

Brasília, 30 de junho de 2007.

RELATÓRIO DE ATIVIDADES DE PROJETO DE PESQUISA

Abril, Maio, Junho/2007

Rodrigo de Queiroz Souza

FINATEC
ELETRONORTE
Universidade de Brasília – UnB

Modernização da Área de Automação de Processos das Usinas Hidroelétricas de Balbina e Samuel

1. OBJETIVO

Descrever as atividades realizadas no projeto de pesquisa, durante o trimestre de abril a junho, desenvolvidas pelo programa de pesquisa e desenvolvimento tecnológico da empresa de geração e transmissão de energia elétrica, ELETRONORTE, em parceria com a FINATEC e UnB.

2. ATIVIDADES REALIZADAS

A execução das atividades listadas é consistente com as etapas do projeto destacadas:

Atividade 1: Artigo enviado ao COBEM 2007 (19th International Congress of Mechanical Engineering), um estudo de caso sobre as ferramentas de manutenção preventiva e preditiva FMEA (Análise dos Modos e Efeitos de Falhas) e FTA (Análise por Árvore de Falhas):

FMEA AND FTA ANALYSES FOR APPLICATION OF RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE METHODOLOGY: CASE STUDY ON HYDRAULIC TURBINES

Alberto José Álvares, alvares@AlvaresTech.com

Rodrigo de Queiroz Souza, rodrigogsouza@gmail.com

University of Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Group of Innovation in Industrial Automation (GIAI), University Campus Universitário Darcy Ribeiro, 70910-900 – Asa Norte – Brasília – DF, Brasil.

***Abstract.** O objetivo geral deste trabalho é avaliar o impacto da aplicação da metodologia MCC (Manutenção Centrada em Confiabilidade) no sistema de geração energia elétrica. A MCC garante uma melhora significativa no desempenho das funções de manutenção e um aumento da confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos por meio da definição de um plano de manutenção de maneira estruturada. Foi desenvolvido um estudo de caso do sistema de circulação de óleo do mancal de escora de uma turbina hidráulica do tipo Kaplan utilizada pela usina hidrelétrica (UHE) de Balbina – Amazonas – Brasil. Este estudo foi realizado baseando-se nas grandezas monitoradas do sistema de supervisão e controle da usina. Foram utilizadas as ferramentas FMEA (análise dos modos e efeitos de falhas) e FTA (análise de árvore de falhas) para proceder ao estudo das falhas. O trabalho apresenta um*

análise comparativa entre as duas ferramentas, mostrando a contribuição de cada uma para a implementação de um planejamento estruturado de manutenção preditiva.

Palavras-chave: FMEA, FTA, confiabilidade, turbina.

1. INTRODUCTION

O desenvolvimento das chamadas novas tecnologias tem promovido mudanças fundamentais na estrutura e nos processos de trabalho. A adoção mais intensa de sistemas automatizados e de modernos equipamentos tem levado as áreas de manutenção a uma posição estratégica em face da importância da disponibilidade operacional para o resultado global das empresas.

Entre as tecnologias contemporâneas de manutenção, a MCC (Manutenção Centrada em Confiabilidade) tem expandido sua aplicação a praticamente todos os ramos de atividade humana, onde haja necessidade de manter o funcionamento de ativos físicos ou processos. Originária da indústria aeronáutica americana, e adotada pelas indústrias nuclear e elétrica mundiais, é hoje aplicada em muitos outros setores modernos da economia, inclusive o terciário e de serviço. aplicação da MCC tem sido motivada tanto pela melhoria das exigências impostas pela sociedade com relação à segurança das pessoas envolvidas e do patrimônio e à preservação do meio ambiente como pela melhoria de eficiência, produtividade e competitividade na indústria.

No setor elétrico, as empresas enfrentam o desafio da sobrevivência com as novas regras impostas de relacionamento e de mercado, bem como o desafio da obsolescência tecnológica e gerencial. Por outro lado, devido à sofisticação dos equipamentos elétricos e eletrônicos utilizados pelos consumidores, a exigência em termos da confiabilidade do suprimento de energia elétrica tem aumentado consideravelmente.

A fim de reduzir a probabilidade, frequência e duração de eventos de falha e reduzir seus efeitos, é necessário realizar investimentos financeiros no sentido de aumentar a confiabilidade do sistema. Dentro desse contexto, a manutenção dos sistemas elétricos sofre mais desafios do que qualquer outra área de gerenciamento. As técnicas de manutenção condicional – em que o equipamento é monitorado durante o seu funcionamento e as paradas são realizadas somente se identificada a presença de algum defeito a ser corrigido – tornaram-se absolutamente necessárias.

Com a implantação da MCC na usina de Balbina, espera-se:

- Fornecer subsídios à tomada de decisão e priorização de estratégias funcionais para manutenção e operação dos equipamentos da usina, a fim de reduzir as paradas para manutenção corretiva.
- Dispor de uma sistemática de manutenção consolidada, otimizando a disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos.

Diante de tais objetivos, este trabalho está estruturado em oito capítulos: no **segundo** capítulo são apresentados alguns conceitos básicos associados à teoria da confiabilidade, os quais serão amplamente utilizados ao longo do artigo. No **terceiro** capítulo são apresentados os conceitos básicos de manutenção centrada em confiabilidade, sua formulação geral e metodologia. O **quarto** capítulo descreve o mancal combinado do grupo turbina-gerador de Balbina, detalhando sistema de lubrificação e resfriamento de óleo do mancal, objeto de estudo deste artigo. O quinto e sexto capítulos ilustram a aplicação das ferramentas FMEA e FTA, respectivamente, no sistema em estudo. No **sétimo** capítulo é desenvolvida uma análise comparativa da aplicação das duas ferramentas. E o **oitavo** capítulo contém as conclusões, onde é elaborada uma análise mais global das potencialidades da FMEA e FTA, no contexto da MCC, baseando-se nos resultados obtidos em Balbina. Finalmente são apresentadas algumas recomendações, bem como melhorias e limitações dos métodos estudados.

2. CONCEITOS BÁSICOS

Nesta seção são apresentados alguns conceitos básicos e terminologias, associadas à teoria da confiabilidade, os quais são objetos de estudo deste artigo. Adota-se para terminologia a norma NBR-5462 que é uma adaptação da norma IEC-60050-191.

Item: Qualquer parte, componente, dispositivo, subsistema, unidade funcional, equipamento ou sistema que possa ser considerado individualmente.

Sistema: Conjunto de elementos materiais entre os quais se possa encontrar ou definir alguma relação com o objetivo de e atender a uma ou mais funções características do processo (Dicionário Aurélio).

Função: É o que o usuário deseja que o item ou sistema faça dentro de um padrão de performance especificado (Siqueira, 2005). Destaque-se nesta definição, que as funções descrevem os objetivos da existência dos sistemas na visão de seus usuários. Como tal, estabelecem também as possibilidades de falhas, novamente na visão destes usuários.

É importante frisar que preservar a função não é o mesmo que preservar a operação do equipamento, como afirma Smith (1992). As funções de um equipamento se confundem com sua própria finalidade de existência e com as relações estabelecidas entre o equipamento e o todo sistema.

Falha: Término da capacidade de um item desempenhar a função requerida.

Confiabilidade: Probabilidade de um item desempenhar satisfatoriamente a função requerida, sob condições de operação estabelecidas, por um período de tempo predeterminado (Freitas, 1997).

Manutenibilidade: Característica de projeto e instalação que é expressa como a probabilidade que um item será conservado ou restabelecido a uma condição especificada dentro de um período de tempo determinado, quando a manutenção é executada de acordo com procedimentos e recursos preestabelecidos (Blanchard, 1974). A manutenibilidade diz respeito à concepção da *suportabilidade* com a premissa de que itens falham ou necessitam de manutenção preventiva em algum momento. Suportabilidade considera tempo de manutenção, recursos logísticos e custos de manutenção.

Disponibilidade: Capacidade de um item estar em condições de executar certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados. Aumentar a disponibilidade de um equipamento consiste em reduzir o seu número de paradas (confiabilidade) e o tempo gasto para resolver as falhas (manutenibilidade) (Monchy, 1989).

NOTA: Os termos “confiabilidade”, “manutenibilidade” e “disponibilidade” são usados como medidas de desempenho de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade, respectivamente.

