



João Guilherme Weiller

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA DE IMPLANTAÇÃO
DE UMA PCH**

Horizontina

2014

João Guilherme Weiller

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA DE IMPLANTAÇÃO DE UMA
PCH**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Anderson Dal Molin, MsC.

Horizontina

2014

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

“Análise de viabilidade técnica de implantação de uma PCH”

Elaborada por:

João Guilherme Weiller

como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica

**Aprovado em: 05/11/2014
Pela Comissão Examinadora**

**MsC. Anderson Dal Molin
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

**Dr. Ademar Michels
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Dr. Fabiano Cassol
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Horizontina
2014**

À FAMÍLIA

A vocês que sempre acreditaram, apoiaram e me incentivaram a prosseguir em frente. Pelo seu cuidado e dedicação que significou segurança e certeza de que não estou sozinho nessa caminhada.

AGRADECIMENTO

Agradeço em primeiro lugar a Deus que iluminou e conduziu meu caminho com segurança durante todo esse tempo. À minha família pelo apoio e constante incentivo. Aos professores, os quais com paciência e dedicação me conduziram até esse momento e em especial ao professor orientador e amigo Anderson Dal Molin.

“A vida não dá nem empresta; não se comove nem se apieda. Tudo quanto ela faz é retribuir e transferir aquilo que nós lhe oferecemos”.

Albert Einstein

RESUMO

O desenvolvimento de qualquer comunidade está estreitamente vinculado ao uso de energia, que permite a fabricação de bens de consumo, encurta distâncias e facilita a difusão de informações e conhecimento, dessa forma passamos também a associar o controle da energia à prosperidade e ao bem-estar. O presente trabalho analisa a viabilidade técnica de implantação de uma pequena central hidrelétrica que será localizada na cidade de São Valério do Sul, no rio Valério, no trecho compreendido entre a Latitude Sul 27° 46' 12.22" e Longitude Oeste 53° 56' 31.78" e a Latitude Sul 27° 46' 12.59" e longitude Oeste 53° 56' 20.59". As pequenas centrais hidrelétricas se tornam ótimas opções na geração de energia renovável com baixo impacto ambiental. Sendo assim o trabalho tem como objetivo geral, analisar a viabilidade técnica de implantação de uma PCH. Buscando alcançar o objetivo geral, primeiramente foi realizado um estudo do potencial hídrico do rio Valério, efetuado o levantamento dos principais pontos com potencial para geração de energia, dimensionamento básico da PCH e uma análise do custo total do empreendimento. A metodologia aplicada é caracterizada como um estudo de caso, estudo mais aprofundado para formar conhecimento acerca do tema. Podemos classificar o estudo como exploratório e descritivo. Exploratório, pois foi realizado em uma área onde há pouco conhecimento sobre o assunto. Descritivo, por expor características únicas do local. Os resultados apresentados nos mostram uma capacidade de produção de energia de mais de 500kW e custo de instalação da PCH estimado em aproximadamente R\$ 2.200.000,00. Diante dos resultados alcançados e de acordo com as diretrizes que regem a construção de uma PCH, podemos concluir que a construção de uma pequena central hidrelétrica no trecho estudado é tecnicamente viável.

Palavras-chave: Pequena Central Hidrelétrica, Energia Renovável, Viabilidade.

ABSTRACT

The development of any community is closely linked to energy usage, which allows the fabrication of consumer goods, shortens distances and facilitates the dissemination of information and knowledge, so we also started to associate the control of energy prosperity and well-being. This monograph examines the technical feasibility of deploying a small hydroelectric plant that will be located in São Valério do Sul, in Valerio River in the stretch between South Latitude 27° 46 '12.22 "West Longitude and 53 56' 31.78" South Latitude and 27° 46 '12.59 ", longitude 53 west 56 "20:59.". The small hydropower plants become great options in renewable energy with low environmental impact. So the work has as main objective to analyze the technical feasibility of deploying a PCH. Seeking to achieve the overall goal, first a study of the water potential of the river Valerio, made a survey of the main points with the potential for power generation, basic dimensioning of PCH and an analysis of the total cost of installation was performed. The methodology applied is characterized as a case study, further study to form knowledge about the topic. We classify the study as exploratory and descriptive. Exploratory because it was conducted in an area where there is little knowledge about it and never had one done hydro energetic study of the river. Descriptive, by exposing unique characteristics of the local. The results show us a production capacity of more than 500kW of power and cost of installing the PCH estimated at more than R \$ 2,200,000.00. Given its results and in accordance with the guidelines governing the construction of a PCH, we conclude that the construction of a small hydropower plant in the studied stretch is technically feasible.

Keywords: Small Hydropower, Renewable Energy Feasibility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Barragem de terra.....	17
Figura 2: Barragem de enrocamento	18
Figura 3: Barragem de concreto	19
Figura 4: Perda de carga na entrada da tubulação.....	23
Figura 5: Definição do coeficiente Z_d em função de K'	28
Figura 6: Marcação do trecho no rio.....	30
Figura 7: Vista aérea do rio Valério	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação das PCH	16
Tabela 2: Distância livre entre as barras de proteção	20
Tabela 3: Valores para o K_a	22
Tabela 4: Valores do coeficiente Manning.	24
Tabela 5: Velocidade máxima admissível	29

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. JUSTIFICATIVA.....	12
1.2. OBJETIVOS	13
2. REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1. PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS	14
2.2. ELEMENTOS DE UMA PCH.....	16
2.2.1. BARRAGEM.....	16
2.2.2. VERTEDOURO	19
2.2.3. CIRCUITO DE ADUÇÃO	20
2.2.4. CASA DE FORÇA.....	29
2.3. DETERMINAÇÃO DA ENERGIA HIDRÁULICA	30
2.3.1. MEDIÇÃO DE VAZÃO	30
2.3.2. GPS	31
2.4. TURBINAS HIDRÁULICAS.....	32
2.5. POTÊNCIA INSTALADA.....	35
2.6. CUSTO DE IMPLANTAÇÃO DE UMA PCH.....	36
2.6.1. ESTIMATIVA DOS CUSTOS DO SISTEMA TÉCNICO	36
2.6.2. ESTIMATIVA DOS CUSTOS AMBIENTAIS	39
2.6.3. ESTIMATIVA DOS CUSTOS INDIRETOS	40
2.6.4. ESTIMATIVA DE OUTROS CUSTOS	40
2.6.5. CUSTO FINAL	41
2.7. ESTUDOS AMBIENTAIS	41
2.7.1. ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA)	43
2.7.2. RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL (RIMA)	44
3. METODOLOGIA	45
3.1. MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS	45
3.2. RIO VALÉRIO	45
3.3. DEFINIÇÃO DO LOCAL PARA INSTALAÇÃO	47
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	48
4.1. ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA	48

5. CONCLUSÕES	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
APÊNDICE A – DESNÍVEL DO TRECHO	60
APÊNDICE B – FLUXOGRAMA DE ESTUDO	61
APÊNDICE C – CARACTERÍSTICAS DA PCH.....	62
ANEXO A – CAMPO DE APLICAÇÃO DE TURBINAS HIDRÁULICAS	63

1. INTRODUÇÃO

Uma das variáveis para se definir um país como desenvolvido, é a facilidade de acesso da população aos serviços de infraestrutura, como saneamento básico, transportes, telecomunicações e energia. O primeiro está diretamente relacionado à saúde pública. Os dois seguintes, à integração nacional. Já a energia é o fator determinante para o desenvolvimento econômico e social (ANEEL, 2008).

O cenário brasileiro se mostra bastante promissor com expectativa de triplicar a geração de energia renováveis, segundo informação do Portal Brasileiro de Energias Renováveis (ANEEL, 2008).

Com o aumento da população, cresce a necessidade de aumentar o suporte energético do país, e alavancado por essa nova onda para a utilização de energias renováveis, o Brasil se tornou evidência no cenário global, devido a sua enorme capacidade de produzir energias sem que haja tantos danos ao meio ambiente. Atualmente somos o País cuja produção de energia oriunda de hidrelétricas é a maior do mundo (ANEEL, 2008).

Uma fonte alternativa de energia que vem sendo incentivada pelo governo e que se mostra uma alternativa viável é a construção de PCH's – Pequenas Centrais Hidrelétricas que causam um baixo impacto ambiental (ANEEL, 2008).

O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), conforme descrito no Decreto nº 5.025, de 2004, foi instituído com o objetivo de aumentar a participação da energia elétrica produzida por pequenas centrais hidrelétricas (PCH's).

1.1. JUSTIFICATIVA

De acordo com o Portal PCH *apud* Slompo e Klostermann (2012), o crescimento do consumo de energia elétrica está estimado em 5% ao ano, dessa forma as PCH's se configuram como uma fonte importante para atender a essa demanda, pois apresentam menor investimento e impacto ambiental, ainda apresentam as vantagens de necessitarem apenas de autorização da ANEEL para implantação, a redução das tarifas de uso dos sistemas de transmissão e distribuição e a isenção do pagamento da compensação financeira pelo uso de recursos hídricos.

As PCH's também representam uma forma rápida de promover a expansão da energia, com o objetivo de suprir a crescente demanda do mercado. Esse tipo de empreendimento possibilita uma melhora no atendimento das necessidade de energia nos pequenos centros urbanos e regiões rurais (ANEEL, 2013).

Com a necessidade de novos aproveitamentos hidrelétricos, é necessária a elaboração de estudos do potencial hidrenergético de nossos rios, a fim de viabilizar implantações de novas PCH's. As pequenas centrais hidrelétricas também ajudam na geração de empregos e no desenvolvimento da região na qual estão instaladas (DAL MOLIN, 2007).

1.2. OBJETIVOS

Destaca-se como objetivo geral desta pesquisa analisar a viabilidade técnica de implantação de uma Pequena Central Hidrelétrica que será localizada no rio Valério no trecho compreendido entre a Latitude Sul 27° 46' 12.22" e Longitude Oeste 53° 56' 31.78" e a Latitude Sul 27° 46' 12.59" e longitude Oeste 53° 56" 20.59".

Os objetivos específicos são:

- ◆ Estudo do potencial hídrico do rio Valério;
- ◆ Selecionar os pontos com potencial hidrenergético;
- ◆ Determinar o melhor ponto para instalação da PCH;
- ◆ Dimensionar os elementos básicos da PCH;
- ◆ Analisar custo de implantação da PCH.

2. REVISÃO DA LITERATURA

O aproveitamento hidráulico para geração de energia elétrica é composto basicamente por uma barragem, formadora de um reservatório, tomada de d' água e conduto forçado que levam a água do reservatório até a casa de força, onde estão instalados os grupos turbinagerador e outros equipamentos auxiliares, além de um canal de restituição, através do qual a água é reconduzida ao rio ou a outro curso d' água (SLOMPO, KLOSTERMANN, 2012).

Nessa revisão de literatura será apresentada uma contextualização sobre pequenas centrais hidrelétricas, suas características mais importantes, os métodos utilizados no estudo e legislação pertinente.

2.1. PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS

No Brasil a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) através da Resolução 652 (2003), estabeleceu os critérios para o aproveitamento hidrelétrico na condição de pequena central hidrelétrica.

O artigo 1º define PCH como, toda usina hidrelétrica de pequeno porte cuja capacidade instalada seja superior a 1MW e igual ou inferior a 30MW, com destinação a produção independente, autoprodução ou produção independente autônoma, também define outras restrições como área do reservatório deve ser inferior a 3km².

Já o artigo 2º da Resolução 652 (2003), descreve diversos conceitos para poder definir um aproveitamento hidrelétrico.

- I. Área do reservatório: área da planta à montante do barramento, delimitado pelo nível d'água máximo normal de montante.
- II. Nível d'água máximo normal a montante: Para fins de operação da usina, e definido através dos estudos energéticos, corresponde ao nível que limita a parte superior do volume útil.
- III. Nível d'água mínimo de montante: Para fins de operação, corresponde ao nível que limita a parte inferior do volume útil.
- IV. Nível d'água normal de jusante: nível de d'água a jusante da casa de força para a vazão correspondente ao somatório dos engolimentos máximos de todas as turbinas, quando houver mais de uma.

Segundo o artigo 4º da Resolução nº 652 (2003), o aproveitamento que não atende a condição de reservatório descrito no Art. 1º, mas que respeita os limites de potência e modalidade de exploração poderá ser caracterizado como PCH, caso se verifique pelo menos uma das seguintes condições.

