

# Análise FMEA Para Aplicação da Metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade: Estudo de Caso em Turbinas Hidráulicas

Alberto José Álvares<sup>1</sup>, Rodrigo de Queiroz Souza<sup>1</sup>, Luciana Pereira Fernandes<sup>1</sup>

(1) Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Campus Universitário Darcy Ribeiro, 70910-900 – Asa Norte – Brasília – DF, Brasil.  
(alvares@AlvaresTech.com, rodrigoqsouza@gmail.com, luciana.lpf@gmail.com)

## RESUMO

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o impacto da aplicação da MCC no sistema de geração energia elétrica. O FMEA (Failure Modes and Effects Analysis, Análise dos Efeitos e Modos de Falha) será a ferramenta utilizada para fornecer suporte no estudo das falhas do sistema de circulação do mancal de escora de uma turbina hidráulica do tipo Kaplan utilizada pela usina hidrelétrica (UHE) de Balbina – Amazonas – Brasil.

## INTRODUÇÃO

A MCC (Manutenção Centrada em Confiabilidade) consiste em uma metodologia que visa determinar as tarefas adequadas a serem adotadas no plano de manutenção a fim de garantir a manutenibilidade das funções específicas de cada dispositivo, equipamento ou instalação. Esta metodologia tem sido importante por atender às novas exigências de mercado, como qualidade e durabilidade dos bens de consumo, bem como determinar as tarefas que devem ser adotadas no plano de manutenção de modo a garantir a confiabilidade e a segurança operacional dos equipamentos e instalações ao menor custo. Quando se usa a MCC para estabelecer um método de manutenção, é necessário ter em mente que os métodos de manutenção estabelecidos devem responder às seguintes perguntas: Quais as funções preservar? Quais as falhas funcionais? Quais os modos de falha? Quais os efeitos das falhas? Quais as consequências das falhas? Quais as tarefas aplicáveis e efetivas? Quais as alternativas restantes? Para desenvolver um método de manutenção de acordo com as especificações da MCC foi utilizado como ferramenta de auxílio o FMEA. O FMEA é uma ferramenta que visa a identificação e análise dos modos e causas de falhas ocorrentes nos chãos de fábrica e posterior estudo das consequências destas falhas e adoção de medidas de manutenção. Com o FMEA é possível identificar com maior facilidade as ações que poderiam eliminar ou reduzir a chance de uma falha potencial ocorrer. O FMEA pode fornecer, com maior facilidade e objetividade, respostas àquelas questões supracitadas referentes às falhas dos equipamentos. As etapas de implementação da MCC dependem das respostas a tais questões.

## ESTUDO DE CASO: SISTEMA DE CIRCULAÇÃO DO MANCAL ESCORA DA TURBINA

Dentre os critérios para a escolha do equipamento a ser desenvolvida a aplicação, optou-se pelo mancal de escora da turbina por ser o equipamento com maior número de falhas registradas nos históricos de manutenção da usina, representando aproximadamente 18% do número total de falhas. Dada a extensa quantidade de equipamentos, componentes e dispositivos do mancal de escora, a análise limitou-se a um de seus sistemas auxiliares: o sistema de circulação de óleo. O mancal de escora da UHE de Balbina é do tipo a patins com cuba fixa, apoiado sobre cone suporte e com sistemas auxiliares associados para dissipação de calor (sistemas de circulação de óleo e de resfriamento) e partida da unidade (sistema de injeção de óleo). A função primordial do mancal é transferir os esforços axiais da turbina (empuxo hidráulico e peso próprio das peças girantes) ao concreto. O mancal é constituído de um conjunto de patins (segmentos) independentes, cada patim se apóia sobre uma membrana, fabricada em aço, com espessura fina, oferecendo uma grande flexibilidade. Estas membranas são fixadas sobre uma placa de assento, a qual transmite a carga ao suporte do mancal. A placa de assento possui canais que interligam as membranas. O conjunto

formado por esses canais e pelas membranas forma uma câmara estanque, a qual é preenchida com óleo.

A figura 1 apresenta a placa de assento com seu conjunto de membranas e a colocação de alguns patins sobre a mesma. Os patins, e a parte inferior do anel de escora ficam imersos no óleo. A cuba de óleo permite a formação de um filme de óleo entre o colar de escora (rotativo) e os patins (fixos). Este filme permite a transferência de cargas consideráveis com pequenos dispêndios de energia

Uma rótula é montada no interior de cada uma das membranas com a finalidade de permitir o funcionamento do mancal em caso de falta de óleo no circuito interno das membranas. Portanto, a rótula é um dispositivo de segurança. A figura 2 mostra a representação de uma vista em corte do mancal de escora.



