | | | | | | |
|---|---|-----------------------------------|------------|-----------|---|-----------|--------------------------------------|------------|------------|------------|
| Item sob Análise: FLUXÔMETRO | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: RADIADORES | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1^o equipamento: ESTATOR | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: Medição da vazão de água bruta de resfriamento que entra nos radiadores do gerador. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 – Atuação indevida do fluxômetro 80 WO; 1.1 – Integridade e fixação do fluxômetro 80 WO; 1.2 – Entupimento das tubulações 80 WO; 1.3 – Aferição do fluxômetro 80 WO; | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA - AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | Fluxômetro 80 WO | X | | | | | | | | |
| 1.1 | Fluxômetro 80 WO | | | X | | | | | | |
| 1.2 | Fluxômetro 80 WO | | X | | | | | | | |
| 1.3 | Fluxômetro 80 WO | | | | X | | | | X | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar | | | | | DSC- descartar o item | | | | | |
| ILR- inspecionar, limpar, reapertar | | | | | SEL- selecionar se descarta ou repara o item | | | | | |
| RL- reparar no local | | | | | REP- reparar o item | | | | | |
| R&S- substituir | | | | | NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |
| NA- não aplicável | | | | | | | | | | |

Anexo-28 carcaça - núcleo

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | | | | FOLHA N ^o . 28/44 | | | | | |
|---|--|--------------------|-----|----|------------------------------|----|-------------------------------|-----|-----|-----|
| Item sob Análise: CARCAÇA – NÚCLEO | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: ESTATOR | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1 ^o equipamento: ESTATOR | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: Suporte mecânico do conjunto do estator e do enrolamento estatórico do gerador. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| <p>1 – Integridade e compactação do núcleo magnético</p> <p>1.1 – Circularidade e ovalidade do núcleo do estator;</p> <p>1.2 – Pontos quentes no núcleo magnético</p> <p>1.3 – Presença de sinais de vibração e ou esforços mecânicos</p> <p>1.4 – Afrouxamento do núcleo magnético</p> <p>1.5 – Deformações e amassamentos do núcleo magnético</p> <p>1.6 – Contaminação por poeira, óleo, ou outro contaminante</p> <p>1.7 – Presença de óxido de ferro ou lâmina solta do núcleo magnético;</p> <p>1.8 – Obstrução dos dutos de ventilação do núcleo estatórico</p> <p>1.9 – Deformação do núcleo estatórico</p> <p>2 – Integridade da carcaça</p> <p>2.1 – Estado geral da estrutura da carcaça (trincas, soldas, oxidação)</p> <p>2.2 – Deformação da carcaça</p> <p>2.3 – Pontos quentes na carcaça</p> <p>2.4 – Estado geral das molas inferiores e superiores (trincas e soldas)</p> <p>2.5 – Fixação e pontos quentes nas blindagens de saída das fases e de neutro;</p> <p>3 – Atuação indevida da supervisão de umidade relativa (sensor 45 HU).</p> <p>3.1 – Falha da supervisão de umidade relativa.</p> | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA - AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | núcleo magnético | | | X | | | | | | |
| 1.1 | núcleo magnético | X | | | | | | | | |
| 1.2 | núcleo magnético | | | X | | | | | | |
| 1.3 | núcleo magnético | | | X | | | | | | |
| 1.4 | núcleo magnético | | | X | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|-----|------------------|--|---|---|--|--|--|--|--|
| 1.5 | núcleo magnético | | | X | | | | | |
| 1.6 | núcleo magnético | | X | | | | | | |
| 1.7 | núcleo magnético | | | X | | | | | |
| 1.8 | núcleo magnético | | X | | | | | | |
| 1.9 | núcleo magnético | | | X | | | | | |
| 2 | Carçaça | | X | | | | | | |
| 2.1 | Carçaça | | | X | | | | | |
| 2.2 | Carçaça | | | X | | | | | |
| 2.3 | Carçaça | | | X | | | | | |
| 2.4 | Carçaça | | | X | | | | | |
| 2.5 | Carçaça | | | X | | | | | |

