

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA MECÂNICA
EDUARDO PEIXOTO FELIX

IMPLANTAÇÃO DO SELO HIDRÁULICO EM UNIDADES GERADORAS
VERTICAIS: estudo de caso da Usina hidrelétrica de Itutinga-MG

Varginha
2019

EDUARDO PEIXOTO FELIX

IMPLANTAÇÃO DO SELO HIDRÁULICO EM UNIDADES GERADORAS

VERTICAIS: estudo de caso da Usina hidrelétrica de Itutinga-MG

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharelado em Engenharia Mecânica, sob orientação da Professora Dra. Deborah Reis Alvarenga Romano.

**Varginha
2019**

EDUARDO PEIXOTO FELIX

**IMPLANTAÇÃO DO SELO HIDRÁULICO EM UNIDADES GERADORAS
VERTICAIS: estudo de caso da Usina hidrelétrica de Itutinga-MG**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS MG, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Profª. Dra. Deborah Reis Alvarenga Romano

Prof. (título ex.: Dr./Me./Esp.) Nome do professor

Prof. (título ex.: Dr./Me./Esp.) Nome do professor

OBS.:

Dedico este trabalho a todos que contribuíram para sua realização e que incentivaram a realização do mesmo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo Dom da Vida, e pela oportunidade de evolução, a minha família, que é minha base, por sempre estarem me apoiando, a minha namorada Paloma por todo auxílio ao longo da busca pelos meus sonhos, a Casa do Socorro do Caminho da Luz e toda equipe por todas as orientações e bênçãos e aos amigos e professores por terem ajudado na construção deste trabalho.

“Deixem que o futuro diga a verdade e avalie cada um de acordo com o seu trabalho e realizações. O presente pertence a eles, mas o futuro pelo qual eu sempre trabalhei pertence a mim.”

Nikola Tesla

RESUMO

Este artigo analisa a aplicação de um selo hidráulico em uma unidade geradora da usina mantida pela Companhia Energética e Minas Gerais – CEMIG, localizada na cidade de Itutinga - MG. Tal abordagem se faz necessária devido ao fato do vapor de óleo proveniente do aquecimento do mancal impregnar no gerador causando assim parada de máquinas e consequentemente redução na produção. O objetivo deste estudo é comprovar a extrema importância e, principalmente, eficácia da implantação do selo hidráulico. Esta tarefa será realizada mediante análise de dados e estudo de caso. Com o trabalho será possível apontar os ganhos na geração e economia de energia, além da otimização da mão de obra. Também serão analisados fatores como diminuição do risco de perda de isolamento entre as bobinas do estator, maior confiabilidade no Sistema Interligado Nacional, eliminação das atividades com risco à saúde e segurança de pessoas, satisfação dos empregados e não geração de resíduos perigosos.

Palavras-chave: Selo hidráulico. Gerador. Turbina. Hidrelétrica.

ABSTRACT

This article analyzes the application of a hydraulic seal in a generating unit at a plant maintained by Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG, located in the city of Itutinga – MG. Such approach is necessary due the fact that the oil vapor from the heating of the bearing impregnates in the generator causing machinery shutdown and consequently the reduction of the production. The aim of this study is to prove that the implantation of the hydraulic seal is extremely important and, mainly, effective. This task will be accomplished through data analysis and case study. With this work it will be possible to show the gains in energy generation and saving, as well as the optimization of the workforce. Factors such as reduced risk of loss of insulation among stator coils, greater reliability in the National Interconnected System, elimination of activities with risk to human health and safety, employee satisfaction and non-hazardous waste generation will be also analyzed.

Keywords: Hydraulic seal. Generator. Turbine. Hydroelectric.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Fotografia aérea da Usina hidrelétrica de Itutinga-MG	14
Figura 02 - Diagrama de causa e efeito	16
Figura 03 - Identificação de óleo no gerador.....	19
Figura 04 – Diagrama de Blocos	19
Figura 05 - Diagrama de causa e efeito	28
Figura 06 - Representação de névoa de óleo presente no gerador.....	29
Figura 07 - Croqui do dispositivo implantado.....	33
Figura 08 - Representação esquemática do antes e depois do rebaixo da lateral interna	34
Figura 09 - Representação esquemática do antes e depois de aumentar da lateral externa.....	34
Figura 10 - Representação da montagem de uma tampa fixada sobre a lateral externa.....	35
Figura 11 - Desenho técnico do dispositivo	36
Figura 12 - Comissionamento	37
Figura 13 - Montagem do cárter	37

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Característica dos geradores.....	13
Quadro 02 - Brainstorming.....	16
Quadro 03 - Classificação da matriz de priorização.....	16
Quadro 04 - Matriz de priorização	17
Quadro 05 - Gráfico de Pareto de média anual de parada de máquinas.....	17
Quadro 06 - Gráfico de Pareto estratificado a lavagem do gerador	18
Quadro 07 - Pilares do sistema.....	20
Quadro 08 - Informações relevantes sobre o gerador impregnado de óleo.....	20
Quadro 09 - Plano de ação 5W2H para coleta de dados	21
Quadro 10 - Verificação das reposições de óleo nos mancais.....	22
Quadro 11 - Média de óleo repostado nos mancais.....	22
Quadro 12 - Folha de verificação para levantar pontos com presença de óleo.....	22
Quadro 13 - Folha de verificação para levantamento de controles existentes.....	23
Quadro 14 - Gráfico de controle.....	23
Quadro 15 - Ferramenta 5w2h para levantar tentativas de correção do problema na usina.....	24
Quadro 16 - Folha de verificação para levantar existência do problema em outras Usinas do grupo.....	24
Quadro 17 - Folha de verificação de efeitos do problema.....	25
Quadro 18 - Folha de verificação dos níveis de queda do índice de polaridade X volume de óleo repostado	26
Quadro 19 - Gráfico de dispersão.....	26
Quadro 20 - Teste de hipóteses.....	29
Quadro 21 - Avaliação de viabilidade	30
Quadro 22 - Avaliação das propostas	30
Quadro 23 - Pré-requisitos para aprovação.....	31
Quadro 24 - Planilha de verificação dos selos.....	32
Quadro 25 - Temperatura dos mancais após instalação do selo	38
Quadro 26 - Planilha de verificação da presença de óleo	38

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 Usinas Hidrelétricas	12
2.1.2 Principais elementos da usina hidrelétrica de Itutinga-MG	12
2.2 Ferramentas da qualidade	14
3 METODOLOGIA	15
3.1 Estudo de caso.....	15
3.1.1 Histórico do problema	18
3.1.2 Implicações do Problema.....	19
3.1.3 Característica do problema	20
3.1.4 Definição de meta.....	26
3.1.5 Análise das causas mais prováveis	27
3.1.6 Plano de ação	30
3.1.7 Efeitos colaterais da implantação	33
3.1.7.1 O nível de óleo subir e transbordar.....	34
3.1.7.2 Óleo ser arremessado para fora pela força centrífuga	34
3.1.7.3 Acidentes decorrentes.....	35
3.1.7.4 Outras medidas de prevenção	35
3.1.8 Aplicação do selo hidráulico	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1 Efeitos colaterais.....	39
4.2 Ganhos mensuráveis.....	39
4.3 Ganhos imensuráveis.....	39
4.3.1 Eliminação do risco de perda do isolamento entre as bobinas do estator.....	39
4.3.2 Maior confiabilidade do Sistema Interligado Nacional.....	40
4.3.3 Eliminação de atividade de risco	40
4.4 Ganhos adicionais.....	40
5 CONCLUSÃO	41
REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

Com intuito de aprimorar uma das fontes de energia com maior potencial de geração no Brasil, o presente trabalho analisa a viabilidade da redução de uma das principais causas que levaram a uma parada de máquina e conseqüentemente a perda de geração de energia, a implantação de um selo hidráulico foi a forma encontrada para sanar o problema da presença do acúmulo de óleo lubrificante impregnado no rotor, bobinas do estator e adjacências da usina hidrelétrica presente na cidade de Itutinga - MG, logo, analisaremos as condições e opções avaliadas.

Através de um estudo de caso foi levantado com o auxílio de ferramentas de gestão todos os pontos que mais influenciavam na parada de máquina e conseqüentemente todas as soluções que se enquadram em tal aplicação. Construindo assim uma base bibliográfica a cerca de determinado tema, caracterizando o selo hidráulico ideal para esta aplicação, relatando o seu processo de instalação, avaliando sua utilização e discutindo sua viabilidade e eficiência.

