

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
Centro de Engenharia Elétrica e Informática  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica  
Mestrado Profissional em Sistemas de Energia Elétrica

LINDOMAR SANTANA DE MELO

**Método para gestão do setor de manutenção de uma usina  
hidroelétrica**

Campina Grande, Paraíba  
Agosto de 2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
Centro de Engenharia Elétrica e Informática  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica  
Mestrado Profissional em Sistemas de Energia Elétrica

## **Método para gestão do setor de manutenção de uma usina hidroelétrica**

LINDOMAR SANTANA DE MELO

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Sistemas de Energia Elétrica.

Área de Concentração: Processamento da Energia

Maria de Fátima Queiroz Vieira  
Benemar Alencar de Souza  
Orientadores

Campina Grande – PB  
Agosto de 2014

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

M Melo, Lindomar Santana de.

528m

Método para gestão do setor de manutenção de uma usina hidroelétrica / Lindomar Santana de Melo. – Campina Grande, 2014.

74 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Engenharia Elétrica e Informática, 2014.

"Orientação: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria de Fátima Queiroz Vieira, Prof. Dr. Benemar Alencar de Souza".

Referências.

1. Engenharia Elétrica. 2. Gestão de Manutenção. 3. Manutenção de Sistemas Elétricos. 4. Engenharia de Confiabilidade. 5. Gestão de Ativos. I. Vieira, Maria de Fátima Queiroz. II. Souza, Benemar Alencar de. III. Título.

CDU 621.3(043)

**"MÉTODO PARA GESTÃO DO SETOR DE MANUTENÇÃO DE UMA USINA  
HIDROELÉTRICA"**

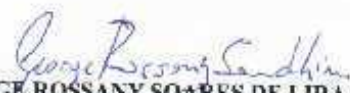
**LINDOMAR SANTANA DE MELO**

**DISSERTAÇÃO APROVADA EM 31/10/2014**

  
**MARIA DE FÁTIMA QUEIROZ VIEIRA, Ph.D., UFCG**  
Orientador(a)

  
**BENEMAR ALENCAR DE SOUZA, D.Sc., UFCG**  
Orientador(a)

  
**WASHINGTON LUIZ ARAÚJO NEVES, Ph.D., UFCG**  
Examinador(a)

  
**GEORGE ROSSANY SOARES DE LIRA, D.Sc., UFCG**  
Examinador(a)

**CAMPINA GRANDE - PB**

Dedico este trabalho ao Deus Soberano que sustenta toda sua criação,  
Ao meu Pai, homem de muita luta e honra,  
Minha Mãe, minha amada,  
Aos irmãos, Lindoval e Luciana, e ao Antônio nosso caçula, que dorme no Senhor, a  
estes que significam verdadeiros irmãos,  
A minha esposa Carla, meu amor, minha companheira,  
E as minhas filhas Mariana e Viviane, minha alegria.

Agradeço pelo apoio, compreensão, contribuição, e entusiasmo, atribuídos em todos os momentos.

Sem eles, não consigo ter identidade, mas por eles estou pronto a caminhar.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, PPGEE, pela oportunidade de realização de trabalhos em minha área de pesquisa.

Aos colegas do PPGEE pelo seu auxílio nas tarefas desenvolvidas durante o curso e apoio na revisão deste trabalho.

Aos colegas do curso de mestrado, pela parceria neste empreendimento.

A minha orientadora Prof<sup>a</sup> Fátima Vieira.

Ao professor Benemar Alencar pela paciência, condução e entusiasmo transmitidos ao longo do curso.

Ao Prof<sup>o</sup> Edson Guedes pelo apoio e contribuições.

Aos colegas da Chesf que trouxeram as contribuições necessárias ao trabalho.

À DAEC pela coordenação do curso de mestrado.

*“Porque Deus amou o mundo de tal maneira que deu o seu Filho unigênito, para que todo aquele que nele crê não pereça, mas tenha a vida eterna.”  
(João 3.16 Bíblia Sagrada)*

## RESUMO

Este trabalho propõe a aplicação da metodologia da manutenção centrada em confiabilidade associada aos requisitos da gestão de ativos, prescritos na norma ABNT NBR ISO 55000, nas atividades de gestão da manutenção da Usina Hidrelétrica Apolônio Sales. A finalidade do trabalho é a gestão estratégica da manutenção de equipamentos do sistema elétrico, na geração hidrelétrica. As razões que levaram ao estudo do tema são a necessidade de evolução das técnicas de manutenção; da gestão estratégica da manutenção; do diagnóstico pós-falha do sistema elétrico; da necessidade de auxílio nos treinamentos para a equipe de manutenção; da padronização dos procedimentos de manutenção; da melhoria na documentação dos registros; da necessidade de redução de custos relacionados à atividade de manutenção, e da garantia de maior disponibilidade dos ativos de geração de energia elétrica. Os objetivos deste trabalho são a promoção da melhoria na eficiência da manutenção, com a consequente melhoria da confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade dos ativos. A metodologia adotada neste trabalho se fundamenta na análise prévia da prática adotada pela empresa, considerando os requisitos da metodologia da manutenção centrada em confiabilidade e os requisitos da norma ABNT NBR ISO 55000. A adoção desta estratégia de gestão direciona a atenção dos gestores para os ativos, ao invés de simplesmente medir a realização das atividades de manutenção. A gestão estratégica dos ativos ganha ênfase com a padronização do registro de dados dos ativos, das falhas, dos modos de falha, e das falhas funcionais. A definição dos objetivos, missão e visão da manutenção, orienta a gestão da manutenção para a gestão de ativos, para a engenharia de confiabilidade e a adoção das técnicas e ferramentas que apresentam as melhores práticas de gestão encontradas atualmente.

**Palavras-chave:** Engenharia Elétrica. Gestão da Manutenção. Manutenção de Sistemas Elétricos. Engenharia de Confiabilidade. Gestão de Ativos.



## **ABSTRACT**

This work proposes the application of the methodology focused on the maintenance requirements associated with asset management, prescribed in the standard ISO 55000, the management of maintenance activities Hydropower Plant Sales Apollonius reliability. The purpose of the work is the strategic management of equipment maintenance of the electrical system in hydroelectric generation. The reasons for the study of the subject are the need of changing technical maintenance; strategic maintenance management; diagnosis of post-crash electrical system; the need for assistance in training for maintenance staff; standardization of maintenance procedures; improvement in documentation of records; the need to reduce the related maintenance activity costs, and ensuring greater availability of generation assets electricity. Our objectives are to promote improved maintenance efficiency, with consequent improvement of reliability, availability and maintainability of the assets. The methodology adopted in this work is based on previous analysis of practice adopted by the company, considering the requirements of the methodology of reliability centered maintenance and the requirements of standard ISO 55000. The adoption of this management strategy directs the attention of managers for assets instead of simply measuring achievement of maintenance activities. The strategic management of asset gains emphasis by standardizing the data record of assets, failures, failure modes, and functional failures. The definition of the goals, mission and vision of maintenance, maintenance management guides for the management of assets, to reliability engineering and adoption of techniques and tools that have the best management practices currently found.

**Keywords: Electrical Engineering. Maintenance Management. Maintenance of Electrical Systems. Reliability Engineering. Asset Management.**

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Evolução da Manutenção.....	17
Figura 02 – Fluxograma de Gestão da Manutenção.....	27
Figura 03 – Quarta Geração da Evolução da Manutenção.....	34
Figura 04 – Relações entre os termos-chave.....	34
Figura 05 – Documento Solicitação de Serviço (SS).....	39
Figura 06 – Ordem de Serviço Executada.....	40
Figura 07 – Registro da Providência Tomada na OS.....	41
Figura 08 – Fluxograma da Metodologia Proposta.....	43
Figura 09 – Classificação pela Causa das Falhas.....	46
Figura 10 – Classificação pela Complexidade das Falhas.....	47
Figura 11 – Classificação pela Disponibilidade dos Equipamentos.....	48
Figura 12 – Classificação pelo Tempo de Reparo das Falhas dos Equipamentos.....	49
Figura 13 – Classificação pelo Impacto das Falhas.....	49
Figura 14 – Classificação pelo Tipo do Equipamento.....	50
Figura 15 – Ordem de Serviço Executada.....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Práticas de gestão de ativos no setor elétrico internacional.....	35
Tabela 02 – Legenda da tabela 01.....	36
Tabela 03 – Categoria das Tarefas.....	54
Tabela 04 – Pontuação da Matriz GUT.....	58
Tabela 05 – Matriz GUT para o Trafo.....	59
Tabela 06 – Cálculo da confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade.....	63

## LISTA DE SIGLAS

CA/CC	Corrente Alternada/Corrente Contínua
CHESF	Companhia Hidroelétrica do São Francisco
DMG	Departamento de Manutenção da Geração
DRMP	Divisão de Manutenção de Usinas de Paulo Afonso
ES	Esquema de Serviço
ESA	Evidente Segurança Ambiente
EEO	Evidente Econômico Operacional
EV	Eventos
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
FMECA	Failure Mode, Effects and Criticality Analysis
FRACAS	Failure Reporting Analysis and Corrective Action System
GRP	Gerência Regional de Operação de Paulo Afonso
GUT	Gravidade Urgência Tendência
IAM	Instituto de Gestão de Ativos
IEC	International Electrotechnical Commission
ISO	International Organization for Standardization
MCC	Manutenção Centrada em Confiabilidade
MSG	Maintenance Steering Group
MTBF	Tempo médio entre falhas
MTRR	Tempo médio para reparo
MTRR	Tempo médio entre reparos
OEO	Oculto Econômico Operacional
OS	Ordem de serviço
OSA	Oculto Segurança Ambiente
PAS	Publicly Available Specification
PDCA	Plan – Do – Check - Act
RAMS	Reliability, Availability, Maintainability, Safety
RCM	Reliability Centered Maintenance
RCA	Root Cause Failure Analysis
SI	Solicitação de Intervenção
SIGA	Sistema Integrado de Gestão de Ativos
SPAS	Serviço de Manutenção Eletromecânica da Usina Apolônio Sales
SS	Solicitação de Serviço

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1	MOTIVAÇÃO .....	16
1.2	OBJETIVOS .....	17
1.3	METODOLOGIA .....	17
1.4	ORGANIZAÇÃO DO TEXTO .....	18
<b>2</b>	<b>CONCEITOS BÁSICOS .....</b>	<b>19</b>
2.1	TIPOS DE MANUTENÇÃO.....	19
2.2	GESTÃO DA MANUTENÇÃO COM FOCO NOS PARÂMETROS DE RAMS.....	20
2.3	O MÉTODO FRACAS.....	23
2.4	DESCRIÇÃO DO APROVEITAMENTO DA USINA APOLÔNIO SALES.....	24
2.5	SERVIÇOS AUXILIARES DA USINA APOLÔNIO SALES .....	25
2.6	MANUTENÇÃO ELÉTRICA DA USINA APOLÔNIO SALES.....	25
2.7	O SOFTWARE SIGA .....	28
2.8	MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE.....	29
2.9	GESTÃO DE ATIVOS.....	31
2.10	GERENCIAMENTO DE ATIVOS NO SETOR ELÉTRICO.....	34
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA PROPOSTA.....</b>	<b>36</b>
3.1	PROCESSO DE GESTÃO DA MANUTENÇÃO NA CHESF .....	37
3.2	GESTÃO RECOMENDADA PELA LITERATURA.....	40
3.3	APLICAÇÃO PRELIMINAR DA ABORDAGEM PROPOSTA .....	41
3.4	CRITÉRIOS DE VALIDAÇÃO.....	44
<b>4</b>	<b>APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA .....</b>	<b>44</b>
4.1	IDENTIFICAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DAS FALHAS NA USINA.....	44

4.2	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA MCC.....	49
4.3	REQUISITOS DA GESTÃO DE ATIVOS ADOTADOS NA USINA.....	53
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>63</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>65</b>
	<b>APÊNDICE A - DEFINIÇÃO DAS FRONTEIRAS DO SISTEMA .....</b>	<b>67</b>
	<b>APÊNDICE B - ANÁLISE FMECA.....</b>	<b>69</b>
	<b>APÊNDICE C - SELEÇÃO DAS FUNÇÕES SIGNIFICANTES .....</b>	<b>70</b>
	<b>APÊNDICE D - SELEÇÃO DAS TAREFAS DE MANUTENÇÃO EFETIVAS .....</b>	<b>71</b>
	<b>APÊNDICE E - DEFINIÇÃO DOS AGRUPAMENTO DAS TAREFAS DE MANUTENÇÃO .....</b>	<b>72</b>
	<b>APÊNDICE F - RELATÓRIO DE ANÁLISE DA FALHA .....</b>	<b>73</b>
	<b>APÊNDICE G - RELATÓRIO DE MANUTENÇÃO CORRETIVA .....</b>	<b>74</b>

# 1 INTRODUÇÃO

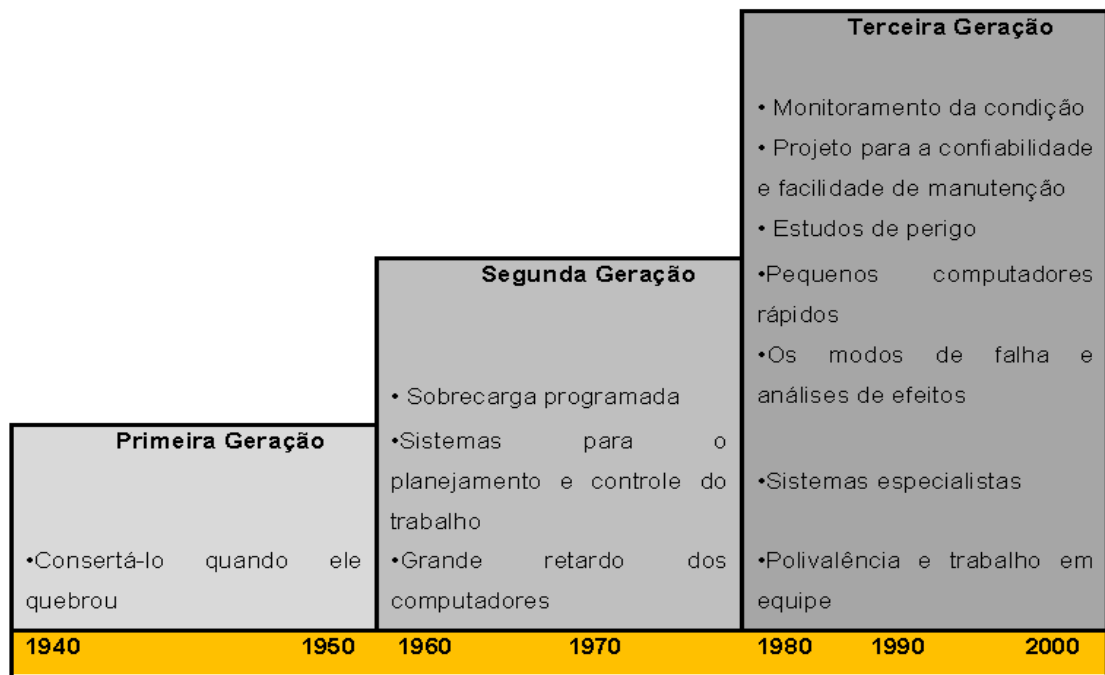
A missão da manutenção é garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações, para atender ao processo de produção, e a preservação do meio ambiente, com confiabilidade, segurança e custo adequados. O gerenciamento estratégico da manutenção compreende a atuação da equipe de forma a evitar que ocorram falhas. Manutenção centrada em confiabilidade é um processo usado para determinar o que precisa ser feito para assegurar que qualquer item físico continue a cumprir as funções desejadas no seu contexto operacional atual. [1] É necessário conhecer os modos e efeitos de falhas do equipamento para poder se antecipar à falha, com análises de dados, buscando a causa da falha ocorrida. Isto pode ser aprimorado com o uso da ferramenta FRACAS (Sistema de Comunicação da Falha, Análise e Ação Corretiva). Desenvolver uma gestão de manutenção capaz de reduzir os custos associados a ela e implantar as melhores práticas de gestão, como o conjunto de normas de gestão de ativos (que especifica os requisitos para uma gestão eficiente de ativos) é um desafio. Qualquer que seja a estratégia da manutenção, o objetivo maior é prolongar a vida útil, a disponibilidade, confiabilidade, com ótima manutenibilidade e segurança dos equipamentos [5]. O gestor necessita priorizar, direcionar e classificar as atividades de manutenção, otimizando o tempo gasto na atividade correta. Este trabalho trata da necessidade de melhoria na gestão da manutenção, e na gestão de seus ativos, com a utilização da metodologia da manutenção centrada em confiabilidade, e os requisitos do conjunto de normas ABNT NBR ISO 55000. A combinação destas metodologias e o suporte das ferramentas de tratamento das falhas propõem um modelo de gestão, a ser aplicado na manutenção da Usina Hidrelétrica de Apolônio Sales.

A Figura 01 mostra como as expectativas de manutenção evoluíram. O tempo de inatividade sempre afetando a capacidade produtiva dos ativos físicos por redução da produção, aumento dos custos de operação e interferências no atendimento ao cliente.

Neste novo cenário está presente a conscientização de como a falha afeta a segurança e o meio ambiente, da relação entre manutenção e qualidade do produto, a

crescente necessidade por melhor disponibilidade, acrescido a isto a urgente necessidade de redução de custos.

Figura 01 - Evolução da Manutenção



Fonte: Moubray, 2001

## 1.1 MOTIVAÇÃO

Este trabalho se propõe aplicar a metodologia da manutenção centrada em confiabilidade em combinação com a gestão baseada em RAMS, e o conjunto de normas ABNT NBR ISO 55000, cuja motivação é a obtenção de gestão estratégica dos ativos e das atividades de manutenção elétrica da Usina Hidrelétrica Apolônio Sales. O trabalho está sendo motivado por fatores como: necessidade de aperfeiçoamento da gestão manutenção, exigência de treinamentos mais eficientes, carência de ferramenta que auxilie na identificação das causas das falhas, e maior disponibilidade dos ativos de geração de energia elétrica.

A pesquisa deverá responder às seguintes questões: (1) Há possibilidade de sistematização estratégica da atividade de gestão da manutenção de usinas



hidrelétricas? e (2) O método de gestão apoiado pelas ferramentas de confiabilidade e gestão de ativos resultará numa atividade de manutenção eficaz e mais eficiente?

