

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO  
GRANDE DO SUL – IFRS  
CAMPUS IBIRUBÁ

FABIANO PETRI DE SOUZA

PROCEDIMENTOS PARA IMPLANTAÇÃO DE PLANOS DE MANUTENÇÃO  
EM PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS.

IBIRUBÁ  
2023

FABIANO PETRI DE SOUZA

PROCEDIMENTOS PARA IMPLANTAÇÃO DE PLANOS DE MANUTENÇÃO  
EM PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS.

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para obtenção de título de Bacharel em Engenheiro Mecânico no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul- Campus Ibirubá.

Orientador: Prof. Giancarlo Stefani Schleder

Coordenador: Prof. Adão Felipe Oliveira Skonieski

Ibirubá

2023

(Espaço destinado à Biblioteca do Campus Ibirubá)

FABIANO PETRI DE SOUZA

PROCEDIMENTOS PARA IMPLANTAÇÃO DE PLANOS DE MANUTENÇÃO  
EM PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS.

Trabalho de conclusão de curso apresentado a coordenadoria do curso superior em Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul-Campus Ibirubá, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Giancarlo Stefani Schleder

Coordenador: Prof. Adão Felipe Oliveira

Skonieski

Aprovado em 06 de dezembro de 2023.

COMISSÃO EXAMINADORA

---

Prof. Giancarlo Stefani Schleder

Orientador

---

Prof. Me Flávio Roberto Andara

---

Prof. Jefferson Gauterio

## RESUMO

Elaborar procedimentos bem estruturados para implementação do que é importante para um bom funcionamento de uma Pequena Central Hidrelétrica, esse é o objeto de estudo, tema aliás que é muito pouco difundido e deixando-nos todos escravos do que diz os manuais dos fabricantes de equipamentos, que muitas vezes são incompatíveis com o planejamento estratégico das empresas, pois são muitas paradas no processo de produção. Neste contexto, serão pesquisados e levados em conta, procedimentos consolidados em PCH's, que já existem em um longo período de operação e comprovam uma grande eficiência do processo. Com tudo, um procedimento de manutenção de um determinado equipamento, em vários casos não devem ser seguidos à risca o que diz o fabricante, pois muitas vezes o excesso de paradas gera um grande prejuízo no processo produtivo e podem ser evitados com procedimentos coerentes com a aplicação de um determinado ativo. Serão elaborados os planos de manutenção que abrange uma PCH - Pequena Central Hidrelétrica, identificando as necessidades de planos, periodicidades e prioridades, caracterizando todos os equipamentos e ativos necessários da PCH. Com esse tema de estudo é esperado que os engenheiros atuantes na área de usinas hidrelétricas obtenham uma visão sistêmica para identificar quando devem ou não seguir rigorosamente o que o fabricante de um determinado equipamento determina a fazer em relação a sua manutenção. Levar uma visão de analisar a planta como um todo, não podendo ser analisado separadamente as manutenções em turbinas, geradores, unidades hidráulicas, comportas, grades, e muitos outros equipamentos de forma que não influenciam no processo final que é a geração de energia elétrica, as manutenções precisam ser previstas em conjunto, envolvendo todos os setores (Elétrico, hidráulico, mecânico e de automação) para minimizar o tempo de parada de produção. Quando um equipamento está no processo de garantia, ele só é intocável se existe um alto valor agregado, cada equipamento terá que passar por essa análise, agora após esse período passar, a autonomia do engenheiro de manutenção aumenta muito e pode-se colocar em prática os objetivos deste estudo, que será aplicado nas PCH's.

**Palavras-chave:** Pequena Central Hidrelétrica. Planos de Manutenção. Planejamento Anual de Manutenção.

## ABSTRACT

Developing well-structured procedures for the implementation of what is important for the good functioning of a PCH - Small Hydroelectric Plant, this is our object of study, a topic that is not very widespread and leaves us all slaves to what the manufacturers' manuals say. equipment, which is often incompatible with the companies' strategic planning, as there are many stops in the production process. In this context, consolidated procedures in PCHs will be researched and taken into account, which have already existed for a long period of operation and prove the great efficiency of the process. As with everything, a maintenance procedure for a given piece of equipment, in many cases, should not be followed at risk, as stated by the manufacturer, as excessive downtime often causes great harm to the production process and can be avoided with procedures consistent with the application of the equipment. Maintenance plans covering a PCH - Small Hydroelectric Plant will be drawn up, identifying the needs for plans, periodicities and priorities, characterizing all the necessary equipment and assets of the PCH. As this subject of study, engineers working in the area of hydroelectric plants have a systemic view to identify when they should or should not strictly follow what the manufacturer of a certain equipment determines to do in relation to its maintenance. Taking a view of analyzing the plant as a whole, which cannot be analyzed separately, such as maintenance on turbines, generators, hydraulic units, behavioral units, grids, and many other equipment in a way that does not influence the final process that is the generation of electrical energy, Maintenance needs to be planned together, involving all sectors (electrical, hydraulic, mechanical and automation) to minimize production downtime. When a piece of equipment is not in the warranty process, it is only untouchable if there is a high added value, each piece of equipment will have to go through this analysis, now after this period has passed, the maintenance engineer's autonomy increases a lot and can be put into practice the objectives of this study, which will be applied in PCH's.

**Keywords:** Small Hydroelectric Power Plant. Maintenance Plans. Annual Maintenance Planning.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Barragem da usina de Marmelos Zero em 1889 (Juiz de Fora/MG) .....	15
Figura 2 – Casa de Máquinas da UHE Fontes Velha.....	16
Figura 3 – Barragem de Tócos.....	16
Figura 4 – UHE Ilha dos Pombos.....	17
Figura 5 – Imagem de satélite do projeto da PCH Tio Hugo.....	19
Figura 6 – Barragem de Terra.....	21
Figura 7 – Barragem de Enrocamento da PCH Capivari em São Martinho/SC.....	22
Figura 8 – Barragem de Concreto CCR da PCH Kotzian em Júlio de Castilhos/RS...	23
Figura 9 – Vertedouro de superfície da PCH Dreher em Salto do Jacuí/RS.....	24
Figura 10 – Canal de adução na PCH Forquilha IV em Maximiliano de Almeida/RS...	25
Figura 11 – Tomada d’água da CGH Cascata do Pinheirinho em Ibirubá/RS.....	26
Figura 12 – Túnel da PCH Dreher em Salto do Jacuí/RS no momento da inspeção...	27
Figura 13 – Chaminé de Equilíbrio da PCH Dreher em Salto do Jacuí/RS.....	28
Figura 14 – Conduitos forçados em PRFV na PCH Dreher em Salto do Jacuí/RS.....	29
Figura 15 – Casa de máquinas da PCH Tio Hugo em Tio Hugo/RS.....	30
Figura 16 – Canal de fuga da PCH Tio Hugo em Tio Hugo/RS.....	31
Figura 17 – Modelo de Cadastro de Ativos.....	38
Figura 18 – Planejamento Anual de Manutenção.....	54

## LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS

Gráfico 1 – Matriz Energética Brasileira em Operação.....	18
Tabela 1 – Fatores para determinação da criticidade.....	47

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
cv	Cavalo Vapor
EOL	Eólica
FCM	Fator de Custo de Manutenção
FQ	Fator de Qualidade
FM	Fator de Manutenibilidade
FMA	Fator de Meio Ambiente
FP	Fator de Produção
FS	Fator de Segurança
HP	Horse Power
ISO	International Organization for Standardization
kW	Kilowatt
MCPSE	Manual de Controle Patrimonial do Setor Elétrico.
MW	Megawatt
NBR	Norma Técnica
PAM	Planejamento Anual de Manutenção
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PRFV	Polímero Revestido com Fibra de Vidro.
UFV	Usina Fotovoltaica
UHE	Usina Hidrelétrica
UTE	Usina Térmica
UTN	Usina Nuclear

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	11
1.1 Objetivo Geral.....	12
1.2 Objetivos Específicos .....	12
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	13
2.1 Como tudo começou.....	13
2.2 Estruturas .....	17
2.2.1 Barragem .....	18
2.2.1.1 Barragem de Terra .....	19
2.2.1.2 Barragem de Enrocamento .....	20
2.2.1.3 Barragem de Concreto.....	21
2.2.2 Vertedouro .....	22
2.2.3 Canal de Adução .....	23
2.2.4 Tomada D'Água.....	24
2.2.5 Túnel de Adução.....	25
2.2.6 Chaminé de Equilíbrio.....	27
2.2.7 Conduto Forçado .....	28
2.2.8 Casa de Máquinas .....	29
2.2.9 Canal de Fuga .....	30
2.3 Técnicas de Manutenção.....	31
2.3.1 Corretivas .....	31
2.3.2 Preventivas .....	32
2.3.3 Preditivas .....	32
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	33
<b>4. PROCEDIMENTOS PARA IMPLANTAÇÃO DE PLANOS DE MANUTENÇÃO EM PCH</b> .....	35
4.1 Cadastro de Ativos .....	35
4.2 Árvore de Aplicações .....	39
4.3 Aplicação dos Planos de Manutenção .....	44
4.4 Elaboração dos Planos de Manutenção.....	48
4.5 Planejamento Anual de Manutenção .....	53
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	55
<b>6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	56

## 1. INTRODUÇÃO

A competitividade atualmente é muito forte no mercado produtivo, quaisquer melhorias no processo que venha a diminuir a despesa são altamente benéficas no processo industrial, um negócio precisa de resultados (lucro) para se manter, caso contrário está decretado a falência. As Pequenas Centrais Hidrelétricas não fogem dessa realidade.

Acabou a visão que a manutenção é sinônimo de despesa, hoje a manutenção é setor estratégico das empresas, e precisa estar norteada com a visão futura do empreendimento, quais os objetivos, prioridades, metas de crescimento, enfim, tudo que faz parte da área estratégica, quem pensa dessa forma está no caminho certo para seguir em frente nesse mundo competitivo.

Na área da manutenção a implementação dos planos de manutenção é um divisor de águas para a estratégia da empresa, é nessa fase que precisa ser tudo muito bem analisado para a elaboração de planos, ter uma definição clara do que é conveniente ou não para ser implementado, é nesse ponto que a engenharia é colocada em prática, analisando equipamento por equipamento da planta, e definindo quais terão ou não um plano de manutenção preventivo ou preditivo vinculado.

O grande objetivo dos planos de manutenção é evitar a quebra do equipamento, mas isso não vale para todos os equipamentos da planta, é exatamente isso um grande erro cometido na implementação dos planos, pensa-se muito em zerar as quebras, e tudo isso ocasiona o excesso de planos de manutenção, excesso de paradas do processo produtivo para executar os planos, excesso da mão-de-obra para execução, tudo para manter a quebra zero.

Mas então o que deve-se fazer? Como diferenciar os equipamentos que precisam ou não planos? Através de um estudo de criticidade do equipamento no processo produtivo, muitas vezes equipamentos que não são essenciais para o processo não precisam de planos, pois em caso de quebra não irão prejudicar esse processo. Não existe um padrão, uma fórmula perfeita, ou seja, cada empreendimento, cada planta, deverá ser analisada e estudada antes de iniciar a implementação dos planos de manutenção.

Outra questão muito relevante que será abordada é os planos prontos dos fabricantes e fornecedores, que em sua grande maioria se seguidos a risca tornam

completamente inviável o processo produtivo, o papel da engenharia é fazer a análise do que é ou não conveniente e olhar a planta como um todo, minimizando ao máximo o número de paradas dos equipamentos, com isso o nível de disponibilidade dos equipamentos aumentam e conseqüentemente a produção aumentará da mesma forma.

