

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

HUMBERTO CESAR DE CAMPOS

GESTÃO DA MANUTENÇÃO NA USINA HIDRELÉTRICA QUEBRA QUEIXO
Estratégias de planejamento para implementação de melhorias

Xanxerê-SC

2023

HUMBERTO CESAR DE CAMPOS

GESTÃO DA MANUTENÇÃO NA USINA HIDRELÉTRICA QUEBRA QUEIXO
Estratégias de planejamento para implementação de melhorias

Monografia apresentada para conclusão do curso superior de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - IFSC para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Me. Luiz Lopes Lemos Junior

Xanxerê-SC

2023

C198g Campos, Humberto Cesar de.
Gestão da manutenção na usina hidrelétrica Quebra Queixo : estratégias de planejamento para implementação de melhorias / Humberto Cesar de Campos. — 2023.
89 p. : il., color.

Trabalho de conclusão de curso (graduação). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - Câmpus Xanxerê.

Orientação: Prof. Me. Luiz Lopes Lemos Junior.

Inclui referências.


1. Gestão da manutenção. 2. Usina hidrelétrica. 3. Geração de energia. I. Lemos Junior, Luiz Lopes, Prof. Me. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - Câmpus Xanxerê. III. Título.

HUMBERTO CESAR DE CAMPOS


GESTÃO DA MANUTENÇÃO NA USINA HIDRELÉTRICA QUEBRA QUEIXO

Este trabalho foi aprovado para obtenção do título de Engenheiro Mecânico, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.


Xanxerê-SC, 08 de dezembro de 2023.

Documento assinado digitalmente
 LUIZ LOPES LEMOS JUNIOR
Data: 12/12/2023 22:42:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Luiz Lopes Lemos Junior
Orientador
Instituto Federal de Santa Catarina

Documento assinado digitalmente
 KLUNGER ARTHUR ESTER BECK
Data: 08/12/2023 14:51:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Klünger Arthur Éster Beck
Instituto Federal do Rio Grande do Sul

Documento assinado digitalmente
 JEANCARLOS ARALDI
Data: 08/12/2023 15:31:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Jeancarlos Araldi
Instituto Federal de Santa Catarina

RESUMO

Este trabalho aborda as plantas de geração de energia elétrica e seus principais equipamentos. Descreve-se o princípio de funcionamento dos equipamentos fundamentais e aborda-se os conceitos associados aos tipos de intervenções para manutenção. Realizou-se uma pesquisa com base nas informações do banco de dados de manutenção da UHE Quebra Queixo, localizada no oeste de Santa Catarina, a fim de se levantar as falhas ao longo de todo o período de operação comercial da usina. As providências tomadas diante dessas falhas, as melhorias implementadas e as modificações de projeto foram descritas. Esse levantamento baseou-se em uma pesquisa sobre as motivações que impulsionaram a empresa a adotar tais melhorias. Concluiu-se que a equipe de manutenção, ao invés de apenas manter os equipamentos na condição inicial de projeto, desempenha um papel ativo na promoção da melhoria contínua contribuindo para seu próprio desenvolvimento e otimizando o desempenho operacional da planta.

Palavras-chave: Gestão da Manutenção; Usina Hidrelétrica; Geração de Energia.

ABSTRACT

This work explores electric power generation plants and their main equipment. It describes the operational principles of essential equipment and addresses concepts associated with maintenance interventions. A research study was conducted based on the maintenance database of the UHE Quebra Queixo, located in western Santa Catarina, Brazil, to identify failures throughout the entire period of commercial operation of the plant. The measures taken in response to these failures, the implemented improvements, and project modifications were described. This survey was based on an investigation into the motivations that led the company to adopt such improvements. The conclusion reached is that the maintenance team, instead of merely maintaining the equipment in its initial design condition, plays an active role in promoting continuous improvement, contributing to its own development, and optimizing the operational performance of the plant.

Keywords: Maintenance Management; Hydroelectric Power Plant; Power Generation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - PCH Fortuna II (Guanhães-MG)	20
Figura 2 - Turbina Pelton de eixo vertical	22
Figura 3 - Turbina Francis de eixo vertical	22
Figura 4 - Rotor de um gerador síncrono	23
Figura 5 - Conjunto distribuidor	26
Figura 6 - Malha de controle de regulação de velocidade	27
Figura 7 - Fluxograma da pesquisa	34
Figura 8 - Controle de falhas nas unidades geradoras	37
Figura 9 – Identificação das trincas encontradas no rotor da turbina.....	41
Figura 10 - Substituição de parte de uma pá do rotor da turbina	42
Figura 11 - Ensaio de ultrassom na região com inserto de material	42
Figura 12 - Gráfico de vibração do MGI do ensaio de faixa operativa	44
Figura 13 - Gráfico FFT de vibração do cone do tubo de sucção	45
Figura 14 - Bieletes de flambagem.....	47
Figura 15 - Bielete de flambagem quebrado	48
Figura 16 - Bielete de flambagem com quebra por fadiga	49
Figura 17 - Concentração de tensão sobre os bieletes de flambagem	50
Figura 18 - Substituição de bieletes antigos por bieletes modificados.....	50
Figura 19 - Máquina limpa-grades antes da modificação	54
Figura 20 - Proteções das partes móveis da máquina limpa-grades	55
Figura 21 - Termografia nos TPs do barramento principal da subestação.....	56
Figura 22 - Instalação original do TP do barramento principal.....	57
Figura 23 - Instalação modificada dos TPs do barramento principal	58
Figura 24 - Centralização da tampa inferior do MGI	60
Figura 25 - Transformadores de SA antes da adequação	63
Figura 26 - Área dos TSAs após modificação	64
Figura 27 - Tubulação de direcionamento da bacia de contenção	65

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Tabela 1 - Levantamento quantitativo de ocorrências de falhas	38
Tabela 2 - Levantamento quantitativo de motivações para melhorias	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
AT	Alta Tensão
BT	Baixa Tensão
CCMU	Centro de Controle de Motores da Unidade
CC	Corrente Contínua
CEC	Companhia Energética Chapecó
CF	Casa de Força
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
CHRV	Central Hidráulica do Regulador de Velocidade
COI	Centro de Operação Integrado
COSR-S	Centro de Operação do Sistema Regional Sul
CREA	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia
DJ	Disjuntor
GDE	Gerador Diesel de Emergência
GF	Garantia Física
HEDF	Horas Equivalentes de Desligamento Forçado
LD	Linha de Distribuição
LT	Linha de Transmissão
MCC	Manutenção Centrada na Confiabilidade
MGT	Mancal Guia da Turbina
MRA	Mecanismo de Redução da Energia Assegurada
MT	Média Tensão
NBR	Norma Técnica Brasileira
NR	Norma Regulamentadora
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PCM	Planejamento e Controle de Manutenção
PZO	Pinhalzinho
QDCF	Quadro de Distribuição da Casa de Força
QQX	Quebra Queixo

RT	Regulador de Tensão
RV	Regulador de Velocidade
SE	Subestação
SIG	Sistema de Gestão de Intervenções
SIN	Sistema Interligado Nacional
TC	Transformador de Corrente
TEX	Transformador de Excitação
TP	Transformador de Potencial
TSA	Transformador do Serviço Auxiliar
UG	Unidade Geradora
UHE	Usina Hidrelétrica

LISTA DE SÍMBOLOS

Hz	Hertz
km ²	quilômetro quadrado
kV	quilovolt
kW	quilowatt
m	metro
mm	milímetro
MW	megawatt
SF ₆	hexafluoreto de enxofre
Vcc	volt em corrente contínua

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Estrutura da monografia	16
1.2	Objetivos	16
1.2.1	Objetivo geral.....	16
1.2.2	Objetivos específicos	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	Geração de energia proveniente das usinas hidrelétricas	18
2.1.1	Tipos de plantas de geração de energia elétrica.....	19
2.2	Principais equipamentos em uma usina hidrelétrica	21
2.2.1	Turbina	21
2.2.2	Gerador síncrono	23
2.2.3	Reguladores de tensão	24
2.2.4	Reguladores de velocidade.....	25
2.3	Gestão de manutenção.....	28
2.3.1	Manutenção corretiva	28
2.3.2	Manutenção preventiva.....	30
2.3.3	Manutenção preditiva.....	31
2.3.4	Manutenção detectiva	32
2.3.5	Manutenção centrada na confiabilidade (MCC)	32
3	METODOLOGIA.....	33
3.1	Sequenciamento de ações da pesquisa.....	34
4	FALHAS NAS UNIDADES GERADORAS DA UHE QUEBRA QUEIXO ...	36
5	MÉTODOS PARA MITIGAÇÃO DAS FALHAS.....	40
5.1	Trincas no rotor da turbina	40
5.1.1	Insertos nas pás dos rotores das turbinas.....	41
5.1.2	Ensaio de faixa operativa	43
5.2	Falhas no sistema de excitação.....	46
5.3	Quebra de bielas do distribuidor	47
6	LEVANTAMENTO DAS MOTIVAÇÕES PARA MELHORIAS.....	52
6.1	Adequação às normas, regulamentos e leis.....	53
6.1.1	Instalação de barreiras de proteção na máquina limpa-grades	53

6.2	Correção de projetos	55
6.2.1	Modificação na interligação dos TPs de barra.....	56
6.3	Facilitar atividade de manutenção	58
6.3.1	Instalação de pinos guia na tampa do mancal guia inferior	59
6.4	Aperfeiçoamento do desempenho operacional	61
6.4.1	Implementação de ajuste fino automático de potência ativa	61
6.5	Prevenção contra danos ambientais	62
6.5.1	Construção de caixas de contenção de óleo para os TEX e os TSAs	62
7	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	66
7.1	Ocorrências de falhas	66
7.2	Outras motivações	67
7.2.1	Adequação às normas, regulamentos e leis:.....	67
7.2.2	Correção de projetos	67
7.2.3	Estratégias para evitar acidentes	68
7.2.4	Estratégias para facilitar as atividades de manutenção	68
7.2.5	Estratégias para aperfeiçoamento do desempenho operacional	68
7.2.6	Obsolescência de equipamentos	69
7.2.7	Prevenção contra danos ambientais	69
8	CONCLUSÃO	71
	REFERÊNCIAS	73
	ANEXO A – CONTROLE DE FALHAS NAS UNIDADES GERADORAS	76
	ANEXO B – CONTROLE DE ENSAIOS NAS TURBINAS	81
	ANEXO C – DATASHEET DO ACELERÔMETRO	85
	APÊNDICE A – MELHORIAS IMPLEMENTADAS NA UHE QUEBRA QUEIXO	87

1 INTRODUÇÃO

A energia proveniente das usinas hidrelétricas é uma fonte que contribui pouco para o aquecimento global e é considerada como renovável. As primeiras hidrelétricas no Brasil datam do século XIX nas regiões Sul e Sudeste. A energia hidrelétrica chegou a representar 90% da matriz energética brasileira e teve sua presença reduzida apenas em 2008 (PRIETO, 2012).

Um dos segmentos que mais destaca a importância de um eficaz controle e gerenciamento de manutenção é a geração de energia. Usinas Hidrelétricas, Pequenas Centrais Hidrelétricas e Centrais de Geração Hidrelétrica demandam uma estratégia adequada da gestão da manutenção.

Conforme esclarecimentos de Realpe (2012, p. 3):

É exorbitante a quantidade de peças, equipamentos, sistemas e subsistemas presentes em uma usina hidrelétrica. Isto implica que a decisão de manutenção é diferente para cada tipo de equipamento e, com isso, é necessário que se disponibilize mecanismos efetivos em que se possa selecionar ou apoiar cada tarefa de manutenção de acordo ao tipo de equipamento em questão, tendo em vista o melhoramento do planejamento das tarefas de reparos. Deste modo podem se aperfeiçoar os procedimentos de manutenção nas instalações desse porte.

Manutenção é o conjunto de ações e cuidados que visam manter o adequado funcionamento das máquinas, equipamentos, peças etc. Etimologicamente, a origem deriva do latim *manus tenere*, que significa “manter o que se tem”. Várias definições oriundas de órgãos certificadores e normalizadores têm foco principal no adequado funcionamento dos equipamentos (ALMEIDA, 2015).

Há várias literaturas e trabalhos sobre os variados tipos de manutenção. A maneira de mensurar os tipos de manutenção modificou-se ao longo dos anos e há várias linhas de pensamento sobre seus diferentes tipos. Siqueira (2005 *apud* SOUZA, 2008) descreve que a classificação dos tipos de manutenções empregadas é feita de acordo com a estratégia e a ação dos usuários mediante as possíveis falhas. São elas:

- Manutenção reativa ou corretiva;
- Manutenção preventiva;
- Manutenção preditiva;
- Manutenção proativa;
- Manutenção produtiva;

- Manutenção detectiva.

Por outro lado, Viana (2020) alega que as diferenças entre esses tipos são irrelevantes e afirma que alguns tipos descritos como diferentes entre si são apenas diferenciados pela maneira como essas intervenções são encaminhadas no sistema de produção. Segundo o autor, muitas vezes, confusões são causadas por “ondas” de modismo com o intuito de aparentar algo novo. Este projeto tem o foco no estudo das intervenções que vão além das práticas convencionais de manutenção.

Apesar dos mais variados tipos de manutenção disponíveis, certas vezes não há o que se fazer, senão substituir o equipamento. Faz-se necessária a verificação da necessidade de substituir por um outro equipamento (de qualidade superior, moderno, com maior robustez, menos suscetível a falhas etc.). Outras vezes, uma pequena modificação na estrutura de um equipamento, na ligação elétrica, na configuração ou no método de funcionamento revelam resultados satisfatórios na diminuição de falhas ou no desempenho dos equipamentos.

Desta forma, devem ser analisadas as vantagens e desvantagens de manter um equipamento e prover as manutenções necessárias ou de pensar em uma substituição e arcar com o custo e o processo de adaptação.

Alguns fatores e características que têm por indicação uma intervenção para implementação de melhorias, *retrofit* (modificação do sistema para adaptação de um equipamento ou componente mais moderno) ou substituição completa de um equipamento ou sistema são decorrentes de:

- Falhas repetitivas com a mesma causa;
- Depreciação natural do ativo;
- Obsolescência do equipamento, o que acarreta a falta de peças e materiais de reposição no mercado, falta de suporte técnico e atualizações de software;
- Falhas iminentes por indicação das atividades de manutenção preditiva;
- Identificação de erros de projeto ao longo da vida útil do equipamento.

Este estudo se justifica por serem graves as consequências de falhas nos equipamentos por fragilidade dos projetos. Além da queda na produção, intervenções não planejadas e altos custos de reparo, as falhas também causam impacto nos

indicadores de desempenho (taxa de disponibilidade, taxa de falhas, taxa equivalente de indisponibilidade forçada). Conforme Oliveira (2021), para garantir um serviço de qualidade, foi criado o Mecanismo de Redução da Energia Assegurada (MRA), cujo objetivo é avaliar se as usinas hidrelétricas estão cumprindo com os requisitos de disponibilidade de geração. O MRA pode causar a redução da garantia física (GF) o que impacta financeiramente os empreendimentos de geração de energia, já que estes se veem obrigados a comprar energia de outros geradores para atender seus requisitos contratuais.

A implementação de melhorias requer um bom conhecimento sobre princípios de funcionamento, configuração de supervisão e controle e estrutura física dos equipamentos. Basicamente, uma sugestão de melhoria por parte da manutenção, deve deixar o equipamento em uma condição equivalente àquela para a qual foi projetada, sua função requerida. Kardec e Nascif (2009, p. 107) retratam o termo “função requerida” como “[...] o limite de admissibilidade abaixo do qual a função não é mais satisfatória”. Comumente, as melhorias são de baixo custo e de bons resultados para mitigação de falhas e defeitos.

Os *retrofits* e modernizações normalmente resolvem problemas crônicos e renovam a vida útil do sistema (COSTA, 2004). Porém, um alto custo e grandes períodos de indisponibilidade estão associados a essa decisão.

A problemática desta pesquisa é estabelecer os critérios a serem observados, classificar as condições operacionais e definir a melhor ação para cada caso. Objetiva-se responder à pergunta: Quais são os parâmetros a serem observados para a tomada de decisão de alterar o projeto original de um equipamento fazendo modificações ou melhorias?

O objetivo deste estudo é abordar a administração da manutenção e as técnicas aplicadas na usina hidrelétrica Quebra Queixo. Serão analisadas as dificuldades enfrentadas ao longo dos 20 anos de operação comercial da usina. Diversas fontes, como literaturas, trabalhos acadêmicos e sites na internet, apresentam diferentes formas de escrever o nome do empreendimento. Optou-se, neste trabalho, pela adoção da forma "Quebra Queixo", com palavras separadas, sem hífen e com letras maiúsculas, conforme grafado no decreto presidencial pelo então presidente Fernando Henrique Cardoso no ato de concessão (BRASIL, 2000, p. 1).

Art. 1º = Fica outorgada à empresa Companhia Energética Chapecó – CEC concessão de uso de bem público para exploração de potencial hidráulico, por meio da usina hidrelétrica denominada Quebra Queixo, e sistema de transmissão de interesse restrito da central geradora, em trecho do rio Chapecó, localizado nos Municípios de São Domingos e Ipuação, Estado de Santa Catarina.

1.1 Estrutura da monografia

No capítulo 2, serão abordados os conceitos e classificações de plantas de geração de energia, detalham-se os tipos de manutenção normalmente empregados nas usinas de geração de energia e na indústria. Estas informações serão o referencial para a coleta de informações da pesquisa a ser realizada posteriormente. O capítulo 3 terá a descrição da metodologia utilizada para levantamento de dados e a definição dos métodos que analisarão os resultados. No capítulo 4, será apresentada uma pesquisa sobre os principais tipos de falhas em unidades geradoras, suas consequências e impacto nos indicadores de desempenho. Serão expostos os critérios que caracterizam as condições específicas de cada tipo de falha e se formulará um método para classificação dessas condições.

Após a coleta de informações, serão descritas as estratégias adotadas para cada classe de condição operacional.

1.2 Objetivos

Os objetivos deste trabalho serão divididos em um objetivo geral e três objetivos específicos.

1.2.1 Objetivo geral

Descrever o processo decisório de ação para cada tipo de condição operacional de equipamentos de acordo com o histórico de falhas, fragilidades e necessidades de alterações.

1.2.2 Objetivos específicos

Após explorar os conceitos de plantas de geração de energia e técnicas de manutenção convencionais, será necessário cumprir os objetivos específicos a seguir para alcançar o objetivo geral:

- Investigar as principais causas de falhas e indisponibilidades de unidades geradoras de plantas de geração de energia elétrica;
- Descrever métodos de mitigação de falhas de unidades geradoras;
- Classificar as diversas motivações que levaram a empresa a implementar alterações nos sistemas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Desde o início da existência do homem na Terra, a utilização de energia é essencial para sua sobrevivência. Inicialmente, o homem se utilizava basicamente de sua própria força, utilizando as mãos como ferramentas. Após um tempo, desenvolveu ferramentas manuais para facilitar os trabalhos. Passou a utilizar a força animal para mover essas ferramentas e após isso, a energia das águas para a movimentação de maquinários rudimentares. Ao longo de todo o seu desenvolvimento, foi necessária uma constante busca por formas alternativas de exploração da energia da natureza até os dias atuais em que é utilizada a combustão dos elementos fósseis (petróleo, carvão, gás natural), utilização dos potenciais hidráulicos ou a fissão nuclear do urânio (MAGALHÃES, 1978).

Este capítulo tem por objetivo principal apresentar os conceitos e princípios de geração de energia. Magalhães (1978) define como uma das mais importantes formas de energia, especificamente, a energia elétrica. As formas de energia disponíveis, durante toda a trajetória da humanidade ao longo do tempo, exigiam sua utilização no próprio local. Um engenho movido por uma roda d'água, por exemplo, tinha que ser instalado perto de um desnível, uma cachoeira ou uma corredeira. O autor afirma que essa barreira foi transpassada apenas no século XIX com o advento da corrente elétrica. Com a corrente elétrica, foi possível transportar a energia elétrica por cabos e fios a longas distâncias, o que permitiu sua utilização em locais remotos viabilizando o uso de uma grande variedade de dispositivos e maquinário devido à energia hidrelétrica.

Reis (2017) destaca que, assim como os transportes, telecomunicações, água potável e saneamento básico, a energia elétrica é um importante item que compõe a infraestrutura para a vida humana. É de suma importância o tratamento dos temas energéticos devido à necessidade de manter o desenvolvimento de forma sustentável para a vida.

2.1 Geração de energia proveniente das usinas hidrelétricas

Há várias formas de geração de energia, dentre elas a geração através de usinas hidrelétricas se destaca por ter pouco impacto no meio ambiente. Por isso

caracteriza-se como uma fonte de energia renovável. Oliveira (2021, p. 14) descreve o Sistema Elétrico Brasileiro (SIN) e destaca a importância das usinas hidrelétricas:

O Sistema Elétrico Brasileiro (SEB) possui uma matriz elétrica formada atualmente (2021), de aproximadamente 83% de energia renovável com relação a capacidade instalada. Dessa fonte, cerca de 63% é composta de Usinas Hidrelétricas (UHEs). Neste cenário foi criado o Sistema Interligado Nacional (SIN), que tem como função coordenar e controlar a geração de energia elétrica das numerosas usinas hidrelétricas (UHEs) de grande porte, espalhadas pelo extenso território nacional. O SIN tem como missão assegurar a transmissão de energia entre os subsistemas brasileiro (Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e a maior parte da região Norte), de forma segura e com os menores custos possíveis.

Conforme Oliveira (2021), as plantas de geração de energia exercem um papel fundamental na sociedade, pois são elas que fornecem um dos principais insumos para processos de fabricação ou para o suporte à vida moderna, de modo geral.

Realpe (2012) dá ênfase à manutenção nos equipamentos de usinas hidrelétricas, PCHs e CGHs, fundamentais para o processo de geração de energia e garantia da segurança das instalações e das pessoas. Tais equipamentos demandam atenção e cuidado para exercerem seus papéis dentro dos padrões de desempenho necessários.

2.1.1 Tipos de plantas de geração de energia elétrica

Além das usinas hidrelétricas, outras plantas de geração de energia utilizam o aproveitamento hidráulico dos rios para geração de energia. O princípio de funcionamento é o mesmo, mas há características específicas que as diferem das usinas hidrelétricas. São as PCHs (Pequenas Centrais Hidrelétricas) e as CGHs (Centrais de Geração Hidrelétrica).

A Resolução ANEEL nº 394 (1998, art. 2º, n.p.) definia que:

Os empreendimentos hidrelétricos com potência superior a 1.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW, com área total de reservatório igual ou inferior a 3,0 km², seriam considerados como aproveitamentos com características de pequenas centrais hidrelétricas.

Essa resolução foi substituída e novos parâmetros de classificação foram adotados. A Resolução Normativa nº 875 da ANEEL (2020) estabelece os requisitos e procedimentos necessários para a realização dos Estudos de Inventário Hidrelétrico. Além disso, define terminologias e conceitos dos aproveitamentos hidrelétricos, tipologia e características dos empreendimentos.

Conforme a Resolução Normativa supracitada, em seu Art. 6º, serão enquadrados como usina hidrelétrica (UHE), os aproveitamentos hidrelétricos com as seguintes características:

- I. potência instalada superior a 5.000 kW e igual ou inferior a 50.000 kW, desde que não sejam enquadrados como PCH e estejam sujeitos à outorga de autorização;
- II. potência instalada superior a 50.000 kW, sujeitos à outorga de concessão;
- III. independentemente da potência instalada, tenham sido objeto de outorga de concessão ou de autorização.

No artigo 5º, são caracterizadas as pequenas centrais hidrelétricas (PCHs):

- I. Potência instalada superior a 5.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW;
- II. Área de reservatório de até 13 km², excluindo a calha do leito regular do rio.

Segundo o mesmo artigo da referida resolução, a limitação de área do reservatório não se aplica aos reservatórios de regularização da vazão natural ou cujo dimensionamento tenha outros objetivos que não o de geração de energia elétrica.

A Figura 1 apresenta um exemplo de PCH, cuja estrutura física é relativamente pequena, se comparada às UHEs.

Figura 1 - PCH Fortuna II (Guanhães-MG)



Fonte: Hidroenergia (2023).

No seu artigo 4º, a definição de CGH (Central Geradora Hidrelétrica com Capacidade Instalada Reduzida) se aplica àqueles aproveitamentos hidrelétricos com capacidade instalada inferior a 5.000 kW.

2.2 Principais equipamentos em uma usina hidrelétrica

Dentre os mais variados equipamentos em uma usina hidrelétrica, destacam-se aqueles diretamente ligados ao circuito de geração. São equipamentos essenciais para o processo produtivo.