I. Atendendo a equação (1):

$$A \leq \frac{14,3 \times P}{H_b} \quad (1)$$

Onde:

P = potência elétrica instalada em (MW)

A = área do reservatório em (km²);

H_b = queda bruta em (m).

II. Reservatório cujo dimensionamento foi baseado em outros objetivos, que não a geração de energia elétrica.

Uma PCH típica opera normalmente a fio d'água, isto é, o reservatório não permite a regularização do volume d'água, com isso, em épocas de estiagem a vazão disponível pode ser menor que a capacidade das turbinas, dessa forma causando ociosidade. Em outras situações, quando em período chuvoso, as vazões são maiores que a capacidade de engolimento das turbinas, obrigando assim a passagem de água pelo vertedouro (ELETROBRÁS, 2000).

Por esse motivo o custo da energia elétrica produzida pelas PCH's é maior que a de uma usina hidrelétrica de grande porte (UHE), onde o reservatório pode controlar a regularização do volume d'água (ELETROBRÁS, 2000).

Segundo Filho (2008), as PCH's são instalações que resultam em menores impactos ambientais e se prestam à geração descentralizada. Esse tipo de hidrelétrica é utilizada principalmente em rios de pequeno e médio porte que possuam desníveis significativos durante o seu percurso, podendo gerar potencial hidráulico suficiente para movimentar as turbinas.

Segundo Filho (2008), as PCH's são dispensadas de renumerações estaduais e municipais pelo uso dos recursos hídricos. Caso seja implantado no sistema

isolado da região norte, podem também receber incentivo do fundo formado com recursos da conta consumo de combustíveis fósseis (CCC) para financiar os empreendimentos, caso substituam as geradoras térmicas a óleo diesel nos sistemas isolados da região Norte.

De acordo com Eletrobrás (2000) as pequenas centrais hidrelétricas podem ser classificadas quanto à potência instalada e quanto à queda bruta de projeto, como mostra na Tabela (1).

Tabela 1: Classificação das PCH

Classificação das centrais	Potência (kW)	Queda de Projeto – H_d (m)		
		Baixa	Média	Alta
Micro	$P < 100$	$H_d < 15$	$15 < H_d < 50$	$H_d > 50$
Mini	$100 < P < 1000$	$H_d < 20$	$20 < H_d < 100$	$H_d > 100$
Pequenas	$1000 < P < 30000$	$H_d < 25$	$25 < H_d < 130$	$H_d > 130$

Fonte: Eletrobrás, 2000.

2.2. ELEMENTOS DE UMA PCH

Uma pequena central Hidrelétrica é constituída por diversos componentes cuja função principal é captar e conduzir à água a um conjunto turbina e gerador, que são os componentes responsáveis pela transformação da energia hidráulica em eletricidade. As PCH's são formadas por uma barragem, formadora do reservatório, por sua vez a barragem é composta pelo vertedouro, pela bacia de dissipação e por outros componentes de controle. O sistema adutor é formado pela tomada d'água, pelo conduto de adução, chaminé de equilíbrio e por último o conduto forçado de alta pressão. A última parte da central é composta pela casa de máquinas e o canal de fuga (ELETROBRÁS, 2000).

2.2.1. Barragem

Segundo Magalhães (2009) as barragens podem ter três finalidades: criar um desnível a fim de produzir uma queda; a construção de um reservatório; e ou simplesmente o levantamento do nível da água a fim de possibilitar a entrada da

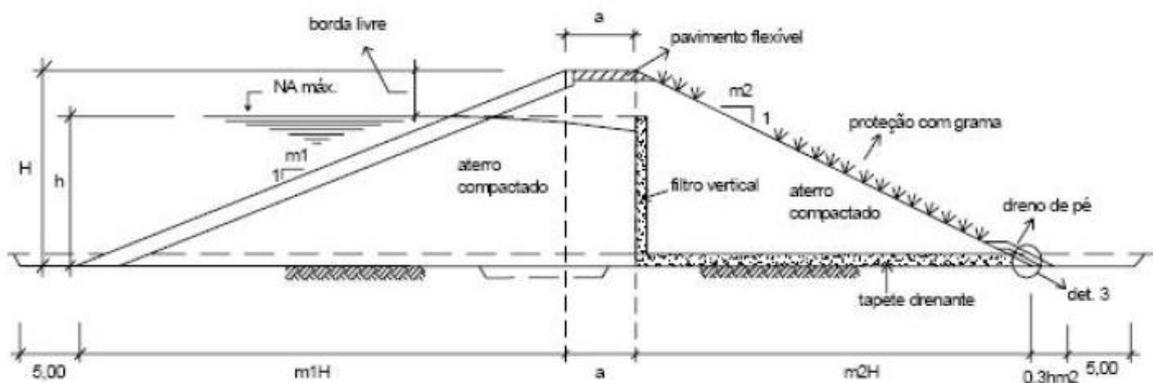
água em um canal, túnel ou tubulação. Elas também podem ter finalidades múltiplas, como recreação ou irrigação.

Na prática atual, os projetos de aproveitamento hidrelétrico têm adotado preferencialmente os seguintes tipos, barragem de terra; barragem de enrocamento e barragem de concreto. (ELETROBRÁS, 2000).

A Eletrobrás (2000) relata que as barragens de terra conforme figura (1), são apropriadas para locais onde a topografia se apresenta suavemente ondulada e no vales pouco encaixados. O local é considerado adequado para construção de uma barragem de terra, deve possuir as seguintes características:

- Áreas de pedreiras localizadas em cotas superiores às da barragem visando facilitar o transporte dos materiais;
- O eixo do barramento deve ser posicionado no local mais estreito do rio;
- As margens do reservatório devem ser estáveis, visando-se minimizar escorregamentos.

Figura 1: Barragem de terra

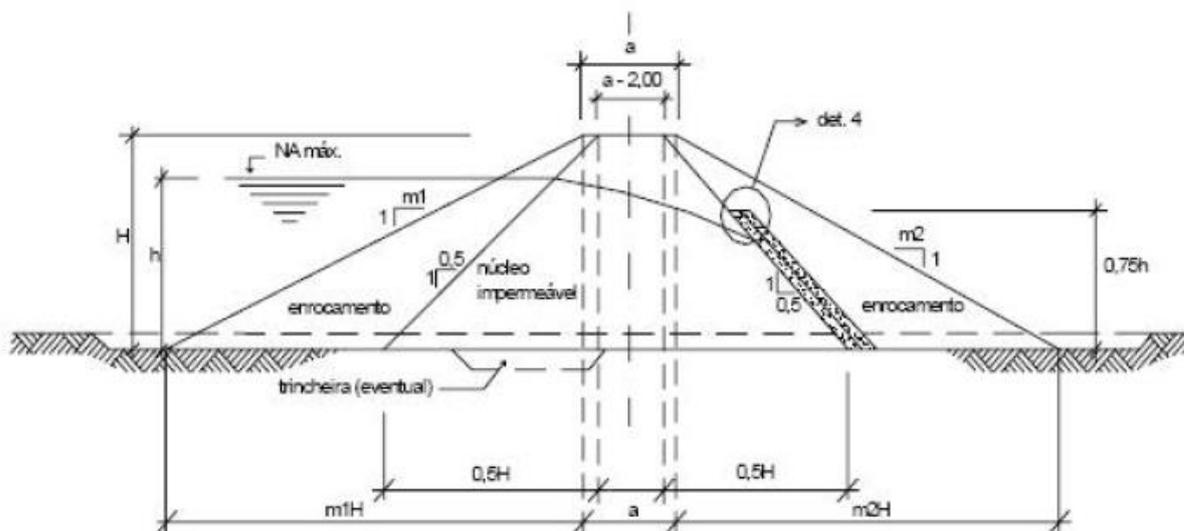


Fonte: Eletrobrás, 2000.

Segundo Dal Molin (2007) a barragem de enrocamento conforme figura (2), com espaldares de rocha e núcleo impermeável é recomendado para vales suavemente encaixados em regiões rochosas, onde existam condições adequadas de fundação e pedreiras próximas ainda exploráveis. Um local para ser considerado adequado à construção desse tipo de barragem deve possuir as seguintes características:

- Disponibilidade de material rochoso;
- A largura do vale na crista do barramento dever ser a mais estreita no trecho, com o objetivo de reduzir o volume da barragem;
- As fundações e as ombreiras devem ser resistentes e estanques;
- Facilidade de acesso à construção.

Figura 2: Barragem de enrocamento

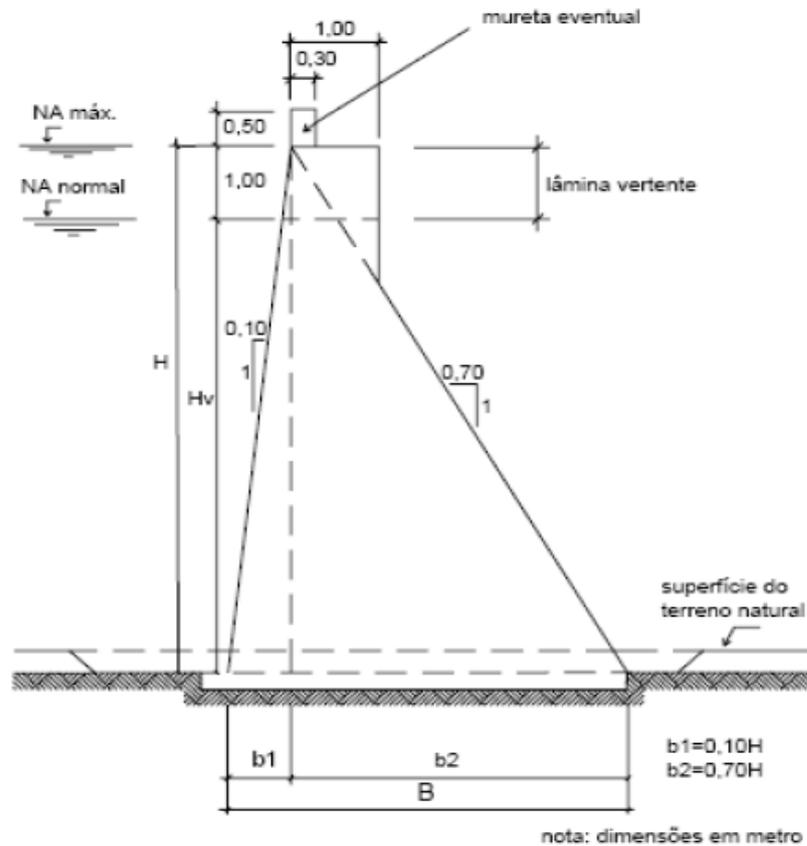


Fonte: Eletrobrás, 2000.

A barragem de concreto conforme figura (3) e de acordo com Eletrobrás (2000), e considerada no estudo e é a do tipo muro-gravidade, capaz de resistir, com seu próprio peso à pressão da água do reservatório. Esse tipo de barragem é recomendada para vales estreitos com boas condições de fundação. O local, para ser considerado adequado ao projeto de uma barragem de concreto deverá possuir as seguintes características:

- A largura do vale na crista da barragem deve ser a mais estreita, visando reduzir o volume da barragem;
- Disponibilidade de matéria prima para a construção em quantidade suficiente na região;
- Facilidade de construção e acessos.

Figura 3: Barragem de concreto



Fonte: Eletrobrás, 2000.

2.2.2. Vertedouro

Os vertedouros aplicados as PCH's podem ser definidos em três tipos básicos de solução para o extravasamento do excesso de água (ELETROBRÁS, 2000).

- I. Por um canal lateral, em cota elevada em relação ao leito do rio, coleira vertedoura a jusante.
- II. Pelo próprio corpo da barragem, ao longo de toda extensão ou somente parte dela.
- II. Através da combinação dos tipos acima citados.

Segundo Dal Molin (2007) o tipo de vertedouro normalmente usado é um vertedouro incorporado ao barramento de concreto. Secundariamente pode-se utilizar uma soleira de enrocamento com talude de jusante bem suave. E a escolha

entre um tipo e outro dependerá do custo e benefícios entre as duas. O Vertedouro deverá ser dimensionado para descarregar a vazão máxima determinada pelo projeto.

2.2.3. Circuito de adução

De acordo com Dal Molin (2007), o circuito de adução para PCH's varia, principalmente em relação ao local a ser instalado, mas em sua constituição básica é formado por: tomada d'água; canal; tubulação de baixa pressão; chaminé de equilíbrio; e o conduto forçado.