LEGENDA

AAC- ajustar, alinhar, calibrar
ILR- inspecionar, limpar, reapertar
RL- reparar no local
R&S- substituir
NA- não aplicável

DSC- descartar o item
SEL- selecionar se descarta ou repara o item
REP- reparar o item
NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia

Anexo-29 sensor de umidade 45HU

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | | | | FOLHA N^o. 29/44 | | | | | |
|---|---|---------------------------|------------|-----------|---|-----------|--------------------------------------|------------|------------|------------|
| Item sob Análise: SENSOR DE UMIDADE 45HU | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: CARÇAÇA – NÚCLEO | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1^o Equipamento: ESTATOR | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: Dispositivo para controle de umidade dentro do recinto do gerador. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 – Estado de conservação do termostato; | | | | | | | | | | |
| 1.1 – Falha do Sensor de umidade 45HU; | | | | | | | | | | |
| 1.2 – Atuação indevida do Sensor de umidade 45HU; | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA - AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | Sensor de umidade 45HU | X | | | | | | | | |
| 1.1 | Sensor de umidade 45HU | | | | X | X | | | | |
| 1.2 | Sensor de umidade 45HU | X | | | | | | | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar | | | | | DSC- descartar o item | | | | | |
| ILR- inspecionar, limpar, reapertar | | | | | SEL- selecionar se descarta ou repara o item | | | | | |
| RL- reparar no local | | | | | REP- reparar o item | | | | | |
| R&S- substituir | | | | | NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |
| NA- não aplicável | | | | | | | | | | |

Anexo-30 sapata

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | FOLHA N ^o . 30/44 | | | | | | | | |
|--|--|------------------------------|-----|----|--|----|-------------------------------|-----|-----|-----|
| Item sob Análise: SAPATA | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: MGS | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1 ^o equipamento: CRUZETA SUPERIOR | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: Dispositivo do MGS para suportar todos os esforços radiais (mecânicos e magnéticos) oriundos da parte girante do gerador. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 – Integridade das sapatas; | | | | | | | | | | |
| 1.1 – Inspeção do metal patente; | | | | | | | | | | |
| 1.2 - Falha das sapatas do MGS (temperatura); | | | | | | | | | | |
| 1.3 – Ajuste de folgas das sapatas do MGS. | | | | | | | | | | |
| 2 – Descolamento do metal patente; | | | | | | | | | | |
| 2.1 – Desgaste do metal patente; | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA – AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | Conj. sapatas – MGS | | | X | | | | | | |
| 1.1 | Conj. sapatas – MGS | | | X | | | | | | |
| 1.2 | Conj. sapatas – MGS | | | X | | | | | | |
| 1.3 | Conj. sapatas – MGS | X | | | | | | | | |
| 2 | Conj. sapatas – MGS | | | | X | | | | X | |
| 2.1 | Conj. sapatas – MGS | | | | X | | | | X | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar | | | | | DSC- descartar o item | | | | | |
| ILR- inspecionar, limpar, reapertar | | | | | SEL- selecionar se descarta ou repara o item | | | | | |
| RL- reparar no local | | | | | REP- reparar o item | | | | | |
| R&S- substituir | | | | | NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |
| NA- não aplicável | | | | | | | | | | |

