



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

CLEY CLÓVIS MISTURA

**ESTUDO DOS ELEMENTOS E CARACTERÍSTICAS DE PEQUENAS
CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NA REGIÃO SERRANA**

LAGES
2018

CLEY CLÓVIS MISTURA

**ESTUDO DOS ELEMENTOS E CARACTERÍSTICAS DE PEQUENAS
CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NA REGIÃO SERRANA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Universitário UNIFACVEST como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Rodrigo Botan
Co-orientador: Alisson Oliveira.

LAGES
2018

CLEY CLÓVIS MISTURA

**ESTUDO DOS ELEMENTOS E CARACTERÍSTICAS DE PEQUENAS
CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NA REGIÃO SERRANA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Centro Universitário UNIFACVEST como
parte dos requisitos para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Rodrigo Botan
Co-orientador: Alisson Oliveira

Lages, SC ____/____/2018 Nota _____

Alisson Oliveira

LAGES
2018

“Não basta ensinar ao homem uma especialidade, porque se tornará assim uma máquina utilizável e não uma personalidade. É necessário que adquira um sentimento, senso prático daquilo que vale a pena ser empreendido, daquilo que é belo, do que é moralmente correto”.

Albert Einstein

RESUMO

As pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) tem tomado destaque no panorama nacional por se caracterizarem como um bom investimento no tocante às futuras demandas energéticas. Embora nossa matriz energética hídrica seja bem superior quando comparada a outros países, ainda há muito a se utilizar por meio das PCHs, por isso, este trabalho busca apresentar a viabilidade de instalações destas pequenas centrais pelos afluentes do rio Uruguai, principalmente os que se localizam dentro da Região Serrana e seus 31 municípios. Como metodologia, foi utilizado o método de pesquisa de natureza básica, com objetivos exploratórios e procedimentos bibliográficos, caracterizado pela revisão bibliográfica. A fundamentação teórica do trabalho é consistente, e consegue apresentar de forma satisfatória os objetivos destinados a este trabalho, que se baseiam em: compreender o panorama energético nacional e inserir as pequenas centrais hidrelétricas enquanto método eficaz para satisfazer a demanda energética dos próximos anos; além de problematizar a implementação de novas usinas hidrelétricas enquanto matriz energética mais adequada à realidade brasileira e também enquanto relação custo-benefício; compreender como se constitui a construção de uma central hidrelétrica desde os processos documentais até as estruturas mecânicas da matriz, dando ênfase às PCHs; e inserir a Região Serrana de Santa Catarina como meio propício à implantação de novas PCHs. Como exemplo para a construção de novas usinas denominadas PCHs, utilizou-se a PCH Ado Popinhak, cujo elementos como sua queda, vazão e potência estão de acordo com a maioria das PCHs a serem instaladas na Região Serrana.

Palavras-chave: Usinas Hidrelétricas. Rio Uruguai. Região Serrana. PCHs.

ABSTRACT

Small hydroelectric plants (SHPs) have been prominent in the national scenario because they are characterized as a good investment in future energy demands. Although our water energy matrix is much higher than in other countries, there is still a lot to be used by the SHPs, so this work seeks to present the viability of these small power plants by the tributaries of the Uruguay River, especially those located within the Mountain Region and its 31 municipalities. As methodology, the basic research method was used, with exploratory objectives and bibliographic procedures, characterized by the bibliographic review. The theoretical basis of the work is consistent, and succeeds in presenting satisfactorily the objectives for this work, which are based on: understanding the national energy scene and inserting small hydroelectric plants as an efficient method to meet energy demand in the coming years; besides problematizing the implementation of new hydroelectric plants as an energy matrix more appropriate to the Brazilian reality and also as a cost-benefit relation; understand how the construction of a hydroelectric plant is constituted from the documentary processes to the mechanical structures of the matrix, with emphasis on SHPs; To insert the Serrana Region of Santa Catarina as a propitious medium for the implantation of new SHPs, taking as an example the PCH Ado Popinhak. As an example for the construction of new plants called SHPs, the SHP “Ado Popinhak” was used, whose elements such as its drop, flow and power are in agreement with the majority of the SHPs to be installed in the “Região Serrana”.

Keywords: Hydroelectric Power Plants. Uruguay River. “Região Serrana”. SHPs.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Componentes de uma usina hidrelétrica.....	18
Figura 2 – Componentes essenciais de uma turbina.....	21
Figura 3 – Modelo de mancal.....	22
Figura 4 – Turbina Pelton.....	23
Figura 5 – Rotor Pelton e turbina completa.....	24
Figura 6 – Turbina Francis.....	25
Figura 7 – Turbina Kaplan.....	26
Figura 8 – Interface do <i>software</i> Turbosoft.....	29
Figura 9 – Despacho de Aprovação do enquadramento como PCH.....	35
Figura 10 – Etapas e registros para regularização e operação.....	37
Figura 11 – Imagem de um reservatório e barragem.....	38
Figura 12 – Imagem de um vertedouro e canal de adução.....	39
Figura 13 – Imagem de uma tomada d'água e conduto forçado.....	39
Figura 14 – Imagem de uma casa de força e subestação.....	40
Figura 15 – Mesorregião catarinense.....	41
Figura 16 – Municípios da Região Serrana.....	42
Figura 17 – Usina Hidrelétrica Salto Caveiras.....	43
Figura 18 – Rio Uruguai	44
Figura 19 – Regiões hidrográficas brasileiras.....	45
Figura 20 – Criticidade na demanda/disponibilidade hídrica do rio Uruguai.....	47
Figura 21 – Localização da PCH Ado Popinhak.....	48
Figura 22 – PCH Ado Popinhak.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Instalações com turbinas Pelton, Francis ou Kaplan.....	27
Tabela 2 – Aplicação dos tipos de turbina.....	28
Tabela 3 – Classificação em Micro, Mini e Pequenas Centrais Hidrelétricas.....	32

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Etapas de uma Pequena Central Hidrelétrica.....	36
Quadro 2 – Localização e potência das usinas hidrelétricas em Santa Catarina.....	42
Quadro 3 – Usinas hidrelétricas da bacia do rio Uruguai.....	46

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Custo de produção de energia elétrica no Brasil.....	16
Gráfico 2 – Panorama da matriz energética elétrica.....	30

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 JUSTIFICATIVA.....	12
1.2 OBJETIVOS.....	12
1.2.1 Gerais.....	12
1.2.2 Específicos.....	13
1.3 APLICAÇÕES.....	13
1.4 METODOLOGIA.....	13
2 AS MATRIZES ENERGÉTICAS HIDRÁULICAS.....	15
2.1 COMPONENTES DE UMA UHE.....	17
2.2 AS TURBINAS HIDRÁULICAS: PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO.....	19
2.2.1 Tipos de Turbinas.....	23
2.2.2 Exemplos de Aplicação das Turbinas Hidráulicas.....	27
3 PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS E PROCEDIMENTOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO E MANUTENÇÃO	30
3.1 TIPOS DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS.....	33
3.2 PROCEDIMENTOS PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA PCH.....	34
3.3 PROCEDIMENTOS PARA MANUTENÇÃO DE UMA PCH.....	38
4 EXEMPLOS DE PCHs NA REGIÃO SERRANA AO LONGO DOS AFLUENTES DO RIO URUGUAI.....	41
4.1 MODELO DE INSTALAÇÃO DE UMA PCH: USINA ADO POPINHAK.....	48
5 CONCLUSÃO.....	53
REFERÊNCIAS.....	55

1 INTRODUÇÃO

Nosso país possui uma grande porcentagem de energia elétrica advinda de usinas hidrelétricas, e seu número tende a se alterar em virtude da demanda que se aproxima nos próximos anos. Ainda, baseada na necessidade de expansão de matrizes que estejam de acordo com questões relativas à sustentabilidade, proteção ambiental, custo social e segurança energética, as UHE continuam sendo a melhor escolha, mesmo atingindo significativamente a fauna e a flora onde se inserirá.

De acordo com Moraes (2015), o potencial hidrelétrico brasileiro possui estimativa de 260 GW, da qual 40,5% localiza-se na Bacia do Rio Amazonas, 23% na Bacia do Rio Paraguai, 10,5% na Bacia do Rio Tocantins e 10% na Bacia do Rio São Francisco, entre outros. Assim, embora a Bacia do Rio Uruguai não tenha um potencial tão grande quanto as bacias supracitadas, este, ainda se faz de grande importância para a implantação de novas usinas hidrelétricas, Principalmente aquelas caracterizadas como Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCHs.

O que se observa é que as Pequenas Centrais Hidrelétricas tomam espaço dentro do panorama energético brasileiro devido a sua relação com baixo orçamento, produção e sustentabilidade, o que garante que as mesmas sejam bem vistas frente à realidade socio-ambiental e política brasileira. Inclui-se como locais de instalação delas, a bacia do Rio Uruguai, que devido a sua expansão, localização e formato, permite que as mesmas sejam instaladas, contribuindo para o crescimento do setor energético, empregatício e financeiro do local.

1.1 JUSTIFICATIVA

A produção deste trabalho se justifica pelo fato de encontrarmos-nos, ainda, em desenvolvimento no que tange a implementação de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) nas bacias hidrográficas brasileiras, pois todas elas, inclusive o rio Uruguai apresenta diversos locais aptos à implantação de PCHs em seus rios e afluentes, não por termos poucas matrizes hídricas, mas por ainda termos um grande potencial a ser explorado neste setor. Dessa forma, se faz necessário agregar conhecimento teórico acerca do potencial das matrizes hidráulicas denominadas PCHs, porque estas têm sido vistas com bons olhos no que tange a relação custo-benefício em sua implantação.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Compreender o panorama energético nacional e inserir as pequenas centrais hidrelétricas enquanto método eficaz para satisfazer a demanda energética dos próximos anos.

1.2.1 Específicos

1) Problematizar a implementação de novas usinas hidrelétricas enquanto matriz energética mais adequada à realidade brasileira e também enquanto relação custo-benefício; 2) Compreender como se constitui a construção de uma central hidrelétrica desde os processos documentais até as estruturas mecânicas da matriz, dando ênfase às PCHs; 3) Inserir a Região Serrana de Santa Catarina como meio propício à implantação de novas PCHs, tendo como exemplo a PCH Ado Popinhak.

1.3 APLICAÇÕES

Este trabalho aborda questões da realidade brasileira no que consiste as matrizes hídricas e sua geração de energia; mais enfaticamente na implementação de PCHs no rio Uruguai e seus afluentes dentro da Serra Catarinense (SC) como forma de auxiliar na demanda por energia elétrica, através de uma matriz de fonte limpa e renovável. Para isso, se enfatiza a implantação de matrizes hidráulicas pelos afluentes do rio Uruguai, tendo como base a central hidrelétrica Ado Popinhak.

1.4 METODOLOGIA

Para que os objetivos acima mencionados possam ser atingidos, será utilizado uma metodologia de pesquisa definida por Gil (1999) como sendo de natureza básica, o qual não apresenta finalidades imediatas e produz conhecimento a ser utilizado em outras pesquisas; objetivos exploratórios, por envolver levantamento bibliográfico afim de obter mais informações de um determinado assunto; abordagem qualitativa, onde o ambiente é fonte direta para coleta de dados, interpretação de fenômenos e atribuição de significados; e procedimentos

bibliográficos, que coloca o pesquisador em contato com publicações já existentes, seja de livros, revistas, artigos acadêmico-científicos, *online* etc.

Os principais autores utilizados para a produção desta monografia – mas não se limitando a eles – foram: Moraes (2015), Albarello (2014), Wolski *et al.* (2014), Soares Jr. (2013), Dias (2014), Nahas (2010) e Siqueira (2006).

Por fim, o trabalho que se segue, busca apresentar de forma clara o tema mencionado acima, e divide-se em seções que iniciam conceituando as matrizes energéticas hidráulicas dentro do panorama nacional, seguindo com a apresentação dos componentes de uma matriz hidráulica, dando ênfase, posteriormente, aos principais tipos de turbina. Na seção seguinte, as PCHs são conceituadas, desde a sua necessidade, até o método para a implementação e manutenção destas. A seção subsequente apresenta as propostas de implementação de PCHs dentro da mesorregião denominada “Região Serrana” ao longo dos afluentes que desaguam no rio Uruguai, para isso, como modelo de construção de PCH, utilizou-se a central “Ado Popinhk”, uma pequena central hidrelétrica localizada na Região Serrana. A seção de considerações finais, apresenta os resultados obtidos após a produção deste trabalho.

2 AS MATRIZES ENERGÉTICAS HIDRÁULICAS

Antes de enfatizarmos as questões referentes às matrizes hidráulicas é importante discutir acerca do setor elétrico brasileiro, que se encontra em um constante crescimento e buscar novas implementações de matrizes energéticas é algo que já deve estar sendo planejado.

Corroborando com o fato acima, a Agência Nacional de Energia Elétrica ressalta que “o setor elétrico brasileiro está em permanente evolução, fruto tanto de mudanças legais e normativas quanto do avanço tecnológico” (BRASIL, 2008, p. 9).

Outro órgão público, em descritos mais recentes, o Ministério do Planejamento, também relata que...

O Brasil vai precisar investir muito em seu parque gerador elétrico até 2050 para dar conta do aumento de demanda que virá. Segundo estudo divulgado semana passada pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o consumo brasileiro vai triplicar, chegando a 1.624 terawatt-hora (Twh). Isso significa que teremos em 36 anos um consumo de eletricidade similar ao que é verificado na União Europeia hoje, de cerca de 7 mil kwh por habitante, por ano. O estudo, Demanda de Energia 2050, revela ainda que o consumo total por energia no país, incluindo eletricidade, gasolina e etanol, entre outros, dobrará no período (BRASIL, 2014).

Pautado nesta realidade, é preciso pensar em novas matrizes energéticas que correspondam às necessidades populacionais, ambientais e com um investimento barato no que tange a relação custo-benefício. Por este panorama é que se discute a implementação de outros parques hidrelétricos, visto que menos de 30% da potência hidráulica brasileira é aproveitada.