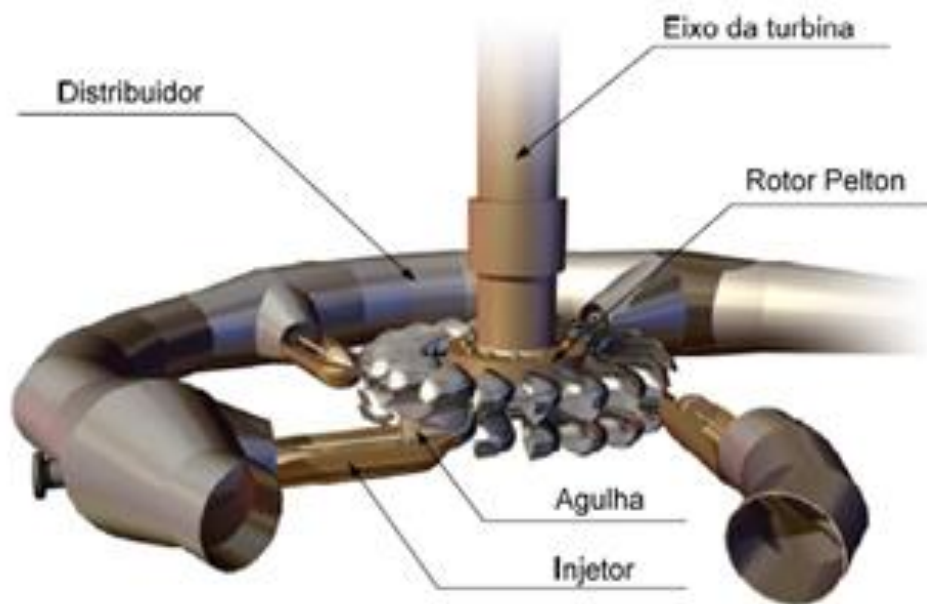
2.2.1 Turbina

As turbinas são componentes vitais das usinas hidrelétricas, responsáveis por absorver a energia hidráulica. Essa energia é convertida em torque para o eixo. Posteriormente, esse torque será aproveitado pelo gerador para transformá-lo em energia elétrica.

No que se refere ao funcionamento das turbinas, a energia hidráulica é convertida em energia mecânica pelo rotor da turbina, que está conectado a um eixo acoplado a um gerador elétrico. Conforme a vazão de água e a queda d'água, a turbina gira em uma determinada velocidade, gerando energia elétrica (HIDALGO, 2010).

De acordo com Prieto (2012), as turbinas hidráulicas são classificadas em três tipos principais: Francis, Kaplan e Pelton. A turbina Kaplan é mais indicada para usinas em que há baixa queda hidráulica e alta vazão disponível. Já a turbina Pelton é recomendada para usinas de alta queda com pequena vazão. A turbina Pelton opera com jatos de água com alta velocidade posicionados em posição tangencial ao rotor da turbina, conforme demonstra a Figura 2.

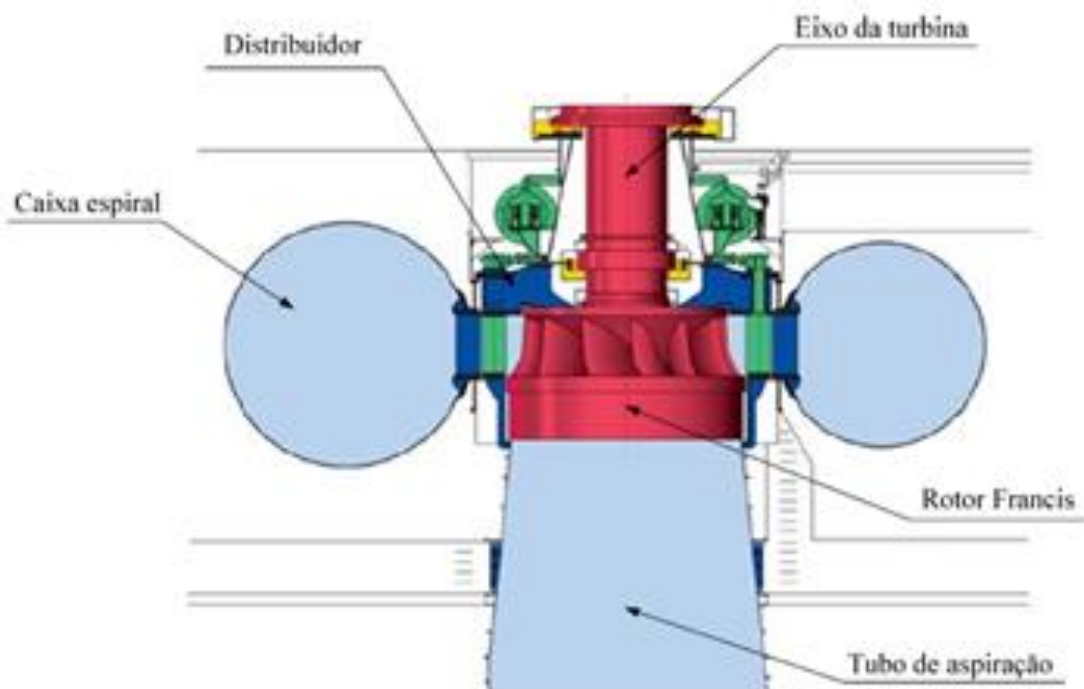
Figura 2 - Turbina Pelton de eixo vertical



Fonte: Hidalgo (2010).

A turbina Francis é mais utilizada em usinas hidrelétricas em que a vazão e a queda são moderadas. A Figura 3 apresenta o conjunto de uma turbina Francis com caixa espiral, distribuidor e eixo.

Figura 3 - Turbina Francis de eixo vertical



Fonte: Hidalgo (2010).

Para garantir o desempenho e a confiabilidade das turbinas, é necessário realizar manutenções preventivas e corretivas. Segundo Realpe (2012), a manutenção preventiva tem como objetivo evitar falhas e paradas inesperadas, enquanto a manutenção corretiva tem o intuito de corrigir problemas já existentes. É fundamental a análise e o monitoramento das condições operacionais da turbina, utilizando-se de técnicas como a análise de vibração e acompanhamento das temperaturas dos mancais, por exemplo.

2.2.2 Gerador síncrono

Os geradores síncronos são peças fundamentais das usinas hidrelétricas, pois são responsáveis por converter a energia mecânica produzida pela turbina em energia elétrica.

Segundo Santos (2016), o gerador síncrono é composto basicamente por uma parte móvel, denominada rotor, que contém as bobinas de campo que geram o campo magnético girante. Na parte fixa, denominada estator, se encontram as bobinas de armadura. Quando o rotor é acionado pela turbina, o campo magnético girante interage com as bobinas de armadura do estator, induzindo uma corrente elétrica. A Figura 4 apresenta um rotor com polos salientes.

Figura 4 - Rotor de um gerador síncrono



Fonte: Companhia Energética Chapecó (2017)

Para garantir o correto funcionamento do gerador síncrono, é necessário que sejam realizadas manutenções preventivas e corretivas. Nesse sentido, Santos (2016) destaca a importância da inspeção visual e testes elétricos periódicos nos geradores para a identificação de problemas como desgaste ou danos nos enrolamentos, deformações no rotor, entre outros.

Ainda de acordo com Santos (2016), o processo de manutenção dos geradores síncronos pode ser dividido em três fases: preparação, execução e pós-manutenção. A fase de preparação envolve o planejamento e a preparação dos recursos necessários para a execução da manutenção. A fase de execução consiste na realização das atividades programadas e testes de funcionamento. E a fase pós-manutenção compreende as atividades de limpeza, lubrificação, testes finais e documentação.

Em relação ao *retrofit* dos geradores síncronos, Miranda (2018) afirma que essa é uma alternativa para aumentar a vida útil dos equipamentos, reduzir custos e aumentar a eficiência energética das usinas hidrelétricas. O *retrofit* pode incluir a substituição de peças obsoletas por novas e modernas, a melhoria dos sistemas de controle e monitoramento, lógicas de supervisão e malhas de controle entre outras melhorias.

Destaca-se a importância do monitoramento constante dos geradores síncronos. Conforme Nogueira (2021), o uso de sistemas de monitoramento em tempo real pode auxiliar na identificação precoce de possíveis falhas nos equipamentos, permitindo a realização de ações preventivas para que não ocorram paradas não programadas.

2.2.3 Reguladores de tensão

O regulador de tensão é um dos componentes do sistema de excitação. Excitação é a alimentação elétrica necessária para criar o campo magnético do indutor. Em geradores de usinas hidrelétricas o indutor fica no rotor. O sistema de excitação como um todo, abrange a fonte de energia para excitação do campo magnético, todo equipamento cuja função exclusiva é prover tensão de alimentação para o sistema de excitação (transformadores, disjuntores), os meios pelos quais a energia é conduzida até o campo e o regulador de tensão.

Reguladores de tensão são dispositivos indispensáveis em geradores de usinas hidrelétricas, responsáveis por controlar e manter a tensão de saída do estator dentro dos limites operacionais (MIRANDA, 2018).

Miranda (2018) ainda descreve o princípio de funcionamento dos reguladores de tensão como sendo similar ao de reguladores de tensão em sistemas elétricos de potência. Os reguladores de tensão são conectados à saída dos geradores, controlando o campo magnético do rotor para manter a tensão terminal controlada. O controle é realizado por meio de um sistema de regulação automático que monitora a tensão do gerador e ajusta o campo magnético do rotor através do controle da tensão de excitação.

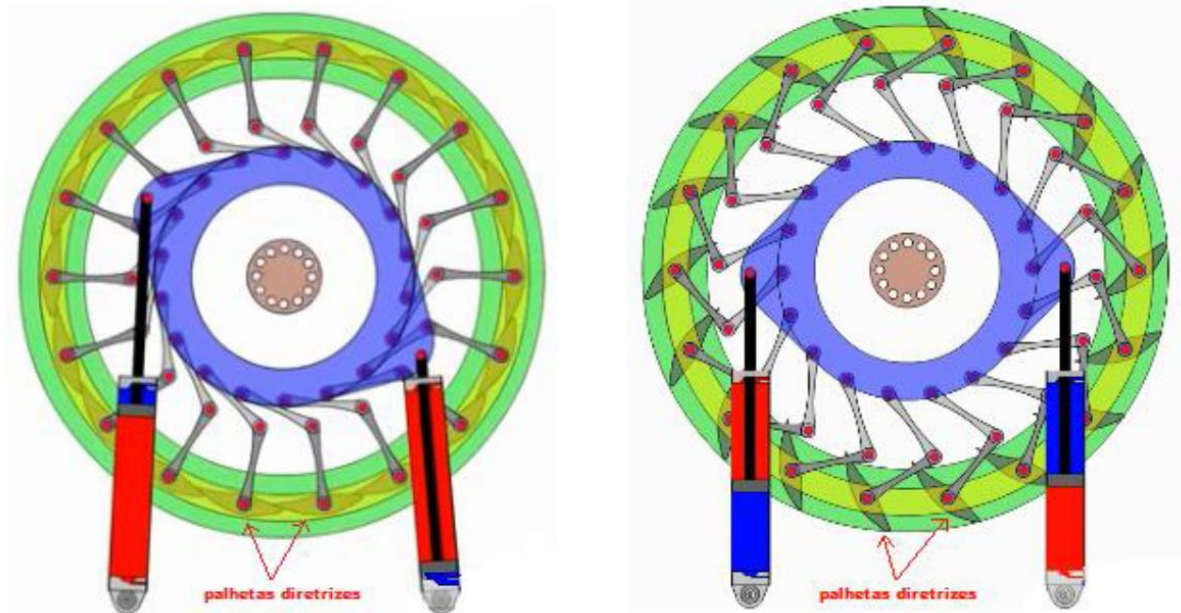
Em termos de manutenção, os reguladores de tensão em geradores hidrelétricos requerem cuidados especiais devido à sua importância para a estabilidade do sistema elétrico. A manutenção preventiva deve ser realizada regularmente, com inspeções visuais, testes elétricos e verificação da operação dos sistemas de controle e proteção. Além disso, é importante ter definida a periodicidade para calibração dos equipamentos de medição para garantia da precisão requerida. Os transdutores de tensão e corrente são os principais instrumentos para alimentação da malha de controle.

2.2.4 Reguladores de velocidade

Os reguladores de velocidade são equipamentos fundamentais para o funcionamento dos geradores síncronos de energia. Os geradores necessitam trabalhar na velocidade adequada porque sua velocidade é proporcional à frequência elétrica da tensão alternada gerada. No Brasil, o Sistema Interligado Nacional opera com a frequência padronizada de 60Hz.

Na Figura 5, é possível ver do lado esquerdo o conjunto distribuidor fechado e, do lado direito, o distribuidor aberto. O distribuidor pode assumir várias posições intermediárias de acordo com o comando do regulador de velocidade.

Figura 5 - Conjunto distribuidor



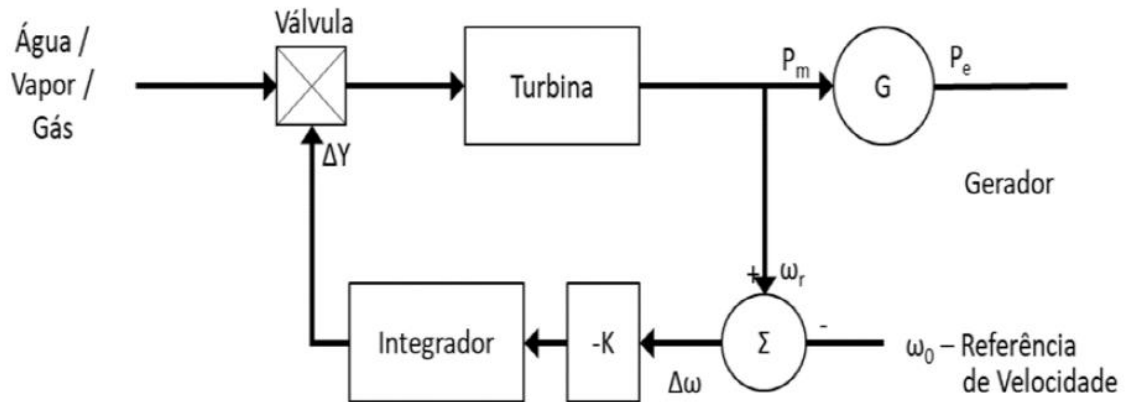
Fonte: Yamashita et al. (2022)

Esses equipamentos regulam a velocidade da máquina primária, geralmente turbinas hidráulicas, através da restrição de vazão de água. A vazão de água é controlada através de equipamentos hidromecânicos comandados hidráulicamente e controlados eletronicamente.

Yamashita et al. (2022) destacam que um dos métodos mais comuns de controle é através de válvulas hidráulicas proporcionais. Essas válvulas funcionam comandadas por um sinal analógico oriundo do regulador de velocidade. As válvulas proporcionais comandam servomotores que acionam os dispositivos hidromecânicos de controle de vazão.

O sinal analógico oriundo do regulador de velocidade, faz parte de uma malha de controle que monitora a rotação do eixo e controla ativamente a vazão de água para manter a velocidade em nível constante quando em regime estabilizado, conforme esquemático da Figura 6.

Figura 6 - Malha de controle de regulação de velocidade



Fonte: Yamashita et al. (2022)

No momento da partida, a malha de controle monitora a abertura do distribuidor através de sensor de posicionamento mecânico. O regulador de velocidade executa a rampa de abertura pré-determinada e a velocidade conseqüentemente alterada. Quando a velocidade alcança um valor próximo da nominal, o regulador deixa de monitorar a abertura e passa a monitorar a rotação da máquina para que a frequência esteja próxima de 60 Hz. Neste último caso, a abertura deixa de fazer parte da malha e controle e é alterada pelo regulador de velocidade como meio para se alcançar a velocidade determinada (YAMASHITA et al., 2022).

Após a unidade geradora ser sincronizada e interligada ao sistema e, devido ao fato de a velocidade ser proporcional à frequência elétrica, a velocidade não mais se altera. Esse fenômeno se deve ao sistema elétrico ser robusto o suficiente para segurar todas as UGs sincronizadas em velocidade constante.

Com a UG interligada, o regulador de velocidade atua sobre o distribuidor, aumentando ou diminuindo a vazão hidráulica. Como a frequência está travada em valor constante pela robustez do sistema elétrico, a variação da vazão hidráulica fornece maior ou menor potência à turbina e, conseqüentemente, maior ou menor torque para o eixo de acoplamento da turbina com o gerador. O torque no eixo determina a potência ativa da energia elétrica fornecida pelo gerador.

Segundo Miranda (2018), os reguladores de velocidade são dispositivos eletrônicos que permitem ajustar a velocidade da turbina hidráulica, mantendo-a constante em diferentes situações de carga. Eles são essenciais para garantir a estabilidade do sistema elétrico e evitar desligamentos.

2.3 Gestão de manutenção

Segundo Monchy (1987), o gerenciamento da manutenção é o fator que permite que a indústria aproveite ao máximo os recursos dos equipamentos e materiais. Cada fase do planejamento e execução descritos anteriormente é empregada para cada equipamento da indústria, o que torna o planejamento da manutenção um trabalho complexo e repleto de detalhes. O conjunto de informações sobre a estratégia de manutenção é chamado de PCM (Planejamento e Controle da Manutenção). O PCM define as técnicas empregadas para cada equipamento e a maneira de medir os resultados.

A gestão da manutenção é uma das áreas mais importantes para o alcance dos resultados esperados pela empresa. Uma boa gestão da manutenção é decisiva para alcançar os objetivos (ALMEIDA, 2015).

Dependendo da estratégia da empresa no que se refere às opções de providências a serem tomadas para cada tipo de falha são utilizados os diversos tipos de manutenção. Siqueira (2005) identifica algumas categorias de manutenção possíveis de serem empregadas na indústria:

- Manutenção corretiva ou manutenção reativa;
- Manutenção preventiva;
- Manutenção preditiva;
- Manutenção detectiva.

2.3.1 Manutenção corretiva

A manutenção corretiva é a intervenção que tem por objetivo normalizar ou levar um equipamento a uma condição tolerável para que volte a executar as funções para as quais foi projetado. Ou seja, é a ação executada para consertar um equipamento ou uma máquina (SLACK, 2002).

Kardec e Nascif (2009) identificam a atividade de manutenção corretiva como uma ação executada após um problema ter ocorrido. São expostas as inúmeras desvantagens de se basear em um sistema reativo, onde a cada problema ocorrido há uma reação diferente sem um planejamento prévio.

Uma gestão de manutenção puramente corretiva pode levar a altos custos de logística, material estocado e maior tempo de indisponibilidade de equipamentos. Por isso, muitas empresas não adotam esse tipo de abordagem, segundo Almeida (2015).

Porém, os tipos de manutenção não podem ser comparados entre si, cada tipo de manutenção é executado conforme a necessidade e estratégia da manutenção definida no PCM (SLACK, 2002).

A necessidade de manutenção corretiva muitas vezes surpreende os profissionais, pois quando uma máquina quebra, sua produção para, outros setores que dependem desses produtos são prejudicados, os produtos que chegam de outros setores para serem processados se acumulam, a diretoria pressiona a equipe de manutenção para atender o mais rápido possível a correção, às vezes não há peças de reposição, as necessidades técnicas e as normas de segurança exigem que o trabalho seja feito com cuidado, exigindo maior tempo na execução... um caos! (BONDIOLLI, 2012).

Há duas formas distintas de observar a atividade de manutenção corretiva: a manutenção de quebra, também chamada de manutenção catastrófica ou não planejada, em que os defeitos ocorrem inesperadamente; e a manutenção corretiva planejada, em que os defeitos são previstos, mas opta-se por aguardar a quebra ou mesmo, tem a atividade de manutenção restrita apenas àqueles defeitos que não foram possíveis serem previstos na fase de planejamento (MONCHY, 1987; VIANA, 2020).

Na fase do planejamento, as possíveis causas podem ser previstas e suas ações planejadas. Monchy (1987) explica que uma possível falha cuja consequência não seja grave, não impacte a produção, não coloque em risco pessoas ou outros equipamentos e possa ser corrigida sem parada de máquina pode perfeitamente ter ações corretivas planejadas para execução quando necessário.

Segundo Bondioli (2012), opta-se por efetuar manutenções corretivas quando necessário em equipamentos dotados de redundância. Por exemplo, bombas hidráulicas em algumas centrais de lubrificação da indústria são instaladas em pares, somente uma bomba fica em operação enquanto a outra fica em *stand by*, como retaguarda. No caso de falha na bomba principal, o próprio operador comuta para a bomba reserva e aciona a equipe de manutenção, que terá tempo para executar uma manutenção corretiva planejada. Esse sistema tem um incremento no custo de instalação, mas como a bomba é um equipamento imprescindível para o

funcionamento da máquina, a instalação de uma bomba reserva garante uma ótima confiabilidade para a máquina aumenta os índices de disponibilidade (porque não há parada por quebra e não há necessidade de parada para manutenções preventivas).

2.3.2 Manutenção preventiva

Segundo Monchy (1987), a manutenção preventiva é aquela realizada com o objetivo de evitar uma quebra em momento inoportuno ou evitar que outros componentes sejam sobrecarregados, o que poderia agravar a situação, aumentar o tempo de reparo e elevar os custos de manutenção.

Normalmente a manutenção preventiva é realizada para troca de componentes que sofrem desgaste e cujas falhas impactam negativamente a produção, causam paradas de máquinas etc. Neste caso, opta-se por efetuar uma parada prematura da máquina para execução de uma substituição planejada com todos os materiais e ferramentais em mãos. Por exemplo, a troca de óleo de um motor, filtro, correias, rolamentos etc. (SLACK, 2002).

Xenos (1998) destaca os pontos positivos da adoção de uma gestão de manutenção baseada em atividades preventivas. A diminuição de falhas e o aumento do tempo de disponibilidade do equipamento são vantagens indiscutíveis provenientes da manutenção preventiva.

Porém, a manutenção preventiva também tem suas desvantagens. Ao trocar uma correia, por exemplo, você vai definir o momento de trocar com base na recomendação do fabricante quanto ao tempo de uso ou vencimento. Bondioli (2012) explica que não é possível ter certeza de que o componente está próximo ao fim da vida útil, muitas vezes são desperdiçadas horas de trabalho de vários componentes trocando-os prematuramente.

Outra desvantagem da manutenção preventiva é o fato de o equipamento passar por um grande número de montagens e desmontagens ao longo de sua vida útil, o que pode causar desgastes nos componentes, ou até mesmo ocorrer a inserção de defeitos na máquina devido a intervenções desnecessárias (BONDIOLLI, 2012).

2.3.3 Manutenção preditiva

A manutenção preditiva é uma opção vantajosa para equipamentos essenciais para o processo produtivo. Tais equipamentos necessitam ter sua disponibilidade garantida para que o processo produtivo não se interrompa. Há também aqueles equipamentos com custo de manutenção elevado de tal forma que se torna vantajoso investir em métodos e instrumentos capazes de analisar as condições do equipamento mesmo em trabalho normal (BONDIOLLI, 2012).

Segundo Kardec e Nascif (2009), a manutenção preditiva consiste na definição de técnicas para garantir o eficaz monitoramento das condições do equipamento durante seu trabalho normal. Seu principal diferencial é a detecção da falha com antecedência, ou seja, prediz o comportamento do equipamento. Para isso, é necessária a instalação de sensores de temperatura e vibração, softwares de análise gráfica etc.

Kardec e Nascif (2009) citam como principal vantagem o fato dessa estratégia permitir a execução de manutenções somente quando o equipamento apresentar uma tendência de vir a falhar, sem substituições precipitadas ou paradas desnecessárias. Além da redução do risco de inserção de um defeito devido às atividades de desmontagem e montagem.

Nas usinas hidrelétricas a manutenção preditiva está presente pela grande necessidade de monitoramento das diversas partes de uma unidade geradora. São instalados sensores de temperatura, vibração, pressão, vazão. A maioria destes sinais é enviada para a sala de controle. Alguns sinais não são enviados, mas um monitoramento local gera um alarme para a sala de controle sempre que um parâmetro não estiver dentro dos limites aceitáveis. Essa configuração permite incluir o operador no processo de manutenção preditiva e no cuidado com os equipamentos.

Conforme Bondioli (2012), há um incremento significativo no tempo de disponibilidade do equipamento, menor número de paradas para manutenção e redução no custo de manutenção. Porém, a implementação de métodos de manutenção preditiva, bem como os equipamentos necessários são de alto custo. Por isso, é importante avaliar as viabilidades técnicas e econômicas para a implantação deste conceito de manutenção.