### **1.1 OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral desse estudo é a orientação sobre a implementação de planos de manutenção em PCH's, visando desmitificar que o melhor a fazer é aplicar os planos prontos dos fabricantes e mostrar que nem todos os equipamentos em uma planta precisam ter um plano preventivo ou preditivo vinculado.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Fazer o cadastro de ativos;
- Elaborar a árvore de aplicações;
- Definir ativos que receberão planos de manutenção;
- Elaboração dos planos de manutenção;
- Apresentação do planejamento anual de manutenção.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

As usinas hidrelétricas são o objeto base desse estudo, como essa história começou no país, onde surgiu a primeira usina, quais são suas principais estruturas e equipamentos para atender o resultado final de sua existência que é a geração de energia elétrica.

Após esse entendimento será detalhada as técnicas de manutenção, depois de tudo instalado e funcionando, o que fazer para manter os ativos (equipamentos) em sua performance ideal de trabalho, quais os melhores métodos que devem ser aplicados, como elaborar um plano de manutenção, como extrair o máximo rendimento de uma usina hidrelétrica, essas questões são de suma importância para o gerenciamento do empreendimento.

### **2.1 COMO TUDO COMEÇOU**

Em 1883 no município de Diamantina (MG) entrou em operação a primeira usina hidrelétrica do Brasil, ela utilizava a água do rio Ribeirão do Inferno, que era afluente do famoso rio Jequitinhonha. A potência instalada era de 16 HP (16,22 cv) e a queda de água era equivalente a 5 metros. A utilização dessa energia na época foi para movimentações de bombas de água, que eram utilizadas em minas de diamante para fraturar (quebrar) rochas, utilizava-se também essa energia gerada para alimentar a cidade de Diamantina através de uma linha de transmissão com 2.000 metros de extensão.

Segundo Pereira (2015), após 4 anos (1887) mais uma usina entrou em operação no Brasil, agora com 500 HP (506,93 cv) de potência, e uma queda de água de 40 metros, sua utilização principal também era para a mineração, agora de ouro e para iluminação. Sua localização era no rio Macacos na cidade de Nova Lima (MG).

Em 1889, mais uma vez em Minas Gerais o estado pioneiro em instalações de usinas hidrelétricas, iniciou a operação da usina Marmelos Zero, conforme ilustra a figura 1, de propriedade da Companhia Mineira de Eletricidade, sendo compostas por duas unidades geradoras de 126 kW cada e 2 anos mais tarde (1891) potencializada com uma terceira unidade geradora de 125 kW, a usina era banhada pelo rio Piabanha e sua energia utilizada para alimentar o município de Juiz de Fora (MG).

**Figura 1** – Barragem da usina de Marmelos Zero em 1889 (Juiz de Fora/MG).



Fonte: Geraldo Magela Pereira, 2015.

Com a chegada do século XX, as usinas com potências mais significativas começaram a ser instaladas, exemplo da Usina Hidrelétrica Fontes Velha que entrou em operação em 1908 com 12MW de potência instalada e foi ampliada em 1909 para 24MW de potência instalada. Essa obra foi um grande marco para época, uma construção de grande magnitude, tendo uma barragem com 32 metros de altura, 100 metros de raio, crista com 234 metros e um vertedouro em soleira livre de 134 metros. A UHE Fontes Velha, conforme ilustração da figura 2, nesse momento era a maior da América e a segunda maior do mundo.

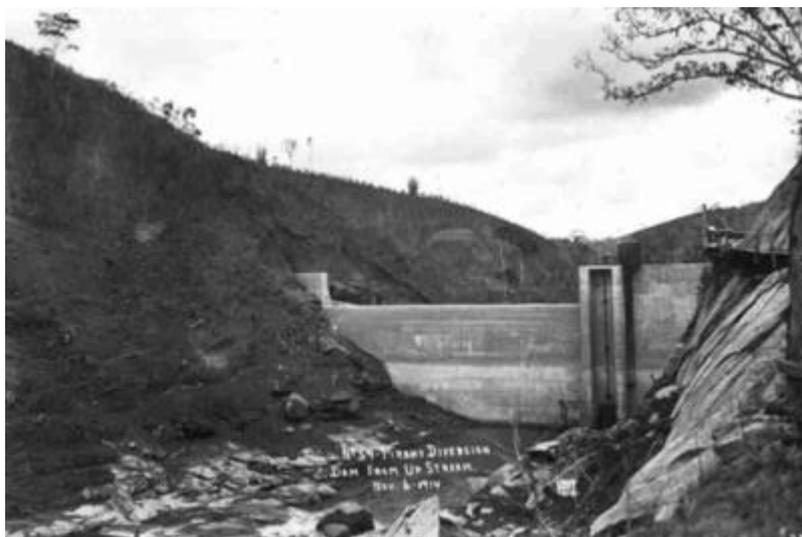
**Figura 2** – Casa de Máquinas da UHE Fontes Velha.



Fonte: Geraldo Magela Pereira, 2015.

Cinco anos mais tarde em 1914, a UHE Fontes Velha chega a capacidade de 54 MW de potência instalada, esse aumento deu-se a construção da barragem de Tócos no rio Piraí, essa barragem direcionava a água para o reservatório da UHE Fontes Velha, através de túnel de 804 km de extensão, com capacidade hidráulica de  $25 \text{ m}^3/\text{s}$  de água, a barragem de Tócos, conforme ilustra a figura 3, foi construída com 25 metros de altura, o túnel da barragem foi considerado o maior do mundo em 1914.

**Figura 3** – Barragem de Tócos.



Fonte: Geraldo Magela Pereira, 2015.

Na década de 20, segundo Pereira (2015), em 1924 chegou a vez da UHE Ilha dos Pombos ser inserida na matriz energética do nosso país, em seu vertedouro principal foram construídas três comportas de 45 metros de comprimento por 7,4 metros de altura, cada comporta tem 333 m<sup>2</sup> de área e são as maiores comportas do mundo, a UHE Ilha dos Pombos é composta por um canal de adução de 2,5 km de extensão em trechos intercalados de concreto e terra compactada. No ano de 1937, foi executada uma obra de ampliação o que permitiu chegar ao índice de 167 MW de potência instalada, e com uma queda bruta de água de 31 metros. Nos anos 90 a UHE Ilha dos Pombos foi revitalizada, conforme ilustra a figura 4, tendo sua barragem e comportas reformadas.

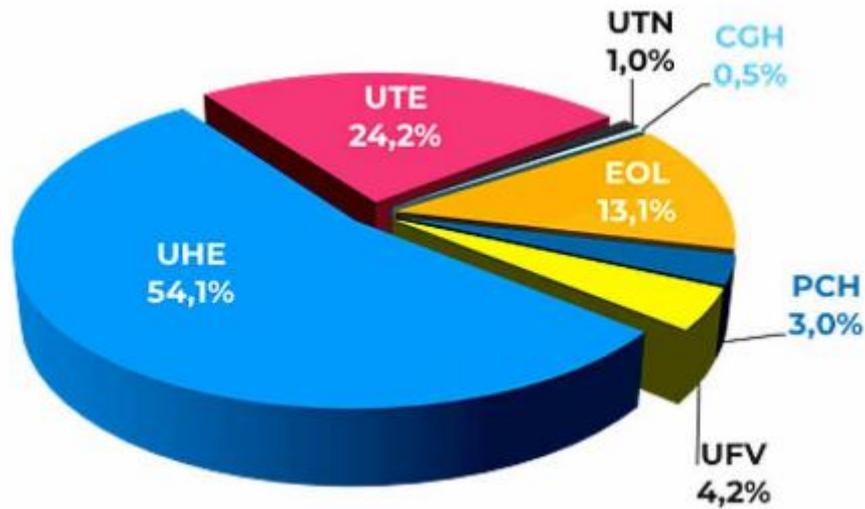
**Figura 4** – UHE Ilha dos Pombos.



Fonte: Geraldo Magela Pereira, 2015.

Hoje nosso país tem uma matriz energética rica em diversidades, e uma das maiores do mundo com 210.662 MW instalados, sendo que 57,6 % são de fontes hídricas (UHE, PCH e CGH), conforme ilustra o gráfico 1, da matriz energética brasileira.

**Gráfico 1 – Matriz Energética Brasileira em Operação.**



Fonte: ANEEL (2023)

## 2.2 ESTRUTURAS

As usinas hidrelétricas são compostas por várias estruturas que somadas dão condições para a realização da geração de energia elétrica, mas nem todas as usinas tem sua forma construtiva de igual maneira, existem infinitas séries de combinações que podem ser executadas afim de atingir um maior rendimento hidráulico e conseqüentemente uma maior geração de energia. O tipo ou modelo da estrutura selecionada pelo engenheiro projetista pode determinar o sucesso ou fracasso do empreendimento. A figura 5 ilustra um primeiro esboço do projeto da PCH Tio Hugo.

**Figura 5** – Imagem de satélite do projeto da PCH Tio Hugo em Tio Hugo/RS.



Fonte: COPREL – Cooperativa de Geração de Energia e Desenvolvimento.

### 2.2.1 BARRAGEM

É a principal estrutura que compõe uma usina hidrelétrica, sua função é o acumulo de água para criar o reservatório de água, sua construção ocorre no leito do rio e é através desse reservatório gerado que ocorre a captação da água que transformará a energia hidráulica em mecânica e finalmente em energia elétrica.

Os tipos de barragens foram evoluindo com o passar do tempo, seus materiais e formas utilizadas foram melhoradas, segundo Pereira (2015), a barragem mais antiga do mundo foi construída na Jordânia e foi denominada de “barragem de Jawa” estima-se que é do ano de 3.000 a.C. Outras civilizações que registram a construções de barragens são o Império Romano com estruturas de mais de 50 metros de altura e o Antigo Egito que enfrentava as cheias do Rio Nilo com barragens.

Os principais tipos de barragens utilizados são:

- Barragens de terra;
- Barragens de enrocamento;
- Barragens de concreto.

### 2.2.1.1 BARRAGEM DE TERRA

As barragens de terra são o tipo mais comum de barragens, devido a matéria prima utilizada para sua construção está na forma natural, como terra, pedras e cascalho. Esse tipo de barragem além de ser utilizada em usinas, também servem para irrigação e armazenamento (reservatório) de água para consumo, são de baixo custo construtivo, mas por outro lado estão mais suscetíveis a ruptura.

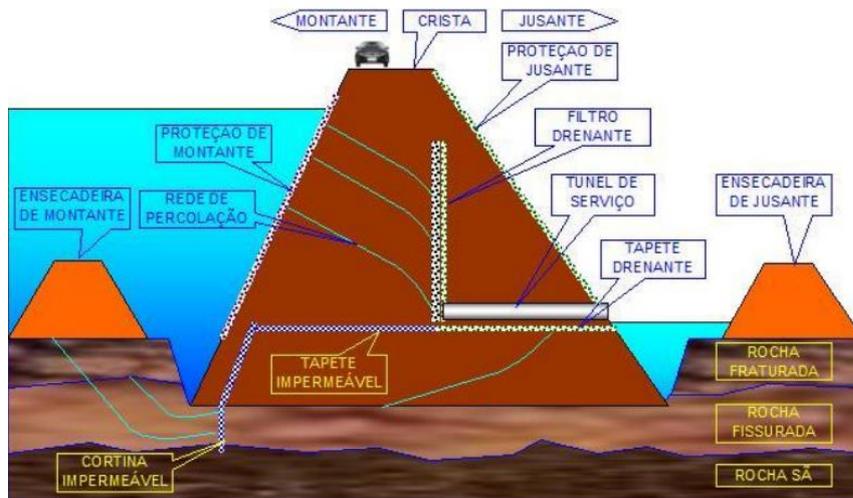
Com a evolução dos equipamentos e dos conceitos de engenharia esse tipo de barragem tornou-se mais confiável a partir da década de 30, pois os projetos começaram a ganhar aplicações de técnicas de engenharia, planejamento e controle construtivo e detalhamento das características construtivas das fundações e dos materiais naturais utilizados.

