

**REDE DE ENSINO DOCTUM - INSTITUTO TECNOLÓGICO DE  
CARATINGA**

**PAULO AUTIERES ZAMPIER BONIN**

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DE UMA MICRO  
USINA HIDRELÉTRICA NA BARRAGEM DA PEQUENA  
CENTRAL HIDRELÉTRICA PIPOCA**

**BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**DOCTUM-MG**

**2016**

PAULO AUTIERES ZAMPIER BONIN

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DE UMA MICRO  
USINA HIDRELÉTRICA NA BARRAGEM DA PEQUENA  
CENTRAL HIDRELÉTRICA PIPOCA**

Monografia apresentada à banca examinadora da faculdade de Engenharia Elétrica, do Instituto Tecnológico de Caratinga como exigência parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica, sob orientação do Prof. Joildo Fernandes Costa Júnior

DOCTUM – CARATINGA-MG

2016

TERMO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DO TRABALHO

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DE UMA MICRO USINA HIDRELÉTRICA NA BARRAGEM DA PCH PIPOCA**

Nome completo do aluno: PAULO AUTIERES ZAMPIER BONIN

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado perante a Banca de Avaliação composta pelos professores Joildo Fernandes Costa Junior, Ricardo Botelho Campos e José Eugênio De Oliveira E Silva, às 19:00 horas do dia 14 de dezembro de 2016, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica. Após a avaliação de cada professor e discussão, a Banca Avaliadora considerou o trabalho: APROVADO (aprovado ou não aprovado), com a qualificação: BOM (Excelente, Ótima, Bom, Satisfatório ou Insatisfatório).

Trabalho indicado para publicação: ( ) SIM  NÃO

Caratinga, 14 de dezembro de 2016

\_\_\_\_\_  
Professor Orientador e Presidente da Banca

\_\_\_\_\_  
Professor Avaliador 1

\_\_\_\_\_  
Professor Avaliador 2

\_\_\_\_\_  
Aluno(a)

\_\_\_\_\_  
Coordenador(a) do Curso

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus que me acompanhou em cada fase da minha vida, em cada momento, sem ele não teria forças para lutar, batalhar e alcançar tal objetivo.

Aos meus familiares que me apoiaram sempre, minha avó Luiza, minha mãe Vanda, meu pai Paulo, minha irmã Alessandra e também a força em espírito do meu avô José Olímpio (in memória), a todos estes que estiverem fisicamente e em espírito presente nos momentos fáceis e difíceis, tristes e alegres, bons e ruins, sem medirem esforços.

A minha esposa Barbara que esteve ao meu lado nesta caminhada e ao meu filho Luiz Arthur.

Aos professores Joildo Fernandes e Douglas que me orientaram neste presente estudo.

Aos demais professores que se dedicaram ao nosso aprendizado e formação acadêmica.

Aos colegas de classe, que nesses vários anos participaram de um grande período de convivência e troca de experiências.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Oferta interna de energia elétrica	17
Figura 02 – Local para aproveitamento hídrico	29
Figura 03 – Modelo esquemático de uma Micro usina	30
Figura 04 – Gerador/turbina de Micro usina	30
Figura 05 – Local escolhido	32
Figura 06 – Modelo de turbinas mais aplicadas nas PCHs e MCHs	40
Figura 07 – Aplicação dos tipos de turbinas	41
Figura 08 – Esquemático do conjunto turbina/gerador	43
Figura 09 – Vista aérea das dimensões locais	46
Figura 10 – Rede de distribuição	46
Figura 11 – Esquema de instalação de uma MCH	49
Figura 12 – Vista aérea de uma captação de água até a Micro usina	54
Figura 13 – Esquemático de bloco de apoio	55
Figura 14 – Exemplo de bloco de ancoragem na tubulação	57
Figura 15 – Layout de uma Micro usina	57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Classificação das PCHs quanto a potência e queda do projeto	13
Tabela 02 – Desenvolvimento do projeto de energia elétrica no Brasil	19
Tabela 03 – Diâmetro dos cabos de distribuição de energia elétrica	47
Tabela 04 – Dados de condutores elétricos	48
Tabela 05 – Conductor elétrico neutro	48
Tabela 06 – Conductor usado em cada momento elétrico	51
Tabela 07 – Descrição do cálculo de demanda	52
Tabela 08 – Tubulação	53
Tabela 09 – Dimensionamento dos blocos de apoio	55
Tabela 10 – Inclinação da tubulação	56
Tabela 11 - Materiais e orçamento para projeto de Micro usina	58