2.3.4 Manutenção detectiva

A manutenção detectiva tem o objetivo de buscar falhas ocultas. Ou seja, falhas que não podem ser evitadas através de manutenções preventivas e que também não tem consequências graves quando ocorrem de maneira imprevista. Normalmente, são falhas que só se revelam no momento da atuação (BONDIOLLI, 2012).

Bondioli (2012) destaca que durante a manutenção detectiva os equipamentos e dispositivos são testados com as condições necessárias para que as falhas ocultas aconteçam de maneira monitorada e em ambiente controlado.

2.3.5 Manutenção centrada na confiabilidade (MCC)

Conforme definição de Kardec e Nascif (2009), a MCC (Manutenção Centrada na Confiabilidade) ou seu termo em inglês RCM (*Reliability Centered Maintenance*) é um sistema de suporte à tomada de decisões gerenciais. A MCC é um sistema que estuda um processo de fabricação e seus equipamentos em detalhes, tenta prever as possíveis falhas e determina as ações a serem tomadas para evitar que o equipamento esteja indisponível para sua operação normal. Dentre várias definições disponíveis, Bondioli (2012, p.13) descreve a MCC como “um processo usado, através do monitoramento, para determinar o que deve ser feito para assegurar que qualquer instalação física continue a preencher as funções pretendidas no seu contexto operacional”.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho consiste em uma pesquisa aplicada às estratégias de embasamento para tomadas de decisão na gestão de manutenção da UHE Quebra Queixo, especificamente, sobre os momentos em que se deseja elevar os níveis dos resultados, evitar falhas e indisponibilidades.

Dessa forma, foi realizada uma pesquisa qualitativa, sobre as situações encontradas na UHE Quebra Queixo quando das implementações de melhorias, as estratégias adotadas pela empresa e os resultados obtidos.

Realizou-se uma pesquisa com o objetivo de descrever e classificar as situações percebidas pelos gestores de manutenção, bem como as ações definidas em cada situação. O questionamento do porquê da utilização dessas ações e suas justificativas muniu essa pesquisa com dados que viabilizaram a criação de um banco de ações. Posteriormente, foram descritos os dados a fim de explicar quais foram as estratégias de planejamento de ações para cada situação, se essas ações foram eficazes e se eram realmente necessárias.

A Companhia Energética Chapecó, detentora da concessão para exploração do aproveitamento hidrelétrico da UHE Quebra Queixo, permitiu que fosse acessado seu banco de dados com o histórico de relatórios de falhas e manutenções corretivas, bem como os relatórios de melhorias. Baseado nesse banco de dados, efetuou-se uma pesquisa documental que resultou em uma listagem com as falhas mais graves, com maior tempo de indisponibilidade e com maior custo de reparo associado. Uma breve análise de causa foi realizada para verificar se, mesmo com a adoção das adequadas técnicas de manutenção, as falhas ocorreram por erro de projeto, especificação inadequada de componentes, fim da vida útil ou evento fortuito. Foram verificadas as ações corretivas recomendadas nos relatórios para averiguar se há menção a alterações de projetos, modificações nas configurações de comando e controle, substituição de equipamentos ou componentes por versões mais atuais ou melhoradas.

Muitos trabalhos acadêmicos e estudos de caso abordam melhorias e modernizações em equipamentos de usinas hidrelétricas. Seguem alguns exemplos:

- Melhoria para a visualização de eventos e alarmes gerados durante uma parada de emergência em uma unidade geradora hidrelétrica (SILVA, 2015);

- Análise de medidas mitigadoras para a redução da tensão de restabelecimento transitória em disjuntores de alta tensão: um estudo de caso (AGUIRRE, 2022);
- Estudo de repotencialização de uma pequena central hidrelétrica (NEUMANN, 2017).

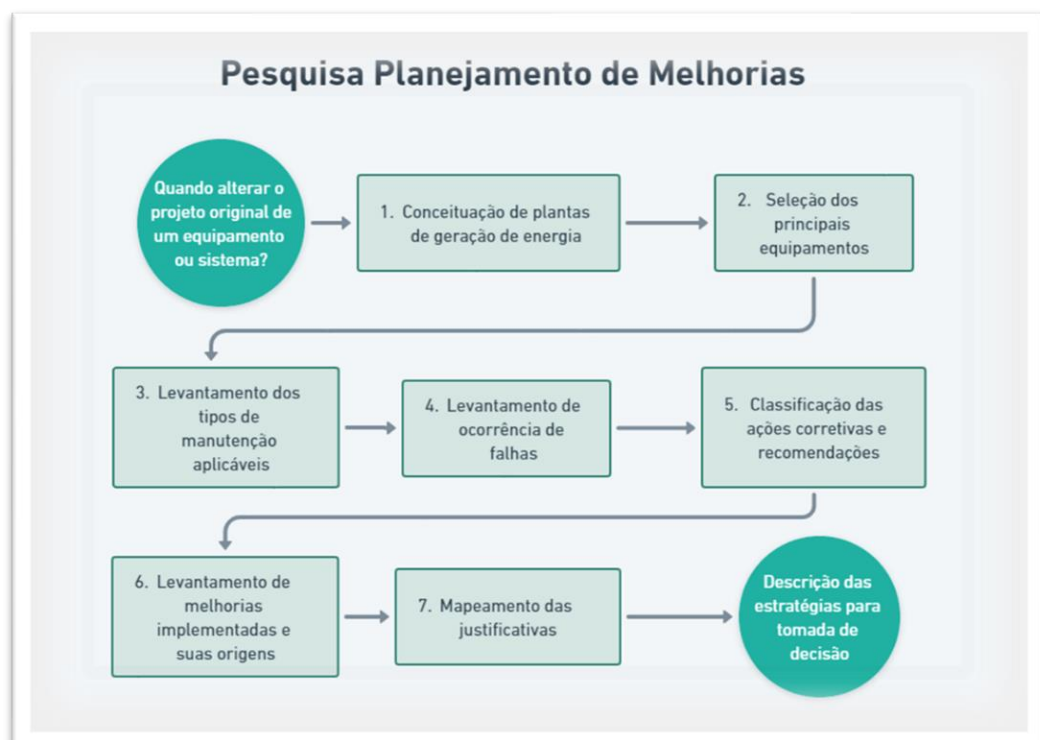
Em cada um deles, justificativas são enfatizadas para embasar a necessidade do trabalho. Um dos alvos dessa pesquisa foi a argumentação dos profissionais de manutenção da UHE Quebra Queixo sobre a necessidade de implementação de melhorias e seus resultados.

Com esses dados compilados, foi possível observar as características comuns entre as situações e condições operacionais merecedoras de alterações. Tanto as sugestões implementadas ou vetadas, quanto as ideias consideradas vantajosas ou não à época, o principal objetivo foi o levantamento das características comuns entre as condições que demandam atenção especial.

3.1 Sequenciamento de ações da pesquisa

Para o alcance esses objetivos foram trilhados os seguintes passos:

Figura 7 - Fluxograma da pesquisa



Fonte: Do autor (2023).

Passo 1: foram conceituadas as plantas de geração de energia, seus tipos e características.

Passo 2: selecionaram-se os principais equipamentos de uma planta de geração de energia conforme sua importância no processo produtivo.

Passo 3: os tipos de manutenção aplicáveis aos equipamentos selecionados no passo 2 foram descritos com o foco em sua eficácia.

Passo 4: as falhas encontradas na pesquisa foram elencadas e classificadas conforme suas consequências e complexidades. Nessa fase da pesquisa, foram encontradas falhas oriundas de diversas origens (por exemplo, o fim da vida útil de componentes, eventos fortuitos ou influências externas).

Passo 5: foram observadas as ações corretivas empregadas em cada caso e, principalmente, as recomendações do setor de manutenção. Nessa fase, foram segregadas as intervenções convencionais do setor de manutenção, daquelas que demandaram atividades de reprojeto, alterações nas instalações, substituição de tipos de componentes, ou melhorias.

Passo 6: foram consideradas além daquelas recomendações de melhorias levantadas nos casos de ações corretivas, as melhorias eletivas sem origem em falhas. Essas melhorias visam melhorar o desempenho dos equipamentos, reduzir custos com insumos, reduzir tempo de parada em futuras manutenções, evitar falhas por defeitos ocultos ou aumentar a robustez do sistema.

Passo 7: realizou-se um mapeamento com as justificativas utilizadas nas diversas propostas de melhoria encontradas a fim de estabelecer as principais motivações dos profissionais em incrementar ao projeto original dos equipamentos suas próprias ideias.

4 FALHAS NAS UNIDADES GERADORAS DA UHE QUEBRA QUEIXO

Apesar do esforço contínuo para evitar falhas nas unidades geradoras, nem sempre é possível evitá-las. Gregório e Silveira (2018), baseadas na norma NBR 5462, conceituam as falhas como sendo eventos que marcam o término da capacidade de um item de desempenhar a função requerida, enquanto a pane é um estado em que um equipamento ou item não tem a capacidade de desempenhar sua função requerida. Normalmente a pane é um estado de incapacidade que vem depois de uma falha.

Para o setor de geração de energia, o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), em seu procedimento de rede, Submódulo 1.2 – Glossário dos Procedimentos de Rede, conceitua a falha como:

Efeito ou consequência de ocorrência em equipamento ou LT, que acarrete sua indisponibilidade operativa em condições não programadas e que, por isso, impede o equipamento ou a LT de desempenhar suas funções em caráter permanente ou temporário.

A sigla LT da citação anterior significa Linha de Transmissão. Outro conceito parecido com aquele da pane é denominado “Indisponibilidade Forçada”, cuja definição é o “Estado de uma instalação ou equipamento que não está apto para entrar em serviço, por falha ou interrupção de emergência em condições não programadas”.

As falhas ocorridas nas unidades geradoras da UHE Quebra Queixo são registradas na planilha eletrônica denominada “CF – Controle de Falhas”, ilustrada na Figura 8 e juntada a este trabalho como Anexo A. O sistema interno da empresa tem o objetivo de manter um histórico sobre cada falha, descrição sucinta do problema ocorrido, tempo de indisponibilidade, equipamentos envolvidos etc.

As unidades geradoras da usina hidrelétrica Quebra Queixo entraram em operação comercial em dezembro de 2003. UG 3 em 23/12/2003, UG 2 em 27/12/2003 e UG 1 em 31/12/2003. Desde então, iniciou-se o controle de falhas que está ativo até o presente momento. Para este trabalho, foram coletados dados até setembro de 2023, o que formou uma base de dados de 19 anos e 9 meses.

Figura 8 - Controle de falhas nas unidades geradoras

COMPANHIA ENERGÉTICA CHAPECÓ									
Controle de Falhas nas Unidades Geradoras - UHE Quebra Queixo									
Item Geral	Data	Hora	Tipo	Fator α	Subunidade	Equipamento	Descrição Sucinta / Causa	Unidade Geradora	Tempo Indisponível
001	02/03/04	14:16	FP	1/1	Sistema de Excitação	Disjuntor de Campo	Falha no Sistema de Excitação/desajuste dos contatos auxiliares da chave de campo.	2	00:07
002	13/04/04	11:24	B	1/1	Turbina	Vedação Deslizante	Baixo fluxo de água devido entupimento do diafragma de entrada do filtro hidrociclone.	1	00:11
003	21/04/04	11:00	FP	2/2	Sistema de Excitação	Disjuntor de Campo	Falha no Sistema de Excitação/desajuste dos contatos auxiliares da chave de campo	3	00:05
004	29/04/04	14:47	FP	3/3	Sistema de Excitação	Disjuntor de Campo	Falha no Sistema de Excitação/desajuste dos contatos auxiliares da chave de campo	2	00:05
005	01/05/04	17:37	FP	1/1	Gerador	Sistema de Frenagem	Uma das Sapatas de Freio permaneceu trancada e aplicada.	1	00:13
006	03/05/04	7:32	FP	4/4	Sistema de Excitação	Disjuntor de Campo	Falha no Sistema de Excitação/desajuste dos contatos auxiliares da chave de	1	00:03

Fonte: Companhia Energética Chapecó (2023)

A coluna item geral trata-se de uma indexação sequencial da ocorrência para fácil rastreabilidade. Cada ocorrência tem uma data e uma hora específica. A hora tem aproximação em minutos.

Tipo

Fator de repetitividade

Descrição Sucinta/causa

Unidade Geradora

Tempo Indisponível

Quando ocorre o desligamento de duas ou três unidades geradoras, é contabilizada apenas uma ocorrência com data e hora específica, mas com a consequência de uma falha para cada unidade geradora afetada.

As ocorrências registradas no CF-Controle de Falhas são classificadas em três categorias: Bloqueio (B), Emergência (E) e Falha na Partida (FP). Os bloqueios automáticos são desligamentos das unidades geradoras por atuação de sistemas ou dispositivos de proteção por detecção de defeito grave. Paradas de emergência caracterizam-se por atuação humana no desligamento das unidades geradoras pela iminência de danos graves a equipamentos ou riscos de acidentes com pessoas. As falhas na partida são insucessos no processo de partida da unidade geradora quando comandadas através da sala de controle ou centro de operação.

Neste levantamento, foram observadas 157 ocorrências. Dentre elas, 82 ocorrências são do tipo Bloqueio, 9 ocorrências são do tipo Emergência e 66 ocorrências são do tipo Falha na Partida.

As ocorrências de falhas em unidades geradoras geraram aproximadamente 4259 horas de indisponibilidade forçada na UG 1, 966 horas de indisponibilidade forçada na UG 2 e 1208 horas de indisponibilidade forçada na UG 3.

Para melhor análise das incidências, cada falha é atribuída a uma subdivisão estrutural e a um equipamento específico. Conforme os profissionais de manutenção da empresa, quando da ocorrência de uma falha, o CF é preenchido de imediato com os dados de data, hora e tempo de indisponibilidade. A descrição e os equipamentos envolvidos são preenchidos apenas após concluída a análise da ocorrência com indicação da causa.

As subunidades e equipamentos associados a falhas encontrados na pesquisa, estão expostas no quadro a seguir com um levantamento quantitativo de ocorrências de dezembro de 2003 a setembro de 2023:

Tabela 1 - Levantamento quantitativo de ocorrências de falhas

Subunidade/Equipamento	Ocorrências	Tempo de Indisponibilidade
Gerador		
Estator	2	1842:32
Mancal Combinado	3	03:36
Rotor do Gerador	1	2156:53
Sistema de Frenagem	10	81:15
Sistema de Sincronismo	12	25:51
UAC-SE	1	02:17
Regulador de Velocidade		
RTVX	6	59:04
Transdutor de Posição do Distribuidor	4	11:31
Unidade Digital	8	04:28
Unidade Hidráulica	15	188:13
Serviço Auxiliar		
89G1	2	06:51
89G2	1	00:41
CCMU	4	00:51
Sistema de Excitação		
Disjuntor de Campo	16	07:26
Pontes de Tiristores	1	02:10
Regulador de Tensão	14	127:45
Trafo de Excitação	1	00:10
Sistema de Proteção		
Linha Curta 1	1	39:42
Linha Curta 2	1	00:08
Linha de Transmissão	3	00:15
Teleproteção	2	13:44
Sistema de Refrigeração		
Mancal de guia inferior	2	02:03
Sistema Supervisório		
ActionNet	3	01:31
PLC	10	24:36

UAC	1	01:05
UAI	1	03:10
Subestação		
Bay da UG1	4	06:35
Sistema de CC	1	00:19
UAC-SE	1	03:26
Tomada D'água		
Grades	2	1640:40
Turbina		
Distribuidor	13	36:04
Rotor da Turbina	2	125:10
Sistema de Medição de Temperatura	1	00:11
Válvula Borboleta	1	01:03
Vedação Deslizante	7	04:56
Total Geral	157	6434:12

Fonte: Do autor (2023).

Observando a listagem de equipamentos associados a falhas, alguns se sobressaem pelo número de ocorrências. Enquanto alguns equipamentos apresentam uma ou duas falhas, outros apresentam em torno de quinze. São eles:

- Gerador – Sistema de frenagem: 10 falhas;
- Gerador – Sistema de sincronismo: 12 falhas;
- Regulador de velocidade – Unidade hidráulica: 15 falhas;
- Sistema de excitação – Disjuntor de campo: 16 falhas;
- Sistema de excitação – Regulador de tensão: 14 falhas;
- Sistema supervisorio – PLC: 10 falhas;
- Turbina – Distribuidor: 13 falhas.

Na Tabela 1, outro destaque observado é o tempo de indisponibilidade ocasionado por algumas ocorrências. Mesmo ocorrências esporádicas ou únicas podem causar grandes períodos de indisponibilidade devido à complexidade de correção. Abaixo seguem as principais:

- Gerador – Rotor do gerador: 2156h indisponíveis;
- Gerador – Estator: 1842h indisponíveis;
- Tomada D'água – Grades: 1640h indisponíveis;
- Turbina – Rotor da turbina: 125h indisponíveis.

Ao observar essas falhas repetitivas, questiona-se: O que essas ocorrências têm em comum? Essas falhas poderiam ser evitadas? A repetição dessas falhas pode ser descontinuada?

5 MÉTODOS PARA MITIGAÇÃO DAS FALHAS

O quadro de colaboradores da equipe de manutenção na UHE Quebra Queixo é composto por 7 técnicos formados em áreas diversas, eletricidade, mecânica, tecnologia da informação e mecatrônica. Atualmente, dentre esses profissionais, quatro têm de 13 a 18 anos trabalhando na UHE Quebra Queixo e 3 profissionais têm 2 a 5 anos de empresa. Além de vasta experiência em outras usinas hidrelétricas. Essa experiência lhes permite antecipar os defeitos potenciais e evitar a ocorrência de falhas. Ao vivenciar as falhas, os profissionais iniciam a busca por soluções imediatas para retornar com o equipamento à operação e começam a pesquisar e desenvolver soluções para evitar que a falha se repita.

5.1 Trincas no rotor da turbina

Durante o período de garantia legal dos equipamentos, as recomendações do fabricante de inspeção e de paradas para manutenção preventiva das unidades geradoras foram estritamente seguidas. Essa manutenção preventiva indicada pelo fabricante, geralmente, envolve um escopo bastante abrangente, e é uma fase dedicada à avaliação do comportamento dos equipamentos. Durante o período de garantia, tarefas de manutenção que normalmente não seriam executadas ao longo da vida útil do equipamento foram realizadas. Algumas delas, inclusive, exigiram o desmonte completo do equipamento apenas para inspeções internas, sem a necessidade de qualquer intervenção específica.

O plano de manutenção preventiva durante o período de garantia engloba tanto as extensas revisões programadas a cada 4.000 e 8.000 horas de operação, quanto intervenções menores destinadas a atividades de manutenção preventiva de menor duração. Uma das tarefas que faz parte do âmbito da manutenção preventiva durante o período de garantia envolve desmontagem com inspeção visual e realização de ensaios não destrutivos na turbina. Entre os ensaios não destrutivos executados estão incluídos os ensaios com líquido penetrante nas pás do rotor da turbina, no aro de desgaste e no tubo de sucção. O propósito dessas ações é identificar precocemente desgastes e imperfeições decorrentes de esforços imprevistos causados por fenômenos como transientes hidráulicos, cavitação ou vibrações anômalas.

Mesmo no decorrer do período de garantia, diversas instâncias de trincas nas pás dos rotores das turbinas foram identificadas. A orientação do fabricante foi de intensificar os ensaios, aumentando sua frequência e concentrando uma atenção especial nas regiões de saída de cada pá, que eram as áreas com maior propensão a trincas. A Figura 9 apresenta uma das trincas encontradas nos rotores das turbinas.

Figura 9 – Identificação das trincas encontradas no rotor da turbina



Fonte: Companhia Energética Chapecó (2015).

Apesar dessas correções serem realizadas sob responsabilidade do fabricante, a repetição dessas falhas chamou a atenção para a possibilidade de haver um problema crônico no equipamento. O setor de engenharia da empresa fabricante desenvolveu um estudo que indicou a necessidade de alterar os ângulos de saída de todas as pás do rotor da turbina.

5.1.1 Insertos nas pás dos rotores das turbinas

A espessura do material não era suficiente para a aplicação de um ângulo diferente, por isso optou-se por substituir a área de saída das pás dos rotores das turbinas. Foram instalados insertos do mesmo material do rotor com espessura suficiente para aplicação dos ângulos de saída corretos, conforme Figura 10.

Figura 10 - Substituição de parte de uma pá do rotor da turbina



Fonte: Companhia Energética Chapecó (2015).

O inserto de material em uma estrutura tão grande pode apresentar descontinuidades e outros defeitos internos não perceptíveis a olho nu, principalmente devido ao aquecimento decorrente do processo de soldagem. A fim de detectar esse tipo de defeito, foi recomendada a execução de ensaio de ultrassom, demonstrado na Figura 11.

Figura 11 - Ensaio de ultrassom na região com inserto de material



Fonte: Companhia Energética Chapecó (2015).

Durante os ensaios de ultrassom não foram detectadas falhas ou trincas internas.

5.1.2 Ensaios de faixa operativa

Graças às ações mencionadas anteriormente, observou-se uma notável redução na incidência de trincas. No entanto, ainda ocorriam casos esporádicos. Para melhor compreender as causas das falhas nos rotores, foi tomada a decisão de contratar uma empresa externa para realizar ensaios de rendimento hidráulico, análises de vibração e investigações de fenômenos hidráulicos na turbina.

Foi realizada uma pesquisa de mercado para levantamento de um *vendor list* apropriado para essa demanda. Após uma avaliação criteriosa dos fornecedores disponíveis, a escolha recaiu sobre a empresa Rennosonic, fundada em 2008, com o objetivo de aprimorar a eficiência de usinas hidrelétricas e sistemas de abastecimento de água. A Rennosonic é uma participante da Incubadora de Empresas de Base Tecnológica de Itajubá (INCIT), localizada nas dependências da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).

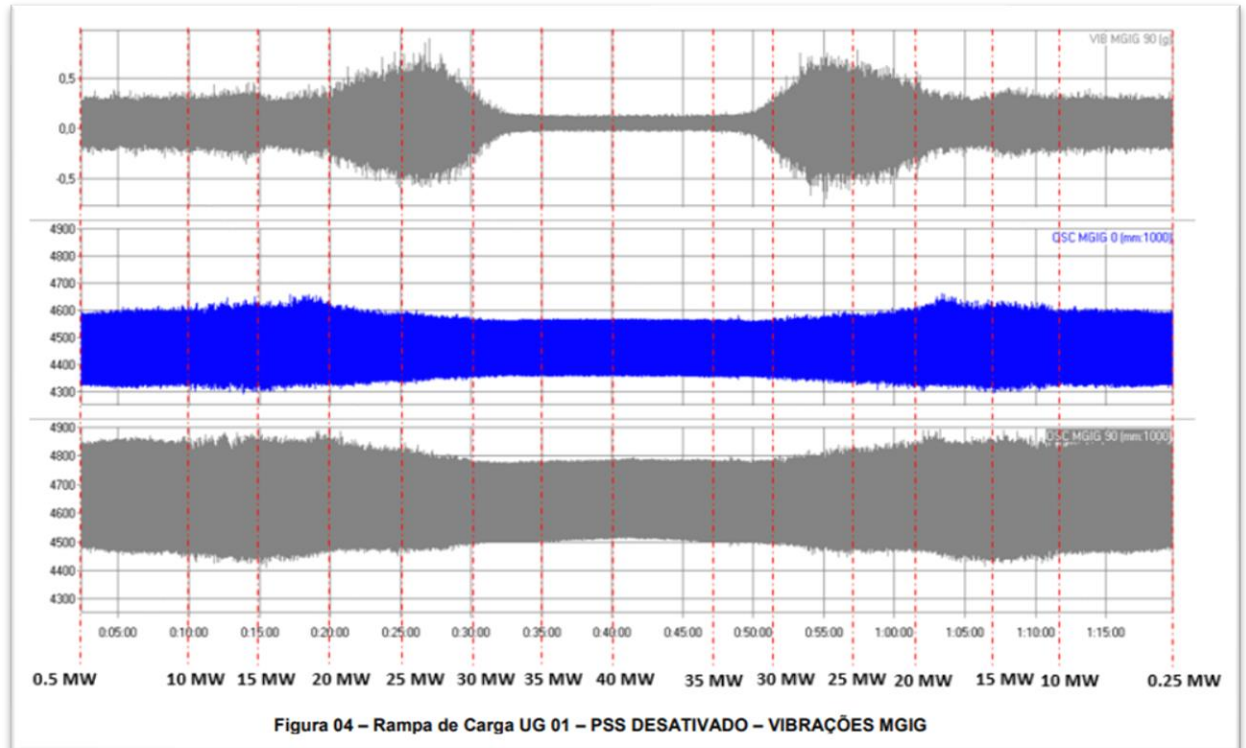
Geralmente, os ensaios mencionados têm objetivos bem definidos. De acordo com a Rennosonic (2023, n.p), “Na entrega de Unidades Geradoras, é importante para Usinas Hidrelétricas verificarem se as características da máquina que está sendo entregue conferem com o que foi contratado e dimensionado para a Usina”. No contexto específico deste caso, os ensaios foram conduzidos para fundamentar a decisão de modificar a faixa operacional padrão das turbinas na usina hidrelétrica Quebra Queixo.