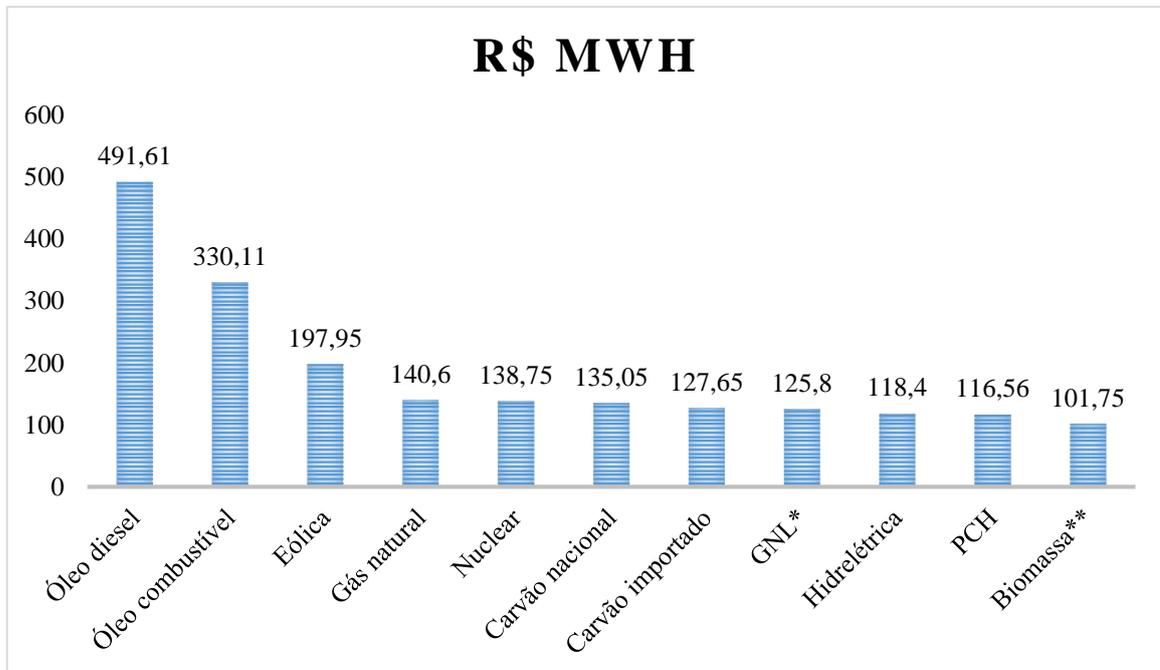
Muito embora a implementação de novas UHE não seja bem vista por alguns devido ao seu tamanho e a necessidade de destruição de parte da fauna e da flora que serão alagadas para a construção da represa, ela é, ainda, a matriz mais estudada em termos de implementação e eficiência¹, baixo custo e baixa emissão de gases causadores do efeito estufa². Com isso, subentende-se que é importante aumentar a quantidade de matrizes energéticas que sejam compatíveis com a visão de proteção socioambiental, mas que atenda às necessidades da população, e, de acordo com o gráfico abaixo, podemos confirmar que as usinas hidrelétricas ainda são as melhores alternativas.

¹ Nicoletti (2018)

² Frasso e Meniconi (2011)

Estima-se também que em seis anos (de 2014 a 2020) a capacidade instalada nas fontes hidráulicas passe de 87 GW para 118 GW, sendo que o potencial estimado é cerca de 260GW (MORAIS, 2015).

Gráfico 1 – Custo de produção de energia elétrica no Brasil



Fonte: PSR (2008, *apud* BRASIL, 2008, p. 30). (*) Gás liquefeito, (**) Bagaço de cana.

De acordo com Brasil (2008), as UHE ainda possuem um Sistema de Interligação, SIN, composto por cerca de 89,2 mil quilômetros de rede o que possibilita a troca de energia entre as regiões. Este sistema SIN, corresponde ao Sistema Inerligado Nacional, um sistema de coordenação e controle, formado pelas empresas das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte. Foi criado em 1998 através da resolução 351/98 do Ministério das Minas e Energia, em conformidade com a Lei 9.648/98 e o Decreto 2.655/98.

Esta interligação se faz importante devido aos períodos de estiagem de uma região, pois, elas permitem que a localidade em que os reservatórios estão mais cheios envie energia elétrica para os que estão mais vazios, “permitindo, com isso, a preservação do estoque de energia elétrica represado sob a forma de água. Esta troca ocorre entre todas as regiões conectadas entre si” (BRASIL, 2008, p. 30).

2.1 COMPONENTES DE UMA UHE

Uma usina hidroelétrica é um conjunto de obras e equipamentos cuja finalidade é gerar energia elétrica através do uso da potência hidráulica de um rio e este potencial pode ser de três formas: De forma natural, quando o desnível está concentrado numa cachoeira por exemplo. Através de uma barragem, quando pequenos desníveis são concentrados na altura da barragem. Através do desvio do rio do seu leito natural, os pequenos desníveis são concentrados nesse desvio (SOARES JR., 2013).

Para Faria (2006), as usinas hidrelétricas são sistemas que transformam a energia contida na correnteza dos rios, em energia cinética que irá movimentar uma turbina e, esta, um gerador que, por fim, irá gerar energia elétrica. A construção das usinas hidrelétricas se dá sempre em locais onde podem ser aproveitados os desníveis naturais dos cursos dos rios e deve-se ter uma vazão mínima para garantir a produtividade.

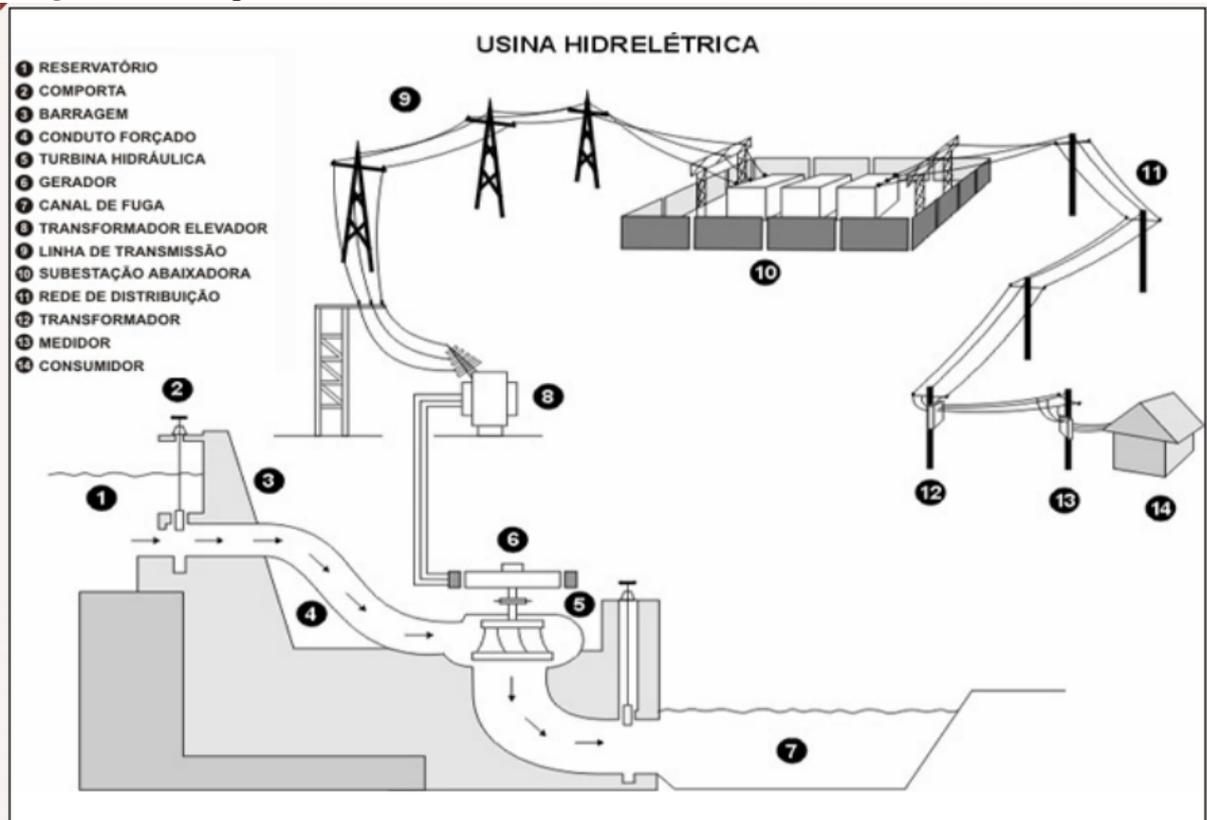
Ainda, de acordo com o potencial de geração de energia podemos classificar as hidrelétricas em: CGH – Centrais Geradoras Hidrelétricas, PCH – Pequenas Centrais Hidrelétricas, UHE – Usina Hidrelétrica de Energia.

Independente da classificação das hidrelétricas, o princípio de funcionamento e estrutura são praticamente as mesmas, possui um andar para o resfriamento e outros para os demais segmentos: a água, armazenada em um reservatório (represa), passa pela turbina fazendo-a girar. A turbina por sua vez, está acoplada a um gerador que transforma a energia da turbina em energia elétrica.

Reservatório ou lago- lugar onde a água do rio é represada pela barragem. • Barragem-barreira física construída com a finalidade de acumular água. • Vertedouro- permite controlar o nível de água no reservatório em períodos de cheia, podendo ter ou não comportas. • Tomada d'água- estrutura que permite a condução da água do reservatório para a adução nas turbinas. É equipada com comportas de fechamento e grade de proteção. • Conduto forçado- canal que conduz a água sobre pressão para as turbinas, podendo ser externos ou subterrâneos. • Casa de força- Local onde está localizado o grupo gerador-turbina e outros equipamentos auxiliares, e também onde se opera a usina. • Turbina- a água ao atingir a turbina a faz girar ocorrendo assim, a transformação da energia hidráulica em mecânica. • Gerador- equipamento acoplado à turbina que transforma a energia mecânica disponível no eixo da mesma em energia elétrica. • Canal de fuga- canal por onde sai a água após ser turbinada. • Subestação- local onde a energia elétrica é transformada em alta tensão através de um transformador, para que possa ser transmitida a grandes distâncias pelas linhas de distribuição (SOARES JR., 2013, p. 5).

Quanto aos demais componentes das usinas hidrelétricas, já caracterizados acima, podemos observar a ilustração para um melhor entendimento de cada estrutura.

Figura 1 – Componentes de uma usina hidrelétrica



Fonte: Soares Jr. (2013, p. 5).

Quanto a parte do resfriamento de uma usina hidrelétrica, ela é compreendida como um sistema auxiliar³ na produção de energia e são de fundamental importância para dissipar o calor causado durante o funcionamento dos geradores e demais equipamentos, seja com o ar, a água ou algum outro sistema. A Usina de Itaipú, por exemplo, tem seu sistema de resfriamento feito a partir de “ODAF (óleo dirigido/água forçada⁴)”. Problemas com este sistema, como por exemplo, a bioincrustação, que é o acúmulo de micro-organismos, plantas, algas e/ou animais sobre as estruturas molhadas, podem causar inúmeros problemas, desde aumento de mão-de-obra até mesmo a parada de máquinas (unidades inteiras) para manutenção.

³ São compreendidos, também, como sistemas auxiliares mecânicos: Sistema de água de resfriamento, Sistema de esgotamento e enchimento, Sistema de drenagem, Sistema de descarga, Sistema de ar comprimido, Gerador Diesel de emergência, Pontes rolantes, Proteção contra incêndio, Aquecimento, ventilação, ar condicionado; e Sistema de tratamento de óleo.

⁴ “Usina hidrelétrica de Itaipu: principais características técnicas (2017).

A remoção da temperatura elevada nas unidades geradores é essencial para que elas possam operar com confiabilidade, pois os equipamentos eletromecânicos têm limitações térmicas operacionais, cujo o mal cuidado pode provocar:

”Desligamento automático da unidade se a temperatura do ferro do estator do gerador elétrico, ou outro equipamento, ultrapassar o valor limite de projeto; Necessidade da redução da geração para manter a temperatura dos equipamentos abaixo do valor máximo permitido em projeto; Desgaste prematuro dos equipamentos que operam por longos períodos na região de temperatura máxima permitida; Redução dos intervalos das manutenções periódicas, com prazos de parada cada vez mais longos, em função do maior desgaste de componentes” (RIBAS, 1999, p. 2).

Dado os componentes de uma usina hidrelétrica, se faz interessante destacar o papel do engenheiro mecânico no que tange os equipamentos mecânicos. Há, conforme cita Siqueira (2006) no que corresponde aos equipamentos mecânicos, dentro de uma usina hidrelétrica, as turbinas hidráulicas, as válvulas, as comportas, as pontes rolantes e os auxiliares mecânicos.

Para Soares Jr. (2013), as turbinas hidráulicas são a peça chave para a o sucesso nas implantações de usinas hidrelétricas, capazes de produzir reações que transforme a força da água em energia cinética, e por isso seu conhecimento – e a escolha certa para cada tipo de usina – é indispensável para o sucesso de um projeto.

2.2 AS TURBINAS HIDRÁULICAS: PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

As turbinas hidráulicas são a parte das usinas hidrelétricas que devem ser adaptadas para acompanhar a potência e dimensionamento de uma matriz hidráulica específica, e por isso a sua importância e destaque, pois as turbinas necessitam se adaptar às características da hidrelétrica para que esta possa exercer com satisfação os resultados esperados.

Conforme cita Soares Jr. (2013) as turbinas atuais são resultado de evoluções constantes das rodas d'águas, exemplos concretos de máquinas motrizes hidráulicas:

Desde antes de Cristo, o homem já utilizava as máquinas motrizes hidráulicas sendo que as primeiras realmente práticas foram as rodas d'água. Um século antes de Cristo, Vitruvius, projetou e instalou várias rodas d'água para o acionamento de dispositivos mecânicos. Apesar de serem extremamente simples e de fácil construção, elas satisfizeram as exigências impostas durante séculos. Contudo, como eram utilizadas para baixas quedas, menor que 6 metros, e também, devido a baixa rotação e potência foram perdendo espaço a medida que Era Industrial avançava, reduzindo-as a casos muito especiais (SOARES JR. 2013, p. 8).

No século XIX as turbinas hidráulicas começam a integrar-se com mais ênfase no panorama mundial.

Todas as turbinas hidráulicas possuem um princípio comum de funcionamento: a água entra na turbina vinda de um reservatório ou de um nível mais alto e escapa para um canal de nível mais baixo. Conforme a “figura 1” acima, podemos observar que a água entra na turbina advinda de um reservatório ou nível mais alto e escapa por um nível mais baixo.

A água que entra é conduzida por um duto fechado até um conjunto de palhetas ou injetores que transferem a energia mecânica (energia de pressão e energia cinética) do fluxo de água em potência de eixo. A pressão e a velocidade da água na saída são menores que na entrada. A água que sai da turbina é conduzida por um duto até um canal inferior (SOARES JR. 2013, p. 9).