Dependabilidade: Termo coletivo usado para descrever o desempenho da disponibilidade e seus fatores de influência: confiabilidade, manutenibilidade e suporte logístico de manutenção. A dependabilidade é usada para descrições genéricas, sem expressão quantitativa.

3. MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

A literatura aponta a MCC como uma ferramenta de manutenção, que visa racionalizar e sistematizar a determinação das tarefas adequadas a serem adotadas no plano de manutenção, bem como garantir a confiabilidade e a segurança operacional dos equipamentos e instalações ao menor custo (Siqueira, 2005).

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

Metodologia

Quando se usa a MCC para estabelecer um método de manutenção, é necessário ter em mente que os métodos de manutenção estabelecidos devem responder correta e precisamente às seguintes perguntas:

- Quais as funções preservar?
- Quais as falhas funcionais?
- Quais os modos de falha?
- Quais os efeitos das falhas?
- Quais as conseqüências das falhas?
- Quais as tarefas aplicáveis e efetivas?
- Quais as alternativas restantes?

Para responder cada questão, a MCC utiliza muitos métodos e ferramentas de um conjunto aberto de soluções, algumas tradicionais, outras recentes e modernas, segundo uma seqüência estruturada e bem documentada, possível de ser auditada. Neste artigo, as ferramentas utilizadas para desenvolver um método de manutenção de acordo com as especificações da MCC foram FMEA (análise dos modos e efeitos de falhas) e FTA (análise por árvore de falhas). A FTA e a FMEA são ferramentas de análise de Produtos e Processamentos que permitem uma avaliação sistemática e padronizada de possíveis falhas, estabelecendo suas conseqüências e orientando a adoção de medidas corretivas ou preventivas.

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma análise comparativa destas duas ferramentas em um estudo de caso do sistema de circulação de óleo (lubrificação e resfriamento) do mancal combinado da unidade geradora hidráulica 04 da usina hidrelétrica de Balbina.

4. SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO E RESFRIAMENTO DO MANCAL COMBINADO (GUIA E ESCORA)

Toda massa girante do grupo turbina-gerador está apoiada axialmente no mancal de escora e radialmente no mancal guia, ambos contidos na mesma cuba de óleo, sendo este conjunto denominado mancal combinado.

O mancal combinado é do tipo deslizante, composto de duas superfícies principais e distintas, sendo a parte móvel acoplada ao eixo, e a parte fixa constituída pelos patins ou sapatas. A parte móvel é formada por um disco de aço polido, comumente chamado de espelho.

Não há contato entre as duas superfícies, pois sempre haverá um filme de óleo entre elas, cuja função é evitar o contato direto de metal com metal e também fazer o resfriamento, dissipando o calor gerado pelo atrito entre as superfícies. A Figura (1) mostra um diagrama do grupo turbina-gerador para facilitar a localização do mancal combinado.

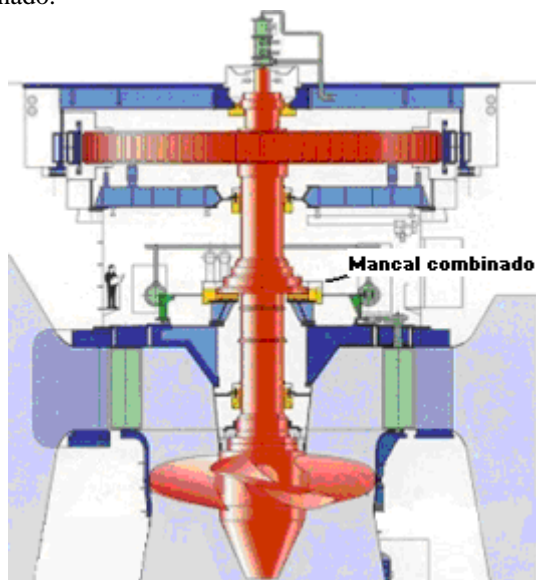


Figura 1. Grupo turbina-gerador Kaplan, ilustrando o mancal combinado.

O óleo é retirado da cuba por um conjunto de bombas, resfriado através de trocadores de calor e reconduzido à cuba onde estão imersas as partes ativas dos mancais. Os trocadores de calor têm como fluido refrigerante a água. Existem dois trocadores, ficando um normalmente em operação e outro como reserva.

Na tubulação de recalque, após o sistema de resfriamento, fica instalado um conjunto de filtros, com a finalidade de completar a limpeza de óleo antes de retornar à cuba.

Devido ao peso da massa girante e o empuxo hidráulico que incide sobre o mancal de escora, é necessário que durante a partida e parada da máquina, seja injetado óleo entre as sapatas e o anel do mancal de escora, para lubrificá-lo. O sistema de injeção de óleo do mancal de escora forma uma película (filme) de óleo entre as partes fixas e girantes, na faixa de 0% a 50% da rotação nominal. Em sua rotação nominal ou mesmo acima de 50% da mesma o mancal de escora é auto-lubrificado.

A injeção de óleo no mancal é realizada por duas bombas de alta pressão, identificadas como “AG” e “AH”, e o resfriamento de óleo é realizado também por duas bombas identificadas como “AI” e “AJ”.

5. ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHAS (FMEA)

A análise dos modos e efeitos de falhas (FMEA) é uma das ferramentas de baixo risco mais eficientes para a prevenção de problemas e para a identificação das soluções mais eficazes, em termos de custo, a fim de prevenir tais problemas.

FMEA é uma técnica dedutiva que consiste na identificação de falhas em cada componente, suas causas e conseqüências no equipamento e no sistema como um todo.

A FMEA pode fornecer, com maior facilidade e objetividade, respostas àquelas questões citadas na subseção (2.1) referentes às falhas dos equipamentos. As etapas de implementação da MCC dependem das respostas a tais questões.

Estudo de caso utilizando FMEA

Para desenvolver a FMEA, inicialmente fez-se um levantamento das funções de cada componente, bem como dos seus modos e efeitos de falhas. Utilizaram-se como respaldo a descrição textual do sistema, contida nas instruções técnicas de operação, os registros falha nos cartões de anormalidades (ordens de serviços de manutenção) da usina, os planos de manutenção atualmente empregados e os descritivos de instrumentação dos equipamentos e componentes. Realizou-se também um brainstorming em conjunto com os operadores da usina para se obter com mais detalhes a descrição das possíveis falhas de cada componente. A documentação da análise FMEA foi desenvolvida segundo o formulário padronizado mostrado na Tab. (1).

Tabela 1. Formulário padronizado de análise FMEA.

| IDENTIFICAÇÃO DO SISTEMA | | | | | |
|--------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------|----------------|------------------|
| FUNÇÃO | Descrição da função do sistema | | | | |
| COMPONENTE | FUNÇÃO DO COMPONENTE | FALHA FUNCIONAL | MODO DE FALHA | CAUSA DA FALHA | EFEITOS DA FALHA |

A seguir há uma explicação de cada coluna do formulário apresentado.

- Função: Ação que o usuário deseja que o item ou sistema execute dentro de um padrão de desempenho especificado.
- Componente: Identificação de cada componente pertencente ao sistema.
- Função do componente: Descrição sucinta e exata da tarefa que o componente deve desempenhar.
- Falha funcional: Descrição de todas as possíveis falhas pertinentes a cada componente.
- Modo de falha: Descrição da forma como a falha é observada pela equipe de operação. Por exemplo, atuação de um determinado tipo de alarme, ou atuação de um relé sinalizando falha.
- Causa da falha: Descrição simples e concisa das ocorrências (causas) que podem dar origem ao tipo de falha considerado.
- Efeito da falha: Conseqüência da ocorrência da falha, percebida ou não pelo usuário final. Pode ser local (não afeta os outros componentes) ou global (pode afetar outras funções ou componentes).

A planilha de análise das funções, modos e efeitos de falhas dos componentes do sistema de lubrificação e resfriamento do mancal combinado é mostrada a seguir (Tab. 2).

