

AUMENTO DA CONFIABILIDADE NO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO NAS SALAS DE CONTROLE DE TURBINAS HIDRÁULICAS

Edileno Miranda Cordovil, lenocem@gmail.com¹

Alexandre Luiz Amarante Mesquita, alexmesq@ufpa.br¹

Paulo Cezar da Silva, engpcezar@gmail.com²

Jessé Luís Padilha, jessepadilha@hotmail.com³

Pedro Igor Carvalho Moreira, pedroigorcm@gmail.com⁴

¹Programa de Pós-Graduação em Infraestrutura e Desenvolvimento Energético (PPGINDE), Universidade Federal do Pará, Campus de Tucuruí, PA, Brasil

²Faculdade de Engenharia Mecânica, Campus Universitário de Tucuruí (CAMTUC), Universidade Federal do Pará, Campus de Tucuruí, PA, , Brasil

³Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia (NDAE), Universidade Federal do Pará, PA, Brasil

⁴Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A – Eletrobras Eletronorte, UHE Tucuruí-PA, Brasil

Resumo: As turbinas hidráulicas são as maiores produtoras de energia elétrica do Brasil e as sala de controle dessas máquinas é repleta de equipamentos eletrônicos que devem permanecer em uma determinada faixa de temperatura para que não haja a perda da função geração. Neste trabalho apresenta-se uma aplicação da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) ao sistema de refrigeração das salas de controle destas turbinas hidráulicas localizadas em uma usina hidrelétrica da região norte, já que existe crescente necessidade de expansão da MCC nesta área de atuação. Neste caso, foi realizada a Análise de Modos e Efeitos das Falhas (FMEA), seleção de funções significantes, seleção das tarefas aplicáveis e efetivas, e definição da periodicidade das atividades. Após aplicação da metodologia obteve como resultado uma função principal, e oito funções secundárias, quinze falhas funcionais e setenta e um modos de falhas. Assim, tornou-se possível reduzir a quantidade de manutenções preventivas por meio de alteração na lógica de desempenho de atividades e melhorar o atual plano de manutenção, pois o mesmo não contemplava todas as principais falhas do sistema. Dessa forma foi possível favorecer a gestão, aperfeiçoar o processo produtivo e garantir maior confiabilidade ao sistema.

Palavras-chave: Confiabilidade, Manutenção, Refrigeração, Usinas Hidrelétricas.

1. INTRODUÇÃO

O setor elétrico brasileiro é formado por um sistema de produção hidro-termo-eólico. Segundo Siqueira (2010), esse setor também se caracteriza por uma extensa malha de linhas de transmissão e subestações. Além disso, de acordo com Bandeira (2009), o sistema elétrico oferece grande capacidade de expansão, mas tem dificuldades em incrementar a potência instalada em usinas hidrelétricas. Sendo estas usinas as principais fornecedoras de energia correspondendo a 71,5% do total gerado no ano de 2016, conforme o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Dentre elas, encontra-se a usina hidrelétrica que foi utilizada como estudo de caso neste trabalho. Ela possui 25 turbinas hidráulicas que também são denominadas Unidade Geradora Hidráulica (UGH). Estas máquinas são distribuídas em 12 unidades de 350 megawatt (MW), 11 unidades com 375 MW e 2 UGH com 22,5 MW, apresentando uma potência instalada total de 8.370,00 MW segundo Centrais Elétricas do Norte do Brasil (2017) (Eletrobras Eletronorte). A unidade geradora pode ser controlada remotamente pela sala de Comando de Operação da Usina (COU) ou manualmente pela Unidade Local de Controle Principal (ULCP). No entanto, todas as informações da UGH são primeiramente transmitidas à ULCP para enfim serem enviadas ao COU. Essas salas de controles são repletas de equipamentos eletrônicos que devem permanecer em uma determinada faixa de temperatura para que não haja a perda da função geração.

A falha ou ineficiência do sistema de refrigeração em uma ULCP pode provocar o aumento da temperatura, que por sua vez poderia vir a interromper o funcionamento da unidade geradora. Portanto, provocando uma redução na confiabilidade do sistema e ocasionando uma redução no índice de disponibilidade da usina. O sistema de refrigeração é composto por uma *self-contained* com condensação a água e expansão direta. Segundo Silva (2006), uma *self-contained* pode ser entendida como um equipamento onde o gás refrigerante contido em uma serpentina resfria o ambiente. Este sistema de refrigeração é composto por 12 salas que refrigeram as ULCP's.

Para o correto funcionamento desse sistema é necessário à realização de manutenções periódicas em seus componentes. Para Xenos (2014), manutenção é fazer tudo o que for necessário para garantir que um equipamento continue a desempenhar as funções a que foi projetado para um determinado nível de exigência. Além disso, historicamente a manutenção vem evoluindo, reconhece Souza (2013), e que nos dias atuais, com a participação dos programas de qualidades com destaque para a MCC houve significativos ganhos operacionais, conceituais e administrativos.