A tomada d'água tem finalidade de captar a água do rio, e também quando necessário restringir a entrada da água. Também é necessário instalar grades de proteção protegendo no sistema, contra corpos estranhos transportados pelo curso d'água. A estrutura de tomada d'água deve ser localizada, sempre quando possível junto á margem do reservatório. Ainda sendo comprovado que o rio transporta sedimentos, deverá ser previsto no canal de adução, a montante da estrutura uma câmara destinada à decantação do material em suspensão (ELETROBRÁS, 2000).

De acordo com o manual da Eletrobrás (2000), podemos realizar o dimensionamento da tomada d'água considerando a vazão máxima de projeto ($Q_{m\acute{a}x}$) e a velocidade máxima da água na grade de proteção.

A grade de proteção deve ser limpa regularmente e quando o parâmetro a montante é inclinado, deve obedecer à mesma inclinação, normalmente de 75° a 80°. O espaçamento entre as barras de proteção depende do tipo de turbina, a tabela (2) nos mostra os valores das distancias (SCHREIBER *apud* DAL MOLIN, 2007).

Tabela 2: Distância livre entre as barras de proteção

Tipo de turbina	Vão livre entre as barras
Pelton	1/5 do diâmetro do bocal
Kaplan de médias dimensões e Francis	5 a 8cm
Kaplan de grandes dimensões	8 a 15cm

Fonte: Schreiber *apud* Dal Molin, 2007.

De acordo com Schreiber *apud* Dal Molin (2007), para podermos definir a área da seção plana da toma de d'água, devemos considerar a velocidade de escoamento na grade entre 1,0 a 1,2m/s. A estrutura da tomada d'água deverá ser dimensionada considerando a vazão máxima de projeto, para o dimensionamento e necessário fazer uso da equação (2):

$$A = \frac{Q}{V} \quad (2)$$

Onde:

V : Velocidade do escoamento na grade de proteção (m/s)

Q : Vazão de projeto (m³/s)

A : Área de seção plana da tomada d'água (m²)

Na grade de proteção existem perdas, que estão relacionadas com a velocidade d'água, porém são muito pequenas e geralmente são desprezíveis em comparação as demais perdas da PCH (DAL MOLIN, 2007).

A perda de carga no início da tomada de água pode ser determinada através da equação (3), cujo coeficiente Ka varia de acordo com o formato da entrada (ELETROBRÁS, 2000).

$$h_i = Ka \times \frac{v^2}{2g} \quad (3)$$

Onde:

h_i : Perda de carga na entrada da tomada d'água (m);

Ka : Velocidade média imediatamente a jusante da entrada (m/s);

v : Coeficiente que varia com o tipo de tubulação (Tabela 3);

g : Aceleração da gravidade (m/s²);

Tabela 3: Valores para o K_a

Conduto	K_a
Aço novo com juntas e sem costura	0,32
Cimento-amianto	0,34
Concreto armado	0,38

Fonte: Eletrobrás, 2000.

Como alternativa a construção de um canal de adução a céu aberto, pode se utilizar uma tubulação de baixa pressão como meio de ligação entre a toma d'água e a entrada da tubulação de alta pressão (ELETROBRÁS, 1985).

Para definição do diâmetro mínimo da tubulação de adução em baixa pressão, segundo Eletrobrás pode ser adotado como o diâmetro que produz uma perda de carga na ordem de 1% em relação à queda bruta (ELETROBRÁS, 1985).

Para definição do diâmetro é utilizada a equação (4).

$$D = 83,383 \times Q^{0,388} \times \left(K_a \frac{L}{H}\right)^{0,204} \quad (4)$$

Onde:

Q : Vazão de projeto (m^3/s);

D : Diâmetro da tubulação (cm);

L : Comprimento da tubulação (m);

H : Altura de queda Bruta (m);

K_a : 0,32 – Tubulação de aço, parede interna contínua, sem costura.

E a espessura mínima de parede para a tubulação em aço pode ser determinada pela equação (5), e dada por (ELETROBRÁS, 1985).

$$e = \frac{D + 508}{400} \text{ (mm)} \quad (5)$$

Onde:

e : Espessura mínima de parede (mm)

D : Diâmetro da tubulação (cm);

De acordo com Dal Molin (2007), de forma geral a perda de carga no túnel de adução varia entre 2% a 5% da queda bruta. Já perda de carga na entrada do túnel de adução deve ser considerada e calculada, para definição e utilizada à equação (6).

$$h_e = K_e \frac{v^2}{2g} \quad (6)$$

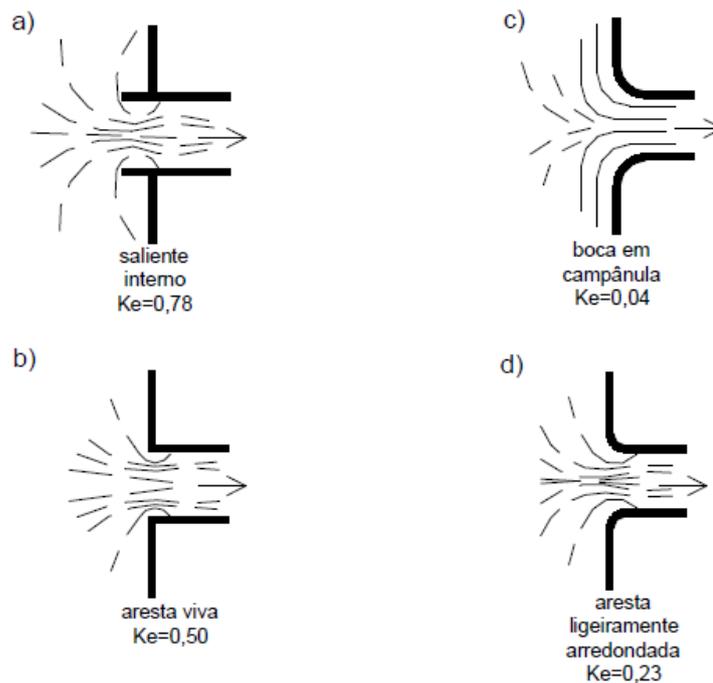
Onde:

h_e : Perda de carga na entrada do túnel de adução (m);

K_e : Coeficiente em função da forma da boca do conduto, conforme figura (4);

v : Velocidade de escoamento (m/s).

Figura 4: Perda de carga na entrada da tubulação



Fonte: Eletrobrás, 2000.

A velocidade de escoamento (v) é calculada pela equação da continuidade, equação (7);

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad (7)$$

Onde:

v : Velocidade de escoamento (m/s)

Q : Vazão de projeto (m³/s);

D : Diâmetro da tubulação (m);

O coeficiente de perda de carga f é determinado em função da rugosidade das paredes da tubulação e da velocidade de escoamento, segundo Dal Molin (2007), pode ser estimada pela equação (8):

$$f = 124,58 \frac{n^2}{D^{0,333}} \quad (8)$$

Onde:

f : Coeficiente de perda de carga;

n : Coeficiente de Manning, apresentado na tabela (4);

D : Diâmetro da tubulação (m).

Tabela 4: Valores do coeficiente Manning.

Revestimento	n
Sem revestimento	0,025
Concreto	0,013
Aço	0,01

Fonte: Eletrobrás, 2000.

Já a perda de carga gerada na tubulação de adução será determinada pela equação (9).

$$hf = f \frac{Lv^2}{Dg} \quad (9)$$

Onde:

hf : Perda de carga na tubulação de adução (m);

v : Velocidade de escoamento (m/s);

f : Coeficiente de perda de carga.

A chaminé de equilíbrio é um reservatório de eixo vertical, posicionado no final da tubulação de adução de baixa pressão e a montante do conduto forçado. Tem a finalidade de amortecer as variações de pressão, golpe de aríete, decorrente do fechamento rápido da turbina e armazenar água para fornecer ao conduto forçado o fluxo inicial provocado pela nova abertura da turbina, até que se estabeleça o regime contínuo. É recomendado que a chaminé de equilíbrio seja instalada o mais próximo possível da casa de força, para reduzir o comprimento do conduto forçado e diminuir os efeitos do golpe de aríete (MAGALHÕES, 2009).

A Eletrobrás (2000) define que para verificar a necessidade de instalação de uma chaminé de equilíbrio, faremos uso da equação (10):

$$\frac{L_{cf}}{H_b} \leq 5 \quad (10)$$

Onde:

H_b : Queda bruta (m);

L_{cf} : Comprimento do conduto forçado (m).

Para garantir uma estabilidade das oscilações do nível d'água no interior da chaminé, deve possuir uma seção transversal com área interna mínima, definida pela equação (11) de Thoma *apud* Dal Molin (2007).

$$A_c = \frac{v^2}{2g} \times \frac{L_{ta} \times A_{ta}}{(H_{min} - H_{ta})H_{ta}} \quad (11)$$

Onde:

A_c : Área interna mínima da seção da chaminé de equilíbrio (m²);

v : Velocidade de escoamento (m/s)

L_{ta} : Comprimento da tubulação adutora (m);

A_{ta} : Área interna da seção transversal da tubulação adutora (m²);

H_{min} : quebra mínima (m);

H_{ta} : Perda de carga no sistema adutor (m).

A perda de carga no sistema adutor pode ser definida pela equação (12);

$$H_{ta} = h_i + h_f + h_g + h_e \quad (12)$$

Onde:

H_{ta} : Perda de carga no sistema adutor (m);

h_i : Perda de carga inicial da tomada d'água (m);

h_f : Perda de carga no túnel de adução (m);

h_g : Perda de carga na grade de proteção (m);

h_e : Perda de carga na entrada da tomada d'água (m).

A determinação da altura de chaminé de equilíbrio é feita de acordo com as oscilações do nível d'água no seu interior. Esta oscilação deve ser calculada seguindo os passos abaixo, equação (13), desprezando as perdas de carga do sistema adutor (ELETROBRÁS, 2000), conforme segue:

$$Y_e = Y_d = v \sqrt{\frac{A_{ta} \times L_{ta}}{g A_c}} \quad (13)$$

Onde:

$Y_e = Y_d$: Elevação do nível d'água estático máximo (m);

v : Velocidade do fluido (m/s)

A_{ta} : Área interna da tubulação adutora (m²)

L_{ta} : Comprimento da tubulação adutora (m)

A_c : Área interna mínima da seção transversal da chaminé de equilíbrio (m²).

A fim de determinar as perdas no sistema adutor, se faz uso das equações (14), (15) e (16).

$$Y_E = Z_e \times Y_e \quad (14)$$

$$Z_e = 1 - \frac{2}{3}K + \frac{1}{9}K^2 \quad (15)$$

$$K = \frac{h_{ta}}{Y_e} \quad (16)$$

Onde:

Y_e : Elevação do nível d'água estático máximo (m);

K : Coeficiente que depende do material do conduto;

H_{ta} : Perda de carga no sistema adutor (m).

De acordo com Eletrobrás (2000), para o cálculo da depleção Y_D , é necessário verificar duas hipóteses de cálculo, adotando-se a mais desfavorável. Primeira, depleção consecutiva á elevação máxima, fechamento total (100%) do dispositivo, e segunda, depleção decorrente da abertura parcial do dispositivo de fechamento.

Para calcular a depleção máxima, procede-se de acordo com o descrito nas equações (17) abaixo:

$$YD = Zd \times Yd \quad (17)$$

Onde:

YD : Depleção máxima (m);

Zd : Coeficiente em função de K' .

$Y_e = Yd$: Elevação do nível d'água estático máximo (m).

O valor de Zd é obtido do gráfico da figura (5), entrando-se com o parâmetro definido pela equação (18) (ELETROBRÁS, 2000).