Tabela 2a. FMEA dos trocadores de calor do sistema de lubrificação e resfriamento do mancal combinado da UGH-04 de Balbina.

| SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO E RESFRIAMENTO DO MANCAL COMBINADO | | | | | |
|--|--|-----------------------------------|---|---|---|
| FUNÇÃO | Dissipar o calor gerado no mancal guia superior e lubrificar seus componentes. | | | | |
| COMPONENTE | FUNÇÃO DO COMPONENTE | FALHA FUNCIONAL | MODO DE FALHA | CAUSA DA FALHA | EFEITOS DA FALHA |
| 1. Trocadores de calor | Resfriar o óleo | Resfriamento insuficiente do óleo | 1.1 Baixa diferença de temperatura entre os terminais de entrada e saída de óleo dos trocadores, baixa vazão de água, alta temperatura de saída de água | Incrustação nas placas de inox | - Perda das características físico-químicas do óleo - Má formação do filme de óleo |
| | | Vazamento de óleo | 1.2 Baixa vazão de óleo | Desgaste nas borrachas de vedação Folgas nas conexões das placas de inox | - Atuação de TRIP na unidade geradora - Risco de contaminação da carga de óleo - Perda das características físico-químicas do óleo - Distúrbio no funcionamento normal do sistema (falha na lubrificação e resfriamento) |
| | | Vazamento de água | 1.3 Baixa vazão de água | Folgas nas conexões da tubulação de água | - Atuação de TRIP na unidade geradora - Distúrbio no funcionamento normal do sistema (falha no resfriamento) |

Tabela 2b. FMEA das motobombas e filtros

| SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO E RESFRIAMENTO DO MANCAL COMBINADO | | | | | | |
|--|--|--|---|--|--|--------------------------------|
| FUNÇÃO | Dissipar o calor gerado no mancal guia superior e lubrificar seus componentes. | | | | | |
| COMPONENTE | FUNÇÃO DO COMPONENTE | FALHA FUNCIONAL | MODO DE FALHA | CAUSA DA FALHA | EFEITOS DA FALHA | |
| 2. Motobombas de circulação AI e AJ | Bombear o óleo | Operar abaixo da pressão de 1,2 bar | 2.1 Pressão baixa de óleo na saída das motobombas | Vazamento de óleo pelo selo mecânico | - Desliga a bomba prioritária e liga a bomba reserva na pressão baixa. Caso esta também falhe, provoca TRIP na unidade na unidade geradora. - Distúrbio no funcionamento normal do sistema (falha na lubrificação e resfriamento) | |
| | | | | Danificação do acoplamento | | |
| | | | | Corrosão por óleo contaminado ou de má qualidade | | |
| | | | | Cavitação por presença de ar no óleo | | |
| | | Ruído anormal | 2.2 Ruído | Defeito elétrico (pólos danificados) | Desgaste dos rolamentos | - Risco de quebra da motobomba |
| | | | | Má lubrificação dos rolamentos | | |
| Superaquecimento | 2.3 Atuação do relé térmico | Afrouxamento de peças internas provocando atrito com o eixo da motobomba | Lubrificação excessiva | - Desliga a bomba prioritária e liga a bomba reserva na pressão baixa. Caso esta também falhe, provoca TRIP na unidade na unidade geradora. - Distúrbio no funcionamento normal do sistema (falha na lubrificação e resfriamento) | | |
| | | Má lubrificação | | | | |
| | | | | | | |
| 3. Motobombas de injeção AG e AH | Bombear o óleo | Operar abaixo da pressão de 35 bar | 3.1 Pressão baixa de óleo na saída das motobombas | Vazamento de óleo pelo selo mecânico | - Desliga a bomba prioritária e liga a bomba reserva na pressão baixa. Caso esta também falhe, provoca TRIP na unidade na unidade geradora. - Distúrbio no funcionamento normal do sistema (falha na lubrificação e resfriamento) | |
| | | | | Danificação do acoplamento | | |
| | | | | Corrosão por óleo contaminado ou de má qualidade | | |
| | | | | Cavitação por presença de ar no óleo | | |
| | | Ruído anormal | 3.2 Ruído | Defeito elétrico (pólos danificados) | Desgaste dos rolamentos | - Risco de quebra da motobomba |
| | | | | Má lubrificação dos rolamentos | | |
| Superaquecimento | 3.3 Atuação do relé térmico | Afrouxamento de peças internas provocando atrito com o eixo da motobomba | Lubrificação excessiva | - Desliga a bomba prioritária e liga a bomba reserva na pressão baixa. Caso esta também falhe, provoca TRIP na unidade na unidade geradora. - Distúrbio no funcionamento normal do sistema (falha na lubrificação e resfriamento) | | |
| | | Má lubrificação | | | | |
| 4. Filtros | Filtrar o óleo | Não filtrar o óleo | 4.1 Deterioração | Rompimento da manha do filtro | - Risco de contaminação da carga de óleo com resíduos. | |
| | | Obstruir a passagem de óleo | 4.2 Entupimento. Alta pressão diferencial | Ruptura dos O'rings | | |
| | | | | Excesso de impurezas no elemento filtrante | - Comprometimento da lubrificação e resfriamento do sistema | |

Tabela 2c. FMEA das tubulações, válvulas e circuito de comando e controle das motobombas

| | | | | | | |
|--|--|---|---|--|---|---|
| 5. Tubulação | Conduzir o óleo | Não conduzir o óleo corretamente | 5.1 Vazamento. Baixa vazão de óleo | Folgas nas conexões | - Comprometimento na reposição de óleo ao sistema | |
| | | | | Avárias na tubulação | | |
| | | | | Desgaste nas borrachas de vedação | | |
| 6. Válvulas | Isolar componentes do sistema e acessórios de supervisão e controle | Não isolar os acessórios de supervisão e controle | 6.1 Vazamento | Deterioração de sede ou contra sede | - Impossibilidade de executar manutenção nos acessórios de supervisão e controle - Risco de acidente pessoal | |
| | | | | Engripamento da haste | | |
| | | | | Falta de aperto no fechamento da válvula | | |
| | Limitar a pressão em caso de obstrução do circuito | Não aliviar a pressão | 6.2 Sobrepressão. Alta pressão de saída das motobombas | Ajuste indevido | - Atuação de TRIP na unidade geradora - Risco de rompimento das tubulações e vedações - Risco de quebra da motobomba - Possibilidade de contaminação do meio ambiente - Risco de acidente pessoal | |
| | | | | Emperramento | | |
| | | | | Obstrução do fluxo por quebra do mecanismo interno | | |
| 7. Circuito de comando e controle das motobombas | Indicar o status, partir, parar e comutar automaticamente as motobombas. Realizar paradas de emergência. | Perda de indicação de status | 7.1 Perda de indicação | Mau contato na fiação | | - Falha na supervisão |
| | | | | Queima de LED's | | |
| | | Problemas no automatismo das motobombas | 7.2 Problemas de acionamento automático | Má conexão dos bornes da contatora | | - Risco de TRIP na unidade geradora - Distúrbio no funcionamento normal do sistema |
| | | | | Queima de componentes da cartela eletrônica | | |
| | | | | Bobinas das contadoras com resistência ressecada | | |
| | | Contatos danificados | | | | |
| Não obedecer comandos manuais | 7.3 Problemas de acionamento manual | Má conexão dos bornes da contatora | - Risco de TRIP na unidade geradora - Distúrbio no funcionamento normal do sistema | | | |
| | | Queima de componentes da cartela eletrônica | | | | |
| | | Botoeira de comando danificada | | | | |
| Contatos danificados | | | | | | |

Escolheu-se especificamente a unidade geradora hidráulica (UGH) 04 da usina por ser a unidade cuja distribuição de falhas do sistema de lubrificação e resfriamento de óleo, por componentes, é mediana em relação às demais unidades. Ou seja, o comportamento de seu sistema de lubrificação e resfriamento é o que melhor representa a média de falhas deste mesmo sistema em todas as unidades geradoras da usina. A análise da criticidade de cada modo de falha é desenvolvida na seção a seguir.

Pontuação FMEA

Cada modo de falha é numerado seqüencialmente, reiniciando a contagem a cada novo componente. Este número servirá como um indicador do modo de falha, sendo referenciado no formulário de pontuação FMEA.

A partir dos identificadores do modo de falha, foram estabelecidos índices para avaliação da importância que cada modo representa para o processo de geração hidráulica. Os fatores para avaliação dos componentes consistem numa série de critérios utilizados para avaliar a criticidade ou prioridade de risco de um componente. Nesta avaliação é considerada a influência de três parâmetros: severidade, ocorrência e detecção das falhas.