A MCC ou Manutenção Centrada na Confiabilidade, afirma Kardec (2013), é uma metodologia que estuda o equipamento, analisa como ocorre a falha e define a melhor maneira de realizar a manutenção com intuito de prevenir falhas ou minimizar as perdas provocadas por elas. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo aplicar a MCC para identificar as principais falhas do sistema de refrigeração e assim determinar a melhor estratégia de manutenção do equipamento do ponto de vista de segurança, ambiental, do custo benefício e, por fim, diagnosticar se o atual plano de manutenção atende a todas as necessidades do sistema.

2. METODOLOGIA

A organização adotada neste trabalho segue a estratégia metodológica de Siqueira (2014), que tem por função apresentar uma sequência estruturada composta de sete itens para selecionar adequadamente as atividades de manutenção. Portanto, segundo o autor, para realizar este estudo é necessário passar pelas seguintes etapas:

1. Seleção do sistema e coleta de informações;
2. Análise dos modos de falhas e efeitos;
3. Seleção de funções significantes;
4. Seleção de atividades aplicáveis;
5. Avaliação da efetividade das atividades;
6. Seleção das atividades aplicáveis e efetivas;
7. Definição da periodicidade das atividades.

2.1. Seleção do sistema e coleta de informações

Tem por objetivo identificar e documentar o sistema estudado com base na definição do contexto operacional, descrição textual, caracterização das fronteiras e interfaces entre os subsistemas. Para a seleção do sistema de refrigeração *self-contained* levou-se em conta a sua necessidade dentro do processo produtivo, visto que cada unidade local de controle principal é responsável por comandar pelo menos duas unidades geradoras. Sendo assim, o aumento de temperatura em uma ULCP ocasionaria um encolhimento na potência gerada da usina, diminuiria o índice de disponibilidade e poderia levar a um efeito indesejável de desligamentos em série de unidades geradoras.

Para o sistema estudado, conforme apresentado na Fig. 1, são considerados como fronteiras apenas as unidades *self-contained* e dutos de ar, excetuando-se as torres de arrefecimento da água do condensador, suas respectivas bombas e filtros, bem como todo o circuito elétrico.

Assim definiu-se a função principal deste sistema, como: Insuflar o ar a uma vazão de $1,42 \text{ m}^3/\text{s}$ a uma temperatura entre 18 e 22°C na Unidade Local de Controle Principal, funcionando com uma pressão de baixa entre $275,8$ e $482,65 \text{ kPa}$ e pressão de alta entre $689,5$ e $1896,12 \text{ kPa}$, de modo a manter o ambiente em condições de temperatura adequada ao funcionamento dos equipamentos.

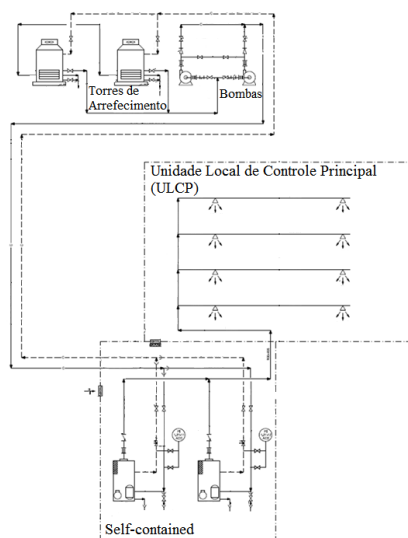


Figura 1. Adaptação do fluxograma do sistema de refrigeração da ULCP da Eletrobras Eletronorte (2004).

2.2. Análise dos modos de falhas e efeitos

A análise de modos de falha e efeitos, comumente chamada de FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*), é o item que identifica e documenta todas as funções e seus modos de falha, bem como os efeitos danosos que elas produzem. Segundo Berssaneti e Bouer (2013), a FMEA tem por objetivo identificar problemas, seus efeitos e suas possíveis causas para obter uma detecção, controle e intervenção baseada na qualidade e confiabilidade.

Por meio da planilha foi possível determinar a função principal e oito funções secundárias para o sistema estudado conforme Tab. 1. Essas funções auxiliam na busca contínua por melhorias transformando dados coletados em informações a serem utilizadas na prática pela equipe de manutenção.

Tabela 1. Estratificação das funções levantadas, após análise do sistema pelo grupo de estudo de MCC.

1	Insuflar o ar a uma vazão de 1,42 m³/s a uma temperatura entre 18 e 22 °C na ULPC funcionando com uma pressão de baixa entre 275,8 e 482,65 kPa e pressão de alta entre 689,5 e 1896,12 kPa.
2	Desligar quando a pressão do gás estiver abaixo de 275,8 e acima de 482,65 kPa.
3	Regular o fluxo de refrigerante que chega ao evaporador.
4	Alarmar se a temperatura da sala da ULCP for maior ou igual a 23 °C.
5	Conter todo o óleo no interior do sistema.
6	Direcionar vazamentos de óleo para o sistema de captação e separação.
7	Conter todo o gás no interior do sistema.
8	Manter a limpeza e conservação do gabinete da Self.
9	Direcionar a água condensada para drenagem.