## 1.2 OBJETIVOS

Objetivo geral:

- a) assegurar a eficácia e promover a melhoria na eficiência da atividade da manutenção, do desempenho dos ativos, bem como a adoção de gestão estratégica, com o consequente aumento na disponibilidade, confiabilidade, manutenibilidade e segurança da usina hidrelétrica, a partir da utilização do método a ser proposto. Propor uma metodologia com critérios claros e documentados para a tomada de decisões e suas prioridades.

Objetivos específicos:

- a) definir uma política de manutenção com base na gestão de ativos; estruturar uma base de dados para apoiar o planejamento da manutenção; adoção da prática de gestão estratégica de ativos; aprimorar o plano de manutenção preventiva, com base na confiabilidade; adotar uma política de gestão de falhas, com registro e análise das falhas, e redução da incidência de falhas crônicas; incluir indicadores de desempenho dos ativos; melhorar a eficiência da gestão de riscos; padronizar os procedimentos de manutenção; aprimorar a gestão de sobressalentes; evitar o tratamento dos sintomas, mas corrigir as causas das falhas;

## 1.3 METODOLOGIA

Este trabalho será desenvolvido nas seguintes etapas:

- a) levantamento bibliográfico sobre o assunto, nas áreas de manutenção de sistemas elétricos, de gestão da manutenção, da gestão de ativos, da gestão de riscos, da engenharia de confiabilidade, das ferramentas da qualidade, de métodos de diagnóstico de falhas, e de ferramentas computacionais para registro das falhas;

- b) levantamento de dados reais de falhas ocorridas na usina, a partir da coleta, no SIGA, dos registros de atividades de manutenção ao longo de um período de dois anos; e análise desses dados utilizando a técnica de histograma e Pareto, visando identificar e classificar as falhas para identificar o índice de incidência e criticidade;
- c) aplicação da metodologia da Manutenção Centrada em Confiabilidade na Usina Apolônio Sales;
- d) aplicação de requisitos da norma ABNT NBR ISO 55001 à gestão de ativos da usina;
- e) aplicação da gestão estratégica da manutenção, com foco na confiabilidade, disponibilidade, manutenibilidade e segurança (RAMS);
- f) utilização das ferramentas FMECA e FRACAS para o tratamento das falhas e modos de falhas, como também da análise das mesmas.

#### 1.4 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

O trabalho está organizado em cinco capítulos: o capítulo um refere-se à introdução; no capítulo dois foram abordados os conceitos básicos sobre: os tipos de manutenção, a engenharia de manutenção, a ferramentas FRACAS, uma visão geral dos serviços auxiliares da usina, a organização da manutenção elétrica da Usina Apolônio Sales, a metodologia da Manutenção Centrada em Confiabilidade, a gestão de ativos, com enfoque no conjunto de normas ABNT NBR ISO 55000, e o gerenciamento de ativos no setor elétrico.

O capítulo três apresenta a metodologia proposta, e no capítulo quatro a aplicação da metodologia aos serviços auxiliares da Usina Hidrelétrica de Apolônio Sales. No capítulo cinco estão apresentadas as conclusões do trabalho.

## 2 CONCEITOS BÁSICOS

A revisão bibliográfica foi realizada em livros, teses, dissertações, trabalhos de conclusão de cursos, revistas, artigos e internet. A pesquisa sobre o estado da arte procurou embasar tanto a formulação do problema como sua justificativa. A evolução do tema foi contextualizado historicamente, foram investigadas as abordagens no âmbito industrial de transporte, geração nuclear, setor de petróleo, etc. O estágio atual do conhecimento sobre o assunto ou e as tendências que se apresentam estão relatadas neste trabalho.

### 2.1 TIPOS DE MANUTENÇÃO

A manutenção corretiva atua na correção da falha ou do desempenho inferior ao esperado. Duas condições específicas levam à manutenção corretiva: o desempenho deficiente apontado pelo acompanhamento das variáveis operacionais; e a ocorrência da falha. A função principal da manutenção corretiva é corrigir ou restaurar as condições de funcionamento do equipamento ou sistema, sendo dividida em duas classes: Manutenção Corretiva Não Planejada e Manutenção Corretiva Planejada. [3]

A manutenção preventiva atua de forma a reduzir ou evitar a falha, atendendo a um plano previamente elaborado, distribuído em intervalos de tempo. A conveniência da realização da manutenção preventiva depende da simplicidade na reposição, do valor dos custos de falhas, da influência das falhas na produção e na implicação das falhas na segurança pessoal e operacional. Há um conhecimento prévio das ações, contribuindo com o gerenciamento das atividades, recursos, do consumo de materiais e sobressalentes. [4]

A manutenção preditiva é realizada com base em modificação de parâmetro de condição ou desempenho, através de acompanhamento sistematizado. Conhecida por manutenção sob condição ou manutenção com base no estado do equipamento, é a primeira grande quebra de paradigma, proveniente do desenvolvimento tecnológico, permitindo avaliação confiável das instalações e sistemas operacionais em funcionamento. Tem como objetivo a prevenção de falhas nos equipamentos ou sistemas através de acompanhamento de diversos parâmetros, permitindo a operação

contínua do equipamento pelo maior tempo possível. Este tipo de manutenção privilegia a disponibilidade, já que as medições e verificações são efetuadas com o equipamento produzindo. [3]

A manutenção detectiva consiste nas ações realizadas em sistemas com vistas a detectar falhas ocultas ou não-perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção. A identificação de falhas ocultas é primordial na garantia da confiabilidade. [4]

A engenharia de manutenção é a segunda quebra de paradigmas na manutenção, é uma mudança cultural. O objetivo é identificar as causas básicas, alterar condições permanentes de mau desempenho, eliminar problemas crônicos, melhorar padrões e sistemáticas, desenvolver a manutenibilidade, informar feedback ao projeto, interferir tecnicamente nas compras. Na engenharia de manutenção são utilizados os dados produzidos e disponíveis no sistema de preditiva, para análises, estudos e proposição de melhorias. [4]

## 2.2 GESTÃO DA MANUTENÇÃO COM FOCO NOS PARÂMETROS DE RAMS

Apesar dos avanços modernos é impossível esperar que qualquer atividade humana possa ser realizada sem riscos e sem falhas. Os riscos associados às atividades, mantém a probabilidade de falhas, principalmente devido ao aumento da complexidade de equipamentos ou sistemas e a redução dos prazos de entrega. A necessidade surgiu de forma sistemática, ao se estudar o comportamento de novos sistemas, equipamentos ou melhoria do projeto, isso seria o início do que hoje é chamado de RAMS. O conceito e as características de RAMS tornam possível entender o que deve ser gerido na manutenção. A sigla RAMS advém dos termos Reliability, Availability, Maintainability e Safety, que traduzidos significam Confiabilidade, Disponibilidade, Manutenibilidade e Segurança. Os quatro assuntos estão resumidos de forma interligada, para serem implementados em conjunto. Gestão com foco em RAMS significa gestão dos quatro parâmetros. [2]

A aplicação dos parâmetros de RAMS vai ajudar em muitos aspectos, como:

- a) fornecer indicadores da confiabilidade de um sistema;

- b) identificar quais modos de falhas são esperados e os riscos que representam para os usuários, clientes, ou a sociedade;
- c) no planejamento das operações de manutenção e de reposição de baixo custo;
- d) na avaliação de desempenho do equipamento.

A gestão de RAMS oferece suporte aos gestores no sentido de auxiliar em todas as decisões, identificando aspectos críticos e monitorando os resultados das ações de melhoria. As questões respondidas pela gestão de RAMS são:

- a) Qual o custo da falha?
- b) Qual a previsão da vida do sistema ou equipamento?
- c) Falhando o equipamento, qual o tempo de inoperância?
- d) O que fazer para a prevenção de falhas?
- e) Quais fatores levam os equipamentos a falhar?
- f) Qual o custo do serviço durante o período de vida do equipamento?

Um requisito para o sucesso pleno das políticas de gestão de RAMS é a continuidade da coleta de dados, análises e ações corretivas. Para atingir os níveis de desempenho desejados de um equipamento ou sistema, gerindo os parâmetros de RAMS, as seguintes abordagens estruturadas são necessárias:

- a) Utilizar uma abordagem quantitativa dos parâmetros de RAMS;
- b) Identificar e remover, de forma sistemática, características indesejáveis de RAMS.

A abordagem quantitativa dos parâmetros de RAMS pode ser desenvolvida através dos cálculos dos indicadores de disponibilidade, confiabilidade e manutenibilidade. Para o cálculo desses parâmetros é necessário encontrar o MTBF e o MTTR. Para o cálculo do MTBF (Tempo Médio entre Falhas) é necessário realizar a soma de todos os intervalos nos quais o equipamento esteve em operação e dividir pela quantidade de falhas. Para o equipamento que foi substituído após a primeira falha, mede-se o MTTF, que significa o tempo médio da primeira e única falha.

Para calcular o tempo médio de reparo do sistema, MTTR para equipamentos, as partes redundantes foi eliminada para ganhar resultado mais preciso. A disponibilidade do sistema pode ser calculada com base no sistema de tempo médio entre falhas e tempo médio para reparos.

A confiabilidade é uma característica do produto ou sistema, expressa pela probabilidade de que o produto irá desempenhar a função requerida sob dadas condições para um intervalo de tempo determinado. A equação de confiabilidade para foi modelado pela distribuição do tempo de falha exponencial da seguinte forma:

$$R = e^{-\lambda t} \quad (1)$$

Onde R é confiabilidade, “e” é a base do logaritmo natural,  $\lambda$  é a taxa de falhas e t é o tempo de duração. Com baixas taxas de falhas e curtos períodos de exposição, os valores de confiabilidade estão perto de um. Desde que taxa de falha,  $\lambda$ , é o inverso do MTBF, a expressão para a confiabilidade pode ser reescrita como:

$$\lambda = \frac{1}{\text{MTBF}} \quad (2)$$

$$R = e^{-\frac{t}{\text{MTBF}}} \quad (3)$$

A disponibilidade é um termo amplo, que exprime a relação de entregue ao serviço esperado. É a fração de tempo em que um sistema está disponível para uso; ou seja, que não desligou pelo fracasso, por falha. A equação da disponibilidade:

$$A = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} \quad (4)$$

Aqui A é a fração do tempo total que o sistema está disponível, MTBF é o tempo médio antes falhas e MTTR é o tempo médio de reparo.

Mantenabilidade é uma característica de um produto, expressa pela probabilidade de uma manutenção preventiva ou a reparação do item ser realizada dentro de um intervalo de tempo especificado para o dado procedimento e recursos (nível de habilidade do pessoal, peças, instalações de teste, etc.) [2]. A equação de mantenabilidade para um sistema em que os tempos de reparação são distribuídos exponencialmente é dada por:

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (5)$$

Onde  $\mu$  = taxa de reparo.

E,

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad (6)$$

A segurança é a capacidade de uma entidade evitar a ocorrência, dentro de condições pré-estabelecidas, de eventos críticos para o seu funcionamento ou catastróficos para seus operadores e meio ambiente. A segurança pode ser medida e depende do tempo, das ocorrências de eventos, e dos parâmetros de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade. Pode existir um sistema muito seguro e pouco confiável, como também menos seguro e muito confiável. A segurança estuda a exposição das pessoas e equipamentos a um evento inesperado [8].

### 2.3 O MÉTODO FRACAS

O termo FRACAS tem sua origem na sigla inglesa Failure Reporting Analysis and Corrective Action System, que traduzido significa Sistema de Registro, Análise e Ação Corretiva da Falha. O método FRACAS foi desenvolvido pelo governo dos EUA e introduzido pela primeira vez para uso pela Marinha dos EUA e todos os departamentos e agências de defesa em 1985. [18]

O método exige um registro sistemático de dados de falha, suas causas, análise e implementação de medidas corretivas para evitar recorrências. O objetivo principal do FRACAS é documentar as falhas e defeitos e divulgar os dados. A eficácia do FRACAS ocorrerá somente se os dados de entrada e relatórios que documentam as falhas for preciso. A documentação da falha deve fornecer informações sobre quem descobriu a falha, o que falhou, onde falhou, quando falhou, e como as falhas serão impedidas.

As principais definições necessárias à implementação da ferramenta FRACAS são: falha, causa da falha e análise da falha. Falha é um evento em que um item não executa as suas funções necessárias dentro das condições especificadas [18]. Causa da Falha é a circunstância que induz ou ativa um mecanismo de falha [18]. Análise de falha é a determinação da causa de uma falha, sendo realizada através da utilização de raciocínio lógico, a partir do exame dos dados, sintomas, evidências físicas disponíveis e análises laboratoriais dos resultados [18].

As ferramentas FRACAS e FMECA são projetadas para serem implementadas independentemente uma da outra, porém, existe um efeito de sinergia quando os dois esforços são acoplados. A FMECA é utilizada para identificar os modos falha de um item e os potenciais efeitos adversos desses modos no sistema. O principal objetivo do FMECA é influenciar o sistema para eliminar ou minimizar as ocorrências de uma falha ou das consequências da atração falha. FRACAS representa o "mundo real" de experiências de falhas reais e suas consequências. O FMECA beneficia o FRACAS, fornecendo uma fonte de dados de falha, modo de falha e efeito da falha, informação importante para a avaliação de ocorrências de falhas reais. As experiências relatadas de falha reais e analisadas conforme FRACAS fornece um meio de verificar a integridade e exatidão do FMECA. Deve haver acordo entre a experiência do "mundo real", como relatados e avaliados conforme FRACAS e o "mundo analítico", como documentado em um FMECA. Diferenças significativas entre os dois mundos são motivo de uma reavaliação do projeto de um equipamento e os critérios de falha diferentes que separa a FRACAS e FMECA.

#### 2.4 DESCRIÇÃO DO APROVEITAMENTO DA USINA APOLÔNIO SALES

O aproveitamento hidrelétrico da Usina Apolônio Sales (Moxotó) encontra-se localizado no município de Delmiro Gouveia a oito quilômetros da cidade de Paulo Afonso/BA. A Usina de Apolônio Sales, construída e projetada pela CHESF, está instalada no São Francisco, principal rio da região nordestina, com área de drenagem de 605.171 km<sup>2</sup>, bacia hidrográfica da ordem de 630.000 km<sup>2</sup>, com extensão de 3.200 km, desde sua nascente na Serra da Canastra em Minas Gerais, até sua foz em Piaçabuçu/AL e Brejo Grande/SE.

O represamento de Moxotó consta de quatro unidades geradoras, acionadas por turbinas Kaplan, cada uma com 100.000 kW, totalizando uma potência instalada de 400.000 kW. A energia gerada é transmitida por uma subestação elevadora com 06 transformadores de 80 MVA que elevam a tensão de 13,8 kV para 230 kV.



## 2.5 SERVIÇOS AUXILIARES DA USINA APOLÔNIO SALES

Os serviços auxiliares elétricos são compostos pelo sistema de transformação e distribuição de energia para fornecimento de eletricidade às cargas necessárias à operação das unidades geradoras, equipamentos e estruturas das instalações da usina. São compostos por transformadores, cubículos de média tensão, quadros de distribuição, conversores CA/CC, banco de baterias, inversores CC/CA, iluminação de emergência, motores elétricos e seu respectivo acionamento, etc. São alimentados por um sistema de corrente alternada e outro de corrente contínua.

A confiabilidade do sistema de serviços auxiliares elétricos é requerida na fase de concepção do empreendimento, onde devem ser previstos os meios adequados para o suprimento confiável de energia elétrica de emergência para operação de equipamentos essenciais à segurança das instalações, além de suprir energia para permitir a partida de uma unidade geradora após o desligamento pleno da usina.

## 2.6 MANUTENÇÃO ELÉTRICA DA USINA APOLÔNIO SALES

O Órgão de Manutenção da Usina Apolônio Sales (SPAS) encontra-se subordinado à Divisão de Manutenção de Usinas de Paulo Afonso (DRMP), que por sua vez está subordinada à Gerência Regional de Operação de Paulo Afonso (GRP), da CHESF, Geradora e Transmissora de Energia Elétrica. O Departamento de Manutenção da Geração (DMG), órgão normativo da geração, planeja as atividades de manutenção da geração de forma centralizada, cuja execução é realizada por cada órgão local de manutenção, segundo padrões normativos estabelecidos pelo DMG. O DMG possui três Divisões: a divisão que gerencia os processos relativos ao sistema físico das barragens e edificações, a divisão que gerencia os sistemas eletro-eletrônicos de Usinas e a divisão de gestão dos sistemas mecânicos.

A gestão da manutenção é realizada de acordo com o fluxograma de planejamento do programa de trabalho, ver Figura 02. Os produtos da Manutenção, os estudos de ocorrências e as documentações elaboradas são ferramentas utilizadas como subsídio à gestão.

Os produtos da Manutenção elaborados pelo DMG são: Plano de Intervenção em Máquinas; Plano de Manutenção Preditiva; Plano de Manutenção Preventiva; Plano de Manutenção Corretiva em Instrumento; Plano de Manutenção Corretiva em Equipamentos; Plano de Reparos; Programa de Recomissionamento; Coordenação de Reparos e Recomissionamentos; Assessoria Técnica aos Órgãos das Gerências Regionais e Relatórios de Avaliação da Manutenção.

As documentações elaboradas pelo DMG são: Normas de manutenção; Normas de manutenção elétrica; Normas de serviço; Recomendações especiais; Especificações técnicas; Recomendações administrativas.

O planejamento e o controle da manutenção são realizados por: Programa de trabalho anual; Programa de intervenção em máquina; Programa de manutenção; Análise de ocorrências; Programações extras.

Figura 02 – Fluxograma de Gestão da Manutenção



Fonte: DMG/CHESF

A filosofia da manutenção preventiva leva em consideração o aumento da disponibilidade, com base nos seguintes critérios:

- a) Princípios de manutenção centrada na confiabilidade;
- b) Acompanhamento dos índices de desempenho;
- c) Análise de ocorrências e verificações de causas;
- d) Monitoramento de parâmetros relevantes das Unidades Geradoras.