Anexo-31 RTD sapata do MGS

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | FOLHA N ^o . 31/44 | | | | | | | | |
|--|--|------------------------------|-----|----|--|----|-------------------------------|-----|-----|-----|
| Item sob Análise: RTD SAPATA DO MGS | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: SAPATA | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1 ^o equipamento: CRUZETA SUPERIOR | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise Detetor de temperatura da sapata do MGS, pela variação de resistência (tipo Pt100) localizado na sapata do MGS do gerador. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 - Falha do sensor dos RTDs; | | | | | | | | | | |
| 1.1 - Falha da isolamento dielétrica fiação dos RTDs; | | | | | | | | | | |
| 1.2 - Mau contato da fiação dos RTDs; | | | | | | | | | | |
| 1.3 - Falha na continuidade da fiação dos RTDs (ruptura); | | | | | | | | | | |
| 1.4 – Aferição ou calibração dos RTDs (gerador em potência nominal estabilizada); | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA – AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | RTD da sapata do MGS | | | | X | | X | | | |
| 1.1 | RTD da sapata do MGS | | | X | | | | | | |
| 1.2 | RTD da sapata do MGS | | | X | | | | | | |
| 1.3 | RTD da sapata do MGS | | | X | | | | | | |
| 1.4 | RTD da sapata do MGS | X | | | | | | | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar | | | | | DSC- descartar o item | | | | | |
| ILR- inspecionar, limpar, reapertar | | | | | SEL- selecionar se descarta ou repara o item | | | | | |
| RL- reparar no local | | | | | REP- reparar o item | | | | | |
| R&S- substituir | | | | | NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |
| NA- não aplicável | | | | | | | | | | |

Anexo-32 aeração

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | FOLHA N^o. 32/44 | | | | | | | | |
|--|--|-----------------------------------|------------|-----------|---|-----------|--------------------------------------|------------|------------|------------|
| Item sob Análise: AERAÇÃO | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: MGS | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1^o equipamento: CRUZETA SUPERIOR | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: Sistema de aeração do mgs para manter confinado os vapores de óleo lubrificante dentro do mgs. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 – Inspeção visual; | | | | | | | | | | |
| 1.1 – Estado de conservação e integridade; | | | | | | | | | | |
| 1.2 – Fixação; | | | | | | | | | | |
| 1.3 – Vazamentos. | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA - AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | Aeração | | | X | | | | | | |
| 1.1 | Aeração | | | X | | | | | | |
| 1.2 | Aeração | | | X | | | | | | |
| 1.3 | Aeração | | | X | | | | | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar | | | | | DSC- descartar o item | | | | | |
| ILR- inspecionar, limpar, reapertar | | | | | SEL- selecionar se descarta ou repara o item | | | | | |
| RL- reparar no local | | | | | REP- reparar o item | | | | | |
| R&S- substituir | | | | | NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |
| NA- não aplicável | | | | | | | | | | |

Anexo-33 labirinto

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | FOLHA N ^o . 33/44 | | | | | | | | |
|---|--|------------------------------|-----|----|--|----|-------------------------------|-----|-----|-----|
| Item sob Análise: LABIRINTO | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: AERAÇÃO | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1 ^o equipamento: CRUZETA SUPERIOR | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: dispositivo de vedação dos vapores de óleo lubrificante do mgs, entre a parte girante e parte estática no mgs. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 – Inspeção visual; 1.1 – Integridade; 1.2 – Estado da fixação; 1.3 – Verificação das folgas; 2 – Desgaste excessivo do labirinto. | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA - AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | Labirinto | | X | | | | | | | |
| 1.1 | Labirinto | | | X | | | | | | |
| 1.2 | Labirinto | | | X | | | | | | |
| 1.3 | Labirinto | | | X | | | | | | |
| 2 | Labirinto | | | | X | | X | | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar ILR- inspecionar, limpar, reapertar RL- reparar no local R&S- substituir NA- não aplicável | | | | | DSC- descartar o item SEL- selecionar se descarta ou repara o item REP- reparar o item NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |

Anexo-34 óleo lubrificante

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | | | | FOLHA N ^o . 34/44 | | | | | |
|--|--|--------------------|-----|----|--|----|-------------------------------|-----|-----|-----|
| Item sob Análise: OLEO LUBRIFICANTE | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: MGS | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1 ^o equipamento: CRUZETA SUPERIOR | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: Elemento lubrificante, refrigerante e protetor das partes internas do MGS. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 – Degradação do óleo lubrificante; 1.1 – Contaminação do óleo lubrificante; 1.2 – Presença de água no óleo; 2 – Dependente do resultado de análise físico química do óleo Executar purificação do óleo lubrificante). | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA - AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | óleo lubrificante | | | | X | | | X | | |
| 1.1 | óleo lubrificante | | | X | | | | | | |
| 1.2 | óleo lubrificante | | | X | | | | | | |
| 2 | óleo lubrificante | | | | X | | | X | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar ILR- inspecionar, limpar, reapertar RL- reparar no local R&S- substituir NA- não aplicável | | | | | DSC- descartar o item SEL- selecionar se descarta ou repara o item REP- reparar o item NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |

Anexo-35 RTD óleo lubrificante

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | | | | | FOLHA N ^o . 35/44 | | | | |
|--|---------------------------------|--|-----|----|--|------------------------------|-------------------------------|-----|-----|-----|
| Item sob Análise: RTD ÓLEO LUBRIFICANTE | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: ÓLEO LUBRIFICANTE | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | | 1^o equipamento: CRUZETA SUPERIOR | | | | | | | | |
| | | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | |
| | | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise Detetor de temperatura do óleo lubrificante do mancal guia superior, pela variação de resistência (tipo Pt100) localizado na cuba do mancal guia superior do gerador. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 – Falha do sensor dos RTDs; | | | | | | | | | | |
| 1.1 – Falha da isolação dielétrica fiação dos RTDs; | | | | | | | | | | |
| 1.2 – Mau contato da fiação dos RTDs; | | | | | | | | | | |
| 1.3 – Falha na continuidade da fiação dos RTDs (ruptura); | | | | | | | | | | |
| 1.4 – Ajuste dos RTDs, com o gerador em potência nominal estabilizada; | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA - AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | RTD do óleo lubrificante do MGS | | | | X | | X | | | |
| 1.1 | RTD do óleo lubrificante do MGS | | | X | | | | | | |
| 1.2 | RTD do óleo lubrificante do MGS | | | X | | | | | | |
| 1.3 | RTD do óleo lubrificante do MGS | | | X | | | | | | |
| 1.4 | RTD do óleo lubrificante do MGS | X | | | | | | | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar | | | | | DSC- descartar o item | | | | | |
| ILR- inspecionar, limpar, reapertar | | | | | SEL- selecionar se descarta ou repara o item | | | | | |
| RL- reparar no local | | | | | REP- reparar o item | | | | | |
| R&S- substituir | | | | | NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |
| NA- não aplicável | | | | | | | | | | |