- Severidade: Trata-se de um índice que reflete a gravidade das conseqüências de uma falha. Quanto maior o índice, maior a gravidade.
- Ocorrência: É um índice definido em função do número de ocorrências de falhas registradas nos cartões de anomalia e ordens de serviço de Balbina nos últimos 3 anos (no caso, durante o período de 2004 a 2006). O índice de ocorrência é dinâmico e deve ser reavaliado anualmente

considerando o número de falhas dos 3 últimos anos imediatamente posteriores ao ano em questão. Portanto, a análise FMEA é dinâmica e tem seus valores alterados anualmente.

- Detecção: É um índice construído com base na estimativa da probabilidade de uma falha ser detectada, assumindo-se que ela tenha ocorrido.

Tais parâmetros são normalmente medidos em uma escala de 1 a 10, o número 1 indica uma menor importância da falha, do ponto de vista de determinado parâmetro, e o número 10 indica que a maior importância que deve ser atribuída à falha. Os critérios de classificação de cada um destes parâmetros são apresentados na Tab. (3).

Tabela 3. Critérios para avaliação dos modos de falha.

| Severidade | | Ocorrência | |
|------------|---|------------|---|
| 1 | Efeito bastante insignificante, corrigido imediatamente pela operação. | 1 | Sem registro de falha nos últimos 3 anos. |
| 2 | Efeito insignificante, corrigido imediatamente pela manutenção. | 2 | 1 falha nos últimos 3 anos. |
| 3 | Efeito menor, o componente sofre uma degradação progressiva caso não seja reparado. | 3 | 2 falhas nos últimos 3 anos. |
| 4 | Efeito moderado, o componente não desempenha sua função, mas a falha não provoca TRIP na unidade geradora e sua manutenção não exige parada de máquina. | 4 | 3 falhas nos últimos 3 anos. |
| 5 | Efeito moderado, que não provoca atuação de TRIP na unidade geradora, mas cuja manutenção exige parada de máquina. | 5 | 4 ou 5 falhas nos últimos 3 anos. |
| 6 | Efeito moderado que provoca atuação de TRIP na unidade geradora e cuja manutenção exige parada de máquina por um dia ou menos. | 6 | 6 falhas nos últimos 3 anos. |
| 7 | Efeito crítico que provoca atuação de TRIP na unidade geradora e cuja manutenção exige parada de máquina por mais de um dia. | 7 | 7 falhas nos últimos 3 anos. |
| 8 | Efeito bastante crítico que provoca atuação de TRIP na unidade geradora e interrompe bruscamente as funções do sistema. | 8 | 8 falhas nos últimos 3 anos. |
| 9 | Efeito bastante crítico que provoca atuação de BLECAUTE nas unidades geradoras e colapso do processo. | 9 | 9 falhas nos últimos 3 anos. |
| 10 | Efeitos catastróficos que podem ocasionar danos a bens ou pessoas. | 10 | 10 ou mais falhas nos últimos 3 anos. |
| Detecção | | | |
| 1 | Falha indicada diretamente pela instrumentação. | | |
| 3 | Falha identificada pelas inspeções diárias da equipe operação (Ex. vazamentos, fluido condensado nos balões de ar). | | |
| 5 | Falha identificada por ruídos anormais, ou indiretamente pela instrumentação. | | |
| 7 | Falha oculta, impossível de ser identificada pelo operador. | | |

Tabela 4. Formulário de pontuação FMEA.

| SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO E RESFRIAMENTO DO MANCAL COMBINADO | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|------------|----------|-----------------------|---------------------|---|------------|----------|-----------------------|---------------------|---|------------|----------|-----------------------|
| ID DO MODO DE FALHA | FATORES PARA AVALIAÇÃO DO MODO DE FALHA | | | | ID DO MODO DE FALHA | FATORES PARA AVALIAÇÃO DO MODO DE FALHA | | | | ID DO MODO DE FALHA | FATORES PARA AVALIAÇÃO DO MODO DE FALHA | | | |
| | SEVERIDADE | OCORRÊNCIA | DETECÇÃO | AVALIAÇÃO GERAL (NPR) | | SEVERIDADE | OCORRÊNCIA | DETECÇÃO | AVALIAÇÃO GERAL (NPR) | | SEVERIDADE | OCORRÊNCIA | DETECÇÃO | AVALIAÇÃO GERAL (NPR) |
| 1.1 | 2 | 10* | 1 | 20 | 3.1 | 6 | 1 | 1 | 6 | 6.1 | 3 | 1 | 3 | 9 |
| 1.2 | 7 | 1 | 1 | 7 | 3.2 | 3 | 1 | 5 | 15 | 6.2 | 6 | 1 | 1 | 6 |
| 1.3 | 3 | 2 | 1 | 6 | 3.3 | 4 | 1 | 1 | 4 | 7.1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2.1 | 4 | 1 | 1 | 4 | 4.1 | 4 | 2 | 7 | 56 | 7.2 | 6 | 4 | 3 | 72 |
| 2.2 | 3 | 1 | 5 | 15 | 4.2 | 4 | 1 | 1 | 4 | 7.3 | 6 | 2 | 3 | 36 |
| 2.3 | 4 | 1 | 1 | 4 | 5.1 | 7 | 1 | 3 | 21 | | | | | |

*Quantidade de limpezas nos trocadores de calor (UGH-04): 19.

A partir destes parâmetros é definido o chamado número de prioridade de risco (NPR). O NPR é o valor calculado pelo produto dos três índices anteriores (*Severidade x Ocorrência x Detecção*). É utilizado para a priorização da tomada de ação. É uma maneira prática de priorizar certas falhas e avaliar quais providências devem ser tomadas primeiramente. O formulário de pontuação FMEA da unidade geradora hidráulica 04 da usina hidrelétrica de Balbina é mostrado na Tab. (4).

Feita a análise FMEA, segue uma análise por árvore de falhas (FTA) para que se possa desenvolver um estudo comparativo dessas duas ferramentas.

6. FAULT TREE ANALYSES (FTA)

A FTA consiste na construção de um diagrama lógico (árvore de falhas), através de um processo dedutivo que, partindo de um evento indesejado pré-definido, busca as possíveis causas de tal evento. O processo segue investigando as sucessivas combinações de falhas dos componentes até atingir as chamadas falhas básicas (ou eventos básicos da FT), as quais constituem o limite de resolução da análise. O evento indesejado é comumente chamado de “evento topo” da árvore.

O conceito fundamental da FTA consiste na tradução de um sistema físico em um diagrama lógico estruturado, em que certas causas específicas conduzem a um evento topo de interesse.

A grande popularidade da FTA advém, fundamentalmente, de dois aspectos:

- primeiro, da maior flexibilidade da representação gráfica de sistemas complexos proporcionada pela simbologia específica e,
- segundo, da maior facilidade computacional devido ao menor número de algoritmos significativos necessários para o cálculo das probabilidades de falhas quando comparado ao necessário para o caso dos valores típicos das probabilidades de sucesso.

Estudo de caso utilizando FTA

É uma prática comum entre os especialistas em confiabilidade e risco ao analisar um sistema de árvore de falhas (FT) dividi-lo por etapas:

Etapa 1 - Definição do sistema, suas fronteiras e interfaces,

Etapa 2 - Definição do evento topo da FT,

Etapa 3 - Construção da FT,

Etapa 4 - Levantamento dos dados de falhas dos eventos,

Etapa 5 - Determinação dos cortes mínimos,

Etapa 6 - Avaliação qualitativa da FT,

Etapa 7 - Avaliação quantitativa da FT,

Etapa 8 - Avaliação da importância dos cortes mínimos,

Etapa 9 - Análise dos resultados obtidos,

Etapa 10-Conclusões.

O sistema a ser analisado consiste no mesmo da análise FMEA, isto é, o sistema de lubrificação e resfriamento do mancal combinado, cujos componentes e fronteiras já estão bem definidos. O evento de topo da FT foi definido como sendo falha no sistema de lubrificação e resfriamento do mancal combinado. A árvore cuja combinação lógica de eventos básicos conduz à falha no referido sistema é mostrada na Fig. (1). A árvore de falhas foi desenvolvida utilizando-se o software Relex® da Relex Software Corporation.