Os períodos de manutenção preventiva estão definidos da seguinte forma:

- a) Unidades geradoras e auxiliares principais: horas de operação:
  - a) 20.000 a 25.000: atividades de manutenção preventiva e funcionalidade do CPSR;
  - b) 40.000 a 50.000: atividades de manutenção preventiva e funcionalidade do CPSR e avaliação de estado com inspeções mais detalhadas.
  - c) Equipamentos auxiliares gerais: hora calendário: mensal, trimestral, Semestral e anual.

A filosofia da manutenção corretiva visa a antecipações de manutenções de forma a evitar desligamentos forçados com base na análise de ocorrências; análise e acompanhamento do desempenho operacional; análise dos resultados das manutenções preditivas; avaliação de estado físico; e solicitação de manutenção.

A filosofia da manutenção preditiva consiste no controle do estado de funcionamento dos equipamentos identificando alterações que ponham em risco sua disponibilidade ou confiabilidade. Os tipos são ensaios periódicos (óleo lubrificante e vibração); monitoramento digital de vibração, proximidade, desgaste, movimentações, deformações das unidades geradoras e barragens, temperatura e pressão; e termovisão.

O gerenciamento dos resultados da manutenção é realizado através de sistemas computacionais específicos: Sistema de Planejamento da Manutenção de Usinas; Sistema de Gerenciamento da Manutenção Preditiva; Sistema de Monitoramento On-Line. A política de sobressalentes é caracterizada por norma específica considerando os aspectos qualitativo e quantitativo, e sistema informatizado com controle de estoque mínimo. Os Indicadores utilizados pela Chesf para a gestão da manutenção de Usinas, extraído do Relatório de Avaliação da Manutenção, são: a disponibilidade líquida

acumulada no período de doze meses; a frequência de falhas; o índice de realização da manutenção preventiva e as horas de treinamento por empregado.

## 2.7 O SOFTWARE SIGA

A nomenclatura SIGA significa Sistema Integrado de Gestão de Ativos e tem como objetivo proporcionar a integração de processos com enfoque no gerenciamento. O coração do sistema de informações para gestão de ativos físicos é o cadastro dos ativos, um complexo de informações relacionadas à localização geográfica, situação, plano de manutenção, composição, agrupamento, classificação e outras informações. Os Principais documentos do SIGA estão classificados conforme detalhamento:

- a) Documento Solicitação de Serviços (SS): é o documento através do qual os Sistemas Organizacionais são informados sob a condição dos equipamentos e acionados para realizarem atividades ou atenderem recomendações;
- b) Documento Esquema de Serviços (ES): tem a finalidade de padronizar os procedimentos, e o planejamento das atividades de manutenção, formalizando a aplicação do conhecimento prático;
- c) Documento Ordem de Serviço (OS): tem o objetivo de alocar pessoas a serviços, reservar materiais, comunicar procedimentos, efetuar a comunicação interna do grupo executor, e preparar da execução das atividades. É composto pelo planejamento executivo e a análise preliminar de perigo. É a instrução escrita que define o trabalho a ser realizado pela Manutenção. Quando executada tem a finalidade de registrar os dados oriundos da atividade da manutenção;
- d) Documento Solicitação de Intervenção (SI): tem o objetivo de realizar a comunicação ente as equipes de operação e manutenção, no momento anterior à execução de um serviço, quanto às condições exigidas para intervenção nos equipamentos;
- e) Documento Eventos (EV): tem a finalidade de registrar objetivamente os fatos sobre o sistema, proporcionar a organização dos fatos, controlar a evolução do conhecimento sobre os fatos, realizar o cálculo de indicadores de confiabilidade, e de indicadores externos, e estabelecer a comunicação com agentes externos.

São os fatos relevantes sobre o estado do sistema que originam a criação deste documento;

## 2.8 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

A sigla RCM tem sua origem no termo inglês Reliability Centered Maintenance, em português, Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC). A definição da metodologia da manutenção centrada na confiabilidade: “A metodologia para analisar as funções do sistema, o modo como estas funções podem falhar, e a partir daí, aplicar um critério de priorização explícito baseado em fatores de segurança, ambientais, operacionais e econômicos, para identificar as tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas” [1].

Segundo Moubray, existem quatro atributos da MCC que devem ser seguidos para sua implantação [1]:

- a) preservação da função do sistema;
- b) identificação das falhas funcionais e aplicação da FMECA;
- c) classificação e priorização das falhas funcionais segundo suas conseqüências;
- d) elaboração das atividades de manutenção segundo sua viabilidade técnica e seu custo benefício, utilizando um diagrama de decisão.

A MCC se distingue por adotar um processo estruturado de análise e decisão, objetivando a seleção de atividades de manutenção para qualquer ativo físico. Para ser efetivo, o método deve ser subsidiado por um processo estruturado de documentação para registro da gestão do conhecimento, revisão e auditoria, em todas as etapas [12].

Objetivos da metodologia da manutenção centrada na confiabilidade:

- a) otimizar a função e as atividades de manutenção, modificando as tarefas;
- b) melhorar, preservar e garantir a segurança e a confiabilidade;
- c) melhorar a qualidade de forma eficiente;
- d) otimizar o plano de manutenção preventiva, eliminando as tarefas de manutenção preventiva improdutivas, e adotando nova repartição das tarefas de manutenção;
- e) otimizar os programas de manutenção;
- f) otimizar o ponto de vista técnico-econômico, controlando os custos.

A aplicação da metodologia de análise MCC pode ser:

- a) quantitativa e com base na análise de confiabilidade;
- b) qualitativa através de ferramentas da qualidade;
- c) a combinação de ambos os itens acima.

Na categoria qualitativa, as ferramentas típicas são:

- a) modos de falha, efeitos e análise de criticidade (FMEA / FMECA);
- b) manutenção centrada em confiabilidade (RCM);
- c) relatórios fracasso, análise e sistemas de ação corretiva (FRACAS);
- d) análise da causa raiz (RCA).

A MCC termina quando os planos de manutenção preventiva otimizados são entregues para a produção e pessoal de manutenção. As etapas de implantação da MCC são os passos que incluem o FMECA (Análise dos Modos de Falha e seus efeitos de Criticidade), a seleção da função significativa, avaliações de tarefas, e seleção de Tarefas, entre outras [12], [14].

As normas que tratam da MCC são as seguintes:

- a) IEC 60300-3-11 Parte 3-11: Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM) - Norma Internacional;
- b) MSG 3 PADRÃO Airline/Fabricante, setembro de 1993, Documento de programa de desenvolvimento de manutenção Originalmente lançado 30 de setembro de 1980 Revisão 1: 31 março de 1988 Revisão 2: 12 de setembro, 1993 Manutenção Steering Group - 3 Task Force; Associação de Transporte Aéreo da América;
- c) Norma Européia EN 50126 Aplicações ferroviárias - Especificação e demonstração de Fiabilidade, Disponibilidade, Manutenibilidade e Segurança (RAMS);
- d) MIL-STD-2173 (AS), Norma da Marinha dos EUA, NAVAIR;
- e) NES 45, Naval Engenharia Padrão para Navios e Submarinos;
- f) Revisão da Estratégia de Manutenção (MSR), a Shell Expro, Aberdeen,
- g) No Brasil, não há normas diretamente relacionadas com a MCC, mas há normas relacionadas à manutenção e qualidade, ABNT 5264/1994.

## 2.9 GESTÃO DE ATIVOS

A Gestão de Ativos tem raízes em diversos setores e países industrializados, as boas práticas de gestão de ativos evoluíram a partir de muitas fontes, convergindo ao longo dos últimos trinta anos para chegar o consenso internacional. A documentação formal de boas práticas de gestão de ativos tem sido mais recentemente liderada pelo desenvolvimento da PAS 55 (Publicly Available Specification 55, Especificação Disponível Publicamente), pelo Instituto de Gestão de Ativos (IAM) e 49 organizações de 15 indústrias em 10 países. A PAS 55 foi publicada em 2004 e substancialmente revista em 2008, foi amplamente adotado em todo o mundo, com grande sucesso, como ferramenta de integração e melhoria das práticas de negócios, aumentando o desempenho e garantindo uma maior coerência e transparência. O escopo da PAS 55 é principalmente a gestão de ativos físicos, mas não se limita a esta classe de ativos. [10]

A PAS 55 foi publicada em duas partes, a PAS 55-1 compreende a especificação de vinte e oito requisitos e PAS 55-2 fornece orientação para a aplicação da PAS 55-1. A especificação é estruturada em torno do ciclo PDCA familiar no processo de melhoria contínua. Com a aceitação da PAS 55, a especificação foi apresentada em 2009 para a Organização Internacional de Normalização como a base para um novo padrão ISO para a gestão de ativos, resultando no conjunto de normas ABNT NBR ISO 55000, que foi desenvolvida ao longo dos últimos 3 anos, com 31 países participantes. A publicação ocorreu em fevereiro de 2014. O conjunto de normas ISO 55000 foi publicada no Brasil em fevereiro de 2014, pela ABNT. A ABNT NBR ISO 55000 trata da Visão geral, princípios e terminologia; a ABNT NBR ISO 55001 trata dos Requisitos; e a ABNT NBR ISO 55002 trata das Diretrizes para a aplicação da ABNT NBR ISO 55001 [19].

Um sistema de gestão de ativos é usado pela organização para dirigir, coordenar e controlar as atividades de gestão de ativos. Ele pode fornecer melhoria no controle de riscos e garantir que os objetivos de gestão de ativo serão alcançados por meio de uma base consistente. A definição de ativos apresentada pela norma ABNT NBR ISO 55000: “Um ativo é um item, algo ou entidade que tem valor real ou

potencial para uma organização. O valor irá variar entre diferentes organizações e suas partes interessadas, e pode ser tangível ou intangível, financeiro ou não financeiro”.

A gestão de ativos envolve o equilíbrio de custos, oportunidades e riscos contra o desempenho desejado dos ativos, para alcançar os objetivos organizacionais. Pode ser necessário considerar este equilíbrio em diferentes escalas de tempo [19]. Um sistema de gestão de ativos é um conjunto de elementos inter-relacionados e interagidos de uma organização, cuja função é estabelecer a política e objetivos de gestão de ativos e os processos necessários para alcançar esses objetivos [19].

Neste contexto, convém que os elementos do sistema de gestão de ativos sejam vistos como um conjunto de ferramentas que inclui políticas, planos, processos de negócios e sistemas de informação, que são integrados para garantir que as atividades de gestão de ativos serão entregues. A gestão de ativos requer informações de ativos precisas, mas um sistema de gestão de ativos é mais do que um sistema de gestão da informação.

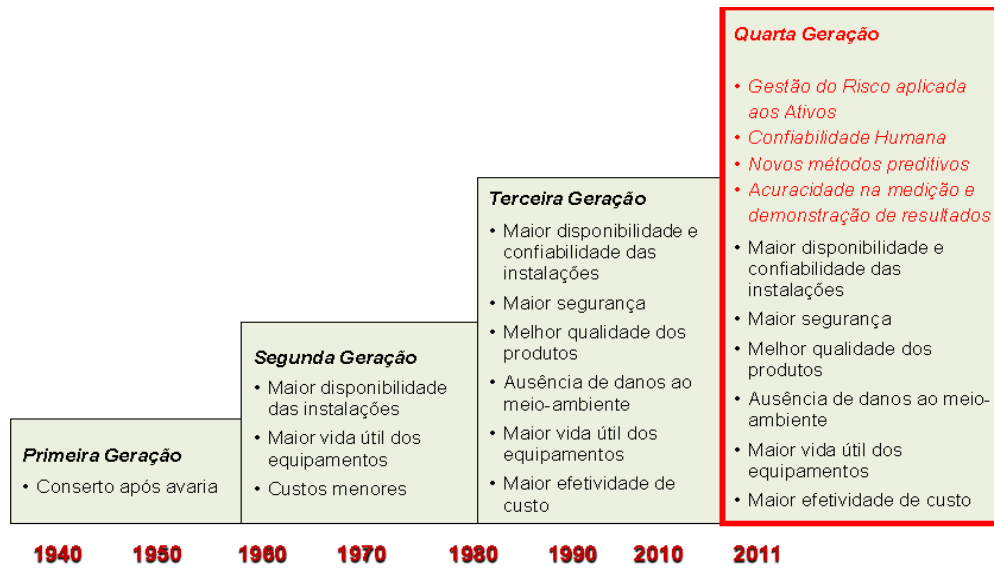
Os requisitos do sistema de gestão de ativos descritos na ABNT NBR ISO 55001 estão agrupados de uma forma que seja consistente com os fundamentos da gestão de ativos. Os requisitos são:

- a) contexto da organização (ABNT NBR ISO 55001:2014, Seção 4);
- b) liderança (ABNT NBR ISO 55001:2014, Seção 5);
- c) planejamento (ABNT NBR ISO 55001:2014, Seção 6);
- d) apoio (ABNT NBR ISO 55001:2014, Seção 7);
- e) operação (ABNT NBR ISO 55001:2014, Seção 8);
- f) avaliação do desempenho (ABNT NBR ISO 55001:2014, Seção 9);
- g) melhoria (ABNT NBR ISO 55001:2014, Seção 10).

A gestão de ativos seria a quarta geração na evolução da manutenção Figura 03. A maturidade da manutenção e sua relação com o foco empresarial. A relação entre os principais termos de gestão de ativos é mostrada na Figura 04 [19].

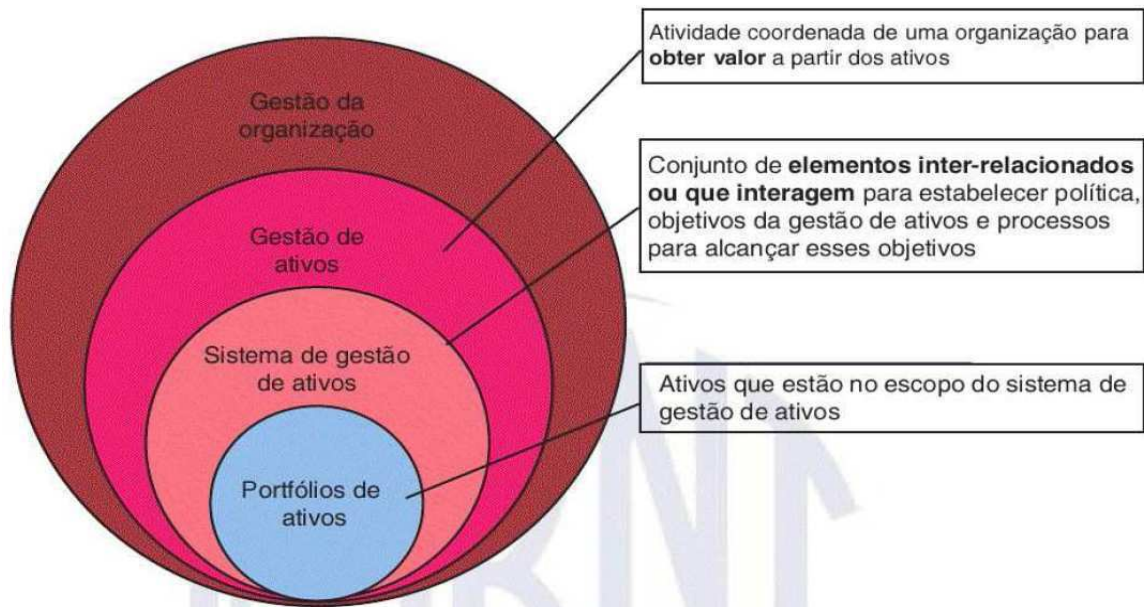


Figura 03 – Quarta Geração da Evolução da Manutenção



Fonte: SQL Brasil

Figura 04 – Relações entre os termos-chave.



Fonte: ABNT NBR ISO 55000

## 2.10 GERENCIAMENTO DE ATIVOS NO SETOR ELÉTRICO

A gestão integrada de ativos é uma abordagem nova para o setor elétrico internacional, que necessita de uma estratégia clara, com planos de substituição, renovação ou reforço dos ativos, para a realização da manutenção com mais eficiência e redução de custos. As características das melhores práticas adotadas pelas empresas são as realizações de inspeções de manutenção; o planejamento de despesas com gestão de riscos; o planejamento estratégico de investimentos e os processos de gestão da informação [17]. Ver Tabela 01 e 02.

Os resultados obtidos com a aplicação da gestão de ativos nas empresas são: comprometimento com a qualidade, segurança e meio-ambiente; utilização da gestão de ativos como vantagem competitiva; melhoria dos indicadores operativos a nível internacional; melhoria da imagem da empresa; melhoria da rentabilidade, confiabilidade operacional, e otimização dos custos.

Tabela 01 - Práticas de gestão de ativos no setor elétrico internacional

Principais aspectos avaliados na pesquisa		Inspeções, manutenções em ativos críticos	Substituição	Reforma	Análise do ciclo de vida	Manutenção centrada em confiabilidade	Análise de riscos para ativos críticos	Avaliação econômica	Informações sobre desempenho dos ativos críticos	Política e estratégia de gestão de ativos	Média
Argentina	G	80%	100%	100%	50%	100%	100%	0%	50%	0%	64%
	T	100%	100%	100%	50%	0%	100%	0%	50%	75%	64%
	D	57%	27%	0%	30%	75%	50%	50%	38%	25%	39%
Brasil	G	100%	60%	50%	14%	50%	50%	50%	75%	50%	55%
	T	60%	50%	100%	75%	50%	33%	25%	50%	50%	55%
	D	84%	71%	67%	30%	100%	67%	67%	50%	67%	67%
Colombia	G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	T	100%	100%	100%	50%	0%	100%	0%	50%	75%	64%
	D	100%	50%	0%	0%	100%	67%	50%	50%	67%	54%
Chile	G	66%	33%	0%	60%	0%	100%	50%	50%	50%	45%
	T	100%	67%	100%	20%	0%	67%	50%	50%	50%	56%
	D	100%	67%	100%	50%	100%	100%	50%	50%	75%	77%
México	G	31%	66%	0%	0%	0%	0%	66%	0%	0%	18%
	T	0%	66%	0%	0%	0%	0%	50%	0%	0%	13%
	D	0%	66%	0%	0%	0%	0%	50%	0%	0%	13%
Peru	G	80%	100%	100%	75%	100%	50%	50%	75%	75%	78%
	T	100%	75%	50%	75%	50%	100%	50%	75%	75%	72%
	D	69%	86%	67%	11%	0%	30%	50%	17%	33%	40%
Média		72%	70%	55%	35%	43%	60%	42%	43%	45%	

Fonte: Melhores práticas e tendências/Internacional Cooper Association, Ltd.