Assim como um “padrão de funcionamento”, as turbinas, independente do seu tipo, possuem alguns componentes que podem ser considerados essenciais, sendo, de acordo com Soares Jr. (2013):

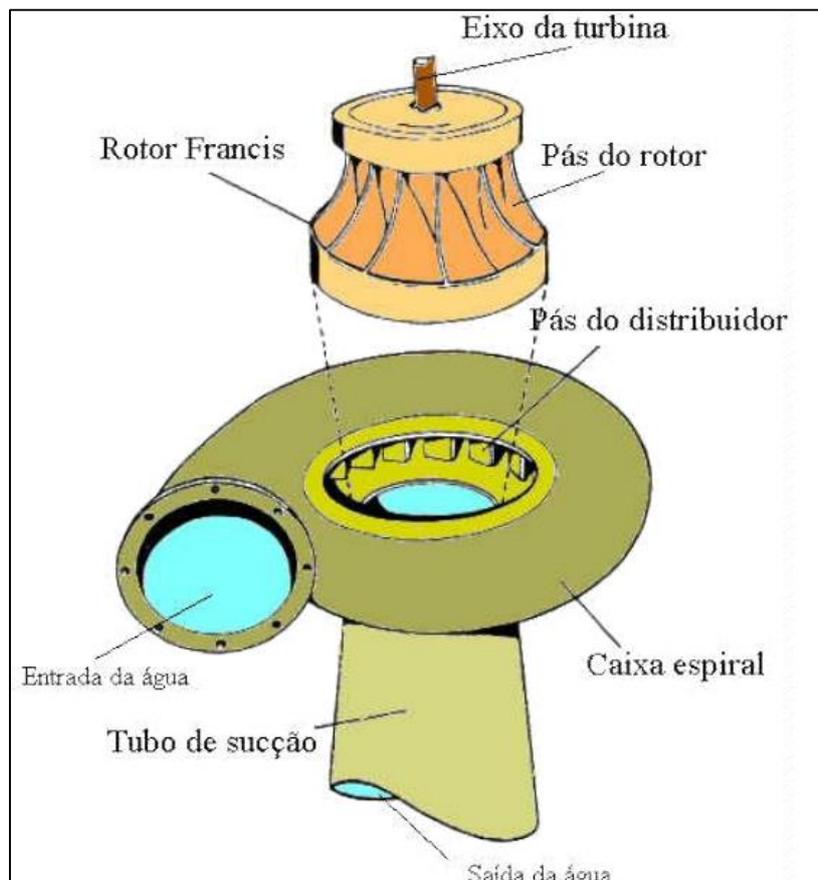
Distribuidor: um elemento fixo. Com funções de “direcionar a água à roda segundo uma direção adequada; modificar a vazão, ou seja, alterar a seção de saída do distribuidor, indo de zero, fechado, até a abertura máxima; e a transformação total ou parcial da energia de pressão em energia cinética na entrada da roda”.

Rotor ou roda: “é um órgão móvel, gira em torno de um eixo. Está munido com um sistema de pás fixas a um eixo e é responsável por transformar grande parte da energia hidráulica em trabalho mecânico”.

Difusor ou tubo de sucção: “também é uma parte fixa e suas funções são: recuperar a altura entre a saída da roda e o nível do canal de fuga; recuperar parte da energia cinética correspondente a velocidade residual da água na saída da roda”.

Carcaça: é uma parte fixa. Conduz a água do conduto forçado até o distribuidor, garantindo descargas parciais iguais em todos os canais formados pelas pás do distribuidor.

Figura 2 – Componentes essenciais de uma turbina



Fonte: Santos *et al.* (2007, p. 5).

Outra função fundamental dentro da Engenharia mecânica no que tange os componentes essenciais de uma turbina e se relaciona com o rotor, são os mancais, caracterizados por ser um dispositivo mecânico fixo, feito geralmente de ferro fundido ou aço, onde se apoia um eixo, girante, deslizante ou oscilante.

Mancais, são elementos de máquinas que sevem para apoio fixo para eixos. Geralmente são compostos de uma estrutura de ferro fundido e bipartida (base tampa), que encerra o casquilho, no qual gira o eixo. A maioria das máquinas e equipamentos possuem mancais. É sua função posicionar um elemento de máquina que gira em relação a outro. Em outras palavras, os mancais são componentes de máquinas destinados a assegurar movimentação rotativa entre duas superfícies, com baixo nível de atrito. São conjuntos destinados a suportar as solicitações de peso e rotação de eixos e árvores (OLIVEIRA, 2018)

Na questão da aplicação de mancais, tem-se investido em mancais autolubrificantes em substituição a mancais à graxa, Conforme salienta Souza *et al* (2009):

Praticamente em todas as Centrais Elétricas que passam por processos de reforma/modernização, após vários anos de operação, substituem-se buchas metálicas lubrificadas à graxa por materiais autolubrificados. Ou mesmo buchas metálicas resistentes à corrosão impregnadas com produtos autolubrificantes de fina camada. Portanto isto já é uma técnica consagrada e bem conhecida no setor elétrico. Contudo, a aplicação destes mesmos materiais em mancais de guia de Grupos Geradores, que são tradicionalmente em metal patente, tem sido um campo de atualização tecnológica promissor, mas lento, devido aos esforços dinâmicos envolvidos, pois um dos limitantes da aplicação destes materiais, atualmente, reside nos limites de resistência e na relação binominal PV (pressão x velocidade).

Neste sentido, as novas tecnologias têm buscado alternativas e possibilidades de aplicação de materiais autolubrificados, não somente em buchas metálicas lubrificadas a graxa, mas também em mancais de deslizamento de Grupos Geradores.

Figura 3 – Modelo de Mancal



Fonte: Wikipédia (2010)

No que tange à lubrificação de mancais, objeto de estudo para implementação em grandes proporções às matrizes energéticas, é necessário que este, para poder ser aceito como alternativa de substituição, siga alguns requisitos: “a. ter capacidade de absorver impactos e esforços dinâmicos variáveis; b. ter baixo coeficiente de atrito; c. ter estabilidade dimensional; d. ter longa vida útil; e. minimizar impactos negativos ao meio ambiente; f. ter custo-benefício compatível com os demais materiais para buchas e mancais disponíveis no mercado” (SOUZA *et al.*, 2007, p. 2).

Vale ressaltar, conforme pesquisa do autor supracitado, que já testou-se mancais autolubrificados nos mancais de guia das turbinas, imersos em água de rio da Usina Hidrelétrica Pitangui, em 2003.

Ainda, é preciso muita competência na aplicação do mancal, pois os mesmos devem ser montados em um alinhamento preciso, para não trabalharem em um regime forçado e, conseqüentemente, não causar danos ao equipamento.

2.2.1. Tipos de Turbinas

As turbinas de uma usina hidrelétrica são responsáveis por transformar a energia da água em energia mecânica, esta, por sua vez, é transferida através deste eixo a um gerador, onde é transformada em eletricidade. Hoje em dia, há uma grande variedade de modelos disponíveis no mercado, e podem ser classificadas em dois grupos: as turbinas de reação e turbinas de ação.

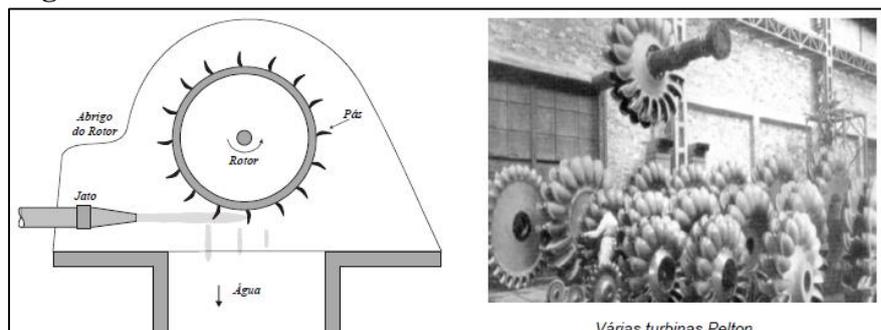
As turbinas de ação transformam energia cinética em energia mecânica à pressão constante, normalmente à pressão atmosférica. Nas turbinas de reação a água tem a pressão variando desde a entrada da turbina até a saída.

Ainda, conforme Filho (2013), em uma turbina de ação...

...o rotor é instalado em uma câmara que não é totalmente preenchida com água, onde jatos de água são direcionados contra palhetas ou conchas localizadas na periferia do rotor. A soma da ação dos jatos d'água sobre as palhetas gera o torque responsável pelo movimento rotativo do rotor. Sob o ponto de vista energético, a energia cinética da água utilizada para produzir a energia mecânica que a turbina transfere ao gerador elétrico.

Um exemplo de turbina de ação é a turbina Pelton, utilizadas em hidrelétricas com quedas que varia de 200 a 1.500 metros e baixas vazões.

Figura 4 – Turbina Pelton



Fonte: Filho (2013, p. 58).

Figura 5 – Rotor Pelton e turbina completa



Fonte: Siqueira (2006, p. 75).

As turbinas de reação, por sua vez, convertem as energias potencial e cinética da água em energia mecânica. O rotor de uma turbina de reação fica alojado em uma câmara completamente preenchida com água. Na entrada desta câmara existem pás que são ajustáveis e que aceleram e conduzem de forma e direção apropriada o fluxo de água até o rotor. Assim, a pressão dentro da turbina varia desde sua entrada até a saída. São exemplos de turbinas de reação: Turbina Francis e Kaplan.

De acordo com Filho (2013), as turbinas Francis⁵ têm como característica de funcionamento a seguinte ação: a água passa do distribuidor direcionada para a parte lateral, e sai pela parte de baixo. Este tipo de turbina trabalha com quedas entre 20m a 750 metros.

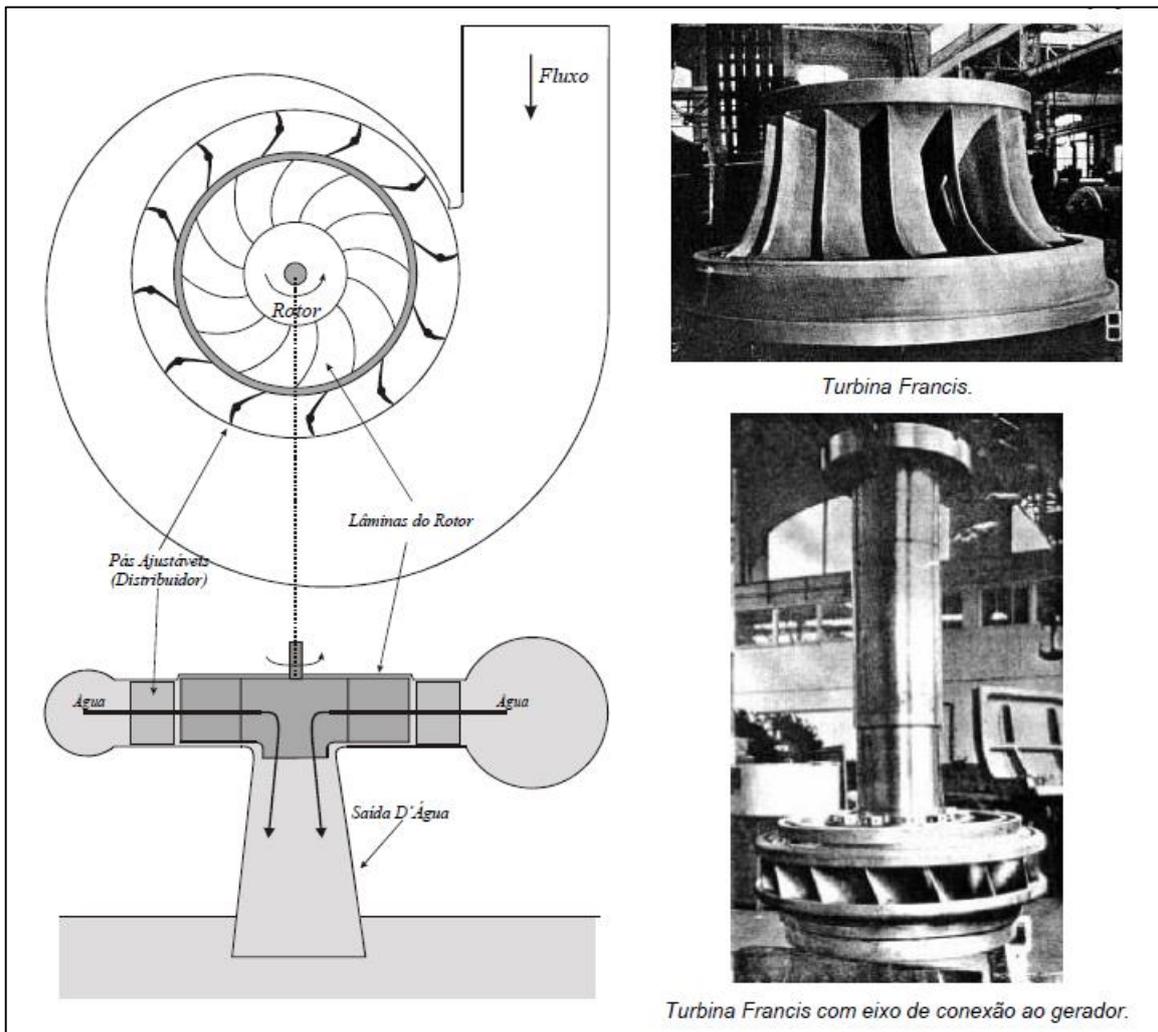
Quanto a turbina Kaplan, esta surgiu pela necessidade de uma turbina que trabalhasse melhor que a Francis em quedas baixas:

O desempenho deficiente da turbina Francis sob quedas baixas conduziu à invenção das turbinas hélices. Nas turbinas hélices, o rotor é constituído por um núcleo central, cubo hidrodinâmico, fixo à extremidade da árvore principal, que sustenta um pequeno número de pás em forma de hélice. Neste tipo de turbina o fluxo d'água é orientado de maneira que, tanto na entrada quanto na saída do rotor, sua direção coincide com a da árvore. As turbinas hélices podem ser de pás fixas ou ajustáveis, sendo estas conhecidas como turbinas Kaplan (SCHREIBER, 1978 *apud* SIQUEIRA, 2006, p. 79).

⁵ Há uma inconstância de dados no que se refere à turbina Francis: Filho (2013, p.58) ressalta que ela é utilizada em GCH's, enquanto Siqueira (2006, p. 77) sugere usar em PCH's.