A geração de energia limpa aliada a redução de custos operacionais vem sendo a aposta das nações para um futuro próspero e promissor. Atualmente, no Brasil, as usinas hidroelétricas são responsáveis por noventa por cento (90%) da geração de energia no país, o que só é possível devido ao seu grande potencial hídrico e que ainda é pouco aproveitado, apenas cerca de vinte e cinco por cento (25%), pois apesar de ser considerada uma fonte limpa de energia, a construção de uma usina hidrelétrica ainda é mal vista por questões ambientais, que envolve todo um estudo e posteriormente um processo de remanejamento da fauna e flora proveniente do represamento de rios para a construção da barragem, o que muitas das vezes pode não ser cem por cento eficazes.

No primeiro capítulo foi abordado o conceito de usinas hidrelétricas e seus elementos, após feita esta exposição, foram classificados todos os principais responsáveis por parada de máquinas para manutenção.

No capítulo dois são estudadas as ferramentas de gestão da qualidade, que são meios de análise e tomada de decisão a cerca de determinado problema.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Usinas Hidrelétricas

Segundo a empresa mantedora da Usina hidrelétrica de Itutinga, a Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG, a energia que ela mais produz é a hidráulica, que consiste na geração pela força da água do rio, que se transforma em energia elétrica por meio das usinas hidrelétricas. A usina é construída no rio e formada por lago, barragem, casa de força, subestação elevadora e linhas de transmissão.

O lago, chamado de reservatório, é formado pelo represamento das águas, o que é possível pela construção de uma barragem. Na barragem é construído o vertedor da usina, abertura por onde sai o excesso de água do reservatório em tempos de chuva.

Desse modo, para produzir a energia, a água sai do reservatório e é conduzida com muita pressão por enormes tubos até a casa de força, onde ficam as turbinas e os geradores. A turbina possui pás ligadas ao gerador. A pressão da água movimenta as pás, que criam um campo magnético, produzindo eletricidade.

Em seguida, para que a energia chegue às cidades, é necessário aumentar a voltagem, trabalho feito pelos transformadores elevadores das subestações. Dessa forma, a energia elétrica é transportada através das linhas de transmissão. Entretanto, para alcançar as residências, a tensão é rebaixada na subestação abaixadora e chega às residências por meio das redes de distribuição, formada por postes, cabos e transformadores.

2.1.2 Principais elementos da usina hidrelétrica de Itutinga-MG

Conforme o banco de dados técnicos do manual do operador da equipe de operação da Usina Hidrelétrica de Itutinga-MG (2003), os principais elementos que compõem a usina em análise e suas características são:

- O reservatório, que contém um volume total de 11.000.000 m³.
- A barragem, do tipo mista, constituída por uma de terra com núcleo de argila e uma de concreto, onde estão localizados os vertedouros e tomada d'água.

A barragem de concreto é composta por três vertedouros, o de limpeza que tem por finalidade dar escoamento ao lixo retirado das grades da tomada d'água, o principal que tem

intuito de verter água nos períodos de cheia e o auxiliar que é uma superfície sem comporta, também conhecido como lâmina livre.

A tomada d'água, também presente na barragem de concreto é composta pelo canal de adução, a câmara de descarga, a tomada d'água propriamente dita e as quatro comportas tomada d'água que são fabricadas pela S. MORGAN SMITH CO. (USA).

-Conduto forçado parcialmente exposto que são em uma quantidade de quatro unidades, um para cada unidade geradora e com o comprimento de 45metros e diâmetro de 4,2metros.

-Casa de força com capacidade instalada de 48,6 MegaWatts.

-Galeria de sucção

-Canal de fuga com queda máxima de 30 metros.

-Turbinas, sendo todas elas fabricadas pela S. MORGAN SMITH CO. (USA), onde duas são do tipo Kaplan com potencia de 17.000 HP (12.682.000 W), e duas tipo Hélice com potencia de 20.000 HP (14.920.000 W).

-Geradores, sendo um para cada turbina, contendo cada um deles as seguintes características conforme quadro 1:

Quadro 1: Característica dos geradores

Corrente armadura: 1130 A.
Tensão armadura: 6900 V.
Corrente excitação: 347 A
Tensão excitação: 250 VCC.
Potência aparente – MVA: 13,5.
Potência ativa – MW: 13,5.
Fator de potência: 0,9.
Classe de isolamento: A – 60°C.
RPM: 225.
Aplicação do freio – RPM: 67 RPM.
Sobrevelocidade trip: 250 RPM.
Sobrevelocidade reset: 202 RPM.
Pressão de ar – frenagem: 120 lbs.
Radiadores: 4
Número de polos: 32
Temperatura ambiente: 40°C.
Temperatura estator: 60°C.

Fonte: Manual do operador (2003)

Os componentes citados acima podem ser observados conforme figura 1.

Figura 1: Fotografia aérea da Usina hidrelétrica de Itutinga-MG



Fonte: Portal Minas. Acesso em 06/10/2019.

2.2 Ferramentas da qualidade

Segundo Miguel (2006) as ferramentas da qualidade são frequentemente usadas como suporte ao desenvolvimento da qualidade ou ao apoio à decisão na análise de determinado problema. Mata-Lima (1999) completa afirmando que o grande potencial delas, está quando são utilizadas para a identificação das causas raízes dos problemas e para a solução destes. Contudo, Mata-Lima (2007) afirma que aplicação das ferramentas de identificação da causa dos problemas exige que haja um debate entre as partes interessadas e que a decisão se fundamente em resultados da análise dos registros de informação relevante visitas de estudo, reuniões técnicas, inquéritos e entrevistas, entre outros. As Sete Ferramentas Tradicionais da Qualidade, de acordo com Miguel (2006) e Vieira (1999), são: diagrama de causa-efeito, histograma, gráfico de pareto, diagrama de correlação, gráfico de controle e folha de verificação. Para fins deste trabalho irá se utilizar apenas uma, o diagrama de causa-efeito. Esta ferramenta consiste em uma forma gráfica usada como metodologia de análise para representar fatores de influência (causas) sobre um determinado problema (efeito). Também é denominada de Diagrama de Ishikawa, devido ao seu criador, ou Diagrama Espinha de Peixe, devido à sua forma (MIGUEL, 2006). O diagrama de causa-efeito pode ser elaborado perante os seguintes passos:

- Determinar o problema a ser estudado (identificação do efeito);

- Relatar sobre as possíveis causas e registrá-las no diagrama;
- Construir o diagrama agrupando as causas em “6M” (mão-de-obra, método, matéria-prima, medida e meio-ambiente);
- Analisar o diagrama, a fim de identificar as causas verdadeiras;
- Correção do problema.

Basicamente, o resultado do diagrama é fruto de um brainstorming (significa tempestade de ideias), ou seja, pensamentos e ideias que cada membro de um grupo de discussão expõe sem restrições e democraticamente. Sendo o diagrama, o elemento de registro e representação de dados e informação (MIGUEL, 2006).

3 METODOLOGIA

Para a elaboração do presente trabalho foi feita uma pesquisa bibliográfica em livros, artigos, periódicos, dissertações e teses com o intuito de mostrar o funcionamento dos equipamentos, prováveis defeitos oriundos de seus funcionamentos e ferramentas de gestão utilizadas para identificação do problema. Foi realizado também, um estudo de caso e levantamento de dados que levou à aplicação e tomada de decisão da instalação do selo em análise.

3.1 Estudo de caso

Foi realizado um estudo de caso em uma empresa na cidade de Itutinga-MG voltada para a geração de energia hidrelétrica onde foi relacionado os equipamentos que têm sua manutenção condicionada à Unidade Geradora parada, conseqüentemente, perdendo produção.

Com o auxílio de ferramentas de gestão, foi realizada análises empíricas e possível classificar o estudo como se pode ver a seguir.

Feito um brainstorming foram listados todos os equipamentos que necessitam de Unidade Geradora parada para manutenção como se pode ver no quadro 2.

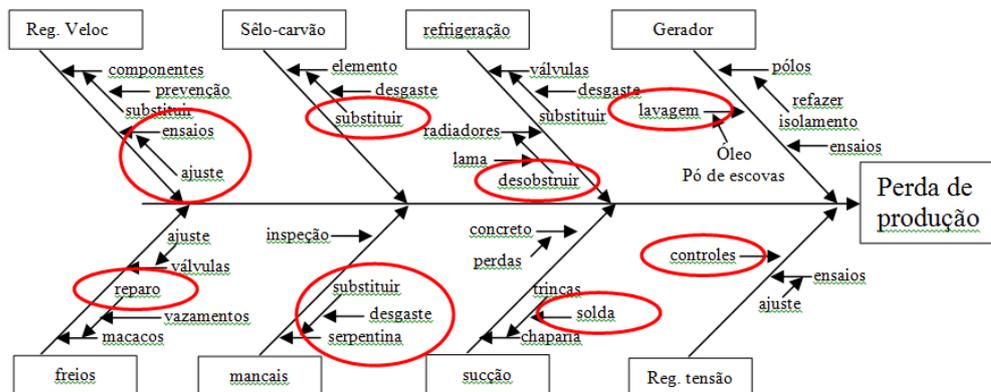
Quadro 2: Brainstorming

BRAINSTORMING	
Regulador de velocidade	Anéis coletores
Regulador de tensão	Mancais
Radiadores	Rotor do gerador
Estator	Sistema de refrigeração
Excitatriz	Turbina
Tubulação forçada	Sucção
Selo-carvão	Distribuidor
Comportas da tomada d'água	Freios
Palhetas	

Fonte: O autor

Através de um diagrama de causa e efeito com os equipamentos que mais impactam a perda de produção foi possível identificar as atividades a eles relacionadas como pode ser visto na figura 2 abaixo.