Na faixa operacional anterior, que compreendia de 12 MW a 40,5 MW, foram conduzidos testes abrangendo o monitoramento de vibrações, análise de transientes hidráulicos de vazão e pressão, avaliação de grandezas elétricas e a observação do desempenho de componentes críticos das unidades geradoras.

No gráfico a seguir, estão dispostos os sensores de deslocamento radial do eixo e do mancal em função do tempo. O primeiro sinal (VIB MGIG 90) é proveniente de um sensor acelerômetro instalado na carcaça do mancal guia inferior do gerador. A grandeza de sinais medida pelo acelerômetro está expressa em força-g (relação entre a aceleração medida e a aceleração da gravidade na Terra). O Anexo C traz o *Datasheet* do sensor acelerômetro utilizado. Os sinais de oscilação (MGIG 0 e MGIG

90) indicam a medição de deslocamento relativo entre eixo e mancal. É possível identificar aumento de vibração e, principalmente, de aceleração no mancal-guia inferior do gerador, conforme Figura 12.

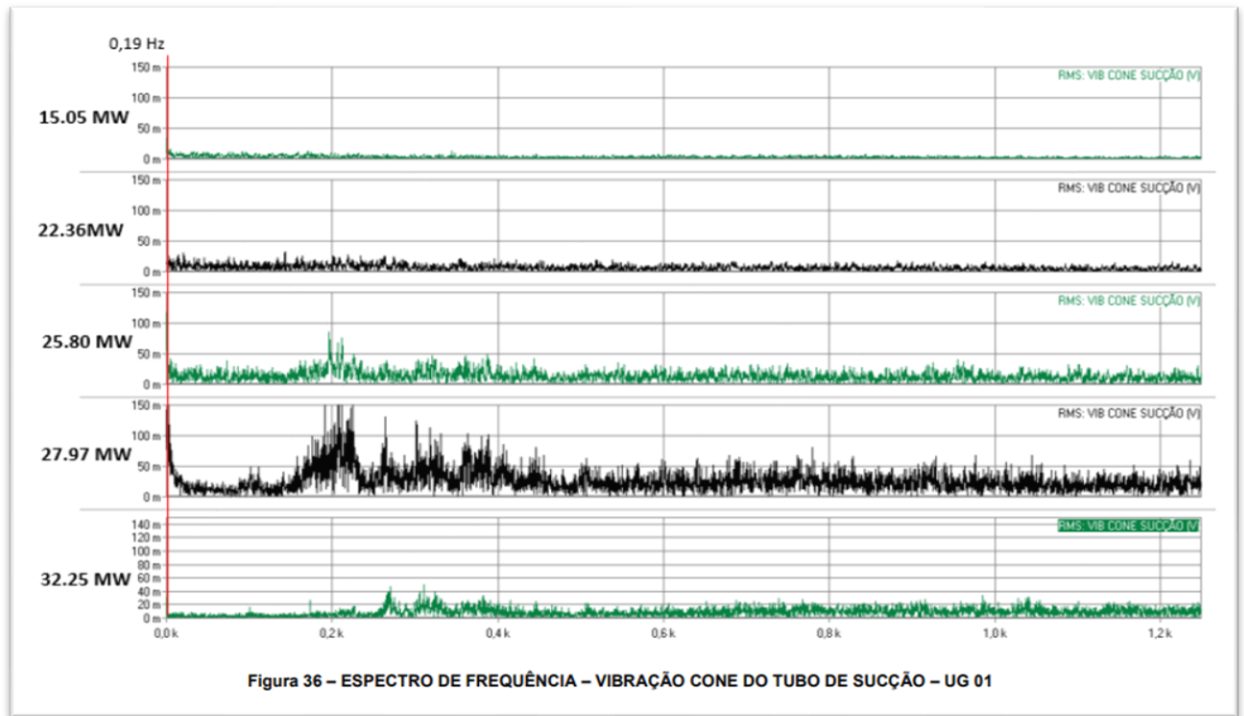
Figura 12 - Gráfico de vibração do MGI do ensaio de faixa operativa



Fonte: Companhia Energética Chapecó – Rennosonic (2019)

A Figura 13 apresenta a vibração do cone de sucção para várias faixas de potência diferentes em forma de gráficos FFT (*Fast Fourier Transform*), que consiste na organização das medições de amplitudes pico-a-pico em componentes espectrais individuais em função da frequência.

Figura 13 - Gráfico FFT de vibração do cone do tubo de sucção



Fonte: Companhia Energética Chapecó – Rennosonic (2019)

Embora a operação estivesse autorizada nessa faixa de potência, empiricamente, era considerada problemática pelos operadores da usina hidrelétrica Quebra Queixo. Nessa faixa, o ruído emitido pela turbina era substancialmente maior do que nas outras faixas, o que justificava a expectativa de resultados adversos.

Após a realização dos ensaios, a Rennosonic (2019, p. 78) elaborou um relatório técnico com a recomendação de:

I. Limitação operacional das Unidades Geradoras: Foi realizado um refinamento das faixas, onde foram observados os eventos de alta vibração e perturbações hidráulicas (com base nos arquivos temporais cujos gráficos estão no Anexo 01). O intuito que evitar as faixas de potência que induzam a maiores esforços mecânicos nas estruturas do rotor, e que podem direcionar a ocorrência das trincas. As faixas a serem evitadas seriam:

- UNIDADE GERADORA 01: 21 a 30 MW
- UNIDADE GERADORA 02: 21 a 30 MW
- UNIDADE GERADORA 03: 21 a 30 MW

Em resposta a isso, implantou-se um procedimento operacional em colaboração com a equipe de operação, estabelecendo a nova faixa operacional padrão para as turbinas da usina hidrelétrica Quebra Queixo. Essa nova faixa operacional abrangia as potências de 12 a 20 MW e de 30 a 40,5 MW.

Conforme informado pela equipe de engenharia da Rennosonic, as trincas são imperfeições que se desenvolvem gradualmente com o passar do tempo. Mesmo ao restringir a faixa operacional na qual os maiores esforços mecânicos no rotor são observados, não era razoável esperar uma interrupção súbita das ocorrências de trincas nas turbinas. No entanto, desde a modificação da faixa operacional, notou-se uma diminuição significativa nas ocorrências de trincas, e, quando eram identificadas, as dimensões das trincas eram menores. Em 2021, detectou-se uma trinca de apenas 7 mm no rotor da turbina da unidade geradora 1. Entre abril de 2021 e outubro de 2023, não foram registradas novas trincas.

5.2 Falhas no sistema de excitação

Com base no levantamento de falhas exposto no capítulo anterior, o sistema de excitação, notadamente o regulador de tensão, emergiu como um ponto crítico devido a defeitos recorrentes. Segundo o controle de falhas da UHE Quebra Queixo, essas ocorrências derivaram de causas diversas, afetando vários componentes. No período de 2004 a 2015, o sistema registrou um total de 16 falhas. Além disso, outras complexidades foram identificadas, como a obsolescência da maioria dos componentes, fragilidade de alguns deles e dificuldades no diagnóstico de falhas.

Durante a análise, constatou-se que o mercado oferecia alternativas mais modernas, apresentando funcionalidades aprimoradas, sobretudo na integração com outros equipamentos e diversas vantagens adicionais. Uma solução disponível no mercado consistia em um equipamento integrado que englobava tanto a regulação de tensão quanto a regulação de velocidade.

Diante desse cenário, deliberou-se a decisão de substituir integralmente o regulador de velocidade Siemens e o regulador de tensão Reivax pela solução integrada RTVX Power, um regulador de tensão e velocidade da marca Reivax. Conforme a apresentação da empresa fornecedora, esse equipamento já foi implementado com sucesso em grandes empresas do setor de geração de energia no Brasil. Essa decisão, além de abordar as falhas recorrentes, também se alinha à modernização do sistema, incorporando tecnologias mais avançadas e contribuindo para a eficiência operacional da UHE Quebra Queixo.

Conforme o mesmo levantamento de falhas, o RTVX registrou um total de 6 ocorrências entre os anos de 2016 e 2023. De acordo com o gestor de manutenção

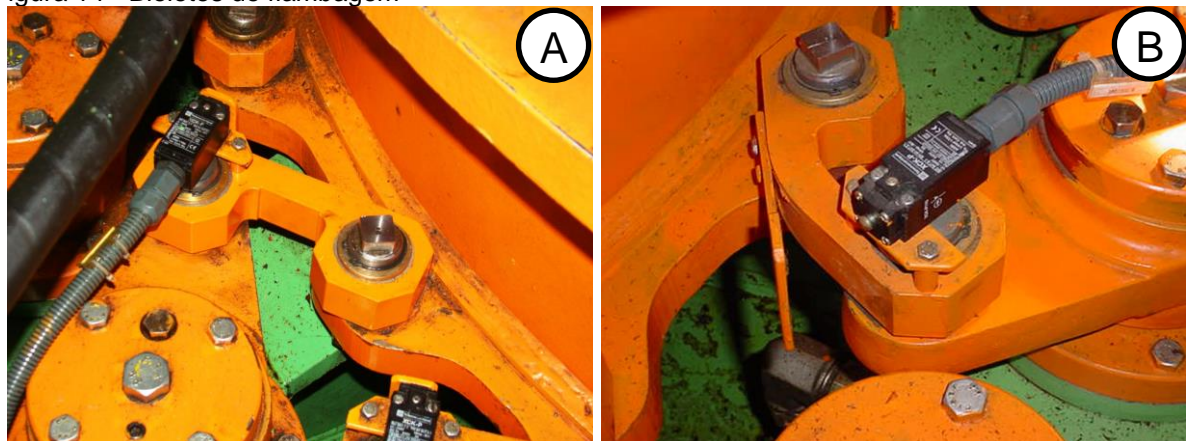
da usina, essas falhas foram diagnosticadas e não foram consideradas críticas. Suas causas foram atribuídas a defeitos no processo de instalação e incompatibilidades com o novo sistema implementado.

Após uma análise aprofundada, foram realizadas as adequações necessárias para corrigir as origens dos defeitos e as incompatibilidades identificadas. Desde então, o equipamento não apresentou novas falhas, indicando que as intervenções e ajustes implementados foram eficazes na prevenção de recorrências.

5.3 Quebra de bielas do distribuidor

O distribuidor é o conjunto de palhetas diretrizes que regula a área de passagem de água para a turbina, conforme seu posicionamento. O conjunto de 24 palhetas diretrizes tem seu posicionamento uniformizado através do aro de regulação. O movimento é transmitido do aro de regulação para as palhetas diretrizes através de um conjunto de bielas acopladas ao aro de regulação. Nesse mecanismo há um componente chamado bielete de flambagem que se dobra ao receber um esforço maior do que aquele para o qual foi projetado. Este sistema tem o objetivo de proteger os componentes mais importantes no caso de uma obstrução causada por algum elemento estranho. A Figura 14 (A) apresenta o bielete de flambagem em sua posição normal e na Figura 14 (B) ele está atuado. Ou seja, em uma falha da UG, o bielete se dobrou absorvendo todo o esforço excessivo para que não fossem danificados os componentes mais importantes. Esse é o comportamento esperado do bielete.

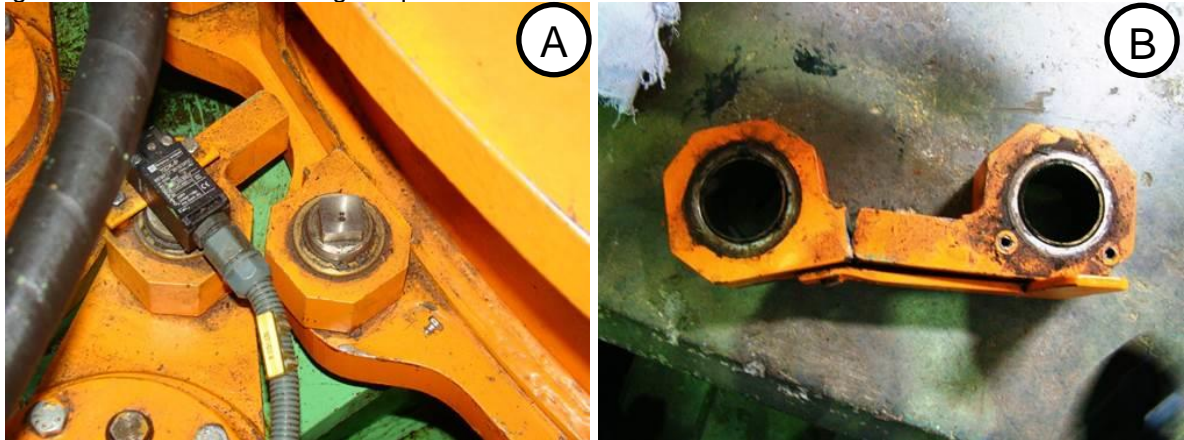
Figura 14 - Bieletes de flambagem



Fonte: Companhia Energética Chapecó (2010)

O bielete de flambagem foi projetado para flambar. Porém observou-se várias ocorrências repetitivas de falha por quebra desse componente, causado por ruptura frágil. Na Figura 15, observa-se um bielete rompido indevidamente.

Figura 15 - Bielete de flambagem quebrado



Fonte: Companhia Energética Chapecó (2010)

Em alguns componentes observaram-se trincas causadas por fadiga exatamente nas localizações em que outros componentes estavam quebrados. Percebeu-se que essas trincas apareciam onde se localizava uma geometria com cantos vivos, similar a um degrau. Esses degraus eram oriundos do processo de ajuste do dimensionamento da seção projetada para se dobrar mediante sobrecarga.

O projeto original do fabricante considerava a aquisição de peças prontas, com o dimensionamento da seção de flambagem um pouco maior do que a dimensão final. Posteriormente, foram realizados ensaios de compressão em corpos de prova causando um esforço de flexão sobre essa seção devido ao deslocamento da posição dos eixos. Com o resultado dos ensaios de compressão definia-se se o valor de dimensionamento que deveria ser empregado nas demais peças. As peças passavam por um processo de fresamento que ajustava o dimensionamento desta seção. O processo de usinagem fazia com que houvesse um canto vivo nas 2 laterais da área usinada, conforme Figura 16. É possível observar também a diferença de aspecto entre as duas metades da seção, o que indica quebra por fadiga.

Figura 16 - Bielete de flambagem com quebra por fadiga

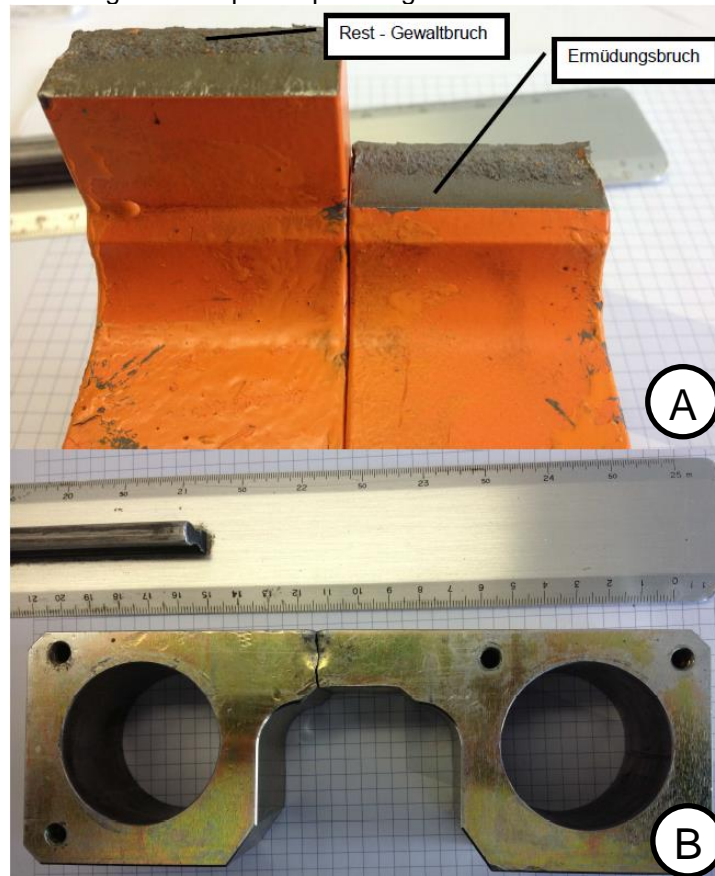


Abbildung 2: Gebrochene Biegelenker (oben: Originalteil, unten: Ersatzteil)

Fonte: Companhia Energética Chapecó – Voith Hydro (2013)

Nesses locais concentram-se tensões fazendo com que a peça ficasse suscetível ao efeito de fadiga devido à alternância de esforços para abertura e fechamento do distribuidor. Houve o aparecimento de trincas e até mesmo de quebra, causando várias falhas e indisponibilidades imprevistas.

A principal complicação associada a essas falhas reside na impossibilidade de determinar com certeza se a quebra foi causada pela fadiga ou se, de fato, havia algum objeto estranho obstruindo o fechamento das palhetas-diretrizes. Para se determinar a causa com precisão, era necessário realizar um procedimento que envolvia esgotar o tubo de sucção e a caixa espiral, abrir, limpar e verificar a área local a cada ocorrência. Com frequência, durante essa verificação, constatava-se que não havia qualquer objeto estranho responsável pela obstrução das palhetas-diretrizes. Esse processo, em geral, demandava quase dois turnos de trabalho.

As ocorrências de quebras de bieletes eram esporádicas, muitas vezes estavam associadas a outras falhas, ocorrendo concomitantemente. Por esse motivo, passaram-se aproximadamente 10 anos para que a equipe de manutenção, com o

suporte da engenharia, conseguisse diagnosticar que as falhas eram, de fato, resultado de quebras inadequadas. Diagnosticou-se que essas quebras impróprias se originaram da fadiga induzida por pontos de concentração de tensão, os quais surgiam de maneira inesperada devido a uma consequência não prevista no processo de fabricação. A Figura 17 apresenta o comparativo entre a modelagem de concentração de tensão na peça original e na peça já usinada com o dimensionamento definitivo e com o raio de transição ajustado.

Figura 17 - Concentração de tensão sobre os bieletes de flambagem

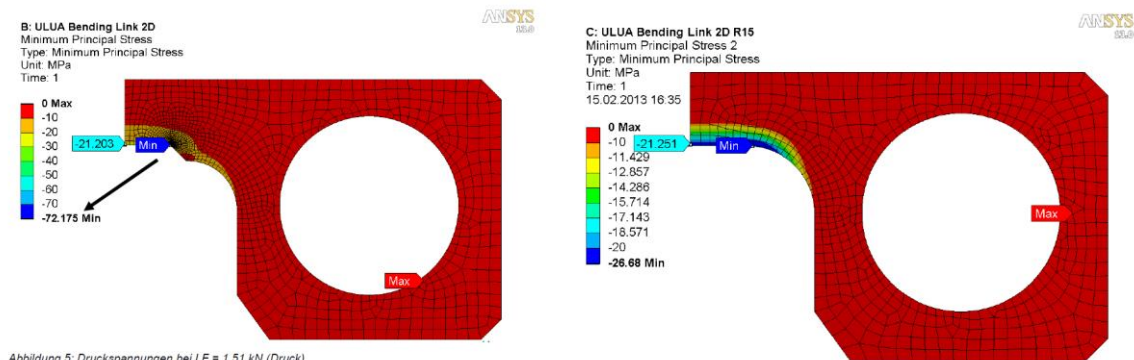
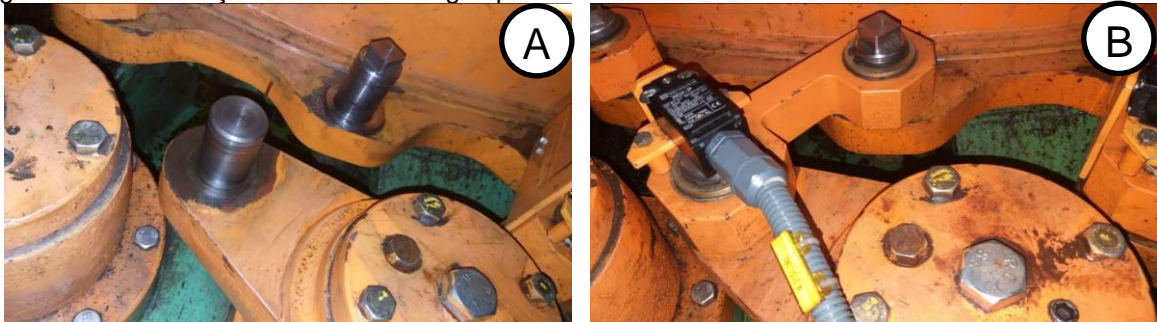


Abbildung 5: Druckspannungen bei LF = 1,51 kN (Druck)

Fonte: Companhia Energética Chapecó – Voith Hydro (2013)

Após a conclusão do diagnóstico, a opção escolhida foi a substituição de todas as bielas das três unidades geradoras. Todas as bielas sobressalentes passaram por modificações em fábrica, onde o raio de transição entre as seções foi usinado para eliminar cantos vivos, que eram a fonte de concentração de tensões. A Figura 18 apresenta a instalação de um novo bielete modificado.

Figura 18 - Substituição de bieletes antigos por bieletes modificados



Fonte: Companhia Energética Chapecó (2016)

Além disso, foram fabricadas novas bielas com transições de seções com raios adequados e dimensionamento da seção de flambagem corretamente aplicado. Cada conjunto de 24 bielas modificadas foi então instalado em uma unidade geradora,

enquanto as bielas retiradas das unidades geradoras foram preparadas em fábrica para futura substituição em novas unidades geradoras. Esse processo repetiu-se para substituir gradualmente todas as bielas das três unidades geradoras. As últimas bielas ajustadas ficaram armazenadas como peças de reposição.

A substituição das bielas teve início com a UG 1 em 2015. Em 2016 foi substituído o conjunto de bielas da UG 2. Em 2017, foi substituído o conjunto de bielas da UG 3 e concluído o processo de melhoria com o recebimento das 24 bielas retiradas da UG 3 corrigidas para estoque de sobressalentes.

Até o ano de 2014, foram registradas seis ocorrências de falhas causadas por quebras em bielas. Além disso, durante inspeções de manutenção preventiva, foram identificados casos adicionais de trincas. Após a implementação da melhoria, não houve mais registros de falhas e nenhum sinal de trincas foi observado durante as inspeções de manutenção preventiva.

Essa modificação é de grande importância para este estudo, pois envolve a alteração de um procedimento estabelecido no projeto original do equipamento. A adoção de um novo formato construtivo para o componente demonstrou um desempenho substancialmente melhor, sendo eficaz na eliminação das ocorrências associadas a um modo de falha específico.

6 LEVANTAMENTO DAS MOTIVAÇÕES PARA MELHORIAS

Ao pesquisar sobre as diversas falhas ocorridas na usina hidrelétrica Quebra Queixo, e as decisões dos gestores sobre as providências a serem tomadas, observam-se algumas situações em comum que nos permitem traçar uma classificação das condições comumente presentes no dia a dia da manutenção. Para a realização desta pesquisa, foi solicitado à Companhia Energética Chapecó acesso ao banco de dados de manutenção da UHE Quebra Queixo. A equipe de manutenção registra as manutenções realizadas em formato de relatórios. Normalmente esses relatórios são arquivos de texto (de extensão .doc, do software *MSWord*, ou .pdf) bem sucintos e objetivos. São registrados basicamente o trabalho realizado, a justificativa da execução do trabalho, os responsáveis e o resultado obtido.

Nessa fase da pesquisa, foram observados os relatórios de manutenção e realizada uma triagem. As manutenções preventivas e corretivas não serão relevantes para este estudo. No capítulo anterior, foram abordadas as ocorrências de falhas nas unidades geradoras. Neste capítulo serão descritas as modificações dos sistemas, por motivos diversos.

Foi encontrado um total de 1848 relatórios de manutenção com registros de janeiro de 2004 a outubro de 2023, dentre os quais, encontram-se relatórios de manutenções corretivas, manutenções preventivas, melhorias etc. Realizou-se uma triagem e segregaram-se 97 relatórios caracterizados como modificação de projetos ou implementação de melhorias, relevantes para este trabalho. O Apêndice A, no final deste trabalho, contém a listagem completa do levantamento realizado.