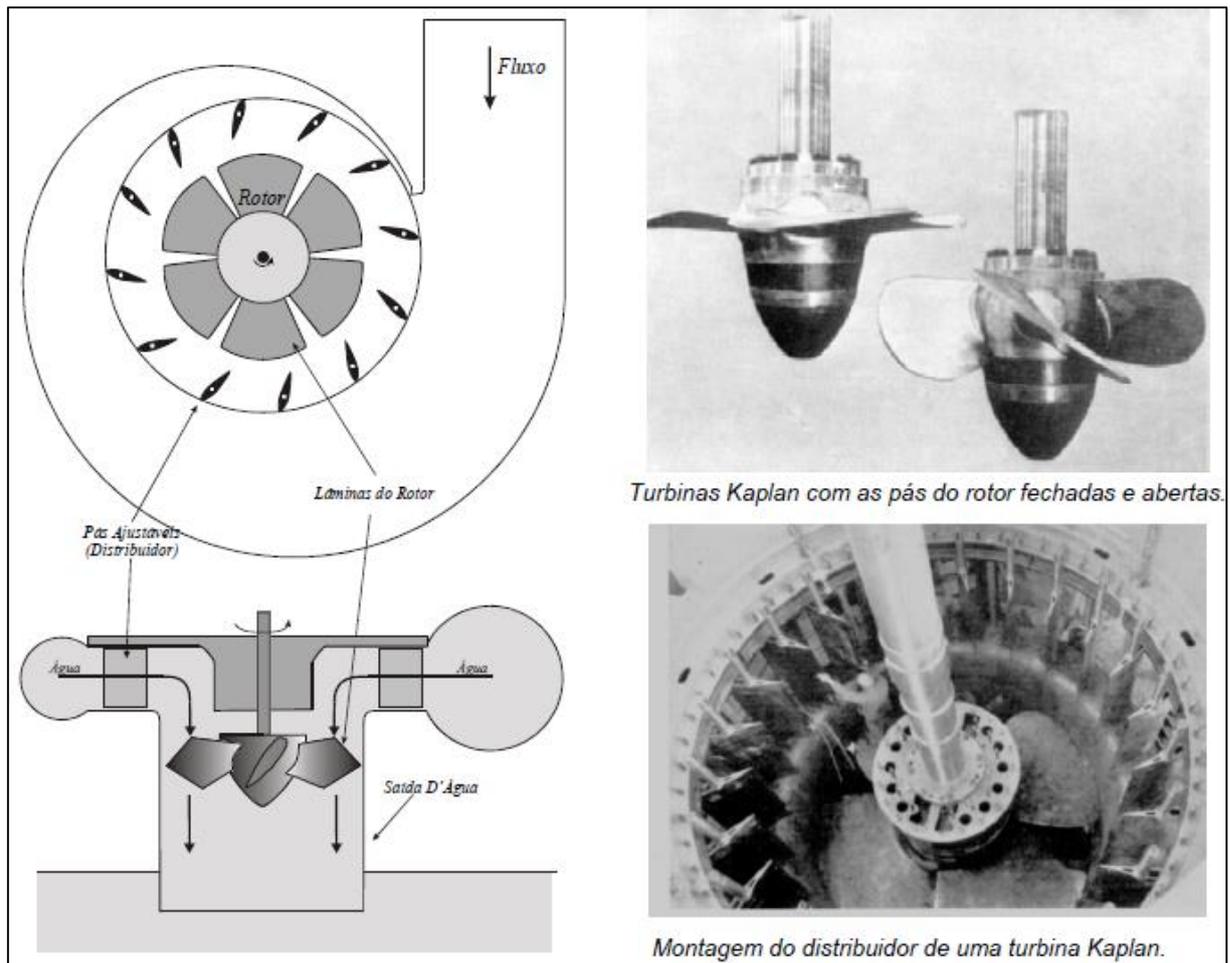
Nas turbinas Kaplan, ao passar pelo distribuidor, a água é direcionada para fluir paralelamente ao eixo da turbina; por esta característica, este tipo de turbina é também denominado como turbina de reação de fluxo axial, trabalhando com quedas inferiores a 70 metros (SIQUEIRA, 2006).

Figura 6 – Turbina Francis



Fonte: Filho (2013, p. 59).

Figura 7 – Turbina Kaplan



Fonte: Filho (2013, p. 60).

Temos assim, as caracterizações das três principais turbinas existentes nas centrais hidrelétricas. Cada uma utilizada conforme as características de cada usina. Estas características, como já introduzidas anteriormente nessa seção, se dão, principalmente, pelo tamanho da usina hidrelétrica e sua potência. A potência, por sua vez, determina se a usina é de grande, médio ou se é uma PCH (Pequena Central Hidrelétrica). A ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) adota três classificações: • Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH): até 1 MW de potência instalada. • Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH): entre 1,1 e 30 MW de potência instalada. • Usina Hidrelétrica de Energia (UHE): acima de 30 MW.

Abaixo, pode-se observar algumas usinas hidrelétricas brasileiras e a instalação de turbinas hidráulicas de acordo com a característica de cada uma, corroborando assim com a inserção correta no que tange o tamanho da queda.

2.2.2. Exemplos de Aplicação das Turbinas Hidráulicas

Nas primeiras invenções de turbinas, e nas implantações de matrizes hidráulicas, a escolha da turbina era feita de forma arbitrária e por tentativas, até que se evoluísse para a comparação entre turbinas já instaladas, assim, estas eram utilizadas com base para a construção de novos projetos. Dessa forma, com o tempo, compreendeu-se que cada um dos tipos de turbinas existentes só poderia ser empregado com excelência se levasse em consideração três fatores ou grandezas, sendo: descarga (Q), a queda (H) e o número de rotações por minuto (n) (SOARES JR. 2013).

Tabela 1 – Instalações com turbinas Pelton, Francis ou Kaplan⁶

PELTON (200 – 1500 m + baixa vazão)				
Instalações	H (m)	Q (m³/s)	N (CV)	n (rpm)
Parigot de Souza-Rio Capivari	714,3	10	87200	514
Macabu – Rio Macabu	317	1,3	4480	722
Canastra – Rio Santa Cruz	314,6	10,8	33100	450
FRANCIS (20 – 750 m)				
Instalações	H (m)	Q (m³/s)	N (CV)	n (rpm)
Itaipu – Rio Paraná	50,8	660	971000	92,3
Furnas – Rio Grande	88,9	190	210000	150
Tucuruí – Rio Tocantins	60,8	576	430000	84
KAPLAN (-70 m)				
Instalações	H (m)	Q (m³/s)	N (CV)	n (rpm)
Sobradinho –Rio São Francisco	27,2	715	242000	75
Jupia – Rio Paraná	23	462	140000	78
Volta Grande – Rio Grande	26,2	430	140038	85,7

Fonte: Soares Jr. (2013).

De acordo com Macintyre (1983 *apud* SOARES JR, 2013), o campo de aplicação dos tipos de turbina, considerando as grandezas supracitadas, caracterizam-se como melhor escolha:

⁶ **Legenda:** Queda (H) / Vazão volumétrica (Q) / Potência (N) / Rotação (n).

Tabela 2 – Aplicação dos tipos de turbina⁷

Tipos de turbinas		n (rpm)	H (m)
Pelton	1 jato	18	800
	1 jato	18-25	800-400
	1 jato	26-35	400-100
	2 jatos	26-35	800-400
	2 jatos	36-50	400-100
	4 jatos	40-50	400-100
	4 jatos	51-71	500-200
	6 jatos	72-90	400-100
Francis	Muito lenta	55-70	600-200
	Lenta	71-120	200-100
	Normal	121-200	100-70
	Rápida	201-300	70-25
	Extra-rápida	301-450	25-15
Kaplan	8 pás	250-320	70-50
	7 pás	321-430	50-40
	6 pás	431-530	40-30
	5 pás	534-620	30-20
	4 pás	624 +	30

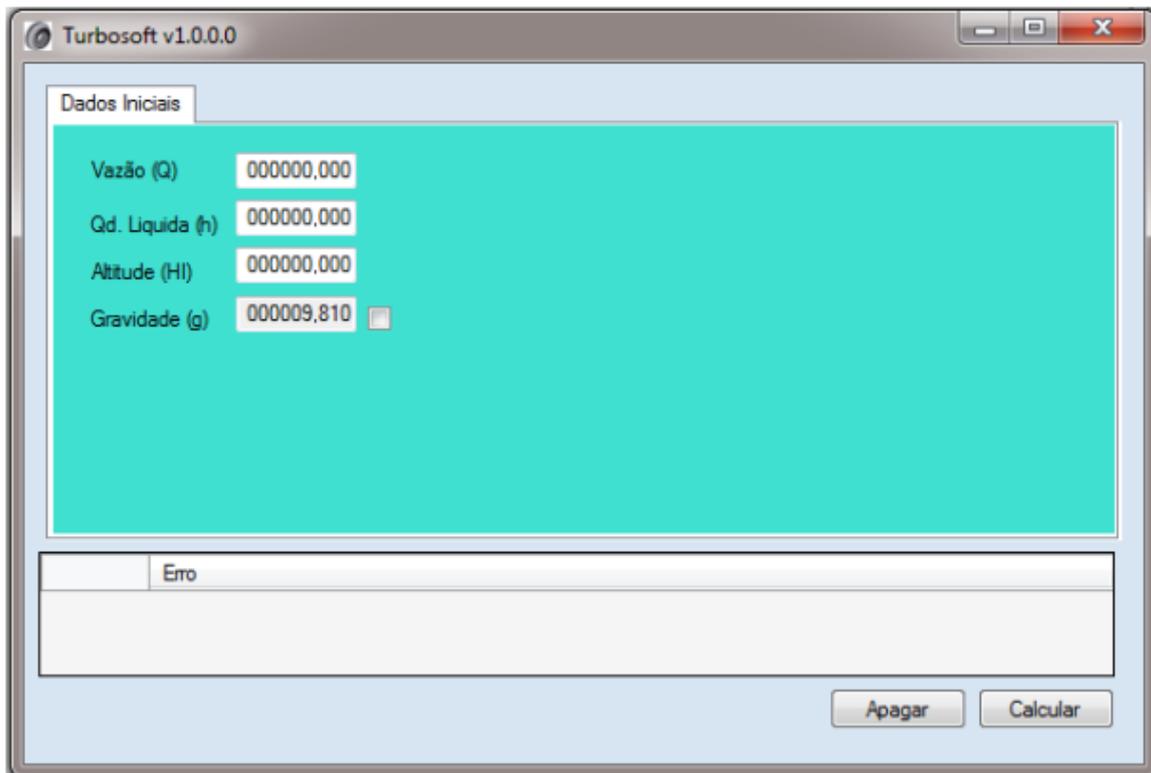
Fonte: Soares Jr. (2013).

O avanço tecnológico e a disposição de *softwares* a sociedade civil possibilitaram a criação de programas para o cálculo de dimensionamento de turbinas às centrais hidrelétricas, principalmente às PCH, que se encontram em maior expansão dentro das matrizes hidráulicas brasileiros.

A criação de um software especializado na escolha de uma turbina com a melhor eficiência para um determinado projeto de Pequena Central Hidrelétrica, torna-se uma ferramenta muito poderosa para o projetista, que com a utilização dela poderá comparar resultados de maneira mais rápida e concisa (WOLSKI *et al.*, 2013, p. 18).

Pode-se citar como exemplo o programa “turbosoft” onde, de forma simples, o usuário entra com os dados de “inventário do local onde se pretende instalar a pequena central hidrelétrica: Altura de queda (H) em metros (m), vazão (Q) em (m³/s) e Altitude (Hi) também em metros” (WOLSKI *et al.*, 2013, p. 18).

⁷ **Legenda:** Queda (H) / Vazão volumétrica (Q) / Potência (N) / Rotação (n).

Figura 8 – Interface do *software* Turbosoft

Fonte: Wolski *et al.* (2013, p. 87).

Após essa etapa, quando o usuário clica no botão "calcular" o programa automaticamente gera um PDF com a melhor dimensão para a construção da turbina. Fazendo isso, ele atende os requisitos de escolha e dimensionamento das turbinas hidráulicas para PCHs. “Ele é uma ferramenta de apoio para o projetista ter dados teóricos e para a realização da comparação com os dados do próprio projetista” (WOLSKI, *et al.*, 2013, p. 99).

Dessa forma ter em mente os equipamentos mecânicos corretos para a construção de uma usina hidrelétrica é fundamental para situar-se e compreender as etapas necessárias para a implementação de uma PCH.

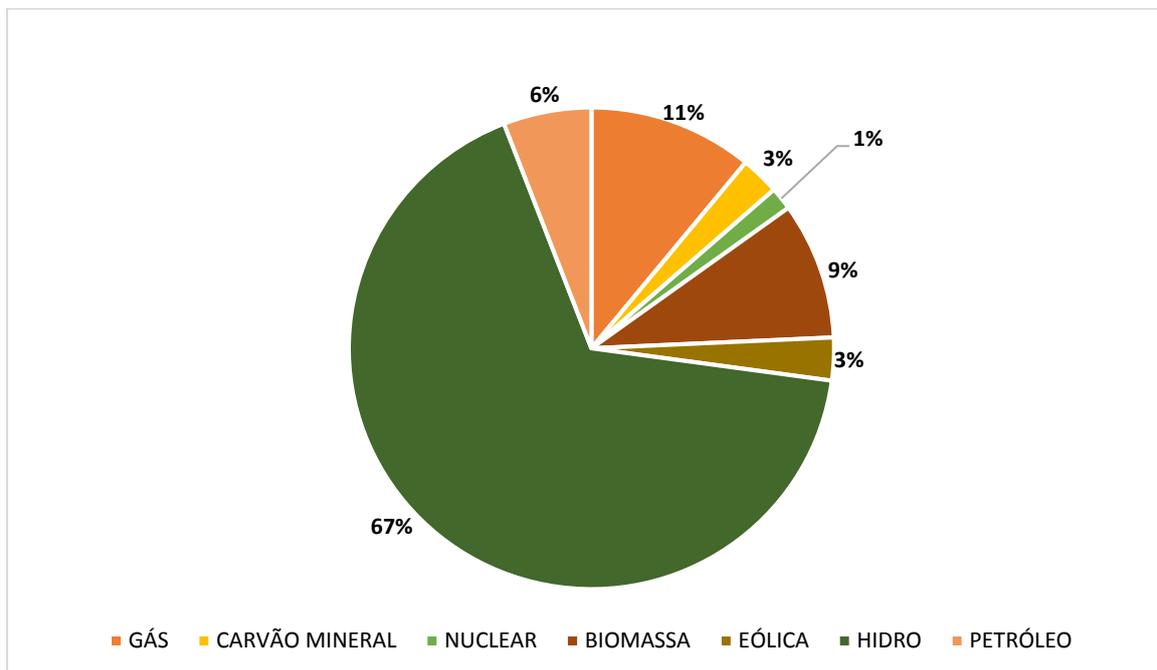
3 PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS E PROCEDIMENTOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO E MANUTENÇÃO

Antes de discutir-se acerca da implementação de uma PCH, se faz interessante compreendermos como anda o panorama brasileiro no que tange as matrizes energéticas. Pois tem se observado um grande crescimento das usinas eólicas.