## **ABREVIATURAS E SÍMBOLOS**

A – Ampère

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

AWG – American Wire Gauge

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais

CFTV – Circuito Fechado de TV

CGH – Central Geradora Hidrelétrica

CLP – Controlador Lógico Programado

EUA – Estados Unidos da América

F – Frequência

GPS – Global Positioning System

km<sup>2</sup> - Quilômetros Quadrado

KVA – Kilovolt Ampere

KV – Kilovolts

KW - Quilowatts

LED – Light emitter diode

MCGH- Micro Centrais Geradoras Hidrelétricas

MG – Minas Gerais

MME - Ministério de Minas e Energia

MVA- Mega Volt Ampère

MW - Mega Watts

ND – Norma de Distribuição

O&M – Operação e Manutenção

PCH – Pequena Central Hidrelétrica

RPM – Rotação Por Minuto

SIN – Sistema Interligado Nacional

TP – Transformador de Potencial

TC – Transformador de Corrente

UG – Unidade Geradora

UHE – Usina Hidrelétrica de Energia

## RESUMO

Neste presente estudo serão apresentados alguns tipos de usinas hidrelétricas, trazendo informações sobre suas características técnicas. Será realizada uma análise do estudo de viabilidade técnica da implementação de uma micro usina hidrelétrica na barragem da PCH Pipoca. Serão realizados estudos e levantamentos técnicos e econômicos para gerar energia renovável, fazendo um aproveitamento de água que não está sendo aproveitada, seria a melhor opção para gerar energia elétrica sem promover nenhum impacto ambiental. Para o desenvolvimento deste estudo será realizado uma análise do local, das condições, dos vários tipos de turbina e geradores de energia, para uma implantação satisfatória para o empreendimento. Abordadas tecnologias que poderão ser adotadas, meios e formas de construção e adaptação no local. Serão abordadas diversas características de cada tipo de turbina que poderia ser adotada na geração da energia para o aproveitamento da água de percolação na barragem da PCH PIPOCA EM IPANEMA - MG, levando em conta as características do terreno, barragem, quedas, distâncias, entre outros fatores que influenciam numa geração de energia elétrica, visando contribuir para uma base sólida de conhecimento para profissionais e estudantes da área de engenharia elétrica.

**Palavras-chaves:** Turbinas. Energia renovável. Confiabilidade. Geração.

## **ABSTRACT**

In this present study will be presented some types of hydroelectric plants, providing information on their technical characteristics. An analysis will be made of the technical feasibility study of implementation of a micro hydroelectric plant at the dam of PCH Popcorn. Studies will be carried out and technical and economic surveys to generate renewable energy, use of water that is not being used, it would be the best option to generate electricity without promoting any environmental impact. For the development of this study will be carried out an analysis of the place, the conditions, the various types of turbine and power generators, for a deployment to the enterprise. Addressed technologies that can be adopted, means and forms of construction and adaptation on site. Will address various features of each type of turbine that could be adopted in energy generation to the utilization of the percolating water in the dam of PCH POPCORN in IPANEMA-MG, taking into account the characteristics of the terrain, dam, falls, distances, among other factors that influence a generation of electric energy, in order to contribute to a solid base of knowledge for professionals and students in the field of electrical engineering.