Aplicando o conceito de FMEA ao sistema estudado foi elaborada uma planilha de informação onde foram registradas setenta e um modos de falhas, onde parte da planilha é apresentada na Tab. 2. Isso é importante, pois permite determinar se o modo de falha é visível ou não, já que seu efeito pode afetar o meio ambiente, a segurança do trabalhador e/ou o processo produtivo.

Tabela 2. Preenchimento da planilha de informações FMEA, segundo modelo da Eletrobras Eletronorte.

PLANILHA DE INFORMAÇÕES	Empresa	Área	Sector	Realizado	Data	
	Eletrobras Eletronorte	CPH	CPHTM			
	Estudo	Código	Sistema Geral de Ar Condicionado.	Revisado	Data	
	SISTEMA GERAL DE AR CONDICIONADO DA ULCP	ULCP	SISTEMA DO GERADOR	Edileno e P. Cezar		
A	FUNÇÃO	B	FALHA FUNCIONAL	C	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha)
1	Insuflar o ar a uma vazão de 1,4167 m³/s a uma temperatura entre 18° e 22 °C na ULCP. funcionando com uma pressão de baixa entre 275,8 kPa e 482,65 kPa e pressão de alta entre 689,5 kPa e 1896,125 kPa.	A	Não Insuflar o ar a uma vazão de 1,4167 m³/s a uma temperatura entre 18° e 22 °C na ULCP. funcionando com uma pressão de baixa entre 275,8 kPa e 482,65 kPa e pressão de alta entre 689,5 kPa e 1896,125 kPa.	1	Compressor parado.	Compressor não comprime o gás refrigerante. ocorre uma sinalização de aumento de temperatura da ulcp na sala de comando. tempo de reparo será de 48 horas
				2	Falha na válvula de retenção do compressor.	Ocorre a elevação da temperatura do gás refrigerante e o compressor para. tempo de reparo será de 48 horas
				3	Válvula dinâmica de descarga do compressor emperrada.	Ocorre a elevação da temperatura do gás refrigerante ocasionando a quebra do compressor. tempo de reparo será de 48 horas
				4	Válvula de alívio do compressor travada.	Ocorre a elevação da pressão no compressor. o pressostato de alta desliga o compressor. Ocorre uma sinalização de aumento de temperatura da ULCP na sala de comando. Tempo de reparo será de 48 horas.
				5	Selo flutuante do compressor rompido.	Ocorre vazamento de óleo para as espirais do compressor contaminando o gás refrigerante, sistema perde eficiência e ocorre uma sinalização de temperatura da ulcp na sala de comando. tempo de reparo será de 48 horas.
				6	Espiral fixa do compressor desgastada.	O gás refrigerante não é comprimido a pressão normal de trabalho. o sistema perde eficiência. ocorre uma sinalização de aumento de temperatura da ulcp na sala de comando. tempo de reparo será de 48 horas.
				7	Espiral móvel do compressor travada.	O gás refrigerante não comprime. ocorre uma sinalização de aumento de temperatura da ulcp na sala de comando. tempo de reparo será de 48 horas.
				8	Válvula de serviço de óleo do compressor com vazamento.	Ocorre a baixa da pressão do óleo, redução da lubrificação no compressor. O compressor deixa de comprimir. ocorre uma sinalização de aumento de temperatura da ulcp na sala de comando. Tempo de reparo será de 48 horas.
				9	Mancais do compressor travado.	O gás refrigerante não comprime. Ocorre uma sinalização de aumento de temperatura da ulcp na sala de comando. Tempo de reparo será de 48 horas.
				10	Protetor térmico interno do compressor não funciona.	Haverá aumento da temperatura até o compressor travar. tempo de reparo será de 48 horas.
				11	Ausência de lubrificação no compressor.	O compressor não comprime o gás refrigerante, ocorre uma sinalização de aumento de temperatura da ulcp na sala de comando. Tempo de reparo será de 48 horas
				12	Filtro de tela do compressor entupido.	Haverá aumento da temperatura até o compressor travar. tempo de reparo será de 48 horas.
				13	Retenitor magnético do compressor rompido.	Ocorre vazamento de óleo para o motor do compressor ocasionando curto, sistema perde eficiência e ocorre uma sinalização de temperatura da ULCP na sala de comando. Tempo de reparo será de 48 horas.
				14	Falha no sensor de temperatura do compressor.	Haverá aumento da temperatura até o compressor travar. Tempo de reparo será de 48 horas.
				15	Proteção interna do motor rompida.	O motor do compressor entra em curto, sistema perde eficiência e ocorre uma sinalização de temperatura da ULCP na sala de comando. Tempo de reparo será de 48 horas.
				16	Filtro secador obstruído.	Acontece indevidamente a mudança de fase do gás refrigerante, diminuindo e eficiência da válvula de expansão. ocorre uma sinalização de aumento de temperatura da ULCP na sala de comando. Tempo de reparo será de 10 horas.
				17	Válvula de expansão quebrada.	Não há expansão do gás refrigerante. Ocorre uma sinalização de aumento de temperatura da ULCP na sala de comando. Tempo de reparo será de 12 horas.
				18	Duto de ventilação rompido.	Falta de fluxo de ar no duto de ventilação. Ocorre uma sinalização de aumento de temperatura da ULCP na sala de comando. Tempo de reparo será de 15 horas.
				19	Pressostato de alta atuado indevidamente.	O compressor não comprime o gás refrigerante. Ocorre uma sinalização de aumento de temperatura da ULCP na sala de comando. Tempo de reparo será de 6 horas.
				20	Pressostato de baixa atuado indevidamente.	O compressor não comprime o gás refrigerante. Ocorre uma sinalização de aumento de temperatura da ULCP na sala de comando. Tempo de reparo será de 6 horas.