A elaboração de um projeto. Para Cruz (1996):

A arte de projetar uma barragem está ligada a habilidade de controlar o fluxo de água pelo conjunto barragem-fundação. A estabilidade externa (taludes) e interna (conjunto barragem-fundação) devem atender aos requisitos básicos de segurança estabelecidos em função do tipo da obra e das diversas condições de carregamento.

A barragem de terra precisa contemplar alguns aspectos, entre eles estão a geologia do local, topografia, características de fundação, materiais existentes próximos ao local da obra e um cronograma de construção. Já o projeto precisa ter materiais impermeáveis, seção de solo compactado, taludes com ângulos suaves e critérios para inibir erosões superficiais. Nesse tipo de barragem o sistema de drenagem tem fundamental importância, devendo conter filtros internos verticais ou inclinados, e drenos no pé (soleira) da barragem, como ilustrado na figura 6.

**Figura 6 – Barragem de Terra.**



Fonte: Agencia Nacional das Águas

### 2.2.1.2 BARRAGEM DE ENROCAMENTO

As barragens de enrocamento são construídas pelo corpo da barragem com o enrocamento bem compactado e com um núcleo impermeável, afim de impedir a passagem da água, como ilustra a figura 7. As primeiras barragens desse tipo são originárias nos Estados Unidos da América no ano de 1870, e deve-se na época a chamada “corrida do ouro” no estado da Califórnia.

Existem algumas características que devem ser analisadas para a escolha da barragem tipo enrocamento, como a abundância de rochas disponíveis no local, pois a própria escavação para implantar as fundações das estruturas do projeto, torna o processo facilmente explorável. Além das condições geológico-geotécnicas e topográficas, e manter as condições dos taludes com estabilidade.

O que são enrocamentos. Para Marsal; Nuñez (1975):

Os enrocamentos são materiais que quando submetidos a uma variação de tensões, sofrem deformações estruturais devido a deslocamentos, rotação e quebra de partículas. Para ter em conta estas variações e sua influência nas características de deformação e resistência, é necessário estudar a distribuição das forças de contato e os fundamentos de quebra de partículas.

A barragem de enrocamento ter diferentes processos construtivos, como:

- Com núcleo da argila;

- Com face de concreto;
- Com face de concreto asfáltico.

**Figura 7** – Barragem de Enrocamento da PCH Capivari em São Martinho/SC.



Fonte: COPREL – Cooperativa de Geração de Energia e Desenvolvimento.

### **2.2.1.3 BARRAGEM DE CONCRETO**

Esse tipo de barragem são as mais usadas, tem um bom custo-benefício em relação a facilidade de construção, impermeabilidade, durabilidade e resistência. A barragem de concreto pode ter diferentes processos construtivos, como:

- Gravidade com concreto convencional (CCV);
- Gravidade com concreto compactado a rolo (CCR).

A barragem de concreto gravidade com concreto convencional (CCV) sendo bem projetada com uma fundação e estruturas apropriadas, existe a grande vantagem de precisar muito pouca manutenção, esse tipo de estrutura é construído para o seu próprio peso suportar as forças da pressão de água horizontalmente.

Já a utilização do concreto compactado a rolo (CCR), como mostra a figura 8, traz uma série de vantagens, pois pode-se construir a barragem de forma mais rápida e ainda com equipamentos convencionais, pois taxa de concretagem é alta e

executada com caminhões basculantes, tratores e rolos. Esse tipo de barragens é construído com uma linha de drenos interno para combater a percolação.

**Figura 8** – Barragem de Concreto CCR da PCH Kotzian em Júlio de Castilhos/RS



Fonte: COPREL – Cooperativa de Geração de Energia e Desenvolvimento.

### 2.2.2 VERTEDOURO

Os vertedouros têm como função essencial proteger a barragem, efetuando o controle do reservatório de água, todo excesso de água passa por ele evitando o galgamento e que a barragem entre em colapso. Em época de muita precipitação pluviométrica quando as cheias acontecem, é pelo vertedouro que esse controle ocorre.

A localização do vertedouro depende da característica construtiva de cada projeto, podendo estar no barramento principal ou em estrutura separadas e se caracterizam da seguinte forma:

- Vertedouros de superfície;
- Vertedouros de fundo.

Os vertedouros de superfície, como ilustra a figura 9, têm a função de rebaixar o reservatório até seu nível normal, ou seja, o mesmo nível da crista do vertimento, deixando o reservatório com sua capacidade de 100% nesse momento. Todo excesso

de água extravasa para segurança da integridade da barragem, e podem ser livres ou controlados.

Os vertedouros de fundo, além da função de rebaixar o reservatório até seu nível normal podem ainda mais, como fazer o esvaziamento total do reservatório, pois são controlados por comportas que estão instaladas no fundo da barragem. Sua aplicação é normalmente em usinas hidrelétricas de grande porte (UHE).

**Figura 9** – Vertedouro de superfície da PCH Dreher em Salto do Jacuí/RS.



Fonte: COPREL – Cooperativa de Geração de Energia e Desenvolvimento.

### **2.2.3 CANAL DE ADUÇÃO**

É um desvio que direciona a água da barragem para a casa de máquinas, como mostra a figura 10, o escoamento é controlado e o canal precisa ser dimensionado para suportar a vazão máxima de água consumida pelas turbinas em seu nível operacional inferior determinado em projeto.

A forma construtiva dos canais de adução define as velocidades máximas de escoamento da água, em canais escavados em rochas, revestidos com concreto ou com geomembranas a velocidade máxima pode chegar a 2,5 m/s. Já em escavações

em solo, onde os riscos de erosões são eminentes, as velocidades não podem ultrapassar 1,0 m/s, as velocidades são controladas através da declividade do perfil do canal de adução.

**Figura 10** – Canal de adução drenado na PCH Forquilha IV em Maximiliano de Almeida/RS



Fonte: COPREL – Cooperativa de Geração de Energia e Desenvolvimento.

#### **2.2.4 TOMADA D'ÁGUA**

É a estrutura que capta a água do reservatório e a direciona para a casa de máquinas, como ilustra a figura 11, pode ser através de túneis, canais de adução ou diretamente no conduto forçado dependo do projeto construtivo proposto. A tomada d'água é composta por grades de proteção, para evitar que objetos estranhos entrem para dentro da turbina como troncos, galhos ou outros materiais que venham pelo rio.

Um cuidado muito grande que deve ser tomado é evitar a obstrução das grades por sujeira, pois essa obstrução forma uma pressão tão grande nas grades que em casos extremos podem entrar em colapso e ocorrer o rompimento de grades, como forma de auxílio, existem equipamentos para proteger as grades da tomada d'água

como *Log-boom* e a máquina limpa grades. (Na seção 2.3 esses equipamentos serão detalhados).

A velocidade de escoamento na tomada d'água deve ser baixa afim de evitar esforços nas grades perda de carga e vorticidades, além disso deve-se ocorrer uma aceleração gradual do fluxo de água para que se obtenha a melhor faixa de rendimento da turbina hidráulica, esse fator é muito importante, em especial em baixas quedas e onde a distância entre a turbina e tomada d'água são próximas.

**Figura 11** – Tomada d'água da CGH Cascata do Pinheirinho em Ibirubá/RS.



Fonte: COPREL – Cooperativa de Geração de Energia e Desenvolvimento.

### 2.2.5 TÚNEL DE ADUÇÃO

É o trajeto da água entre a tomada d'água e a casa de máquinas, como ilustra a figura 12, deve ser construído no traçado mais curto possível se as condições geográficas assim o permitir. O túnel de adução deve ser construído conforme as cotas do projeto, mas vale ressaltar que a parte mais alta do túnel deve ficar abaixo da cota mínima operacional do reservatório, evitando assim a entrada de ar no túnel e deixando-o sempre equalizado mantendo um escoamento laminar.

O túnel de adução é sempre um dos pontos crítico do projeto, pelos riscos construtivos e operacionais, destaca-se que um faturamento hidráulico, ou seja, um desmoronamento, poderá causar um desastre com grandes consequências, sempre no processo de enchimento e/ou esvaziamento do túnel deve-se ter um controle e a execução deve ser feita lentamente. O projeto do túnel deve sempre ser suficiente para a vazão máxima turbinada e resistir às pressões internas.

As velocidades de escoamento. Para Pereira (2015):

Em princípio, é necessário que o túnel seja dimensionado para a máxima vazão turbinada. A velocidade máxima de escoamento deverá ser na ordem de 2,0 m/s para túneis não revestidos; de 3,0 m/s para túneis revestidos com concreto projetado; e de 4,5 m/s para túneis revestidos com concreto estrutural.

**Figura 12** – Túnel da PCH Dreher em Salto do Jacuí/RS no momento da inspeção do túnel em 2017 após 7 anos em operação.



Fonte: COPREL – Cooperativa de Geração de Energia e Desenvolvimento.

## 2.2.6 CHAMINÉ DE EQUÍLBRIO

A principal função da chaminé de equilíbrio, como mostra a figura 13, é amortecer o golpe de aríete (fenômeno hidráulico que ocorre quando a velocidade do fluido em uma tubulação é alterada repentinamente), que ocorre em rejeições de cargas das turbinas hidráulicas no momento que saem de sincronismo da rede, auxilia também na regulação de frequência das unidades geradoras.

A massa da água passa pelos condutos forçados que vem logo após a chaminé de equilíbrio, como a chaminé é um reservatório de água e a massa da água acelera e/ou desacelera dentro dos condutos, a chaminé atua diretamente reduzindo as pressões do circuito hidráulico. Nem todas as usinas tem chaminé de equilíbrio, é importante ressaltar que só devem ser incluídas no projeto se economicamente se tornar viável à diminuição do golpe de aríete.

**Figura 13** – Chaminé de Equilíbrio da PCH Dreher em Salto do Jacuí/RS.



Fonte: COPREL – Cooperativa de Geração de Energia e Desenvolvimento.

### 2.2.7 CONDUTO FORÇADO

Os condutos forçados têm a função de acelerar o escoamento da água até as turbinas hidráulicas, podem sofrer pressões permanentes e uniformes ou não permanentes e não uniformes, o escoamento pode ser ainda laminar ou turbulento. O custo construtivo dos condutos forçados é alto, pois precisam ser projetados para aguentar altas pressões internas, por isso no projeto tende-se a reduzir seu comprimento ao máximo possível.

Hoje em dia quase a totalidade dos condutos forçados são construídos em aço carbono pois resiste muito bem as altas pressões solicitadas, antigamente também eram construídos de concreto armado, polímero revestido de fibra de vidro (PRFV), como ilustrado na figura 14 e até de madeira. Segundo Pereira (2015), os valores de velocidade máxima de escoamento são de 8,0 m/s nos condutos de aço carbono e de 7,0 m/s para os demais.

O ponto de maior atenção nos condutos forçados é o golpe de aríete, pois a alteração da velocidade de escoamento produz grandes oscilações de pressões internas, com isso o conduto precisa suportar essa variação de pressões produzidas pelo golpe de aríete.

**Figura 14** – Condutos forçados em PRFV na PCH Dreher em Salto do Jacuí/RS.



Fonte: COPREL – Cooperativa de Geração de Energia e Desenvolvimento.

### 2.2.8 CASA DE MÁQUINAS

É onde a transformação das energias acontecem, a energia hidráulica transformada em mecânica e depois em energia elétrica através dos equipamentos instalados na casa de máquinas, a estrutura construtiva pode ser de algumas formas como fazer parte do corpo da barragem, estar no pé da barragem ou ser construída de forma isolada à barragem, como ilustra a figura 15.