Tabela 2 - Levantamento quantitativo de motivações para melhorias

Motivações	Contagem
Adequação a normas, regulamentos e leis	11
Correção de erro de projeto	9
Evitar acidentes	8
Evitar alarmes falsos ou indevidos	1
Evitar repetição de falhas	14
Facilitar atividade de manutenção	10
Melhorar desempenho operacional	13
Mitigar falhas iminentes	1
Obsolescência de equipamentos	20
Permitir Operação Remota - Projeto Especial	4

Prevenção contra danos ambientais	11
Prevenção contra danos aos equipamentos	16
Reduzir custos com material de consumo	1
Reduzir tempo de indisponibilidade para manutenções preventivas	6
Total Geral	125

Fonte: Do autor (2023).

Dentre todas as iniciativas de aprimoramento observadas, foram identificadas 125 razões para essas melhorias. A discrepância nos números ocorre devido à possibilidade de que algumas melhorias estejam associadas a mais de uma razão específica.

6.1 Adequação às normas, regulamentos e leis

As diretrizes destinadas a assegurar a segurança das pessoas são fundamentais para garantir um ambiente de trabalho seguro e mitigar os riscos associados. Cada local de trabalho apresenta características únicas, exigindo abordagens específicas para lidar com os riscos correspondentes. Por essa razão, as normas de segurança são abrangentes e numerosas.

Frequentemente, os projetos originais dos equipamentos não contemplam as proteções e adaptações necessárias para cumprir as normas. Em alguns casos, as normas de segurança são alteradas após a fabricação, entrega ou mesmo durante a operação contínua do equipamento. Dada a crucial importância de manter um ambiente de trabalho seguro, é imperativo que os equipamentos atendam a essas normas mesmo após longos períodos de operação.

Ao longo da pesquisa foram observadas 11 intervenções de melhorias e modificações do projeto com o intuito de adequação às normas de segurança.

6.1.1 Instalação de barreiras de proteção na máquina limpa-grades

Durante uma inspeção de segurança nas instalações, observou-se que a máquina limpa-grades não estava em conformidade com os requisitos estabelecidos na NR 12 – Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos (BRASIL, 2022, p. 10).

12.5.9 As transmissões de força e os componentes móveis a elas interligados, acessíveis ou expostos, desde que ofereçam risco, devem possuir proteções fixas, ou móveis com dispositivos de intertravamento, que impeçam o acesso por todos os lados.

Conforme demonstrado na Figura 19, os dromos rotativos e os cabos de aço, assim como os componentes de transmissão de movimento estão expostos e oferecendo risco de acidentes para pessoas que estiverem próximas.

Figura 19 - Máquina limpa-grades antes da modificação



Fonte: Companhia Energética Chapecó (2018)

Realizou-se um projeto com emissão de ART – Anotação de Responsabilidade Técnica junto ao CREA-SC e planejou-se a alteração. Foram instaladas as proteções para as partes móveis, conforme apresenta a Figura 20.

Figura 20 - Proteções das partes móveis da máquina limpa-grades



Fonte: Companhia Energética Chapecó (2018)

O material para adequação foi adquirido pela CEC e o serviço de instalação ficou sob responsabilidade dos técnicos de manutenção da usina e aprovado pela área de segurança do trabalho da empresa.

6.2 Correção de projetos

Durante a fase de concepção de um equipamento, os projetistas desenvolvem e avaliam minuciosamente o funcionamento do equipamento, suas características, seu comportamento, os dispositivos de proteção necessários etc. Na fase de projeto, a tentativa de prever os defeitos que podem surgir fornece subsídios para tomadas de decisão e implementação de recursos no projeto. Entretanto, muitas vezes um comportamento inesperado ou um defeito não previsto pode fazer com que o equipamento venha a falhar.

Os equipamentos são projetados para determinado fim, mas muitas vezes não são levadas em consideração as condições em que esses equipamentos são

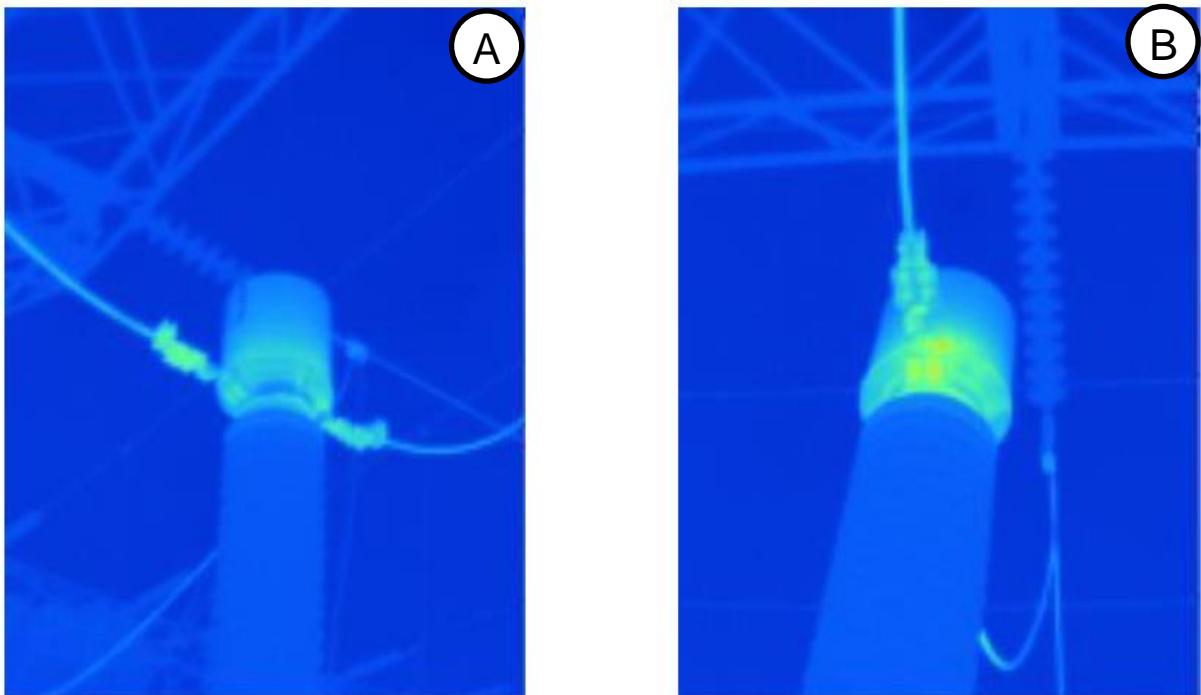
empregados. A associação dos equipamentos com outros pode fazer com que ele apresente resultados diferentes.

6.2.1 Modificação na interligação dos TPs de barra

Uma das implementações de melhorias motivadas por uma correção de erro de projeto foi a interligação dos TPs (Transformadores de Potencial) do barramento principal da subestação.

Após acompanhamento por inspeções termográficas, realizadas nos equipamentos da subestação, constatou-se aquecimento anormal nos terminais de conexão e parte superior dos TPs de barra. A Figura 21 apresenta a termografia do TC da fase B do barramento principal da subestação em dois pontos de vista diferentes. Componentes com temperatura heterogênea, mesmo que dentro dos limites de tolerância aceitáveis, podem indicar um comportamento inadequado ou princípio de defeito.

Figura 21 - Termografia nos TPs do barramento principal da subestação



Fonte: Companhia Energética Chapecó (2019).

O aquecimento se manifestava em decorrência do fato do transformador de potencial estar, erroneamente, exercendo uma função para a qual não foi projetado. Os transformadores de potencial (TPs) devem receber apenas a tensão elétrica e não

podem atuar como elementos condutores para o circuito. O projeto original do sistema previa a conexão dos TPs diretamente ao barramento energizado, atuando como elo entre dois segmentos do barramento, como ilustrado na Figura 22. Essa falha de projeto, embora tenha proporcionado economia de cabeamento na época da instalação, resultou em sobreaquecimento da carcaça do equipamento, já que toda a corrente do sistema estava fluindo através dele.

Figura 22 - Instalação original do TP do barramento principal



Fonte: Companhia Energética Chapecó (2019).

Para realizar as correções necessárias, um isolador do tipo pratos de vidro foi colocado para dar suporte ao cabo, e uma conexão direta (*jumper*) se estabelece entre as duas seções do barramento. Além disso, o transformador de potencial (TP) foi conectado ao barramento por meio de uma derivação. Com essas modificações, a única corrente elétrica que flui pela carcaça do equipamento é aquela utilizada para fins de medição. A Figura 23 mostra a instalação definitiva.

Figura 23 - Instalação modificada dos TPs do barramento principal



Fonte: Companhia Energética Chapecó (2019).

Após essa modificação, as termografias trienais não revelaram mais nenhum tipo de aquecimento anormal na carcaça do TP.

6.3 Facilitar atividade de manutenção

As atividades de manutenção preventiva são cuidadosamente planejadas e envolvem a execução de diversas fases. Algumas dessas etapas são relativamente simples, enquanto outras são mais complexas e demandam mais tempo de serviço de manutenção.

Para otimizar a disponibilidade dos equipamentos, é essencial reduzir ao máximo o tempo necessário para concluir as atividades de manutenção, desde que essa redução não comprometa o escopo de serviços necessários para garantir a integridade do equipamento.

Os técnicos de manutenção da Usina Hidrelétrica Quebra Queixo relatam ter a impressão de que os projetos de certos equipamentos não foram concebidos considerando a necessidade de desmontagem ou intervenção da equipe de manutenção. A manutenibilidade, conforme a NBR 5462 (ABNT, 1994, p. 3), é a

“Capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas [...]”. A definição de manutenibilidade, segundo Siqueira (2005), é a facilidade e a rapidez com que se pode realizar uma atividade de manutenção.

É uma ocorrência comum que muitos equipamentos exijam desmontagens completas para que as atividades de manutenção possam ser realizadas.

No decorrer das atividades de manutenção, surgem sugestões que visam simplificar sua realização. A facilitação das atividades de manutenção é entendida como o aprimoramento do uso do tempo, a redução do esforço físico e a minimização do número de etapas necessárias para atingir o mesmo resultado.

6.3.1 Instalação de pinos guia na tampa do mancal guia inferior

Uma das melhorias identificadas nos registros de manutenção da Usina Hidrelétrica Quebra Queixo, destinada a simplificar as atividades de manutenção, foi a introdução de pinos guia na tampa inferior da cuba do mancal-guia inferior do gerador (MGI). Até então, após a conclusão das atividades de manutenção e durante o processo de fechamento da tampa da cuba, era necessário realizar a sua centralização por meio de relógios comparadores, conforme Figura 24. A precisa centralização da tampa do mancal é crucial para o correto funcionamento do seu labirinto, que é responsável por evitar vazamentos de óleo. Se a tampa estiver descentralizada, podem ocorrer alterações de pressão, resultando na expulsão do vapor de óleo contido na cuba. Essa fase do trabalho demandava aproximadamente 8 horas, com o envolvimento de duas pessoas.

Figura 24 - Centralização da tampa inferior do MGI



Fonte: Companhia Energética Chapecó (2021)

A atividade de centralização de precisão da tampa do mancal não estava originalmente incluída no escopo de manutenção, conforme delineado nos planos de manutenção do fabricante. Sua execução iniciou após a observação de um acúmulo de óleo nas paredes do poço da turbina, resultante da condensação do vapor de óleo. É evidente que esse efeito não foi previsto durante a fase de projeto do equipamento, pois sua montagem foi limitada à tolerância de posicionamento baseada na folga prevista em projeto. Entretanto, não foi considerada a necessidade de uma menor tolerância de concentricidade do labirinto com o eixo. Por isso, foi decidido instalar pinos-guia cônicos na conexão entre a tampa do mancal e a cruzeta, com o intuito de simplificar o seu alinhamento.

Inicialmente, a centralização precisa realizou-se conforme o procedimento padrão. Quando a máquina liberou-se para retorno à operação, a fim de verificar se a centralização havia sido eficaz, observou-se a ausência de vazamento de vapor de óleo pelo labirinto. Como essa tarefa não exigiria desmontagem e se resumiria à perfuração, alargamento e instalação dos pinos-guia, ela foi executada em uma oportunidade futura de máquina parada por conveniência operativa, ou seja, sem afetar os índices de disponibilidade da UG.

O resultado dessa melhoria foi a eliminação de uma etapa completa do plano de manutenção preventiva do MGI, o que ocasionou uma redução de 16 horas-homem e a redução de 8 horas no cronograma da atividade.

6.4 Aperfeiçoamento do desempenho operacional

Uma das principais razões que impulsionam a busca por melhorias é a perspectiva de aprimorar o desempenho operacional de equipamentos específicos. Mesmo quando um equipamento está funcionando de forma adequada, os profissionais que o utilizam frequentemente identificam oportunidades para alcançar resultados ainda melhores por meio de ajustes simples.

6.4.1 Implementação de ajuste fino automático de potência ativa

O controle da potência ativa na unidade geradora é efetuado por meio do regulador de velocidade. Um valor de referência para a potência ativa é atribuído, e o regulador de velocidade, de forma ativa, monitora e ajusta o distribuidor para atingir essa referência. Essa malha de controle se baseia na medição da potência ativa realizada pelo próprio regulador de velocidade. Contudo, é possível que ocorram desvios, dentro de um limite de tolerância, entre a medição efetuada pelo regulador de velocidade e a potência real gerada. O sistema de controle ainda conta com uma funcionalidade adicional conhecida como "ajuste fino". Esta opção inclui botões na tela de configuração de potência, que permitem ao operador realizar ajustes manuais para aprimorar o nível de potência, aproximando-o da referência desejada.

Após cada período de manutenção, a Unidade Geradora (UG) é devolvida à operação e submetida a um teste de verificação de disponibilidade de 4 horas. No entanto, em algumas ocasiões, o ajuste de potência ativa definido pelo operador não

consegue manter a UG no valor alvo de 40,5 MW. Devido a essa situação, o Operador Nacional do Sistema (O.N.S.) considera que a potência ativa disponível está abaixo de 40,5 MW e registra horas equivalentes de desligamento forçado (HEDF) para a unidade. Isso gera um impacto negativo nos indicadores de desempenho da planta, situação altamente indesejável.

Para evitar esse problema, o operador teria que realizar ajustes constantes na função de ajuste fino para manter a Unidade Geradora (UG) operando na sua potência máxima. Como solução, uma lógica adicional de automatização do ajuste fino da potência ativa foi projetada e incorporada aos controladores lógicos programáveis (PLCs) das unidades. Essa lógica é ativada quando a potência ativa está na faixa de 38 MW a 40,5 MW, garantindo que a potência ativa seja ajustada automaticamente para 40,5 MW.

Graças à introdução do ajuste fino automático da potência ativa, evitou-se a aplicação desnecessária de horas equivalentes de desligamento forçado (HEDF).

6.5 Prevenção contra danos ambientais

Conforme relato dos colaboradores da companhia energética Chapecó, a empresa se mostra muito exigente quanto a correta execução dos programas de segurança do trabalho, saúde dos colaboradores e meio ambiente. São muitas as ações realizadas pela empresa para cuidado do meio ambiente, incluindo o cumprimento das normas ambientais.

A empresa demonstra muita seriedade com a gestão dos resíduos operacionais. Observa-se uma clara política de gestão dos resíduos, minimização, segregação e correta destinação. Os resíduos recicláveis, não recicláveis e contaminantes têm tratamento adequado.

Ao longo da pesquisa foram observadas 11 intervenções de melhorias e modificações do projeto com o intuito de prevenir danos ambientais.

6.5.1 Construção de caixas de contenção de óleo para os TEX e os TSAs

Em uma inspeção com o intuito de levantar potenciais riscos de danos ambientais, registrou-se o fato de não haver proteção contra derramamento de óleo sob os transformadores de excitação e os transformadores de serviço auxiliar.

Os transformadores de potência de grande porte empregam óleo isolante como dielétrico para isolar a parte ativa. Esses óleos geralmente são minerais naftênicos, com elevado potencial de contaminação. Na Usina Hidrelétrica Quebra Queixo, há oito transformadores de grande porte, distribuídos da seguinte forma: dois transformadores com 600 litros de óleo, três transformadores com 450 litros de óleo e três transformadores elevadores com 13.800 litros de óleo.

Equipamentos que contenham líquidos com potencial de contaminação ambiental devem ser posicionados sobre bacias de contenção, as quais devem ser capazes de conter todo o volume desses equipamentos. Na Usina Hidrelétrica Quebra Queixo, os transformadores elevadores estão instalados em nichos com ligação à caixa separadora água-óleo.

No projeto original, não estava prevista a instalação dos transformadores menores sobre bacias de contenção, conforme Figura 25, o que representava um sério risco de danos ao meio ambiente em caso de vazamento.

Figura 25 - Transformadores de SA antes da adequação



Fonte: Companhia Energética Chapecó (2012)

Foram aproveitadas as paredes corta-fogo instaladas entre os transformadores e construídas pequenas muretas cercando os equipamentos, conforme Figura 26.

Figura 26 - Área dos TSAs após modificação



Fonte: Companhia Energética Chapecó (2012)

No caso desta instalação, a contenção não é formada apenas pela área cercada abaixo dos equipamentos, mas inclui todo o volume do tanque separador água e óleo da casa de força. Em caso de vazamentos todo óleo será direcionado para o sistema de contenção dos transformadores elevadores, que está interligado ao tanque separador de água e óleo, através de tubulação galvanizada de 3", conforme Figura 27.

Figura 27 - Tubulação de direcionamento da bacia de contenção



Fonte: Companhia Energética Chapecó (2012)

Após as alterações estruturais no local de instalação dos transformadores de serviço auxiliar, foi mitigado o risco de contaminação do solo e rio.

7 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Observa-se pouca padronização entre equipamentos e sistemas entre uma usina hidrelétrica e outras porque um aproveitamento hidrelétrico é formado por vários pequenos projetos personalizados. Esses projetos são personalizados com o intuito de atender as especificidades de cada planta devido a variações de relevo, potencial hidráulico, requisitos energéticos etc. Desta forma, a infinidade de combinações, entre os mais diversos tipos de equipamentos, torna difícil estabelecer parâmetros padrões de medição de desempenho da manutenção.

A investigação acerca da gestão de manutenção na UHE Quebra Queixo ao longo das duas últimas décadas de operação comercial revelou uma transformação significativa no empreendimento em comparação com o seu estado em 2003. Essas alterações são atribuíveis à busca incessante por desenvolvimento.

Inicialmente observou-se uma postura consciente e responsável da empresa sobre as providencias tomadas em relação às falhas. Essa pesquisa foi facilitada devido à documentação detalhada, contendo todo o histórico operacional, falhas, ocorrências e resultados. Percebe-se seriedade e diligência no registro das ocorrências, nos diagnósticos de falhas e nas recomendações de ações.

Foram observados dois aspectos importantes, a decisão de manter o que não está apresentando um resultado satisfatório, tratando as falhas e fortalecendo os pontos fracos. Ademais, observa-se a ótica da empresa frente aos pontos que podem ainda ser melhorados, incentivando a ação.

7.1 Ocorrências de falhas

As ocorrências de falhas revelam situações de risco. Quando uma falha ocorre, é crucial que ela seja identificada e, se necessário, que suas causas sejam tratadas. Se a causa não for solucionada, é provável que o equipamento volte a falhar. Em muitos casos, equipamentos que experimentam um alto número de falhas compartilham causas comuns entre elas. As várias falhas podem ser atribuídas à mesma raiz.

Alguns equipamentos mostram um padrão de falhas persistente e com alta frequência. Esse tipo de falha é facilmente identificável. Independentemente da complexidade da correção, há uma clara necessidade de intervenção.

Outros equipamentos apresentam repetidas falhas, porém com baixa frequência. Após a manutenção corretiva, pode levar muito tempo até que a falha ocorra novamente. No entanto, a causa das falhas permanece, apenas com um intervalo mais longo entre as ocorrências. Nesses casos, é fundamental empenhar esforços para detectar a existência de um problema crônico que necessita ser abordado. Além disso, é crucial convencer os gestores de manutenção da necessidade de intervenção por meio de evidências, testes operacionais, entre outros. Às vezes, pode ser necessário interromper o equipamento para realizar testes que confirmem a necessidade de modificar o projeto ou implementar melhorias.

7.2 Outras motivações

Foi observado melhor clareza na detecção da necessidade de realizar alterações quando o equipamento tem apresentado falhas, principalmente se essas falhas têm a mesma origem, as mesmas consequências ou características parecidas. No entanto, além das falhas, notou-se que outras motivações também desencadeiam o reconhecimento da necessidade de realizar modificações nas instalações.

7.2.1 Adequação às normas, regulamentos e leis:

Mesmo na ausência de uma falha aparente no equipamento, existe a possibilidade de ele estar operando de maneira inadequada, sem estar em conformidade com as normas técnicas, de segurança ou ambientais. Essa condição de risco coloca a empresa em uma posição vulnerável, sujeita a multas ou penalidades por parte dos órgãos reguladores, especialmente em situações de intercorrências.

7.2.2 Correção de projetos

Nenhum processo, inclusive o projeto, é imune a falhas, podendo deixar de antecipar situações incomuns, incompatibilidades com outros equipamentos ou condições operacionais específicas. Mesmo a variação climática em diferentes regiões pode influenciar o desempenho dos equipamentos. Em muitos casos, o foco do projeto está direcionado a requisitos específicos, enquanto outros requisitos podem não receber a devida atenção. Os equívocos de projeto geralmente são identificados

durante a fase operacional do equipamento, demandando intervenção da equipe de manutenção para correção.

7.2.3 Estratégias para evitar acidentes

Diversas são as causas que podem fazer com que equipamentos e sistemas apresentem riscos de acidentes, representando ameaças tanto para a segurança das pessoas quanto para danos materiais. Tais riscos podem originar-se de erros de projeto, falhas anteriores que tenham alterado as condições do equipamento ou até mesmo defeitos introduzidos durante intervenções prévias. Diante desse panorama, é crucial que as empresas assumam a responsabilidade na tomada de decisões para realizar as modificações necessárias, eliminando as possibilidades de ocorrência de acidentes. Em alguns casos, essa decisão pode envolver a retirada temporária do equipamento de operação, visando a garantia da segurança e a prevenção de potenciais danos.

7.2.4 Estratégias para facilitar as atividades de manutenção

Algumas tarefas de manutenção podem ser extremamente trabalhosas, exigir considerável esforço físico, consumir longos períodos para conclusão e apresentar diversas outras dificuldades de execução. Essas situações frequentemente constituem motivação significativa para os funcionários sugerirem melhorias, uma vez que o impacto direto reflete na facilitação do seu próprio trabalho. Essas sugestões, de maneira indireta, proporcionam vantagens operacionais para a empresa, pois os funcionários podem direcionar seus esforços para outras atividades durante o tempo economizado. Essas melhorias costumam resultar em redução do tempo de inatividade para manutenção programada dos equipamentos, contribuindo para a eficiência global das operações.

7.2.5 Estratégias para aperfeiçoamento do desempenho operacional

A expectativa para a condição operacional dos equipamentos é que eles forneçam resultados que estejam em conformidade com os requisitos estabelecidos pelo projeto. Geralmente, o projeto define um desempenho específico para cada

equipamento. Contudo, é comum que, após a entrada em operação, surjam considerações de que o equipamento poderia oferecer um desempenho superior ao originalmente projetado ou até mesmo que poderia desempenhar novas funcionalidades. Uma intervenção que proporcione tal melhoria não apenas atende a uma otimização dos recursos da empresa, mas também reflete uma abordagem proativa na busca pela excelência operacional. Essa capacidade de adaptação e aprimoramento contínuo não apenas maximizam o retorno sobre o investimento inicial, mas também posicionam a empresa em uma posição vantajosa diante das demandas dinâmicas do ambiente operacional.

7.2.6 Obsolescência de equipamentos

É comumente reconhecido que os produtos possuem um ciclo de vida determinado. Após períodos específicos, esses produtos deixam de receber suporte técnico, têm limitações em peças de reposição e podem não ser mais compatíveis com os softwares atuais. Quando se avaliam sistemas e grandes conjuntos de equipamentos, a substituição ou *retrofit* de um componente equivale a uma alteração no projeto.

A necessidade de realizar essa substituição ou *retrofit* muitas vezes emerge devido à indisponibilidade de peças de reposição ou suporte técnico, o que, dependendo da importância do equipamento em questão, pode comprometer significativamente a operação da usina. Nesse contexto, a gestão adequada do ciclo de vida dos equipamentos torna-se essencial para garantir a continuidade operacional, minimizar períodos de inatividade não programados e assegurar a eficiência do sistema como um todo.