2.3. Seleção de funções significantes

A próxima etapa é marcada pela seleção de funções significantes, de acordo com Siqueira (2014), nela é realizada e determinada se a falha possui efeito importante quando considerado aspectos como: segurança, meio ambiente, operacional e economia do processo. Além disso, a importância da função não está relacionada por sua relevância ou dimensão isoladamente e sim pelos os impactos das falhas funcionais. O autor recomenda a utilização de uma lógica de seleção por meio de perguntas apresentada na Fig. 2 para identificar se a função é significativa ou não.

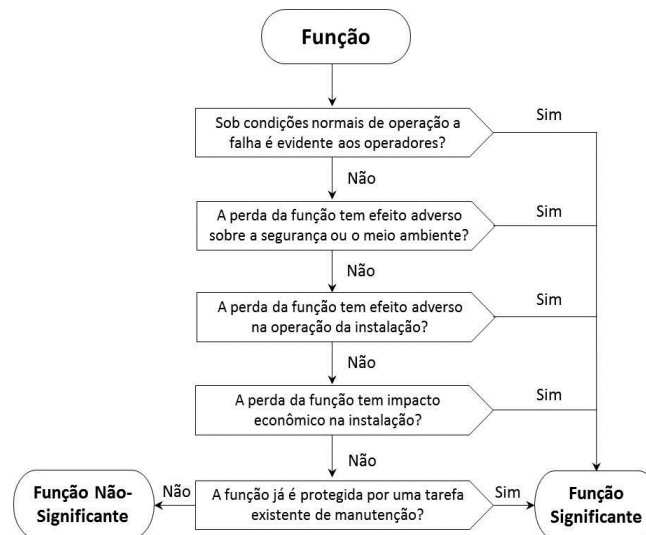


Figura 2. Adaptação do diagrama lógico de decisão de Siqueira (2014).

Assim, foi possível criar um formulário de decisão para cada componente baseado no diagrama de decisão que consta em Moubray (2000). Esta planilha é composta por diversas perguntas que quando satisfatoriamente respondidas classificam a falha como oculta (H), de segurança e meio ambiente (SE), operacional (O), não operacional (N) e classifica o tipo de tarefa mais adequada para cada modo de falha. Esse diagrama foi utilizado para analisar todos os componentes da self-contained, uma parte do formulário é apresentada na Tab. 3.

Tabela 3. Parte do formulário de árvore de decisão conforme etapas descritas em Moubray (2000).

COMPONENTE	MODOS DE FALHA	EFEITO DA FALHA (O que acontece quando falha)	F	F	F	H	S	E	O	N1	N2	N3
Compressor	Compressor parado	O compressor não comprime o gás refrigerante. Ocorre uma sinalização de aumento de temperatura da ULCP na sala de comando. Tempo de reparo será de 48 horas	1	A	0	S	N	N	N	N	N	N
	Ausência de tensão no Compressor	Não está no escopo deste estudo.	1	A	0	S	N	N	N	N	N	N
	Falha na válvula de retenção do compressor	Ocorre a elevação da temperatura do gás refrigerante e o compressor para. Tempo de reparo será de 48 horas	1	A	0	S	N	N	N	N	N	N
	Válvula dinâmica de descarga do compressor emperrada	Ocorre a elevação da temperatura do gás refrigerante ocasionando a quebra do compressor. Tempo de reparo será de 48 horas	1	A	0	S	N	N	N	N	N	N
	Válvula de alívio do compressor travada	Ocorre a elevação da pressão no compressor. O pressostato de alta desliga o compressor. Ocorre uma sinalização de aumento de temperatura da ULCP na sala de comando. Tempo de reparo será de 48 horas.	1	A	0	S	N	N	N	N	N	N
	Selo flutuante do compressor rompido.	Ocorre vazamento de óleo para as espirais do compressor contaminando o gás refrigerante, sistema perde eficiência e ocorre uma sinalização de temperatura da ULCP na sala de comando. Tempo de reparo será de 48 horas.	1	A	0	S	N	N	N	N	N	N
	Espiral fixa do compressor desgastada	O gás refrigerante não é comprimido a pressão normal de trabalho. O sistema perde eficiência. Ocorre uma sinalização de aumento de temperatura da ULCP na sala de comando. Tempo de reparo será de 48 horas.	1	A	0	S	N	N	N	N	N	N
	Espiral móvel do compressor travada	O gás refrigerante não comprime. Ocorre uma sinalização de aumento de temperatura da ULCP na sala de comando. Tempo de reparo será de 48 horas.	1	A	0	S	N	N	N	N	N	N
	Válvula de serviço de óleo do compressor com vazamento	Ocorre a baixa da pressão do óleo, redução da lubrificação no compressor. O compressor deixa de comprimir. Ocorre uma sinalização de aumento de temperatura da ULCP na sala de comando. Tempo de reparo será de 48 horas.	1	A	0	S	N	N	N	N	N	N
	Mancais do compressor travados.	O gás refrigerante não comprime. Ocorre uma sinalização de aumento de temperatura da ULCP na sala de comando. Tempo de reparo será de 48 horas.	1	A	0	S	N	N	N	N	N	N
	Protetor térmico interno do compressor não funciona	Haverá aumento da temperatura até o compressor travar. Tempo de reparo será de 48 horas.	1	A	0	S	N	N	N	N	N	N
	Ausência de lubrificação no compressor	O compressor não comprime o gás refrigerante. Ocorre uma sinalização de aumento de temperatura da ULCP na sala de comando. Tempo de reparo será de 48 horas	1	A	0	S	N	N	N	N	N	N
	Filtro de tela do compressor entupido	Haverá aumento da temperatura até o compressor travar. Tempo de reparo será de 48 horas	1	A	0	S	N	N	N	N	N	N
	Retentor magnético do compressor rompido	Ocorre vazamento de óleo para o motor do compressor ocasionando curto, sistema perde eficiência e ocorre uma sinalização de temperatura da ULCP na sala de comando. Tempo de reparo será de 48 horas.	1	A	0	S	N	N	N	N	N	N