Figura 2: Diagrama de causa e efeito



Fonte: O autor

Posteriormente com o auxílio de uma matriz de priorização foi permitido se classificar as tarefas que mais impactam no problema conforme quadro 3 e 4.

Quadro 3: Classificação da matriz de priorização

M – Meio ambiente	E – Evolução	C - Custo
1 – Não afeta	1 – Não evolui	1 – Baixo
2 – Afeta	2 – Pode evoluir	2 – Médio
3 – Afeta muito	3 - Evolui	3 - Alto

Fonte: O autor

Quadro 4: Matriz de priorização

Tarefas	M	E	C	Total
Ensaio e ajustes nos reguladores de velocidade	2	2	2	6
Substituição do selo carvão	2	1	2	5
Desobstruir sistema de refrigeração	1	2	1	4
Lavagem dos geradores	3	2	3	8
Reparo do sistema de frenagem	2	1	1	4
Substituição das serpentinas dos mancais	1	2	1	4
Recuperação por solda da sucção	2	2	2	6
Controle do regulador de tensão	1	1	1	3

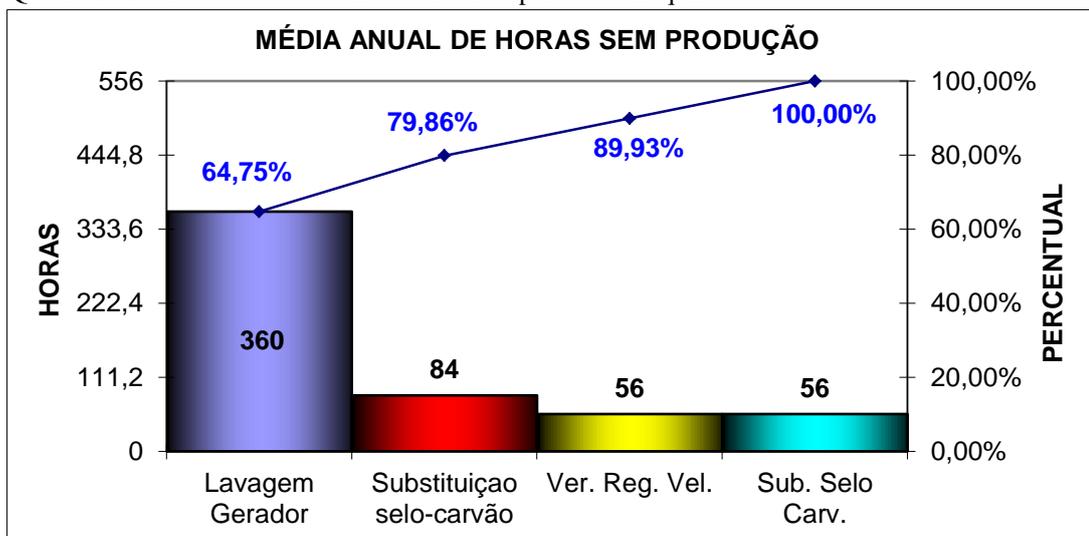
Fonte: O autor

Selecionado a partir da matriz de priorização as tarefas que atingiram pontuação superior a 50% se obteve:

- Ensaio e ajustes no regulador de velocidade devido ao desgaste dos componentes.
- Substituição do selo-carvão devido ao desgaste do elemento.
- Lavagem do gerador devido a pó de escovas e óleo impregnado.
- Recuperação da sucção por solda devido a trincas na chaparia.

Com auxílio da ferramenta gráfico de Pareto foi observado que a tarefa responsável pela perda de produção mais expressiva, 64,75%, era a lavagem do gerador.

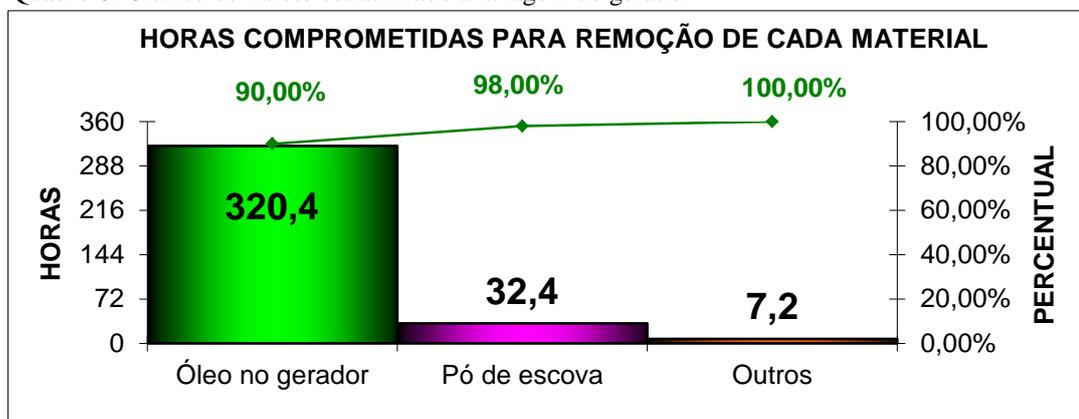
Quadro 5: Gráfico de Pareto de média anual de parada de máquinas



Fonte: O autor

Após identificada a tarefa que mais impacta na perda de produção, foi possível estratificar quais os principais responsáveis por isto conforme quadro 6.

Quadro 6: Gráfico de Pareto estratificado a lavagem do gerador



Fonte: O autor

É possível visualizar que das 360 horas, 320,4 horas são referentes à lavagem do gerador em função da impregnação de óleo, onde se conclui que este é o principal fator de parada de máquina.

3.1.1 Histórico do problema

Este problema ocorre nas quatro Unidades Geradoras da Usina Itutinga. Devido ao acúmulo de óleo lubrificante impregnado no rotor, bobinas do estator e adjacências, faz-se necessário um procedimento de lavagem geral destes componentes e de todo o ambiente no qual estão confinados. A cada 18 meses, em média, uma unidade passa por este procedimento.

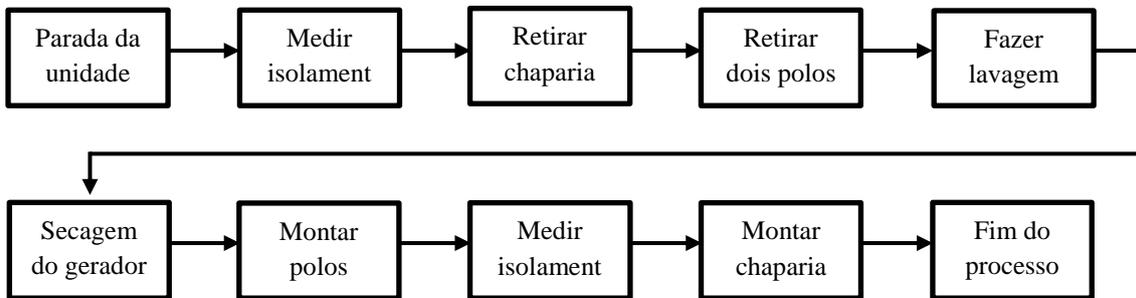
Figura 3: Identificação de óleo no gerador



Fonte: O autor

Por meio de um diagrama de blocos com as etapas do procedimento de lavagem da unidade geradora fica fácil o seu entendimento:

Figura 4: Diagrama de blocos



Fonte: O autor

3.1.2 Implicações do Problema

A presença de óleo impregnado no gerador causa queda no isolamento elétrico, podendo provocar curto-circuito e a consequente queima do bobinado, sem conta o fato da instalação possuir Sistema Integrado de Gestão e ser certificada pela BVQI nas normas: OHSAS18001, ISO9001 e ISO14001.