**Keywords:** Turbines. Renewable Energy. Reliability. Generation.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1 CONSIDERAÇÕES CONCEITUAIS.....	12
<b>2 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA</b> .....	<b>15</b>
2.1 INFORMAÇÕES GERAIS .....	15
2.2 MATRIZ ENERGÉTICA DO BRASIL.....	16
<b>2.2.1 Matriz Energética Brasileira</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2.2 Potencial Hidrelétrico do Brasil</b> .....	<b>17</b>
<b>2.2.3 Capacidade de Geração do Brasil</b> .....	<b>18</b>
<b>2.2.4 Pequenas Centrais Hidrelétrica (PCH) no Brasil</b> .....	<b>19</b>
<b>3 PRINCÍPIO DA TRANSFORMAÇÃO DE ENERGIA</b> .....	<b>20</b>
3.1 GERADORES SÍNCRONOS.....	20
3.2 GERADORES DE INDUÇÃO (ASSÍNCRONOS) .....	21
<b>4 COMPONENTES DE UMA MICRO USINA</b> .....	<b>21</b>
4.1 MICRO USINA DE ENERGIA .....	21
4.2 SISTEMA DE CAPACITAÇÃO DE ÁGUA .....	22
4.3 SISTEMA DE TOMADA D'ÁGUA.....	22
4.4 SISTEMA DE ADUÇÃO DE ÁGUA .....	23
4.5 CÂMARA DE CARGA .....	23
4.6 TUBULAÇÃO FORÇADA .....	23
4.7 COMPONENTE DA CASA DE MÁQUINAS .....	23
<b>4.7.1 Turbina</b> .....	<b>23</b>
<b>4.7.2 Gerador</b> .....	<b>24</b>
4.7.2.1 Sistema de Controle de tensão e frequência .....	24
4.7.2.2 Vonante de inércia.....	24
<b>4.7.3 Painel de controle</b> .....	<b>24</b>
4.8 LINHA DE TRANSMISSÃO.....	24
<b>4.8.1 Aterramento</b> .....	<b>25</b>
<b>4.8.2 Transformador elevador e abaixador</b> .....	<b>25</b>
4.9 TIPOS DE TURBINAS UTILIZADAS EM PCH, MICRO E MINI USINA .....	25
<b>4.9.1 Turbinas hidráulicas tipo Pelton</b> .....	<b>25</b>

<b>4.9.2 Turbinas hidráulicas tipo Francis .....</b>	<b>25</b>
<b>4.9.3 Turbinas hidráulicas tipo Kaplan.....</b>	<b>26</b>
<b>4.9.4 Turbinas hidráulicas tipo Tubulares.....</b>	<b>26</b>
<b>4.9.5 Turbinas hidráulicas tipo Bulbo.....</b>	<b>26</b>
<b>4.9.6 Turbinas hidráulicas tipo Michel Banki .....</b>	<b>27</b>
<b>5 IMPLANTAÇÃO DE MICRO USINA UTILIZANDO ÁGUA DE PERCOLAÇÃO ...</b>	<b>27</b>
5.1 CARACTERÍSTICAS DO EMPREENDIMENTO .....	27
5.2 MICRO USINA DE ENERGIA MCGH .....	28
5.3 LOCAL DO APROVEITAMENTO HÍDRICO .....	29
<b>5.3.1 Funcionamento .....</b>	<b>29</b>
5.3.2 Manutenção na Micro usina .....	30
5.4 VANTAGENS DA MICRO USINA DE ENERGIA .....	31
<b>5.4.1 Para iluminação em Geral .....</b>	<b>31</b>
<b>5.4.2 Utilização na irrigação .....</b>	<b>31</b>
5.5 IDENTIFICAÇÃO DO LOCAL IDEALIZADO PARA A IMPLANTAÇÃO.....	32
<b>5.5.1 Local da Instalação .....</b>	<b>33</b>
5.6 ESPECIFICAÇÕES GERAIS DA OBRA – MEMORIAL DESCRITIVO .....	34
<b>5.6.1 Estudos topográficos .....</b>	<b>34</b>
<b>5.6.2 Estudos geológicos .....</b>	<b>35</b>
<b>5.6.3 Estudos hidrográficos e hidrológicos .....</b>	<b>35</b>
<b>5.6.4 Determinação da queda disponível .....</b>	<b>35</b>
<b>5.6.5 Determinação da distância .....</b>	<b>36</b>
<b>5.6.6 Determinação da vazão e método utilizado .....</b>	<b>36</b>
<b>5.6.7 Barragem do empreendimento .....</b>	<b>37</b>
<b>5.6.8 Conduto forçado.....</b>	<b>37</b>
5.7 ESTIMATIVA DA POTENCIA HIDRÁULILCA DISPONÍVEL.....	38
5.8 ESCOLHA DOS COMPONENTES DA MICRO USINA E CÁLCULOS .....	39
<b>5.8.1 Escolha da turbina .....</b>	<b>39</b>
<b>5.8.2 Escolha do gerador.....</b>	<b>43</b>
<b>5.8.3 Escolha do regulador.....</b>	<b>44</b>
<b>5.8.4 Escolha do disjuntor .....</b>	<b>44</b>
<b>5.8.5 Dimensionamento dos condutores.....</b>	<b>46</b>
<b>5.8.6 Critério da capacidade de condução de corrente.....</b>	<b>49</b>