Dentro da casa de máquinas é que estão instaladas, as turbinas hidráulicas, os geradores elétricos, as unidades hidráulicas, válvulas borboletas, comportas, painéis de comando e potência, ponte rolante, sistema de refrigeração e demais componentes auxiliares mecânicos e elétricos. A estrutura também precisa ser projetada pensando no acesso a manutenção dos equipamentos ali instalados, e é claro serve de abrigo e proteção aos equipamentos das intempéries climáticas.

**Figura 15** – Casa de máquinas da PCH Tio Hugo em Tio Hugo/RS.



Fonte: COPREL – Cooperativa de Geração de Energia e Desenvolvimento.

### 2.2.9 CANAL DE FUGA

É o responsável pela devolução da água ao leito do rio, após passar pelas turbinas hidráulicas a água entra no canal de fuga que é projetado para devolver a água de forma segura e controlada, pois durante a passagem da água pelo canal de fuga diminuem a turbulência que é fator importante para manter a integridade do leito do rio e o ambiente aquático, como ilustra a figura 16. O comprimento do canal de fuga é variável de acordo com o projeto, a velocidade de escoamento da água deve ser baixa na faixa de 2,0 m/s.

**Figura 16** – Canal de fuga da PCH Tio Hugo em Tio Hugo/RS.



Fonte: COPREL – Cooperativa de Geração de Energia e Desenvolvimento.

## 2.3 TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO

Sempre ao discutir as técnicas de manutenções que serão aplicadas, é de fundamental relevância o alinhamento com a direção da empresa para ser realizada a melhor estratégia, sabendo-se os objetivos da empresa, em qual nicho de trabalho que deverá ser direcionada maior atenção, pode-se definir os tipos de manutenção que serão aplicados em determinados equipamentos.

O melhor tipo de manutenção a ser aplicada pode ser respondido facilmente, ou seja, todos os tipos são os melhores, o que irá mudar de um lugar para o outro é justamente o alinhamento de ideias entre o setor de manutenção e os objetivos gerais da empresa que estrategicamente precisam caminhar juntos.

As técnicas de manutenção. Para Pereira (2009):

As técnicas de manutenção fazem parte do processo de Gestão da Manutenção. Precisamos conhecê-las bem para aplicá-las aos ativos de forma eficaz. Outro fator importante a ser observado é a capacitação dos mantenedores, pois, de acordo com a técnica, se faz necessário determinar o nível de qualificação exigida. Neste contexto, o Engenheiro de Manutenção é fundamental para implantação com base nas análises e definições. O objetivo é o aumento de confiabilidade e disponibilidade, mas sem deixar de lado o controle dos gastos departamentais. Portanto, use critérios rígidos de implantação.

### 2.3.1 CORRETIVAS

Esse tipo de manutenção é tudo que não se quer na indústria, pois poderá afetar diretamente a produção dependendo do equipamento avariado, e pelo âmbito financeiro é a manutenção que tem o maior custo operacional. Com isso, sempre que ocorrer a manutenção corretiva é indicado elaborar uma análise de falha e dentro das possibilidades implementar o referido equipamento em ações preventivas ou preditivas.

“ Esta manutenção é efetuada após a ocorrência de uma pane, e é destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida. ” (NBR 5462 - Confiabilidade e mantenedibilidade, pág.07).

### **2.3.2 PREVENTIVAS**

A manutenção preventiva é essencial para um bom funcionamento dos equipamentos no processo produtivo, por se tratar de atividades programadas têm custo operacional menor que no caso de uma manutenção corretiva. A preventiva é baseada em manuais de fabricantes, históricos de funcionamento dos equipamentos e na própria experiência do setor de manutenção.

Ainda, esse processo preventivo precisa de análise posterior para uma melhoria constante, ou seja, sempre os intervalos de tempo entre as manutenções precisam estar em revisões, quanto maior o histórico do equipamento, e com os ajustes de periodicidade das ações, mais eficiente será a manutenção.

“ Esta manutenção é efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação de funcionamento de um item. ” (NBR 5462 - Confiabilidade e manutenibilidade, pág.07).

### **2.3.3 PREDITIVAS**

É a mais relevante dos processos de manutenção devido a possibilidade de identificar um provável defeito em sua origem e ao menor custo operacional de todos os tipos de manutenção. Os principais equipamentos de acordo com sua criticidade no processo produtivo com a técnica preditiva podem ser monitorados 24 horas por dia, contemplando os índices de temperatura, pressão, fluxo, vibrações, tensão, corrente, potência e muito mais, complementados também por amostragens como análises de óleo, ultrassom e medições de isolamentos elétricos. Portanto, a manutenção preditiva é a mais indicada para evitar a perda de produção.

“ Esta manutenção é a que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva. ” (NBR 5462 - Confiabilidade e manutenibilidade, pág.07).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir os objetivos propostos nesse estudo, foram elaborados em quatro fases distintas.

A primeira fase é classificada como o inventariado dos ativos da PCH Tio Hugo, onde em várias visitas técnicas foram identificadas as estruturas e equipamentos da Pequena Central Hidrelétrica, é nessa fase inicial que é executado o cadastramento das estruturas como barragem, tomadas d'água, túneis, canal de adução, casa de máquinas e canal de fuga.

E dos equipamentos como turbinas, geradores, unidades hidráulicas de lubrificação, unidades hidráulicas de controle da turbina, painéis de comando, painéis de potência, sistema de refrigeração, ponte rolante, máquina limpa grades, log-boom, banco de baterias, transformador de força, chaves seccionadoras, transformador de potência, transformadores de corrente, comportas e demais ativos.

A segunda fase constitui na organização dos ativos, essa organização é denominada "Árvore de Aplicações", é nela que todos os equipamentos e estruturas são ordenados de acordo com sua localização geográfica na PCH Tio Hugo, os ativos que estão ordenados na árvore de aplicações obedecem às instruções da resolução normativa 675/2015 – Controle de ativos patrimonial do setor elétrico, elaborada pela ANEEL, no início é elaborada os ativos macros.

Após começa-se a inserção das subdivisões de árvore de aplicações, ou seja, em cada estrutura macro são direcionados seus ativos caracterizando a estrutura completa da PCH.

A terceira etapa é de suma importância para eficácia da manutenção no empreendimento, pois neste momento é definido em quais ativos serão aplicados os planos de manutenção, é nesse momento que a análise da engenharia deve ser precisa e sem erros, pois planos de manutenções em poucos ativos pode-se caracterizar um maior número de defeitos, falhas e panes. Por outro lado, o excesso de plano de manutenções ocasionará um custo elevado e desnecessário para o empreendimento.

É nessa fase que o alinhamento entre a engenharia de manutenção e a direção da empresa precisam estar caminhando juntos, pois será nesse momento que iniciará a modelagem das manutenções que serão aplicadas na PCH Tio Hugo, custos projetados, investimentos, tempo de perda de produção, todos os fatores importam, e

através dessas definições será elaborado o PAM – Planejamento Anual de Manutenção.

A quarta e última fase é o foco chave do estudo, que é a elaboração dos planos de manutenção da PCH Tio Hugo, depois do cadastro dos ativos, elaboração da árvore de aplicações e definição de quais estruturas e equipamentos serão contemplados com planos de manutenções, será a vez de criar os planos de manutenção.

Nesse momento serão analisados os manuais e projetos dos equipamentos, orientações dos fornecedores, expertise da engenharia de operação e manutenção, leis ambientais e agentes regulatórios, para colocar em prática e elaborar os planos preventivos e preditivos adequados para um funcionamento eficaz da PCH Tio Hugo.

## **4. PROCEDIMENTOS PARA IMPLANTAÇÃO DE PLANOS DE MANUTENÇÃO EM PCH.**

Uma PCH prestes a entrar em operação, e agora? Como começar a “desenhar” a manutenção que será aplicada nos ativos do empreendimento, é exatamente isso que será executado passo-a-passo para efetuar o gerenciamento da manutenção de uma usina hidrelétrica, dessa forma esse estudo pode servir como um documento base para técnicos e engenheiros ter um norte de como executar essa implementação.

É claro que deve-se ressaltar que cada empreendimento tem as suas particularidades, é impossível nesse ramo da indústria efetuar um simples “Control C e Control V” pois os equipamentos principais são projetados justamente para a aplicação específica na usina.

Nos dias de hoje, o setor de manutenção é corretamente inserido no planejamento estratégico das empresas, e não mais relacionado apenas a despesas, com isso os planos de manutenção que serão implantados na usina hidrelétrica são de suma importância para sucesso (Lucro financeiro) do empreendimento.

### **4.1 CADASTRO DE ATIVOS**

É o processo inicial que servirá como base de tudo, pois todo e qualquer plano de manutenção é realizado nos ativos e para tal eles devem estar devidamente cadastrados.

O cadastro de ativos é essencial para o gerenciamento da manutenção, pois é um inventário completo de todos os equipamentos, servindo como fonte para as ações relacionadas as estratégias a serem seguidas tanto em manutenções como em investimentos.

Antes do início do processo de cadastro é necessário a definição de como será o sistema de gerenciamento dos ativos que tem como objetivo deixar os registros de maneira organizada e atualizada, o sistema pode ser desenvolvido de duas formas:

- Manual;
- *Software* de manutenção.

O gerenciamento manual está se tornando menos utilizado, mas ainda é aplicado na indústria de pequeno porte, onde os ativos não são muito numerosos e com isso não compensaria o investimento na contratação de um programa para esse controle. É denominado controle manual do cadastro de ativos quando ele é realizado através de planilhas tendo como um exemplo típico o Microsoft Excel ou similar.

O gerenciamento através de um aplicativo de manutenção é o mais recomendado e utilizado atualmente, pois esses softwares especializados oferecem um maior monitoramento dos ativos, eficiência no controle e automatização dos resultados. Existem inúmeros tipos de programas no mercado, com isso é importante fazer uma pesquisa detalhada para a definição de contratação do melhor custo-benefício a ser aplicado, tendo em vista que o investimento para aquisição desse tipo de produto não é baixo.

A partir de agora será realizada de forma detalhada o cadastro de um ativo utilizando um software de manutenção especializado denominado ENGEMAN, onde todas as informações específicas do ativo serão cadastradas. A figura 20 ilustra todos os campos que após preenchidos irão caracterizar o ativo.

**Figura 17 – Modelo de Cadastro de Ativos**

<b>Centro de Custo</b>	<input type="text"/>	
Centro Modular	<input type="text"/>	
Conta Contábil	<input type="text"/>	
Localização	<input type="text"/>	
Unidade Produtiva	<input type="text"/>	
Descrição ODI	<input type="text"/>	
Fornecedor	<input type="text"/>	
Fabricante	<input type="text"/>	
Especificação	<input type="text"/>	
Marca/Modelo	<input type="text"/>	
Modelo Visual	<input type="text"/>	
Número de Série	<input type="text"/>	
Tempo Operacional Dia	<input type="text"/>	
	<b>Fornecedor de Serviço</b>	<input type="text"/>
Data de Aquisição	<input type="text"/>	<b>Garantia de Serviço</b> <input type="text"/>
Data de Instalação	<input type="text"/>	
Data de Garantia:	<input type="text"/>	
IdUC	<input type="text"/>	
Agrupamento?	Não <input type="button" value="v"/>	
Pontos Produtivos	<input type="text"/>	
Valor Compra	<input type="text"/>	
Valor Venda	<input type="text"/>	
Data de Venda	<input type="text"/>	

Fonte: Software de Manutenção ENGEMAN, cedido gentilmente pela Coprel Cooperativa de Geração e Desenvolvimento.