O problema também afeta a seleção da empresa para composição do Índice Dow Jones de Sustentabilidade, do qual faz parte integrante há mais de vinte anos consecutivo e de forma negativa os três pilares do Sistema, que são:

Quadro 7: Pilares do sistema

Saúde e Segurança	Qualidade	Meio Ambiente
<p>Queda. Torções. Fraturas. Ergonomia. Intoxicação. Desgaste físico. Escoriações. Queimaduras. Esmagamento. Radiação UV. Choque elétrico. Irritações da pele e olhos.</p>	<p>Perda de produção. Demanda de mão-de-obra. Risco ao Sistema Interligado. Contaminação do óleo do MGT. Danos aos pólos. Queima das bobinas. Danos às proteções mecânicas e elétricas. Impactar o índice de disponibilidade.</p>	<p>Contaminação por LC. Contaminação por óleo. Desperdício de energia. Geração de resíduos.</p>

Fonte: Cemig (2019)

3.1.3 Característica do problema

Como mostra o quadro X a seguir, foi feito o levantamento das informações relevantes a serem coletadas sobre o problema.

Quadro 8: Informações relevantes sobre o gerador impregnado de óleo

Perda de óleo dos mancais	Pontos com presença de óleo
Controles adotados	Tentativas para sanar o problema
Temperatura ambiente do gerador	Existência do problema em outras usinas
Consequências negativas	Queda de isolamento elétrico

Fonte: O autor

Para dar início às atividades foi elaborado um plano de ação para coordenar a coleta das informações que pode ser descrito no quadro 9.

Quadro 9: Plano de ação 5W2H para coleta de dados

Ação	O quê	Quando	Quem	Onde	Porquê	Como	Quanto
1	Verificar Reposições de óleo	Março	Alessandro Costa	Registros da equipe de operação	Fazer levantamento da perda de óleo nos mancais	Pesquisando registros dos últimos 5 anos	R\$ 75,00
2	Verificar pontos com presença de óleo no gerador	Março	Alúcio Andrade	Nas Unidades Geradoras	Levantar origem do óleo	Através de inspeção visual	R\$ 50,00
3	Verificar métodos de controle	Março	Roberto Mauro	Junto às equipes de manutenção e operação	Verificar mão-de-obra comprometida	Através de entrevistas e arquivos	R\$ 50,00
4	Verificar tentativas de correção do problema.	Março	Márcio Félix	Junto à equipe de operação	Verificar Viabilidade de melhorias	Através de Entrevistas e arquivos	R\$ 25,00
5	Pesquisar existência do problema em outras Usinas	Março	Luciano Araújo	Junto às equipes de manutenção das usinas e Engenharia	Promover Intercâmbio de informações	Através de e-mail e telefone	R\$ 75,00
6	Verificar efeitos Negativos do problema	Março	Ivan Fernandes	Junto às equipes de Manutenção e operação	Levantar e dimensionar Riscos e custos	Através de pesquisa e entrevistas	R\$ 50,00
7	Levantamento dos níveis de queda do índice de polaridade	Março	Marco Antônio	Junto à equipe elétrica	Fazer levantamento de queda do índice de polaridade	Pesquisando os registros dos últimos 5anos, após cada lavagem	R\$ 75,00
8	Reunião do Grupo	Março	Todos	Sala de reuniões	Analisar os dados coletados	Através das Folhas de verificação	R\$ 500,00

Fonte: O autor

Seguindo o plano de ação foi dado início à coleta de informações necessárias que estão disponíveis no quadro 10 a seguir.

Quadro 10 - Verificação das reposições de óleo nos mancais

QUANTIDADE DE LÍTROS DE ÓLEO/ANO REPOSTO											
ANO GRUPO	Ano 1		Ano 2		Ano 3		Ano 4		Ano 5		MÉDIA ANUAL
	MC	MGI									
UNIDADE 1	14	07	12	05	20	06	23	07	14	07	23
UNIDADE 2	15	05	13	05	13	06	12	08	13	06	19,2
UNIDADE 3	18	08	11	08	12	05	15	07	08	06	19,6
UNIDADE 4	14	06	09	06	11	09	17	07	11	07	19,4

- MC - mancal combinado – volume de 1000 litros de óleo no cárter.
- MGI - mancal de guia inferior – volume de 280 litros de óleo no cárter.

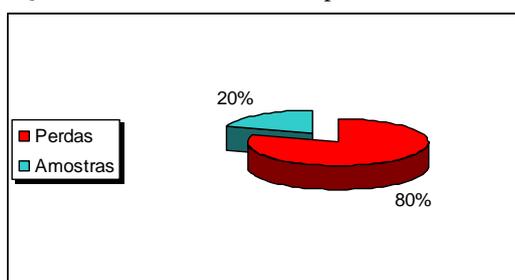
Fonte: O autor

Durante o período de 12 meses é feita coleta de amostras de óleo para análise no laboratório, o que nos leva a uma redução de 2 litros de óleo em cada mancal.

É de extrema importância salientar que o mancal não consome óleo por queima.

Observação: De acordo com os dados pode se ressaltar que em média, 80% do óleo repostado nos mancais são decorrentes de perdas. O quadro 11 pode representar isto graficamente.

Quadro 11: Média de óleo repostado nos mancais



Fonte: O autor

Para se obter informações sobre os pontos com presença de óleo foi realizado uma folha de verificação exposta no quadro 12.

Quadro 12 - Folha de verificação para levantar pontos com presença de óleo

PONTOS	UNIDADE GERADORA			
	01	02	03	04
Anel coletor	Sim	Sim	Sim	Sim

Entreferro	Sim	Sim	Sim	Sim
Excitatriz	Sim	Sim	Sim	Sim
Trocadores de Calor	Não	Não	Sim	Sim
Cruzetas	Sim	Sim	Sim	Sim
Tubulações	Sim	Sim	Sim	Sim
Tampas dos Mancais	Sim	Sim	Sim	Sim
Paredes do barril	Sim	Não	Sim	Sim

Fonte: O autor

Durante a coleta dos dados, foi detectada que a presença de óleo em alguns pontos era oriunda de pequenos vazamentos dos mancais, e nos demais pontos, a presença de óleo tinha origem desconhecida, devido a sua localização física estar fora do alcance dos vazamentos.

Quadro 13 - Folha de verificação para levantamento de controles existentes

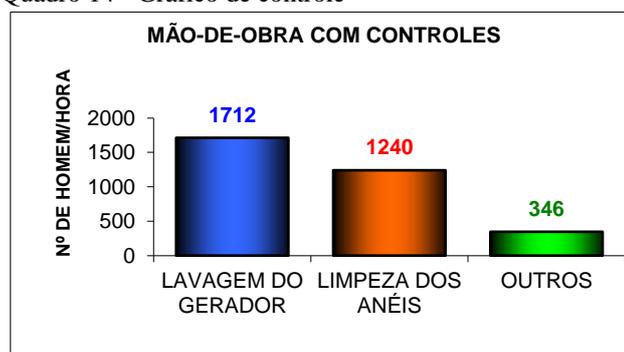
CONTROLE	FREQUÊNCIA	MÃO-DE-OBRA	EQUIPE
Limpeza dos anéis	Semanal	1H/h	Operação
Limpeza dos anéis coletores e comutadores	Semanal	4H/h	Elétrica
Limpeza da excitatriz	Triannual	8H/h	Elétrica
Inspeção visual	Em paradas de máquina	1H/h	Elétrica
Ensaio elétrico	Bianual	4H/h	Elétrica
Lavagem geral	A cada seis anos em média	428H/h por Unidade	Elétrica

Fonte: O autor

A cada 18 meses, em média, é feita a lavagem geral de uma Unidade, fechando-se em seis anos um ciclo completo de controle do problema nas quatro Unidades Geradoras.

Com os dados do quadro acima construímos um gráfico de barras (quadro 14) referenciando.

Quadro 14 - Gráfico de controle



Fonte: O autor

Um ciclo completo de controle do problema compromete 3.306 homem/hora.

Quadro 15 – Ferramenta 5w2h para levantar tentativas de correção do problema na usina

O QUE	QUANDO	QUEM	ONDE	COMO	POR QUE	RESULTADO
Verificar tentativas de correção.	Agosto	Luciano Araújo	Usina de Itutinga.	Pesquisando nos arquivos técnicos e relatórios.	Subsidiar nosso estudo.	Foi instalado um exaustor na unidade 3.

Fonte: O autor

Na Unidade 3 da Usina foi instalado um exaustor para succionar névoa de óleo, porém, continuou a aparecer óleo no gerador.

Quadro 16 - Folha de verificação para levantar existência do problema em outras Usinas do grupo

USINA	EXISTE ÓLEO NO GERADOR	CONTROLE
Funil	Não	Desnecessário
Nova Ponte	Não	Desnecessário
Três Marias	Sim	Lavar
Salto grande	Sim	Lavar
Cajurú	Sim	Lavar
Camargos	Sim	Lavar
Tronqueiras	Sim	Lavar
Petti	Sim	Lavar
Dona Rita	Sim	Lavar
São Simão	Sim	Lavar
Emborcação	Sim	Lavar
Miranda	Sim	Lavar

Fonte: O autor

Das usinas pesquisadas, doze passaram informações precisas de sua situação. Em duas Usinas pesquisadas o problema não existe, foi informado que o fabricante projetou e instalou exaustores nos mancais para succionar névoa de óleo. Nas demais Usinas o problema existe e os controles são os mesmos de Itutinga.