2.4. Seleção de atividades aplicáveis

Este item caracteriza-se por selecionar o tipo adequado de manutenção para corrigir, prevenir ou minimizar o modo de falha. Aplicam-se critérios de viabilidade técnica e de praticidade das atividades propostas, estes critérios devem prevenir modos de falhas, reduzir a taxa de deterioração, detectar a evolução da falha, descobrir falhas ocultas, suprimir necessidades e consumíveis do processo, reparar o item após a falha. Na tabela 4 foram encontraram-se 76 tarefas classificadas em: programada de recuperação, programada de descarte, programada de localização de falha, sob condição, nenhuma manutenção programada ou que a tarefa não está no escopo deste estudo.

Tabela 4. Tarefas propostas por meio da seleção de atividades aplicáveis segundo Siqueira (2014).

Tarefa Proposta	Total
Nenhuma manutenção programada.	44
Tarefa programada de descarte.	2
Tarefa programada de localização de falha.	2
Tarefa programada de recuperação.	4
Tarefa sob condição.	12
Não está no escopo deste estudo.	12
Total Geral	76

2.5. Avaliação da efetividade das atividades

Neste item analisam-se os aspectos econômicos e de viabilidade de uma tarefa de manutenção em relação aos recursos disponíveis e os ganhos esperados para certificar se há efetividade quando comparada a outras opções. Para que a tarefa seja efetiva deve atender a todos os seguintes critérios: Ser aplicável tecnicamente, ser viável com os recursos disponíveis, produzir os resultados esperados e ser executável em um intervalo de tempo razoável, segundo Siqueira (2014).

Durante a análise deste item, constatou-se que apesar dos ganhos esperados pela manutenção dos componentes do compressor não era tecnicamente viável realizá-lo, já que o compressor é hermeticamente fechado e qualquer tipo de abertura em sua estrutura danificaria o equipamento. Sendo assim, por meio desse critério é possível gerar um plano de manutenção efetivo destinado a manter apenas as tarefas exequíveis que de fato podem reduzir a consequência de uma falha.

2.6. Seleção das atividades aplicáveis e efetivas

Para alcançar esse objetivo deve-se utilizar um método estruturado que vise maximizar a economia e a operação do processo com respeito aos critérios de segurança e meio ambiente. Nesta etapa utilizou-se novamente a planilha de decisão apresentada na Tab. 5 para definir as atividades cabíveis de manutenção para cada modo de falha.

Tabela 5. Parte da planilha de decisão conforme modelo descrito em Moubray (2000).