Segundo dados mais atuais da ANEEL [...] existe um total de 3.316 empreendimentos em operação, totalizando 130.512.911 kW de potência instalada. Está prevista para os próximos anos uma adição de 36.578.922 kW na capacidade de geração do País, proveniente dos 147 empreendimentos atualmente em construção e mais 620 outorgadas, sendo que aproximadamente 2,87% se constitui de geração eólica (DIAS, 2014, p. 20).

Assim, o panorama de matriz energética brasileira, caracteriza-se da seguinte forma, conforme gráfico abaixo:

Gráfico 2 – Panorama da Matriz de Energia Elétrica



Fonte: adaptado de Dias (2014, p. 20)

Desse modo, observa-se o aumento de matrizes eólicas quando se busca os empreendimentos que estão em construção e os outorgados, totalizando 379 novos empreendimentos eólicos, e 19 hidrelétricos.

Conforme Dias (2014) destaca, há uma visão de que as eólicas se sobressaem em relação custo-benefício às hidrelétricas é utopia. E grande parte do incentivo a implementações de eólicas vem de movimentos populares que julgam ser uma matriz energética mais limpa do que as matrizes hídricas devido às adversidades ambientais, além de incentivos que o governo deu às matrizes eólicas.

Desde 2010, após os leilões de energia, os meios de comunicação têm divulgado a viabilidade das Usinas Eólicas, com bastante entusiasmo, principalmente por se tratar de uma excelente fonte limpa de energia. Contudo se passa uma impressão da substituição das usinas e projetos hidrelétricos, especialmente os com grandes reservatórios, pelos eólicos e outras fontes. Informações assim são de baixa qualidade técnica, e podem influenciar as tomadas de decisões dos técnicos governamentais de áreas de energia e ambiental. Influenciando ou não, o que se vê é uma “má impressão” das usinas com reservatório, e dificuldade para a realização dos projetos, que tem que ser avaliados segundo parâmetros científicos, e não ideológicos. O resultado é que a PCH, em questões de custos, vem perdendo competitividade para as eólicas. Joel de Almeida, diretor Comercial da Andritz Hydro, aponta a questão tributária como principal barreira para a retomada dos negócios no mercado de pequenas centrais hidrelétricas. Ele afirma que a razão principal é que o governo deu para as eólicas e usinas a gás natural incentivos em termos de isenção fiscal que não temos para as PCHs. Por exemplo, as eólicas contam com benefícios de impostos como ICMS zero para aerogeradores, para chapa de aço especial para fontes alternativas, cabos de controle, e anéis de moldagem, enquanto as PCHs continuam pagando ICMS em toda a sua cadeia produtiva (DIAS, 2014, p. 22).

Todavia, é necessário compreender que mesmo sendo uma excelente alternativa, e que deve ser explorada ao máximo, as matrizes eólicas não garantem em 100% do tempo fornecimento básico de energia, porque exigem complementação por meio de outras fontes, como hidrelétricas com reservatórios.

O que comprova isso é o fator de capacidade das eólicas menor do que a média das hidrelétricas brasileiras, dependendo fortemente dos ventos, pois essa opção tecnológica não permite armazenar a energia produzida. Com isso podemos concluir que não existe a possibilidade de eólicas serem capazes de evitar a construção de novas hidrelétricas (DIAS, 2014, p. 22).

Na relação custo-benefício, as hidrelétricas continuam se sobressaindo às eólicas, que possuem a segunda melhor relação. Assim, Para a ampliação das participações das PCHs na matriz energética nacional existem inúmeros incentivos. Como é uma energia renovável e com tecnologia conhecida os incentivos financeiros fazem com que PCHs se tornem uma opção bastante atraente aos olhos dos investidores. Sendo: Desconto superiores a 50% da TUST/TUSD (Taxa do uso sistema de transmissão / Taxa do uso do sistema de transmissão); Livre comercialização com consumidores > 500 kW; Isenção da CFURH (Compensação Financeira pela Utilização de Recursos Hídricos); Participação na CCC (Cota de Consumo de

Combustíveis), quando substituir geração térmica a óleo diesel em sistemas isolados; Comercialização com agentes de distribuição, com limite tarifário definido pela ANEEL; Obtenção da concessão sem licitação. Outorga da autorização não onerosa; Possibilidade de RAS (Relatórios Ambientais Simplificados) na solicitação do licenciamento ambiental; Isenção de pagamento de UBP (Uso de bem público); Isenção de aplicar em P&D 1% do faturamento; Garantia física calculada com base na média da série de vazões; Regulamentação da participação das PCH no MRE e definição da metodologia de cálculo de energia assegurada; Possibilidade de se optar pelo regime de tributação pelo lucro presumido.

De acordo com Albarello (2014), a implantação de Usinas Hidrelétricas de pequeno porte tem sido vista com bons olhos pelo setor energético brasileiro. Seja pelo seu custo-benefício, seja pelo aumento do desenvolvimento de matriz energética hidráulica, visto que só utiliza-se 25% do que pode ser usado, ou por outros motivos.

Dentre as possibilidades de se aumentar a produção energética brasileira, destaca-se atualmente as Pequenas Centrais Hidrelétricas, que são usinas geradoras de energia, de pequeno porte, empregadas principalmente em rios ou canais de tamanho médio ou pequeno, que tenham desníveis capazes de conceber potência hidráulica satisfatória para acionar os rotores das turbinas e assim gerar energia.

Estas unidades geradoras diferem das hidrelétricas pela dimensão de seu reservatório e sua capacidade de geração, apresentando as seguintes características: potência igual ou superior a 1,0 MW e igual ou inferior a 30,0 MW; área máxima total do reservatório de 3,0 km², e, cota d'água associada à vazão de cheia com tempo de recorrência de 100 anos (ALBARELLO, 2014, p. 9).

Assim temos, conforme dados supracitados, a classificação das micro, mini e pequenas centrais hidrelétricas, conforme tabela abaixo:

Tabela 3 – Classificação em Micro, Mini e Pequenas Centrais Hidrelétricas

Classificação das centrais	Potência (P) (kW)	Queda de projeto - H _d (m)		
		Baixa	Média	Alta
MICRO	P < 100	H _d < 15	15 < H _d < 50	H _d > 50
MINI	100 < P < 1.000	H _d < 20	20 < H _d < 100	H _d > 100
PEQUENAS	1.000 < P < 30.000	H _d < 25	25 < H _d < 130	H _d > 130

Fonte: Eletrobrás (2008 *apud* DIAS, 2014).

Albarello (2014) salienta que o incentivo à construção de PCH começou em 1997 quando o monopólio estatal no setor energético cessou, tendo sido investido mais de R\$ 1 bilhão neste setor, por investidores.

Outro incentivo à implantação de PCH é que este tipo de Central Hidrelétrica é dispensada de remunerar municípios e estados pelo uso dos recursos hídricos, o que faz disso um grande atrativo para o que pretendem empreender nesta área.

3.1 TIPOS DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS

Na forma de produção de energia, Dias (2014) ressalta que uma PCH geralmente trabalha no método de operação “a fio d’água”, ou seja, o reservatório não permite a regularização do fluxo d’água. Com isso, em ocasiões de estiagem a vazão disponível pode ser menor que a capacidade das turbinas, causando ociosidade.

Além da operação “a fio d’água”, Albarello (2014) menciona outros tipos de capacidade de regularização, sendo:

A fio d’água:

[...] são as unidades empregadas quando as vazões de estiagem do rio são iguais ou superiores que a descarga necessária à potência a ser instalada para suprir a demanda máxima estimada. Neste caso, o volume do reservatório criado pela barragem não é considerado. O sistema adutor deve ser projetado para conduzir a descarga exigida para fornecer determinada potência que atenda à demanda máxima. O aproveitamento energético local deverá ser parcial e o vertedouro estará em funcionamento na maior parte do tempo, extravasando o excesso de água. Esta modalidade de PCH apresenta algumas simplificações quando comparadas às outras, são elas: Dispensa estudos de regularização de vazões; Dispensa estudos de sazonalidade da carga elétrica do consumidor; e Facilita os estudos e a concepção da tomada d’água (ALBARELLO, 2014, p. 17).

Acumulação diária com regularização diária do reservatório: sendo que este tipo de PCH é aplicado quando as vazões de estiagem do canal se fazem de tamanho menor que o necessário para atender à demanda máximo. Assim, o reservatório oferecerá o adicional exigido de vazão.

Acumulação diária com regularização mensal do reservatório: À medida que considerado somente dados de vazões médias mensais no dimensionamento energético, priorizando análise de vazões de estiagem médias mensais, admite-se que o projeto apresente uma regularização mensal das vazões médias diárias, propiciada pela utilização do reservatório (ALBARELLO, 2014, p. 18).

Ainda, a implantação de uma PCH deve observar os seguintes requisitos:

Área do reservatório: área da planta ao montante da barragem, delimitada pelo nível d'água máximo normal de montante;
 Nível d'água máximo normal de montante: nível de água máximo no reservatório para fins de operação normal da usina, definido através dos estudos energéticos, correspondendo ao nível que limita a parte superior do volume útil;
 Nível d'água mínimo normal de montante: nível de água mínimo do reservatório para fins de operação normal da usina, definido através dos estudos energéticos, correspondendo ao nível que limita a parte inferior do volume útil;
 Nível d'água normal de jusante: nível d'água a jusante da casa de força para a vazão correspondente ao somatório dos engolimentos máximos de todas as turbinas, sem considerar a influência da vazão vertida (DIAS, 2014, p. 10).

Albarello (2014) complementa que mediante tais características citadas acima, quando comparadas às UHE, as PCHs são projetos com menor complexidade técnica e acarretam menores impactos ambientais, sendo eles mais fáceis de abrandar quando comparados aos impactos gerados pelas grandes usinas, bem como seu prazo de implantação, o qual normalmente não ultrapassa dois anos, além dos volumes de recursos necessários ao investimento, os quais giram em torno de R\$ 150 milhões ou menos. Além apresentar uma série de outros benefícios.

De acordo com Friedrich (2010 *apud* ALBARELLO, 2014, p. 13):

[...] A implantação de PCH apresenta uma série de outros benefícios. [...] podemos citar: domínio tecnológico a nível de empresas nacionais na fabricação de equipamentos; tecnologia de construção e operação com baixos custos; atendimento de energia elétrica a pequenos núcleos populacionais.

Pautado nesta realidade, pode-se considerar que quanto mais investir na implantação de PCHs mais o comércio nacional desta área se movimentará, estimulando assim a indústria brasileira no que tange a fabricação de equipamentos específicos, com consideráveis benefícios técnicos, econômicos e sociais.

3.2 PROCEDIMENTOS PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA PCH

Compreende-se que o primeiro passo para a implementação de uma Pequena Central Hidrelétrica é justamente conhecer a estrutura e os limites operacionais dadas a este tipo de Central. Pois após a conclusão da mesma, ou antes, a ANEEL e o Ministério de Minas e Energia poderão verificar e não há falsas informações ou implementações que descaracterizem a matriz como sendo uma PCH.

“Ao final da construção do empreendimento o Ministério de Minas e Energia (MME) deverá aprovar o enquadramento da usina como PCH, levando em consideração se os parâmetros acima citados foram cumpridos” (DIAS, 2014, p. 11).

A imagem abaixo mostra um exemplo de um despacho de Aprovação do Enquadramento com PCH, realizado pela ANEEL.

Figura 9 – Despacho de Aprovação do Enquadramento como PCH

Nome	PCH Queluz.
Tipo	Pequena Central Hidrelétrica.
Ato Autorizativo	Resoluções Autorizativas ANEEL nº 139, de 6 de abril de 2004, e nº 715, de 3 de outubro de 2006.
Pessoa Jurídica Titular	Usina Paulista Queluz de Energia S.A.
CNPJ	06.976.417/0001-70.
Localização	Municípios de Queluz e Lavrinhas, Estado de São Paulo.
Potência Instalada	30.000 kW.
Enquadramento	Art. 3º, inciso I, da Portaria MME nº 319, de 26 de setembro de 2008.
Documentos de que trata o § 8º do art. 6º do Decreto nº 6.144, de 3 de julho de 2007	Apresentados.
Identificação do Processo	ANEEL nº 48500.000907/2002-27 e MME nº 48000.002387/2008-21.

Fonte: Dias (2014, p. 12).

Quanto à viabilização para a implantação de PCHs, é importante salientar, inicialmente, que ela não pertence apenas à esfera Estatal e, embora sejam de competência da União, por se tratar de um objeto de interesse público, elas podem ser exploradas pela mesma ou permitida que investidores explorem esta área mediante autorização, concessão ou permissão.

No que se relaciona a legislação às PCHs, de acordo com o artigo 26 da lei 6427/96, tem-se:

Art. 26. Cabe ao Poder concedente, diretamente ou mediante delegação à Aneel autorizar:

I- o aproveitamento de potencial hidráulico de potência superior a 1000 kW e igual ou inferior a 30000 kW, destinado à produção independente ou autoprodução, mantidas as características de pequena central hidrelétrica;

Os prazos e garantias, bem como as etapas para outorga da autorização do empreendimento dito como PCH, ficam todas estabelecidas pela ANEEL na Resolução Normativa 343/08. (ANEEL, 1996, *apud* NAHAS, 2010, p. 14).

Agora quanto a viabilidade de fato para a implementação de uma PCH, de acordo com o autor supracitado, é necessário três itens: 1. Recursos hídricos (vazão), 2. Queda, 3. Linha de

transmissão próxima. Pois muitas vezes o projeto de construção cessa quando não se tem o terceiro item próximo de onde se deseja implantar a PCH, pois a custo de produção não compensa quando se faz necessário custear uma linha de transmissão em longa distância (NAHAS, 2010, p. 15).

Tendo os três itens, o autor acima salienta que para se obter a autorização para o empreendimento, existem etapas a serem seguidas, sendo: 1. Estimativa do Potencial Hidrelétrico – 2. Inventário Elétrico – 3. Viabilidade – 4. Projeto Básico – e 5. Projeto Executivo. Estas etapas correspondem desde o planejamento à implantação, até o momento de pôr em funcionamento a matriz.