Fig. 1: Montagem dos patins sobre o conjunto de membranas do mancal escora.

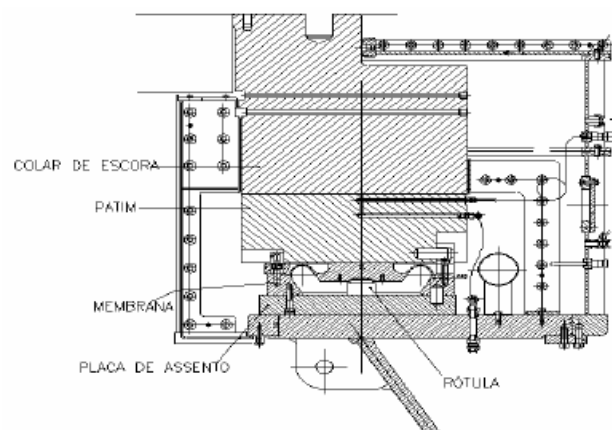


Fig. 2: Croqui do mancal de escora (vista em corte).

Delimitado o sistema, partiu-se para a análise de suas funções, modos e efeitos das falhas. Como o sistema do mancal de escora é bastante extenso, optou-se por disponibilizar somente a planilha do FMEA para o sistema de circulação de óleo. Esta planilha pode ser visualizada na Tabela 1.

Tabela 1: FMEA do sistema de refrigeração do mancal de escora da turbina Kaplan.

FMEA DO MANCAL DE ESCORA DA UHE DE BALBINA - SISTEMAS AUXILIARES				FATORES PARA AVALIAÇÃO DO COMPONENTE				
SISTEMA DE CIRCULAÇÃO				Severidade	Ocorrência	Detecção	Avaliação geral (NPR)	Tarefa proposta para manutenção
FUNÇÃO	Dissipar o calor gerado no mancal de escora e lubrificar seus componentes							
Componente/ Função	Falha funcional	Modo de falha	Efeito da falha					
Motobombas/ Bombear óleo	Não obedece comando para partir	Quebra por desgaste excessivo ou engripamento do mecanismo interno	indicação de falha da bomba	10	1	2	20	- Ensaios funcionais - Inspeção Visual - Ensaio de medição de vibração - Lubrificar os rolamentos
	Não obedece comando para parar		parada emergencial da máquina					
	Baixa pressão	Vazamento no selo mecânico	operação desnecessária da bomba	6	1	2		
	Não partir as motobombas	Quebra do instrumento	risco iminente de indisponibilidade da máquina	10	1	2		
			falta de reposição de óleo ao sistema	7	1	2		- Verificar ajuste - Inspeção Visual
			Risco de parada da máquina					

Pressostatos de partida e parada das motobombas/ indicar pressões baixas ou muito baixas, gerar alarmes, desligar e partir motobombas	Partir indevidamente	Ajuste incorreto do contato	Indicação incorreta de pressão baixa	7	1	5	35	
			Distúrbio no funcionamento normal do sistema					
	Não parar as motobombas	Quebra do instrumento	Sobrepessão	4	1	1		
			Vazamento de óleo					
Parar indevidamente	Ajuste incorreto do contato	Operação indevida	Distúrbio no funcionamento normal do sistema	5	1	5		
			Risco de acidente pessoal					
Manômetro das motobombas/ indicar localmente a pressão de saída das motobombas	Indicar valor incorreto de pressão	Descalibração do instrumento	Leitura de pressão incorreta	3	1	5	15	- Calibrar - Inspeção Visual
			Risco de ajuste incorreto de outros instrumentos					
Tubulações e conexões/ conduzir óleo	Não conduzir o óleo corretamente	Vazamento por ruptura da tubulação	Risco de acidente pessoal	5	1	5	25	- Inspeção Visual do estado geral das tubulações - Drenar e purificar o óleo
			Impossibilidade de reposição de óleo					
		Obstrução por deformação permanente	Risco de parada da máquina					
Válvulas de alívio/ limitar a pressão em caso de obstrução do circuito	Não aliviar a pressão	Emperramento	Rompimento da tubulação e vedações	5	1	1	60	- Teste operacional - Verificação de pressão de atuação - Inspeção visual
		Obstrução por quebra de mecanismo interno	Quebra da moto bomba					
	Operar abaixo da pressão máxima	Ajuste indevido	Distúrbio no funcionamento normal do sistema	5	3	4		
Fluxostato/ indicar fluxo de óleo	Vazamento	Folgas na conexão	Risco de acidente pessoal	3	2	2	36	- Verificar ajuste - Verificar estado de funcionalidade - Verificar existência de vazamentos
	Indicar valor incorreto de vazão de óleo	Ajuste incorreto	- Leitura incorreta de vazão - Risco de ajuste incorreto de outros instrumentos	3	3	4		
	Não indicar fluxo de óleo	Mau contato na fiação	Perda de indicação	3	1	5		