Tabela 02 - Legenda da tabela 01

Legenda		
Ótimo		90 a 100%
Bom		61 a 89%
Regular		31 a 60%
Insuficiente ou com pouca informaçãc		1 a 30%
Prática inexistente ou não mencionad		0%
Sem informação		-
<b>G</b>	Geração	
<b>T</b>	Transmissão	
<b>D</b>	Distribuição	

Fonte: Melhores práticas e tendências/Internacional Cooper Association, Ltd.

As melhores práticas encontradas são:

- a) Elaboração do diagnóstico dos ativos, através das informações de vida útil, falhas, anomalias, confiabilidade do equipamento e de obsolescência para subsidiar o planejamento de investimentos e a aquisição de novos equipamentos e para prevenir as falhas no final da vida útil;
- b) Monitoramento do desempenho dos ativos críticos, dos incidentes, falhas e suas prevenções;
- c) Aplicação da metodologia de controle das falhas, com avaliação das ações que se propõe à redução da incidência das falhas;
- d) A gestão de ativos é alinhada com os objetivos estratégicos empresariais na busca dos resultados cujos objetivos englobam a confiabilidade, a disponibilidade, a sustentabilidade, e o desempenho dos ativos;
- e) Padronização da documentação da informação sobre a real condição do ativo;
- f) Integração de todos os processos da empresa em sistema informatizados, com a organização da base de dados e informações através de um sistema computadorizado de gerenciamento de ativos;
- g) Criação e estabelecimento de indicadores de desempenho: fator de confiabilidade, fator de eficiência operacional, taxa de falhas, custos;
- h) Realização de inspeções nos equipamentos críticos com registros, resultados, e auditorias;
- i) Aplicação da metodologia da manutenção centrada em confiabilidade;
- j) A avaliação de riscos é realizada periodicamente, e os resultados influenciam as decisões de planejamento;

### 3 METODOLOGIA PROPOSTA

#### 3.1 PROCESSO DE GESTÃO DA MANUTENÇÃO NA CHESF

O processo de gestão da manutenção na geração é realizado hoje na Chesf mediante:

- a) a elaboração do plano anual de manutenção preventiva determinado pelo órgão normativo;
- b) a elaboração do programa de trabalho da manutenção, pela equipe de supervisores e engenheiros do órgão local de execução da manutenção;
- c) a gestão das atividades intempestivas oriundas das possíveis falhas nos equipamentos.

O órgão normativo determina quais são as manutenções preventivas e sua periodicidade, encaminha para execução pelos órgãos regionais de manutenção.

Outra demanda procede das informações operacionais dos equipamentos, são informações oriundas do pessoal da operação que mantém constante inspeção na planta industrial. Observada qualquer anormalidade na condição operativa do equipamento, o fato é registrado no SIGA através do documento Solicitação de Serviço (SS). Já as demandas intempestivas são provenientes de falhas na instalação, são imprevisíveis ao pessoal da manutenção e operação.

O SIGA atua na gestão do cadastro de ativos, estruturando muito bem o registro dos dados dos ativos, condição necessária para a gestão dos mesmos, porém, não apresenta a estruturação do registro dos dados das falhas, modos de falhas e ações corretivas aplicadas às falhas, dificultando a gestão do desempenho dos ativos. A gestão do desempenho dos equipamentos não pode ser realizada com os dados atuais do SIGA, por falta de dados específicos que classifiquem as falhas relacionadas aos ativos.

O registro de falhas é realizado através da alimentação dos documentos SS e da OS. No documento SS a equipe de operação descreve a anormalidade ocorrida, que geralmente refere-se às informações de supervisão e alarmes caracterizando a falha funcional. As informações da anormalidade não seguem nenhuma padronização, e

muitas vezes não apresenta conteúdo compreensível. A equipe de manutenção descreve o parecer técnico do defeito na SS. Esta informação é referente à análise da causa da falha. A informação sobre o parecer técnico da equipe de manutenção não apresenta nenhuma padronização, e na maioria das vezes é muito sucinta, pouco explicativa.

Analisando as informações contidas na SS, Figura 05, onde se registra o problema ou a condição operativa do equipamento pela equipe de operação, observa-se que não há nenhuma padronização dos registros. Identificada a causa da falha pela equipe de manutenção, procede-se ao registro da mesma no documento OS, que após executada deverá ser preenchida com os dados da intervenção.

Analisando os documentos de solicitação de serviço observou-se que: não há padronização nos registros da falha, da causa da falha, da ação corretiva, etc; na maioria dos casos há omissão de registro da análise da causa; as informações da SS e da OS não se inter-relacionam para fins de gestão dos ativos. Ou seja, a gestão que deveria ser dos ativos, é focada na realização das atividades. Não há conhecimento estatístico sobre o estado dos ativos, seu desempenho. Sabe-se da disponibilidade da instalação e da realização ou não das tarefas, mas não se conhece sobre o comportamento das falhas.

Diante das demandas preventivas, operacionais e imprevistas, a equipe de manutenção elabora os documentos “Ordens de Serviço” (OS), que descrevem onde, quando, e como devem ser realizadas as atividades, acrescentado as condições de segurança pertinentes às tarefas. No documento OS, conforme Figura 06, elaborado pela equipe de manutenção, devem estar relatadas todas as informações da correção da falha e dos tempos gastos. Na realidade os campos referentes aos tempos a serem preenchidos na OS ficam vazios. Quanto à informação sobre as correções, não apresentam padronização, e a maioria são muito resumidas, e pouco explicativas, ver Figura 07. A cultura do registro das informações não está bem disseminada, devido à falta de exigência de tal prática.

Medir a realização da tarefa é um indicador importante, mas não suficiente para a gestão dos ativos da usina. Faz-se necessário identificar quais ativos são críticos no ambiente operativo, classificá-los e gerir seu comportamento de forma a se obter uma

gestão eficiente dos mesmos. A classificação permite a elaboração de relatórios que demonstrem a tendência de comportamento operativo e de falha do equipamento.

Figura 05 – Documento Solicitação de Serviço (SS)

SPAS-E		20/10/2014 14:37 Page 1 of 1	
SS SPAS-E 45/2014			
CodAtivo PAINM.001876	CodEspécie PAINEL	Familias PAINEL DE SERVIÇOS AUXILIARES	DataGarantia 01/04/2012
CodInstal UAS	CodLocalização 00-SCA-PNL-4	Complemento	HumSérie
Defeitos		SS-Tipos SOLICITAÇÃO DE SERVIÇOS GERAIS/OFCINA	
Origens			
Prioridades PARECER TÉCNICO	Atendente 155870	DataAbertura 19/09/2014 14:12:41	DataOcorrência 18/09/2014 21:42:35
Resp.Ext.Ocorrência	SS Anterior	Data/Hora Limite 03/10/2014 21:42:35	
Descrição O disjuntor A12 de alimentação da iluminação externa jusante, localizado no cubículo XI, encontra-se em curto. Órgão executante: SPAS-E. Informado ao Sr. Iranilton.			
Solicitante 204951	SolicNome MERCIA WANDERLEY AGRA COELHO	SolicCodFunção 8528	SolicEMail <a href="mailto:MERCIAW@CHESF.GOV.BR">MERCIAW@CHESF.GOV.BR</a>
CodInstalSolicitante	SolicCodLocalização	SolicComplemento	SolicTelefone 0
CancelMatrícula	CancelData	Motivo Cancelamento	
OSNumero SPAS-E 5882014	OS-Estados OS FECHADA	Esquemas de Serviço TESTE DE FUNCIONALIDADE	
DataCriação 06/10/2014 10:16:45	PlanDataInicio 06/10/2014 13:00:00	DataInicio 06/10/2014 13:00:00	DataTermino 06/10/2014 16:30:00
FORMULÁRIO DINÂMICO DA SOLICITAÇÃO DE SERVIÇO			
DescCategoria	DescCaracterística	Resposta	
AUDITORIA	Característica da SS de Auditoria	_____	
AUDITORIA	Item da Auditoria Técnica (DMS)	_____	
GERAL	RANOR (Ano/Número) Exclusivo DOAL	_____	

Fonte: Software SIGA

As conclusões sobre a análise dos registros no documento OS são:

- A gestão é realizada sobre a documentação e não sobre os ativos;
- Não há classificação do defeito, e suas causas;
- Os registros das causas do defeito não utilizam códigos e não estão padronizados, dificultando a criação de um histórico de causas de defeitos;
- As ações corretivas e preventivas aplicadas não são informadas em sua totalidade;

Figura 06 – Ordem de Serviço Executada

The screenshot displays the 'OS Executadas' (Executed Service Orders) window. The interface includes several tabs: 'Detalhes' (selected), 'Executores', 'Anotações', 'Outros Recursos', 'Tempos Medidos', 'OS Externa', 'Características', and 'Ficha Inspeção/Medicação'. The main form contains the following fields and values:

- OSNumero:** SPAS-E 758 / 2013
- DataCriação:** 20/11/2013 16:10:53
- Codg. Externo OSPrimária(int):** [Empty]
- Espécies:** PAINEL
- CodAtivo:** PAINM.002032
- Garantia:** 01/04/2012
- Desc. Família:** PAINEL DE SUPERVISÃO E CONTROLE
- Descrição Ativo:** PAINEL DE COMANDO COMPRESSOR SERVIÇO DA USINA - BT2
- Instalações:** UAS
- Localização:** 00-SAC-PNL-4
- Complemento:** [Empty]
- Origens:** [Empty]
- Indic. Prev.:** [Empty]
- Defeitos:** ELETROVÁLVULA C/ DEFEITO
- Prioridades:** NÃO SE APLICA
- Esquemas de Serviço:** SUBSTITUIÇÃO OU REPARO DE COMPONENTES
- Ficha Inspeção/Medicação:** [Empty]
- Causas:** MANUTENÇÃO PREVENTIVA
- CausaSec:** [Empty]
- DataParada:** 21/11/2013 09:15:00
- DataInício:** 21/11/2013 09:15:00
- DataTérmino:** 22/11/2013 17:30:00
- OS Fechada?:** [Checked]
- Centros Custo:** UHE APOLONIO SALES - MANUT.

At the bottom, there is a summary table:

Últ. OS Equipamento >	SPAS-E 000758/2013 * 00014 * Exec: 22/11/2013 17:30:00 *	Garantia: 22/12/2013
Últ. Exec. Esquema >	SPAS-E 000758/2013 * 00014 * Exec: 22/11/2013 17:30:00 *	Garantia: 22/12/2013

The bottom toolbar contains icons for 'Anexos', 'OS's - Semelhantes', 'Ações/APP', 'Materiais', 'Histórico', 'Origem', 'Detalhe Ativos', 'Confirmar', and 'Cancelar'.

Fonte: Software SIGA

### 3.2 GESTÃO RECOMENDADA PELA LITERATURA

A literatura recomenda a utilização de metodologias como manutenção centrada em confiabilidade; a aplicação da norma de gestão de ativos; a utilização de ferramentas de apoio como o FRACAS; o uso de ferramentas da qualidade; a formação de uma base de dados de falhas dos ativos.

O processamento dos dados das falhas é parte integrante do processo de gestão de ativos, e a análise das falhas exige do gestor ações efetivas. A análise da falha é uma atividade que deve estar presente nas tarefas de gestão, e requer uma revisão das informações. O nível de análise deve ser sempre suficiente para fornecer uma compreensão da causa de modo que devem ser determinadas logicamente as ações corretivas a serem desenvolvidas. A ação corretiva para corrigir o problema pode variar de novos controles implementados na fabricação ou de teste para as alterações de projeto ou alteração operacional para um adequado funcionamento. Devem ser

mantidos registros de todos os relatos de falhas, investigações de falhas e análises, as causas de falhas atribuíveis, ações corretivas tomadas e eficácia das ações corretivas. Estes registros devem ser organizados para permitir a recuperação eficiente da informação da tendência de falha, e o monitoramento de ações corretivas. Estes registros devem incluir uma identificação de referência uniforme para garantir a rastreabilidade completa de todos os registros e as medidas tomadas para cada falha relatada.

Figura 07 – Registro da Providência Tomada na OS

Categorias	Características	NoOcc	Unidad	Resposta
MANUTENÇÃO CORRETIVA	Descrição da anormalidade	1	S/UN	MEDIÇÃO DE TEMPERATURA ATRAVÉS DO RTD, CO
MANUTENÇÃO CORRETIVA	Providência Tomada	1	S/UN	VERIFICOU-SE QUE A INDICAÇÃO DO RTD ERA FALS

**Características**

DescCategoria  
MANUTENÇÃO CORRETIVA

DescCaracterística  
Providência Tomada

VERIFICOU-SE QUE A INDICAÇÃO DO RTD ERA FALSA, E CONSTATOU-SE AINDA QUE O PROBLEMA ERA NA CARTELA, FOI SUBSTITUIDA A CARTELA DO PLC AL-3151 . COMO NÃO TINHAMOS MAIS RESERVA , SOLICITAMOS UMA PLACA EMPRESTADA AO SPMP, PARA DEVOLVER QUANDO ADQUIRIRMOS.

Editar Próxima

Anexos    QS's - Semelhantes    Ações/APP    Materiais    Histórico    Origem    Detalhe Ativos

Fonte: Software SIGA

### 3.3 APLICAÇÃO PRELIMINAR DA ABORDAGEM PROPOSTA

As principais propostas de ações do modelo de gestão são as seguintes:

- a) Aplicação da gestão estratégica baseada nos parâmetros de RAMS;



- b) Identificar as principais diferenças entre as atividades e processos da usina e os requisitos do conjunto de normas ABNT NBR ISO 55000, mapeando os requisitos já assegurados pela usina, e os pontos a melhorar através da implementação de soluções;
- c) Identificação dos possíveis benefícios da implementação dos requisitos do conjunto de normas ABNT NBR ISO 55000 na gestão de ativos e gestão de risco, para adoção e harmonização de novos processos pela usina;
- d) Utilizar a ferramenta FRACAS para apoiar a identificação e tratamento das falhas, dos sistemas, subsistemas ou equipamentos;
- e) Aplicar a metodologia MCC com o objetivo de identificar nos sistemas, subsistemas ou equipamentos, os modos de falha e seus efeitos;
- f) Elaborar, com base na MCC, um plano de manutenção preventiva mais eficiente do que a praticada.

A metodologia consiste em integrar esses métodos e ferramentas com o objetivo de aprimorar a atividade de gestão da manutenção, ver Figura 08.

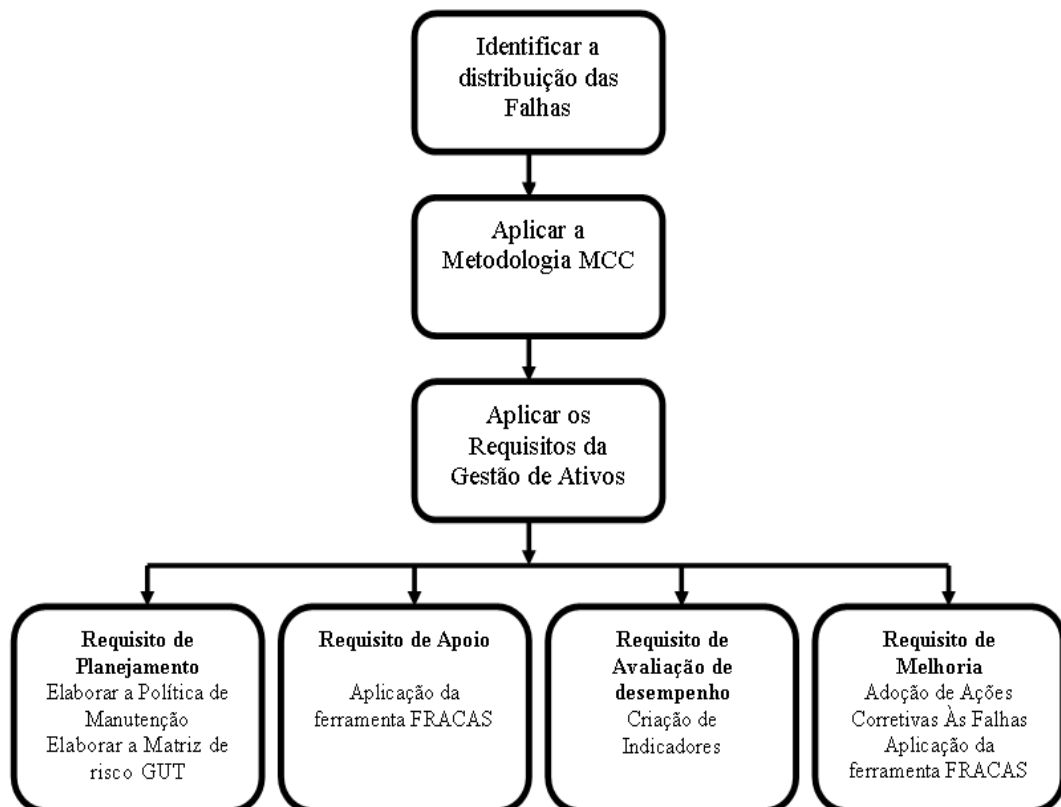
Com a utilização da metodologia MCC pretende-se elaborar um plano de manutenção preventiva efetiva, que priorize os equipamentos de maior criticidade, determinando os intervalos ideais de tarefas de manutenção através da experiência acumulada na usina. Os planos de manutenção devem ser traçados e as falhas devem ser mantidas a um nível aceitável.