Quadro 17 - Folha de verificação de efeitos do problema

CONSEQUÊNCIAS NEGATIVAS DO PROBLEMA	
QUALIDADE	600 horas sem produção de energia elétrica, para lavagem geral de cada unidade. 428 homem/hora na lavagem geral por unidade. 265,66 homem/hora por ano em outros controles.
SAÚDE/SEGURANÇA	Riscos: ergonômico, queimaduras, intoxicação, irritações da pele e olhos, esmagamento, fraturas, escoriações, radiação UV, queda, torções, choque elétrico e asfixia.
MEIO AMBIENTE	Risco de contaminação por óleo e LC. Geração de resíduos perigosos.
EQUIPAMENTO	Riscos: Queima do gerador, Contaminação do óleo do MGT, queda de objetos, danos às proteções mecânicas e elétricas.

Fonte: O autor

- O custo de um ciclo completo de controle do problema para nossa instalação, considerando-se as 4 unidades geradoras, é de R\$ 2.943.428,00, referente a:

2400h sem geração de energia elétrica

3306 homem/hora com controles

Outros: material e energia elétrica

- O custo médio anual é de R\$ 490.571,00

- O problema expõe o gerador ao risco de queima por curto-circuito entre as bobinas. Um acidente desta gravidade geraria um custo em torno de:

R\$ 2.500.000,00 com equipamento;

R\$ 8.236.800,00 referentes a 10 meses de unidade parada;

R\$ 80.000,00 com mão-de-obra para recuperação;

R\$ 10.000,00 com outros gastos (juntas, parafusos, etc)

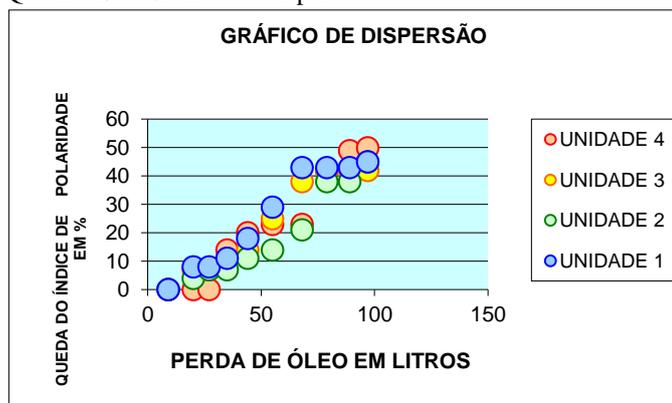
R\$10.826.800,00 total gasto para recuperação do gerador.

Quadro 18 - Folha de verificação dos níveis de queda do índice de polaridade X volume de óleo reposto

Levantamento dos níveis de queda do índice de polaridade e perda de óleo												
Período em meses	Unidade 4			Unidade 3			Unidade 2			Unidade 1		
	Óleo (lt)	Índice	%									
6	9	3,1	0	14	2,9	0	8	2,9	0	11	2,8	0
12	20	3,1	0	26	2,7	7	20	2,8	4	21	2,6	8
18	27	3	0	34	2,7	7	31	2,7	7	30	2,6	8
24	35	2,7	14	45	2,6	11	38	2,7	7	38	2,5	11
30	44	2,5	20	54	2,5	14	46	2,6	11	49	2,3	18
36	55	2,4	23	62	2,2	25	57	2,5	14	64	2	29
42	68	2,4	23	75	1,8	38	69	2,3	21	78	1,6	43
48	79	1,8	42	84	1,7	42	77	1,8	38	84	1,6	43
54	89	1,6	49	90	1,7	42	83	1,8	38	98	1,6	43
60	97	1,58	50	98	1,68	42	96	1,6	45	105	1,56	45

Fonte: O autor

Quadro 19 – Gráfico de dispersão



Fonte: O autor

De acordo com a teoria do gráfico de dispersão, a reta formada acima diz que se eliminar a causa (perda de óleo), consequentemente será eliminado por completo o efeito (queda do índice de polaridade).

3.1.4 Definição de meta

Com as informações obtidas com a coleta de dados foi permitido ter uma visão mais detalhada e realista do problema e de suas consequências. Através delas descobrimos onde se

pode chegar, podendo então definir se uma meta, que consiste em eliminar em cem por cento (100%) a impregnação de óleo nos geradores.

Analisadas as informações da etapa anterior, foi constatado que:

- Conforme o quadro 11, na página 22, em média, 80% do óleo repostado nos mancais é decorrente de perdas.

- De acordo com o quadro 12, na página 23, em alguns pontos, a presença de óleo tinha origem desconhecida, devido a sua localização.

- Segundo o quadro 15, na página 24, na Unidade 3 da Usina foi instalado um exaustor para succionar névoa de óleo, porém, continuou a aparecer óleo no gerador.

- No quadro 16 na página 24, em duas Usinas pesquisadas, o fabricante projetou e instalou exaustores nos mancais para succionar névoa de óleo e as mesmas não têm problemas com óleo no gerador.

A partir dessas informações chegou se às seguintes hipóteses:

- 1- O exaustor instalado na unidade 3 pode não ser eficiente.

- 2- A presença de óleo no gerador pode ser proveniente da formação de névoa nos mancais

3.1.5 Análise das causas mais prováveis

Hipótese 1 - Feito uma verificação com testes reais no exaustor da unidade nº 3 constatou se que:

- A vedação tampa/eixo não é eficaz, permitindo passagem de névoa de óleo para o exterior.

- A entrada de ar para o labirinto é subdimensionada.

- A distância entre o exaustor e os mancais é grande, causando perda de carga.

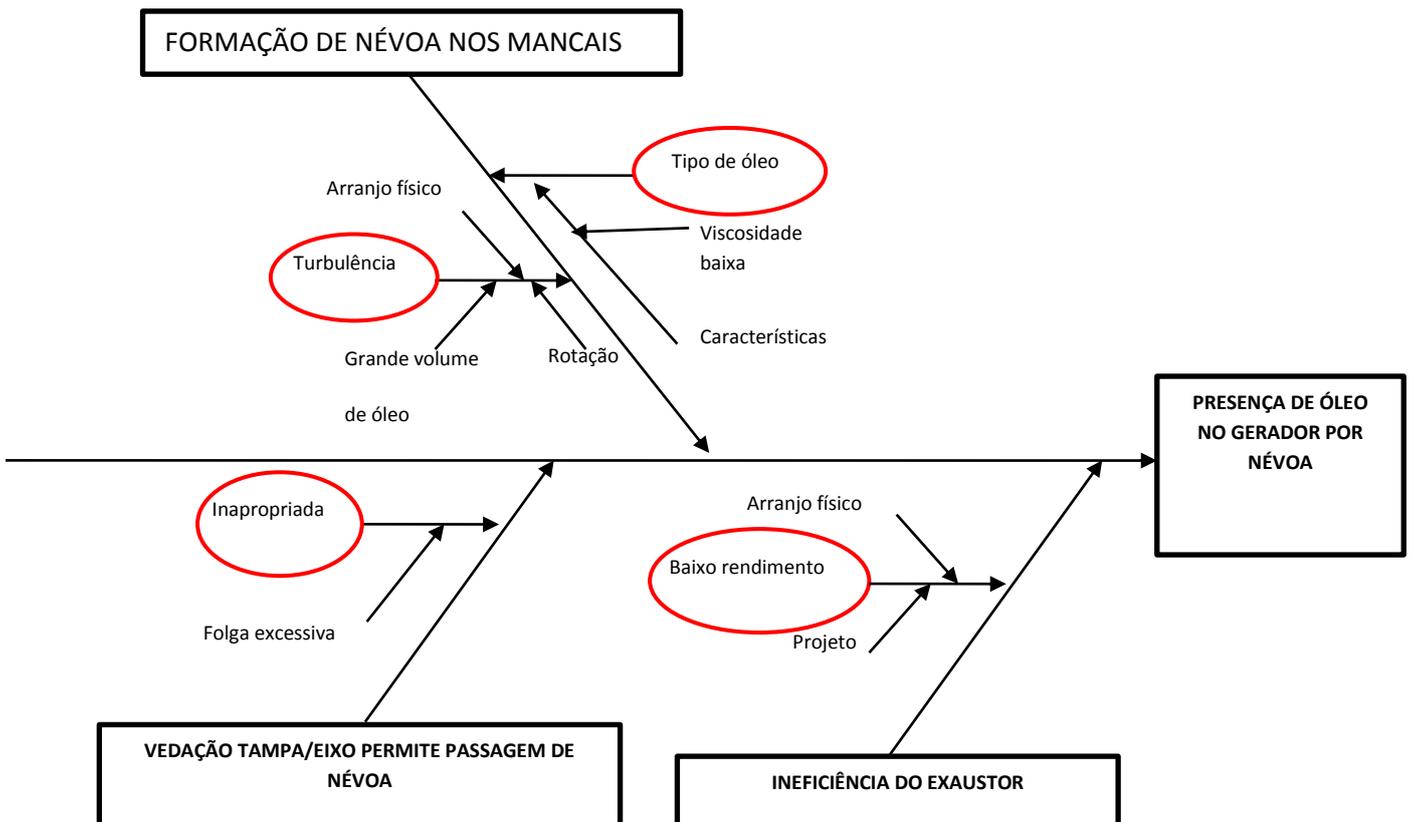
- O rendimento é deficiente devido a baixo poder de sucção.