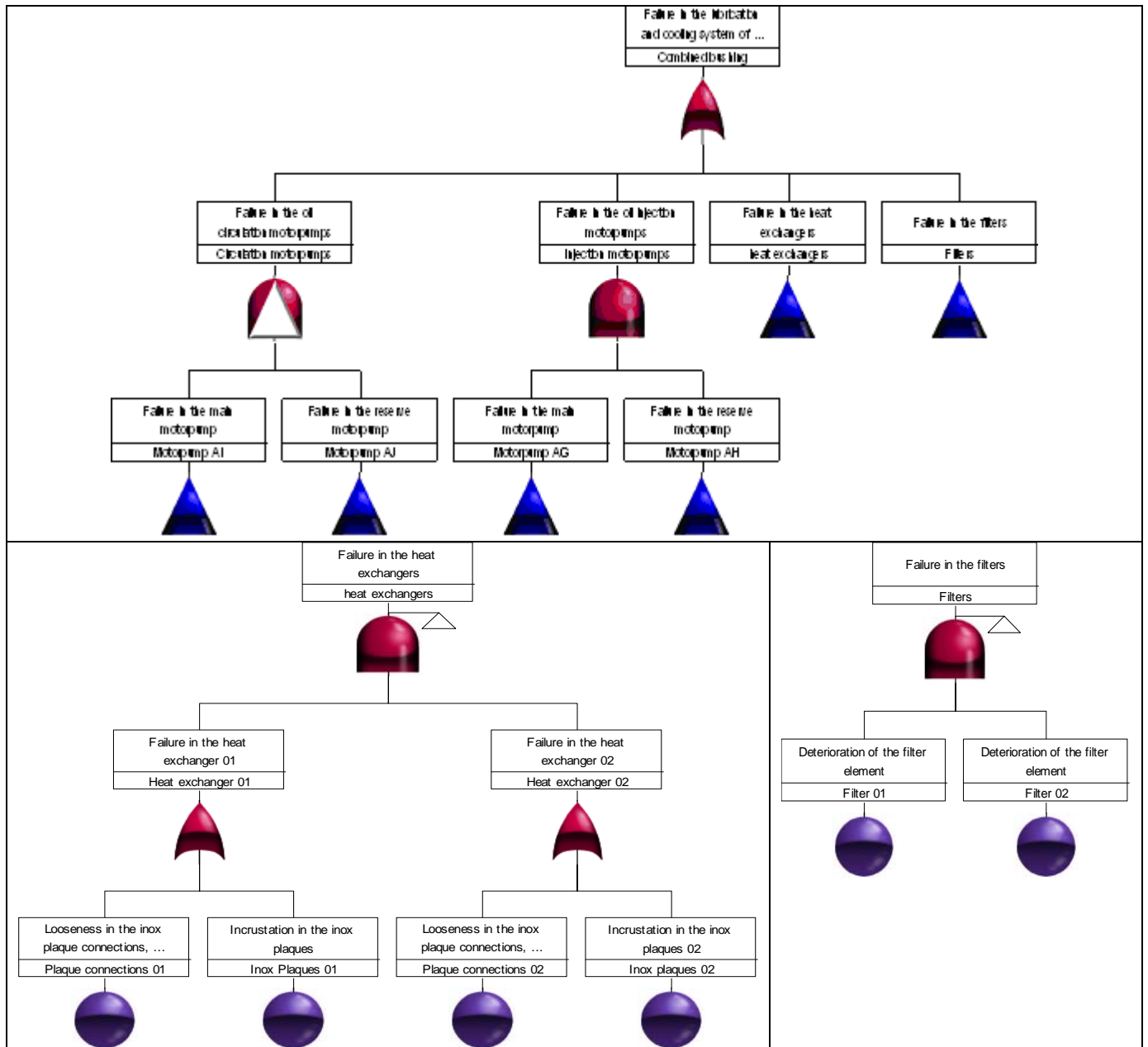


Figure 2a. Árvore de falhas do sistema de lubrificação e resfriamento do mancal combinado (falhas gerais, falhas nos trocadores de calor e nos filtros).

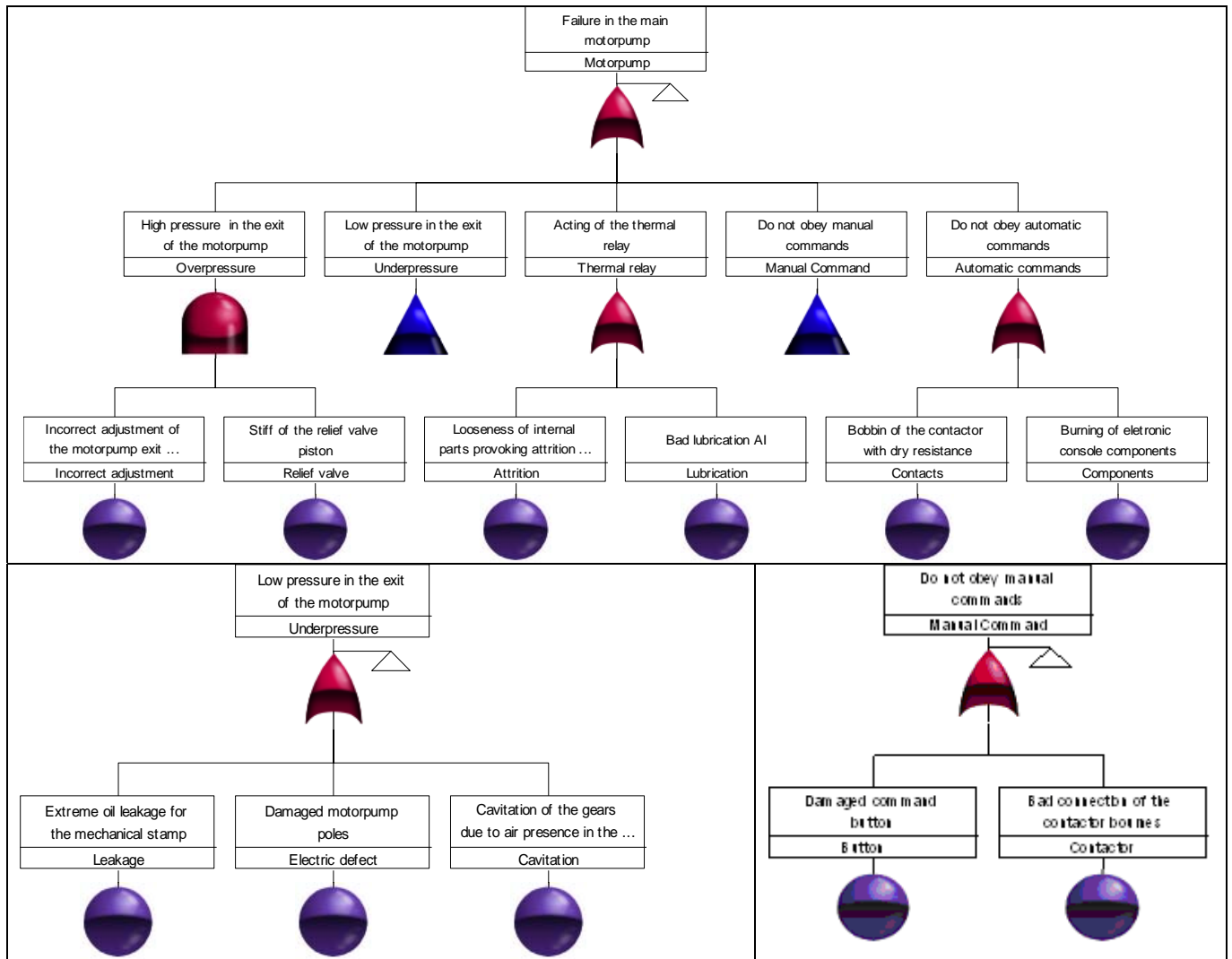


Figure 2b. Árvore de falhas do sistema de lubrificação e resfriamento do mancal combinado (falhas nas motobombas).

É importante ressaltar que as falhas básicas referentes a todas as motobombas (AI, AJ, AG e AH) são essencialmente as mesmas e foram genericamente dispostas na árvore de falhas com a descrição *motorpump*. Portanto, deve-se ler a árvore sabendo que a porta lógica OU contendo a descrição *motorpump* representa cada uma das motobombas, AI, AJ, AG ou AH, conforme o caso.

As etapas subsequentes de análise do sistema de árvore de falhas são desenvolvidas na seção 6, em que é realizado um estudo comparativo das ferramentas FMEA e FTA para predição de confiabilidade.

7. FMEA E FTA, UM ESTUDO COMPARATIVO

Uma vez que o campo de *ocorrência* de falhas, na análise FMEA, é uma função da quantidade de falhas registrada no sistema de gestão de manutenção da usina, observa-se, pelo campo *ocorrência* da Tabela (2), que ao longo dos últimos 3 anos ocorreram falhas apenas em três componentes: 20 falhas nos trocadores de calor, 1 nos filtros e 4 no circuito de comando das motobombas.