Para conceituar brevemente cada etapa, será utilizado um quadro para melhor compreensão e visualização dos conceitos.

Quadro 1 – Etapas de uma Pequena Central Hidrelétrica

ETAPA	DEFINIÇÃO / AÇÃO
Estimativa do Potencial Hidrelétrico	Faz-se uma análise em escritório com dados da bacia em relação a topografia, hidrologia, geologia e meio ambiente, para ver realmente a existência da possibilidade da instalação de um empreendimento na bacia em questão.
Inventário Hidrelétrico	Nesta etapa vai repetir os mesmos estudos só que agora de maneira detalhada, com dados secundários de levantamentos em campo. No fim dessa análise, se consegue estudar possíveis arranjos de aproveitamentos levando em conta seu custo/benefício e índice socioambientais.
Viabilidade	Depois de já verificado o potencial da bacia, são feitos estudos que mostram se o empreendimento se tornará realmente viável considerando os fatores: técnicos, socioambientais, energéticos e econômicos. Nessa fase os estudos são elaborados com dados a serem levantados em campos para o EIA/RIMA (Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental), do empreendimento com o objetivo de se conseguir a Licença Prévia junto aos órgãos ambientais. Com a LP(Licença Prévia), o empreendimento já pode entrar no leilão de fontes alternativas, e comercializar sua energia.
Projeto Básico	O projeto básico é bastante detalhado, definindo características técnicas das obras civis e equipamentos eletromecânicos e programas socioambientais. O projeto

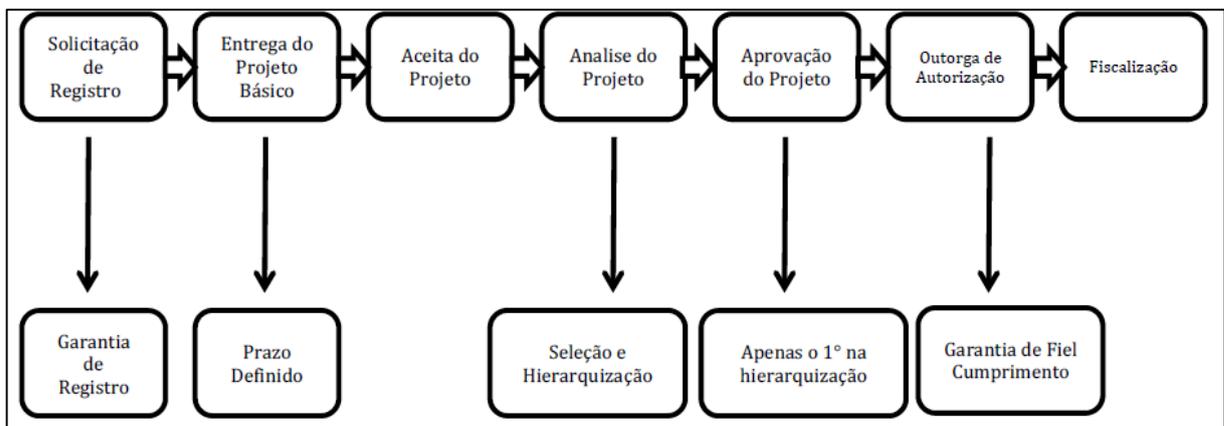
	básico deve atender as recomendações incluídas no EIA, para se obter a LI (Licença de Instalação) para o início das obras.
Projeto Executivo	O objetivo é detalhar todos os desenhos das obras civis e especificações dos equipamentos eletromecânicos necessários as obras e a montagem dos equipamentos. Todos os programas socioambientais para minimizar os impactos devem ser implantados para a obtenção da Licença de Operação.

Fonte: adaptado de Nahas (2010, p. 11).

Nahas (2010) ainda destaca que após o estudo de inventário hidrelétrico e seu registro na ANEEL, da-se início aos procedimentos para viabilização do empreendimento. Este registro pode ter duas classificações: ativo e inativo. Quando ativo, ele é considerado válido, se inativo, é considerado insubsistente.

Na Figura 10, pode-se contemplar o caminho e prazos até a autorização, de acordo com a Resolução Normativa da ANEEL.

Figura 10 – Etapas e registros para regularização e operação



Fonte: Nahas (2010, p. 14).

Por fim, dada as etapas para a construção de uma PCH, entende-se que mesmo tendo a parte burocrática reduzida quando se trata de PCH, por envolver menos órgão governamentais, se faz necessário compreender, conforme salienta Albarello (2014) a importância da manutenção das estruturas que compreendem a PCH.

3.3. PROCEDIMENTOS PARA MANUTENÇÃO DE UMA PCH

De acordo com o Albarello (2014), baseado nos documentos ofertados pela Eletrobrás, é fundamental que sejam realizadas manutenções programadas dos equipamentos e obras de qualquer usina, cujo objetivo seja garantir, a qualquer tempo, além de segurança ao empreendimento o seu perfeito desempenho.

Existem atualmente, “check-lists” padronizados para que sejam realizados os serviços de manutenção e inspeção, periodicamente. Tal periodicidade varia, de acordo com o equipamento e a obra em questão, também em função da idade e dos critérios e normas específicas, as quais podem variar de acordo com o proprietário da PCH (ALBARELLO, 2014).

A seguir, serão apresentados, alguns tópicos que são rotineiramente incluídos nos “check-lists” de manutenção e inspeção das principais obras (ELETROBRAS, 2000 *apud* ALBARELLO, 2014):

Reservatório: Estado geral do reservatório e encostas; Verificação do processo de assoreamento; Remoção de plantas aquáticas; Verificação da qualidade da água do reservatório e de jusante.

Barragem de terra e enrocamento: Instrumentação, se existir; Sistema de drenagem; Surgimento de água e jusante; Trincas, erosão, recalques e solapamentos; Vegetação indesejável.

Figura 11 – Imagem de um reservatório e barragem



Fonte: Albarello (2014).

Barragem de Concreto e Vertedouro: Instrumentação, se existir; Sistema de drenagem; Surgimento de água e jusante; Estado geral do concreto (trincas e erosão).

Canal Adutor: Estado geral da grade – limpeza e reparos; Estado geral da estrutura do canal – limpeza e reparos.

Figura 12 – Imagem de um vertedouro e canal de adução

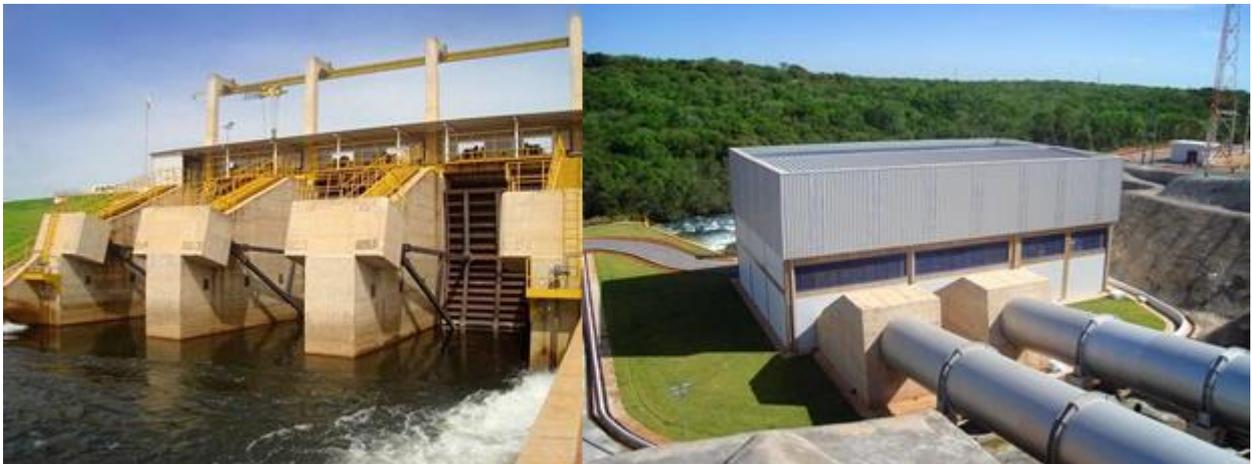


Fonte: Albarello (2014).

Tomada D'Água: Estado geral do concreto (trincas e erosão); Estado geral da grade – limpeza e reparos; Estado geral das comportas – reparos.

Conduto Forçado: Estado geral do conduto, apoios e flanges das juntas de dilatação – reparos/pintura; Estado geral do leito e das canaletas de drenagem – reparos/limpeza;

Figura 13 – Imagem de uma tomada d'água e conduto forçado.



Fonte: Albarello (2014).

Casa de Força: Estado geral do concreto (trincas e erosão); Verificação da instrumentação, se existir; Sistema de drenagem (poço) – limpeza; Instalações.

Subestação: Estado geral da área da plataforma e do sistema de drenagem (trincas e erosão).

Figura 14 – Imagem de uma casa de força e subestação.



Fonte: Albarello (2014).

Assim, explanado e conceituado todas as etapas necessárias para a construção e manutenção de uma Pequena Central Hidrelétrica, além de apresentar demais significações acerca dos melhores materiais para compor uma matriz hidráulica, pode-se partir, embasado em todo este conhecimento adquirido, à um estudo acerca de implantações de PCHs na região serrana.

4 EXEMPLOS DE PCHs NA REGIÃO SERRANA AO LONGO DOS AFLUENTES DO RIO URUGUAI

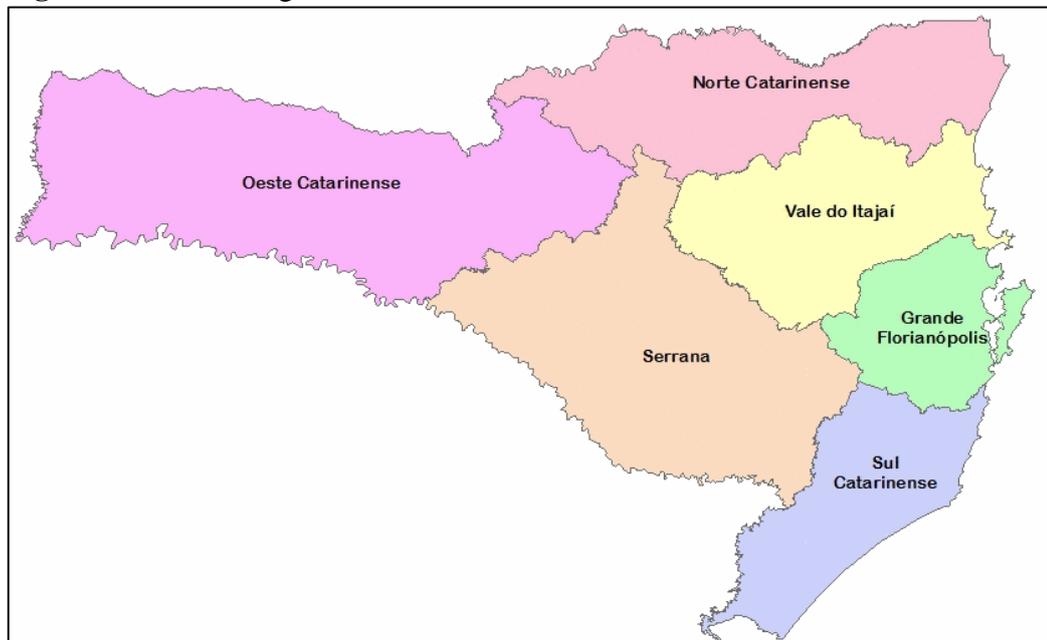
Baseado na seção anterior e nos descritos de Nahas (2010), pode-se afirmar que as matrizes hidráulicas caracterizadas como PCHs continuarão crescendo durante a próxima década, de acordo com o PDE (Plano Decenal de Expansão de Energia).

Como se pode verificar as PCHs são bastantes atraentes quando comparada a outras fontes alternativas de energia devido a sua tecnologia totalmente conhecida e incentivos governamentais e com as outras fontes como eólicas ainda contam com uma tecnologia em grande desenvolvimento, dificilmente veremos grandes evoluções em tecnologia de equipamentos para empreendimentos hidrelétricos (NAHAS, 2010, p. 31).

Dessa forma tendo o panorama auspicioso para a implementação de PCHs como método de suprimento da demanda energética futura, se faz interessante incluir estes dados dentro de um panorama territorial correspondente à Serra Catarinense.

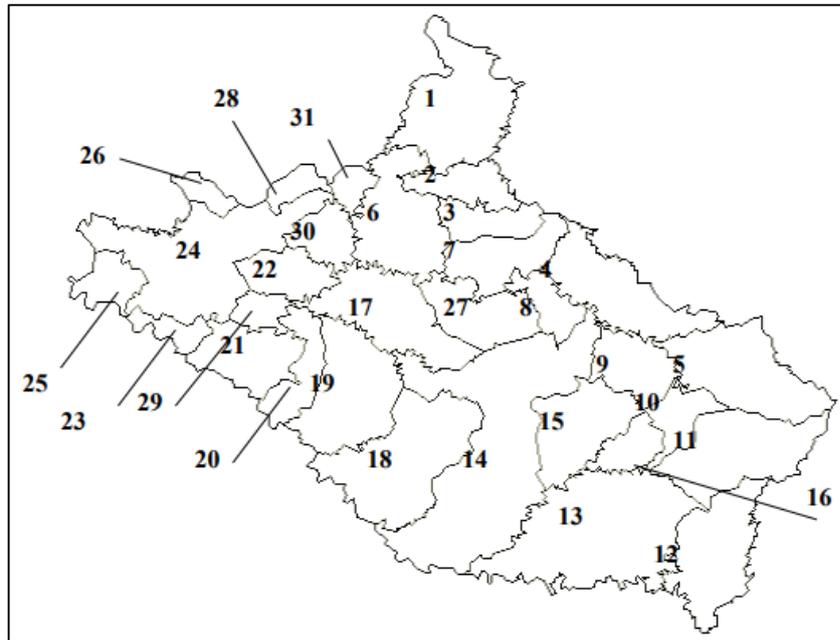
O Planalto Serrano, ou Serra Catarinense, é uma região que aproximadamente inclui as mesorregiões do Oeste Catarinense e parte do Norte Catarinense, com distância de cerca de 100 quilômetros do litoral do estado e compreende a maior área dentre as mesorregiões catarinense.

Figura 15 – Mesorregiões catarinense



Fonte: IBGE (2015).