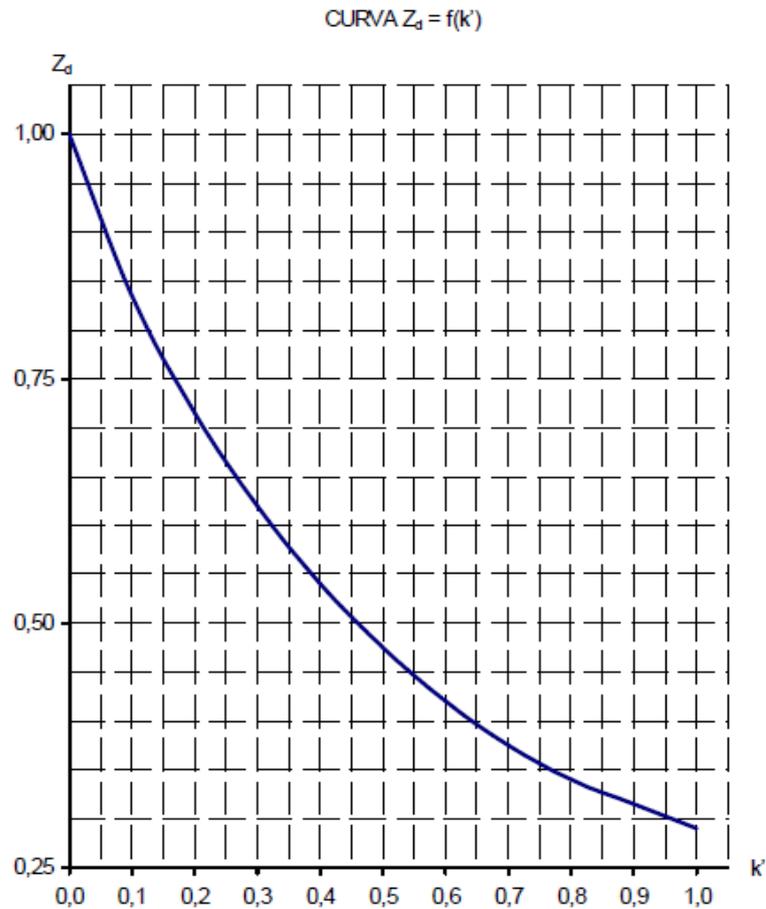
$$K' = \frac{h'ta}{Yd} \quad (18)$$

Onde:

$h'ta$: Perda de carga no sistema adutor;

Y_e : Elevação do nível d'água estático máximo (m);

K' : Coeficiente.

Figura 5: Definição do coeficiente Z_d em função de K' 

Fonte: Eletrobrás, 2000.

E por fim a altura da chaminé de equilíbrio (H_c) será determinada pela equação (19), abaixo:

$$H_c = YE + ye + YD + yD + YR \quad (19)$$

Onde:

ye e yD : Definido como parâmetro de segurança (1,0m);

YR : Depleção máxima do NA do reservatório.

O conduto forçado possui o mesmo diâmetro ao longo de todo o seu comprimento. O diâmetro econômico é aquele para o qual a relação custo-benefício é máxima, portando, o diâmetro econômico é o diâmetro limite para um aumento de sua dimensão, que significa redução das perdas hidráulicas e conseqüente maior potência (ELETROBRÁS, 2000).

Para obter o diâmetro do conduto forçado, adota-se a formula de Bondshu como o adequado, equação (20) (DAL MOLIN, 2007).

$$De = 123,7 \sqrt[7]{\frac{Q^3}{Hb}} \quad (20)$$

Onde:

De: Diâmetro do conduto forçado.

E importante verificar se foram respeitadas as velocidades máximas admissíveis para cada tipo de tubulação, que são indicadas na tabela (5).

Tabela 5: Velocidade máxima admissível

Material	$V_{\text{máx}}$ admissível (m/s)
Aço	5,0
Concreto	3,0

Fonte: Eletrobrás, 2000.

2.2.4. Casa de força

O arranjo e as dimensões da casa de força estão em sua maior parte ligados ao tipo de turbina e de gerador usados. Nas dependências da casa de força são previstos ainda, áreas destinadas aos equipamentos elétricos e mecânicos, juntamente com áreas reservadas para manutenção dos equipamentos (MAGALHÕES, 2009).

Segundo Eletrobrás (2000), foi considerada apenas a casa de força do tipo “exterior e abrigada”, pois os demais modelos de casa de força normalmente não são utilizadas em PCH’s. Também devemos considerar um espaço para alojar o centro de operações da PCH e um espaço para instalação dos equipamentos de apoio a manutenção e caso necessário a instalação de uma ponte rolante.

No projeto da casa de força devemos considerar as dimensões básicas da turbina e do gerador. No interior da casa de força são definidas elevações em função dos níveis d’água de jusante e da submergência da turbina. Destaca-se saber a

quantidade de chuva-chave para fixação dessas elevações, como, por exemplo, a altura (cota do piso) dos transformadores. Também é necessário à definição da cota de fundação da casa de força, que depende da posição do tubo de sucção da turbina. Enfim, todo projeto de uma casa de força deve visar principalmente o futuro das operações e manutenções dos equipamentos (ELETROBRÁS, 2000).

2.3. DETERMINAÇÃO DA ENERGIA HIDRÁULICA

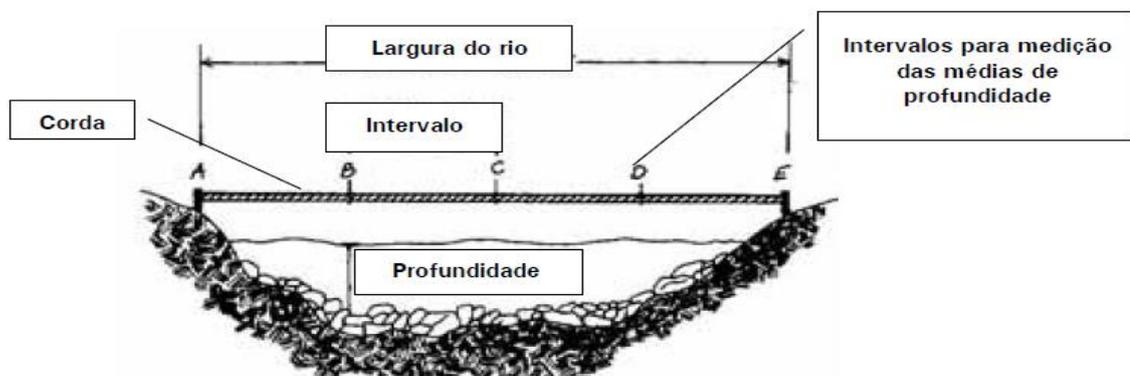
2.3.1. Medição de vazão

Outro parâmetro que permite determinar a potência hidráulica disponível em um local é a vazão d'água. O método dos flutuadores pode ser utilizado para cálculo da vazão em cursos d'água, para definir o volume d'água é preciso encontrar um trecho do rio retilíneo e corredeiras desobstruídas são ideais (JÚNOIR [et al.] 2007).

Para estimar a vazão do rio, segundo Júnior [et al.], (2007), devemos destacar uma distância, medir com trena a distância entre as margens e em seguida devemos medir a profundidade em diversos pontos e realizar uma média dos valores de profundidade, conforme figura (6).

Para determinar as áreas das secções transversais do rio no início e no final da secção, multiplicando o valor da profundidade média pela largura do rio. Deverá ser considerada como área para cálculo a média entre as duas secções obtidas (JÚNOIR [et al.] 2007).

Figura 6: Marcação do trecho no rio



Fonte: Palhares, 2007.

Definido a área média, é necessário determinar a velocidade da água no trecho do rio. De posse de um objeto flutuador, podemos definir o tempo em que o mesmo leva para percorrer o percurso definido anteriormente entre 5 a 10 metros. Devem ser realizadas no mínimo 10 medições e após as medições realizar novamente uma média do tempo de percurso do flutuador (JÚNOIR [et al.] 2007).

A água perto da superfície e próximo às margens flui mais lentamente. Por esse motivo alguns técnicos recomendam multiplicar a velocidade encontrada por 0,8, que é um fator usado para correção da velocidade (JÚNOIR [et al.] 2007)..

Conhecendo a área [A] do rio e a velocidade [V] da água, e levando em consideração a observação anterior, é possível calcular a vazão do rio no trecho escolhido, multiplicando os valores como demonstrado à equação (21).

$$Q = 0,8 \times V \times A \text{ [m}^3\text{/s]} \quad (21)$$

Onde:

Q: Vazão (m³/s);

V: Velocidade da água (m/s);

A: Área do rio (m²).

2.3.2. GPS

A definição da altura de queda é de fundamental importância para determinação do potencia de uma PCH e é um dos dados importantes para definição da escolha da turbina hidráulica mais adequada a situação.

O GPS (Sistema de Posicionamento Global) é um sistema de posicionamento global, nos fornece informações tanto de latitude, longitude e altitude. A nossa posição sobre a terra é referencia em relação ao equador e ao meridiano de Greenwich. É considerado, atualmente, a mais moderna e precisa forma de determinar a posição de um ponto na superfície terrestre. O receptor capta os sinais de quatro satélites pelo intervalo de tempo entre o instante local e o instante em que os sinais foram enviados (DECICINO, 2009).

2.4. TURBINAS HIDRÁULICAS

Conforme Henn (2012) são usadas três tipos de turbinas hidráulicas: as de ação, ação e reação e as de reação. A norma ABNT – NBR 6445 (1987) define que as turbinas de reação são aquelas que a energia mecânica é obtida pela transformação das energias cinética e de pressão do fluxo d'água, através do rotor, e as turbinas de ação obtêm a energia mecânica através da transformação da energia cinética do fluxo d'água, através do rotor.

Segundo Dal Molin (2007), dentre os diversos tipos de turbinas hidráulicas existentes, é considerado apenas as normalmente utilizadas nas PCH's, que devem ser escolhidas de modo a se obter facilidade de operação e de manutenção, dando-se grande importância à sua robustez e confiabilidade.

Conforme exposto na Norma ABNT NBR nº 6445, dentre os vários tipos de turbinas hidráulicas fabricadas no Brasil, tem-se, Turbina Francis, Turbina Pelton, Turbina Kaplan e Turbina Michel-Banki. Cada um destes tipos de turbinas é adaptado para funcionar em usinas hidrelétricas, com uma determinada faixa de altura de queda (H) e as vazões volumétricas (Q).

A turbina Francis é comumente utilizada em locais que apresentam quedas e vazões médias. Tais turbinas podem ser instaladas, dependendo da altura de queda, em caixa espiral cilíndrica ou em caixa aberta e o rotor depende da velocidade de rotação específica, podem ser classificados como do tipo lento, normal ou rápido (ELETROBRÁS, 2000).

Na Turbina Francis a água pressurizada entra através do injetor em um tubo em forma de espiral que cerca as pás fixas na direção radial para dentro da turbina. O rotor é acionado pela água que exerce pressão nas pás móveis tem-se também turbinas do tipo mistas, a qual o fluxo na entrada do rotor é radial e após interagir com ele sofre um desvio e passa a ser axial na saída (ELETROBRÁS, 2000).

As Turbinas Pelton são definidas como turbinas de ação, tem por características a transformação da energia potencial de queda em energia cinética no jato do injetor, onde o fluxo da água incide sob a forma de jato sobre o rotor. A direção dos jatos é paralelamente em relação ao plano do rotor. E trata-se de máquinas com escoamento tangencial, que são aquelas em que o fluxo passa pelo rotor da máquina de forma tangencial ao raio do mesmo (MAGALHÃES, 2000).

A turbina é constituída basicamente por um rotor, em torno do qual estão fixadas as pás, por uma tubulação de adução contendo um, dois ou mais injetores. A faixa de operação das turbinas Pelton pode ser operada sem quaisquer dificuldades entre 10% e 100% da potência máxima. Estas turbinas podem ser de eixo vertical ou horizontal e são utilizadas em aproveitamento hidrelétricas caracterizados por pequenos caudais e elevadas quedas úteis (250 a 2500 m) São turbinas caracterizadas por terem um baixo número de rotações, tendo, no entanto, um rendimento até 93% (ELETROBRÁS, 2000).

As Turbinas Kaplan são definidas como turbinas de reação, adaptadas às quedas baixas e vazões elevadas. São constituídas por uma câmara de entrada que pode ser aberta ou fechada, por um distribuidor e por uma roda com quatro ou cinco pás em forma de hélice (DAL MOLIN, 2007).

A mobilidade das pás das turbinas se deve ao fato de que turbinas com pás fixas possuem uma curva de rendimento muito aguda, o que faz com que este tipo de turbina trabalhe com bons rendimentos apenas com cargas praticamente constantes, sendo que qualquer variação pode afetar o seu rendimento (MAGALHÃES, 2009).

As Turbinas Michel-Banki, também é conhecida como turbina de fluxo transversal ou fluxo cruzado, é uma turbina classificada como tangencial e de ação, na qual o fluxo atravessa o rotor cilíndrico (MAGALHÃES, 2009).