O número de prioridade de risco (NPR) é um importante produto gerado pela FMEA, pois permite identificar modos de falha críticos no sistema, isto é, modos de falha cuja tomada de decisão em relação às ações de manutenção deve ser priorizada. Assumindo-se que um NPR maior que trinta indica um modo de falha crítico e que componentes considerados críticos são componentes que apresentam modos de falha críticos, a análise FMEA indica a existência de dois componentes críticos no sistema de lubrificação e resfriamento do mancal combinado: o filtro 01 e o circuito de comando e controle das motobombas. Nota-se que os trocadores de calor, apesar de apresentarem 20 falhas, não constituem componentes críticos, pois as falhas apresentadas possuem efeito praticamente insignificante, facilmente reparável.

Pode-se dizer que o NPR, com sua forma simples e eficiente de calcular, é uma vantagem da FMEA em relação à FTA, pois permite priorizar as falhas não só pelo número de ocorrências, mas também pela severidade que representam e pela forma com que se manifestam e com que são identificadas.

Assim como na análise FMEA, o levantamento dos dados de falhas dos eventos básicos da FT foi desenvolvido com base no número de ocorrências de falhas registradas nos cartões de anomalia e ordens de serviço de Balbina durante o período de 2004 a 2006.

A probabilidade de falha de cada evento básico da FT foi calculada de acordo com a taxa de falha, conforme descrito na Eq. (1), a partir das informações detalhadas sobre cada falha e sobre o tempo de duração das falhas.

$$\text{taxa de falha} = \frac{\text{n}^\circ \text{ de falhas do componente no período considerado}}{\text{tempo total que o componente ficou operando}} \quad (1)$$

A taxa de falha de cada evento básico da FT em estudo é mostrada na Tab. (5).

Tabela 5. Probabilidade de falha dos eventos básicos

| Evento Básico | Taxa de falha (falhas/hora) | Evento Básico | Taxa de falha (falhas/hora) |
|---|-----------------------------|---|-----------------------------|
| Incrustation in the inox plaques of heat exchanger 01 | $3,975 \cdot 10^{-4}$ | Bobbin of the contactor of motorpump AI with dry resistance | $3,960 \cdot 10^{-5}$ |
| Looseness in the inox plaque connections of heat exchanger 02 | $3,961 \cdot 10^{-5}$ | Bobbin of the contactor of motorpump AJ with dry resistance | $3,960 \cdot 10^{-5}$ |
| Incrustation in the inox plaques heat exchanger 02 | $3,576 \cdot 10^{-4}$ | Bobbin of the contactor of motorpump AG with dry resistance | $3,960 \cdot 10^{-5}$ |
| Deterioration of the filter element 01 | $3,960 \cdot 10^{-5}$ | Bad connection of the contactor bourns of motorpump AJ | $3,960 \cdot 10^{-5}$ |

Os eventos não citados na Tabela (5) não estão registrados nos cartões de anomalia, ou seja, representam falhas que não ocorreram nos últimos 3 anos. Para estes eventos assumiu-se uma taxa de falha correspondente a uma falha em 15 anos ($7,615 \cdot 10^{-6}$ falhas/hora).

A FTA, por ser um modelo gráfico, permite mostrar de uma maneira clara o encadeamento dos diferentes eventos que podem dar por resultado o evento de topo. O evento de topo se trata de uma falha ou problema particular do sistema considerada suficientemente séria para demandar uma análise posterior. Há uma diferença de abordagem da FTA com relação à FMEA, enquanto a primeira se utiliza de modos de falha específicos, criteriosamente selecionados (eventos de topo), a segunda se concentra na identificação de todos os modos de falha de cada componente separadamente.

A FTA permite a análise conjunta de várias causas que levarão à ocorrência do Evento de Topo, proporcionando ao analista um maior entendimento do comportamento operacional do sistema. Permite ainda identificar como os componentes constituintes do sistema estão interligados. Permite, por exemplo, definir o comportamento de equipamentos em redundância, como é o caso dos filtros e trocadores de calor, ou em stand-by, como é o caso das motobombas.

Obtido o conjunto de eventos que constituem o limite de resolução da árvore de falhas e identificadas as denominadas causas básicas e as probabilidades de ocorrência das causas básicas, a próxima etapa de análise da árvore de falhas é a determinação dos cortes mínimos. Um corte de uma FT é um conjunto de eventos básicos cuja ocorrência implica na ocorrência do evento topo. E um corte mínimo é um conjunto de eventos básicos que não pode ser reduzido sem perder a condição de corte ou são as combinações mínimas de eventos que quando ocorridas levam à falha do sistema. A FT em estudo possui 98 cortes mínimos, sendo 1 de primeira ordem, 87 de segunda, 9 de terceira e 1 de quarta.

Os cortes mínimos críticos, isto é, com maior probabilidade de ocorrerem são falha nos trocadores de calor por incrustação nas placas de inox, com probabilidade de ocorrência de $1,421 \cdot 10^{-7}$ falhas/hora e falha no circuito de comando e controle das motobombas, com probabilidade de ocorrência de $1,568 \cdot 10^{-9}$. As falhas nos trocadores de calor são consideradas cortes mínimos críticos em função da grande ocorrência deste tipo de falha, conforme observado na Tabela (2). Neste caso, nota-se que a proteção por redundância de equipamento permitiu que a falha mais freqüente de toda a unidade geradora hidráulica 04, sujeira nos trocadores de calor do mancal combinado, não fosse tão intensamente refletida no evento de topo, uma vez que apesar dos 19 casos de sujeira nos trocadores de calor registrados nas

ordens de serviço da usina, a probabilidade de que este corte mínimo provoque uma falha no sistema em estudo é da ordem de uma em dez milhões (10^{-7}). É importante ressaltar que a probabilidade de ocorrência de falhas em equipamentos que operam em redundância é igual ao produto das probabilidades de falha de cada equipamento operando separadamente.

8. CONCLUSÃO

Comparando as respostas de cada uma das duas ferramentas de análise de confiabilidade, observam-se resultados diferentes. A análise FMEA indica que os componentes críticos do sistema são circuitos de comando das motobombas e filtros. Este resultado advém da severidade relativamente alta que as falhas nestes componentes apresentam. As falhas nos circuitos de comando das motobombas podem inviabilizar a comutação automática das mesmas podendo causar parada na máquina por vazão insuficiente de óleo, nível baixo de óleo na cuba ou alta temperatura. E a deterioração da malha dos filtros inviabiliza a devida filtração do óleo, alterando as propriedades físicas de lubrificação do óleo e conseqüentemente, causando atrito excessivo e alta temperatura do sistema. Estas duas falhas citadas são consideradas graves e devem ser priorizadas numa eventual tomada de decisão com relação à manutenção.

Entretanto, estes dois equipamentos supracitados, motobombas e filtros, estão em redundância, como pode ser observado na árvore de falhas. Portanto, a probabilidade de que falhas nestes equipamentos afetem o restante do sistema é bastante reduzida. A análise FTA considera como componentes críticos do sistema de lubrificação e resfriamento do mancal combinado os trocadores de calor e os circuitos de comando das motobombas. Apesar dos trocadores não apresentarem falhas consideradas graves, eles apresentam falhas bastante freqüentes. Observa-se que a análise FTA não considera a severidade das falhas, mas somente a ocorrência. Neste caso, é o evento de topo que deve ser selecionado de maneira criteriosa, de modo que todos os eventos básicos sejam todos, de certa forma, graves. O segundo componente mais crítico encontrado pela FTA corresponde ao componente mais crítico encontrado pelo FMEA, o que indica que a falha nos circuito de comando das motobombas são tão severas quanto freqüentes.