Hipótese 2 – Feito um brainstorming onde foram levantadas algumas hipóteses da presença de óleo no gerador, proveniente da formação de névoa:

- Tipo de óleo.
- Ambiente confinado.
- Vedação inefficiente.
- Elementos de vedação.
- Ineficiência do exaustor.
- Temperatura do óleo.
- Temperatura ambiente do gerador.
- Nível de óleo dos mancais muito alto.
- Folga excessiva entre eixo e tampa dos mancais.
- Fluxo de ar.

Organizadas as hipóteses mais prováveis em um diagrama de causa e efeito se tem:

Figura 5 – Diagrama de causa e efeito

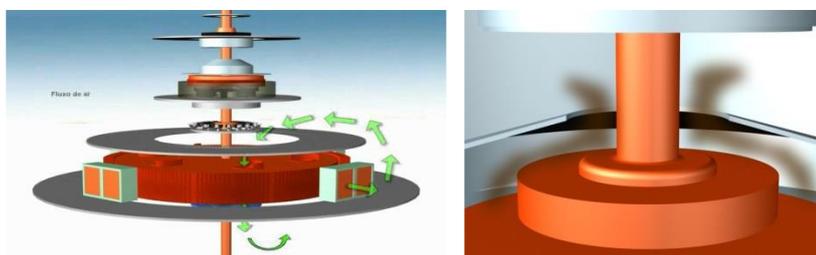


Fonte: O autor

Baseado nas informações levantadas, conclui se que a névoa de óleo gerada no interior dos mancais é inerente ao processo de geração de energia elétrica.

Com base nas informações coletadas na etapa de observação, pode se observar que a turbulência existente no interior dos mancais, provocada pelo processo de geração de energia, faz com que o óleo produza névoa, sendo, portanto também inerente ao processo. Esta névoa é arrastada pelo fluxo de ar gerado pela rotação da Unidade e, aos poucos, vai se impregnando no gerador, como mostra as Figura 6 abaixo.

Figura 6: Representação de névoa de óleo presente no gerador



Fonte: O autor

Verificado o tipo de vedação, descobrimos que esta realmente não era eficiente quando se tratava de óleo em forma de névoa. A vedação tipo “labirinto estático” montada no mancal é original de fábrica, fruto de um projeto de mais de cinquenta anos, e sua função é impedir a passagem apenas de respingos de óleo para fora do ambiente dos mancais.

A partir destas análises, confirmamos então, que a névoa de óleo gerada no interior dos mancais, passa pela vedação da tampa impregnando de óleo o gerador.

Quadro 20: Teste de hipóteses

HIPÓTESE DE CAUSA	JULGAMENTO	JUSTIFICATIVA
Óleo	DESCARTADA	Inerente ao processo
Turbulência	DESCARTADA	Inerente ao processo
Baixo rendimento do exaustor	COMPROVADA	Deficiências no projeto como mostra o item 3.1
Vedação	COMPROVADA	“Labirinto estático” permite a passagem da névoa.

Fonte: O autor

Foi decidida então como causa fundamental do problema a passagem de névoa de óleo para o exterior dos mancais.

3.1.6 Plano de ação

Confirmada a causa fundamental, ficou se dividido entre duas propostas:

- 1) Estudar e melhorar o exaustor tornando-o eficiente.
- 2) Adaptar um sistema de vedação que não permitisse a passagem de névoa.

As opções então foram submetidas a uma planilha de viabilidade (quadro 21) levando em conta os seguintes levantamentos e assim constituída:

- Viabilidade técnica: É tecnicamente viável?
- Viabilidade econômica: É economicamente viável?
- Viabilidade de segurança: Oferece segurança, diminui riscos?
- Viabilidade ambiental: Está de acordo com os princípios ambientais da Empresa?
- Viabilidade política: É viável para o Grupo e para a Gerência?
- Viabilidade de continuidade: Pode ser adotada em outras instalações?

Quadro 21 – Avaliação de viabilidade

Avaliação	Técnica	Econômica	Segurança	Ambiental	Política	Continuidade
3	Fácil execução	Aceitável	Muito seguro	Contribui muito	Muito viável	Muito aplicável
2	Executável	Caro	Seguro	Contribui	Viável	Aplicável
1	Difícil execução	Muito caro	Aceitável	Não interfere	Pouco viável	Pouco aplicável

Fonte: O autor

Quadro 22 – Avaliação das propostas

PROPOSTA	VT	VE	VS	VA	VP	VC	TOTAL
1 - Melhorar exaustor	1	2	2	1	2	1	9
2 - Adaptar vedação eixo/tampa	2	3	2	3	3	2	15

Fonte: O autor

Os resultados mostraram que melhorar o exaustor não era impossível, porém, pouco viável.

Definido o caminho para solução do problema, o próximo passo foi procurar no mercado um tipo de vedação eficaz contra névoa de óleo. Para isso, foi realizada uma pesquisa junto a fabricantes de sistemas de vedação e se obteve as seguintes alternativas:

-Feltro

-Gaxeta

-Selo mecânico

-Anéis de Chevron

-Anéis tipo “o-ring”

-Selo carvão.

Para definir a solução a ser adotada, julgou-se por bem elaborar uma planilha de avaliação com requisitos necessários para o sucesso do projeto. Foi então determinado ainda que para ser aprovada, deveria atender a todos os requisitos de peso três, estes, sendo estes essenciais.

Quadro 23 – Pré-requisitos para aprovação

PESO	REQUISITOS	OPÇÕES ENCONTRADAS					
		Feltro	Gaxeta	Selo carvão	“O” ring	Selo mecânico	chevron
3	Ser dinâmico, acompanha oscilação do eixo	-	-	3	3	3	3
3	Suportar rotação do eixo (225 rpm)	3	-	3	-	3	-
3	Ter alta eficiência na vedação	-	-	3	-	3	-
3	Não necessitar de resfriamento	3	-	-	3	-	-
2	Não gerar resíduo	2	-	-	2	-	-
2	Ter baixo consumo de energia	2	2	2	2	2	2
1	Ser de fácil manutenção	1	1	-	1	-	1
17	TOTAL	11	3	11	11	11	6

Fonte: O autor

Após analisadas as opções anteriores foi verificado que nenhuma atendia de maneira efetiva aos requisitos devido ao fato de:

- Feltro e gaxeta não serem dinâmicos.
- Selo carvão e selo mecânico necessitarem de sistema de refrigeração e gerarem resíduos.
- Anel o'ring e chevron não resistirem aos 225 rpm de rotação.

Diante dos dados levantados, se viu a necessidade de criar um sistema de vedação próprio para as condições do equipamento.

Como proposta de solução foram levantadas duas opções:

-Selo hidráulico. - Selo pneumático.

Para definir a melhor proposta a ser adotada, foi retomada a planilha de avaliação conforme quadro 24.

Quadro 24 – Planilha de verificação dos selos

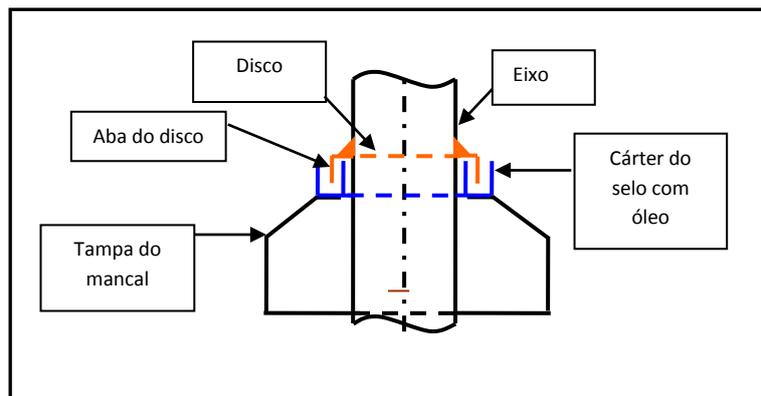
PESO	REQUISITOS	PROPOSTAS	
		Sêlo pneumático	Sêlo hidráulico
3	É dinâmico, acompanha oscilação do eixo	3	3
3	Suporta rotação do eixo (225 rpm)	3	3
3	Alta eficiência na vedação	-	3
3	Não necessita resfriamento	3	3
2	Não gera resíduo	2	2
2	Baixo consumo de energia	-	2
1	É de fácil manutenção	-	1
17	TOTAL	11	17

Fonte: O autor

O selo hidráulico atendeu a todos os requisitos propostos. Sendo, portanto, selecionado para implementação.