É uma máquina não convencional, largamente utilizada em pequenas potências, de modo geral, ela atende toda faixa de potência da turbina Francis, até o limite de 500KW. É indicada para regiões de pequenos recursos técnicos, pois apresenta simples construção, podendo ser projetada e fabricada com tecnologia simples em oficinas pouco sofisticados (ELETROBRÁS, 1985).

Quando ocorrer regiões onde se pode utilizar mais de um tipo de máquina, é necessário levar em consideração outros parâmetros de seleção, como flexibilidade de operação, construção civil, facilidade de manutenção, entre outros critérios para seleção da melhor máquina (HENN, 2011).

Segundo Henn (2011) a determinação da velocidade de rotação específica é o um elemento fundamental para a seleção da turbina hidráulica mais adequada à determinada situação. Com base em estudos, pesquisadores e fabricantes determinaram faixas de velocidade de rotação específica para diversos tipos de

turbinas e o seu melhor rendimento. Essa faixa de variação é definida no quadro (1) através da equação (22).

$$n_{qa} = 10^3 \cdot n \cdot \frac{Q^{1/2}}{Y^{3/4}} \quad (22)$$

Onde:

n_{qa} : Velocidade de rotação específica;

n : Rotação da turbina (rps);

Q : Vazão de projeto (m³/s);

Y : Salto energético (j/kg).

Quadro 1: Valores de n_{qa} para diversos tipos de maquinas.

Turbina hidráulica Pelton	$n_{qa} = 5$ a 70
Turbina hidráulica Francis Lenta	$n_{qa} = 50$ a 120
Turbina hidráulica Francis Normal	$n_{qa} = 120$ a 200
Turbina hidráulica Francis Rápida	$n_{qa} = 200$ a 320
Turbina hidráulica Michell-Banki	$n_{qa} = 30$ a 210
Turbina Dériaz	$n_{qa} = 200$ a 450
Turbina Kaplan e Hélice	$n_{qa} = 300$ a 1000

Fonte: Henn, 2011.

Segundo Eletrobrás (2000), a rotação escolhida será aquela que resulta na melhor combinação: maior rotação e máxima altura de sucção. Recomenda-se escolher as que possuem maior rotação, pois o custo do gerador é diretamente proporcional ao número de par de polos: quanto menor for à rotação do gerador, maior será o número de par de pólos.

Ainda se tratando de μ CH e mCH de pequena potência, inferiores a 500kW, recomenda-se que a rotação mínima do gerador seja 900 rpm para as micro e 600 rpm para as minicentraís. Caso sejam necessárias rotações inferiores, é necessário fazer o uso de um multiplicador de velocidade (ELETROBRÁS, 2000).

2.5. POTÊNCIA INSTALADA

O termo potência instalada é definida pela resolução da ANEEL n° 583 (2013), onde diz que o processo de outorga da central geradora deverá observar o registro da potência instalada e da potência líquida, conforme definido pelo agente outorgado e deverá ser confirmada após a entrada em operação da usina.

O inciso 2º da resolução da ANEEL n° 583 (2013), dispensa a determinação da potência líquida as centrais geradoras com potência instalada de até 1000kW (mil quilowatts), onde a potência será definida com base no menor valor entre a potência nominal do equipamento motriz (kW) e a do gerador elétrico (kW), esta será definida pelo produto da potência elétrica aparente (kVA) pelo fator de potência nominal (f.p.), ambas sendo consultadas diretamente da placa aprovada pelo fabricante para geração em regime contínuo.

A portaria DNAEE n° 109 (1982) considera a PCH como um aproveitamento que opera a fio d'água ou com pequena regularização, composta de barragens e vertedouros com altura máxima de até dez metros, com sistema adutor composto somente de canais e/ou tubulações, e com estruturas hidráulicas, no circuito de geração, para turbináveis de, no máximo, 20m³/s, dotada de unidades geradoras com potência individual de até 5MW, e potência instalada total de no máximo 10MW.

O Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), através da Portaria n° 136 (1997), reduziu as condicionantes para duas: ter potência total igual ou inferior a 10MW e potência unitária de 5MW.

A definição da potência de um aproveitamento hidrelétrico pode ser estimada pela equação (23) e (24).

$$P_e = \rho \times Q \times \gamma \times \eta_t \quad (23)$$

$$\gamma = g \times H_p \quad (24)$$

Onde:

P_e : Potência no eixo (W);

ρ : Massa específica (Kg/m³);

Q : Vazão (m³/s);

γ : Salto energético (j/kg);

H_p : Altura de projeto (m).

η_t : Rendimento

2.6. CUSTO DE IMPLANTAÇÃO DE UMA PCH

De acordo com Tiago Filho [et al.] (2013), a construção de qualquer empreendimento depende de estudo prévia de viabilidade técnico-econômica-ambiental. Mesmo quando os pré-requisitos técnicos e ambientais são atendidos, é necessário realizarmos um estudo econômico do empreendimento. Uma das preocupações ao analisar a viabilidade técnica e econômica de uma PCH e saber a receita obtida dela, pela sua operação.

A grande dificuldade encontrada para se estimar o custo de uma central, trata-se da quantidade de dados disponíveis das mesmas já no início do projeto, o que dificulta e muito a obtenção de seus custos (MAGALHÃES, 2009).

Segundo Tiago Filho [et al.] (2013), no Brasil existem vários exemplos de procedimentos de parametrização dos custos de centrais hidrelétricas, entretanto, para fazer uso e necessário estar de posse do arranjo físico da central, ou seja, já se faz necessário um investimento no projeto básico, que muitas vezes pode representar um custo considerável.

2.6.1. Estimativa dos custos do sistema técnico

De acordo com Magalhães (2009), as estimativas de custos definidas por uma aproximação paramétrica e baseada em dados históricos e em expressões matemáticas que relacionam variáveis dependentes do custo com variáveis independentes, como as vazões ou potência. A principal vantagem em se usar esse tipo de metodologia, está no fácil manuseio.

Dessa forma foram criadas equações de custos dos principais componentes de uma PCH de acordo com as características dos arranjos (MAGALHÃES, 2009).

A primeira equação de custo é referente a um conjunto de componentes, os quais dependem de um mesmo parâmetro técnico. Faz parte deste conjunto, tomada

d'água, tubulação de baixa pressão e chaminé de equilíbrio, o custo pode ser definido pela equação (25) (MAGALHÃES, 2009).

$$C_{tcc} = 5,9 \times Lcb^{0,595} \times Q^{0,695} \quad (25)$$

Onde:

C_{tcc} : Custo do conjunto (10^3 R\$)

Lcb : Comprimento da tubulação de baixa pressão (m)

Q : Vazão de projeto (m^3/s).

O custo da barragem depende principalmente de seu volume. Dessa forma e importante possuir as definições quanto ao comprimento da crista da barragem, comprimento da base da barragem e altura da barragem (MAGALHÃES, 2009). O volume da barragem pode ser determinado pela equação (26) e custo e definido pela equação (27).

$$V = \frac{Lc + Lb}{2} \times Hb^2 \quad (26)$$

Onde:

Lc : Comprimento da crista da barragem (m);

Lb : Comprimento da base da barragem (m);

Hb : Altura bruta (m);

V : Volume da barragem (m^3).

$$Cb = 367 + 0,0514 \times V \quad (27)$$

Onde:

Cb : Custo da barragem (10^3 R\$)

O próximo componente é a tubulação de alta pressão, que depende diretamente do seu comprimento e da vazão de projeto, com os dados necessários e

fazendo uso da equação (28) é possível determinar o seu custo (MAGALHÃES, 2009).

$$Cca = 0,11 \times Lca^{1,17} \times Q^{1,1} \quad (28)$$

Onde:

Cca: Custo tubulação de alta pressão (10³ R\$);

Lca: Comprimento da tubulação (m);

Q: Vazão (m³/s).

Para a definição do custo da casa de força, pode-se fazer uso da equação (29), que é baseada na queda bruta do empreendimento e da potência (MAGALHÃES, 2009).

$$Ccf = 249,6 \times n^{1,76} \times Hb^{-0,379} \times P^{0,668} \quad (29)$$

Onde:

Ccf: Custo da casa de força (10³ R\$);

n: Número de máquinas;

Hb: Queda bruta (m);

P: Potência (MW).

Na definição do custo de turbinas e geradores, foi desenvolvida uma correlação entre a vazão e número de máquinas. É possível realizar essa parametrização de custo utilizando a equação (30) (MAGALHÃES, 2009).

$$Ctg = 13,6 \times n^{-1,04} \times Hb^{0,92} \times Q^{1,21} \quad (30)$$

Onde:

Ctg: Custo turbina gerador (10³ R\$);

n: Numero de máquinas;

Hb: Queda bruta (m);

Q: Vazão (m³/s).

Para a determinação do custo total de investimento do sistema técnico, e recomendado utilizar a equação (31).

$$\text{Custo } ST = Ctcc + Cb + Cca + Ccf + Ctg \quad (31)$$

Onde:

Custo ST: Custo total do sistema técnico (10^3 R\$);

Ctcc: Custo da tomada d'água, tubulação de baixa pressão e chaminé de equilíbrio (10^3 R\$);

Cb: Custo da barragem (10^3 R\$);

Cca: Custo conduto de alta pressão (10^3 R\$);

Ccf: Custo da casa de força (10^3 R\$);

Ctg: Custo da turbina e gerador (10^3 R\$).

2.6.2. Estimativa dos custos ambientais

Na definição dos custos ambientais de um empreendimento hidrelétrico são difícil de serem estimados, porque a valoração dos recursos naturais pode levar em conta diversos fatores individuais a cada empreendimento (MAGALHÃES, 2009).

Magalhães (2009) sugere a utilização da equação (32), a qual foi parametrizada com base em 18 empreendimentos. Os (2%) são estimados a partir do valor médio dos custos ambientais dos empreendimentos analisados.

$$\text{Custo } Amb = \text{Custo } ST \times 0,02 \quad (32)$$

Onde:

Custo Amb: Custos ambientais (10^3 R);

Custo ST: Custo do sistema técnico (10^3 R\$).

2.6.3. Estimativa dos custos indiretos

Para avaliação dos custos indiretos de um empreendimento futuro é necessário à utilização do quadro (2), que é definido nas Diretrizes para projetos de PCH da Eletrobrás (MAGALHÃES, 2009).

Quadro 2- Custos indiretos

Custos	Percentual
Construção do canteiro	5%
Operação e manutenção do canteiro	3%
Engenharia básica	5%
Serviços especiais de engenharia	1%
Administração do proprietário	10%

Fonte: Magalhães, 2009.

De acordo com a tabela acima, pode-se definir os custos indiretos e utilizando a equação (33) e possível parametrizar os custos.

$$Custo\ ind = Custo\ ST \times 0,24 \quad (33)$$

Onde:

Custo ind: Custos indiretos (10³ R);

Custo ST: Custo do sistema técnico (10³ R\$).

2.6.4. Estimativa de outros custos

Uma PCH é constituída por vários componentes. As equações dos principais componentes já estão parametrizadas no trabalho, porém é necessário prever os custos dos componentes de menos impacto no custo final, pois somados afetam de forma significativa o custo final do empreendimento (MAGALHÃES, 2009).

Magalhães (2009) sugere a utilização da equação (34), segue:

$$\text{outros custo} = \text{Custo ST} \times 0,15 \quad (33)$$

Onde:

Outros custos: Outros Custos (10^3 R);

Custo ST: Custo do sistema técnico (10^3 R\$).

2.6.5. Custo final

A composição do custo final do empreendimento é o somatório de todos os custos calculados acima, segue como sugestão a equação (34) (MAGALHÃES, 2009).

$$\text{Custo final PCH} = \text{Custo ST} + \text{Custo amb} + \text{Custo ind} + \text{Outros custos} \quad (34)$$

Onde:

Custo final PCH: Custo final da Pequena Central Hidrelétrica (10^3 R\$);

Outros custos: Outros Custos (10^3 R);

Custo ST: Custo do sistema técnico (10^3 R\$);

Custo amb: Custos ambientais (10^3 R\$);

Outros ind: Outros indiretos (10^3 R\$).

2.7. ESTUDOS AMBIENTAIS

A exploração de qualquer potencial hídrico deverá se sujeitar a uma série de regulamentações de ordem ambiental. Antes de colocar em prática um projeto, deve-se saber o máximo de informações sobre o local onde tal projeto será implantado, por exemplo, suas características atmosféricas, hidrosfera, litosfera e biosfera, também estudos ambientais como infra-estrutura e sistema social criado, podendo definir assim o tipo de impacto ambiental que possa ocasionar no local (DAL MOLIN, 2007).