7.2.7 Prevenção contra danos ambientais

Em virtude da crescente necessidade global de preservação do meio ambiente, é de suma importância que as empresas assumam a responsabilidade pela prevenção de danos ambientais. Para além das multas e penalidades que podem ser impostas às empresas que não cumprem as normativas ambientais, o compromisso com a sustentabilidade ambiental deve ser o princípio orientador nas tomadas de decisão nessa questão.

Reconhecer e agir em conformidade com os princípios de responsabilidade ambiental não apenas contribui para evitar sanções legais, mas também promove a construção de uma imagem corporativa positiva e alinhada com as expectativas da sociedade. Ao adotar práticas ecologicamente sustentáveis e incorporar considerações ambientais nas estratégias de negócios, as empresas não apenas atendem às exigências regulatórias, mas também desempenham um papel ativo na promoção da saúde do planeta. Portanto, o comprometimento com a preservação ambiental não deve ser apenas uma resposta a possíveis penalidades, mas uma atitude intrínseca que permeia todas as atividades empresariais em prol de um futuro mais sustentável.

8 CONCLUSÃO

A gestão de manutenção, frequentemente vinculada ao conceito clássico de "manter o que se tem", assume uma dimensão ainda mais abrangente e estratégica na atuação da equipe responsável por garantir a integridade operacional da usina hidrelétrica. Nesse contexto, a perspectiva evolui de uma mera conservação para um compromisso ativo com a melhoria contínua e otimização dos recursos existentes.

Contrariando a ideia de que a simples manutenção dos equipamentos nas condições iniciais, conforme estabelecido em projeto, seria suficiente, percebe-se que as demandas dinâmicas do ambiente operacional e os avanços tecnológicos exigem uma abordagem mais disruptiva e orientada para a inovação.

Nesse sentido, fica evidente que a gestão de manutenção eficaz não pode prescindir de investimentos que não se limitem apenas à infraestrutura física, mas também se estendem ao fortalecimento do setor de engenharia e parcerias com empresas de consultoria, catalisadores essenciais para a implementação de práticas inovadoras e soluções customizadas.

As equipes de manutenção, portanto, não devem se restringir à abordagem reativa de consertar defeitos ou executar manutenções preventivas padrão. Em vez disso, devem dedicar tempo significativo a estudos aprofundados, pesquisas e discussões. Em resposta a esse empenho envidado pelos profissionais, se faz necessário que a empresa invista em treinamentos técnicos.

Além disso, neste trabalho foi possível observar que a busca por melhorias não é apenas uma estratégia operacional, mas uma via fundamental para o desenvolvimento profissional da equipe de manutenção. Em um cenário dinâmico e desafiador, a capacidade de se adaptar, inovar e buscar continuamente a excelência posiciona cada membro da equipe como um agente ativo no seu próprio crescimento profissional e no fortalecimento coletivo da equipe.

Esse envolvimento mais proativo não apenas permite antecipar possíveis problemas, mas também cria um ambiente propício para a identificação de oportunidades de aprimoramento das instalações, maximizando a eficiência operacional.

Em última análise, conclui-se que a gestão de manutenção, quando alinhada à busca incessante por melhorias e à valorização da inovação, transcende seu papel tradicional. Ela se transforma em um vetor essencial para a sustentabilidade e

competitividade a longo prazo das usinas hidrelétricas em um cenário desafiador e em constante evolução. Assim, ao invés de ser vista como uma simples ferramenta de preservação, a gestão de manutenção emerge como um impulsionador estratégico para o sucesso operacional e o desenvolvimento da resiliência da empresa.

O objetivo geral deste trabalho foi alcançado, já que foi possível conhecer e descrever as estratégias utilizadas e parâmetros considerados no processo decisório da empresa diante das diversas situações que a levaram à modificação de suas instalações. Para alcançar este objetivo, pesquisaram-se as diversas falhas nas unidades geradoras da UHE Quebra Queixo e o impacto operacional causado à planta, conforme descrito no capítulo 4 proporcionando o alcance do objetivo específico de número 1. Diante dessas falhas, pesquisaram-se as providências e ações tomadas pela empresa no intuito de mitigar essas falhas para que não ocorressem recorrências. Essas ações foram descritas no capítulo 5 deste trabalho, o que permitiu alcançar o objetivo específico de número 2. Para alcançar o objetivo específico número 3, pesquisaram-se as melhorias implementadas nos equipamentos, classificando-as conforme suas justificativas e descrevendo-as no capítulo 6. Desta forma, foi possível conhecer as motivações que levaram a empresa a deliberar sobre essas ações.

Recomenda-se, em um trabalho futuro, o desenvolvimento de um método que facilite o processo decisório de ação de implementação de melhorias, *retrofits* e modernizações de equipamentos para cada tipo de justificativas e motivações.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **ANEEL 875/2020**: Diário Oficial da União. 51 ed. [Brasília-DF]: Diário Oficial da União, 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-n-875-de-10-de-marco-de-2020-248070610>. Acesso em: 09 abr. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **ANEEL 394/1998**. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/res1998394.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2023.

AGUIRRE, Fernando Henrique Guedes. **Análise de medidas mitigadoras para a redução da tensão de restabelecimento transitória em disjuntores de alta tensão**: um estudo de caso. 2022.

ALMEIDA, Paulo Samuel de. *Manutenção Mecânica Industrial: Conceitos Básicos e Tecnologia Aplicada*. Editora Saraiva, 2015. *E-book*. ISBN 9788536519791. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536519791/>. Acesso em: 26 mar. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro. 1994.

BONDIOLLI, Nelson. **MBC – Manutenção Baseada em Confiabilidade**. Dissertação. São Paulo: Atual Serviços e Engenharia, 2012.

BRASIL. Decreto-lei nº 9.083, de 14 de novembro de 2000. **Outorga concessão para exploração de potencial hidráulico, por meio da usina hidrelétrica denominada Quebra Queixo, em trecho do rio Chapecó, no Estado de Santa Catarina, e dá outras providências**. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/dnn/DNN9083.htm - http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/dnn/DNN9083.htm?text=DECRETO%20DE%2014%20DE%20NOVEMBRO,que%20lhe%20confere%20o%20art., Brasília. 2000. Acesso em: 11 nov. 2023.

BRASIL. Ministério do Trabalho. Portaria MTP n.º 4.219, de 20 de dezembro de 2022. **NR 12 – Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos**. Brasília, DF, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-12-atualizada-2022-1.pdf>. Acesso em: 20 set. 2019.

COSTA, Valmir Pinheiro. **Uma metodologia para seleção e classificação de disjuntores de alta e extra alta tensão como obsoletos**. 2004

GREGÓRIO, Gabriela F P.; SILVEIRA, Aline M. *Manutenção industrial*. Grupo A, 2018. *E-book*. ISBN 9788595026971. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595026971/>. Acesso em: 18 out. 2023.

HIDALGO, Erick Miguel Portugal. **Modelo para diagnose de falhas em regulador de velocidade de turbinas hidráulicas.** 2010.

KARDEC Alan; NASCIF Julio. **Manutenção: função estratégica.** 3ª ed. Rio de Janeiro: Qualitmark: Petrobrás, 2009.

MAGALHÃES, Luiz Cláudio de Almeida. **Energia hidrelétrica.** R. Adm. Públ., Rio de Janeiro, v. 4, n. 12, p. 17-55, out. 1978. Trimestral.

MIRANDA, Maicon de. **Desenvolvimento de um sistema para o controle de excitação de campo de um gerador síncrono.** 2018.

MONCHY, François. **A Função Manutenção: Formação para a gerência da Manutenção Industrial.** 1ª ed. São Paulo: Ed. Durban, 1987.

NEUMANN, Marcelo Schmitz. **Estudo de repotencialização de uma pequena central hidrelétrica.** 2017.

NOGUEIRA, Gabriel Lacerda. **Automação em usinas hidrelétricas: Supervisão de Máquina.** 2021.

OLIVEIRA, Patrícia de Souza. **Otimização da Agenda de Manutenção das Turbinas de uma Usina Hidrelétrica.** 2021.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO – ONS. **Procedimentos de rede, Submódulo 1.2 - Glossário dos Procedimentos de Rede,** 2023.

PRIETO, Arnaldo Francisco de Giacomo. **Geração de energia hidrelétrica: estudo de alternativa sem o barramento do rio.** 2012.

REALPE, Luís Fernando Alape. **Uma metodologia para gestão de manutenção corretiva e baseada em condição aplicada em usinas hidrelétricas: uma abordagem usando raciocínio baseado em casos.** 2012.

REIS, Lineu Belico dos. **Geração de Energia Elétrica.** 3. ed. Barueri-Sp: Manole, 2017. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786555762242/>. Acesso em: 09 abr. 2023.

RENNOSONIC. **Ensaio de faixa operativa e medições dinâmicas – UHE Quebra Queixo.** Itajubá-MG. 2019.

RENNOSONIC. **Eficiência em água e Energia.** Disponível em: <https://rennosonic.com/>. Itajubá-MG. 2019.

SANTOS, Helton Fernando dos. **Desenvolvimento de um equipamento para monitoração de geradores síncronos através do campo magnético externo.** 2016.

SILVA, Bianca Romaniv da. **Melhoria para a visualização de eventos e alarmes gerados durante uma parada de emergência em uma unidade geradora hidrelétrica.** 2015.

SIQUEIRA, Iony Patriota de. **Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação.** 1ª ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção.** Tradução de Maria Teresa Corrêa de Oliveira e Fábio Alher. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2002.

SOLUÇÕES GLOBAIS PARA EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS. 2023. Disponível em: <https://www.hidroenergia.com.br/>. Acesso em: 09 abr. 2023.

SOUZA, Rafael Doro. **Análise da gestão da manutenção focando a manutenção centrada na confiabilidade:** estudo de caso MRS logística. 2008.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **Manual de Gestão da Manutenção – Volume 1”.** Editora Engeteles. Brasília, 2020

VOITH HYDRO. **Relatório de Cálculo:** Força de fadiga da articulação fletora. 2013.

XENOS, H. G. **Gerenciando a Manutenção Preventiva: o caminho para eliminar falhas nos equipamentos e aumentar a produtividade.** Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998.

YAMASHITA, Marcos Shigueo; CAMPOS, Luís Fernando Ferreira; YAMASHITA, Oscar Mitsuo. **Sistemas de regulação de velocidade e potência ativa em usinas hidrelétricas - Uma breve revisão.** 2022.


ANEXO A – CONTROLE DE FALHAS NAS UNIDADES GERADORAS

 Controle de Falhas nas Unidades Geradoras - UHE Quebra Queixo									
Item Geral	Data	Hora	Tipo	Fator R	Subunidade	Equipamento	Descrição Sucinta / Causa	Unidade Geradora	Tempo Indisponível
001	02/03/04	14:16	FP	1/1	Sistema de Excitação	Disjuntor de Campo	Falha no Sistema de Excitação/desajuste dos contatos auxiliares da chave de campo.	2	00:07
002	13/04/04	11:24	B	1/1	Turbina	Vedação Deslizante	Baixo fluxo de água devido entupimento do diafragma de entrada do filtro hidrociclone.	1	00:11
003	21/04/04	11:00	FP	2/2	Sistema de Excitação	Disjuntor de Campo	Falha no Sistema de Excitação/desajuste dos contatos auxiliares da chave de campo	3	00:05
004	29/04/04	14:47	FP	3/3	Sistema de Excitação	Disjuntor de Campo	Falha no Sistema de Excitação/desajuste dos contatos auxiliares da chave de campo	2	00:05
005	01/05/04	17:37	FP	1/1	Gerador	Sistema de Frenagem	Uma das Sapatas de Freio permaneceu trancada e aplicada.	1	00:13
006	03/05/04	7:32	FP	4/4	Sistema de Excitação	Disjuntor de Campo	Falha no Sistema de Excitação/desajuste dos contatos auxiliares da chave de campo	1	00:03
007	03/05/04	7:42	FP	5/5	Sistema de Excitação	Disjuntor de Campo	Falha no Sistema de Excitação/desajuste dos contatos auxiliares da chave de campo	1	00:01
008	19/05/04	5:52	FP	6/6	Sistema de Excitação	Disjuntor de Campo	Falha no Sistema de Excitação/desajuste dos contatos auxiliares da chave de campo	2	00:03
009	19/05/04	22:12	FP	2/1	Turbina	Distribuidor	Desajuste do Micro Switch 2150-s (posição do distribuidor) .	2	00:02
010	20/05/04	8:46	FP	3/2	Turbina	Distribuidor	Desajuste do Micro Switch 2150-s (posição do distribuidor) .	2	00:02
011	25/05/04	12:59	FP	7/7	Sistema de Excitação	Disjuntor de Campo	Falha no Sistema de Excitação/desajuste dos contatos auxiliares da chave de campo	2	00:07
012	30/07/04	7:25	FP	8/8	Sistema de Excitação	Disjuntor de Campo	Falha no Sistema de Excitação/desajuste dos contatos auxiliares da chave de campo	2	00:59
013	04/08/04	8:24	FP	9/9	Sistema de Excitação	Disjuntor de Campo	Falha no Sistema de Excitação/desajuste dos contatos auxiliares da chave de campo	2	00:05
014	05/08/04	8:28	FP	10/10	Sistema de Excitação	Disjuntor de Campo	Falha no Sistema de Excitação/desajuste dos contatos auxiliares da chave de campo	2	00:03
015	05/08/04	8:52	E	1/1	Sistema Supervisório	PLC	Falha no PLC, não aceitando comandos do Supervisório. A UG foi parada através de comando Manual-Local. Causa: mau contato no PLC	1	00:04
016	10/08/04	13:55	FP	11/11	Sistema de Excitação	Disjuntor de Campo	Falha no Sistema de Excitação/desajuste dos contatos auxiliares da chave de campo	2	00:16
017	25/08/04	18:27	FP	4/3	Turbina	Distribuidor	Desajuste do micro switch de indicação de trava automática do distribuidor desalinhada, impedindo a partida do regulador de velocidade.	1	03:11
018	03/11/04	17:49	B	2/1	Gerador	Rotor do Gerador	Operação do relé diferencial 87G, devido desprendimento de contrapeso do rotor, instalado provisoriamente para manter o balanceamento do gerador durante reparos em uma das aletas de ventilação.	1	2156:53
019	17/12/04	8:24	FP	3/2	Gerador	Sistema de Frenagem	Uma das Sapatas de Freio permaneceu trancada e aplicada.	3	05:55
020	21/12/04	7:55	FP	4/3	Gerador	Sistema de Frenagem	Uma das Sapatas de Freio permaneceu trancada e aplicada.	3	00:46
021	06/03/05	16:49	FP	5/4	Gerador	Sistema de Frenagem	Uma das Sapatas de Freio permaneceu trancada e aplicada.	1	15:54
022	19/05/05	23:50	B	1/1	Unidade Hidraulica		Defeito na válvula 2140.1Y (fechamento de emergência do distribuidor)	3	10:06
023	10/06/05	18:00	FP	5/4	Turbina	Distribuidor	Desajuste do micro switch de indicação de trava automática do distribuidor desalinhada, impedindo a partida do regulador de velocidade.	3	00:41
024	21/10/05	15:59	E	1/1	Tomada D'água	Grades	Parada Manual em Emergência da UG-3 devido perda de rendimento repentina, com abertura do distribuidor e redução de potência. Posteriormente constatou-se que a causa foi queda da grade da tomada d'água.	3	868:23
025	24/10/05	10:45	B	6/1	Turbina	Válvula Borboleta	Atuação do Relé 86H por retroaviso indevido de Válvula Borboleta fechada. Desajuste da chave-limite.	1	01:03
026	25/10/05	15:37	B	2/2	Tomada D'água	Grades	Atuação do relé de bloqueio 86M devido quebra de duas bielas do distribuidor. Posteriormente constatou-se que a causa foi queda da grade da tomada d'água.	2	772:17
027	16/03/06	11:06	FP	12/1	Sistema de Excitação	Trafo de Excitação	Não ocorreu excitação. Alarme indevido de temperatura de enrolamento 1° Grau no trafo de excitação	2	00:10
028	26/03/06	11:22	FP	7/5	Turbina	Distribuidor	Desajuste do micro switch de indicação de trava automática do distribuidor desalinhada, impedindo a partida do regulador de velocidade.	3	00:03
029	03/04/06	4:24	E	13/1	Sistema de Excitação	Regulador de Tensão	A UG foi deslig. em emerg. pelo operador devido alarme de falha na ventilação dos tiristores. Houve queima de um ventilador dos tiristores.	1	05:30
030	06/05/06	8:29	E	8/1	Turbina	Rotor da Turbina	Rompimento da Borracha de Vedação da Válvula de Aeração.	3	123:38
031	24/05/06	8:00	FP	14/12	Sistema de Excitação	Disjuntor de Campo	Falha no Sistema de Excitação. Desajuste dos contatos auxiliares da chave de campo	2	00:06
032	02/06/06	6:56	FP	15/13	Sistema de Excitação	Disjuntor de Campo	Falha no Sistema de Excitação. Desajuste dos contatos auxiliares da chave de campo	2	00:06
033	04/07/06	17:23	FP	9/2	Turbina	Vedação Deslizante	Baixo Fluxo de água devido a limitação de vazão por desajuste nas válvulas redutoras de pressão.	3	00:01
034	28/09/06	20:37	B	16/2	Sistema de Excitação	Regulador de Tensão	Parada da UG3 por bloqueio 86P devido falha no Reg. de Tensão. Queima de dois TCs de efeito HALL.	3	19:49
035	03/01/07	15:13	FP	6/1	Gerador	Sistema de Sincronismo	Queima do Relé Auxiliar de Alimentação do Relé de Verificação de Sincronismo devido à surto por descarga atmosférica.	3	03:40
036	11/01/07	9:00	FP	7/5	Gerador	Sistema de Frenagem	Uma das Sapatas de Freio permaneceu trancada e aplicada.	2	00:07
037	05/02/07	10:02	B	17/3	Sistema de Excitação	Regulador de Tensão	Parada da Unidade Geradora 2 por operação dos Relés 59-G e 87-TE. Falha no disjuntor de alimentação de CC para pré excitação.	2	31:06
038	24/02/07	23:23	B	1/1	Sistema de Proteção	Linha Curta 1	Falha no Relé SE 75D610-RDP. Substituído pelo da Linha Curta 2 - Retaguarda, devido danificação de componentes.	1	39:42

 Controle de Falhas nas Unidades Geradoras - UHE Quebra Queixo									
Item Geral	Data	Hora	Tipo	Fator R	Subunidade	Equipamento	Descrição Sucinta / Causa	Unidade Geradora	Tempo Indisponível
039	19/04/07	12:03	B	2/2	Sistema Supervisório	PLC	Desligamento Automático da Unidade Geradora 2. Falha Externa no PLC - defeito Cartão Sicam-Din-7. Proteção atuada: Relé 86-H.	2	02:37
040	16/05/07	10:51	B	2/1	Regulador de Velocidade	Transdutor de Posição do Distribuidor	Falha de medição de abertura no distribuidor, atuando o relé 86E. Causa: mau contato no conector do transdutor de posição do distribuidor. Foi executada limpeza e reaperto.	2	00:42
041	21/05/07	11:02	FP	8/2	Gerador	Sistema de Sincronismo	Queima do Relé Auxiliar de Alimentação do Sincronismo devido à surto por descarga atmosférica.	1	02:02
042	13/06/07	18:08	B	10/6	Turbina	Distribuidor	Desajuste da chave limite de supervisão de Biela Flambada.	2	00:43
043	18/06/07	11:24	B	11/3	Turbina	Vedação Deslizante	Baixo fluxo de água devido entupimento do diafragma de entrada do filtro hidrociclone.	1	00:18
044	20/06/07	19:00	B	2/1	Sistema de Proteção	Linha Curta 2	Falha no Relé 87FP. Substituído pelo da Linha Curta 3 - Retaguarda, devido danificação de componentes.	2	00:08
045	21/06/07	13:28	FP	9/3	Gerador	Sistema de Sincronismo	Queima do Relé Auxiliar de Alimentação do Sincronismo devido à surto por descarga atmosférica.	3	02:35
046	09/07/07	6:10	FP	12/4	Turbina	Vedação deslizante	Baixo Fluxo de água devido a limitação de vazão por desajuste nas válvulas reductoras de pressão.	3	00:01
047	16/07/07	8:31	FP	10/4	Gerador	Sistema de Sincronismo	Queima do Relé Auxiliar de Alimentação do Relé de Verificação de Sincronismo e contator de fechamento DJ Principal 52U2, por descarga atmosférica.	2	02:51
048	21/10/07	11:00	FP	3/1	Regulador de Tensão	Unidade Digital	Falha na Medição de Potência. Atuação do Relé 86P.	2	01:06
049	04/12/07	8:11	B	18/4	Sistema de Excitação	Regulador de Tensão	Parada por Bloqueio. Queima da Ponte Nº1 dos Tiristores de Excitação. Atuação da Proteção 86E.	3	05:58
050	21/12/07	12:04	B	19/14	Sistema de Excitação	Disjuntor de Campo	Falha no Sistema de Excitação/desajuste dos contatos auxiliares da chave de campo	3	01:54
051	17/01/08	8:32	FP	11/6	Gerador	Sistema de Frenagem	Uma das Sapatas de Freio permaneceu trancada e aplicada.	1	00:10
052	13/06/08	9:11	FP	20/5	Sistema de Excitação	Regulador de Tensão	Falha no ventilador do Painel dos Tiristores da UG. Queima de um ventilador, devido falha no enrolamento.	2	00:08
053	30/06/08	8:15	B	13/5	Turbina	Vedação Deslizante	Baixo fluxo de água devido entupimento do diafragma de entrada do filtro hidrociclone.	3	02:50
054	07/07/08	6:11	B	4/2	Regulador de Velocidade	Transdutor de Posição do Distribuidor	Falha de medição de abertura no distribuidor, atuando o relé 86E. Causa: mau contato no conector do transdutor de posição do distribuidor. Foi executada limpeza e reaperto.	2	02:16
055	03/09/08	19:36	B	21/6	Sistema de Excitação	Regulador de Tensão	Parada por bloqueio elétrico, devido falha no RT. Queima de componentes na CPU principal. Atuação do Relé 86E.	2	28:19
056	20/11/08	8:04	B	22/7	Sistema de Excitação	Regulador de Tensão	Desligamento Automático por atuação do relé de bloqueio 86E. Travamento de Ventilador MVC2 do cubículo da chave de campo. Substituído Ventilador e Fusíveis.	2	00:30
057	04/03/09	7:52	FP	1/1	Subestação	Bay da UG1	Falha no fechamento do Disjuntor da UG. Queima de contator de supervisão de tensão.	1	01:39
058	22/05/09	9:10	B	23/8	Sistema de Excitação	Regulador de Tensão	Deslig. Automát. pela operação do Relé 86P, devido atuação do Relé 59 (sobretensão Gerador). Falha no Circuito de controle do Regulador de Tensão.	1	07:24
059	22/07/09	10:13	B	2/2	Subestação	Bay da UG1	Operação relé de bloqueio 86H durante manobra de transferência do BAY da UG1, devido falha à terra no circuito de comando do disjuntor.	1	00:23
060	09/12/09	10:15	FP	12/7	Gerador	Sistema de Frenagem	Uma das Sapatas de Freio permaneceu trancada e aplicada.	3	00:24
061	06/04/10	16:16	B	1/1	Serviço Auxiliar	CCMU	Desligamento automático da UG3, devido queima do fusível no relé de subtensão na barra CCMU3.	3	00:16
062	24/05/10	18:00	B	14/7	Turbina	Distribuidor	Atuação relé de bloqueio 86M e 86H. Causa: flambagem da biela número 4.	1	03:58
063	27/08/10	7:55	B	3/3	Sistema Supervisório	PLC	Falha na fonte de alimentação 125/24 VCC da UAC.	3	03:00
064	10/11/10	8:13	FP	13/5	Gerador	Sistema de Sincronismo	Queima do Relé Auxiliar da UAICF devido à surto por descarga atmosférica.	1	01:09
065	10/11/10	8:28	FP	14/6	Gerador	Sistema de Sincronismo	Queima do Relé Auxiliar de Alimentação do Sincronismo devido à surto por descarga atmosférica.	2	01:21
066	17/12/10	19:00	B	24/9	Sistema de Excitação	Regulador de Tensão	Sobreaquecimento da ponte de tiristores nº 03 da UG1.	1	00:10
067	28/12/10	9:26	B	5/2	Regulador de Velocidade	Unidade Hidráulica	Fechamento indevido da Válvula Borboleta sem alarme no supervisório devido a falha na eletroválvula 2030Y.	3	00:13
068	10/03/11	15:06	B	6/3	Regulador de Velocidade	Unidade Hidráulica	Fechamento indevido da Válvula Borboleta sem alarme no supervisório devido a falha na eletroválvula 2030Y.	3	00:13
069	01/04/11	15:32	B	15/7	Gerador	Sistema de Sincronismo	Queima do Relé de check de sincronismo devido à surto por descarga atmosférica.	3	04:03
070	20/05/11	21:17	B	25/10	Sistema de Excitação	Regulador de Tensão	Falha na CPU principal da UG3, por defeito em um TC de efeito Hall.	3	03:18
071	24/05/11	10:04	B	26/11	Sistema de Excitação	Regulador de Tensão	Falha na CPU principal da UG3, por defeito em um TC de efeito Hall.	3	07:08
072	24/05/11	19:13	B	27/12	Sistema de Excitação	Regulador de Tensão	Falha na CPU principal da UG3, por defeito em um TC de efeito Hall.	3	16:40
073	05/07/11	10:17	B	7/2	Regulador de Tensão	Unidade Digital	Falha de medição de loop de abertura no distribuidor, atuando relé 86E	2	01:32
074	30/08/11	5:45	B	16/8	Gerador	Sistema de Sincronismo	Queima do Relé Auxiliar de Alimentação do Sincronismo devido à surto por descarga atmosférica.	3	02:43
075	27/09/11	12:39	B	8/3	Regulador de Tensão	Unidade Digital	Falha na comutação para modo potência.	3	00:52
076	30/09/11	5:49	B	15/8	Turbina	Distribuidor	Atuação relé de bloqueio 86M e 86H. Causa: flambagem da biela número 9.	1	04:54
077	01/10/11	5:51	B	3/1	Subestação	UAC-SE	Queima do cartão do PLC da subestação, devido surto por descarga atmosférica.	1	03:26
								2	03:26
								3	03:26