Anexo-36 supervisão do MGS

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | FOLHA N ^o . 36/44 | | | | | | | | |
|---|--|------------------------------|-----|----|-----|----|-------------------------------|-----|-----|-----|
| Item sob Análise: SUPERVISÃO DO MGS | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: CRUZETA SUPERIOR | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1 ^o equipamento: CRUZETA SUPERIOR | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: Dispositivos de proteção e supervisão de temperatura, nível, presença de água no óleo, vibração, movimento do MGS. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 – Atuação indevida do relé temperatura sapata do MGS - (38U1); | | | | | | | | | | |
| 1.1 – Falha do relé temperatura sapata do MGS – (38U1); | | | | | | | | | | |
| 1.2 – Atuação indevida do relé de temperatura sapata do MGS - (38U2); | | | | | | | | | | |
| 1.3 – Falha do relé temperatura sapata do MGS – (38U2); | | | | | | | | | | |
| 1.4 – Atuação indevida do relé temperatura óleo do MGS - (38UQ); | | | | | | | | | | |
| 1.5 – Falha do relé de temperatura óleo do MGS – (38UQ); | | | | | | | | | | |
| 2 – Atuação indevida do detetor de nível óleo baixo do MGS - (71UL); | | | | | | | | | | |
| 2.1 – Falha do detetor de nível óleo baixo do MGS - (71UL); | | | | | | | | | | |
| 2.2 – Atuação indevida do detetor de nível óleo alto do MGS - (71UH); | | | | | | | | | | |
| 2.3 – Falha do detetor de nível óleo alto do MGS - (71UH); | | | | | | | | | | |
| 3 – Atuação indevida do detetor de água no óleo - (39 UW); | | | | | | | | | | |
| 3.1 – Falha do detetor de água no óleo - (39 UW); | | | | | | | | | | |
| 4 – Atuação indevida do detetor de vibração do MGS - (39VB1); | | | | | | | | | | |
| 4.1 – Falha do detetor de deflexão do MGS - (39VB1); | | | | | | | | | | |
| 5 – Atuação indevida do detetor de movimento axial do MGS – (33S); | | | | | | | | | | |
| 5.1 – Falha do detetor de deflexão do MGS – (33S); | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA - AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | Relé 38 U1 | X | | | | | | | | |
| 1.1 | Relé 38 U1 | | | | X | X | | | | |
| 1.2 | Relé 38U2 | X | | | | | | | | |
| 1.3 | Relé 38U2 | | | | X | X | | | | |
| 1.4 | Relé 38UQ | X | | | | | | | | |
| 1.5 | Relé 38UQ | | | | X | X | | | | |
| 2 | Relé 71 UL | X | | | | | | | | |
| 2.1 | Relé 71 UL | | | | X | X | | | | |

| | | | | | | | | | |
|-----|------------|---|--|--|---|--|---|--|--|
| 2.2 | Relé 71 UH | x | | | | | | | |
| 2.3 | Relé 71 UH | | | | x | | x | | |
| 3 | Relé 39 UW | x | | | | | | | |
| 3.1 | Relé 39 UW | | | | x | | x | | |
| 4 | Relé 39VB1 | x | | | | | | | |
| 4.1 | Relé 39VB1 | | | | x | | x | | |
| 5 | Relé 33S | x | | | | | | | |
| 5.1 | Relé 33S | | | | x | | x | | |

LEGENDA

AAC- ajustar, alinhar, calibrar
ILR- inspecionar, limpar, reapertar
RL- reparar no local
R&S- substituir
NA- não aplicável

DSC- descartar o item
SEL- selecionar se descarta ou repara o item
REP- reparar o item
NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia

Anexo-37 Trocador de Calor

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | | | | FOLHA N ^o . 37/44 | | | | | |
|--|--|---------------------------|------------|-----------|---|-----------|--------------------------------------|------------|------------|------------|
| Item sob Análise: TROCADOR DE CALOR | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: MANCAL GUIA SUPERIOR | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1^o equipamento: CRUZETA SUPERIOR | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: Trocador de calor água-óleo para retirada de calor das partes do MGS do gerador. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 - Integridade do trocador de calor do MGS; | | | | | | | | | | |
| 1.1 - Vazamento trocador de calor do MGS; | | | | | | | | | | |
| 1.2 - Entupimento do trocador de calor MGS; | | | | | | | | | | |
| 2 - Vazamentos nas tubulações e válvulas do trocador de calor MGS; | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA – AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | trocador de Calor do MGS | | X | | | | | | | |
| 1.1 | trocador de Calor do MGS | | | | X | | | | X | |
| 1.2 | trocador de Calor do MGS | | | | X | | | | X | |
| 2 | tubulação válvulas | | | X | | | | | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar | | | | | DSC- descartar o item | | | | | |
| ILR- inspecionar, limpar, reapertar | | | | | SEL- selecionar se descarta ou repara o item | | | | | |
| RL- reparar no local | | | | | REP- reparar o item | | | | | |
| R&S- substituir | | | | | NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |
| NA- não aplicável | | | | | | | | | | |