Os Estados Brasileiros contam atualmente com organismos especializados na definição, implementação e fiscalização de medidas de controle ambiental, esse organismos deverão ser consultados, com vista à obtenção de orientações. Da

mesma forma se recomenda consultar os organismos responsáveis pelo controle de doenças endêmicas, como as secretarias estaduais e municipais de saúde (ELETROBRÁS, 1985).

O Processo de licenciamento ambiental é um procedimento pelo qual o órgão ambiental competente estabelece as condições, restrições e medidas de controle ambiental que deverão ser obedecidas pelo empreendedor, para instalar e operar empreendimentos que utilizem os recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou aquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental (CONAMA, 1997).

O artigo 1º da resolução do Conama nº 237 (1997) define impacto ambiental como qualquer alteração das propriedades físicas, químicas, biológicas do meio ambiente, causada por qualquer resultado da atividade humana, que direta ou indiretamente afetem:

- I. A saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- II. As atividades social e econômica;
- III. A biota;
- IV. As condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- V. A qualidade dos recursos ambientais.

Os Estudos Ambientais exigidos relacionam-se à localização, instalação, operação e ampliação de uma atividade ou empreendimento, apresentado como subsídio para a análise da licença requerida, tais como: relatório ambiental, plano e projeto de controle ambiental, relatório ambiental preliminar, diagnóstico ambiental, plano de manejo, plano de recuperação de área degradada e análise preliminar de risco. (DAL MOLIN, 2007).

A licença ambiental somente será fornecida a empreendimento ou atividade considerada efetiva ou potencialmente causadora de significativa degradação com estudo prévio de impacto ambiental e respectivo relatório de impacto ambiental (EIA/RIMA). (CONAMA, 1997).

O art. 8º da resolução Conama nº 237 (1997), define que as atividades ou empreendimento considerados potencialmente ou efetivamente poluidores deverão obter três tipos de licença antes da efetiva operação.

1º Licença Previa (LP) concedida após aprovado a localização do empreendimento, atestando sua viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos para a próxima fase.

2º Licença de Instalação (LI) autoriza a instalação do empreendimento de acordo com as especificações constantes no projeto aprovado, inclui as medidas de controle ambiental.

3º Licença Operação (LO) quando e autorizada à operação efetiva das atividades, após a verificação dos efetivos cumprimentos que constam nas licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental.

O objetivo de se estudar os impactos ambientais é, principalmente, o de avaliar as consequências de algumas ações, para que possamos proteger a qualidade de determinado ambiente escolhido para a execução de projetos ou ações, fazer uma análise ambiental é, antes de tudo, estudar as possíveis mudanças de características socioeconômicas e biogeofísicas de um determinado local (DAL MOLIN, 2007).

2.7.1. Estudo de impacto ambiental (EIA)

O estudo de impacto ambiental (EIA), de acordo com diretrizes definidas pela Eletrobrás (2000), tem como objetivo principal avaliar a viabilidade ambiental do empreendimento, fornecer subsídios para o seu licenciamento (LP) junto ao órgão responsável, permitir, através de métodos e técnicas a identificação de possível impacto ambiental negativo e reforçar os positivos, também caracterizar a qualidade ambiental atual e futura da área de influência e definir os programas de acompanhamento que deverão ser iniciados com a implantação do empreendimento.

A resolução do Conama nº 001 (1986) Art. 5º, estabelece as diretrizes para estudo de impacto ambiental, que consiste em identificar e avaliar os impactos ambientais gerados por tal atividade, tanto na fase de implementação quanto na fase de operação. Define os limites da área geográfica a ser direta ou indiretamente afetados, tudo isso mediante a elaboração do Estudo Impacto Ambiental (EIA) e elaboração do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA).

Podemos definir o EIA como o conjunto de atividades técnicas e científicas destinada à análise das alternativas, identificação, previsão e valorização dos impactos de cada uma, e também a opção de não realização do projeto. Este deve ser elaborado por uma equipe multidisciplinar devidamente habilitada, independente do empreendedor, responsável tecnicamente pelos estudos apresentados, devendo contar neste o nome, currículo, assinatura, registro do respectivo conselho profissional e a anotação de responsabilidade técnica (ART) de cada profissional e da empresa responsável (DAL MOLIN, 2007).

2.7.2. Relatório de impacto ambiental (RIMA)

O relatório de impacto ambiental (RIMA) é um documento elaborado a partir do Estudo de Impacto Ambiental (EIA), que apresenta uma abrangência menor em relação ao (EIA), este último é elaborado de forma objetiva, com ilustrações de gráficos, mapas, quadros, tudo que for necessário para seu entendimento. O (RIMA) reflete as conclusões do EIA, segundo a própria Resolução nº 001 do Conama (1986).

O Relatório de Impacto Ambiental deve conter segundo Art. 9º da resolução nº 001 do Conama (1986), descreve que o conteúdo mínimo descrito abaixo e deve ser de fácil compreensão.

- I. Objetivos e justificativas do projeto; planos e programas governamentais;
- II. A descrição reduzida do projeto, as fases de construção e operação a área de influência, as matérias primas, e mão-de-obra, as fontes de energia, etc.
- III. A síntese dos resultados dos estudos.
- IV. A descrição dos prováveis impactos ambientais da implantação e operação da atividade.
- V. A caracterização da qualidade ambiental futura da área de influência.
- VI. O programa de acompanhamento e monitoramento dos impactos.
- VII. Equipe técnica, seus currículos e respectivas assinaturas e ARTs.
- VIII. Conclusão e comentário gerais.

3. METODOLOGIA

3.1. MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

Com o intuito de realizar uma análise de viabilidade de uma PCH localizada no rio Valério, utilizou-se como método de pesquisa, o estudo de caso, estudo profundo para formar conhecimento acerca do tema. De acordo com Yin, *apud* Oliveira (2010), este método de pesquisa permite analisar e conhecer um fenômeno com maior profundidade. Apesar da limitação do estudo em generalizar os resultados, ainda é uma estratégia muito válida, pois é formado por uma lógica de planejamento adequada ao problema de pesquisa e as suas variáveis.

Podemos classificar o estudo como exploratório e descritivo. Exploratório, pois foi realizado em uma área onde há pouco conhecimento sobre o assunto e nunca houve um estudo hidrenergético do rio. Segundo Theodorson e Theodorson, *apud* Oliveira (2010), a pesquisa exploratória tem por finalidade se familiarizar com o fenômeno que está sendo estudado. Descritivo, por expor características únicas e por visar descobrir a existência de associação entre variáveis (Gil, 2002), como as variáveis que afetam o processo de implantação de uma PCH.

As técnicas utilizadas para a coleta dos dados foram divididas em primárias, secundárias e terciárias. Como primeira etapa, foi realizada uma pesquisa bibliográfica em livros, dissertações, normas e artigos, como o objetivo de desenvolver conhecimento sobre o assunto. A segunda etapa constituiu-se pela coleta de dados a respeito das vazões do rio Valério e medições do desnível com o auxílio de um GPS, a fim de determinar o melhor ponto para construção do barramento e instalação da casa de máquinas. A terceira etapa foi constituída pelo dimensionamento dos elementos básicos da PCH e por fim uma análise do custo total de investimento.

3.2. RIO VALÉRIO

O rio Valério está situado na região Celeiro do Rio Grande do Sul, é formador de divisas entre os municípios de São Valério do Sul e São Martinho e é um dos afluentes do rio Inhacorá.

Em parte de seu curso, o rio Valério apresenta um desnível favorável, viabilizando a implantação de um aproveitamento hidrelétrico. A Figura (7) mostra o percurso analisado compreendendo o trecho entre a Latitude Sul 27° 46' 12.22" e Longitude Oeste 53° 56' 31.78" e a Latitude Sul 27° 46' 12.59" e longitude Oeste 53° 56' 20.59".

Figura 7: Vista aérea do rio Valério



Fonte: Google Earth (2011).

O estudo da vazão do curso d'água foi realizado utilizando o método dos flutuadores, onde foi determinado um trecho específico do rio que favorecesse a coleta dos dados de vazão.

O levantamento dos dados das medições de vazão conforme tabela (7), foi conduzida durante o período de março a outubro de 2014, com um monitoramento quinzenal das vazões, com o objetivo de apoiar quantitativamente a análise de viabilidade.

Tabela 7: Vazão do rio Valério (m³/s)

RIO VALÉRIO	
Período (Março/14 – Outubro/14)	
DATA	VAZÃO (m ³ /s)
01/03/14	3,31
15/03/14	3,23
29/03/14	3,34
12/04/14	3,42
26/04/14	3,36
10/05/14	3,83
24/05/14	4,72
07/06/14	6,23
21/06/14	20,13
05/07/14	7,63
19/07/14	4,47
02/08/14	3,38
16/08/14	3,32
30/08/14	3,21
13/09/14	5,43
27/09/14	4,13
05/10/14	3,08

3.3. DEFINIÇÃO DO LOCAL PARA INSTALAÇÃO

A definição dos pontos aconteceu após análise de diferentes aspectos como, desnível do trecho, presença de ombreiras, fundações, proximidade da cidade, proximidade das linhas de transmissão de energia e acesso ao local.

Conforme os critérios acima e dados coletados, foram identificados dois possíveis pontos com potencial hidrenergético para instalação da PCH. O Primeiro situado na Latitude Sul 27° 46' 10.02" e Longitude Oeste 53° 56' 23.3". E o segundo situado na Latitude Sul 27° 46' 11.07" e Longitude Oeste 53° 56' 21.90".

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA

Dentre os pontos analisados, o segundo apresentou o melhor local para instalação de um aproveitamento hidrelétrico, devido à apresentação de maior desnível, disponibilidade de matéria prima, fundações e ombreiras adequadas, facilidade de acesso ao local e características adequadas para construção de um canal de adução.

Também é importante definirmos que nesse ponto se faz necessário à construção de uma tubulação para adução d'água. O sistema de adução foi caracterizado como adução em baixa pressão por meio de tubulação e alta pressão em conduto forçado. Dessa forma foi determinado a área do canal de adução e suas perdas. Realizado o dimensionamento da tubulação de baixa pressão e sua espessura de parede mínima.

Foi também possível verificar a necessidade de instalação de uma chaminé de equilíbrio, devido ao comprimento da tubulação de adução e realizado o dimensionamento da chaminé. Por fim, foi definido o diâmetro do conduto forçado e sua velocidade de escoamento.

A potência gerada no ponto escolhido foi definida pela equação (23) e apresentou uma potência superior a 500kW. O modelo de turbina que mais se adaptou ao aproveitamento foi a do tipo Francis Rápida, comprovado pelo (ANEXO A) e quadro (1).

A PCH também se caracteriza quanto à capacidade de regularização do reservatório, onde a mesma foi definida como o fio d'água, não formando reservatório, somente aproveitando a velocidade do rio para gerar energia. A barragem será de enrocamento, pois a topografia permite a sua construção, e existem boas condições de fundação e matéria prima rochosa nas proximidades.

Além do dimensionamento dos elementos básicos da PCH, foram realizados os cálculos do custo de construção da PCH. Os resultados obtidos estão definidos no memorial de cálculo e no (APÊNDICE C) onde são apresentadas as características da PCH definidas no presente estudo.

MEMORIAL DE CÁLCULO

O Dimensionamento da PCH será realizado com base nos dados obtidos no ponto que apresentou o melhor potencial para instalação de uma PCH, sendo: comprimento aproximado do canal de adução em baixa pressão de 132m; comprimento aproximado do conduto forçado em 28m, altura de queda bruta aproximada de 21 m e vazão de projeto de 3,0 m³/s.

Dimensionamento da tomada d'água:

Para determinar a área da tomada d'água, faremos o uso da equação (2). A tomada d'água e acoplada ao canal de adução, a velocidade da água na grade de proteção não deve ultrapassar 1 m/s.

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{3 \text{ m}^3/\text{s}}{1 \text{ m/s}} = 3\text{m}^2$$

Para o dimensionamento da perda de carga no inicio da tomada d'água, adotaremos a equação (3) e para definição do Ka utilizaremos a tabela (3).

$$h_i = 0,32 \times \frac{1\text{m/s}^2}{2 \times 9,81\text{m/s}^2} = 0,0163\text{m}$$

Tubulação de adução:

Para a definição do diâmetro mínimo da tubulação de adução em baixa pressão, utilizaremos a equação (4).

$$D = 83,383 \times Q^{0,388} \times \left(Ka \frac{L}{H}\right)^{0,204}$$

$$D = 83,383 \times 3,0^{0,388} \times \left(0,32 \frac{132}{21}\right)^{0,204} = 147,27\text{cm}$$

Para viabilizar a construção da tubulação, adotaremos um diâmetro de 1,5m.