**Centro de Custo:** Representa a unidade dentro da organização e indica onde os custos estarão relacionados especificamente, facilitando o controle da gestão financeira da empresa.

**Centro Modular:** Indica a classificação que o ativo pertence, podendo ser enquadrado em componente Eletrônico, componente elétrico, componente hidráulico, componente mecânico ou componente pneumático.

**Conta Contábil:** É nomeada para registrar e classificar as transações financeiras do ativo, como compra, venda, serviços de reparos, peças sobressalentes entre outros.

**Localização:** Nome atribuído ao local onde fisicamente o ativo está instalado dentro do empreendimento e/ou fábrica.

Unidade Produtiva: Especifica o fim produtivo que o ativo está inserido, como o Megawatt no ramo de produção de energia elétrica.

Descrição ODI: Significa ordem de imobilização e está alinhada com a resolução normativa 674/2015 da ANEEL que faz o acompanhamento e controle de valores que será utilizada para apuração do custo do acervo em função do serviço público de energia elétrica.

Fornecedor: É a empresa que fornece o ativo para o empreendimento.

Fabricante: É a empresa que fabricou o ativo que foi fornecido ao empreendimento.

Especificação: Características técnicas que identificam o ativo.

Marca / Modelo: Características técnicas predominantes do ativo.

Modelo Visual: Inserção de link com fotos do ativo.

Número de Série: Registro do número de série do ativo.

Tempo Operacional Dia: Quantas horas ao dia o ativo estará em funcionamento.

Data de Aquisição: Data da compra do ativo.

Data de Instalação: Data que o ativo foi instalado.

Data de garantia: Garantia do ativo.

IDUC: Significa individualizador da unidade de cadastro, e está alinhada com a resolução normativa 674/2015 da ANEEL que faz o acompanhamento e controle de valores que será utilizada para apuração do custo do acervo em função do serviço público de energia elétrica.

Agrupamento: Definir se o ativo será avaliado individualmente ou em grupo.

Pontos Produtivos: Classificação do grau de importância do ativo.

Valor de Compra: Registro financeiro.

Valor de Venda: Registro financeiro.

Data da Venda: Data da transação.

Fornecedor de Serviço: Registro de empresa que executou alguma manutenção no ativo.

Garantia de Serviço: Data de garantia do serviço prestado no ativo.

Agora é necessário listar todos os ativos do empreendimento de acordo com a resolução normativa 674/2015 da ANEEL e fazer o cadastro de todos, com isso tem-

se uma série de benefícios como o controle eficaz dos equipamentos, conformidade com auditorias, redução de roubos ou perdas, um melhor planejamento financeiro e eficiência operacional.

## 4.2 ÁRVORE DE APLICAÇÕES

Com os ativos todos cadastrados, a próxima ação que deve ser adotada na PCH é a elaboração da árvore de aplicações, onde é realizado o cadastramento de todos os ativos (Equipamentos) que estão empregados na planta.

O cadastramento deve ser elaborado baseando-se na Resolução Normativa nº 674/2015, de 11 de agosto de 2015 onde a ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica define o MCPSE - Manual de Controle Patrimonial do Setor Elétrico.

Quando a engenharia do empreendimento julgar necessário, pode-se registrar na árvore de aplicações equipamentos classificados como COM – Componente Menor, esse tipo de equipamento não se enquadra como um ativo de acordo com a Resolução Normativa nº 674/2015, mas existe casos em que merecem um plano de manutenção devido alguma condição específica e/ou sua localização e importância na PCH.

A árvore de aplicações é uma distribuição hierárquica dos ativos no *software* de manutenção, e neste caso do estudo será dividida em quatro níveis, denominados planta, área, equipamentos e componentes.

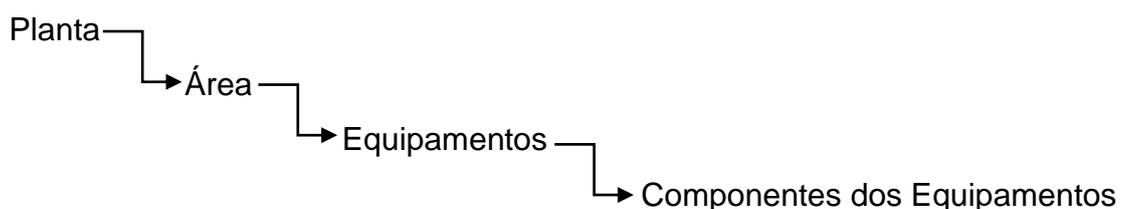
Planta: É o nome do empreendimento. (Nível 1)

Área: São subcomponentes da planta. (Nível 2)

Equipamentos: Registra-se todos os ativos em cada área. (Nível 3)

Componentes: São peças dos equipamentos. (Nível 4)

Segue agora conhecer a árvore de aplicações da PCH Tio Hugo com todos os seus ativos e dividida em níveis desta forma:



## PLANTA

### 1. PCH TIO HUGO

#### ÁREAS

- 1.1 BARRAMENTO
- 1.2 TOMADA D'ÁGUA PRINCIPAL
- 1.3 TOMADA D'ÁGUA 2
- 1.4 TÚNEL 1
- 1.5 TÚNEL 2
- 1.6 CANAL DE ADUÇÃO
- 1.7 CONDUTOS FORÇADOS
- 1.8 SUBESTAÇÃO
- 1.9 CASA DE MÁQUINAS
- 1.10 MINI-CENTRAL GERADORA
- 1.11 ÁREA EXTERNA
- 1.12 LINHA DE TRANSMISSÃO

#### EQUIPAMENTOS

##### 1.1 BARRAMENTO

- 1.1.1 COMPORTA DE DESCARGA DE FUNDOS
- 1.1.2 SENSOR DE NÍVEL
- 1.1.3 VÁLVULA DISPERSORA
- 1.1.4 ESTAÇÃO TELEMÉTRICA 1
- 1.1.5 ESTAÇÃO TELEMÉTRICA 2

##### 1.2 TOMADA D'ÁGUA PRINCIPAL

- 1.2.1 LOG-BOOM
- 1.2.2 COMPORTA TOMADA D'ÁGUA
- 1.2.3 GRADE TOMADA D'ÁGUA
- 1.2.4 TALHA DA COMPORTA
- 1.2.5 VIGA PESCADORA

##### 1.3 TOMADA D'ÁGUA 2

- 1.3.1 COMPORTA TOMADA D'ÁGUA 2
- 1.3.2 GRADE TOMADA D'ÁGUA 2
- 1.3.3 MÁQUINA LIMPA GRADES

##### 1.4 TÚNEL 1

##### 1.5 TÚNEL 2

##### 1.6 CANAL DE ADUÇÃO

- 1.6.1 DRENO 1
- 1.6.2 DRENO 2
- 1.6.3 DRENO 3
- 1.6.4 DRENO 4

##### 1.7 CONDUTOS FORÇADOS

- 1.7.1 CONDUTO FORÇADO UG1
- 1.7.2 VÁLVULA BORBOLETA UG1
- 1.7.3 UH DA VÁLVULA BORBOLETA UG1
- 1.7.4 CONDUTO FORÇADO UG2

- 1.7.5 VÁLVULA BORBOLETA UG2
- 1.7.6 UH DA VÁLVULA BORBOLETA UG2
- 1.7.7 POÇO DE DRENAGEM - VB

#### 1.8 SUBESTAÇÃO

- 1.8.1 BARRAMENTO 34,5 KV
- 1.8.2 TRANSFORMADOR DE FORÇA
- 1.8.3 TRANSFORMADOR S.A.
- 1.8.4 DISJUNTOR
- 1.8.5 CHAVE SECCIONADORA 89-2
- 1.8.6 CHAVE SECCIONADORA 89-4
- 1.8.7 PARA-RAIO A
- 1.8.8 PARA-RAIO B
- 1.8.9 PARA-RAIO C
- 1.8.10 TRANSFORMADOR DE CORRENTE A
- 1.8.11 TRANSFORMADOR DE CORRENTE B
- 1.8.12 TRANSFORMADOR DE CORRENTE C
- 1.8.13 TRANSFORMADOR DE POTENCIAL A
- 1.8.14 TRANSFORMADOR DE POTENCIAL B
- 1.8.15 TRANSFORMADOR DE POTENCIAL C

#### 1.9 CASA DE MÁQUINAS

- 1.9.1 UNIDADE GERADORA 1
- 1.9.2 TURBINA 1
- 1.9.3 ACOPLAMENTO
- 1.9.4 EIXO
- 1.9.5 MANCAL ESCORA E/OU COMBINADO
- 1.9.6 MANCAL GUIA
- 1.9.7 PÁS DIRETRIZES
- 1.9.8 PRÉ-DISTRIBUIDOR
- 1.9.9 ROTOR
- 1.9.10 SUCÇÃO
- 1.9.11 GERADOR 1
- 1.9.12 EIXO
- 1.9.13 ESTATOR
- 1.9.14 EXCITATRIZ
- 1.9.15 FREIO
- 1.9.16 MANCAL GUIA
- 1.9.17 ROTOR
- 1.9.18 UNIDADE HIDRÁULICA DE LUBRIFICAÇÃO 1
- 1.9.19 TROCADOR DE CALOR
- 1.9.20 UNIDADE HIDRÁULICA REGULADOR DE VELOCIDADE 1
- 1.9.21 ACUMULADOR BEXIGA
- 1.9.22 UNIDADE GERADORA 2
- 1.9.23 TURBINA 2
- 1.9.24 ACOPLAMENTO
- 1.9.25 EIXO
- 1.9.26 MANCAL ESCORA E/OU COMBINADO

- 1.9.27 MANCAL GUIA
- 1.9.28 PÁS DIRETRIZES
- 1.9.29 PRÉ-DISTRIBUIDOR
- 1.9.30 ROTOR
- 1.9.31 SUCÇÃO
- 1.9.32 GERADOR 2
- 1.9.33 EIXO
- 1.9.34 ESTATOR
- 1.9.35 EXCITATRIZ
- 1.9.36 FREIO
- 1.9.37 MANCAL GUIA
- 1.9.38 ROTOR
- 1.9.39 UNIDADE HIDRÁULICA DE LUBRIFICAÇÃO 2
- 1.9.40 TROCADOR DE CALOR
- 1.9.41 UNIDADE HIDRÁULICA REGULADOR DE VELOCIDADE 2
- 1.9.42 ACUMULADOR BEXIGA
- 1.9.43 MÓDULO DE COMANDO
- 1.9.44 PAINEL DE COMANDO E PROTEÇÃO / UG1
- 1.9.45 PAINEL DE COMANDO E PROTEÇÃO / UG2
- 1.9.46 PAINEL DE COMANDO E PROTEÇÃO / LT
- 1.9.47 PAINEL DE COMUNICAÇÃO
- 1.9.48 PAINEL DE ILUMINAÇÃO E TOMADAS
- 1.9.49 MÓDULO DE POTÊNCIA
- 1.9.50 BARRAMENTO
- 1.9.51 PAINEL DE POTÊNCIA / UG1
- 1.9.52 PAINEL DE POTÊNCIA / UG2
- 1.9.53 PAINEL DE POTÊNCIA / TR
- 1.9.54 MÓDULO SERVIÇO AUXILIAR
- 1.9.55 PAINEL DO RETIFICADOR DE BATERIAS
- 1.9.56 BANCO DE BATERIAS
- 1.9.57 CARREGADOR DE BATERIAS
- 1.9.58 GERADOR DE EMERGÊNCIA
- 1.9.59 SISTEMA DE AR COMPRIMIDO
- 1.9.60 COMPRESSOR DE AR
- 1.9.61 SISTEMA DE EXAUSTÃO, VENTILAÇÃO E AR  
CONDICIONADO
- 1.9.62 AR CONDICIONADO 1
- 1.9.63 AR CONDICIONADO 2
- 1.9.64 SISTEMA DE PROTEÇÃO, MEDIÇÃO E AUTOMAÇÃO
- 1.9.65 SUPERVISÓRIO LOCAL
- 1.9.66 SISTEMA DE RESFRIAMENTO
- 1.9.67 BOMBA
- 1.9.68 COMPRESSOR DE AR
- 1.9.69 FILTRO DE ÁGUA DE REFRIGERAÇÃO
- 1.9.70 POÇO DE DRENAGEM
- 1.9.71 BOMBA 1