Anexo-38 RTD água do trocador de calor

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | | | | FOLHA N ^o . 38/44 | | | | | |
|--|--|--------------------|-----|----|--|----|-------------------------------|-----|-----|-----|
| Item sob Análise: RTD ÁGUA DO TROCADOR DE CALOR | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: TROCADOR DE CALOR | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1 ^o equipamento: CRUZETA SUPERIOR | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise Detetor de temperatura da água de saída do trocador de calor do mancal guia superior, pela variação de resistência (tipo Pt100) localizado na tubulação de água de saída do trocador de calor. | | | | | | | | | | |
| MODO DE FALHA | | | | | | | | | | |
| 1 - Falha do sensor dos RTDs; | | | | | | | | | | |
| 1.1 – Falha da isolamento dielétrica fiação dos RTDs; | | | | | | | | | | |
| 1.2 – Mau contato da fiação dos RTDs; | | | | | | | | | | |
| 1.3 – Falha na continuidade da fiação dos RTDs (ruptura); | | | | | | | | | | |
| 1.4 – Ajuste dos RTDs, com o gerador em potência nominal estabilizada; | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA – AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | RTD água do troc. de calor do MGS | | | | X | | X | | | |
| 1.1 | RTD água do troc. de calor do MGS | | | X | | | | | | |
| 1.2 | RTD água do troc. de calor do MGS | | | X | | | | | | |
| 1.3 | RTD água do troc. de calor do MGS | | | X | | | | | | |
| 1.4 | RTD água do troc. de calor do MGS | X | | | | | | | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar | | | | | DSC- descartar o item | | | | | |
| ILR- inspecionar, limpar, reapertar | | | | | SEL- selecionar se descarta ou repara o item | | | | | |
| RL- reparar no local | | | | | REP- reparar o item | | | | | |
| R&S- substituir | | | | | NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |
| NA- não aplicável | | | | | | | | | | |

Anexo-39 junta de vedação do MGS

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | FOLHA N ^o . 39/44 | | | | | | | | |
|---|--|------------------------------|-----|----|---|----|-------------------------------|-----|-----|-----|
| Item sob Análise: JUNTA DE VEDAÇÃO DO MGS | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: MANCAL GUIA SUPERIOR | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1^o equipamento: CRUZETA SUPERIOR | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: Componente vedante do óleo lubrificante, instalado entre as conexões das tubulações, válvulas, entrada e saída de óleo lubrificante do mancal guia superior do gerador. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 – Estado geral de conservação das juntas de vedação do MGS; | | | | | | | | | | |
| 1.1 – Verificar a correta fixação e a limpezas das juntas de vedação | | | | | | | | | | |
| 2 – Presença de vazamento no visor de nível do MGS; | | | | | | | | | | |
| 3 - Vazamento de óleo nas juntas de vedação da cuba do MGS; | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA - AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | Junta de vedação do MGS | | X | | | | | | | |
| 1.1 | Junta de vedação do MGS | | | X | | | | | | |
| 1.2 | Junta de vedação do MGS | | | | X | X | | | | |
| 2 | Junta de vedação do MGS | | | | X | X | | | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar | | | | | DSC- descartar o item | | | | | |
| ILR- inspecionar, limpar, reapertar | | | | | SEL- selecionar se descarta ou repara o item | | | | | |
| RL- reparar no local | | | | | REP- reparar o item | | | | | |
| R&S- substituir | | | | | NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |
| NA- não aplicável | | | | | | | | | | |