Foi então elaborado um croqui do dispositivo, e apresentado para que fossem analisados os detalhes de construção e de funcionamento.

Figura 7: Croqui do dispositivo implantado



Fonte: O autor

O selo hidráulico trata-se de um dispositivo composto por dois elementos, um fixo, montado na tampa do mancal e outro móvel, montado no eixo. Ambos bipartidos para permitir a montagem/desmontagem independente de outros equipamentos. O elemento fixo é um cárter vazado no centro, permitindo a passagem do eixo. Seu interior é preenchido com óleo. O elemento móvel é um disco com uma aba voltada para baixo em toda sua circunferência, em funcionamento, parte da aba fica imersa no óleo do cárter, impedindo a passagem da névoa.

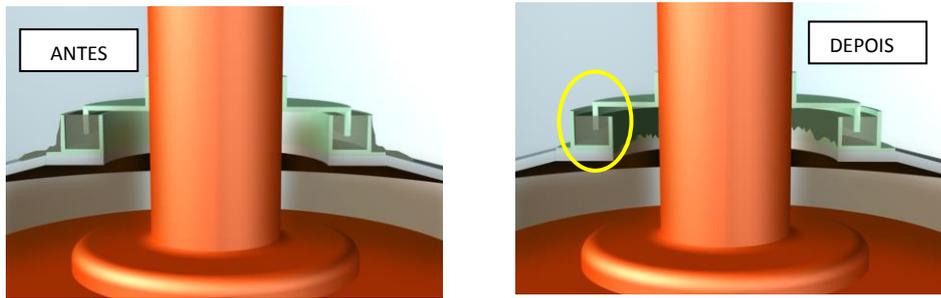
3.1.7 Efeitos colaterais da implantação

Sabendo que o dispositivo seria montado no eixo da Unidade e que qualquer correção no mesmo, por mais simples que fosse só poderia ser feita com a unidade parada, foi adotada uma postura ainda mais crítica.

3.1.7.1 O nível de óleo subir e transbordar

Caso a névoa se condensasse, o nível subiria e com o tempo acabaria por transbordar. Após analisado o desenho foi visto que a lateral interna do cárter poderia ser mais baixa que a externa, assim, ao transbordar o óleo voltaria para o cárter do mancal. Isto funcionaria como um retorno natural.

Figura 8: Representação esquemática do antes e depois do rebaixo da lateral interna



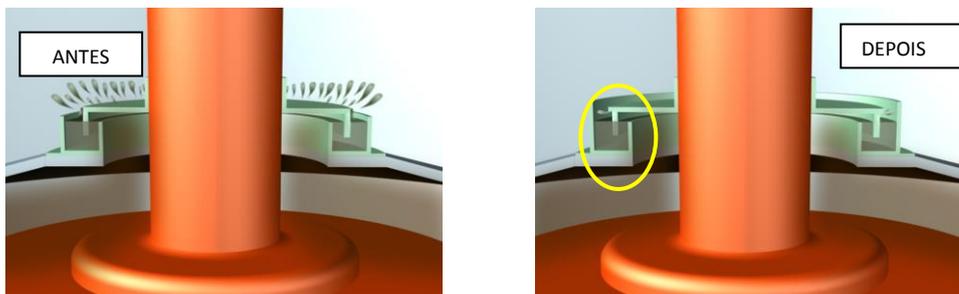
Fonte: O autor

3.1.7.2 Óleo ser arremessado para fora pela força centrífuga

Devido ao movimento rotativo, o óleo do cárter do dispositivo poderia subir pela aba do disco e ser arremessado para fora pela força centrífuga.

Observou-se que se a parte superior do disco tivesse um diâmetro maior que a circunferência da aba, e a lateral externa do cárter fosse mais alta, o óleo seria arremessado contra esta e escorreria de volta conforme figura 9.

Figura 9: Representação esquemática do antes e depois de aumentar da lateral externa

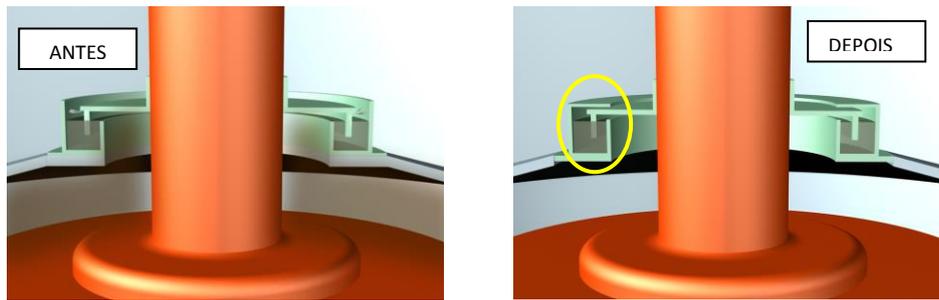


Fonte: O autor

3.1.7.3 Acidentes decorrentes

Um objeto poderia cair no interior do dispositivo ou uma pessoa poderia, acidentalmente, pôr a mão no seu interior, logo se optou por colocar uma tampa como se pode ver na figura 10.

Figura 10: Representação da montagem de uma tampa fixada sobre a lateral externa



Fonte: O autor

3.1.7.4 Outras medidas de prevenção

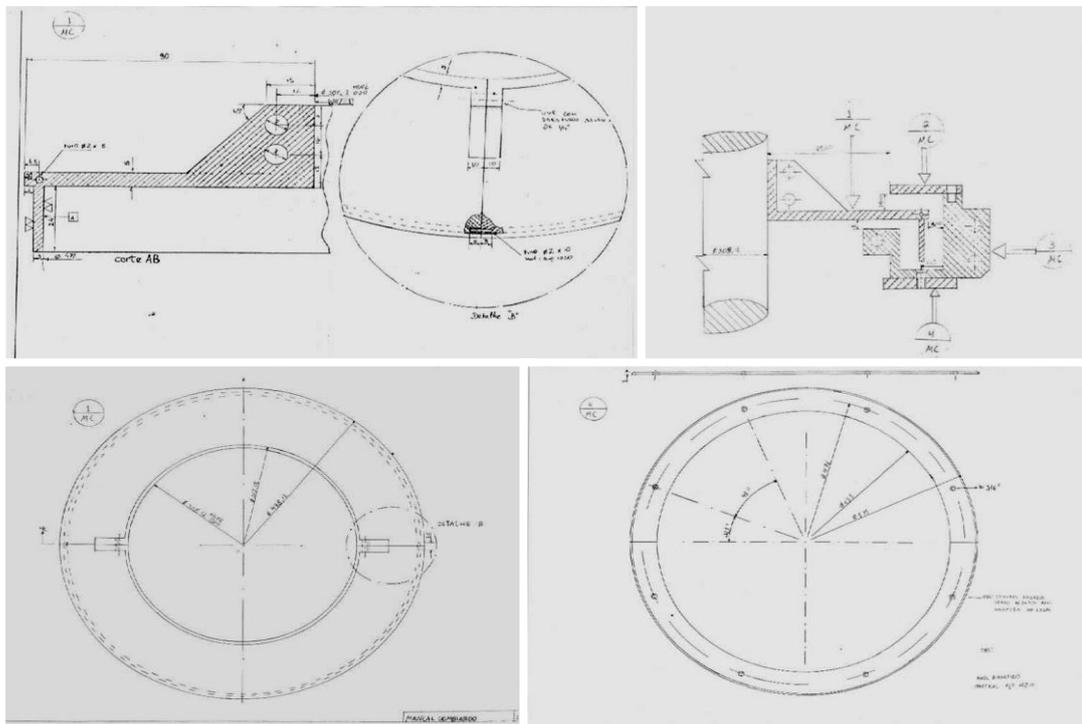
Além de todas as medidas tomadas com o formato do dispositivo, levou se em conta outros fatores como:

- Usar alumínio na confecção do disco para aliviar a massa girante.
- Confeccionar a aba do disco com a menor espessura e melhor acabamento possível, evitando turbulência.
- Especificar os parafusos de acordo com cálculo da força centrífuga que agirá no disco.
- No cárter do selo utilizar o mesmo óleo dos mancais, para evitar contaminação no caso do óleo transbordar.