- 1.9.72 BOMBA 2
- 1.9.73 BOMBA 3
- 1.9.74 BOMBA 4
- 1.9.75 PONTE ROLANTE
- 1.9.76 MOTOR ELÉTRICO
- 1.9.77 CANAL DE FUGA
- 1.9.78 COMPORTA 1
- 1.9.79 COMPORTA 2

#### 1.10 MINI-CENTRAL GERADORA

- 1.10.1 TOMADA D'ÁGUA
- 1.10.2 COMPORTA DA TOMADA D'ÁGUA
- 1.10.3 GRADE DA TOMADA D'ÁGUA
- 1.10.4 CASA DE MÁQUINAS
- 1.10.5 UNIDADE GERADORA 3
- 1.10.6 TURBINA 3
- 1.10.7 ACOPLAMENTO
- 1.10.8 EIXO
- 1.10.9 MANCAL ESCORA E/OU COMBINADO
- 1.10.10 MANCAL GUIA
- 1.10.11 PÁS DIRETRIZES
- 1.10.12 PRÉ-DISTRIBUIDOR
- 1.10.13 ROTOR
- 1.10.14 SUCÇÃO
- 1.10.15 GERADOR 3
- 1.10.16 EIXO
- 1.10.17 ESTATOR
- 1.10.18 EXCITATRIZ
- 1.10.19 FREIO
- 1.10.20 MANCAL GUIA
- 1.10.21 ROTOR
- 1.10.22 UNIDADE HIDRÁULICA REG. DE VELOCIDADE 3
- 1.10.23 TROCADOR DE CALOR
- 1.10.24 UNIDADE HIDRÁULICA DE LUBRIFICAÇÃO 3
- 1.10.25 ACUMULADOR BEXIGA
- 1.10.26 PAINEL DE COMANDO E PROTEÇÃO
- 1.10.27 PAINEL DE POTÊNCIA
- 1.10.28 PAINEL SERVIÇO AUXILIAR
- 1.10.29 CONDUTO FORÇADO

#### 1.11 ÁREA EXTERNA

- 1.11.1 POÇO ARTESIANO

#### 1.12 LINHA DE TRANSMISSÃO

### 4.3 APLICAÇÃO DOS PLANOS DE MANUTENÇÃO

É nessa fase do estudo que se define em quais ativos serão incorporados planos de manutenções preditivas e preventivas, portanto essa etapa do processo tem fundamental relevância, erros aqui podem acarretar em um acréscimo de despesas ao empreendimento, e o que seriam os erros?

Planos em excesso deixando engessado o processo produtivo, planos em falta ocasionando que muitos ativos ficam descobertos de manutenções e conseqüentemente sujeito as falhas inesperadas, esses alertas precisam ser levados em consideração na determinação dos ativos que receberão planos de manutenção.

O momento agora é de a engenharia ser colocada em prática, analisando e identificando os ativos contemplados com planos de manutenção, para isso existem ferramentas da qualidade que nortearam o início do processo e dar-se-á uma boa base dos principais ativos, mas nunca pode-se deixar de lado a expertise da engenharia que baseia-se em casos reais, como o conhecimento da forma operacional de determinados ativos, histórico de falhas em outros empreendimentos, característica de trabalho em virtude de marca ou fabricante do ativo.

Na PCH Tio Hugo a primeira ação foi aplicar o cálculo de criticidade nos ativos para uma análise inicial.

$$\text{Criticidade} = \text{FS} \times \text{FMA} \times \text{FP} \times \text{FQ} \times \text{FCM} \times \text{FM}$$

Sendo:

FS – Fator de Segurança;

FMA – Fator de Meio Ambiente;

FP – Fator de Produção;

FQ – Fator de Qualidade;

FCM – Fator de Custo de Manutenção;

FM – Fator de Manutenibilidade.

O cálculo da criticidade é determinado da seguinte forma, conforme ilustra a tabela 1 abaixo.

**Tabela 1** – Fatores para determinação da criticidade.

	<b>FS</b>	<b>FMA</b>	<b>FP</b>	<b>FQ</b>	<b>FCM</b>	<b>FM</b>
<b>Alto Impacto</b>	0	0	0	1	1	2
<b>Médio Impacto</b>	1	1	1	2	2	3
<b>Baixo Impacto</b>	2	2	2	3	3	4
<b>Nenhum Impacto</b>	3	3	3	4	4	5

Fonte: Teles (2019)

Com a definição da totalidade dos planos que serão aplicados, o conjunto de todos esses planos formação o planejamento anual da manutenção de 52 semanas, é baseado nesse planejamento que o orçamento financeiro do empreendimento saberá a projeto de despesas em manutenções preventivas e preditivas.

Lista dos planos de manutenção que serão implementados na PCH:

- PREVENTIVA SEMESTRAL - POÇO DRENAGEM;
- CALIBRAÇÃO MEDIDORES;
- PPCI RENOVAÇÃO ALVARÁ - CORPO BOMBEIROS;
- DESINSETIZAÇÃO CASA DE MÁQUINAS;
- MANUTENÇÃO PREVENTIVA COMPRESSORES DE SERVIÇO;
- ANÁLISE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO - POÇO;
- LIMPEZA CAIXAS D'ÁGUA POÇO ARTESIANO;
- REVISÃO PREVENTIVA ACUMULADORES BEXIGA;
- MANUTENÇÃO PREVENTIVA DISJUNTORES DE POTÊNCIA;
- LIMPEZA DE UNIDADE GERADORA;
- MANUTENÇÃO PONTE ROLANTE;
- ANA - RELATÓRIO ANUAL CONSISTÊNCIA DE DADOS HIDROLÓGICOS;
- TROCA DE ÓLEO DO REDUTOR - PONTE ROLANTE;
- RENOVAÇÃO DE LO – FEPAM;

- COMPORTAS - MANUT. PREVENTIVA UNIDADES HIDRÁULICAS;
- GRADES - REVISÃO DAS GRADES TOMADA D'ÁGUA;
- GERADOR / PLANO PREVENTIVO ANUAL GERADOR;
- TURBINA / REVISÃO 10000 HORAS;
- TURBINA / PLANO PREVENTIVO TROCADORES DE CALOR;
- UNIDADES HIDRAULICAS / COLETA E ANÁLISE DE ÓLEO;
- UNIDADES HIDRÁULICAS LUBRIFICAÇÃO;
- LIMPEZA DAS ESTAÇÕES HIDROLÓGICAS E RÉGUAS DE NÍVEL;
- SERVIÇO AUXILIAR / PLANO PREVENTIVO BANCO DE BATERIAS;
- LIMPEZA DOS FILTROS DO SISTEMA DE ÁGUA LIMPA;
- ELETRICA / PLANO PREVENTIVA PAINEIS DE COMANDO;
- ELETRICA / PLANO PREVENTIVA PAINEIS POTÊNCIA;
- ELETRICA / PLANO PREVENTIVO ANUAL - PAINEIS BOMBAS DO POÇO;
- ELETRICA / PLANO PREVENTIVO ANUAL - PAINEIS CA DA USINA;
- ELETRICA / PAINEL COMANDO E PROTEÇÃO COMPORTAS;
- ELETRICA / PLANO PREVENTIVO ANUAL - PAINEIS UNIDADES

#### HIDRÁULICAS;

- INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA PAINEIS USINA;
- INSPEÇÃO ESTRUTURAS CIVIS;
- RENOVAÇÃO DE ALVARÁ MUNICIPAL;
- FEPAM - PLANO DE COLETA E ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA;
- PLANO LIMPEZA EXTERNA DO AR CONDICIONADO;
- MANUTENÇÃO PREVENTIVA COMPORTA;
- GERAL / LUBRIFICAÇÃO DA UNIDADE GERADORA;
- ELETRICA / PLANO SUBSTITUIÇÃO BANCO BATERIAS;
- MANUTENÇÃO DAS CANALETAS DE DRENAGEM;
- CONDUTOS FORÇADOS;
- CANAL DE ADUÇÃO;
- TÚNEL;
- GERADOR EMERGÊNCIA / MANUTENÇÃO PREVENTIVA;
- UNIDADES HIDRÁULICAS REGULADOR DE VELOCIDADE;
- CIVIL / CONTROLE RECALQUE BARRAGEM;
- CIVIL / RELATÓRIO ANUAL ESTABILIDADE BARRAGEM;
- LT 34,5 KV / PLANO DE INSPEÇÃO DA LINHA DE TRANSMISSÃO;

- LT 34,5 KV / PLANO DE PODAS E ABATES;
- INSPEÇÃO PREVENTIVA APP;
- TRANSFORMADOR - PLANO DE COLETA E ANÁLISE DE ÓLEO;
- BOMBA DE LUBRIFICAÇÃO MECÂNICA;
- TERMOGRAFIA SUBESTAÇÃO;
- MLG / LUBRIFICAÇÃO;
- MLG / PLANO PREVENTIVO ANUAL;
- CHECK-LIST DA USINA;
- CHECK-LIST DA SUBESTAÇÃO.

#### **4.4 ELABORAÇÃO DOS PLANOS DE MANUTENÇÃO**

Com a definição dos planos de manutenções que serão implementados, chega-se o momento de a engenharia fazer o estudo relacionado a cada equipamento que terá seu plano de manutenção.

Nessa etapa do processo é muito relevante levar em conta várias alternativas e metodologias para a execução das atividades de cada plano, uma das obrigatoriedades é a leitura das especificações técnicas, projetos e manuais fornecidos pelo fabricante do equipamento, com isso, a base estará formada para a elaboração do plano.

Mas preste atenção, muitos fornecedores de equipamentos já disponibilizam o plano de manutenção pronto, é nesse exato momento que tudo precisa ser bem analisado, até por isso que foi citado que deve ser feita a leitura do material disponibilizado pelo fornecedor, mas nem sempre, ou melhor na grande maioria das vezes não deve ser seguido à risca o que está escrito. Contraditório, não é?

Mas é isso mesmo, recebo um plano de manutenção pronto do fornecedor e não devo segui-lo, em primeiro momento não faz sentido. Mas o sentido começa a ficar cada dia mais claro, quando esse plano pronto começa a gerar grandes conflitos e problemas.

Já se falou aqui que a manutenção é um setor estratégico das empresas, e quando o desempenho do equipamento não condiz com as metas de produção é que as perguntas começam a surgir. Porque parar tantas vezes esse equipamento?

Porque não executar de forma conjunta essas manutenções? Preciso fazer todas essas inspeções com o equipamento desligado?

Seguindo o plano de manutenção do fabricante, será visto que na grande maioria das vezes é inviável aplicar todas as sugestões desse plano pronto, pois é um excesso de preciosismo que torna impraticável a implementação do plano.

É por tudo isso, que além das informações dos fornecedores e fabricantes devemos também levar em conta, os cases de sucesso, ou seja, a experiências com os equipamentos similares de outras plantas, onde já se tem um histórico do funcionamento e vida útil de cada componente, a legislação também deve ser seguida que algumas vezes é negligenciada pelos fornecedores.