 Controle de Falhas nas Unidades Geradoras - UHE Quebra Queixo									
Item Geral	Data	Hora	Tipo	Fator R	Subunidade	Equipamento	Descrição Sucinta / Causa	Unidade Geradora	Tempo Indisponível
078	03/12/11	14:00	B	9/3	Regulador de Velocidade	Transdutor de Posição do Distribuidor	Falha de medição de abertura no distribuidor, atuando o relé 86E. Causa: mau contato no conector do transdutor de posição do distribuidor. Foi executada limpeza e reaperto.	2	06:42
079	06/12/11	13:47	B	10/4	Regulador de Velocidade	Unidade Digital	Operação do 86E devido falha na medição de rotação.	2	00:26
080	21/05/12	9:24	E	11/4	Regulador de Velocidade	Unidade Hidraulica	Vazamento de nitrogênio do acumulador devido a deterioração da vedação do êmbolo da CHR.V da UG1.	1	55:55
081	05/06/12	23:03	B	16/9	Turbina	Distribuidor	Atuação relé de bloqueio 86M e 86H. Causa: flambagem da biela números 7 e 8.	3	13:02
082	12/07/12	14:24	B	2/2	Serviço Auxiliar	CCMU	Falha de transferência do serviço auxiliar.	1	00:11
083	12/07/12	14:24	B	3/3	Serviço Auxiliar	CCMU	Falha de transferência do serviço auxiliar.	3	00:11
084	13/07/12	8:00	FP	17/10	Turbina	Distribuidor	Desajuste do micro switch de indicação de trava automática do distribuidor desalinhada, impedindo a partida do regulador de velocidade.	2	00:40
085	05/09/12	8:05	FP	4/3	Subestação	Bay da UG1	Falha no contactor auxiliar do pressostato do gás SF6 do disjuntor.	1	04:15
086	20/09/12	22:26	B	3/1	Sistema de Proteção	Teleproteção	Desligamento da LT 138KV PZO/QQX C1 e C2 devido descarga atmosférica. Não houve atuação correta da teleproteção. Os dois circuitos permaneceram fechados na SE QQX. Atuaram as proteções F87TE/ F87GT e 86E, desligando a UG-3.	3	13:35
087	06/09/12	13:46	B	5/4	Subestação	Bay da UG1	Queima do contactor auxiliar do pressostato do gás SF6 do disjuntor. Substituído o contactor.	1	00:18
088	28/01/13	7:37	B	12/5	Regulador de Velocidade	Unidade Hidraulica	Desligamento automático da UG por fechamento indevido da Válvula Borboleta operando o bloqueio 86H. Não houve sinalização no supervisão. A causa está sendo investigada.	3	00:19
089	31/01/13	8:04	B	13/6	Regulador de Velocidade	Unidade Hidraulica	Desligamento automático da UG por fechamento indevido da Válvula Borboleta operando o bloqueio 86H. Não houve sinalização no supervisão. A causa está sendo investigada.	3	00:42
090	01/02/13	8:01	B	14/7	Regulador de Velocidade	Unidade Hidraulica	Desligamento automático da UG por fechamento indevido da Válvula Borboleta operando o bloqueio 86H. Não houve sinalização no supervisão. A causa está sendo investigada.	3	00:37
091	09/02/13	19:29	B	15/8	Regulador de Velocidade	Unidade Hidraulica	Desligamento automático da UG por fechamento indevido da Válvula Borboleta operando o bloqueio 86H. Não houve sinalização no supervisão. Foi substituída a solenóide da eletroválvula 2030Y (Válvula de Controle da Borboleta).	3	00:15
092	22/02/13	6:22	FP	16/4	Regulador de Velocidade	Transdutor de Posição do Distribuidor	Falha de medição de abertura no distribuidor, atuando o relé 86E. Causa: mau contato no conector do transdutor de posição do distribuidor. Foi executada limpeza e reaperto.	3	01:51
093	04/03/13	6:10	FP	17/8	Gerador	Sistema de Frenagem	Uma das Sapatas de Freio permaneceu aplicada. A sapata com defeito foi substituída para reparos.	3	57:36
094	23/03/13	7:11	E	28/13	Sistema de Excitação	Regulador de Tensão	Parada da UG em emergência para substituição de dois exaustores do cubículo dos tiristores. Causa: Exaustores queimados.	1	01:00
095	06/04/13	7:15	FP	18/1	Gerador	Mancal Combinado	Falha na partida da Unidade devido baixo fluxo de água de refrigeração do Mancal Combinado. Causa: Fluxostato da linha de água para refrigeração avariado. O fluxostato foi reparado.	1	01:16
096	10/05/13	3:58	B	17/5	Regulador de Velocidade	Unidade Digital	Parada da UG por atuação do Relé de Bloqueio 86E devido falha na medição de velocidade do RV eletrônico. Causa: desajuste do sensor de velocidade. Aguardando programação de parada para solucionar o problema.	2	00:10
097	24/05/13	17:00	E	29/14	Sistema de Excitação	Regulador de Tensão	Parada da UG em emergência devido queima do ventilador da ponte de tiristores n° 03. O ventilador foi substituído.	3	00:45
098	22/07/13	11:16	B	4/2	Sistema de Proteção	Teleproteção	Desligamento automático do disjuntor 52U1 (UG-1) por operação dos relés 87G (Diferencial do Gerador), 86E (Bloqueio Elétrico) e 87L (Bloqueio da Linha Curta). Causa: Desligamento Acidental durante ensaios no relé F95 em cumprimento ao trabalho de verificação do ajuste da proteção das UGs.	1	00:09
099	30/07/13	11:46	B	18/9	Regulador de Velocidade	Unidade Hidraulica	Parada automática da UG por atuação do relé de bloqueio 86H devido baixa pressão do óleo da Central Hidráulica do RV. Causa: vazamento de nitrogênio pela vedação do êmbolo do acumulador hidráulico da CHR.V. Substituída a vedação.	2	29:38
100	06/08/13	8:51	B	19/6	Regulador de Velocidade	Unidade Digital	Parada da UG por atuação do Relé de Bloqueio 86E devido falha na medição de velocidade do RV eletrônico. Causa: desajuste do sensor de velocidade. Aguardando programação de parada para solucionar o problema.	2	00:09
101	16/09/13	8:49	E	20/10	Regulador de Velocidade	Unidade Hidraulica	Parada a Unidade Geradora por operação do bloqueio 86E. Causa: queima da Válvula Proporcional do RV. A válvula foi substituída por outra reserva vinda da UHE Jaurú.	1	79:59
102	20/09/13	19:06	B	21/7	Regulador de Velocidade	Unidade Digital	Parada da UG por atuação do Relé de Bloqueio 86E devido falha na medição de velocidade do RV eletrônico. Causa: desajuste do sensor de velocidade. Aguardando programação de parada para solucionar o problema.	2	00:03
103	22/09/13	13:05	B	19/13	Turbina	Distribuidor	Desligamento automático da UG por atuação do relé 86M. Causa: quebra de uma biela do distribuidor da turbina. Substituída a biela.	3	04:03
104	14/11/13	9:02	E	30/15	Sistema de Excitação	Disjuntor de Campo	Sobreaquecimento dos contatos do disjuntor de campo da UG3	3	01:20

 Controle de Falhas nas Unidades Geradoras - UHE Quebra Queixo									
Item Geral	Data	Hora	Tipo	Fator R	Subunidade	Equipamento	Descrição Sucinta / Causa	Unidade Geradora	Tempo Indisponível
105	31/01/14	17:45	B	20/14	Turbina	Distribuidor	Ao dar o comando de parada atuaram as proteções 86M e 86H porém não fechou a Borboleta que teve que ser fechada manualmente com a talha. Causa: Biela Flambada.	3	03:51
106	06/06/14	13:20	B	22/11	Regulador de Velocidade	Unidade Hidraulica	A UG parou por atuação do bloqueio 86H. Causa: Desligamento das LT's 1 e 2, atuação indevida do 86H por sobrevelocidade.	1	00:12
107	06/06/14	13:20	B	23/8	Regulador de Velocidade	Unidade Digital	A UG parou por atuação do bloqueio 86TE. Causa: Desligamento devido a curto circuito fase "C" para Terra causado por ave de rapina.	3	00:10
108	08/07/14	8:00	B	24/12	Regulador de Velocidade	Unidade Hidraulica	A UG parou por atuação do bloqueio 86H. Causa: nível muito baixo no tanque da CHRV da UG.	3	00:12
109	05/02/15	7:22	B	25/13	Regulador de Velocidade	Unidade Hidraulica	Desligamento automático da UG por fechamento indevido da Válvula Borboleta operando o bloqueio 86H.	3	00:10
110	06/05/15	10:23	B	19/9	Gerador	Sistema de Frenagem	10:23hs : Desligamento indevido da UG2, por um sinal forçado que deveria ir para circuito da UG3 para aplicação de freio. A UG2 retornou as 10:28hs	2	00:05
111	29/01/16	10:40	FP	4/1	Sistema Supervisório	Action Net	Solicitação para sincronizar a UG, mas houve demora de aproximadamente 20 minutos devido manobras de normalização de serviço auxiliar."Demora no Comando de Partida pelo COI".	1	00:20
112	11/04/16	7:39	B	26/1	Regulador de Velocidade	RTVX	UG desligou automaticamente pela atuação das proteções 86E e 86H, sinalizando "falha no regulador de tensão". Iniciada SGI nº 14974/2016 - Verificar falha no Regulador Integrado-RTVX.	1	01:39
113	15/05/16	5:24	B	5/4	Sistema Supervisório	PLC	Falha no Cartão Principal do PLC, 86M - SGI 17741/16	1	00:19
114	16/05/16	4:48	FP	21/2	Turbina	Rotor da Turbina	sinalização de falhas na trava manual não desapplicada e pressão alta na vedação de manutenção.	1	01:32
115	12/06/16	16:48	FP	6/2	Sistema Supervisório	Action Net	Falha no supervisório do COI - Sinalização indevida de não permissível de partida.	1	00:48
116	12/06/16	16:55	FP	4/1	Serviço Auxiliar	89G2	Imperícia do Operador do COI em manobrar as fontes de serviços auxiliares para permitir a partida da Unidade Geradora	2	00:41
117	19/07/16	18:08	FP	20/2	Gerador	Mancal Combinado	Às 18:04h a UG-1 deu falha na partida. Emitida SGI 00.030.259-16. Sincronizada às 19:49h.	1	01:41
118	02/08/16	13:42	B	7/3	Sistema Supervisório	Action Net	Comando Indevido Originado do ActionNet do COI	1	00:23
119	24/09/16	23:21	B	27/2	Regulador de Tensão	RTVX	Falha no regulador de tensão (REIVAX - RTVX).	2	00:10
120	25/09/16	4:39	B	28/3	Regulador de Tensão	RTVX	Falha no regulador de tensão (REIVAX - RTVX).	2	00:06
121	26/09/16	1:03	B	29/4	Regulador de Velocidade	RTVX	As 01h03min - Ocorreu perturbação na UG-2 com rejeição de 20 MW. SGI 00.040.559-16 As 07h43min - Sincronizada ao sistema. Causa: Falha no Regulador de Tensão (RTVX).	2	06:40
122	28/09/16	17:19	FP	21/3	Gerador	Mancal Combinado	Às 17h19min do dia 28/09/2016, houve falha na partida da UG-03, sincronizada às 17h58min. Causa: Sistema de alta pressão - Defeito hidráulico bomba 1.	3	00:39
123	09/10/16	2:23	B	31/16	Sistema de Excitação	Disjuntor de Campo	Atuação do 87L e 86E. Equipe de manutenção verificando causa do desarme. [Consistido Vinic_R - COSR-S - 10/10/2016 11:44] [Disponibilizado para o Agente Vinic_R - 10/10/2016 12:55]	2	02:06
124	22/10/16	4:35	B	30/5	Regulador de Velocidade	RTVX	SGI nº 45065/2016 - Verificar e sanar falha no RT(RTVX) [Consistido Vinic_R - COSR-S - 24/10/2016 10:50] [Disponibilizado para o Agente Vinic_R - 24/10/2016 10:50]	2	40:30
125	18/02/17	20:15	B	5/1	Sistema de Proteção	Linha de Transmissão	Desligamento indevido por erro na detecção de zona	1	00:05
126	18/02/17	20:15	B	6/2	Sistema de Proteção	Linha de Transmissão	Desligamento indevido por erro na detecção de zona	2	00:05
127	18/02/17	20:15	B	7/3	Sistema de Proteção	Linha de Transmissão	Desligamento indevido por erro na detecção de zona	3	00:05
128	20/02/17	13:50	B	5/4	Serviço Auxiliar	CCMU	Proteção da Máquina, Rele 27 Fora de Ajuste	3	00:13
129	17/04/17	8:49	FP	6/1	Serviço Auxiliar	89G1	Defeito no bloco de Contatos de sinalização da posição da seccionadora	1	00:05
130	17/04/17	9:12	FP	7/2	Serviço Auxiliar	89G1	Defeito no bloco de Contatos de sinalização da posição da seccionadora	1	06:46
131	10/07/17	7:48	FP	22/15	Turbina	Distribuidor	Partida da UG1 ate marcha a vazio excitada que falhou devido ao sinal de falha de retroaviso ao desapplicar a trava automática.	1	00:54
132	26/10/17	2:53	B	22/1	Gerador	Estator	Correção de Terra - estator. Aberto SGI n° 046.353-17, em andamento	1	1218:37
133	07/03/18	9:46	B	6/1	Subestação	Sistema de CC	Atuação do relé de bloqueio 86TE devido ao desligamento dos relés de proteção diferencial da linha curta por subtensão no sistema de corrente contínua da Subestação.	2	00:19
134	07/03/18	16:06	B	8/1	Sistema Supervisório	UAC	Atuação do relé de bloqueio 86H devido a falha em um dos cartões de entradas digi	3	01:05
135	22/07/18	0:27	B	31/6	Regulador de Velocidade	RTVX	Atuação do 86E. Falha interna de natureza esporádica no Sistema de Excitação e Regulação de Tensão da UG2.	2	09:59
136	03/09/18	5:38	FP	9/5	Sistema Supervisório	PLC	Falha na fonte do PLC principal.	3	00:48
137	17/09/18	8:00	FP	23/6	Turbina	Vedação Deslizante	Vazão baixa na vedação deslizante.	2	00:28
138	12/11/18	13:39	B	24/7	Turbina	Vedação Deslizante	Vazão baixa na vedação deslizante.	2	01:07
139	21/11/18	10:22	B	1/1	Sistema de Refrigeração	Mancal de guia inferior	Atuação do Relé de Bloqueio 86M./Falha no fluxostato que supervisiona o fluxo de água no sistema de refrigeração de óleo do mancal guia inferior-MGI.	3	00:40
140	19/12/18	8:39	FP	32/1	Sistema de Excitação	Pontes de Tiristores	Falha de condução na ponte de tiristores.	2	02:10
141	22/06/19	8:23	B	25/1	Turbina	Sistema de Medição de Temperatura	Atuação do relé de bloqueio 86M, por falha no Presys de medição de MGT METAL ou seu sensor PT100.	1	00:11
142	21/06/19	7:07	FP	23/9	Gerador	Sistema de sincronismo	Tempo de sincronismo superior a 10 minutos, por falha de projeto presente desde o comissionamento, sendo resolvido por correção num parâmetro do sincronizador.	3	00:22

 Controle de Falhas nas Unidades Geradoras - UHE Quebra Queixo									
Item Geral	Data	Hora	Tipo	Fator R	Subunidade	Equipamento	Descrição Sucinta / Causa	Unidade Geradora	Tempo Indisponível
143	06/03/20	11:25	FP	24/10	Gerador	Sistema de sincronismo	Falha no sincronismo da unidade geradora, por falha de projeto presente desde o comissionamento, sendo resolvido por correção num parâmetro do sincronizador.	2	03:57
144	11/07/20	8:00	B	10/6	Sistema Supervisório	PLC	Falha no PLC retaguarda.	3	07:10
145	20/12/20	14:32	FP	11/7	Sistema Supervisório	PLC	Falha na partida da unidade geradora. Refere-se ao serviço efetuado na OS 80523: consultei a OS mas lá não consta qual foi a causa encontrada - eu estava ausente. Perguntar para os colaboradores que trabalharam nessa OS	3	02:14
146	18/01/21	11:20	FP	12/1	Sistema Supervisório	UAI	Falha na partida da unidade geradora. Relé que transmite o comando de fechamento de 52U3 com terminal dobrado, falha oculta provavelmente inserida no passado (UAICF 112X).	3	03:10
147	13/09/21	16:12	FP	25/10	Gerador	Sistema de Frenagem	Falha na partida por sinalização de freio não desaplicado, consequentemente atuação do bloqueio 86M	1	00:05
148	07/10/21	11:16	B	26/2	Gerador	Estator	Atuação de proteções devido a curto circuito no estator	1	623:55
149	22/05/22	15:54	FP	13/8	Sistema Supervisório	PLC	Falha na partida da Unidade Geradora 3 devido a falha em cartão de entrada digital DI-2 do PLC principal.	3	03:15
150	05/08/22	8:20	B	32/14	Regulador de Velocidade	Unidade Hidraulica	Atuação do bloqueio 86E na unidade geradora 1 devido a vazamento de óleo pela CHRV	1	07:50
151	06/11/22	15:34	FP	27/1	Gerador	UAC-SE	Falha de sincronismo da Unidade Geradora 02 devido a solda fria nos bornes de diodos de saída dos PLCP E PLCR da SEQQX	2	02:17
152	03/03/23	20:56	B	14/9	Sistema Supervisório	PLC	Desligamento automático da Unidade Geradora 2, através da atuação do Relé RPPU2 Proteção 87L e Relé de Bloqueio 86E - Atuado indevidamente devido a falha no Cartão de Entradas Digitais nº 10.	2	02:57
153	17/03/23	17:33	FP	15/9	Sistema Supervisório	PLC	Desligamento em emergência da Unidade Geradora 2 devido as bombas do MGI e MGC não ligarem no momento da partida. Falha na lógica do PLC após comutação entre Retaguarda e Principal.	2	02:12
154	27/06/23	2:15	FP	28/11	Gerador	Sistema de Sincronismo	Perda de supervisão da usina e, consequentemente, impedimento da máquina operar como gerador.	2 3	00:37 00:37
155	28/06/23	6:14	FP	29/12	Gerador	Sistema de Sincronismo	Ao ser solicitado sincronismo de UGs para atendimento ao programa, informado pelo Agente que a UHE estava com falha na supervisão e controle do COT	2 3	00:31 00:31
156	22/07/23	15:09	FP	2/2	Sistema de Refrigeração	Mancal de guia inferior	Falha na partida, devido fluxo baixo de água no trocador de calor da ULM (Unidade de Lubrificação dos Mancais) com atuação do relé 86M.	1	01:23
157	17/09/23	17:13	FP	33/15	Regulador de Velocidade	Unidade Hidraulica	Falha na partida da UG1, devido erro na lógica que fez com que a bomba da CHRV desligasse durante a partida, impedindo os próximos passos da partida.	1	01:52
LEGE B Bloqueio E Emergência NDA FP Falha na Partida Fator R Fator de Repetividade - Exemplo: (1 / 1) 1 falha na Subunidade e 1 falha no Equipamento								UG1	4259:58
								UG2	966:05
								UG3	1208:09

ANEXO B – CONTROLE DE ENSAIOS NAS TURBINAS



LEVANTAMENTO DE INSPEÇÕES E RECUPERAÇÕES DE TRINCAS ROTOR DA TURBINA - UG1

ITEM	DATA	DESCRIÇÃO	HORÍMETRO	PROVIDÊNCIAS
01	20/03/2004	Incidência de trinca na pá Nº 9	1123:00	Não consta relatório de reparo dessa ocorrência
02	26/10/2004	Incidência de trinca nas pás Nº 8, 9 e 12	4422:00	Efetuada reparo pela Voith nos dias 29 e 30/10/2004, eliminada a trinca e preenchida com solda, descrito no relatório 25-10-2004..
03	22/06/2005	Incidência de trinca nas pás Nº 3, 5, 8, 11 e 13	7300:00	Efetuada reparo pela Voith, eliminada a trinca e preenchida com solda, descrito no Relatório Correção das trincas UG 01, com data de 25/06/2005
04	11/11/2005	Incidência de trinca na pá Nº 9	9562:00	Não consta relatório de reparo dessa ocorrência, porém nas inspeções seguintes não houve registros trinca nessa pá.
05	11/02/2006	Incidência de trinca nas pás Nº 3, 8 e 12	11085:00	Efetuada reparo pela Voith nos dias 07 e 08/03/2006, eliminada a trinca e preenchida com solda, descrito no relatório 2006-03-10 REPARO TRINCA
06	05/05/2006	Incidência de trinca na pá Nº 8, porém o reparo só foi feito em 13/06/2006	11564:00	Encontrada trinca na pá Nº 8 no dia 05/05/2006, porém o reparo só foi feito em 13/06/2006 no registro seguinte.
07	13/06/2006	Incidência de trinca na pá Nº 8	11769:00	Efetuada reparo pela Voith nos dias 13 e 27/06/2006, eliminada a trinca e preenchida com solda, descrito no relatório 2006-06-20 ELIMINAÇÃO TRINCA
08	25/08/2006	Modificação das pás (instalação dos triângulos)	11910:00	Efetuada reparo pela Voith entre 25/08 à 17/09/2006, instalação dos triângulos para modificação do perfil Hidráulico descrito no relatório 2006-09-25 MODIFIC.PERFIL PÁS
09	11/04/2007	Incidência de trinca nas pás Nº 1	16223:00	Efetuada reparo pela Voith nos dias 11 e 12/04/2007, eliminada a trinca e preenchida com solda, descrito no relatório MANUTENÇÃO UG-01 2007-04
10	27/02/2008	Incidência de trinca na pá Nº 1 e 2.	22243:00	Efetuada reparo pela Voith nos dias 27, 28 e 29/02/2008, eliminadas trincas e preenchida com solda, descrito no relatório RFO UQXX 04-08 - Recuperação de Trincas e END no Rotor Francis da UG-1
11	25/04/2008	Recuperação de trinca na pá Nº 10.	22655:00	Efetuada reparo pela Voith nos dias 25 e 26/04/2008, eliminada a trinca e preenchida com solda, descrito no relatório RFO UQXX 07-08 - Relatório de eliminação de trinca UG-01
12	01/12/2008	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	26065:00	
13	09 a 17/07/2009	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e houve incidência de trinca na pá nº 1 do rotor. Efetuada a recuperação.	Não disponível	Efetuada reparo pela Voith nos dias 16 e 17/07/2009, eliminada a trinca e preenchida com solda, descrito no relatório RFO_UQXX_10-09-Inspeção_no_Rotor_Francis_da_UG-1.
14	12/12/2009	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	31903:32	
15	01/03/2010	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas. Realizada conformação das pás e ajuste do perfil da triangulação pelo Sr. Bardella.	33468:37	
16	21/06/2010	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	35715:05	
17	27/04/2011	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	41324:00	
18	05/12/2011	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	44810:12	
19	05/03/2012	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e foi encontrada trinca passante na pá nº 7.	45767:00	Efetuada reparo pela Voith nos dias 19 e 20/03/2012, eliminada a trinca e preenchida com solda, descrito no relatório RMC-UQXX-03/12.
20	27/08/2012	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	47873:00	
21	11/11/2013	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	55967:00	
22	19/03/2014	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e foi encontrada trinca passante na pá nº 10.	58176:00	Efetuada reparo pela Voith nos dias 26, 27 e 28/03/2014, instalado inserto na pá 10, descrito no relatório RMC-UQXX-05/14
23	29/04/2014	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	58727:00	
24	19/05/2015	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e foi encontrada trinca passante com extensão de 175mm na pá nº 7.	65319:00	Efetuada reparo pela Voith nos dias 19 e 20/05/2015, instalado inserto na pá 07, descrito no relatório UQXX RT 2015-03.
25	23/09/2015	Realizada inspeção por ultrassom no Rotor da Turbina. Identificada descontinuidade interna na pá 04 (180mm) e pá 06 (210mm), na região próxima da união pá/coroa.	67629:00	Ensaio contratado com a empresa Dlíma engenharia, registrado para acompanhamento, descrito no relatório UQXX RT 2015-12.
26	11/01/2016	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	71268:21	
27	16/02/2017	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e foram encontradas trincas nas pás 01, 07, 08 e 13.	77347:02	Efetuada reparo pela Voith nos dias 21 e 22/02/2017, correção de trincas e cavitações, descrito no relatório UQXX RO 2017-07.
28	24/07/2017	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e foi encontrada uma trinca passante de 200 mm na pá 01.	79755:14	Efetuada reparo pela Voith
29	30/10/2017	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	80.453:54	
30	23/04/2018	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	83.822:02	