PLANILHA DE DECISÃO RCM II																		
Referência da Informação.			Aviação das Consequências				H1	H2	H3	Tarefas Padrão				Tarefa Proposta	Descrição da Tarefa	Frequência Inicial	Responsável	Equipamento
							S1	S2	S3									
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4						
1	B	3	N				S							Tarefa sob condição.	REALIZAR MEDIÇÃO DE VIBRAÇÃO NOS MANCAIS DO VENTILADOR.	1 ano.	Mecânica.	Moto-Ventilador
1	C	6	S	S			S							Tarefa sob condição.	VERIFICAR A NECESSIDADE DE SE FAZER A REPOSIÇÃO DO GÁS REFRIGERANTE.	1 ano.	Mecânica.	Sistema de Refrigeração.
1	C	8	N				S							Tarefa sob condição.	VERIFICAR A NECESSIDADE DE REALIZAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE LIMPEZA.	Semestral.	Mecânica.	Condensador.
1	C	9	N				S							Tarefa sob condição.	VERIFICAR A NECESSIDADE DE REALIZAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE LIMPEZA.	Semestral.	Mecânica.	Evaporador.
1	C	10	N				S							Tarefa sob condição.	VERIFICAR A NECESSIDADE DE REALIZAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE LIMPEZA.	Semestral.	Mecânica.	Filtro de ar.
1	C	14	N				N	N	S					Tarefa programada de descarte.	SUBSTITUIÇÃO DO FILTRO ENTUPIDO.	5 anos.	Mecânica.	Filtro secador.
5	A	1	N				S							Tarefa sob condição.	REALIZAR PROCEDIMENTO DE INSPEÇÃO PARA AVALIAR SE HÁ VAZAMENTOS DE ÓLEO NO COMPRESSOR.	1 mês.	Mecânica.	Compressor.
9	A	1	S	N	N	N	S							Tarefa sob condição.	REALIZAR PROCEDIMENTO DE INSPEÇÃO VISUAL PARA VERIFICAÇÃO DO ESTADO DA PINTURA DOS	5 anos.	Mecânica.	Sistema de refrigeração.
9	A	2	S	N	N	N	S							Tarefa sob condição.	REALIZAR PROCEDIMENTO DE INSPEÇÃO VISUAL PARA VERIFICAÇÃO DA NECESSIDADE DE LIMPEZA DA SELE	Semestral.	Mecânica.	Sistema de refrigeração.

2.7. Definição da periodicidade das atividades

Para se definir a periodicidade das atividades de manutenção, buscaram-se informações junto ao sistema integrado de gestão e à equipe de mantenedores da empresa. Constatou-se que o atual plano de manutenção está dividido em inspeções mensais, trimestrais, semestrais e anuais para um total de 12 salas de refrigeração. Isso significa que em um ano se realiza 96 inspeções mensais, 24 inspeções trimestrais, 12 inspeções semestrais e 12 anuais. Além disso, observou-se que a maior parte do custo destas ordens de serviços está associada a despesas com mão de obra.

Ao questionar o grande número de inspeções, a equipe de manutenção relatou que isso se deve a necessidade de observar se há falhas no ventilador centrífugo, no evaporador e no condensador. Para, enfim, programar atividade de manutenção corretiva. A figura 3 apresenta o gráfico dos custos médios de manutenção preventiva com base em pesquisa realizada no período de janeiro de 2012 a janeiro de 2017. Verifica-se que a maior parte dos custos é decorrente de manutenções preventivas mensais e trimestrais.

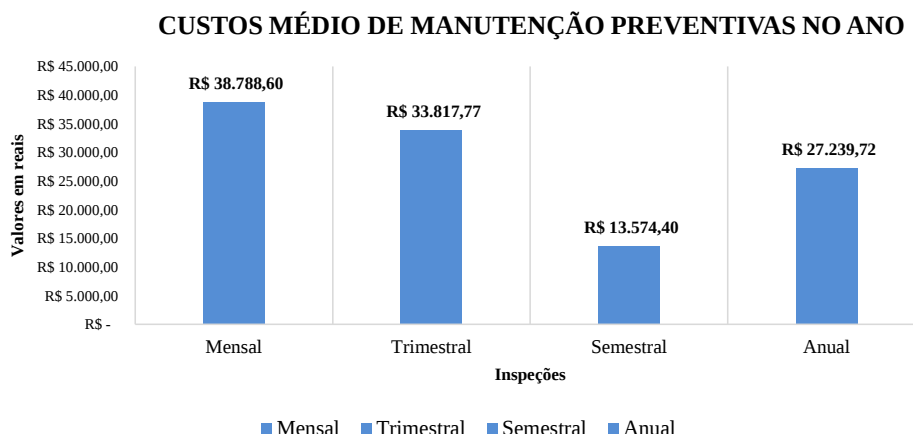


Figura 3: Custos com manutenções preventivas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio da metodologia de Manutenção Centrada na Confiabilidade aplicada ao sistema de refrigeração *self-contained* obtém-se como principal produto uma redução na quantidade de manutenções preventivas, isso ocorreu por meio de alteração na lógica de inspeções. Com essa modificação alcançou-se uma redução de custo de 64% quando comparado ao atual sistema de manutenção.

Na Figura 4 é apresentado o gráfico contendo os valores com os custos de manutenção preventiva em um ano, tanto para o atual sistema de manutenção como para a implementação da nova lógica no sistema. Além disso, em virtude dessa modificação, houve um considerável ganho de disponibilidade de mantenedores que poderão atuar em outras atividades do processo produtivo da empresa.

Esses ganhos justificam-se pela eliminação das atividades de inspeção mensal e trimestral, isso ocorreu devido à inclusão de dois itens nas inspeções dos operadores que ocorre semanalmente. Entretanto, esse entendimento só foi possível após a profunda análise do sistema de refrigeração e de seus principais modos de falhas.