A partir de agora, será detalhado passo-a-passo alguns dos principais planos de manutenção de uma PCH.

Nome do plano: Manutenção preventiva de 10.000 horas da turbina hidráulica.

Periodicidade: 10.000 horas.

Procedimentos de manutenção:

- **SEGURANÇA / ANÁLISE DO SERVIÇO E PREENCHIMENTO DA APR;**
- **PROCEDIMENTO DE TRANSFERÊNCIA DE RESPONSABILIDADE;**
  - TESTAR AS BOMBAS DE DRENAGEM / BOIAS DE ACIONAMENTO;
  - SOLICITAR À OPERAÇÃO - PARADA DO GRUPO E LIBERAÇÃO PARA MANUTENÇÃO;
  - INSERIR CARTÃO DE SEGURANÇA DA OPERAÇÃO;
  - RECEBER O EQUIPAMENTO DA OPERAÇÃO;
- **PROCEDIMENTO DE SEGURANÇA;**
  - ISOLAMENTO DA ÁREA;
  - SINALIZAÇÃO DO LOCAL;
  - INSTALAÇÃO DOS CARTÕES DE SEGURANÇA;
  - PREPARAÇÃO DO LOCAL E DA TAREFA E INSTALAÇÃO EPI'S EPC'S;
- **MANOBRAS DE PREPARAÇÃO PARA DESMONTAGEM;**
  - BAIXAR COMPORTAS DA SUCÇÃO;
  - ABRIR REGISTROS DE DRENO DA CAIXA ESPIRAL E DAS CURVAS DA SUCÇÃO;
  - EXTRAIR DISJUNTOR DO GRUPO - CUBÍCULO DE POTÊNCIA;

- DESPRESSURIZAR UNIDADES HIDRÁULICAS;
- DESLIGAR E BLOQUEAR DISJUNTORES DE ALIMENTAÇÃO DAS UNIDADES HIDRÁULICAS;
- INSERIR CARTÃO DE SEGURANÇA NO PAINEL DAS UNIDADES HIDRÁULICAS;
- BLOQUEAR MECANICAMENTE A VÁLVULA BORBOLETA (CASO NÃO SEJA POSSÍVEL - DESCONECTAR ALIMENTAÇÃO DA ELETROVÁLVULA DE COMANDO DA VB);
- INICIAR DRENAGEM DA TURBINA;
- INSPEÇÃO CAIXA ESPIRAL COM ABERTURA DAS ESCOTILHAS;
- **MANUTENÇÃO DA TURBINA;**
  - DESMONTAGEM DOS SENSORES DE AUTOMAÇÃO;
  - INSPEÇÃO DO EIXO;
  - ABERTURA E INSPEÇÃO MANCAL GUIA SUPERIOR;
  - MEDIÇÃO FOLGAS E DESGASTES MANCAL GUIA SUPERIOR;
  - MEDIÇÃO DA ESPESSURA DO METAL DE DESGASTE DO CASQUILHO;
  - MEDIÇÃO DA ESPESSURA DO METAL DE DESGASTE DOS PATINS;
  - ABERTURA E INSPEÇÃO MANCAL INFERIOR;
  - MEDIÇÃO DE FOLGAS E DESGASTE MANCAL INFERIOR;
  - MEDIÇÃO DA ESPESSURA DO METAL DE DESGASTE DO CASQUILHO;
  - MEDIÇÃO DA ESPESSURA DO METAL DE DESGASTE DOS PATINS;
  - VERIFICAR EMBUCHAMENTO PÁS DIRETRIZES E MANCAIS BRAÇOS DO ANEL REGULAGEM;
  - MEDIÇÃO DO DESGASTE DA PISTA DO SELO MECÂNICO;
  - MEDIÇÃO DE DESGASTE DO ANEL DE CARVÃO DO SELO MECÂNICO;
  - INSPEÇÃO ROTOR – CAVITAÇÃO;
  - APLICAÇÃO DE LÍQUIDO PENETRANTE E LÍQUIDO REVELADOR – ROTOR;

- MEDIÇÃO FOLGAS - PÁS DIRETRIZES (ANEXAR TABELA COM VALORES);

- CURVA DA SUCÇÃO - INSPEÇÃO CAVITAÇÃO;

- VÁLVULA BORBOLETA - INSPEÇÃO ESTANQUEIDADE;

- MONTAGEM;

**- MANOBRAS DE LIBERAÇÃO DA TURBINA;**

- CONFIRMAR FECHAMENTO DAS ESCOTILHAS;

- CONFIRMAR FECHAMENTO DOS REGISTROS DE DRENO DA CAIXA ESPIRAL E DAS CURVAS DA SUCÇÃO;

- INICIAR ENCHIMENTO DA TURBINA - ABERTURA DO BY-PASS;

- DESBLOQUEAR MECANICAMENTE A VÁLVULA BORBOLETA;

- REMOVER AS COMPORTAS DA SUCÇÃO;

- CONFIRMAR INEXISTÊNCIA DE PESSOAS TRABALHANDO NOS CIRCUITOS ELÉTRICO/HIDRÁULICO;

- DESBLOQUEAR E LIGAR DISJUNTORES DE ALIMENTAÇÃO DAS UNIDADES HIDRÁULICAS;

- PRESSURIZAR UNIDADES HIDRÁULICAS;

- CONFIRMAR INEXISTÊNCIA DE VAZAMENTOS NA REDE HIDRÁULICA;

- INSERIR O DISJUNTOR DO GRUPO - CUBÍCULO DE POTÊNCIA;

**- PROCEDIMENTO DE TESTE SEM CARGA;**

- LIGAR UNIDADES HIDRÁULICAS, CONFERIR PRESSÕES E CIRCULAÇÃO DO ÓLEO;

- EFETUAR GIRO MECÂNICO E FAZER INSPEÇÕES NA TURBINA;

- 25% ROTAÇÃO NOMINAL - FAZER INSPEÇÕES (MÁXIMO 3 MINUTOS NESSA ROTAÇÃO);

- 50% ROTAÇÃO NOMINAL - FAZER INSPEÇÕES;

- 75% ROTAÇÃO NOMINAL - FAZER INSPEÇÕES;

- 100% ROTAÇÃO NOMINAL - FAZER INSPEÇÕES;

**- PROCEDIMENTO DE TESTE COM CARGA;**

- CONFIRMAR QUE O DISJUNTOR DO GRUPO FOI INSERIDO;

- 25% POTÊNCIA NOMINAL - FAZER INSPEÇÕES;

- 50% POTÊNCIA NOMINAL - FAZER INSPEÇÕES;

- 75% POTÊNCIA NOMINAL - FAZER INSPEÇÕES;

- 100% POTÊNCIA NOMINAL - FAZER INSPEÇÕES;
- **INICIAR OPERAÇÃO ASSISTIDA - (24 HORAS);**
- **ENTREGA DO EQUIPAMENTO PARA A OPERAÇÃO.**

Nome do plano: Manutenção preventiva do gerador.

Periodicidade: 365 dias.

Procedimentos de manutenção:

- **SEGURANÇA / ANÁLISE DO SERVIÇO E PREENCHIMENTO DA APR;**
- **PROCEDIMENTO DE TRANSFERÊNCIA DE RESPONSABILIDADE;**
  - SOLICITAR À OPERAÇÃO - PARADA DO GRUPO E LIBERAÇÃO PARA MANUTENÇÃO;
  - INSERIR CARTÃO DE SEGURANÇA DA OPERAÇÃO;
  - RECEBER O EQUIPAMENTO DA OPERAÇÃO;
- **PROCEDIMENTO DE SEGURANÇA;**
  - ISOLAMENTO DA ÁREA;
  - SINALIZAÇÃO DO LOCAL;
  - INSTALAÇÃO DOS CARTÕES DE SEGURANÇA;
  - PREPARAÇÃO DO LOCAL E DA TAREFA E INSTALAÇÃO EPI'S EPC'S;
- **MANUTENÇÃO DO GERADOR;**
  - ABRIR AS TAMPAS LATERAIS DO GERADOR E EFETUAR LIMPEZA INTERNA A SECO;
  - ROTOR - MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO / IP E IA;
  - ESTATOR - MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO / IP E IA;
  - DIODOS - INSPEÇÃO E TESTE DOS DIODOS;
  - VARISTORES - INSPEÇÃO DOS VARISTORES;
  - ABERTURA E INSPEÇÃO MANCAL GUIA SUPERIOR;
  - MEDIÇÃO FOLGAS E DESGASTES MANCAL GUIA SUPERIOR;
  - MEDIÇÃO DA ESPESSURA DO METAL DE DESGASTE DO CASQUILHO;

- MEDIÇÃO DA ESPESSURA DO METAL DE DESGASTE DOS PATINS;
- ABERTURA E INSPEÇÃO MANCAL INFERIOR;
- MEDIÇÃO DE FOLGAS E DESGASTE MANCAL INFERIOR;
- MEDIÇÃO DA ESPESSURA DO METAL DE DESGASTE DO CASQUILHO;
- MEDIÇÃO DA ESPESSURA DO METAL DE DESGASTE DOS PATINS;
- VERIFICAÇÃO DO ALINHAMENTO DO CONJUNTO;
- INSPEÇÃO, LIMPEZA E REVISÃO DAS CONEXÕES DO RESISTOR DE ATERRAMENTO;
- REAPERTO DOS PARAFUSOS DE FIXAÇÃO DO GERADOR;
- VERIFICAR FIXAÇÃO DAS BOBINAS (ESTATOR, ROTOR, EXCITATRIZ);
- LIMPEZA DAS CAIXAS DE LIGAÇÕES;
- LIMPEZA DAS CANALETAS DOS CABOS DE SAÍDA DO GERADOR;
- REVISÃO E REAPERTO DE TODAS AS CONEXÕES (CABOS DE POTÊNCIA, COMANDO E SENSORES);
- REVISAR SENSORES DO GERADOR, CABOS E CONEXÕES;
- **ENTREGA DO EQUIPAMENTO PARA A OPERAÇÃO.**

Nome do plano: Manutenção preventiva da unidade hidráulica de controle da turbina,

Periodicidade: 365 dias.

Procedimentos de manutenção:

- **SEGURANÇA / ANÁLISE DO SERVIÇO E PREENCHIMENTO DA APR;**
- **PROCEDIMENTO DE TRANSFERÊNCIA DE RESPONSABILIDADE;**
  - SOLICITAR À OPERAÇÃO - PARADA DO GRUPO E LIBERAÇÃO PARA MANUTENÇÃO;
  - INSERIR CARTÃO DE SEGURANÇA DA OPERAÇÃO;
  - RECEBER O EQUIPAMENTO DA OPERAÇÃO;
- **PROCEDIMENTO DE SEGURANÇA;**

- ISOLAMENTO DA ÁREA;
- SINALIZAÇÃO DO LOCAL;
- INSTALAÇÃO DOS CARTÕES DE SEGURANÇA;
- PREPARAÇÃO DO LOCAL E DA TAREFA E INSTALAÇÃO EPI'S EPC'S;
- **MANUTENÇÃO DA UHCT;**
  - DESLIGAR DISJUNTOR MOTOR DA UNIDADE;
  - BOMBA DE ENGRENAGENS - DESMONTAR, LIMPAR, VERIFICAÇÃO DE ENGRENAGENS E VEDAÇÕES;
  - ELETROVÁLVULAS - LIMPAR, MEDIR FOLGAS, VERIFICAR FUNCIONAMENTO;
  - RESERVATÓRIO - DRENAGEM, LIMPEZA GERAL INTERNA;
  - TUBULAÇÃO HIDRÁULICA - DESMONTAGEM, LIMPEZA, *FLUSCHING*, VERIFICAÇÃO DE VEDAÇÕES E CONEXÕES;
  - ÓLEO - FILTRAR OU SUBSTITUIR, CONFORME ANÁLISE;
  - SUBSTITUIR FILTRO DE RETORNO DE ÓLEO;
  - LIMPEZA FILTRO DE AR E FILTRO DE SUÇÃO;
  - MOTORES DE PRESSURIZAÇÃO - LIMPEZA INTERNA, VERIFICAR ROLAMENTOS E BOBINADO;
  - VERIFICAR PRÉ-CARGA DO ACUMULADOR BEXIGA;
- **ENTREGA DO EQUIPAMENTO PARA A OPERAÇÃO.**

#### **4.5 PLANEJAMENTO ANUAL DE MANUTENÇÃO - PAM**

É o processo final, agora que já foram cadastrados os ativos, elaborada a árvore de aplicações, definidos e detalhados os planos de manutenções, temos todas as informações necessárias para a construção do planejamento anual da manutenção.