Com a utilização do conjunto de normas ABNT NBR ISO 55000 pretende-se definir uma política de manutenção, com visão, missão e objetivos, e propor as seguintes ações futuras:

- a) propor a elaboração de um método de redução do risco;
- b) propor a elaboração de procedimentos para documentar as atividades técnicas de manutenção;
- c) propor a elaboração de manuais de contingências;
- d) propor ações de melhoria que possam aumentar o desempenho do ativo e otimizá-lo;
- e) propor a elaboração de um padrão de tratamento com os terceirizados;

- f) propor a criação de indicadores como medida de desempenho das atividades de manutenção
- a) medir a manutenibilidade;
  - b) confiabilidade dos equipamentos ou sistemas;
  - c) taxas de falhas para equipamentos ou sistemas;
  - d) tempo de atendimento para determinada falha
- g) elaborar um modelo de formulário para registro da falha, através da aplicação do método FRACAS, contendo os seguintes dados;
- a) informações sobre o ativo (fabricante);
  - b) informações sobre as falhas dos ativos (classificação da falha, tempo de falha, causa das falhas, etc.);
  - c) informações sobre a análise das falhas;
  - d) informações sobre as ações corretivas das falhas (detalhes das ações, duração);

Figura 08 – Fluxograma da Metodologia Proposta



Fonte: Elaborado pelo Autor

### 3.4 CRITÉRIOS DE VALIDAÇÃO

Os critérios de validação sugeridos para o método proposto de gerenciamento de ativos são:

- a) Registrar os eventos de falhas, dos modos de falha, das ações corretivas e preventivas, com padronização e classificação;
- b) Aplicar técnicas estatísticas que demonstre a distribuição dos dados, da tendência, das falhas críticas, etc;
- c) Redefinir os planos de manutenção com base nestas informações estatísticas;
- d) Adotar o plano de manutenção redefinido;
- e) Coletar os dados de falhas após a redefinição dos planos de manutenção;
- f) Comparar a incidência das falhas no período subsequente à redefinição com relação ao período anterior;
- g) Medir com indicadores a reincidência das falhas, ou ocorrência das falhas;
- h) Verificar se houve melhoria na eficiência da gestão da manutenção.

## 4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia refere-se à proposição da gestão estratégica da manutenção com foco nos parâmetros de RAMS e utilização das metodologias da manutenção centrada em confiabilidade e a gestão de ativos, das ferramentas FRACAS e matriz de riscos, e do tratamento estatístico de dados com gráficos de Pareto. A proposição consiste em integrar esses métodos e ferramentas com o objetivo de aprimorar a atividade de gestão da manutenção. Os passos da metodologia proposta são:

- a) Coletar os dados de falhas dos equipamentos disponíveis no SIGA (software de gestão de ativos), por um período de dois anos;
- b) Classificar as falhas por equipamento, duração das falhas, etc;
- c) Elaborar uma Análise de Pareto dos dados coletados;
- d) Identificar em qual sistema será aplicada a manutenção centrada em confiabilidade;
- e) Aplicar a metodologia manutenção centrada em confiabilidade ao sistema identificado;
- f) Definir os requisitos da norma ABNT NBR ISO 55001 a serem implementados;
- g) Adotar o método de registro e análise de falhas FRACAS;
- h) Elaborar a política de manutenção;
- i) Definir ou identificar os ativos críticos;
- j) Aplicar a gestão de riscos;
- k) Definir e calcular os indicadores de RAMS: MTBF e MTTR, etc.

### 4.1 IDENTIFICAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DAS FALHAS NA USINA

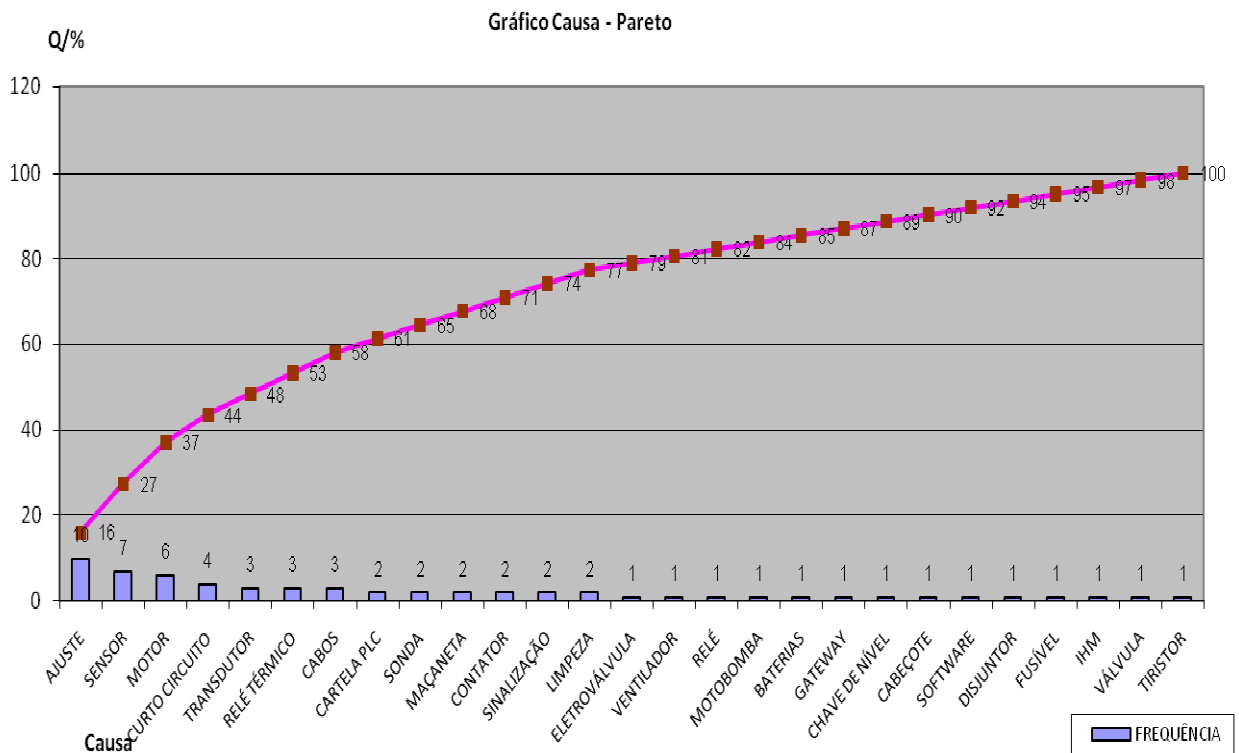
A análise da distribuição das falhas já ocorridas na usina foi realizada com os dados coletados no SIGA, no intervalo de dois anos, no período de março de 2012 a março de 2014. A distribuição das falhas foi classificada pela causa das falhas, complexidade das falhas, disponibilidade do equipamento, tempo de reparo e impacto das falhas. Após a classificação dos dados, foi possível efetuar a análise dos mesmos, através da construção do gráfico de Pareto. Foi identificado que os equipamentos componentes dos serviços auxiliares elétricos gerais da usina apresentam maior quantidade de falhas

e necessidade de ações de gestão dos seus ativos. Diante disso, foi selecionado o referido sistema para ser analisado, e na sequência, aplicar ao mesmo a metodologia proposta.

**4.1.1. Classificação pelas causas das falhas**

As causas dos defeitos ocorridos na usina estão distribuídas conforme a Figura 09 abaixo. As causas dos defeitos estão associadas aos componentes integrantes dos equipamentos pertencentes aos serviços auxiliares elétricos. Observa-se que nos equipamentos que permitem o controle de parâmetros, regulagem de set-point, variação dos valores iniciais, os defeitos ocorrem com mais frequência.

Figura 09 – Classificação pela Causa das Falhas



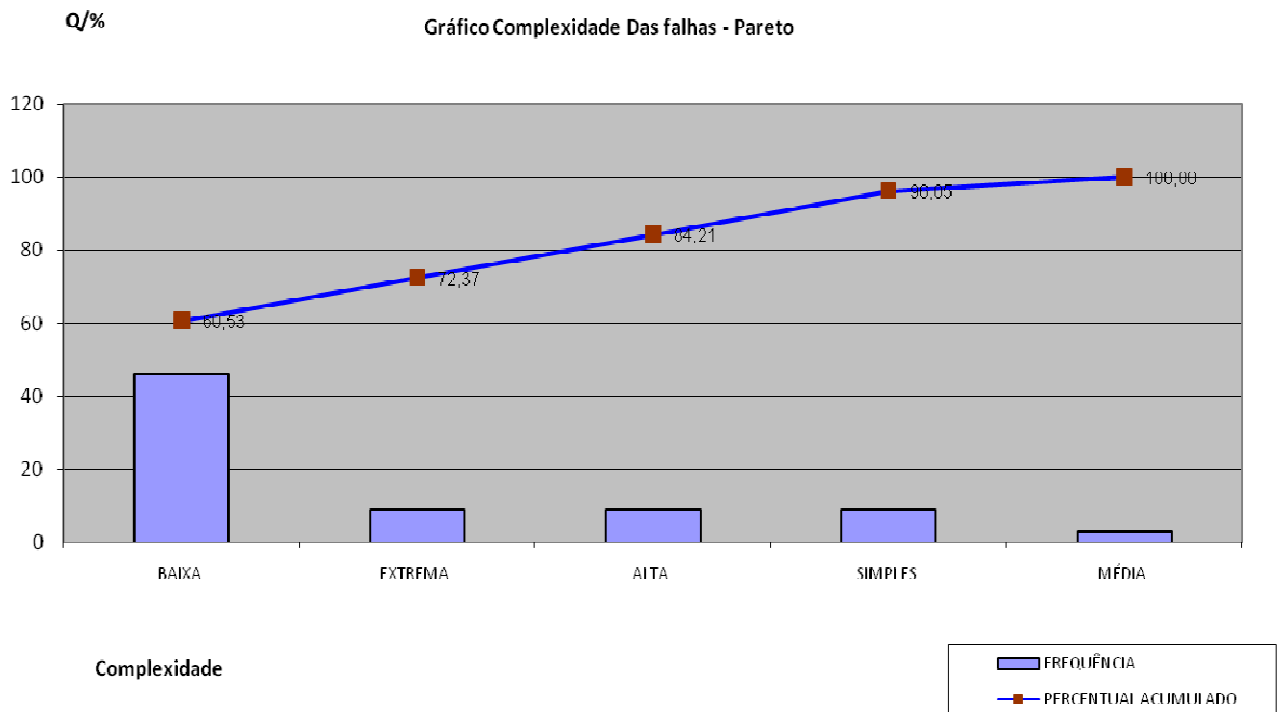
Fonte: Resultado da Aplicação da Metodologia

**4.1.2 Classificação pela complexidade das falhas**

O nível de complexidade na correção do defeito pode esclarecer aos gestores da manutenção o quanto se necessita investir em treinamentos, normatizações,

elaboração de procedimentos e manuais, que venham nortear as atividades do homem de manutenção. O gráfico de Pareto, Figura 10, demonstra que a maioria dos defeitos é de baixa complexidade, facilitando sua recuperação em menor tempo. Isto pode estar atrelado ao fato de que a quantidade de equipamentos em operação apresente baixo nível de complexidade para sua operação e manutenção, pode-se estar falando de uma instalação industrial de baixa tecnologia, não apresentando modernizações tecnológicas.

Figura 10 – Classificação pela Complexidade das Falhas

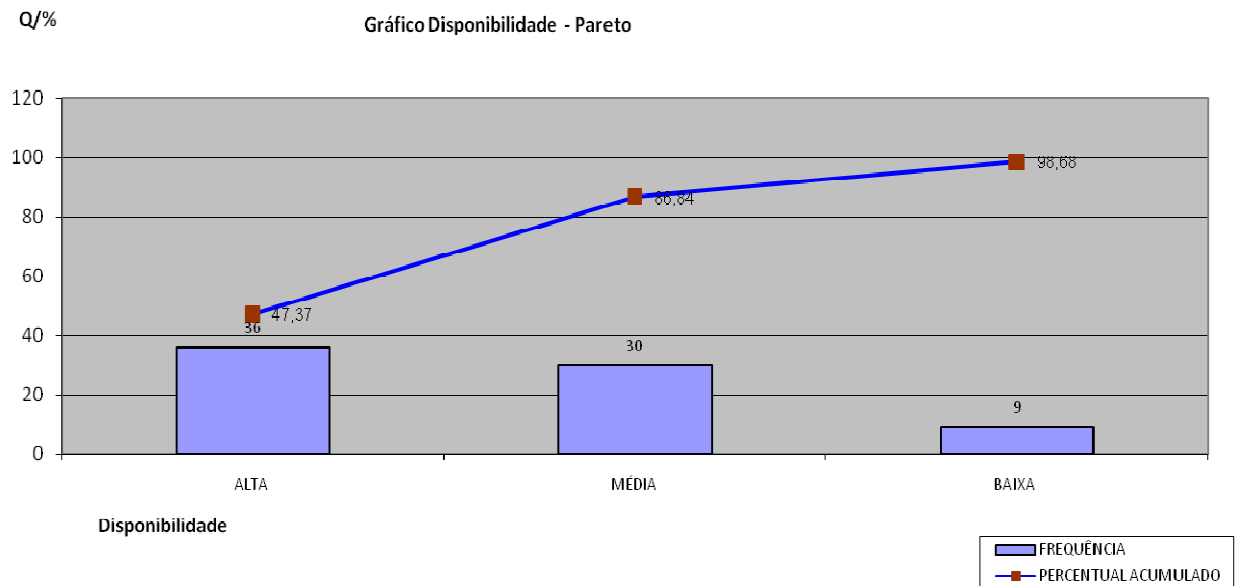


Fonte: Resultado da Aplicação da Metodologia

#### 4.1.3 Classificação pela disponibilidade dos equipamentos

A Figura 11 demonstra que a maioria dos defeitos não tem influenciado na indisponibilidade do processo como um todo. A disponibilidade, apesar dos defeitos, apresenta valores altos. Apenas em quatorze por cento das falhas ocorre indisponibilidade geral do processo produtivo.

Figura 11 – Classificação pela Disponibilidade dos Equipamentos



Fonte: Resultado da Aplicação da Metodologia

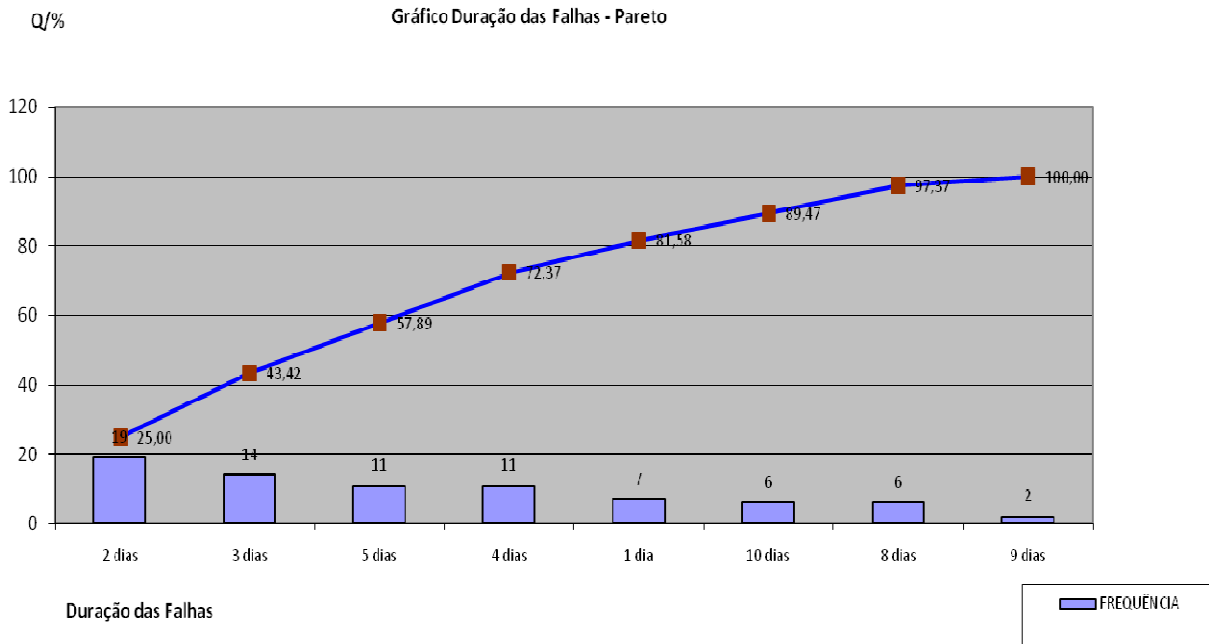
#### 4.1.4 Classificação pelo tempo de reparo das falhas

O tempo de reparo das falhas diz respeito à capacidade de atendimento da equipe de manutenção, podendo também estar ligada à complexidade das falhas. Conforme a Figura 12, observamos que a duração de atendimento tem apresentado valores baixos, a maioria com até quatro dias para ser corrigida.

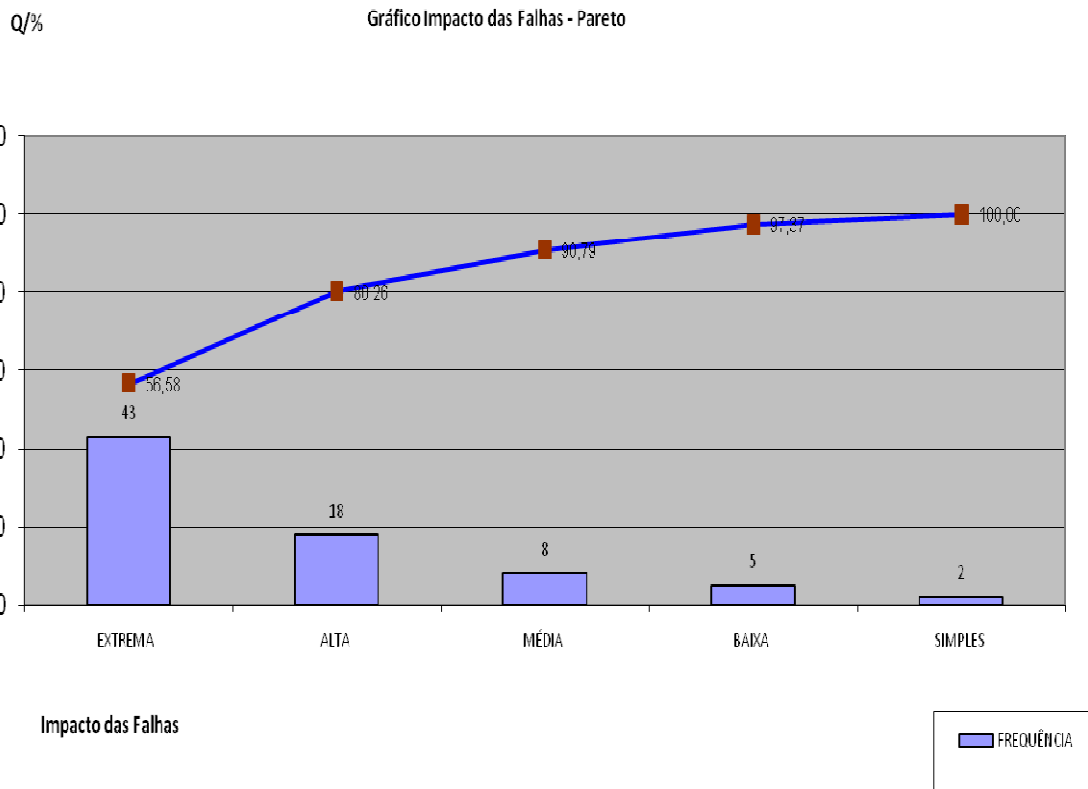
#### 4.1.5 Classificação pelo impacto das falhas na usina

Sob este enfoque deve ser observado que o impacto das falhas no processo apresenta alta influência, apesar de o indicador de disponibilidade não apresentar resultados negativos. Isto se deve ao fato de que equipamentos de alta importância para o processo tem sido a origem das falhas, ver Figura 13. O indicador do tipo de equipamento objeto da falha pode comprovar esta assertiva.