De acordo com Domingues (2006) a Região Serrana é composta por 31 municípios. sendo:

Figura 16 – Municípios da Região Serrana

Fonte: Domingues (2006).

Conforme ilustração acima, temos: 1. Santa Cecília 2. Ponte Alta do Norte 3. São Cristóvão do Sul 4. Otacílio Costa 5. Bom retiro 6. Curitibaanos 7. Ponte Alta 8. Palmeira 9. Bocaina do Sul 10. Rio Rufino 11. Urubici 12. Bom Jardim da Serra 13. São Joaquim 14. Lages 15. Paineel 16. Urupema 17. São José do Cerrito 18. Capão Alto 19. Campo Belo do Sul 20. Cerro Negro 21. Anita Garibaldi 22. 23. Celso Ramos 24. Campo Novos 25. Zortéa 26. Ibiã 27. Correia Pinto 28. Monte Carlo 29. Abdon Batista 30. Brunópolis 31. Frei Rogério (DOMINGUES, 2006, p 14).

Assim, devido a sua importância, principalmente territorial, dentro do estado de Santa Catarina, esta região, assim como as demais regiões do estado, a Região Serrana apresenta características Geomorfológicas que favorecem a instalação de usinas hidrelétricas, principalmente ao longo do rio Uruguai (SILVA, 2006).

O autor ainda relata, no que tange as usinas hidrelétricas presentes em Santa Catarina, encontram-se, conforme quadro abaixo:

Quadro 2 – Localização e potência das usinas hidrelétricas em Santa Catarina

Usina	Localização	Potência (mW)
Abrasa	Faxinal dos Guedes	999
Alto Benedito Novo	Benedito Novo	2.544
Bruno Heifrich Neto	Taió	1.600
Caveiras	Lages	4.000
Cedros	Rio dos Cedros	8.300

Celso Ramos	Faxinal dos Guedes	5.760
Dalarapia	Passos de Maia	1.440
Flor do Mato	Ponte Serrada	4.800
Garcia	Angelina	9.600
Ivo Silveira	Campos Novos	2.100
Mafra	Ibirama	1.840
Pery	Curitibanos	4.400
Piraí	Joinville	1.500
Rio Palmeirense	Orleans e Urussanga	1.500
Rio Tigre	Chapecó	2.080
Rio Timbó	Irenópolis e Porto União	5.800
Salto Donner	Doutor Pedrinho	1.900
Salto Weissbach	Blumenau	6.300
Salto do Leão	Campos Novos e Herval D'oste	1.344
Salto do Passo Velho	Xanxerê	1.800
Salto Voltão	Xanxerê	8.200
Salto Luiz	Ponte Serrada	1.800
Rio do Peixe	Videira	-
Bracinho	Schroeder	-
São Lourenço	Mafra	-
Machadinho	Piratuba e Machadinho	1.140
Itá	Itá	1.450

Fonte: Silva *et al.* (2006, p. 10-11), adaptado.

A nível de conhecimento cultural, vale ressaltar que a Usina Hidrelétrica Salto Caveiras foi a primeira usina hidrelétrica construída na Região Serrana. Nessa área, existe um grande lago artificial formado pela Represa das águas onde a Celesc possui uma usina que durante muito tempo forneceu energia à cidade. “Atualmente ela ainda é usada em situações de emergência” (IBGE, 2018, on-line).

Figura 17 – Usina Hidrelétrica Salto Caveiras



Fonte: Portal da Serra

Assim como Silva (2006) ressalta, Santa Catarina apresenta características climáticas e geomorfológicas que favorecem a instalação de usinas hidrelétricas, principalmente se dermos ênfase ao longo do rio Uruguai, que também permeia a Serra Catarinense. O mesmo possui um regime de chuvas anual bem distribuído, e vales de rios bem cavados, o que propicia um grande volume de água nos rios.

Sobre o rio Uruguai, Rodrigues (2014), salienta que este rio faz a divisa natural dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina e também a divisa internacional entre Brasil e Argentina. Possui um grande potencial hidrelétrico, com uma capacidade total de produção de 40,5 KW/km².

Figura 18 – Rio Uruguai



Fonte: Gomes (2014)

O rio Uruguai, de acordo com a Agência Nacional de Águas (BRASIL, 2015), é uma das doze Regiões Hidrográficas Brasileiras.

Figura 19 – Regiões hidrográficas brasileiras



Fonte: Brasil (2018)

Como se observa na imagem acima, além do rio Uruguai outras regiões hidrográficas significativas são: Amazônica, Tocantins-Araguaia, Atlântico NE Ocidental, Parnaíba, Atlântico NE Oriental, São Francisco, Atlântico Leste, Atlântico Sudeste, Paraná e Paraguai.

A Região Hidrográfica Uruguai ocupa cerca de 3% do território brasileiro, abrangendo porções dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. A região possui atividades agroindustriais desenvolvidas e grande potencial hidrelétrico. O clima é temperado, com chuvas distribuídas ao longo de todo o ano, mas com maior concentração no inverno (maio a setembro) (BRASIL 2018).

De acordo com Brasil (2015, p. 149):

A precipitação média anual é de 1.623 mm, pouco abaixo da média nacional, de 1.761 mm. A sua disponibilidade hídrica é de 565 m³/s, ou seja 0,6% da disponibilidade hídrica nacional (91.071 m³/s), e a vazão média é de 4.103 m³/s, correspondendo a 2,3% da vazão média nacional (179.516m³/s). A vazão de retirada (demanda total) é 155,4 m³/s (cerca de 7% da demanda nacional) e a vazão específica, de 23,5 L/s/km². O volume máximo de reservação per capita é de 3.388 m³/hab., pouco abaixo da média brasileira, de 3.607 m³/hab.

Silva ainda dá destaque para as 25 usinas hidrelétricas encontradas no estado, “umas pouco conhecidas e outras nem tanto, mas cada uma com o seu valor econômico”. Para Rodrigues (2014), as cinco principais usinas hidrelétricas que se localizam ao longo do rio Uruguai, devido sua importância, tamanho e/ou localização, são, conforme quadro abaixo:

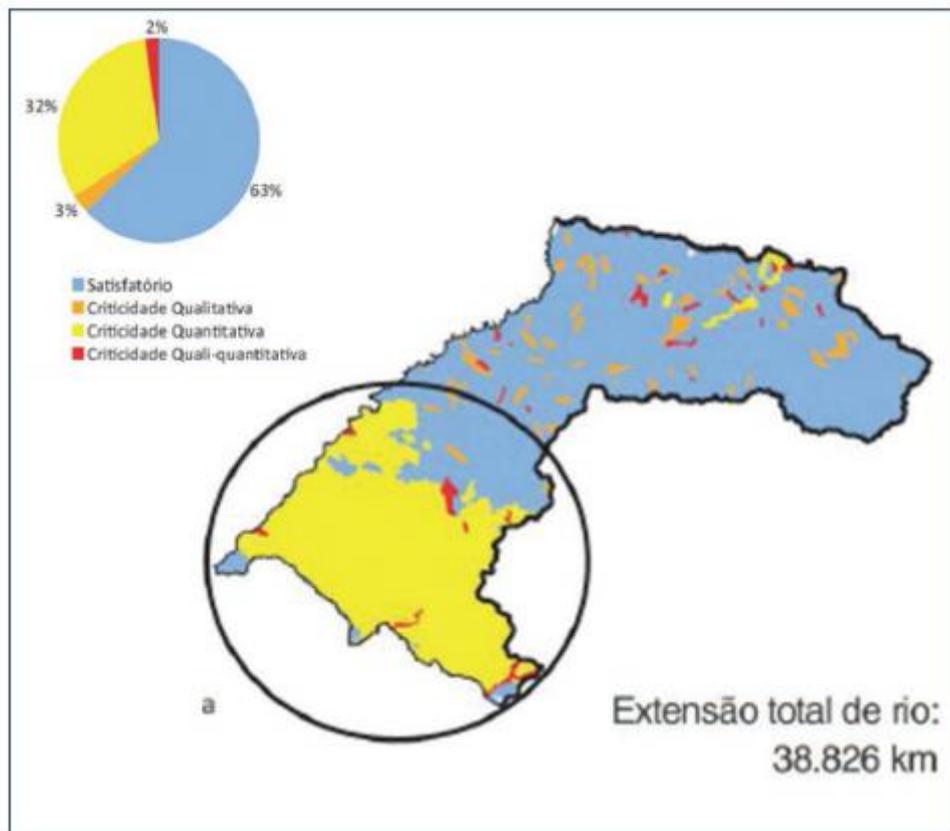
Quadro 3 – 5 Usinas hidrelétricas da bacia do Rio Uruguai

Usina Hidrelétrica de Campos Novos	A Usina Hidrelétrica de Campos Novos é uma usina do Rio Canoas (um dos dois maiores afluentes do Rio Uruguai), localizada no município de Campos Novos, no estado de Santa Catarina. Sua barragem é uma das mais altas do mundo, com 202 metros e seu comprimento é de 592 metros. Possui três unidades geradoras, que produzem um quarto do consumo do estado de Santa Catarina.
Usina Hidrelétrica de Barra Grande	A Usina Hidrelétrica de Barra Grande localiza-se entre os municípios de Anita Garibaldi (Santa Catarina) e Pinhal da Serra (Rio Grande do Sul). Esta usina foi construída no rio Pelotas, um dos dois principais afluentes do Rio Uruguai, possui três turbinas que produzem 708 MW.
Usina Hidrelétrica de Machadinho	A Usina Hidrelétrica Machadinho localiza-se no Rio Uruguai, na divisa dos municípios de Piratuba (Santa Catarina) e Maximiliano de Almeida (Rio Grande do Sul). Possui três unidades geradoras de 380 MW cada, totalizando uma potência instalada de 1.140 MW – o que corresponde a cerca de 37% da demanda de energia do estado de Santa Catarina ou 23% do total consumido pelo estado do Rio Grande do Sul.
Usina Hidrelétrica de Itá	A Usina Hidrelétrica de Itá se localiza no rio Uruguai, na divisa dos municípios de Itá, (Santa Catarina) e Aratiba (Rio Grande do Sul). Sua capacidade instalada é de 1.450 MW.
A Usina Hidrelétrica Foz do Chapecó	A Usina Hidrelétrica Foz do Chapecó está instalada no Rio Uruguai, entre os municípios de Águas de Chapecó (Santa Catarina) e Alpestre (Rio Grande do Sul). A potência instalada é de 855 MW, com 4 turbinas geradoras. A barragem tem 598 metros de extensão e 48 metros de altura.

Fonte: Rodrigues (2014) adaptado.

Brasil (2015) ainda ressalta que ao longo do tempo, o rio Uruguai vem apresentando criticidade em termos quantitativos, com 46% da demanda/disponibilidade hídrica por extensão de rios preocupante, crítica, ou muito preocupante. Sobretudo, tal situação crítica, se encontra ao sul da bacia, no estado do Rio Grande do Sul, conforme imagem abaixo.

Figura 20 – Criticidade na demanda/disponibilidade hídrica do rio Uruguai



Fonte: Brasil (2015).

Por fim, quando se fala em implantação de usinas hidrelétricas ao longo da Serra Catarinense e, evidentemente ao longo do rio Uruguai e seus afluentes, Brasil (2015) afirma ser uma iniciativa importante e necessária, pois o rio Uruguai apresenta um grande potencial hidrelétrico, com uma capacidade total, considerando os lados brasileiro e uruguaio, de produção de 40,5KW/km², uma das maiores relações energia/km² do mundo. Atualmente, estão instalados na RH, ao longo do Rio Uruguai e seus afluentes, aproximadamente, 6.000 MW.

Assim, a última seção de fundamentação busca apresentar como pode ser implantada novas centrais hidrelétricas na Região Serrana, pautada em conhecimentos adquiridos a partir de outras centrais já instaladas.

4.1 MODELO DE INSTALAÇÃO DE UMA PCH: USINA ADO POPINHAK

Dado, nas seções acima, como se movimenta as questões burocráticas para implantação das pequenas centrais hidrelétricas, esta seção buscará apresentar de forma mais prática como se insere uma central, dando ênfase nas questões de observação e instalação, e não em licenças, documentos e autorizações, que já foram destacadas anteriormente.

Como modelo para instalação de Pequenas Centrais Hidrelétricas, será observado como ocorreu a instalação da PCH ADO Popinhak, localizada entre os municípios de Curitibaanos e Correia Pinto, ao longo do rio Canoas.

Figura 21 – Localização da PCH ADO Popinhak



Fonte: Brasil/ANEEL (2015).

No que tange às características gerais da ADO Popinhak, a mesma teve como órgão responsável o Ministério de Minas e Energia, como executor a Companhia Energética Canoas, na unidade federativa de Santa Catarina, no município de Curitibaanos, tendo como investimento

previsto R\$99.700.000,00, já tendo todos os seus estágios concluídos de acordo com o site do Programa de Aceleração do Crescimento- PAC (BRASIL, 2018).

Após passar pelos estudos de dados cartográficos, viabilidade e outorga, etapas necessárias para a implementação de uma PCH, conforme citado por Nahs (2010), esta implementação foi aprovada com uma potência de 19.300kW. O que a caracteriza como uma “Pequena Central Hidrelétrica”, de acordo com os descritos de Dias (2014) ($1.000 < P < 30.000$).

Quanto ao processo delicado de desapropriação, dos civis, da fauna e/ou da flora do local onde se localizara a represa, ou a instalação da usina, por se tratar de uma PCH, o impacto não se faz grande, porém ainda exista. No caso da PCH Ado Popinhak, foi desapropriado uma superfície de 89,65 ha (oitenta e nove hectares, sessenta e cinco ares) (ANEEL, 2015).

Figura 22 – PCH Ado Popinhak



Fonte: MF (2016).

Ainda acerca do processo de desapropriação, a usina em referência, assim como os demais empreendimentos hidrelétricos, buscam suprir o processo de “invasão” à fauna e flora, com projetos e programas sociais que ressaltem a importância de proteger os mesmos. Pode-se destacar alguns programas ofertados pela Ado Popinhak: Programa ambiental de construção (define diretrizes ambientais a serem seguidas prevenindo e diminuindo possíveis impactos ambientais); Programa de manejo e conservação da fauna (tem como objetivo mitigar os impactos da implantação dessa usina em relação à fauna); Programa de controle dos processos

erosivos (elaborar e implantar medidas que evitem a ocorrência de processos erosivos nas áreas de obra, através de vistorias periódicas); Programa de manejo e conservação da flora (consistem em consolidar um banco de dados com informações sobre a flora local e, ao mesmo tempo, preservar a biodiversidade local) (MF, 2016).