Portanto, as manutenções programadas estarão todas listadas podendo conter previsões de custos que servirá como base para o planejamento financeiro anual do empreendimento.

A figura 18 abaixo ilustrada, mostra o PAM pronto para ser apresentado ao empreendimento.

Figura 18 – Planejamento Anual de Manutenção.

PCH TIO HUGO - Planejamento Anual de Manutenção - PAM 2024																						
MACRO	DESCRIÇÃO DA MANUTENÇÃO	TIPO DE MANUTENÇÃO	PERÍODO	SETOR EXECUTANTE	VALOR PREVISTO	ORD. SERV.	PARADA	MÊS PREVISTO														
								R	C	S	N	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N
GERAL	Plano 001 - GERAL - PREVENTIVA SEMESTRAL - POÇO DRENAGEM	PREVENTIVA	182 dias	Manutenção	R\$ -	2	0	0	x													
	Plano 006 - GERAL - PLANO DE DESINSETIZAÇÃO CASA DE MÁQUINAS	PREVENTIVA	182 dias	Subcontratada	R\$ 3.000,00	2	0	0	x													
	Plano 007 - GERAL - Plano Manutenção Preventiva Compressores de Serviço	PREVENTIVA	182 dias	Manutenção	R\$ -	4	0	0	x													
	Plano 014 - GERAL - PLANO DE MANUTENÇÃO ANUAL PONTE ROLANTE	PREVENTIVA	364 dias	Manutenção	R\$ -	1	0	0	x													
	Plano 650 - GERAL - LIMPEZA DOS FILTROS DO SISTEMA DE ÁGUA LIMPA	PREVENTIVA	182 dias	Manutenção	R\$ -	2	0	0	x													
	Plano 653 - ELÉTRICA - Painel do Retificador de Baterias e Banco de Baterias	PREVENTIVA	90 dias	Manutenção	R\$ -	4	0	0	x													
	Plano 658 - UNIDADES HIDRAULICAS / Coleta e Análise de óleo	PREVENTIVA	182 dias	Manutenção	R\$ 5.000,00	2	0	0	x													
	Plano 660 - LIMPEZA DAS ESTAÇÕES HIDROLÓGICAS E RÉGUAS DE NÍVEL	PREVENTIVA	90 dias	Manutenção	R\$ -	8	0	0	x													
	Plano 668 - INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA PAINÉIS USINA	PREDITIVA	182 dias	Manutenção	R\$ -	2	0	0	x													
	Plano 671 - PLANO DE MANUTENÇÃO DAS CANALETAS DE DRENAGEM	PREVENTIVA	90 dias	Manutenção	R\$ -	4	0	0	x													
	Plano 677 - LT 69 kV / Plano de Podas e Abates	PREVENTIVA	364 dias	Subcontratada	R\$ 5.000,00	1	0	0	x													
	Plano 678 - TRANSFORMADOR - Plano de Coleta e Análise de Óleo	PREVENTIVA	182 dias	Manutenção	R\$ 1.000,00	2	0	0	x													
	Plano 680 - LIMPEZA VAZÃO SANITÁRIA - TUBOS	PREVENTIVA	182 dias	Manutenção	R\$ -	2	0	0	x													
	Plano 681 - MLG / LUBRIFICAÇÃO	PREVENTIVA	182 dias	Manutenção	R\$ -	2	0	0	x													
	Plano 683 - CHECK-LIST	PREDITIVA	28 dias	Manutenção	R\$ -	12	0	0	x	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
	Plano 684 - CHECK-LIST SE	PREDITIVA	28 dias	Manutenção	R\$ -	12	0	0	x	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
	Plano 686 - GERADOR DE EMERGÊNCIA / Manutenção Preventiva	PREVENTIVA	364 dias	Manutenção	R\$ 2.000,00	1	0	0	x													
	Plano 687 - Inspeção LT 69 kV	PREVENTIVA	364 dias	Manutenção	R\$ -	1	0	0	x													
	Plano 690 - ELÉTRICA - Plano Preventivo Painéis Cubículo Potência	PREVENTIVA	364 dias	Manutenção	R\$ -	1	0	0	x													
	Plano 692 - GERAL - Manutenção Preventiva da Unidade Hidráulica da Comporta	PREVENTIVA	364 dias	Manutenção	R\$ 3.000,00	1	0	0	x													
Plano 694 - SUBESTAÇÃO / Plano Preventivo - Testes Elétricos / Limpeza	PREVENTIVA	728 dias	Subcontratada	R\$ 10.000,00	1	0	0	x														
Plano 960 - TERMOGRAFIA SUBESTAÇÃO	PREVENTIVA	182 dias	Manutenção	R\$ -	2	0	0	x														
UG1	Plano 013 - GERAL - PLANO DE LIMPEZA DE UNIDADE GERADORA	PREVENTIVA	182 dias	Manutenção	R\$ -	2	0	0	x													
	Plano 655 - UHCT / Preventiva Anual	PREVENTIVA	364 dias	Manutenção	R\$ 3.000,00	1	0	0	x													
	Plano 656 - UHLUB / Preventiva Anual	PREVENTIVA	364 dias	Manutenção	R\$ 3.000,00	1	0	0	x													
	Plano 651 - ELÉTRICA - Plano Preventivo Painel Comando e Proteção UG1	PREVENTIVA	364 dias	Manutenção	R\$ -	1	0	0	x													
	Plano 657 - TURBINA / PLANO PREVENTIVO TROCADORES DE CALOR	PREVENTIVA	182 dias	Manutenção	R\$ -	4	0	0	x													
	Plano 669 - GERAL / Lubrificação da Unidade Geradora	PREVENTIVA	90 dias	Manutenção	R\$ 500,00	4	0	0	x													
	Plano 685 - SISTEMA DE FREIOS	PREVENTIVA	119 dias	Manutenção	R\$ -	3	0	0	x													
	Plano 688 - GERADOR / Preventiva Anual G1	PREVENTIVA	364 dias	Manutenção	R\$ 1.000,00	1	0	0	x													
	Plano 690 - ELÉTRICA - Plano Preventivo Painéis Cubículo Potência	PREVENTIVA	364 dias	Manutenção	R\$ -	1	0	0	x													
	Plano 693 - ELÉTRICA / Plano Preventivo Painel Unidades Hidráulicas	PREVENTIVA	364 dias	Manutenção	R\$ -	2	0	0	x													
UG2	Plano 013 - GERAL - PLANO DE LIMPEZA DE UNIDADE GERADORA	PREVENTIVA	182 dias	Manutenção	R\$ -	2	0	0	x													
	Plano 655 - UHCT / Preventiva Anual	PREVENTIVA	364 dias	Manutenção	R\$ 3.000,00	1	0	0	x													
	Plano 656 - UHLUB / Preventiva Anual	PREVENTIVA	364 dias	Manutenção	R\$ 3.000,00	1	0	0	x													
	Plano 651 - ELÉTRICA - Plano Preventivo Painel Comando e Proteção UG1	PREVENTIVA	364 dias	Manutenção	R\$ -	1	0	0	x													
	Plano 657 - TURBINA / PLANO PREVENTIVO TROCADORES DE CALOR	PREVENTIVA	182 dias	Manutenção	R\$ -	4	0	0	x													
	Plano 669 - GERAL / Lubrificação da Unidade Geradora	PREVENTIVA	90 dias	Manutenção	R\$ 500,00	4	0	0	x													
	Plano 685 - SISTEMA DE FREIOS	PREVENTIVA	119 dias	Manutenção	R\$ -	3	0	0	x													
	Plano 688 - GERADOR / Preventiva Anual G1	PREVENTIVA	364 dias	Manutenção	R\$ 1.000,00	1	0	0	x													
	Plano 690 - ELÉTRICA - Plano Preventivo Painéis Cubículo Potência	PREVENTIVA	364 dias	Manutenção	R\$ -	1	0	0	x													
	Plano 693 - ELÉTRICA / Plano Preventivo Painel Unidades Hidráulicas	PREVENTIVA	364 dias	Manutenção	R\$ -	2	0	0	x													
<b>TOTAL</b>					<b>R\$ 43.000,00</b>	<b>109</b>	<b>0</b>	<b>0</b>														

Fonte: Autor (2023).

## 5. CONCLUSÃO

A desorganização do setor de manutenção, a falta de um padrão a adotar no momento de criação dos planos de manutenção, pode decretar o fim de um empreendimento economicamente, esse estudo reuniu uma série de informações e opiniões importantes para minimizar os erros para a implementação dos planos de manutenção.

O histórico dos equipamentos é de suma importância para uma gestão confiável do empreendimento, esse controle pode ser via software (cenário ideal) ou por planilhas eletrônicas, essas informações são necessárias para o desenvolvimento de uma melhoria contínua nos planos de manutenções, pois suas periodicidades precisam ser ajustadas ao longo do tempo, de acordo com a vida útil dos ativos.

Manutenção é estratégia, a visão que é despesa ficou no passado, portanto, o setor de manutenção precisa estar completamente alinhado com a gestão estratégica da empresa, deve ter metas e objetivos a curto, médio e longo prazo.

Uma usina hidrelétrica (CGH, PCH ou UHE) vai entrar em operação, então é necessário que todos os planos de manutenção preventivos e preditivos estejam elaborados e eles formam o planejamento anual de manutenção, com o estudo abordado aqui existem vários passos a serem seguidos, evitando assim o desperdício de mão-obra e receita, precisa-se desprender-se dos planos prontos vindos dos fabricantes e colocar a engenharia em prática para extrair a maior produção e disponibilidade possível de sua planta.

Analise e crie os melhores planos de manutenção, com o tempo os ajustes vão acontecendo e sempre precisarão ser executados, a manutenção anda em conjunto com a produção, não são adversárias, por isso lembre que a manutenção é um setor estratégico.

## 6. REFERENCIAIS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução nº 674, de 11 de agosto de 2015**. Distrito Federal, 2015.

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

CRUZ, P.T. **100 barragens brasileiras**. São Paulo: Oficina de Textos, 1996.

KARDEC, A.; NASCIF J. **Manutenção Preditiva: fator de sucesso na gestão empresarial**. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2013.

MARSAL, R.J.; NUÑEZ, D.R. **Presas de tierra y enrocamento**. Ciudad de México: Limusa, 1975.

TELES, Jhonata. **Planejamento e controle da manutenção**. 1. ed. Brasília: Engeteles editora, 2019.

TELES, Jhonata. **Bíblia do RCM**. 1. ed. Brasília: Engeteles editora, 2019.

PEREIRA, Mário Jorge. **Engenharia de manutenção – Teoria e prática**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna Ltda, 2009.

PEREIRA, Geraldo M. **Projeto de USINAS HIDRELÉTRICAS passo a passo**. 1. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2015.