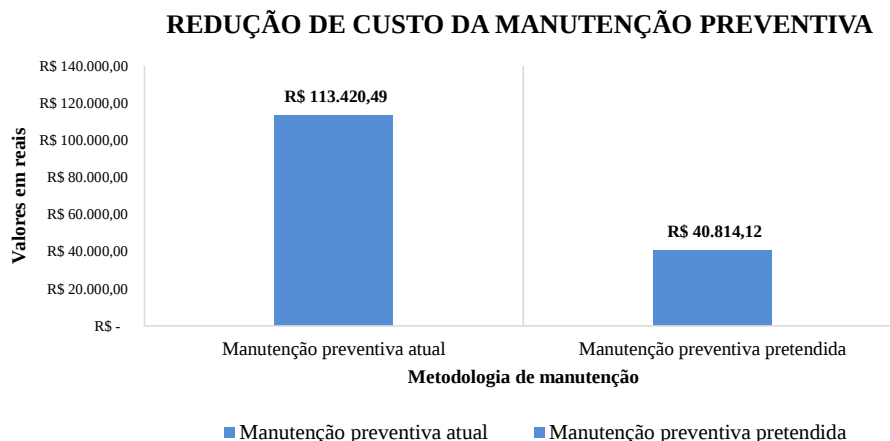


Figura 4: Custos com manutenções preventivas.

Outro ponto de destaque é o incremento no plano de manutenção atual, pois nas atividades de manutenções preventivas semestrais e anuais foram acrescidos de itens de verificação que surgirão como consequência da análise realizada na planilha de decisão e que não estão contemplados no plano de manutenção atual. O novo plano, Fig. 5, surge com foco em obter os resultados operacionais desejados.

PERIODICIDADE					
ANUAL					
ITEM	ATIVIDADES				
1	SELF-CONTENED				
		N	AN	C	OBSERVAÇÃO
1.1	Efetuar limpeza do gabinete da unidade.				
1.2	Verificar borbulhamento no visor de líquido completar gás se necessário.				
1.3	Verificar dreno da bandeja de água condensada, desobstruir se necessário.				
1.4	Coloração da célula no visor de líquido não for verde, substituir filtro secador.				
1.5	Conferir superaquecimento seguindo ITM* e registrar.				
1.6	Conferir sub-resfriamento seguindo ITM* e registrar.				
1.7	Verificar sinais de vazamento de gás no circuito.				
1.8	Realizar procedimento de inspeção para avaliar se há vazamentos de óleo no compressor.				
1.9	Verificar a necessidade realização de procedimento de limpeza no filtro de ar.				
1.10	Verificar a necessidade realização de procedimento de limpeza no evaporador				
1.11	Verificar folga alinhamento e conservação das correias, ajustar ou substituir se necessário.				
1.12	Realizar medição de vibração nos mancais do ventilador.				
1.13	Verificar dampers de retorno e renovação de ar, ajustar se necessário.				
1.14	Verificar pressão de sucção e de descarga do circuito frigorígeno e registrar.				
1.15	Substituir se necessário o filtro secador.				
1.16	Testar a malha do pressostato de baixa e de alta.				
1.17	Realizar procedimento de recalibragem do pressostato de baixa e de alta se necessário.				
1.18	Testar a malha do termostato de alarme e verificar ajuste se necessário.				
Legenda: N – Normal AN. – Anormal C - Corrigido					
Tempo Total de Execução: H x h					
Data: / /		Assinatura / Mat. do Executante:			
Data: / /		Assinatura / Mat. do Aprovador:			

Figura 5. Novo plano de manutenção preventivo custo com manutenções preventivas.

Além disso, outro ganho do estudo se deu pela obtenção da grande quantidade de modos de falhas identificados. Foram ao todo 71 possíveis modos de falhas que podem causar mais de um tipo de falha funcional, este resultado se deve ao grande detalhamento do sistema. Na Tab. 6 apresentam-se parte dos modos de falhas.

Tabela 6. Estratificação de parte dos 71 modos de falhas levantados.

1	Baixo suprimento de água vinda da torre de arrefecimento, eliminando ou reduzindo a troca térmica no condensador Água entra no condensador em alta temperatura.
2	Ausência de tensão no compressor.
3	Ausência de tensão no moto-ventilador.
4	Água entra no condensador em alta temperatura.
5	Bomba d'água inoperante.
6	Canaleta obstruída.
7	Compressor funcionando continuamente.
8	Compressor operando em ciclos curtos.
9	Compressor parado.
10	Conexão de entrada do pressostato de baixa entupida.

4. CONCLUSÃO

O presente trabalho analisou a utilização da metodologia MCC aplicada a um sistema de refrigeração do tipo *self-contained* que tem por função manter em uma determinada faixa de temperatura a sala de controle de turbinas hidráulicas. De modo geral, após extenso estudo e metodologia adotada, foram obtidas reduções no quantitativo de manutenções preventivas e como resultado redução dos custos e houve aumento no quantitativo de itens de manutenção visando melhorar a confiabilidade do sistema.

Além disso, este estudo alcançou outros ganhos já que foi possível determinar a função principal do sistema, a planilha de informação contendo as falhas funcionais, os modos de falhas e seus efeitos. Determinaram-se, ainda, as atividades com base no diagrama de decisão.