Figura 12 – Classificação pelo Tempo de Reparo das Falhas dos Equipamentos



Fonte: Resultado da Aplicação da Metodologia  
 Figura 13 – Classificação pelo Impacto das Falhas

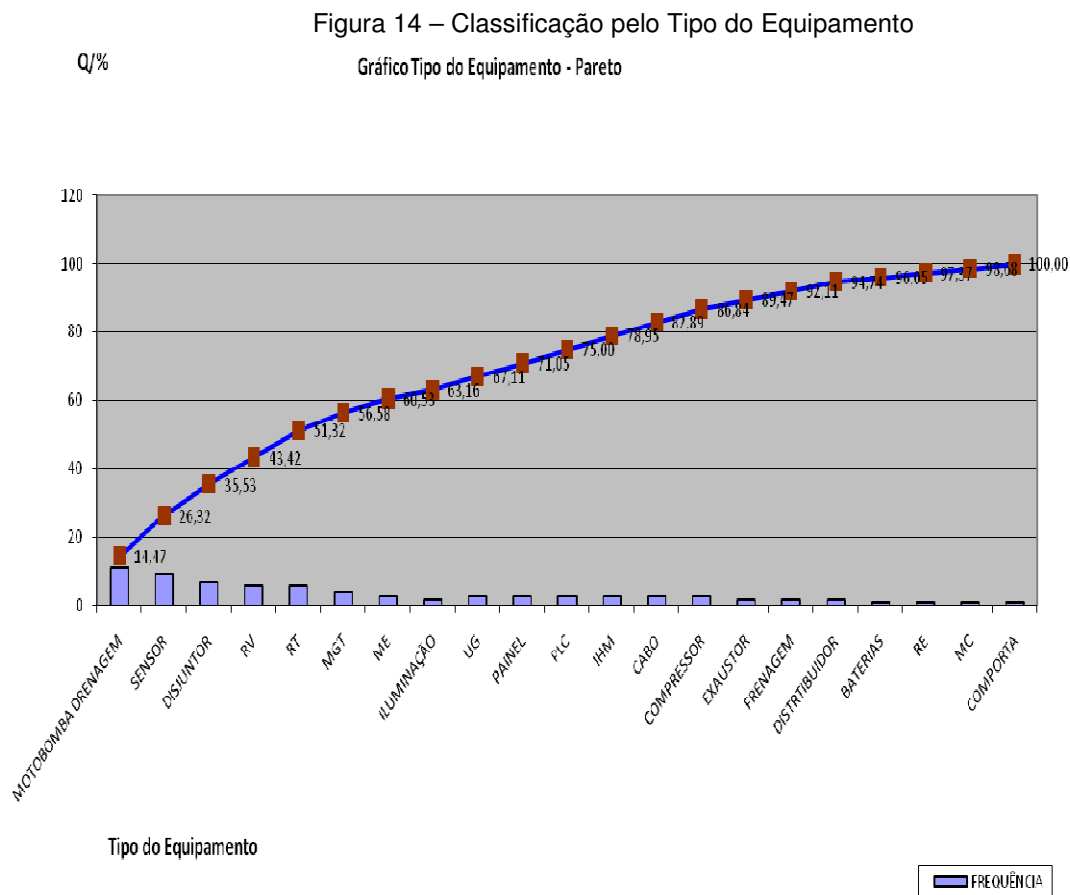


Fonte: Resultado da Aplicação da Metodologia

#### 4.1.6 Classificação pelo tipo do equipamento



Observando a falha sob o ponto de vista do equipamento afetado, concluímos que as falhas têm atingido equipamentos de alta importância no processo de geração de energia elétrica. Como os indicadores de disponibilidade e duração das falhas demonstram que não há valores negativos, concluímos que a capacidade de atendimento da equipe tem apresentado resultados positivos. O Gráfico de Pareto, Figura 14.



Fonte: Resultado da Aplicação da Metodologia

## 4.2 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA MCC

A aplicação da metodologia da manutenção centrada na confiabilidade englobou as seguintes fases:

- Seleção da instalação, no caso a Usina Apolônio Sales;
- Identificação dos componentes, no caso os equipamentos dos serviços auxiliares elétricos;

- c) Identificação das falhas funcionais dos sistemas que compõem os serviços auxiliares;
- d) Identificação dos modos de falha dos equipamentos dos serviços auxiliares;
- e) Identificação dos modos de falha e análise dos seus efeitos e criticidade (FMECA);
- f) Seleção dos modos de falha críticos;
- g) Determinação do plano de manutenção.

#### **4.2.1 Aplicação da etapa zero**

Nesta etapa foi realizada uma análise sobre a adequação da MCC aos serviços auxiliares. O formulário utilizado para a aplicação desta etapa não foi anexado neste trabalho. Nas conclusões sobre a etapa zero foi constatado que a gestão da manutenção elétrica da usina funcionará de forma mais adequada, quando passar a ser gerida com base nos requisitos e características da metodologia MCC.

#### **4.2.2 Aplicação da etapa um**

Nesta etapa é realizada a preparação dos dados para aplicação da MCC, a escolha da equipe de implantação, assim como a seleção do método e da estratégia de implementação. Os métodos selecionados foram o “Método Seletivo de Instalações Críticas” e o “Método do Projeto Piloto”. Observamos que os serviços auxiliares é um sistema crítico para a operacionalização da usina, portanto, a seleção desse sistema foi acertada. Quanto à adoção do método do projeto piloto, o sistema selecionado servirá de exemplo para aplicações futuras em outros sistemas da usina. Com relação à estratégia de implementação foi selecionada a estratégia de “Validação da Manutenção Existente” e a “Exclusão de Modos de Falha Não Críticos”. Serão mantidas as práticas de manutenção já adotadas na manutenção elétrica da usina, como também serão excluídos os modos de falhas do sistema ou equipamentos que não apresentarem alta criticidade para a operacionalização da usina.

A justificativa para escolha destes métodos se refere ao tamanho físico da empresa e da necessidade de apresentar um trabalho que demonstre eficácia e eficiência em pequena escala, como também atender às demandas de melhorias em sistemas

críticos de gestão. Quanto às estratégias escolhidas, optou-se por analisar as práticas já utilizadas pela empresa, bem como a validação de algumas destas.

#### **4.2.3 Aplicação da etapa dois**

Nesta etapa procede-se à Seleção do Sistema e Coleta de Informações, apêndice A. Os critérios utilizados para Seleção do Sistema foram às análises dos gráficos de Pareto, pois apresenta significância para disponibilidade do processo. Os resultados obtidos para a Seleção do Sistema estão demonstrados nos gráficos, chegando-se às conclusões de que os serviços auxiliares elétricos gerais da usina apresentam maior índice de falhas. O contexto operacional dos serviços auxiliares elétricos da usina demonstra que os equipamentos estão em fim de vida útil, alguns com aproximadamente trinta e cinco anos de operação. A disponibilidade deste sistema é alta, porém as ações corretivas são freqüentes. Existe uma programação de manutenção preventiva, não obstante as manutenções corretivas são freqüentes, podendo indisponibilizar o gerador, que é o ativo principal da usina. As atividades de manutenção preventiva se resumem às inspeções visuais e limpeza de painéis, não há testes de funcionalidade, ou manutenção preventiva com níveis de detalhe de verificação dos componentes internos do equipamento, a menos em grandes paradas das unidades geradores, ou seja, os serviços auxiliares aguardam o mesmo tempo de operação dos geradores para que seja efetuada uma manutenção geral.

#### **4.2.4 Aplicação da etapa três**

Nesta etapa acontece a aplicação da ferramenta de Análise dos Modos de Falha, seus Efeitos e sua Criticidade (FMECA). O quadro do apêndice B demonstra a aplicação do FMECA nos equipamentos dos serviços auxiliares elétricos na tensão de 13,8kV, o subsistema que foi analisado do Transformador 13,8kV/440V.

#### **4.2.5 Aplicação da etapa quatro**

Objetivo da etapa é de selecionar as funções significantes identificadas na FMECA, e determinar se a falha funcional tem efeito significativo, caso afirmativo, classificar seus

modos de falha levando em conta os impactos nos aspectos pilares da MCC: segurança, meio ambiente, operação e economia do processo, bem como estejam associadas à tarefa de manutenção existente, ver apêndice C. Os critérios para saber se a falha é evidente ou oculta estão relacionados à percepção da falha pelo operador através de inspeção; ou sem a necessidade de inspeção é detectada sem a realização de testes, ocorre independente de outro evento, existe sinalização diretamente associada. A falha oculta necessariamente será detectada de forma inversa à detecção da falha evidente. Os critérios para saber se a falha é relacionada à segurança e ao meio-ambiente, quando afeta a vida das pessoas, de forma individual ou coletiva, apresenta grau de severidade e criticidade altos, e ao meio-ambiente, quando venha infringir a legislação ambiental. Obviamente, a caracterização quanto ao impacto econômico ou operacional estão associados aos custos e ao modo de operação (disponibilidade) respectivamente.

#### **4.2.6 Aplicação da etapa cinco**

O objetivo desta etapa é determinar quais tarefas de manutenção são aplicáveis e efetivas para cada uma das funções significantes identificadas e caracterizadas na etapa quatro, ver apêndice D. Os critérios utilizados para a seleção das tarefas de manutenção aplicáveis são: critérios de aplicabilidade e de efetividade. A classificação das tarefas de manutenção associadas às categorias dos modos de falhas está relacionada na Figura 16 abaixo:

#### **4.2.7 Aplicação da etapa seis**

Nesta etapa ocorre a definição dos Intervalos Iniciais e Agrupamento das Tarefas de Manutenção. Os objetivos desta etapa são definir a periodicidade inicial das atividades de manutenção selecionadas na etapa 5 e agrupar estas atividades de forma estratégica para otimizar as ações da equipe de manutenção, ver apêndice E. A definição dos Intervalos Iniciais deve atender a confiabilidade mínima requerida para o sistema. Intervalo ótimo para troca é o que apresenta o melhor custo benefício. As tarefas de manutenção devem ser agrupadas de forma a aproveitar oportunidades de execução para minimizar custos e interferências no processo produtivo. Ver Tabela 03.

Tabela 03 – Categoria das Tarefas

CATEGORIA			
ESA	EEO	OEO	OSA
<b>Serviço Operacional</b> <b>Inspeção Preditiva</b> <b>Restauração</b> <b>Preventiva</b> <b>Substituição</b> <b>Preventiva</b> <b>Manutenção</b> <b>Combinada</b> <b>Mudança de Projeto</b>	<b>Serviço Operacional</b> <b>Inspeção Preditiva</b> <b>Restauração</b> <b>Preventiva</b> <b>Substituição</b> <b>Preventiva</b> <b>Manutenção</b> <b>Combinada</b> <b>Mudança de Projeto</b> <b>Reparo Funcional</b>	<b>Serviço Operacional</b> <b>Inspeção Preditiva</b> <b>Restauração</b> <b>Preventiva</b> <b>Substituição</b> <b>Preventiva</b> <b>Inspeção Funcional</b>  <b>Manutenção</b> <b>Combinada</b> <b>Mudança de Projeto</b> <b>Reparo Funcional</b>	<b>Serviço Operacional</b> <b>Inspeção Preditiva</b> <b>Restauração</b> <b>Preventiva</b> <b>Substituição</b> <b>Preventiva</b> <b>Inspeção Funcional</b>  <b>Manutenção</b> <b>Combinada</b> <b>Mudança de Projeto</b>

Fonte: Rigoni, 2009

#### 4.2.8 Aplicação da etapa sete

Os objetivos desta etapa são redigir o manual inicial de manutenção e implementar as ações propostas pela MCC com base nas conclusões das etapas anteriores. Como se trata de uma proposta piloto, neste trabalho não foi elaborado o manual de implementação do MCC, já que a implementação da MCC na usina ocorreu apenas nos transformadores alimentadores dos serviços auxiliares elétricos, como projeto piloto, com intuito de demonstrar a melhoria que uma abordagem de MCC pode agregar à manutenção elétrica da usina.

#### 4.2.9 Aplicação da etapa oito

Os objetivos desta etapa são definir as estratégias inerentes e executar o acompanhamento e a realimentação do programa de MCC, ao longo de todo e seu ciclo de vida. Esta etapa deve ser realizada na fase de validação. O plano de manutenção preventiva deve seguir as estratégias de implementação validadas, consistindo na determinação das atividades de manutenção dos transformadores de alimentação geral dos serviços auxiliares elétricos da usina, juntamente com a periodicidade, determinada pela prática já adotada pela usina.

### 4.3 REQUISITOS DA GESTÃO DE ATIVOS ADOTADOS NA USINA

Os requisitos propostos para serem aplicados na usina são os de planejamento, de apoio, de avaliação de desempenho e de melhoria. A definição dos requisitos de gestão de ativos a serem melhorados na gestão da manutenção da usina tem o objetivo de identificar a adequação das atividades de manutenção da usina aos requisitos da norma ABNT NBR ISO 55001.

A determinação dos objetivos da gestão de ativos, juntamente com a definição da política de manutenção a ser redefinida, com foco na gestão de ativos, são partes integrantes dos requisitos de planejamento, incluindo neste rol as ações para tratar os riscos envolvidos no sistema de gestão de ativos. Para tratar os riscos é proposta a aplicação da matriz de risco GUT.

Os requisitos de apoio não estão sendo aplicados com eficácia. Dentre as atividades de apoio, os requisitos de informação, a informação documentada e o controle desta informação merecem destaque. Para atender aos requisitos de documentação e controle da informação será elaborado um modelo de formulário onde devem constar as informações mínimas a serem coletadas, para a formação de um banco de dados capaz de emitir relatórios sobre os ativos, sobre as falhas, os modos de falhas, as causas das falhas, e as ações corretivas. É proposta a aplicação da ferramenta FRACAS, onde devem ser tratadas as falhas e através das análises dos dados adotadas as ações corretivas. A melhoria contínua poderá ser desenvolvida com a implementação de medidas de ações preventivas às falhas, de forma que resulte no mínimo de reincidência de falhas similares.

Outro requisito que necessita de atenção é o de avaliação de desempenho, através do monitoramento, da medição, da análise e da avaliação. Os indicadores de desempenho que necessitam ser criados para atender a este requisito são de confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade, devendo ser monitorados e avaliados.

Os requisitos de melhoria, com a adoção de medidas corretivas aplicadas às falhas, juntamente com as medidas de ações preventivas, contribuirão para a gestão eficiente dos ativos. A ferramenta FRACAS atende, também, a este requisito já que agregar valor ao desempenho do ativo, quando aplica ação corretiva à falha.

#### 4.3.1 ELABORAR A POLÍTICA DE MANUTENÇÃO

A política de manutenção deve conter as seguintes premissas;

- a) Seja apropriada ao propósito da organização na geração e transmissão de energia elétrica;
- b) Forneça uma estrutura para a definição de objetivos da gestão de ativos;
- c) Seja consistente com o plano organizacional;
- d) Seja consistente com outras políticas organizacionais pertinentes;
- e) Seja adequada à natureza e dimensão dos ativos e operações da organização.

Diante disso será sugerida a seguinte política de manutenção da usina hidrelétrica:

“A gestão da manutenção deverá atender aos requisitos da gestão de ativos com foco na confiabilidade, disponibilidade, manutenibilidade e controle de riscos associados aos ativos de geração de energia elétrica, atendendo às necessidades das partes interessadas e sem comprometer a saúde e segurança dos colaboradores e do ambiente em que está inserida, atuando com a efetividade, eficácia e eficiência necessárias ao controle dos custos associados, e com o objetivo de fornecer ao consumidor a energia elétrica de forma continuada e na qualidade recomendada pelos órgãos legais”.

Os objetivos da gestão de ativos devem seguir as seguintes premissas:

- a) Estabelecer os objetivos da gestão de ativos para as funções e níveis relevantes;
- b) Considerar os requisitos das partes interessadas relevantes e outros requisitos financeiros, técnicos, legais, regulatórios e organizacionais no processo de planejamento da gestão de ativos;
- c) Serem consistentes e alinhados com os objetivos organizacionais;
- d) Serem consistentes com a política de gestão de ativos;
- e) Serem estabelecidos e atualizados usando os critérios de tomada de decisão em gestão de ativos;
- f) Serem mensuráveis (se aplicável);
- g) Levar em consideração requisitos aplicáveis;

- h) Serem monitorados;
- i) Serem comunicados às partes interessadas pertinentes;
- j) Serem analisados criticamente e atualizados conforme apropriado.

#### 4.3.2 APLICAR A GESTÃO DE RISCOS

As ações para tratar os riscos e oportunidades associados à gestão dos ativos, observando como estes riscos e oportunidades podem mudar com o tempo, devem seguir os seguintes processos:

- a) Identificação e avaliação dos riscos e oportunidades;
- b) Determinação da significância dos ativos para o alcance dos objetivos de gestão de ativos;
- c) Implementação de tratamento adequado, e monitoramento, dos riscos e oportunidades;
- d) A organização deve assegurar que seus riscos relacionados à gestão de ativos sejam considerados na abordagem de gestão de riscos da organização, incluindo os planos de contingência.

A matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência) é uma dentre muitas ferramentas utilizadas para o tratamento de problemas com o objetivo de priorizá-los. Leva em conta a gravidade, a urgência e a tendência de cada problema. Gravidade é o impacto do problema sobre coisas, pessoas, resultados, processos ou organizações e efeitos que surgirão a longo prazo, caso o problema não seja resolvido. Urgência é a relação com o tempo disponível ou necessário para resolver o problema. Tendência é o potencial de crescimento do problema, avaliação da tendência de crescimento, redução ou desaparecimento do problema. A pontuação de 1 a 5, para cada dimensão da matriz, permite classificar em ordem decrescente de pontos os problemas a serem atacados na melhoria do processo. Este tipo de análise será realizada pelo grupo de melhoria, de forma a estabelecer a melhor priorização dos problemas. Lembrando que deve haver consenso entre os membros do grupo. Após atribuída a pontuação, deve-se multiplicar GxUxT e achar o resultado, priorizando de acordo com os pontos obtidos. Ver Tabela 04.



Tabela 04 – Pontuação da Matriz GUT

Pontos	Gravidade	Urgência	Tendência	GXUXT
5	Extrema	Ação imediata	Agravamento imediato	125
4	Muito graves	Ação mediata	Agravamento a curto prazo	64
3	Graves	Média urgência	Agravamento a médio prazo	9
2	Pouco graves	Pouca urgência	Agravamento a longo prazo	8
1	Sem gravidade	Sem urgência	Sem agravamento	1

Fonte: Elaborado pelo Autor (após leituras de literaturas sobre o assunto)

A definição dos ativos críticos foi realizada com base nas informações dos modos de falhas selecionados na metodologia MCC, juntamente com o impacto que tais ativos possam trazer para a operacionalização dos serviços auxiliares da usina. Portanto, diante das informações, o transformador de fornecimento geral de energia elétrica para os serviços auxiliares elétricos da usina, é o equipamento mais crítico do sistema. Pode-se também selecionar os disjuntores gerais de entrada de energia para os serviços auxiliares. A matriz GUT foi elaborada, como exemplo, para o trafo, ver Tabela 05.

Identificados tais equipamentos, deve-se, portanto, realizar os trabalhos de MCC e as análises mais detalhadas dos seus modos de falhas, como às medidas de ações corretivas e preventivas, bem como elaborar manuais de contingência que possam orientar a equipe de manutenção numa possível falha do equipamento. Elaborar também os esquemas de serviço para as ações corretivas das falhas, como também para a substituição dos mesmos. A gestão de sobressalentes para atender estes equipamentos deve ser criteriosa para manter sempre as condições de atendimento numa situação de falha. Outra medida é a revisão dos planos de manutenção preventiva dos mesmos, com a adoção de manutenções preditivas, como termovisões periódicas.

Tabela 05 – Matriz GUT para o Trafo

## MATRIZ DE RISCOS OPERACIONAIS

Identificação/ Descrição	Quantificação				Plano de Contingência		Consequências Falha
	Grav.	Urg.	Tend.	Prior.	Ações Prev.	Ações Cor.	
<b>Desenergização Geral</b>	5	5	5	125	Alimentação redundante/alternativa	Padronizar o restabelecimento operacional emergencial	Indisponibilidade da usina
<b>Danificação do Trafo</b>	5	5	3	75	Programar Manutenção preventiva e/ou preditiva	Realizar a Manutenção corretiva	Indisponibilidade de uma fonte de alimentação
<b>Indisponibilidade e do Disjuntor</b>	5	5	3	75	Programar Manutenção preventiva e/ou preditiva	Realizar a Manutenção corretiva	Indisponibilidade de uma fonte de alimentação
<b>Sem comutação automática de fontes</b>	5	5	4	100	Programar manutenção preventiva e/ou preditiva dos relés e disjuntores, programar testes de comutação automática	Treinar os operadores para realizar a comutação manual	Perda momentânea de tensão

Fonte: Elaborado pelo Autor

### 4.3.3 ADOPTAR A FERRAMENTA FRACAS

Para a adoção desta ferramenta foi elaborado um formulário a ser utilizado pelo pessoal da manutenção na ocorrência de uma falha, que deve conter as informações mínimas sobre o ativo que falhou, a descrição da falha, os modos de falhas, as causas das falhas, as análises e as ações corretivas. Deve haver monitoramento de cada item, com classificação das falhas, dos modos de falhas, das causas e das ações corretivas. Este formulário servirá de base para a formação de um banco de dados histórico. Um modelo de formulário está apresentado no apêndice F. Também foi elaborado um modelo de formulário para a análise da manutenção, que está anexado no apêndice G.

Com a elaboração de um banco de dados sobre falhas, será possível realizar estudos estatísticos, processando-os com o intuito de compreender o avanço das falhas

e das ações corretivas aplicadas às mesmas. O registro da falha deverá ser realizado pelo pessoal de manutenção, após os registros de eventos, SS e OS. Esse registro poderá futuramente ser inserido no próprio SIGA, mas para isso deverá haver uma estruturação para o registro de falhas.

O registro da falha deve conter os seguintes dados principais: agrupamento ou classificação em especialidade, espécie e família; código específico da falha; o modo de falha; a descrição da falha; o resumo da falha; a causa principal e secundária da falha; a ações corretivas e preventivas. A documentação de falha deve incluir uma identificação de referência uniforme para garantir a rastreabilidade completa de todos os registros e as medidas tomadas para cada falha relatada. Com isso pode-se extrair dos dados históricos as indicações de tendências de falhas e avaliar a necessidade e a extensão das ações corretivas contempladas.

Para subsidiar a elaboração do formulário foi realizada uma análise de como esses dados estão sendo inseridos atualmente no SIGA. O preenchimento da solicitação de serviço é realizado com a descrição da ocorrência ou do defeito, que na verdade condiz com a descrição do defeito da função do sistema ou do equipamento, na realidade, não significa o modo de falha do sistema ou equipamento. É necessária uma análise pela equipe de manutenção para ratificar ou retificar as informações. Como resultado da análise chega-se ao parecer técnico, que corresponde à identificação da causa da falha, ou apenas do sintoma da falha. Após essas ações será criado o documento ordem de serviço.

Na análise do preenchimento de alguns campos da ordem de serviço, Figura 15, verificou-se que:

- a) Na aba “Anotações” observa-se que poderia e deveria ser alimentadas informações importantes sobre a intervenção, como: problemas encontrados durante a correção do defeito, falta de ferramentas, falta de materiais, outros problemas encontrados, necessidade de infra-estrutura, etc. Nesta aba não é utilizada para relatar praticamente nenhuma informação adicional que possa ser utilizada numa posterior análise;
- b) Na aba de “Tempos Medidos”, observou-se que não há nenhum preenchimento de dados. Os tempos previstos para serem alimentados são: aquisição de

material, tempo de deslocamento, tempo de execução, tempo de planejamento, tempo de preparação. Destes, os mais importantes são tempo de reparo (execução), e tempo entre falhas do mesmo equipamento (porém não há registro ou classificação de defeito por equipamentos);

- c) Na aba “Características” é informada a descrição da anormalidade e a providência tomada. Foi constatado que as informações são insuficientes, sem detalhes que venham subsidiar análises de ações corretivas, com o intuito de evitar reincidências do mesmo defeito neste ou em outro equipamento similar. Na usina existem muitos equipamentos semelhantes ou similares que podem ter o mesmo tipo de comportamento e apresentar as mesmas características de falha. Com uma gestão dos dados é possível adotar medidas que venham reduzir o aparecimento de falha similar.
- d) Na aba “Ficha de Inspeção e Medição” não há nenhum registro. A ficha de inspeção é um documento que tem a finalidade de realizar um checklist da atividade, ou seja, detalha “o que fazer”. Para as atividades da manutenção elétrica não há fichas de inspeção implantadas;
- e) Os esquemas de serviço devem ser utilizados durante a etapa de execução, e seu conteúdo não atende as expectativas de uma equipe de manutenção. O esquema de serviço é um documento que tem a finalidade de demonstrar como fazer tal atividade. Não há nenhum esquema de serviço elaborado para a equipe de manutenção elétrica.

As conclusões sobre esta análise dos registros no SIGA são:

- a) não há classificação da falha e suas causas;
- b) as ações corretivas aplicadas não são informadas;
- c) não existe codificação, nem padronização, para as falhas e suas causas dificultando a criação de um histórico de causas de defeitos;

Figura 15 – Ordem de Serviço Executada

**5 Executadas**

Detalhes | Executores | Anotações | Outros Recursos | Tempos Medidos | OS Externa | Características | Ficha Inspeção/Medição

OSNumero: SPAS-E 758 / 2013 DataCriação: 20/11/2013 16:10:53 Codg. Externo OSPrimária(int):

Espécies: PAINEL CodAtivo: PAINM.002032 Garantia: 01/04/2012

Desc Família: PAINEL DE SUPERVISÃO E CONTROLE Descrição Ativo: PAINEL DE COMANDO COMPRESSOR SERVIÇO DA USINA - BT2

Instalações: UAS Localização: 00-SAC-PNL-4 Complemento: ATIVO

Origens: Indic. Prev.:

Defeitos: ELETROVÁLVULA C/ DEFEITO Prioridades: NÃO SE APLICA

Esquemas de Serviço: SUBSTITUIÇÃO OU REPARO DE COMPONENTES Ficha Inspeção/Medição:

Causas: MANUTENÇÃO PREVENTIVA CausaSec:

DataParada: 21/11/2013 09:15:00 DataInício: 21/11/2013 09:15:00 DataTérmino: 22/11/2013 17:30:00 OSFechada?

Centros Custo: UHE APOLONIO SALES - MANUT.

Últ. OS Equipamento > SPAS-E 000758/2013 \* 00014 \* Exec: 22/11/2013 17:30:00 \* Garantia: 22/12/2013  
 Últ. Exec. Esquema > SPAS-E 000758/2013 \* 00014 \* Exec: 22/11/2013 17:30:00 \* Garantia: 22/12/2013

Anexos OS's - Semelhantes Ações/APP Materiais Histórico Origem Detalhe Ativos Confirmar Cancel

Fonte: Software SIGA/Chesf

#### 4.3.4 DEFINIR E CALCULAR OS PARÂMETROS DE RAMS

Para o cálculo dos parâmetros de confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade é necessário contabilizar os índices de MTBF E MTTR, através das informações coletadas no SIGA sobre as falhas dos equipamentos por um período de dois anos. Foi utilizada uma planilha do Windows Excel para a realização desses cálculos, cujos resultados estão expostos na Tabela 06. Os dados acumulados ao longo de dois anos de registros de manutenção. Os dados que são demonstrados terão alguma inexatidão, devido ausência de padronização no registro dos dados..

Tabela 06 – Cálculo da confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade

t	Confiabilidade			Disponibilidade			Manutenibilidade		
	MTBF	e	R	MTBF	MTTR	A	MTTR	$\mu$	M
168	10000	0,0001	0,98334	10000	8	0,999201	8	0,375	1,00
720	8000	0,000125	0,913931	8000	0,913931	0,999886	0,913931	1,094174	1,00
1000	5000	0,0002	0,818731	5000	8	0,998403	8	0,125	1,00
5000	10000	0,0001	0,606531	10000	0,606531	0,999939	0,606531	1,648721	1,00
8640	12000	8,33E-05	0,486752	12000	7	0,999417	7	0,142857	1,00
10000	4000	0,00025	0,082085	4000	0,082085	0,999979	0,082085	12,18249	1,00
15000	5000	0,0002	0,049787	5000	12	0,997606	12	0,083333	1,00
17280	10000	0,0001	0,177639	10000	0,177639	0,999982	0,177639	5,629384	1,00
20000	3000	0,000333	0,001273	3000	6	0,998004	6	0,166667	1,00
25920	4000	0,00025	0,001534	4000	0,001534	1	0,001534	651,9709	1,00
30000	8000	0,000125	0,023518	8000	5	0,999375	5	0,2	1,00
34560	7000	0,000143	0,007175	7000	0,007175	0,999999	0,007175	139,3715	1,00
40000	3000	0,000333	1,62E-06	3000	2	0,999334	2	0,5	1,00
43200	5000	0,0002	0,000177	5000	0,000177	1	0,000177	5653,33	1,00
50000	10000	0,0001	0,006738	10000	4	0,9996	4	0,25	1,00

Fonte: Elaborado pelo Autor

Os resultados da Tabela 06 podem não representar o estado real da gestão da manutenção da usina, tendo em vista que os dados coletados no SIGA não representem informações que retratam a realidade da planta industrial quanto às falhas. Mensurar estes parâmetros pode demonstrar ao gestor da manutenção o desempenho de cada equipamento, bem como a capacidade de atendimento às demandas da manutenção. A visão atual da disponibilidade está restrita ao gerador, porém medir a disponibilidade de cada sistema ou equipamento pode contribuir para a disponibilidade global da usina, bem como na redução de custos diretos e indiretos de geração. A disponibilidade pode interferir na receita da empresa. A medição da confiabilidade pode identificar quais ativos merecem destaque quanto à estabelecimento de critérios para manutenção, já que a confiabilidade está inversamente associada à disponibilidade. A visão do indicador de manutenibilidade demonstra o quanto a equipe de manutenção está apta e com estrutura adequada para o atendimento das demandas de manutenção corretiva, preventiva e preditiva.

## 5 CONCLUSÕES

A combinação das metodologias de confiabilidade e gestão de ativos poderá proporcionar uma gestão mais eficiente quanto aos aspectos de registro de dados, identificação de ativos críticos, identificação dos modos de falhas, gestão das ações corretivas, melhoria nos planos de manutenções preventivas, inclusão de manutenções preditivas, e minimização da reincidência de falhas crônicas. A adoção de requisitos do conjunto de normas ABNT NBR ISO 55000 é uma necessidade urgente, juntamente com a metodologia da manutenção centrada em confiabilidade, buscando sempre a confiabilidade operacional da planta industrial, no caso a usina hidrelétrica. Os gestores devem alinhar o foco em gestão de ativos, com melhoria no registro de dados, e processamento dos mesmos. Este trabalho apresenta uma abordagem incipiente de um modelo piloto que, após validado, pode ser estendido a todos os sistemas de serviços auxiliares, tanto elétricos como mecânicos. Uma abordagem mais ampla da aplicação desses métodos e ferramentas requer muito trabalho e processamento de grandes volumes de dados, tarefa que requer um período de tempo extenso para a coleta de dados. Ainda há a necessidade de desenvolvimento de bancos de dados de confiabilidade, como também de padronização de registros dos dados de falhas. O banco de dados é parte fundamental para a excelência da gestão. Os objetivos específicos do banco de dados são:

- a) A captura de dados de confiabilidade para a melhoria contínua, a partir de atividades de manutenção corretiva de modo a apoiar à decisão; e
- b) O compartilhamento de dados entre os agentes de manutenção, principalmente em áreas geográficas distintas, para conectar engenheiros, operadores, e gestores de equipamentos.

Como sugestões para trabalhos futuros ficaram claras a necessidade de desenvolvimento de banco de dados específicos para apoiar o registro e tratamento de falhas. A identificação dos modos de falhas e falhas funcionais dos sistemas e equipamentos é outra opção de estudo, inclusive unir esta informação aos dados reais de falhas, buscando a mitigação da ocorrência das falhas.

As variáveis para a gestão dos ativos contribuem de forma estratégica para auxiliar o gestor na operacionalização da usina. As mais importantes são: disponibilidade,

confiabilidade, manutenibilidade, padronização dos dados dos equipamentos e das falhas, codificações destes dados, identificação dos ativos críticos, são subsídios para o planejamento das manutenções preventivas, para adoção de manutenções preditivas específicas, prevenção de falhas, identificação da tendência da falha, padronização das ações corretivas. Este trabalho pode contribuir, de forma a possibilitar o conhecimento destes dados, e organizar as informações para posteriores operações estatísticas.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MOUBRAY, John. **Reliability Centered Maintenance II**. 2nd ed. New York. CRC Press. 1997.
- [2] BIROLINI, A. **Reliability Engineering Theory and Practice**. 3rd ed. Germany, Springer.1999.
- [3] FOGLIATTO, Flávio Sanson; RIBEIRO, José Luis Duarte. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier. 2009.
- [4] PINTO, Alan Kardec; XAVIER, Júlio Nascif. **Manutenção: Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark.1998.
- [5] DHILLON, B.S. **Engineering maintenance: a modern approach**. Florida. CRC Press. 2002.
- [6] PEINADO, Jurandir; GRAEML, Alexandre Reis. **Administração da Produção: Operações Industriais e de Serviços**. Curitiba. UnicenP. 2007
- [7] XENOS, Harilaus G. P., **Gerenciando a Manutenção Produtiva**, Belo Horizonte. Editora de Desenvolvimento Gerencial.1998. 302 p.
- [8] LAFRAIA, J. R. B., **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**, Rio de Janeiro. Qualitymark. 2001. 374 p.
- [9] PALADY, P., **FMEA: Análise dos Modos de Falha e Efeitos: Prevendo e Prevenindo Problemas Antes Que Ocorram**. São Paulo. Inst. IMAN. 1997. 195 p.
- [10] FECHA, Jorge Filipe Ferreira. **Aplicação da PAS 55 ao Departamento de Operação e Manutenção da Operadora da Rede Elétrica de Distribuição**. Dissertação. 2012. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, Portugal. 2012
- [11] SOUZA, Ricardo Guimarães F. de. **Desenvolvimento do Sistema de Implantação e Gestão da Manutenção**. UFRGS, Porto Alegre, 1999.
- [12] RAPOSO, José Luis Oliveira. **Manutenção centrada em confiabilidade aplicada a sistemas elétricos: uma proposta para uso de análise de risco no diagrama de decisão**. UFBA.Salvador, 2005.
- [13] ALKAIM, João Luiz. **Metodologia para incorporar conhecimento intensivo às tarefas de manutenção centrada na confiabilidade aplicada em ativos de sistemas elétricos**. 2003. 239f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis. 2003.