A espessura mínima de parede para a tubulação de adução em baixa pressão e definida pela equação (5), onde;

$$e = \frac{D + 508}{400} = \frac{150\text{cm} + 508}{400} = 1,6 \text{ mm}$$

Também, para viabilizar a construção da tubulação, adotaremos uma espessura mínima comercial de 1,9mm.

De forma geral a perda de carga no túnel de adução varia entre 2% a 5% da queda bruta. Já perda de carga na entrada do túnel de adução deve ser calculada, para definição faremos uso da equação (6) e a velocidade de escoamento (v) e calculada pela equação (7), onde;

$$v = \frac{4 \times 3 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \times (1,5\text{m})^2} = 1,7\text{m/s}$$

$$h_e = K_e \frac{V^2}{2g} = 0,04 \frac{(1,7\text{m/s})^2}{2 \times 9,81\text{m/s}^2} = 5,89 \times 10^{-3}\text{m}$$

O coeficiente de perda de carga f e determinado em função da rugosidade das paredes da tubulação e da velocidade de escoamento. Vamos determinar utilizando a equação (8). E o coeficiente de Manning (n) e apresentado na tabela (4), onde;

$$f = 124,58 \frac{0,01^2}{(1,5\text{m})^{0,333}} = 0,01$$

A perda de carga gerada na tubulação de adução será determinada pela equação (9), onde;

$$h_f = 0,01 \frac{132\text{m} \times (1,7\text{m/s})^2}{1,5\text{m} \times 2 \times 9,81\text{m/s}^2} = 0,1296\text{m}$$

Chaminé de equilíbrio:

Para verificamos a real necessidade de uma chaminé de equilíbrio, faremos uso da equação (10), onde;

$$\frac{132\text{m}}{21\text{m}} \leq 5$$

$$\underline{6,28 \geq 5}$$

Podemos constatar a necessidade de instalação de uma chaminé de equilíbrio. O dimensionamento da chaminé de equilíbrio é definida pela equação (11). Mas antes, precisamos definir a perda de carga no sistema adutor, que é definida pela equação (12). Para as perdas de carga na grade de proteção, adotaremos um valor de 0,01m.

$$H_{ta} = 0,0163\text{m} + 0,1296\text{m} + 0,01\text{m} + 5,89 \times 10^{-3}\text{m}$$

$$\underline{H_{ta} = 0,1618\text{m}}$$

$$A_c = \frac{(1,7\text{m/s})^2}{2 \times 9,81\text{m/s}^2} \times \frac{132\text{m} \times \frac{\pi \times (1,5\text{m})^2}{4}}{(10\text{m} - 0,1618\text{m}) \times 0,1618\text{m}}$$

$$\underline{A_c = 21,58\text{m}^2}$$

A determinação da altura de chaminé de equilíbrio deve ser calculada seguindo os passos abaixo, equação (13), (14), (15) e (16), e vamos desprezar as perdas de carga do sistema adutor.

$$Y_e = Y_d = 1,7\text{m/s} \sqrt{\frac{1,76\text{m}^2 \times 132\text{m}}{9,81\text{m/s}^2 \times 21,58\text{m}^2}} =$$

$$\underline{Y_e = Y_d = 1,75\text{m}}$$

$$K = \frac{H_{ta}}{Y_e} = \frac{0,1618\text{m}}{1,75\text{m}} = 0,092$$

$$Z_e = 1 - \frac{2}{3}K + \frac{1}{9}K^2$$

$$Z_e = 1 - \frac{2}{3} \times 0,092 + \frac{1}{9} \times 0,092^2$$

$$\underline{Z_e = 0,99}$$

(14), onde:

$$Y_E = 0,99 \times 1,75\text{m} = 1,73\text{m}$$

O valor de Z_d é obtido a partir da figura (5), entrando-se com o parâmetro definido pela equação (18), e a depleção máxima é calculada pela equação (17), segue:

$$K' = \frac{h'ta}{Y_d} = \frac{0,1618}{1,73} = 0,093$$

$$Y_D = Z_d \times Y_d = 0,85 \times 1,75 = 1,487\text{m}$$

E a altura da chaminé será determinada pela equação (19), onde;

$$H_c = 1,73\text{m} + 1\text{m} + 1,487\text{m} + 1\text{m} + 0$$

$$H_c = 5,2\text{m}$$

Conduto forçado:

Para definirmos o diâmetro do conduto forçado, adotaremos a equação (20), onde;

$$D_e = 123,7 \sqrt[7]{\frac{(3\text{m}^3/\text{s})^3}{21\text{m}}} = 128,2\text{cm}$$

Para viabilizar economicamente a construção do conduto forçado, faremos uso de um diâmetro de 1,3m. E para verificarmos a velocidade de escoamento do fluido, faremos uso da equação (7), onde;

$$V = \frac{4 \times 3\text{m}^3/\text{s}}{\pi \times (1,3\text{m})^2} = 2,94 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$$

Potência no eixo:

A potência no eixo é definido conforme a equação (23), mas antes é necessário definir o salto energético, o qual pode ser definido pela equação (24), onde;

$$\gamma = 9,81\text{m/s}^2 \times 21\text{m} = 206,01 \text{ j/kg}$$

Para a equação (23) foi considerado um rendimento de 85% para o gerador e a turbina.

$$P_e = 1000\text{kg/m}^3 \times 3,0\text{m}^3/\text{s} \times 206,01\text{j/kg} \times 0,85$$

$$P_e = 525325,5\text{W}$$

$$\underline{P_e = 525,32\text{KW}}$$

Com a definição da potência no eixo da turbina, podemos classificar a PCH, conforme a tabela (1) em uma Minicentral hidrelétrica, devido à faixa de potencia.

Escolha do tipo de turbina:

Com os dados iniciais apurados, podemos definir os tipos de turbinas aplicáveis a PCH a partir do (ANEXO A).

Embora fique evidente a possibilidade de utilização de mais de um tipo de turbina hidráulica, neste caso também serão empregados critérios adicionais de seleção, como, facilidade de operação e manutenção, capacidade de atendimento, confiabilidade. E para podermos definir com maior clareza o tipo de turbina aplicável,

utilizaremos o quadro (1) que determina o tipo de turbina conforme a velocidade de rotação específica (n_{qa}).

A equação (22) é utilizada para definirmos a velocidade de rotação específica da turbina, Segundo o manual de diretrizes básicas para projetos de PCH, recomenda-se que a rotação da turbina seja de 600rpm para minicentral hidrelétrica.

$$n_{qa} = 10^3 \cdot 10 \text{ rps} \cdot \frac{(3 \text{ m}^3/\text{s})^{0,5}}{(206,01 \text{ j/kg})^{3/4}}$$

$$n_{qa} = 318,53$$

Após definirmos a valor da rotação específica (n_{qa}) podemos perceber que a melhor turbina que se adapta, com essas condições e o modelo de turbina Francis Rápida.

Custo de implantação da PCH:

A seguir são apresentadas as equações dos custos dos diversos componentes. A primeira equação de custo é referente a um conjunto de componentes, os quais dependem de um mesmo parâmetro técnico e pode ser definida pela equação (25).

$$C_{tcc} = 5,9 \times (132m)^{0,595} \times (3 \text{ m}^3/\text{s})^{0,695}$$

$$C_{tcc} = 231,31 (10^3 R\$)$$

O custo de uma barragem depende principalmente de seu volume e o volume da barragem é definida pela equação (26) e custo é definido pela equação (27).

$$V = \frac{15 + 12}{2} \times 2^2$$

$$V = 27m^3$$

$$C_b = 367 + 0,0585 \times 27$$

$$C_b = 368,58 (10^3 R\$)$$

O próximo componente é a tubulação de alta pressão, podemos definir o custo utilizando a equação (28).

$$Cca = 0,11 \times (28m)^{1,17} \times \left(\frac{3m^3}{s}\right)^{1,1}$$

$$Cca = 18,17 (10^3 R\$)$$

Para definição do custo da casa de força, podemos fazer uso da equação (29).

$$Ccf = 249,6 \times 1^{1,76} \times 21m^{-0,379} \times 0,52532(MW)^{0,668}$$

$$Ccf = 89,11 (10^3 R\$)$$

Para definição do custo de turbinas e geradores, utilizaremos a equação (30)

$$Ctg = 13,6 \times 1^{-1,04} \times 21m^{0,92} \times 3m^3/s^{1,21}$$

$$Ctg = 1000,03 (10^3 R\$)$$

E por fim, para determinação do custo total de investimento do sistema técnico, e necessário utilizar a equação (31).

$$Custo ST = 231,31 + 368,58 + 18,17 + 51,41 + 845,86$$

$$Custo ST = 1515,33 (10^3 R\$)$$

Na definição dos custos ambientais, vamos utilizar a equação (32).

$$Custo Amb = 1515,33 \times 0,02$$

$$Custo Amb = 30,31 (10^3 R\$)$$

Para avaliação dos custos indiretos de um empreendimento futuro, podemos utilizar a equação (33).

$$\text{Custo ind} = 1515,31 \times 0,24$$

$$\text{Custo ind} = 363,68 (10^3 R\$)$$

Também é necessário prever os custos dos componentes de menos impacto no custo final, para esse fim, e utilizado a equação (34), segue:

$$\text{outros custo} = 1515,31 \times 0,15$$

$$\text{outros custo} = 227,3 (10^3 R\$)$$

A composição do custo final do empreendimento é o somatório de todos os custos calculados acima, o custo total do empreendimento é definido pela equação (34).

$$\text{Custo final PCH} = 1515,31 + 30,31 + 363,68 + 227,3$$

$$\text{Custo final PCH} = 2136,62 (10^3 R\$)$$

5. CONCLUSÕES

Com o crescente aumento do consumo de energia se faz necessário a elaboração de estudos de viabilidade técnica, análise ambiental e de custo dos empreendimentos a fim de viabilizar a construção de novas PCH's.

O presente trabalho teve como objetivo principal analisar a viabilidade técnica de implantação de uma pequena central hidrelétrica. O estudo teve foco no rio Valério, no trecho compreendido entre a Latitude Sul 27° 46' 12.22" e Longitude Oeste 53° 56' 31.78" e a Latitude Sul 27° 46' 12.59" e longitude Oeste 53° 56' 20.59".

O local adequado para a implantação de uma PCH deve levar em consideração diversos aspectos, como, queda natural acentuada, que aliada à altura da barragem proporcione uma queda bruta aproveitável, e importante que o local escolhido possua ombreiras naturais e boas condições de fundação para a construção da barragem e, além disso, e necessário à existência de matéria prima nas proximidades para construção da barragem.

Foi possível também determinar o custo final do empreendimento, onde foram analisados os custos do sistema técnico, custo da barragem, custo da tubulação de alta pressão, custo da casa de força, custo de turbina e gerador, custos ambientais, custos indiretos e a determinação de outros custos referentes ao empreendimento.

Os principais resultados alcançados comprovam uma vazão turbinável de 3m³/s, que foi a situação menos favorável no período estudado, onde se pode obter a geração de 525,32kW, com custo de instalação de R\$ 4.067,27/kW instalado. As demais definições estão elencadas no (APÊNDICE C), onde podemos visualizar as características mais importantes da PCH. Foi também desenvolvido um fluxograma (APÊNDICE B), onde é apresentada uma sequência cronológica das etapas do estudo de análise de viabilidade técnica.

Diante dos resultados alcançados e de acordo com as diretrizes que regem a construção de uma PCH, podemos concluir que a construção de uma pequena central hidrelétrica no trecho estudado é tecnicamente viável.

Para trabalhos futuros, sugiro a construção de uma estação fluviométrica que permitiria a criação de um banco de dados mais abrangente o qual resultaria em números mais confiáveis para apoiar a construção da PCH.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, ANEEL – Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: Julho de 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, ANEEL – **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 3^o Edição. Brasília, 2008. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf>. Acesso em: 28 abril de 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023 (NB 66): **Informação e documentação**: referências de elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 6445 – **Turbinas Hidráulicas, Turbinas-Bombas e Bombas de Acumulação**, RJ, BR, 1987.