A redução de manutenção preventiva ocorreu devida o grupo de trabalho identificar, com ajuda da equipe de manutenção, que os problemas recorrentes no sistema estavam relacionados a defeito ou falha na correia do ventilador e/ou no trocador de calor. Desse modo, sugere-se que as verificações sejam repassadas a equipe de operação para que inspecionem semanalmente os referidos componentes da *self-contained*. Assim, caso seja identificada algum problema a operação enviará uma notificação de anormalidade para que a equipe de mantenedores possa planejar a manutenção corretiva.

O aumento de itens do plano foi baseado nas atividades propostas a partir das conclusões tiradas da análise de modos e efeitos de falhas e na experiência da equipe de manutenção da empresa, esse incremento favorece o processo de gestão, aperfeiçoa o sistema produtivo e garante maior confiabilidade ao sistema.

Entretanto, esse estudo não abrangeu todas as interfaces do sistema, pois não analisou as torres de arrefecimento da água do condensador, suas respectivas bombas e filtros, assim como todo o circuito elétrico. Para se atingir um maior ganho é necessário analisar o sistema como um todo.

Indubitavelmente, este trabalho apresenta os passos para aplicação da MCC em uma situação real. Desse modo, é possível entender melhor essa metodologia e aplicar aos outros itens do sistema com intuito de minimizar desperdício, reduzir custos de manutenção, aumentar significativamente o aprendizado do sistema e favorecer a integração da manutenção com a operação.

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pela empresa Eletrobras Eletronorte que gentilmente permitiu o acesso à usina hidrelétrica estudada e aos materiais necessários para realização deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Bandeira, A. A., 2009, “Indicadores de desempenho: instrumentos à produtividade organizacional”. Rio de Janeiro: Qualitymark, 157p.
- Berssaneti, F.T.; Bouer, G., 2013, “Qualidade: Conceitos e aplicações – Em produtos, projetos e processos”. São Paulo: Blucher. 189p.
- Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A, 2017, disponível: <http://www.eln.gov.br/opencms/opencms/pilares/geracao/parqueGerador/UHE/tucurui.html>. Acessado em novembro de 2017.
- Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A. Casa de força – blocos 21 e 22, 2004, “Sistema de ar condicionado: fluxograma, projeto executivo”. Consórcio ENGEVIX – THEMAG. Projeto final.
- Kardec, A., Nascif, J., 2013, “Manutenção – Função Estratégica”. 4 ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora. 440p.
- Moubray, J., 2000, “Manutenção Centrada em Confiabilidade” (Reliability-Centered Maintenance – RCM). Trad. Kleber Siqueira. São Paulo: Aladon.
- Silva, J. C., 2006, “Refrigeração comercial climatização industrial”. São Paulo: Editora Hemus. 231p.
- Siqueira, I. P., 2010, “Indicadores de desempenho de processo de planejamento”. Rio de Janeiro: Qualitymark, 157p.
- Siqueira, I. P., 2014, “Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de implantação”. 3ª (Reimpressão) ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2014. 408p.
- Souza, V.C., 2013, “Organização e gerência da manutenção: planejamento, programação e controle de manutenção”. 5 ed. São Paulo: All Print Editora. 276p.
- Xenos, H.G., 2014, “Gerenciando a Manutenção Produtiva”. 2 ed. Nova Lima: Editora FALCONI. 312p.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

INCREASED RELIABILITY IN THE REFRIGERATION SYSTEM IN HYDRAULIC TURBINE CONTROL ROOMS

Edileno Miranda Cordovil, lenocem@gmail.com¹

Alexandre Luiz Amarante Mesquita, alexmesq@ufpa.br¹

Paulo Cezar da Silva, engpcezar@gmail.com²

Jessé Luís Padilha, jessepadilha@hotmail.com³

Pedro Igor Carvalho Moreira, pedroigorcm@gmail.com⁴

¹Programa de Pós-Graduação em Infraestrutura e Desenvolvimento Energético (PPGINDE), Universidade Federal do Pará, Campus de Tucuruí, PA, Brasil

²Faculdade de Engenharia Mecânica, Campus Universitário de Tucuruí (CAMTUC), Universidade Federal do Pará, Campus de Tucuruí, PA, Brasil

³Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia (NDAE), Universidade Federal do Pará, PA, Brasil

⁴Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A – Eletrobras Eletronorte, UHE Tucuruí-PA, Brasil

Abstract. Hydraulic turbines are the largest electricity producers in Brazil and the control room of these machines is filled with electronic equipment that must remain in a certain temperature range so that there is no loss of generation function. This work presents an application of Reliability Centered Maintenance (RCM) to the cooling system of the control rooms of these hydraulic turbines located in a hydroelectric power plant in the northern region, since there is an increasing need to expand the RCM in this area of operation. In this case, Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) was performed, selection of significant functions, selection of applicable and effective tasks, and definition of the periodicity of the activities. After application of the methodology it has resulted in a main function, and eight secondary functions, fifteen functional failures and seventy-one failure modes. Thus, it became possible to reduce the amount of preventive maintenance by altering the activity performance logic and improving the current maintenance plan, since it did not address all the main failures of the system. In this way it was possible to favor the management, improve the production process and guarantee greater reliability to the system.

Keywords: Reliability, Maintenance, Refrigeration, Hydroelectric power plant.