Enfim, verifica-se que as duas técnicas, FMEA e FTA, são de grande importância para avaliação de falhas potenciais de um sistema. Propiciam uma base objetiva para análise do projeto do sistema, para justificar mudanças, para analisar modos comuns de falhas e demonstrar atendimento aos requisitos de segurança. São técnicas que se complementam, é recomendado que ambas sejam utilizadas para um estudo de confiabilidade mais completo. As técnicas de FMEA e FTA podem proporcionar à empresa:

- uma forma sistemática de se catalogar informações sobre as falhas dos produtos/processos;
- melhor conhecimento dos problemas nos produtos/processos;
- ações de melhoria no projeto do produto/processo, baseado em dados e devidamente monitoradas (melhoria contínua);
- diminuição de custos por meio da prevenção de ocorrência de falhas;
- o benefício de incorporar dentro da organização a atitude de prevenção de falhas, a atitude de cooperação e trabalho em equipe e a preocupação com a satisfação dos clientes;

Ambas possuem grandes vantagens: FMEA por listar detalhadamente cada modo de falha e possibilitar a classificação das falhas não só pela freqüência com que ocorrem, mas também pela severidade que apresentam e pelo grau de dificuldade de serem detectadas. E FTA por possibilitar ao analista uma visão geral dos componentes da planta e da forma com que se relacionam. Permite identificar facilmente os defeitos do processo e propor melhorias como proteções por redundâncias ou por sistemas de monitoramento eficazes.

As análises feitas via FTA e FMEA devem conduzir à elaboração de um plano de ação para execução das ações corretivas ou preventivas recomendadas. Conforme observado pela aplicação dessas técnicas, o sistema em estudo possui uma confiabilidade bastante alta, com taxas de falha bastante reduzidas em função da redundância de equipamentos. A única melhoria sugerida neste caso seria um planejamento no sentido de reduzir o acúmulo de sujeira nos trocadores de calor, possivelmente melhorando a filtração da água que circula nos trocadores ou alterando o ponto de tomada de água na caixa espiral da turbina, de modo que entre uma menor quantidade de sujeira.

9. REFERENCES

- Eletronorte, Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A, “Relatório Mensal de Operação”, May 2002.
Eletronorte, Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A, “Instrução Técnica de Operação, Sistema de Mancal, UHE Balbina”, Apr. 1987.

Fonseca, L. A. N., “Manutenção Baseada em Confiabilidade – A experiência Aeronáutica a Serviço da Indústria em Geral”, ABRAMAN – 10º Congresso Brasileiro de Manutenção: p.27-44, Rio de Janeiro, 1995.

Fuji, S.; Kwak, R. Y.; Park, B. Y.; Sohn, J. Y.; Takakusagi, A., “Development of an optimal preventive maintenance model based on the reliability assessment for air-conditioning facilities in office buildings”, Building and environment, 2004 < <http://www.sciencedirect.com> >

Moubray, J., “RCM II – Reliability Centered Maintenance”, 2ª edição, New York: Industrial Press Inc, 1997.

NBR-5462, “Confiabilidade e Mantenabilidade, Normas Técnicas Brasileiras – NBR”, 1994.

Simões Filho, S., “Análise de árvore de falhas considerando incertezas na definição dos eventos básicos”, COPPE/UFRJ, D.Sc., Rio de Janeiro, 2006

Siqueira, I. P., “Manutenção Centrada na Confiabilidade – Manual de Implementação”, Qualitymark, Rio de Janeiro, 2005.

10. TERMO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluso neste artigo.

Atividade 2: Consolidação da ferramenta FMEA como base de conhecimento associada sistema SIMPREBAL:

As TAGs monitoradas identificam padrões segundo os quais é possível reconhecer um determinado defeito, e uma possível ocorrência de uma determinada falha cujas causas, efeitos e procedimentos para manutenção estão descritos no documento FMEA já desenvolvido. Tais causas, efeitos e procedimentos de manutenção constituirão as bases de conhecimento do sistema SIMPREBAL e os elementos básicos para a formulação das regras de produção.

Atividade 3: Desenvolvimento da metodologia das regras de produção do SIMPREBAL baseadas no modelo de sete camadas OSA-CBM.

A arquitetura OSA-CBM consiste em sete camadas (Fig. 3). Uma camada é vista como uma coleção de tarefas semelhantes ou funções em níveis diferentes de abstração.

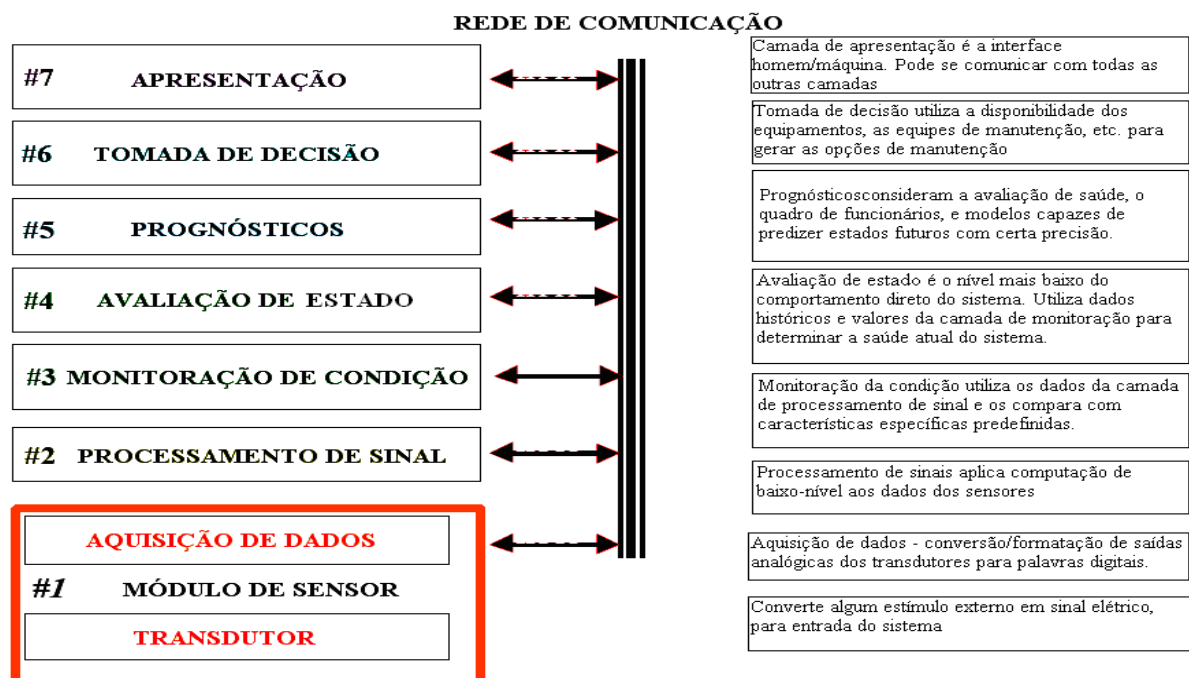


Figura 3 – As sete camadas da arquitetura OSA-CBM.

As camadas hierárquicas representam uma transição lógica ou um fluxo da saída dos sensores para a camada de tomada de decisão, através das camadas intermediárias. A camada de apresentação é uma exceção dentro da arquitetura, pois permite comunicação ponto-a-ponto entre esta camada e qualquer outra.

A seguir são apresentadas as sete camadas e como estas camadas se ajustam ao sistema SIMPREBAL:

1. **Módulo de sensor:** A camada de módulo de sensor consiste no transdutor e elementos de aquisição de dados. O transdutor converte alguns estímulos em energia elétrica ou óptica. A aquisição de dados é a formatação de produção analógica do transdutor para um formato digital. *Neste projeto, a aquisição de dados corresponde à obtenção dos TAGs referentes a cada equipamento. A obtenção é feita via OPC. Os valores lidos de cada TAG são armazenados em banco de dados para que seja possível realizar uma análise de tendência ou de evolução dos TAGs e, desta forma, desenvolver diagnósticos e prognósticos.*
2. **Processamento de sinal:** A camada de processamento de sinais processa os dados digitais do módulo de sensor de modo a convertê-los numa forma específica capaz de representar a grandeza física que está sendo monitorada e, caso necessário, efetuar cálculos matemáticos sobre ela. Além disso, esta camada é responsável por processar os parâmetros e comandos enviados pelo usuário ao módulo sensor. *O processamento de sinal converte o valor da obtida via OPC, de modo a aumentar sua precisão ou reduzir o custo computacional para que possa ser utilizada de forma mais eficiente pela máquina de inferência.*
3. **Monitoração de Condição:** Esta camada determina a condição da planta, de seus subsistemas, ou componentes (excede limiar, ciclo de tensão, condição operacional, métrica de uso) baseado em algoritmos, sistemas inteligentes e na saída dos módulos de sensores e processamento de sinal. Esta camada pode fazer uso de histórico de condição local e fornece parâmetros para o modelo. *Duas dimensões devem ser consideradas. Na primeira o conversor FieldBus e o sistema Assetview da Smar fornecem análises relativa a condição da instrumentação FieldBus. Na segunda dimensão o sistema SIMPREBAL fornece a condição do sistema monitorado. A monitoração de condição é o primeiro resultado das comparações desenvolvidas pelas regras de produção.*
4. **Avaliação de saúde:** A camada de avaliação de saúde determina a saúde do sistema, subsistemas ou componentes monitorados baseando-se na saída do módulo de monitoração de condição, das condições históricas e de valores de referência. *A saída desta camada é um índice de estado do equipamento monitorado, um KPI de saúde. Duas dimensões também devem ser consideradas. Na primeira o conversor FieldBus e o sistema Assetview da Smar fornecem a avaliação da saúde da instrumentação FieldBus. Na segunda dimensão o sistema SIMPREBAL fornece a avaliação da saúde do sistema monitorado.*
5. **Prognósticos e Diagnósticos:** A camada de prognósticos considera a avaliação de saúde do sistema, subsistema, ou componente, o escalonamento empregado (predição de uso - cargas e duração) e capacidade de raciocínio do modelo para predizer o estado de saúde do equipamento, com uma