Anexo-40 mancal gula superior

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | | | | FOLHA N ^o . 40/44 | | | | | |
|---|---|--------------------|-----|----|--|----|-------------------------------|-----|-----|-----|
| Item sob Análise: MANCAL GUIA SUPERIOR | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: CRUZETA SUPERIOR | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1 ^o equipamento: CRUZETA SUPERIOR | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: Equipamento constituído de dezesseis segmentos para suportarem os esforços radiais do gerador, mantendo a parte girante da unidade eqüidistante da linha de centro do gerador. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 - Integridade do MGS; | | | | | | | | | | |
| 1.1 – Presença de pontos de oxidação na cuba do MGS; | | | | | | | | | | |
| 1.2 – Vazamento de óleo do MGS; | | | | | | | | | | |
| 1.3 – Vazamento de vapor de óleo MGS; | | | | | | | | | | |
| 1.4 – Funcionamento adequado da bomba negativa do MGS; | | | | | | | | | | |
| 1.5 - Vazamentos de água nas tubulações e válvulas do trocador de calor MGS; | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA - AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | Cuba do MGS | | X | | | | | | | |
| 1.1 | Cuba do MGS | | | X | | | | | | |
| 1.2 | Cuba do MGS | | | X | | | | | | |
| 1.3 | Cuba do MGS | | | X | | | | | | |
| 1.4 | Cuba do MGS | | | X | | | | | | |
| 1.5 | Tubulação e válvulas | | X | X | | | | | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar | | | | | DSC- descartar o item | | | | | |
| ILR- inspecionar, limpar, reapertar | | | | | SEL- selecionar se descarta ou repara o item | | | | | |
| RL- reparar no local | | | | | REP- reparar o item | | | | | |
| R&S- substituir | | | | | NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |
| NA- não aplicável | | | | | | | | | | |

Anexo-41 eixo superior

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | | | | FOLHA N ^o . 41/44 | | | | | |
|--|----------------------------------|--------------------|-----|----|--|----|-------------------------------|-----|-----|-----|
| Item sob Análise: EIXO SUPERIOR | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: EIXO | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1 ^o equipamento: EIXO | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: Elemento de acoplamento e transmissão de esforços radiais do rotor do gerador para a estrutura através do MGS, centralizador do rotor ao eixo de rotação da máquina e permite a injeção de ar para a turbina, para a estabilidade hidráulica. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 – Integridade do eixo superior; | | | | | | | | | | |
| 1.1 – Presença de pontos de oxidação do eixo superior | | | | | | | | | | |
| 2 – Falha da isolação dielétrica pino/colar; | | | | | | | | | | |
| 2.1 – Falha da isolação dielétrica pino/eixo; | | | | | | | | | | |
| 2.2 – Falha da isolação dielétrica eixo/colar. | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA - AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | eixo superior | | X | | | | | | | |
| 1.1 | eixo superior | | | X | | | | | | |
| 2 | eixo superior | | | X | | | | | | |
| 2.1 | eixo superior | | | X | | | | | | |
| 2.2 | eixo superior | | | | X | | | | X | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar | | | | | DSC- descartar o item | | | | | |
| ILR- inspecionar, limpar, reapertar | | | | | SEL- selecionar se descarta ou repara o item | | | | | |
| RL- reparar no local | | | | | REP- reparar o item | | | | | |
| R&S- substituir | | | | | NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |
| NA- não aplicável | | | | | | | | | | |

Anexo-42 parafuso de acoplamento eixo superior

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | FOLHA N^o. 42/44 | | | | | | | | |
|---|--|-----------------------------------|------------|-----------|---|-----------|--------------------------------------|------------|------------|------------|
| Item sob Análise: PARAFUSO DE ACOPLAMENTO | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: EIXO SUPERIOR | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1^o equipamento: EIXO | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: Elemento de fixação e acoplamento do eixo superior e o cubo do rotor. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 – Integridade dos parafusos de acoplamento; | | | | | | | | | | |
| 1.1 – Travamento; | | | | | | | | | | |
| 1.2 – Presença de oxidação; | | | | | | | | | | |
| 1.3 – Presença de sinais de deslocamento; | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA - AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | Parafuso de acoplamento do eixo | | X | | | | | | | |
| 1.1 | Parafuso de acoplamento do eixo | | | X | | | | | | |
| 1.2 | Parafuso de acoplamento do eixo | | | X | | | | | | |
| 1.3 | Parafuso de acoplamento do eixo | | | X | | | | | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar | | | | | DSC- descartar o item | | | | | |
| ILR- inspecionar, limpar, reapertar | | | | | SEL- selecionar se descarta ou repara o item | | | | | |
| RL- reparar no local | | | | | REP- reparar o item | | | | | |
| R&S- substituir | | | | | NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |
| NA- não aplicável | | | | | | | | | | |