BRASIL. DNAEE, Departamento nacional de águas e energia. Portaria nº 136 de 06 de outubro de 1987. Publicado no **Diário Oficial da União**, Brasília, 24 nov. 1987.

BRASIL. CONAMA, Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986. Publicado no **Diário Oficial da União**, Brasília, 18 fev. 1986.

BRASIL. ANEEL, Resolução nº 652 de 09 de dezembro de 2003. Estabelece os critérios para o enquadramento de aproveitamento hidrelétrico na condição de pequena central hidrelétrica (PCH). **Diário Oficial da União**, Brasília, 10 dez. 2003.

BRASIL. ANEEL, Resolução normativa nº 583, de 22 de outubro de 2013. Estabelece os procedimentos e condições para obtenção e manutenção da situação operacional e definição de potência instalada e líquida de empreendimento de geração de energia elétrica. **Diário Oficial da União**, Brasília, 05 nov. 2013.

BRASIL. DNAEE, Portaria 109, de 25 de novembro de 1982. Publicado no **Diário Oficial da União**, Brasília, 26 nov. 1982.

BRASIL, Decreto 5025, de 30 de março de 2004. Publicado no **Diário Oficial da União**, Brasília, 30 mar. De 2004.

BRASIL, Decreto 237, de 19 de dezembro de 1997. Publicado no **Diário Oficial da União**, Brasília, 19 dez. 1997.

DAL MOLIN, Anderson. **Anteprojeto de Pequena Central Hidrelétrica para o Rio Toropi**. 2007. 79 f. Dissertação de Mestre em Engenharia (Pós-graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

DECICINO, Ronaldo. GPS: **Sistema de posicionamento global tem diferentes utilidades**. Outubro de 2009. Disponível em: <<http://educacao.uol.com.br/disciplinas/geografia/gps-sistema-de-posicionamento-global-tem-diferentes-utilidades.htm>>. Acesso em: 24 set. 2014.

ELETROBRÁS. **Diretrizes para estudos e projetos de pequenas Centrais Hidrelétricas**, Ed. Eletrobrás, RJ, 2000.

ELETROBRÁS. **Manual de PCHs, Diretrizes Básicas para o Estudo e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas**. ANEEL, 2011.

ELETROBRÁS. **Manual de Microcentrais Hidrelétricas**. Junho, 1985.

FILHO, G. L. T. [et al.] **PEQUENOS APROVEITAMENTOS HIDROELÉTRICOS – Soluções Energéticas para a Amazônia** – Ministério de Minas e Energia, 1^o Edição, Brasília, 2008.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. Ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOOGLE. **Programa Google Earth**. Versão 6.1.0.5001, 2011.

HENN, E. L., 2012, “**Máquinas de Fluxo**” Santa Maria – RS, Editora UFSM.

JÚNIOR, Ângelo Stano; BITENCOURT, Valdinéia Aparecida; FILHO, Geraldo Lúcio Tiago. **Série Energias Renováveis - Hidráulica**. Cerpch. Itajubá, 2007.

MAGALHÃES, Ricardo Nogueira. **Estimação de custo para projetos de pequenas centrais hidrelétricas**. Dissertação de mestrado (Pós-graduação em Engenharia da Energia). Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2009. Disponível em: <<http://saturno.unifei.edu.br/bim/0036256.pdf>>. Acesso em: 16 set. 2014.

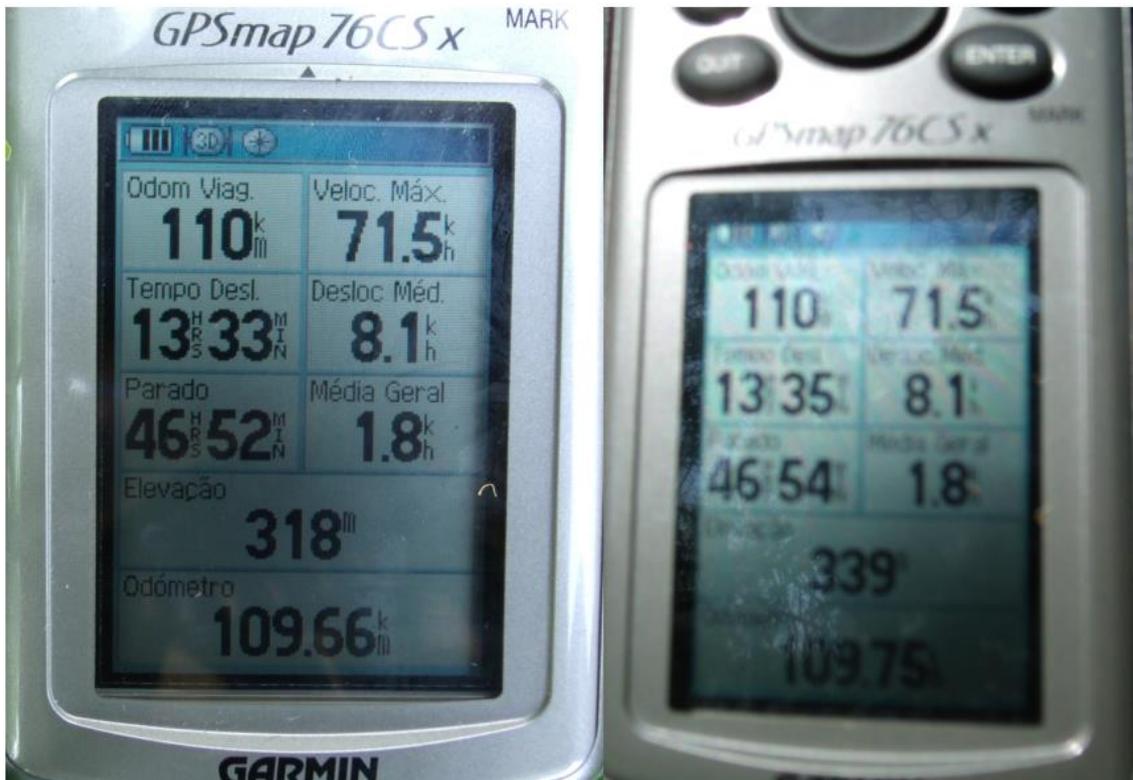
OLIVEIRA, Ana Claudia Pedrosa. et al. **Análise da Implantação do Programa do Programa Minas PCH: O Caso da PCH Cachoeirão**. XXXIV Encontro da ANPAD. Rio de Janeiro. 2010. Disponível em: <<http://www.anpad.org.br/admin/pdf/apb871.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2014.

PALHARES, J.C.P. et al. **Medição da vazão em rios pelo método dos flutuadores**. Concórdia, SC. Embrapa. Julho de 2007. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/443939/1/CUsersPiazzonDocuments455.pdf>>. Acesso em: 24 set. 2014.

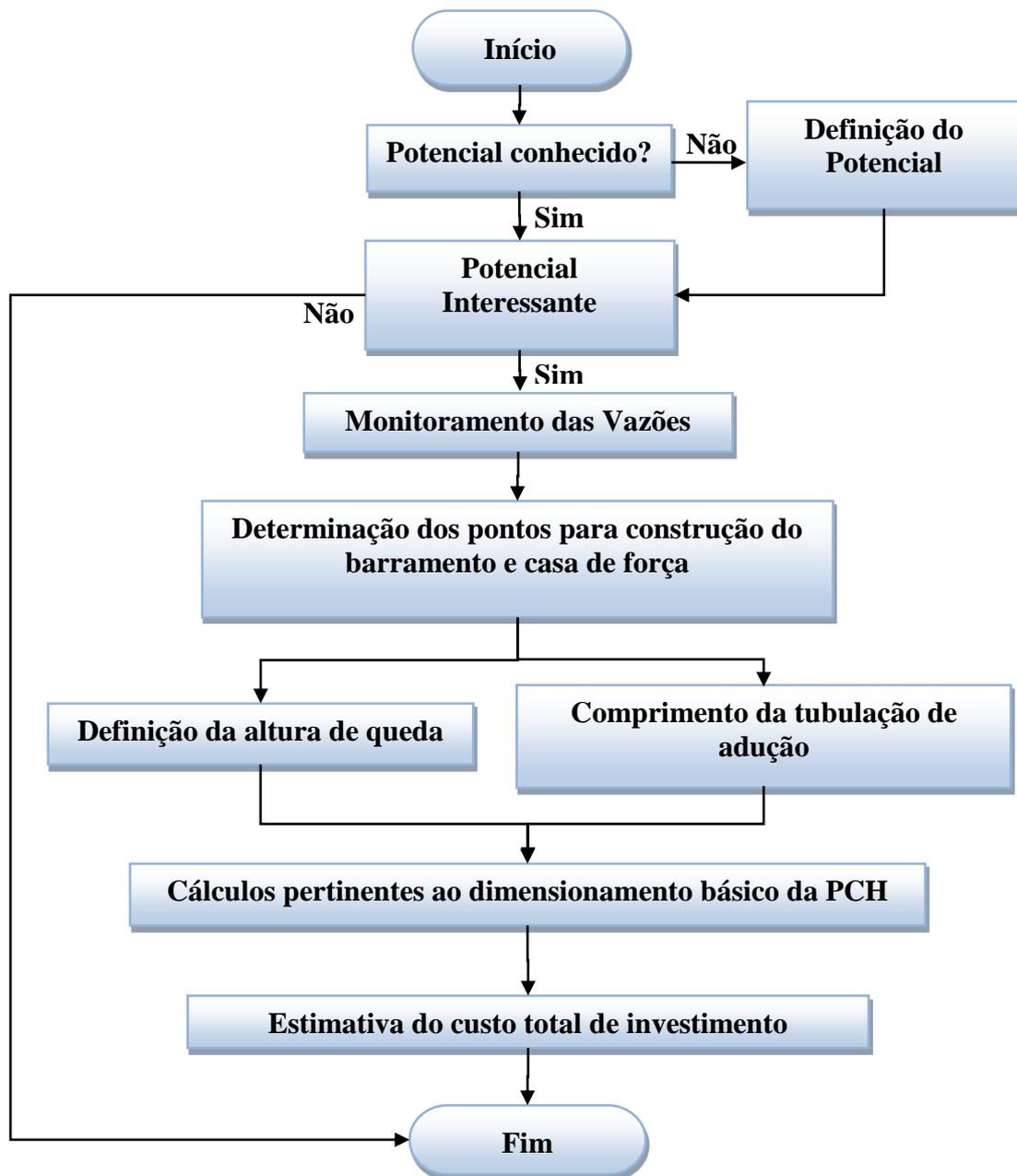
SLOMPO, Caio Cesar Vieira; KLOSTERMANN, Reinaldo Zanello. **Estudo de Parâmetros Operacionais para Otimização da Operação Energética de PCHs**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

TIAGO FILHO, Geraldo Lúcio; BARROS, Regina Mambell; LEMOS, Helmo; Da Silva, Fernando das Graças. **Uma abordagem para prospecção do custo unitário de PCH baseada no seu fator de aspecto**. HIDRO&HYDRO, 2013. Disponível em: <<http://www.cerpch.unifei.edu.br/artigos/uma-abordagem-para-a-prospeccao-do-custo-unitario.html>>. Acesso em: 15 set. 2014.

APÊNDICE A – DESNÍVEL DO TRECHO



APÊNDICE B – FLUXOGRAMA DE ESTUDO



APÊNDICE C – CARACTERÍSTICAS DA PCH

Características da PCH		
Ponto de construção da barragem	27° 46' 11.07" S 53° 56' 21.90" O	
Ponto de instalação da casa de força	27° 46' 12.07" S 53° 56' 30.82" O	
Altura de queda bruta	21 metros	
Vazão de projeto	3,0m³/s	
Tipo da Barragem	Enrocamento	
Modelo de casa de força	Exterior e abrigada	
Tipo de regularização	Fio d'água	
Área de seção plana da tomada d'água	Área (m³)	3m²
Comprimento da Tubulação de baixa pressão	Diâmetro (m)	1,5m
	Comprimento (m)	132m
Chaminé de equilíbrio	Área (m³)	29,47m²
	Altura (m)	4,7m
Conduto forçado	Diâmetro (m)	1,3m
	Comprimento (m)	28m
Turbina hidráulica	Tipo	Francis Rápida
	Quantidade	1 unid.
Potência Gerada (kW)	525,32	
Custo total (R\$)	2.136.620,00	

ANEXO A – CAMPO DE APLICAÇÃO DE TURBINAS HIDRÁULICAS