determinada precisão. A camada de diagnósticos identifica uma possível causa capaz de explicar o atual estado de saúde do sistema. É uma interpretação direta da avaliação de saúde e do registro de ocorrências mais freqüentes. *O sistema SIMPREBAL irá utilizar abordagem baseada em Sistemas Inteligentes – Sistemas Especialistas – que serão desenvolvidos usando inicialmente a ferramenta Jess.*

6. **Tomada de decisão:** A camada de tomada de decisão integra informações necessárias para que se tome uma determinada atitude diante de uma condição específica do sistema. É baseada em informações sobre a avaliação do estado do sistema, subsistemas ou componentes, bem como em uma noção a respeito da severidade, urgência e importância de se tomar certa decisão. A tomada de decisão envolve uma avaliação rigorosa das conseqüências de tal decisão, além de exigências de missão e incentivos financeiros. Provê indicando ações e alternativas com as implicações de cada alternativa. *O sistema SIMPREBAL irá realizar a tomada de decisão baseado na sua base de conhecimento complementada pelas informações de inspeções simplificadas e detalhadas realizadas pelo sistema de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC). A tomada de decisão irá os efeitos que podem ter um determinado defeito ou falha e as perdas relacionadas a este defeito.*

7. **Apresentação:** A camada de apresentação suporta a interface com o usuário. Permite a monitoração, por meio de visualização dos dados medidos pelo módulo sensor, e o controle do sistema, através de parâmetros enviados pelo usuário ao módulo sensor. Esta camada provê independência para as aplicações em relação às diferentes formas de representação dos dados, bem como, fornece inteligibilidade aos resultados produzidos pelas camadas inferiores, e fornece também a interface homem/máquina. *A camada de apresentação do sistema SIMPREBAL será desenvolvida para a partir de uma interação com o supervisor desenvolvido pela Rockwell, mostrando à operação os eventuais defeitos do sistema, e à gerência os efeitos de determinado evento de falha e os índices de disponibilidade, confiabilidade, perdas, e tempo médio entre falhas.*

A Figura 4 mostra as linhas gerais de uma regra de produção baseada no modelo de sete camadas OAS-CBM:

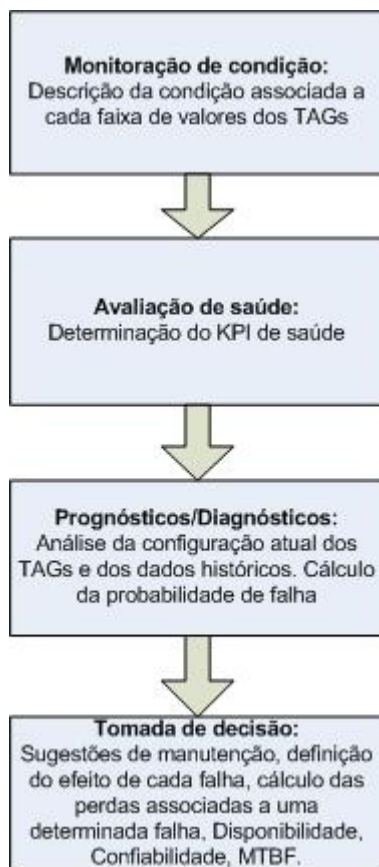


Figura 4. Metodologia das regras de produção associadas ao modelo OSA-CBM

Atividade 4: Conexão do sistema SIMPREBAL ao banco de dados do software Assetview da planta didática 3 (PD3) da Smar.

O sistema SIMPREBAL foi conectado ao banco de dados Assetview utilizando-se os seguintes parâmetros de configuração:

```

[SqlGeral]
DriveAddress = com.microsoft.sqlserver.jdbc.SQLServerDriver
ComAddress = jdbc:sqlserver://164.41.17.129:1092;databaseName=AssetView
user = sa
passwd = smar
  
```

Atividade 5: Estruturação do banco de dados do sistema SIMPREBAL

O banco de dados do sistema SIMPREBAL deverá conter os seguintes campos:

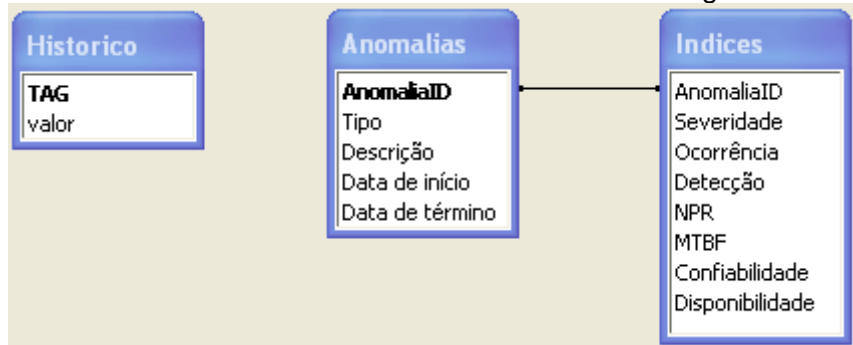


Figura 5. Tabelas do banco de dados do sistema SIMPREBAL

Cada sistema deve ter um histórico dos últimos valores lidos. A partir do histórico pode-se descobrir determinadas anomalias. Cada anomalia tem uma chave primária (código), um tipo (defeito elétrico, mecânico ou hidráulico), uma descrição (referente à monitoração de condição das regras de produção), e datas de início e término para o cálculo da duração da falha. Para cada código de falha são gerados o índices NPR (número de prioridade de risco, igual ao produto dos índices de severidade, ocorrência e detecção), MTBF (tempo médio entre falhas), confiabilidade e disponibilidade (baseados no MTBF e no número de ocorrência de falhas).

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GIARRATANO, J., RIEY, G., “Expert Systems: Principles and Programming”, 4^a edição, Boston, PWS Publishing Company, 1998.

GIARRATANO, J., RIEY, G., “CLIPS Reference Manual – volume I, Basic Programming Guide”, Prantice Hall, 2006.

HELMAN, H.; ANDERY, P. R. P., “Análise de Falhas (Aplicação dos Métodos de FMEA – FTA)”, Série Ferramentas da Qualidade – Volume 11, Belo Horizonte: MANAUS ENERGIA, [on line] Disponível no endereço <<http://www.manausenergia.gov.br>> Acessado em: 20/03/2007.

MOUBRAY, J., “RCM II – Reliability Centered Maintenance”, 2^a edição, New York: Industrial Press Inc, 1997.

SCARPIN, C. A., “Análise Sistêmica de Falhas”, Editora Desenvolvimento Gerencial, 1999.

SIQUEIRA, I. P., “Manutenção Centrada na Confiabilidade – Manual de Implementação”, Qualitymark, Rio de Janeiro, 2005.

SMAR (2001). Equipamentos de Campo série 302 Foundation. Manual de instalação, operação e manutenção. 42 p.

SMAR (2005). Manual de instruções dos blocos funcionais Fieldbus Foundation. 334 p.

Rodrigo de Queiroz Souza – Aluno do curso de Sistemas Mecatrônicos – UnB

Prof. Alberto José Álvares – ENM/UnB (Orientador)