Há diversos outros programas que mostram a preocupação de se proteger a biodiversidade local ao mesmo tempo em que se buscam alternativas para suprir a carência energética no Brasil. Sendo que tais atos nos mostram que desenvolvimento e meio-ambiente podem andar de mãos dadas.

Os demais programas que agregam valor ambiental à PCH Ado Popinhak são: Programa de conformação da área de preservação permanente; programa de limpeza das áreas inundadas; Programa de recuperação das áreas degradadas; Programa de monitoramento da qualidade da água; Programa de orientação dos trabalhadores; Programa de educação ambiental e comunicação social; Programa de supervisão ambiental etc. (MF, 2016).

O estudo do solo também se faz importante nas pesquisas de implantação das centrais hidrelétricas. Conforme salienta Albarello (2014, p. 20), “de maneira como orienta a boa técnica, em princípio, qualquer que seja a obra deve constituir-se com os materiais disponíveis no local, ou seja, o projeto necessita ser adaptado aos mesmos”.

Sendo assim, o autor destaca que para se obter materiais de qualidade e em quantidade necessárias é importante que sejam pesquisadas as seguintes ocorrências: Tipo de solo, para utilização nas obras de terra; areia, empregada na confecção de filtros e concretos; cascalho e/ou seixo rolado, para confecção de concretos; e rocha, para utilização em enrocamentos, transições e agregados graúdos.

No que tange a construção de usinas hidrelétricas, Albarello (2014) ainda menciona que não são indicados solos muito úmidos ou saturados, porque os mesmos não são propícios à compactação para a obtenção da resistência e densidade necessária.

Quanto as características estruturais da PCH Ado Popinhak, que torna-se legal a partir da LAI (Licença Ambiental de Instalação) de n. 5058/2014, e tem seu início de obras em abril de 2016, com conclusão em outubro de 2017. O que fica em consonância com os descritos de

Dentre suas características ela trabalha no método de operação “a fio d’água”, sendo este o método mais comum para as pequenas centrais hidrelétricas. A barragem, parte essencial de uma usina hidrelétrica, independente de seu tamanho, conforme destacado por Soares Jr.

(2013) integra a estrutura da usina Ado Popinhak com um barramento de 128 metros de comprimento e 10 metros de altura.

A potência da usina, conforme já destacada anteriormente, é de aproximadamente 19,00 MW, ou cerca de 19.000 kW, o que a caracteriza como uma PCH.

Por se tratar de uma usina de método “a fio d’água”, quando comparada a outras usinas, inclusive as de “fio d’água”, não teve uma grande área alagada, haja visto que seu reservatório já se encontrava com 26,36 ha alagados de forma natural pelo rio, sendo o restante efetivamente alagados (3,40ha).

Quanto a sua casa de força, contém quatro unidades geradoras tipo Kaplan. Para observação dos geradores, podemos lembrar os descritos na obra de Siqueira (2006) que ressalta a Kaplan como a escolha mais correta para se trabalhar em quedas baixas, inferiores a 70 metros, que no caso contempla a queda de 13 metros da Ado Popinhak. A sua vazão, 260 m³/s, que compreende à vazão do rio Canoas também sugere o uso da turbina Kaplan (RTK, 2010).

Sendo assim, fica evidente que a hidrelétrica Ado Popinhak é um modelo de PCH a ser seguido, pois teve sua implementação aprovada após a apresentação de todos os documentos para sua construção, além de seguir corretamente as propostas ofertadas na construção de uma PCH, desde o projeto do inventário, os estudos de solo, as preocupações sócio-ambientais, até a implementação correta de suas estruturas mecânicas.

Assim, a PCH Ado Popinhak se faz importante no panorama da Serra Catarinense, porque auxilia não apenas o desenvolvimento local, nas cidades de Curitiba e Correia Pinto, mas como método auxiliar de distribuição de energia há uma boa parte da população catarinense.

Por fim, no último decênio, mais de 20 PCHs foram mapeadas para instalação apenas na Região da Amures, ou seja, na Região Serrana, o que mostra o grande potencial que ainda há em nossa serra no que tange a oferta de energia através das matrizes hidráulicas.

Das mais⁸ de 270 Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) e Usinas Hidrelétricas (UHs) implantadas e em processo de consolidação em Santa Catarina, 10% estarão na região serrana. Em pouco tempo a Serra Catarinense será a maior geradora de energia elétrica do Estado, o que deverá mudar a face da economia de alguns municípios. É o que preveem estudos preliminares que estão sendo realizados dentro da Associação dos Municípios da Região Serrana (Amures), através da Coordenadoria de Meio Ambiente (AMURES, 2009, *on-line*).

⁸ Grifo do autor.

O artigo da Amures também faz referência a importância dos afluentes do rio Uruguai no que consiste a implantação de novas PCHs. Dessa forma, tais dados só confirmam que mais estudos voltados à implementação de centrais hidrelétricas na Serra Catarinense devem continuar sendo desenvolvidos afim de contribuir para a disseminação deste conteúdo, tão necessário para o conhecimento do potencial elétrico de nossa região.

5 CONCLUSÃO

Após a construção deste trabalho, fica evidente que as usinas hidrelétricas ainda consistem em ser a alternativa mais correta no que tange aos futuros investimentos na área energética nacional. Mesmos com as preocupações socioambientais eminentes à implantação de novas usinas hidrelétricas, é preciso compreender que, embora haja, de fato, uma perda ambiental devido as represas utilizadas na construção de tais centrais, tais perdas têm sido cada vez menores em virtude dos programas e projetos que a própria usina desenvolve em contrapartida a esta “invasão ecológica”.

Uma alternativa viável que tem se apresentado, no que tange esta proteção à ecologia, é a implantação de pequenas centrais hidrelétricas, que devido ao seu menor porte, e seus reservatórios com dimensões inferiores à outras centrais, acaba por não acometer tanto a fauna e a flora do local onde será inserida.

Dentro da implantação destas usinas, destaca-se a importância de conhecer todo o processo documental que a envolve, para que sua construção esteja de acordo com as políticas públicas vigentes e que dessa forma, possa ter uma base de como esta usina se constituirá, além dos benefícios que ela trará para a comunidade onde está inserida e também para a população geral.

É importante também destacar a necessidade de se conhecer os componentes de uma usina hidrelétrica, haja visto que a inserção de estruturas que não sejam corretas, certamente acometerá o bom funcionamento da central, causando diversos prejuízos, desde o mau funcionamento de alguma peça até a perda total de sua função. Daí surge a necessidade de sempre haver um engenheiro mecânico trabalhando nesta área, seja na manutenção, na implantação ou na criação de novas peças.

Evidenciou-se no trabalho a implantação das PCHs como método de satisfazer as necessidades energéticas futuras, e como tais procedimentos se fazem viáveis tanto do ponto de vista sócio-ambiental, quanto de custo-benefício. Ainda dentro da implantação de PCHs, deu-se ênfase em instalações pelos afluentes do rio Uruguai, dentro da Região Serrana, o qual os dados mostraram serem implementos viáveis, e inclusive já se encontram em pautas de discussões políticas e implementações.

A usina utilizada como modelo e exemplo para a instalação de outras PCHs, estava de acordo com o que os autores salientavam no tocante a construção de usinas hidrelétricas, cumprindo com eficiência desde as questões de documentos de viabilidade até a outorga, até a

implantação correta dos materiais para a construção da hidrelétrica seja para o conhecimento do solo, seja para a colocação da turbina mais viável quando salientado os dados da respectiva central.

Mesmo utilizando os dados obtidos acerca da PCH Ado Popinhak, achou-se interessante utilizar o *software* mencionado na fundamentação teórica, o “TurboSoft”, para confirmar se a turbina utilizada era, de fato, a mais coerente, de acordo com o programa, haja visto que através dos dados obtidos, a Kaplan se torna a mais viável, porém o programa não se encontra disponível *online* nem mesmo por meio de pagamento para sua utilização, o que impossibilitou tal comparação.

Por fim, fica evidente que a construção de PCHs são ações que devem ser incentivadas ainda mais, porque através delas, haverá uma melhor na matriz energética no que tange as matrizes de energia limpa e renovável, expansão no mercado de trabalhos, devido aos empregos que a atividade traria, além do desenvolvimento social no município em que tais centrais se instalariam.

REFERÊNCIAS

- ALBARELLO, Leonardo. **Guia para a implementação de pequenas centrais hidrelétricas – PCHs**. 2014. 37f. TCC (Pós-graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos) – Universidade Federal de Santa Maria, Panambi, Rio Grande do Sul, RS, 2014.
- AMURES, Associação dos Municípios da Região Serrana. **20 PCHs mapeadas para a região da AMURES**. 2009. Disponível em: <<https://www.amures.org.br/noticias/index/ver/codMapaItem/41771/codNoticia/115669>>. Acesso em: 25 nov. 2018.
- BRASIL, Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. **PCHs do estado de Santa Catarina**. 2015. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/scg/Doc/Publicacao_PCH_SC_Projeto.pdf>. Acesso em 25 nov. 2018.
- BRASIL, Agência Nacional de Águas - ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras**. Brasília: ANA, 2015.
- BRASIL, Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília: Aneel, 2008.
- BRASIL, Ministério do Planejamento. **Demanda por eletricidade no Brasil vai triplicar até 2050**. 2014. Disponível em: <<http://www.pac.gov.br/noticia/13554306>>. Acesso em: 22 mai. 2018.
- BRASIL, Programa de Aceleração do Crescimento – PAC, Ministério do Planejamento. **Pequena Central Hidrelétrica – Ado Popinhak – SC**. 2018. Disponível em: <<http://www.pac.gov.br/obra/76719>>. Acesso em: 25 nov. 2018.
- DIAS, Israel Oliveira. **Procedimentos para implantação de uma pequena central hidrelétrica, do estudo de inventário à outorga**. 2014. 97f. TCC (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2014.
- DOMINGUES, Colmar Rodrigues. **Versão preliminar do Plano Territorial de Desenvolvimento Rural Sustentável: território do Planalto Catarinense (Planalto Serrano)**. 2006. Disponível em: <http://sit.mda.gov.br/download/ptdrs/ptdrs_territorio156.pdf>. Acesso em 25 nov. 2018.
- FARIA, Caroline. **Como funciona uma hidrelétrica**. 2006. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/fisica/como-funciona-uma-hidreletrica/>>. Acesso em: 22 mai. 2018.
- FILHO, Donato Silva. **Dimensionamento de usinas hidroelétricas através de técnicas de otimização evolutiva**. 2003. 398f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- FRASÃO, Lucas. MENICONI, Tadeu. **Entenda como a geração de energia elétrica afeta o meio ambiente**. 2011. Disponível em: <<http://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2011/03/entenda-como-geracao-de-energia-eletrica-afeta-o-meio-ambiente.html>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 1999.

GOMES, Flávia Maria. **Bacias hidrográficas da América do Sul**. 2014. Disponível em: <<https://slideplayer.com.br/slide/2351230/>>. Acesso em 25 nov. 2018.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estado de Santa Catarina: mesorregiões**. 2015. Disponível em: <<https://www.thinglink.com/scene/765013895080312834>>. Acesso em 05 nov. 2018.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Usina hidrelétrica Salto Caveiras**. 2018. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo.html?id=450337&view=detalhes>>. Acesso em: 25 nov. 2018.

MF, Consultoria Ambiental. **A PCH Ado Popinhak: características**. 2016. Disponível em: <<http://pchadopopinhak.blogspot.com/2016/>>. Acesso em: 25 nov. 2018.

MORAIS, Luciano Cardoso de. **Estudo sobre o panorama da energia elétrica no Brasil e tendências futuras**. 2015. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, SP, 2015.

NAHAS, Renato Luiz de Lima. **PCHs: viabilidade e inventário hidrelétrico**. 2010. 36f. TCC (Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação - Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2010.

NICOLETTI, Jacob. **Por que escolher energia hidrelétrica? Vamos aos fatos**. 2018. Disponível em: <<http://www.hidroenergia.com.br/por-que-escolher-energia-hidreletrica/>>. Acesso em 22 mai. 2018.

OLIVEIRA, Pedro Vitor. **Definição: o que são mancais**. 2018. Disponível em: <<https://www.cimm.com.br/portal/verbetes/exibir/468-mancais>>. Acesso em 04 nov. 2018.

RIBAS, Luiz Fernando Ferreira *et al.* **Aumento da eficiência de usinas hidráulicas: caso UHE Luiz Gonzaga**. In: XV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Foz do Iguaçu, Paraná, PR, 17 a 22 out. 1999.

RODRIGUES, Zelinda da Silva. **5 usinas hidrelétricas da bacia do rio Uruguai**. 2014. Disponível em: <<http://www.janeladohorizonte.com.br/2014/11/5-usinas-hidreletricas-da-bacia-do-rio.html>>. Acesso em: 25 nov. 2018

RTK. **PCH Ado Popinhak, Rio Canoas: Relatório de Impacto Ambiental**. 2010. Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/0B9Sd26CvLAOfdnjZTRtRkh0THc/view>>. Acesso em 25 nov. 2018.

SANTOS, Daniel *et al.* **Turbinas hidráulicas**. 2007. Disponível em: <<ftp://mecanica.ufu.br/LIVRE/Daniel/FEMEC41066%20-%20Maquinas%20de%20Fluxo/Turbinas-Cap8/turbinas.pdf>>. Acesso em 15 out. 2018.

SILVA, Larissa Monguilhott da. **A importância das fontes de Energia em Santa Catarina, Brasil**. 2006. 19f. Artigo (Graduação em Geografia) – Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, Florianópolis, SC, 2006.

SIQUEIRA, Ricardo Barbosa Posch. **Construção de diagramas de custos para PCH incorporando turbinas de mercado.** 2006. 151f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica na área de Transmissão e Conversão de Energia) – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, SP, 2006.

SOARES JÚNIOR, Ricardo Luiz. **Projeto conceitual de uma turbina hidráulica a ser utilizada na usina hidrelétrica externa de Henry Borden.** 2013. 83f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2013.

SOUZA, Carlos Roberto Mário de *et al.* **Aplicação de materiais autolubrificandos em mancais de turbinas.** In: XIX Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Rio de Janeiro, RJ, 14 a 16 out. 2007.

WOLSKI, Celso *et al.* **Desenvolvimento de um Software para o Cálculo de Dimensionamento de Turbinas em Pequenas Centrais Hidrelétricas.** 2013. 100 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação do Curso Superior de Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase Eletrotécnica) – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

WIKIPÉDIA. **Mancal.** 2010. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Mancal>>. Acesso em 25 nov. 2018.