ITEM	DATA	DESCRIÇÃO	HORIMETRO	PROVIDÊNCIAS
31	05/02/2019	Realizada inspeção e ensaio com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	87.591:17	
32	25/11/2019	Realizada inspeção e ensaio com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	91.323:35	Observa-se a necessidade de correção de alguns pontos de cavitação no lado de sucção próximo a coroa (pas 2, 9 e 12).
33	28,29/05/2020	Realizada inspeção e ENDLP no Rotor da Turbina. Encontrada trinca de 10mm na pá 05 lado de sucção. Reparo realizado.	92.911:33	Efetuada reparo pela equipe local. RMC UQQX 2020-11 . Observa-se alguns pontos de cavitação a serem corrigidos no lado de sucção próximo a coroa (pas 2, 9, 11 e 12).
34	31/08/2020	Realizada inspeção e ENDLP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	94.710:00	
35	23/02/2021	Realizada inspeção e ENDLP no Rotor da Turbina. Encontrada trinca de 7mm na pá 03 lado de sucção. Reparo realizado.	96.431:47	Efetuada reparo pela equipe local. MPT UG1 . Observa-se alguns pontos de cavitação a serem corrigidos no lado de sucção próximo a coroa (pas 2, 9, 11 e 12). Cavitação nas pontas das pás.
36	29/03/2023	Realizada inspeção e ENDLP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	106.255:28	
	29/03/2023	Horímetro Atual:	106.255:28	



**LEVANTAMENTO DE INSPEÇÕES E RECUPERAÇÕES DE TRINCAS
ROTOR DA TURBINA - UG2**

ITEM	DATA	DESCRIÇÃO	HORÍMETRO	PROVIDÊNCIAS
01	06/04/2004	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas. Inspeção de 1000 hrs	1683:00	
02	04/11/2004	Incidência de trinca na pá Nº 1.	5152:00	Não consta relatório de reparo dessa ocorrência
03	18/06/2005	Incidência de trinca na pá Nº 1.	Inspeção 8.000 H	Efetuada reparo pela Voith, eliminada a trinca e preenchida com solda , descrito no Relatório Correção das trincas UG2 , com data de 18/06/2005
04	11/11/2005	Incidência de trinca na pá Nº 10.	11388:00	Não consta relatório de reparo dessa ocorrência, porém nas inspeções seguintes não houve registros trinca nessa pá.
05	21/02/2006	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	11984:00	
06	06/05/2006	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	12653:00	
07	29/06/2006	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	13746:00	
08	04/09/2006	Modificação das pás (instalação dos triângulos)	Indisponível	Efetuada reparo pela Voith entre 25/08 à 17/09/2006, instalação dos triângulos para modificação do perfil Hidráulico descrito no relatório 2006-09-25 MODIFIC.PERFIL PÁS
09	16/04/2007	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	16187:00	
10	01/03/2008	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	21751:00	
11	19/05/2008	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	22659:00	
12	02/12/2008	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	25822:00	
13	08/07/2009	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	28165:00	
14	28/06/2010	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	35684:46	
15	14/02/2011	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	39403:00	
16	09/04/2012	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	45417:00	
17	22/04/2013	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	51253:00	
18	19/03/2014	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas. Reparo das cavitações nas pontas das pás	58288:00	Não houve trincas, somente cavitações , descrito no relatório RMC-UQQX-06-14 - Inspeção e Reparo do Rotor Francis UG2
19	17/04/2015	Incidência de trinca na pá Nº 09. (recuperação ocorreu entre 24,25 e 26/04/2015).	64823:00	Efetuada reparo pela Voith nos dias 24, 25 e 26/04/2015, eliminada a trinca e preenchida com solda , descrito no relatório UQQX RT 2015-05 .
20	12/07/2015	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e houve incidência de trinca na pá Nº 13.	66331:07	Efetuada reparo pela Voith nos dias 15 e 16/07/2015, eliminada a trinca e preenchida com solda , descrito no relatório UQQX RT 2015-04 .
21	4,5,6/09/2015	Realizada inspeção por LP e ultrassom no Rotor da Turbina. Identificada descontinuidade interna na pá 3(100mm), pá 6(55mm) e pá 8 (50mm), na região próxima da união pá/coroa.	67278:00	Ensaio contratado com a empresa Dlima engenharia, registrado para acompanhamento, descrito no relatório UQQX RT 2015-13 .
22	12/01/2016	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	69557:27	
23	15/02/2017	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	74766:28	
24	04/09/2017	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e houve incidência de trinca nas pás Nº 02, 13, além de cavitações.	77.943:00	O inserto foi instalado na pá 13, a trinca da pá 02 e as cavitações foram corrigidas conforme programado, o serviço foi feito entre 20/09/2017 e 23/09/2017
25	04/06/2018	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	85.669:43	UQQX RT 2018-08
26	26/11/2019	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	94.391:06	
27	27/05/2020	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	95.855:22	
28	08/09/2020	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	97.585:23	
29	03/03/2021	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e houve incidência de trinca com 3mm na pá Nº 8 lado de pressão na região de união pá/coroa.	99.518:40	Efetuada reparo pela equipe local. MPA UG2. Observa-se alguns pontos de cavitação no lado de sucção próximo a coroa. Elevado índice de cavitação nas pontas das pás.
30	07/05/2021	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	99.687:10	Necessita correções de cavitação nas pontas de todas as Pás com adição de material por soldagem.
31	20/03/2023	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	107.816:03	Necessita correções de cavitação nas pontas de todas as Pás com adição de material por soldagem. Apresenta estágio avançado.
	20/03/2023	Horímetro Atual:	107.816:03	



LEVANTAMENTO DE INSPEÇÕES E RECUPERAÇÕES DE TRINCAS
ROTOR DA TURBINA - UG3

ITEM	DATA	DESCRIÇÃO	HORÍMETRO	PROVIDÊNCIAS
01	26/04/2004	Realizada inspeção com LP e ultra-som no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	Inspeção 1.000 H	
02	06/11/2004	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas. Mas houve intervenção para correção de cavitações nas pás 1, 2, 3, 4, 5, e 6	Inspeção 4.500 H	Não houve trincas, somente cavitações, esse é o único registro dessa intervenção, não consta relatório de reparo dessas cavitações.
03	01/07/2005	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	Inspeção 8.000 H	
04	11/11/2005	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	9018:00	
05	23/02/2006	Incidência de trinca na pá Nº 9. e a recuperação ocorreu no dia 11/03/2006 com horímetro 9446:00	9208:00	Efetuoado reparo pela Voith no dia 11/03/2006, sem relatório encontrado.
06	06/05/2006	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	10314:00	
07	30/06/2006	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	10586:00	
08	12/09/2006	Modificação das pás (instalação dos triângulos)	Não disponível	Efetuoado reparo pela Voith entre 25/08 à 17/09/2006, instalação dos triângulos para modificação do perfil Hidráulico descrito no relatório 2006-09-25 MODIFIC.PERFIL PÁS
09	18/04/2007	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	13868:00	
10	02/03/2008	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	18696:00	
11	03/12/2008	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	24197:00	
12	06/07/2009	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	Não disponível	
13	16/03/2010	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	33339:02	
14	06/05/2011	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	39374:00	
15	23/04/2012	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	43675:00	
16	06/05/2013	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	49619:00	
17	09/11/2013	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	53386:00	
18	17/03/2014	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	55323:00	
19	30/04/2015	Incidência de trinca na pá Nº 13 e a recuperação ocorreu no dia 05/05/2015.	62093:00	Efetuoado reparo pela Voith nos dias 05 e 06/05/2015, instalado inserto na pá 13, descrito no relatório UQQX RT 2015-06.
20	7,8/09/2015	Realizada inspeção por LP e ultrassom no Rotor da Turbina. Não foi identificada nenhuma descontinuidade.	64310:00	
21	13/01/2016	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	67310:53	
22	14/02/2017	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	71836:20	
23	08/09/2017	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	74528:00	
24	11/06/2018	Realizada inspeção com LP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	80.416:03	UQQX RT 2018-09
25	02/12/2019	Realizada inspeção e ENDLP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	88.257:21	Observada necessidade de correção de cavitação nas pontas das pás. Sugere se programar tal correção para próxima intervenção.
26	26/05/2020	Realizada inspeção e ENDLP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	89.548:54	Observada necessidade de correção de cavitação nas pontas de todas as pás e cavitação nas pás 06, 08, 10 e 13.
27	28/09/2020	Realizada inspeção e ENDLP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	91.111:16	
28	15/04/2021	Realizada inspeção e ENDLP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	92.904:01	
29	03/08/2023	Realizada inspeção e ENDLP no Rotor da Turbina e não houve incidência de trincas.	102.196:08	Observada necessidade de correção de cavitação nas pontas de todas as pás e cavitação nas pás 06, 08, 10 e 13.
	03/08/2023	Horímetro Atual:	102.196:08	

ANEXO C – DATASHEET DO ACELERÔMETRO



MC-monitoring SA
PAS-101 Datasheet



Piezoelectric Acceleration Sensor PAS-101

FEATURES

- International Protection Rating IP68
- Polyurethane twisted pair Integral cable 50m
- Annular shear mode for reduced transverse vibrations sensitivity
- Dual case isolation with Faraday shield
- Exceptional bias voltage stability at elevated temperatures
- Stainless steel body protected against water, shock

Monitoring solution



Shaft & bearing vibration - absolute

Typical applications



Hydrogenerators



Pumps, fan, cooling towers...



Gas & steam turbines



DESCRIPTION

The hermetic sealed industrial piezoelectric accelerometer PAS-101 is designed to monitor the vibration in harsh industrial environment. It uses the industry standard @ICP 2-wire voltage transmission technic with a 4 mA minimum constant current supply. Signal ground is isolated from the mounting surface and outer case to prevent ground loops. Faraday shielding will limit sensitivity to ESD to a minimum.

Annular shear mode design prevents from thermal transient and from spurious signal from high transverse vibrations. Low noise electronic and temperature compensated design will ensure accurate results over the complete temperature range.

The sensor provides a voltage output proportional to the vibration acceleration across the two transmission wires. The DC standing voltage is used for OK detection and the dynamic voltage for vibration monitoring.


GLOBAL SPECIFICATIONS

OPERATION

	PAS-101 M1	PAS-101 M5
Model version		
Measuring principle	Piezoelectric annular shear mode with built-in electronic	
Measuring parameter	Vibration acceleration	
Electrical grounding	Isolated from machine ground	
Shielding	Internal Faraday shielding	
Isolation case to shield	100M Ω	
Sensitivity	100mV/g \pm 5%	500mV/g \pm 5%
Output impedance	50 Ω nominal	
Output bias voltage	+12V _{DC}	
Residual noise (24°C)		
1Hz to 25kHz	300 μ g rms	25 μ g rms
1Hz	30 μ g	2.4 μ g
Frequency response		
\pm 10%	1 to 9'000Hz	0.6 to 1'600Hz
\pm 3dB	0.5 to 14'000Hz	0.2 to 3'700Hz
Mounted resonant frequency	25kHz nominal	16kHz nominal
Dynamic range	80g pk	10g pk
Transverse sensitivity	< 5% max of nominal sensitivity at 20Hz, 5g	
Linearity	\pm 1% max	
Warm up time	< 1s	< 10s
Power supply		
Constant current source	+2 to +10mA _{DC}	
Voltage	+22 to +28V _{DC}	
Protection	Built-in overvoltage and reverse polarity protection	

ENVIRONMENTAL

Temperature range (continuous operation)	-55°C to +120°C	-55°C to +90°C
Humidity / Enclosure	Hermetically sealed	
Acceleration limit		
Shock	5'000g pk	
Continuous vibration	500g pk	
Base strain sensitivity	0.0002g pk/ μ strain	
ESD protection	> 40V	
EMC emission	EN50081-1, EN50081-2	
EMC immunity	EN50082-1, EN50082-2	

PHYSICAL

Body material	Stainless steel DIN 1.4401	
Weight (sensor only)	85g	95g
Mounting screw	M5	
Mounting torque	2.4Nm	

APÊNDICE A – MELHORIAS IMPLEMENTADAS NA UHE QUEBRA QUEIXO

Levantamento de melhorias implementadas na UHE Quebra Queixo		
Item	Melhoria	Motivação
01	Identificação das fases através de cores nas cabeças das buchas de AT dos transformadores elevadores	Adequação a normas, regulamentos e leis
02	Elevação do nível de apoio do banco de baterias	Facilitar atividade de manutenção
03	Construção de caixas de contenção de óleo para os TEX e os TSA's	Prevenção contra danos ambientais
04	Realocação de painel de comando do sistema de ventilação	Adequação a normas, regulamentos e leis
05	Instalação de tela de apoio para a manta filtrante da sala de ventilação	Evitar acidentes
06	Modernização nos Reguladores de Velocidade e Tensão - UG 1	Facilitar atividade de manutenção
07	Modernização nos Reguladores de Velocidade e Tensão - UG 2	Reduzir custos com material de consumo
08	Modernização nos Reguladores de Velocidade e Tensão - UG 3	Obsolescência de equipamentos
09	Instalação do GDE-SE - Grupo Diesel de Emergência da Subestação	Obsolescência de equipamentos
10	Modernização do sistema de Medição e Faturamento - Bruta e Líquida	Correção de erro de projeto
11	Troca de TPs do QDCF	Obsolescência de equipamentos
12	Instalação de Nobreaks	Correção de erro de projeto
13	Melhoria no monitoramento do sistema de frenagem	Mitigar falhas iminentes
14	Motorização das seccionadoras 89G1 e 89G2	Evitar repetição de falhas
15	Alteração para viabilizar partida manual do GDE remotamente	Permitir Operação Remota - Projeto Especial
16	Melhoria na vedação dos filtros da ULM - Unidade de Lubrificação dos Mancais	Permitir Operação Remota - Projeto Especial
17	Injeção de ar na cuba dos MGIs - Mancais Guia Inferior do Gerador	Prevenção contra danos ambientais
18	Instalação de pinos guia na tampa de fechamento do MGI	Prevenção contra danos ambientais
19	Alteração nos sinais de teleproteção da LT QOX-PZO 138kV	Facilitar atividade de manutenção
20	Construção de caixa de contenção para armazenamento de tambores de óleo	Reduzir tempo de indisponibilidade para manutenções preventivas
21	Melhoria na lógica de monitoramento de posição do distribuidor	Correção de erro de projeto
22	Correção de erro de projeto na lógica de supervisão do sistema de injeção durante o processo de partida da UG	Prevenção contra danos ambientais
23	Melhoria na supervisão de temperatura dos MGTs - Mancais Guia da Turbina	Adequação a normas, regulamentos e leis
24	Melhoria na supervisão de temperatura dos TEXs - Transformadores de Excitação	Evitar repetição de falhas
25	Melhoria no monitoramento de posicionamentos mecânicos da Válvula Borboleta, Bielias, Distribuidor e Pêndulo de sobrevelocidade	Correção de erro de projeto
26	Adequação dos guarda-corpos a novas normas regulamentadoras	Obsolescência de equipamentos
27	Instalação de sistema de iluminação de emergência e sinalização de incêndio	Melhorar desempenho operacional
28	Instalação de blecautes nas janelas da Subestação	Prevenção contra danos aos equipamentos
29	Reforço das telhas laterais da casa de força	Prevenção contra danos aos equipamentos
30	Melhoria nos suportes de barramentos das buchas de BT - TE1	Prevenção contra danos ambientais
31	Melhoria nos suportes de barramentos das buchas de BT - TE2	Prevenção contra danos ambientais
32	Alteração na vedação das escotilhas dos MCs - Mancais combinados	Prevenção contra danos ambientais
33	Melhoria no monitoramento de pressão baixa SF6 2º grau	Evitar alarmes falsos ou indevidos
34	Ventiladores na casa de força - Travamento eixo-polia	Evitar repetição de falhas
35	Desligamento indevido LT devido à firmware desatualizado dos RPP1 e RPP2	Prevenção contra danos aos equipamentos
36	Seccionadora 89U3-1 Substituição Cames Retroaviso	Obsolescência de equipamentos
37	Substituição de bielias que trincavam por erro de projeto	Prevenção contra danos aos equipamentos
38	Implementação de sistema de monitoramento e diagnóstico das UG's - Manutenção Preditiva	Correção de erro de projeto
39	Proteção contra partida com falta de pré-excitação UG2	Prevenção contra danos aos equipamentos
40	TSA1 e TSA2 - Alteração de tap	Melhorar desempenho operacional
41	Instalação de válvulas para isolamento de filtros	Prevenção contra danos aos equipamentos
42	Câmeras das seccionadoras 89G	Prevenção contra danos aos equipamentos
43	UG1 - RTVX - Crowbar - Alteração na configuração	Permitir Operação Remota - Projeto Especial
44	UG1 - RTVX - Segregação do bloqueio 86P	Obsolescência de equipamentos
45	Upgrade switch de rede corporativa - SE	Obsolescência de equipamentos
46	Tomada d'água - Medição de perda de carga	Prevenção contra danos aos equipamentos
47	Sistema Iluminação de Emergência e Incêndio	Adequação a normas, regulamentos e leis
48	Implantação de alarme das centrais de alarme para o COI	Prevenção contra danos aos equipamentos
49	Adequação Lógica Supervisão Biela Flambada	Permitir Operação Remota - Projeto Especial
50	Bau e Santo Antônio para saveiro	Melhorar desempenho operacional
51	Instalação link satélite - Telespazio	Melhorar desempenho operacional
52	Iluminação galerias VB e sucção das UG's 1, 2 e 3	Obsolescência de equipamentos
53	Suportes tubulações sistema refrigeração gerador UG	Obsolescência de equipamentos
54	Modificação no Quadro de Distribuição do Almoarifado	Reduzir tempo de indisponibilidade para manutenções preventivas
55	UG 1 - Ajuste nas folgas diametrais dos mancais de guia	Facilitar atividade de manutenção
56	Pórtico Limpa Grade - Adequações à NR-12	Obsolescência de equipamentos
57	UG 2 - Ajuste nas folgas diametrais dos mancais de guia	Melhorar desempenho operacional
58	UG 3 - Ajuste nas folgas diametrais dos mancais de guia	Prevenção contra danos aos equipamentos
59	Modificação na LD 13,8KV	Melhorar desempenho operacional
60	Instalações de linhas de vida nas escadas de marinheiro	Prevenção contra danos aos equipamentos
61	Sistema CO2 Antincêndio das UG's - Controlador - Desativação	Prevenção contra danos ambientais
62	Modificação na alimentação de combustível do GDE CF	Prevenção contra danos ambientais
63	Construção Garagem Portaria	Prevenção contra danos aos equipamentos
64	Mudança na fixação e substituição dos capacitores de filtro das pontes de tiristores das UG's	Correção de erro de projeto
65	Demarcação de segurança no piso e tampas área externa da casa de força	Prevenção contra danos aos equipamentos
66	Automação - Ajuste Fino automático de Potência Ativa Nominal	Adequação a normas, regulamentos e leis
67	Substituição dos bornes de interligação da Fiação Elétrica dos TC's de Proteção no Cubículo de Neutro - UG3	Obsolescência de equipamentos
68	Melhoria da linha de água para vedação deslizante	Prevenção contra danos aos equipamentos

Levantamento de melhorias implementadas na UHE Quebra Queixo		
Item	Melhoria	Motivação
69	Realocação das placas de sinalização	Evitar acidentes
70	Modificação da Interligação dos TP's de Barra - SE	Correção de erro de projeto
71	Instrumentos de medição de temperaturas das Unidades Geradoras - Modernização IOLink	Melhorar desempenho operacional Evitar repetição de falhas
72	Aumento da precisão do cálculo de Vazão Afluente	Melhorar desempenho operacional
73	Horímetro das unidades geradoras	Correção de erro de projeto Evitar repetição de falhas
74	Sincronizadores das Unidades Geradoras	Evitar repetição de falhas
75	Confecção e instalação de guarda-corpo	Adequação a normas, regulamentos e leis
76	Instalação da barra de bornes PM (ponto de medição), na interligação dos equipamentos de MT - Cubículos de Surto, Manobra e Neutro - UG2 e UG3	Reduzir tempo de indisponibilidade para manutenções preventivas Facilitar atividade de manutenção
77	Instalação do poste 40A na linha de transmissão 138kV - QX/PZO	Evitar repetição de falhas Prevenção contra danos ambientais Evitar acidentes
78	Instalação de Válvulas Gaveta nas tomadas de pressão do sistema de água bruta	Evitar acidentes
79	Instalação de grades na canaleta de água percolada	Evitar acidentes Prevenção contra danos ambientais
80	Instalação Medidor de Nível Barragem	Melhorar desempenho operacional
81	UGs 2 e 3 - Substituição dos Monitores de temperatura TUGs por remotas WIREBUS	Obsolescência de equipamentos
82	Guarda-corpo sobre as chaparias Unidades Geradoras	Evitar acidentes Adequação a normas, regulamentos e leis Facilitar atividade de manutenção
83	Instalação de tomada de pressão de água do sistema anti-incêndio dos transformadores para serviços	Facilitar atividade de manutenção
84	Melhoria na transferência de barra dos painéis auxiliares	Melhorar desempenho operacional Evitar repetição de falhas
85	Válvula de drenagem da caixa espiral da UG01 e UG02	Evitar acidentes
86	Válvula de drenagem da caixa espiral da UG03	Evitar acidentes
87	Modernização dos Medidores de Vazão de Água do Sistema de Resfriamento da UG-01	Obsolescência de equipamentos Evitar repetição de falhas Reduzir tempo de indisponibilidade para manutenções preventivas
88	Instalação da barra de bornes PM (ponto de medição), na interligação dos equipamentos de MT - Cubículos de Surto, Manobra e Neutro - UG1	Reduzir tempo de indisponibilidade para manutenções preventivas Facilitar atividade de manutenção
89	Substituição das vedações do transformador elevador - TE1	Obsolescência de equipamentos
90	Substituição das vedações do transformador elevador - TE3	Obsolescência de equipamentos
91	Melhoria no comando dos ventiladores do sistema de ventilação da Casa de Força	Obsolescência de equipamentos
92	Melhoria na cobertura do almoxarifado	Melhorar desempenho operacional Facilitar atividade de manutenção
93	Melhoria no sistema de alimentação elétrica da estação repetidora de rádio	Evitar repetição de falhas
94	Substituição do material das cruzetas dos postes da LD 13,8kV	Evitar repetição de falhas
95	Substituição da seccionadora de interligação gerador/TE por disjuntor	Prevenção contra danos aos equipamentos
96	Adição de HD interno na EOS para armazenamento de alarmes, eventos e gráficos no SDSC.	Obsolescência de equipamentos
97	Alteração da lógica de controle dos auxiliares das UG's	Correção de erro de projeto Evitar repetição de falhas