3.1.8 Aplicação do selo hidráulico

Foram apresentadas as tarefas e com a aprovação de todos foram elaborados os desenhos técnicos para confecção do selo conforme figura 11.

Figura 11: Desenho técnico do dispositivo

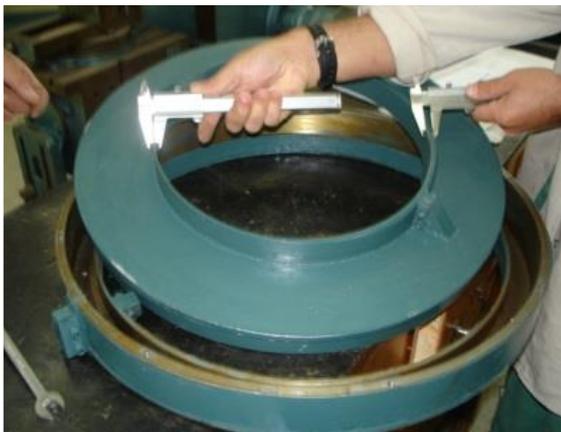


Fonte: O autor

Conforme procedimentos internos foram enviados os desenhos para três empresas de construção mecânica, o menor orçamento apresentado foi no valor de R\$ 4.000,00, ficando R\$1.000,00 abaixo do previsto. Depois de concluída a lavagem da Unidade Geradora nº4, foi montado os selos nos mancais combinado e guia inferior conforme planejamento sem que haja nenhum problema durante a montagem.

Então, depois de realizado o comissionamento conforme figura 12, foi montado o selo de acordo com o proposto e como se pode ver na figura 13 abaixo.

Figura 12: Comissionamento



Fonte: O autor

Figura 13: Montagem do cárter



Fonte: O autor

4 Resultados e Discussões

De acordo com os procedimentos da Instrução de Trabalho-UHIT-644, que trata de intervenções em mancais, no instante em que a Unidade entrou em operação, houve a necessidade de se monitorar a temperatura dos mesmos. Com isto seria possível saber também se haveria alterações nas temperaturas, devido ao enclausuramento da névoa. Verificou se, porém, que estas se estabilizaram normalmente após cinco horas de funcionamento, conforme registrado no quadro 25 abaixo.

Quadro 25 – Temperatura dos mancais após instalação do selo

Comportamento da temperatura dos mancais											
Hora	08:00	08:15	08:30	08:45	09:00	09:30	10:00	10:30	11:00	12:00	13:00
M.E.	70,6	72,5	73,2	73,4	73,5	73,7	73,9	73,9	73,9	73,9	74
M.G.I.	42,5	43,9	44,8	45,3	45,6	45,7	45,8	45,8	45,9	45,9	46

Fonte: O autor

A partir da primeira semana de operação da Unidade passou se a realizar inspeções para monitorar a eficiência do selo hidráulico, utilizando a planilha da etapa de OBSERVAÇÃO como item de controle com intuito de verificar pontos com presença de óleo depois da instalação dos selos como podemos ver no quadro 26 a seguir.

Quadro 26 – Planilha de verificação da presença de óleo

PONTOS	GRUPO GERADOR N°4											
	Semana											
	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Anel coletor	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Entreferro	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Excitatriz	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Trocadores de Calor	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Cruzetas	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Tubulações	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não
Tampas dos Mancais	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Paredes	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Fonte: O autor

A equipe de operação após fazer a limpeza semanal nos anéis coletores de todas as unidades geradoras, pode verificar que na unidade geradora n° 4, não está sendo necessária a limpeza, pois não há mais impregnação de óleo.

Após serem feitas inspeções semanais durante um período de 6 meses, pode se constatar, que a causa fundamental foi totalmente bloqueada, pois, não foi encontrado presença de óleo em nenhum dos pontos anteriormente levantados.

4.1 Efeitos colaterais

Durante a verificação do funcionamento do selo hidráulico, constatamos que não houve nenhum efeito colateral, tendo o mesmo funcionado dentro das expectativas e das normas vigentes.

4.2 Ganhos mensuráveis

Disponibilidade para geração de energia.....	R\$ 686.400,00
Otimização de mão-de-obra.....	R\$ 45.457,00
Energia economizada.....	R\$ 3.000,00
Material economizado.....	<u>R\$ 1.000,00</u>
TOTAL.....	R\$ 735.857,00

Considerando que a usina de Itutinga possui 4 unidades geradoras, teremos uma economia de R\$ 2.943.428,00, proporcionando uma economia anual de R\$ 490.571,00, referente ao custo com controles e intervenções.

4.3 Ganhos imensuráveis

Com a aplicação foi possível se obter outros ganhos que são considerados imensuráveis mas que também podem ser considerados de extrema importância.

4.3.1 Eliminação do risco de perda do isolamento entre as bobinas do estator

A perda do isolamento pode causar acidentes de proporções graves e muito onerosas para a Empresa, tais como, queima do gerador.

4.3.2 Maior confiabilidade do Sistema Interligado Nacional

Quanto menor o risco de falha em Geradores, mais confiável é o Sistema Elétrico.

4.3.3 Eliminação de atividade de risco

A lavagem do Gerador expõe os empregados a inúmeros riscos relacionados a saúde e segurança.

4.4 Ganhos adicionais

- O dispositivo contribui na preservação do meio ambiente por não gerar resíduo.
- Contribui com o programa corporativo CICE – Comissão Interna para Conservação de Energia, por não consumir energia elétrica.
- Contribui para a conquista da meta de acidente zero por eliminar atividade de risco.

5 CONCLUSÃO

Após todo um estudo aprofundado da viabilidade e aplicabilidade de um dispositivo ideal para sanar o problema em análise foi possível concluir que não existia tal produto no mercado e que seria necessário desenvolver algo que além de atender as necessidades fosse possível se adequar as normas e não trazer problemas futuros. Com isto, o desenvolvimento do selo hidráulico se mostrou completamente eficaz e ainda obteve se ganhos mensuráveis e imensuráveis por ter contido toda o óleo impregnado nas unidade geradoras da Usina Hidrelétrica de Itutinga.

Foi possível com o estudo se obter uma maior confiabilidade no Sistema Interligado Nacional bem como eliminar os riscos relacionados à saúde e segurança do colaborador.

REFERENCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 9001:2008:** Sistemas de gestão da qualidade - requisitos. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 9001:2008:** Sistemas de gestão ambiental – requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 2015.

CÂMARA, Eduardo Arruda. **Um estudo comparativo da eficiência das usinas hidrelétricas do Brasil, utilizando a análise por envoltória de dados DEA.** 2008. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

COMPANHIA ENERGIETICA DE MINAS GERIAS. **Pilares do sistema.** 2019. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/sustentabilidade/nossos_programas/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 14 de Set. 2019.

FEENEY, George J. et al. **Stock market indices: a principal components analysis.** Cowles Foundation for Research in Economics, Yale University, 1964.

GOLDEMBERG, José; MOREIRA, José Roberto. Política energética no Brasil. **Estudos avançados**, v. 19, n. 55, p. 215-228, 2005.

MATA-LIMA, H. **Aplicação de Ferramentas da Gestão da Qualidade e Ambiente na Resolução de Problemas. Apontamentos da Disciplina de Sustentabilidade e Impactes Ambientais.** Universidade da Madeira (Portugal), 2007.

MIGUEL, P.A.C. **Qualidade: enfoques e ferramentas.** 1 ed. São Paulo: Artliber, 2006.

MINAS, Porta. **Brasil Drone Usina Hidrelétrica de Itutinga Minas Gerais.** Disponível em: <<https://www.portalminas.com/news/brasil-drone-usina-hidreletrica-de-itutinga-minas-gerais-1-dji-spark?uid=138277>> . Acesso em 06 de Out. 2019.

MOREIRA, ILO DA SILVA. **Sistemas hidráulicos industriais.** SESI SENAI Editora, 2012.

MÜLLER, Carlos Arnaldo. **Hidrelétricas, meio ambiente e desenvolvimento.** 1996.

ONS, Operador Nacional do Sistema. **Plano Anual de Operação Energética 2010.** Vol. II.

PINTO JUNIOR, Helder Queiroz; ALMEIDA, Edmar Fagundes de; BOMTEMPO, José Vitor; IOTTY, Mariana; BICALHO, Ronaldo Goulart. **Economia da Energia: Fundamentos Econômicos, Evolução Histórica e Organização Industrial.** Elsevier. Rio de Janeiro, 2007.

VIEIRA, S. **Estatística para a Qualidade: Como avaliar com precisão a qualidade em produtos e serviços.** Rio de Janeiro: Elsevier, 1999.