Anexo-43 eixo inferior

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | | | | | FOLHA N ^o . 43/44 | | | | |
|---|----------------|----------------------------------|-----|----|--|------------------------------|-------------------------------|-----|-----|-----|
| Item sob Análise: EIXO INFERIOR | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: EIXO | | | | | | | | | | |
| Dispositivos | | 1 ^o equipamento: EIXO | | | | | | | | |
| na hierarquia | | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | |
| (Figura 8) | | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: Elemento de acoplamento e transmissão de torque da turbina para o rotor, transmissão de esforços radiais do rotor para a estrutura, e condução de ar para a turbina. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 – Integridade do eixo superior; | | | | | | | | | | |
| 1.1 – Presença de pontos de oxidação no eixo inferior. | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA - AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | Eixo inferior | | X | | | | | | | |
| 1.1 | Eixo inferior | | | X | | | | | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar | | | | | DSC- descartar o item | | | | | |
| ILR- inspecionar, limpar, reapertar | | | | | SEL- selecionar se descarta ou repara o item | | | | | |
| RL- reparar no local | | | | | REP- reparar o item | | | | | |
| R&S- substituir | | | | | NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |
| NA- não aplicável | | | | | | | | | | |

Anexo-44 parafuso de acoplamento eixo inferior

| 1 – ANÁLISE DA MODALIDADE DE FALHA | | FOLHA N^o. 44/44 | | | | | | | | |
|--|--|-----------------------------------|------------|-----------|---|-----------|--------------------------------------|------------|------------|------------|
| Item sob Análise: PARAFUSO DE ACOPLAMENTO | | | | | | | | | | |
| Próximo Dispositivo superior: EIXO INFERIOR | | | | | | | | | | |
| Dispositivos na hierarquia (Figura 8) | 1^o equipamento: EIXO | | | | | | | | | |
| | Subsistema: GERADOR | | | | | | | | | |
| | Sistema: UNIDADE GERADORA | | | | | | | | | |
| Função desempenhada pelo item sob análise: Elemento de fixação e acoplamento do eixo inferior e o cubo do rotor. | | | | | | | | | | |
| No. | MODO DE FALHA | | | | | | | | | |
| 1 – Integridade dos parafusos de acoplamento; 1.1 – Travamento; 1.2 – Presença de oxidação; 1.3 – Presença de sinais de deslocamento; | | | | | | | | | | |
| 2 – ANÁLISE DE MANUTENÇÃO CORRETIVA - AMC | | | | | | | | | | |
| No. | FONTE DE FALHA | 2.1 AÇÃO CORRETIVA | | | | | 2.2 DESTINO DA FONTE DE FALHA | | | |
| | | AAC | ILR | RL | R&S | NA | DSC | SEL | REP | NPB |
| 1 | Parafuso de acoplamento do eixo | | X | | | | | | | |
| 1.1 | Parafuso de acoplamento do eixo | | | X | | | | | | |
| 1.2 | Parafuso de acoplamento do eixo | | | X | | | | | | |
| 1.3 | Parafuso de acoplamento do eixo | | | X | | | | | | |
| LEGENDA | | | | | | | | | | |
| AAC- ajustar, alinhar, calibrar | | | | | DSC- descartar o item | | | | | |
| ILR- inspecionar, limpar, reapertar | | | | | SEL- selecionar se descarta ou repara o item | | | | | |
| RL- reparar no local | | | | | REP- reparar o item | | | | | |
| R&S- substituir | | | | | NPB- nível próximo mais abaixo na hierarquia | | | | | |
| NA- não aplicável | | | | | | | | | | |