Tabela 2: Critério de classificação dos índices utilizados no FMEA

Severidade		Ocorrência		Detecção	
1	Falha de menor importância	1	Menor ou igual a 1 em 8 anos	1	Probabilidade muito alta de detecção
2 - 3	Provoca redução da performance do componente	2	1 falha no período analisado	2 - 3	Probabilidade alta de detecção
4 - 6	Componente sofre uma degradação progressiva	3	2 falhas	4 - 6	Probabilidade moderada de detecção
7 - 8	Componente não desempenha sua função	5	3 falhas	7 - 8	Probabilidade pequena

9	Colapso do processo	7	4 falhas	9	Probabilidade muito pequena
10	Os problemas são catastróficos e podem ocasionar danos a bens ou pessoas	10	5 ou mais falhas	10	Probabilidade remota

## RESULTADOS

A análise FMEA mostrou que, para as 7 funções principais do sistema de circulação de óleo do mancal de escora, foram identificadas 15 falhas funcionais as quais indicaram 20 modos de falha. A partir destes modos de falha foram propostas 4 tarefas corretivas – lubrificar rolamentos, calibrar instrumentos de medição, drenar tubulações e purificar o óleo – além de 11 tarefas preventivas, que incluem verificação das condições de operação e busca de falhas.

O FMEA indicou ainda que os componentes com maior número de prioridade de risco (NRP) são as válvulas de alívio, os pressostatos e os fluxostatos. As válvulas de alívio porque são importantes componentes de segurança. Elas evitam o colapso do sistema de caso de mau funcionamento das motobombas ou de entupimento dos filtros ou tubulações. Os pressostatos devido a sua importante função de controle automatizado do sistema – ligando e desligando as motobombas de acordo com a pressão medida – e por ser um dispositivo de monitoramento sujeito a falhas ocultas. E o fluxostato, responsáveis pela detecção de entupimentos ou vazamentos, sua importância se deve à grande severidade em se ter uma má condução de óleo no sistema. Tal fato poderia provocar a não formação do filme de óleo entre os patins e o colar de escora, levando ao contato direto metal-metal e provocando graves avarias no mancal. O fluxostato revelou ser o componente com maior número de falhas do sistema de circulação de óleo, apresentando 3 falhas registradas no SAP/R3, sistema de gerenciamento de informações da usina de Balbina. Sendo seguido pelas válvulas de alívio, as quais apresentaram 2 falhas. Tal fato colaborou para que estes componentes tivessem alto número de prioridade de risco (NPR) e fossem, portanto, considerados críticos.

## CONCLUSÕES

O presente artigo conseguiu expor a aplicabilidade da metodologia MCC a partir do desenvolvimento da análise FMEA. A MCC se mostrou perfeitamente aplicável ao mancal de escora do sistema da turbina da UHE de Balbina com base em critérios como criticidade operativa, número de falhas apresentado e detectabilidade das falhas.

O estudo de caso revelou que existem três componentes críticos no sistema, os pressostatos de partida e parada das motobombas, o fluxostato e os pressostatos, portanto, os procedimentos de manutenção preventiva devem dar destaque a estes componentes. Por fim, foram sugeridas tarefas aplicáveis para manutenção, para cada um dos componentes, baseadas nos modos de falha encontrados.

Pode ser observada a potencialidade da aplicação da análise FMEA, dentro do contexto de implementação da metodologia MCC, no sentido de otimizar o plano de manutenção, definindo as tarefas a serem contempladas nesse plano, sejam preventivas ou corretivas, e a oportunidade de realização de discussões técnicas com profundidade suficiente para uma reavaliação dos procedimentos de manutenção atualmente adotados e resgate do conhecimento dos profissionais envolvidos no processo de manutenção.

## REFERÊNCIAS

- Eletronorte – Centrais Elétricas Do Norte Do Brasil S/A, “Relatório Mensal de Operação”, (2002).  
 Moubray, J., “RCM II – Reliability Centered Maintenance”, 2ª edição, New York: Industrial Press Inc, (1997).  
 SIQUEIRA, I. P., “Manutenção Centrada na Confiabilidade – Manual de Implementação”, Qualitymark, Rio de Janeiro, (2005).