- [14] ÁLVARES, A. J.; Souza, R. de Q.; Fernandes, L. P. **Análise FMEA Para Aplicação da Metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade: Estudo de Caso em Turbinas Hidráulicas**. Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Campus Universitário Darcy Ribeiro. Brasília.
- [15] Siqueira, Iony Patriota. **Grupos multiempresariais de manutenção centrada na confiabilidade: estudo de caso no setor elétrico**. Companhia Hidroelétrica do São Francisco.
- [16] RIGONI, Emerson. **Curso Engenharia da Confiabilidade**. Maio de 2013. UTFPR. Material da Aulas. Disciplina Gerência da Manutenção.
- [17] Internacional Cooper Association, Ltd. **Gerenciamento de ativos no setor elétrico da América Latina, Melhores práticas e tendências**. Outubro de 2011.
- [18] MIL-HDBK-2155, **MILITARY HANDBOOK: FAILURE REPORTING, ANALYSIS AND CORRECTIVE ACTION TAKEN (11 DEC 1995)**.
- [19] **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR ISO 55000: Gestão de ativos — Visão geral, princípios e terminologia. Rio de Janeiro, 2014. 23p.
- [20] **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR ISO 55001: Gestão de ativos — Sistemas de gestão — Requisitos. Rio de Janeiro, 2014. 16p.
- [21] **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR ISO 55002: Gestão de ativos — Sistemas de gestão — Diretrizes para a aplicação da ABNT NBR ISO 55001. Rio de Janeiro, 2014. 38p.

## APÊNDICE A - DEFINIÇÃO DAS FRONTEIRAS DO SISTEMA

Sistema	Serviços Auxiliares da Usina		Id_Sistema	SERV. AUX.	
<b>Id_Subistema</b>	<b>Subistema</b>	<b>Id_Função</b>	<b>Função</b>	<b>Id_Componente</b>	<b>Componente</b>
SA 13,8kVac	Serv. Aux. 13,8kVac	FT	Fornecimento de Tensão	TR	Transformadores
SA 13,8kVac	Serv. Aux. 13,8kVac	CM	Comando	DJ	Disjuntores
SA 13,8kVac	Serv. Aux. 13,8kVac	AT	Aterramento	CH	Chave de Terra
SA 13,8kVac	Serv. Aux. 13,8kVac	PT	Proteção	RL	Relé
SA 13,8kVac	Serv. Aux. 13,8kVac	RT	Redução de Tensão	TP	Transformador de Potencial
SA 13,8kVac	Serv. Aux. 13,8kVac	RC	Redução de Corrente	TC	Transformador de Corrente
SA 13,8kVac	Serv. Aux. 13,8kVac	MD	Medição	IM	Instrumento de Medição
SA 13,8kVac	Serv. Aux. 13,8kVac	CD	Condução	CB	Cabos
SA 13,8kVac	Serv. Aux. 13,8kVac	CD	Condução	CN	Conexões
SA 13,8kVac	Serv. Aux. 13,8kVac	CD	Condução	BR	Barramento
SA 13,8kVac	Serv. Aux. 13,8kVac	IS	Isolamento	IS	Mufas
SA 13,8kVac	Serv. Aux. 13,8kVac	IS	Isolamento	IS	Isoladores
SA 13,8kVac	Serv. Aux. 13,8kVac	IN	Invólucro	PN	Painel
SA 440Vac	Serv. Aux. 440Vac	Tensão	Fornecimento de Tensão	TR	Transformadores
SA 440Vac	Serv. Aux. 440Vac	CM	Comando	DJ	Disjuntores
SA 440Vac	Serv. Aux. 440Vac	MD	Medição	IM	Instrumento de Medição
SA 440Vac	Serv. Aux. 440Vac	CMT	Comutação	RL	Relés
SA 440Vac	Serv. Aux. 440Vac	CD	Condução	CB	Cabos
SA 440Vac	Serv. Aux. 440Vac	CD	Condução	CN	Conexões
SA 440Vac	Serv. Aux. 440Vac	CD	Condução	BR	Barramento
SA 440Vac	Serv. Aux. 440Vac	IS	Isolamento	IS	Isoladores
SA 440Vac	Serv. Aux. 440Vac	IN	Invólucro	PN	Painel
SA 220Vac	Serv. Aux. 220Vac	Tensão	Fornecimento de Tensão	TR	Transformadores
SA 220Vac	Serv. Aux. 220Vac	CM	Comando	DJ	Disjuntores
SA 220Vac	Serv. Aux. 220Vac	CM	Comando	CT	Contactores
SA 220Vac	Serv. Aux. 220Vac	MD	Medição	IM	Instrumento de Medição
SA 220Vac	Serv. Aux. 220Vac	CMT	Comutação	RL	Relés
SA 220Vac	Serv. Aux. 220Vac	CD	Condução	CB	Cabos
SA 220Vac	Serv. Aux. 220Vac	CD	Condução	CN	Conexões
SA 220Vac	Serv. Aux. 220Vac	CD	Condução	BR	Barramento
SA 220Vac	Serv. Aux. 220Vac	IS	Isolamento	IS	Isoladores
SA 220Vac	Serv. Aux. 220Vac	IN	Invólucro	PN	Painel
SA 250Vdc	Serv. Aux. 250Vdc	Tensão	Fornecimento de Tensão	RT	Retificadores
SA 250Vdc	Serv. Aux. 250Vdc	Tensão	Fornecimento de Tensão	BB	Banco de Baterias

SA 250Vdc	Serv. Aux. 250Vdc	CM	Comando	DJ	Disjuntores
SA 250Vdc	Serv. Aux. 250Vdc	MD	Medição	IM	Instrumento de Medição
SA 250Vdc	Serv. Aux. 250Vdc	ID	Indicação	SZ	Sinalizadores
SA 250Vdc	Serv. Aux. 250Vdc	CD	Condução	CB	Cabos
SA 250Vdc	Serv. Aux. 250Vdc	CD	Condução	CN	Conexões
SA 250Vdc	Serv. Aux. 250Vdc	CD	Condução	BR	Barramento
SA 250Vdc	Serv. Aux. 250Vdc	IS	Isolamento	IS	Isoladores
SA 250Vdc	Serv. Aux. 250Vdc	IN	Invólucro	PN	Painel
SA 48Vdc	Serv. Aux. 48Vdc	Tensão	Fornecimento de Tensão	RT	Retificadores
SA 48Vdc	Serv. Aux. 48Vdc	Tensão	Fornecimento de Tensão	BB	Banco de Baterias
SA 48Vdc	Serv. Aux. 48Vdc	CM	Comando	DJ	Disjuntores
SA 48Vdc	Serv. Aux. 48Vdc	MD	Medição	IM	Instrumento de Medição
SA 48Vdc	Serv. Aux. 48Vdc	ID	Indicação	SZ	Sinalizadores
SA 48Vdc	Serv. Aux. 48Vdc	CD	Condução	CB	Cabos
SA 48Vdc	Serv. Aux. 48Vdc	CD	Condução	CN	Conexões
SA 48Vdc	Serv. Aux. 48Vdc	CD	Condução	BR	Barramento
SA 48Vdc	Serv. Aux. 48Vdc	IS	Isolamento	IS	Isoladores
SA 48Vdc	Serv. Aux. 48Vdc	IN	Invólucro	PN	Painel
SA 24Vdc	Serv. Aux. 24Vdc	Tensão	Fornecimento de Tensão	RT	Retificadores
SA 24Vdc	Serv. Aux. 24Vdc	Tensão	Fornecimento de Tensão	BB	Banco de Baterias
SA 24Vdc	Serv. Aux. 24Vdc	CM	Comando	DJ	Disjuntores
SA 24Vdc	Serv. Aux. 24Vdc	MD	Medição	IM	Instrumento de Medição
SA 24Vdc	Serv. Aux. 24Vdc	ID	Indicação	SZ	Sinalizadores
SA 24Vdc	Serv. Aux. 24Vdc	CD	Condução	CB	Cabos
SA 24Vdc	Serv. Aux. 24Vdc	CD	Condução	CN	Conexões
SA 24Vdc	Serv. Aux. 24Vdc	CD	Condução	BR	Barramento
SA 24Vdc	Serv. Aux. 24Vdc	IS	Isolamento	IS	Isoladores
SA 24Vdc	Serv. Aux. 24Vdc	IN	Invólucro	PN	Painel

## APÊNDICE B - ANÁLISE FMECA

Responsável pela Análise: Eng <sup>o</sup> Lindomar S. de Melo				Equipe: Manutenção elétrica				Data: 01/03/2014						
Auditado por:								Página / De:						
Sistema: Serviços Auxiliares na tensão de 13,8kV								Id_Sistema: SA 13,8kVac						
Subsistema Analisado: Transformador 13,8kV/440V								Id_Subsistema: TR						
Id_Função	Função	Id_Falha_Funcional	Falha Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	Efeito			Severidade (S)	Causas do Modo de Falha	Ocorrência (O)	Controles Atuais	Detecção (D)	NPR (S.O.D)
						Local	Sistema	Planta						
1	Fornecimento de Tensão	1	Falta de Tensão	1	Curto-circuito	Danificação	Falta de Tensão	Indisponibilidade dos Serviços Auxiliares	10	Falta de isolamento das	1	Proteções Elétricas	1	10
	Fornecimento de Tensão		Falta de Tensão	2	Sobretensão do Trafo	Danificar isolamento das espiras	Desligamento do trafo	Indisponibilidade dos Serviços Auxiliares	10	Sobrecarga no circuito a	10	Controle de entrada das cargas	10	1000
	Fornecimento de Tensão		Falta de Tensão	3	Óleo Isolante contaminado	Baixo isolamento interno	Desligamento do trafo	Indisponibilidade dos Serviços Auxiliares	10	Ocorrência de Descargas	1	Coleta e Análise de Óleo	10	100
	Fornecimento de Tensão		Falta de Tensão	4	Atuação das proteções intrínsecas	Presença de gases, sobretemper	Desligamento do trafo	Indisponibilidade dos Serviços Auxiliares	10	Envelhecimento do Óleo	1	Manutenção corretiva	10	100
	Fornecimento de Tensão	2	Sobretensão de fornecimento	1	Tensão de entrada superior ao	Sobretensão interna	Sobretensão	Danos aos equipamentos	8	Trafo a montante com	1	Seleção de Tap	10	80
	Fornecimento de Tensão		Sobretensão de fornecimento	2	Tap inadequado	Sobretensão interna	Sobretensão	Danos aos equipamentos	8	Erro na Seleção de Tap	1	Seleção de Tap	10	80
	Fornecimento de Tensão		Subtensão de fornecimento	3	Tensão de entrada inferior ao	Aquecimento interno	Subtensão	Indisponibilidade dos equipamentos	8	Trafo a jusante com	5	Seleção de Tap	10	400
	Fornecimento de Tensão		Subtensão de fornecimento	4	Tap inadequado	Aquecimento interno	Subtensão	Indisponibilidade dos equipamentos	8	Erro na Seleção de Tap	1	Seleção de Tap	10	80
	Fornecimento de Tensão		Subtensão de fornecimento	5	Trafo Subdimensionado	Aquecimento interno	Subtensão	Indisponibilidade/Desligamento dos equipamentos	10	Sobrecarga no circuito a	10	Controle de entrada das cargas	10	1000

### APÊNDICE C - SELEÇÃO DAS FUNÇÕES SIGNIFICANTES

Responsável pela Análise:		Equipe: Manutenção elétrica				Data: 01/03/2014	
Auditado por:						Página / De:	
Sistema: Serviços Auxiliares na tensão de 13,8kV						Id_Sistema: SA 13,8kVac	
Subsistema Analisado: Transformador 13,8kV/440V						Id_Subsistema: TR	
Id_Função	Id_Falha_Funcional	Id_Modo de Falha	Modo de Falha	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha é Evidente?	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha afeta a Segurança e/ou o Meio Ambiente?	A Falha Funcional ou o Efeito do Modo de Falha tem conseqüências Econômicas e/ou Operacionais?	<b>Categoria</b> ESA–Evidente Segurança Ambiente EEO–Evidente Econômico Operacional OSA – Oculto Segurança Ambiente OEO– Oculto Econômico Operacional
11	11	11	Curto-circuito	NÃO	NÃO	SIM	OEO
		22	Sobretensão do Trafo	SIM	NÃO	SIM	EEO
		33	Óleo Isolante contaminado	NÃO	NÃO	SIM	OEO
		44	Atuação das proteções intrínsecas do trafo	SIM	NÃO	SIM	EEO
	22	11	Tensão de entrada superior ao nominal	SIM	NÃO	SIM	EEO
		22	Tap inadequado	SIM	NÃO	SIM	EEO
		33	Tensão de entrada inferior ao nominal	SIM	NÃO	SIM	EEO
		44	Tap inadequado	SIM	NÃO	SIM	EEO
		55	Trafo Subdimensionado	SIM	NÃO	SIM	EEO

## APÊNDICE D - SELEÇÃO DAS TAREFAS DE MANUTENÇÃO EFETIVAS

Responsável pela Análise: Eng <sup>o</sup> Lindomar S. de Melo	Equipe: Manutenção elétrica	Data: 01/03/2014
Auditado por:		Página / De:
Sistema: Serviços Auxiliares na tensão de 13,8kV		Id_Sistema: SA 13,8kVac
Subsistema Analisado: Transformador 13,8kV/440V		Id_Subsistema: TR

Id_Função	Id_Falha_Funcional	Id_Modo de Falha	Consequência ESA –Evidente Segurança Ambiente EEO–EvidenteEconômico Operacional OSA –Oculto Segurança Ambiente OEO –Oculto Econômico Operacional	Tarefas Possíveis								Tarefa Proposta	Id_Tarefa
				Serviço Operacional	Inspeção Preditiva	Restauração Preventiva	Substituição Preventiva	Inspeção Funcional	Manutenção Combinada	Mudança de Projeto	Reparo Funcional		
1	1	1	OEO		X							Medição de Descargas Parciais	1
		2	EEO				X					Controle de entrada das cargas, Redistribuir as cargas, Substituir o	2
		3	OEO				X					Coleta , Análise e Substituição de Óleo	3
		4	EEO			X						Manutenção Corretiva	4
	2	1	EEO			X						Corrigir a Seleção do Tap	5
		2	EEO			X						Corrigir a Seleção do Tap	5
		3	EEO			X						Corrigir a Seleção do Tap	5
		4	EEO			X						Corrigir a Seleção do Tap	5
		5	EEO			X				X		Redimensionar o Trafo	6

## APÊNDICE E - DEFINIÇÃO DOS AGRUPAMENTO DAS TAREFAS DE MANUTENÇÃO

Responsável pela Análise: Eng <sup>o</sup> Lindomar S. de Melo	Equipe: Manutenção elétrica	Data: 01/03/2014
Auditado por:		Página / De:
Sistema: Serviços Auxiliares na tensão de 13,8kV		Id_Sistema: SA 13,8kVac
Subsistema Analisado: Transformador 13,8kV/440V		Id_Subsistema: TR

Id_Função	Id_Falha_Funcional	Id_Modo de Falha	Id_Tarefa	Descrição da Tarefa Proposta	Intervalo Inicial	Agrupamento da Tarefa	Equipe Responsável
1	1	1	1	Medição de Descargas Parciais	365 dias		Manutenção elétrica
		2	2	Controle de entrada das cargas, Redistribuir as cargas, Substituir o Trafo	365 dias		Manutenção elétrica
		3	3	Coleta , Análise e Substituição de Óleo	30 dias		Manutenção elétrica
		4	4	Manutenção Corretiva	1dia		Manutenção elétrica
	2	1	5	Corrigir a Seleção do Tap	1dia		Manutenção elétrica
		2	5	Corrigir a Seleção do Tap	1dia		Manutenção elétrica
		3	5	Corrigir a Seleção do Tap	1dia		Manutenção elétrica
		4	5	Corrigir a Seleção do Tap	1dia		Manutenção elétrica
		5	6	Redimensionar o Trafo	30 dias		Manutenção elétrica



## APÊNDICE F - RELATÓRIO DE ANÁLISE DA FALHA

	<b>RELATÓRIO DE ANÁLISE DA FALHA</b>	Nº: CLASSE DA FALHA: DATA:
<b>1. DADOS GERAIS</b>		<b>1.1 REGISTRO DOS TEMPOS</b>
USINA: SISTEMA: SUB-SISTEMA:	EQUIPAMENTO: COMPONENTE:	Tempo entre a mesma falha do mesmo equipamento: Tempo entre falhas do mesmo equipamento: Tempo de reparo:
<b>2. IDENTIFICAÇÃO DA FALHA</b>		
Código falha: Nº da SS:	Código da falha funcional: Código do modo da falha:	Código da causa: Código da ação corretiva
<b>2.1. DESCRIÇÃO DA FALHA</b>		
<b>3. ANÁLISE DA FALHA</b>		
<b>3.1. CAUSAS DA FALHA</b>		
<b>3.2. IDENTIFICAÇÃO DA FALHA FUNCIONAL E DO MODO DA FALHA</b>		
Descrição da falha funcional: Descrição do modo da falha:		
<b>3.3. ANÁLISE A POSTERIORI DA CORREÇÃO DA FALHA</b>		
<b>4. AÇÃO CORRETIVA</b>		
Ações corretivas adotadas: Ações preventivas adotadas:		
<b>4.1. PRINCIPAIS RECURSOS MATERIAIS NECESSÁRIOS À CORREÇÃO DA FALHA</b>		
Peças e acessórios	Ferramentas e equipamentos	Materiais diversos
<b>5. ANEXOS E OBSERVAÇÕES</b>		
<b>6. ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO</b>		
<b>7. APROVAÇÃO</b>		
_____ Supervisor	_____ Engenheiro	_____ Gerente

## APÊNDICE G - RELATÓRIO DE MANUTENÇÃO CORRETIVA

	<b>RELATÓRIO DE MANUTENÇÃO CORRETIVA</b>	Nº: Data:
<b>1. DADOS GERAIS</b>		
USINA: UG/SISTEMA: SUBSISTEMA:	EQUIPAMENTO: COMPONENTE:	
<b>2. DADOS DA INTERVENÇÃO</b>		
Nº da SS: Nº da OS:	Nº da SI: Nº da Relatório de Análise de Ocorrência:	
<b>3. MOTIVO DA INTERVENÇÃO</b>		
<b>4. AÇÕES CORRETIVAS ADOTADAS</b>		
<b>5. AÇÕES PREVENTIVAS ADOTADAS</b>		
<b>6. PRINCIPAIS RECURSOS MATERIAIS UTILIZADOS</b>		
Peças e acessórios	Ferramentas e equipamentos	Materiais diversos
<b>7. ANÁLISE A POSTERIORI DA INTERVENÇÃO</b>		
<b>8. OBSERVAÇÕES</b>		
<b>9. ANEXOS</b>		
<b>10. APROVAÇÃO</b>		
_____ Supervisor	_____ Engenheiro	_____ Gerente