<b>5.8.7 Critério da queda de tensão .....</b>	<b>50</b>
<b>5.8.8 Cálculo de demanda.....</b>	<b>51</b>
<b>5.8.9 Condutor de aterramento .....</b>	<b>53</b>
<b>5.8.10 Dimensionamento da tubulação forçada .....</b>	<b>53</b>
5.8.10.1 Dimensionamento dos blocos de apoio.....	54
5.8.10.2 Bloco de ancoragem.....	56
<b>5.9 VANTAGENS ENCONTRADAS.....</b>	<b>59</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>61</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>62</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>65</b>
ANEXO A – CARTA DE AUTORIZAÇÃO PARA ESTUDO DO LOCAL.....	65
ANEXO B – PROPOSTA ENVIADA PELO FABRICANTE ALTERIMA.....	66

## 1 - INTRODUÇÃO

Este presente estudo é justificável com a intenção de algumas conquistas. Conquista pessoal, enriquecimento intelectual imenso obtido com as pesquisas.

Conquista pessoal, com a aplicação do estudo em futuros projetos, para aumentar a geração e disponibilidade de energia elétrica, e cada vez mais beneficiando a população.

Conquista científica, este estudo proporciona um acervo técnico para consulta de profissionais e estudantes, para se inteirar e aprofundar na área.

Na área de energia elétrica, geração de energia está cada vez mais difícil achar lugar para explorar rios, quedas, lagos, construir represas, entre outros. As fontes renováveis estão sendo cada vez mais exploradas, onde se destacam as que causam menor impacto ambiental possível, ou explorar locais onde o impacto ambiental já foi causado e minimizado com os reflorestamentos e a natureza já se recuperou, proporcionando assim a reativação de alguns empreendimentos ou adaptações. Este estudo visa demonstrar e planejar a implantação de uma micro central hidrelétrica num local onde não haverá necessidade de realizar nenhum impacto ambiental.

O maior problema será somente demonstrar para os profissionais da área de geração e mais interessados na parte construtiva, pois o estudo será focado na viabilidade econômica e técnica do empreendimento, buscando aumento de geração para a planta, melhor aproveitamento hídrico e apresentando ganhos significativos de geração para o proprietário da planta, para que se busque recursos e seja viável o investimento com retorno para a planta.

O objetivo será demonstrar através de cálculos, gráficos, ilustrações, para profissionais da área de geração de energia, quais critérios a escolher, quais grandezas utilizarem, quais são levadas em consideração no ato do projeto e também as vantagens da implantação deste sistema de micro central hidrelétrica para aproveitamento da água de percolação da ombreira direita da barragem da PCH PIPOCA.

Os objetivos específicos serão descrever o funcionamento de turbina e gerador e como poderá ser implantada no empreendimento causando o mínimo de impacto ambiental, fazendo análises de escolhas, critérios, meios e formas.

Para elaboração desta pesquisa está sendo adotada uma metodologia que na parte teórica serão selecionadas obras pelas quais permitirão a construção de conceitos: princípios de geração de energia, conceito de usina hidrelétrica, gerador, turbina, como funciona, transmissão e distribuição. Será utilizado o meio da internet por possuir inúmeras ofertas de artigos, textos sobre geração de energia elétrica, e usar livros para pesquisas e adquirir informações para este estudo.

Esta pesquisa será composta por Introdução, quatro capítulos e considerações finais: O primeiro capítulo é sobre "Geração de Energia Elétrica"; o segundo, "princípio da transformação de energia"; o terceiro "componentes de uma Micro usina" e o último refere-se à "implantação de uma Micro usina utilizando água de percolação".

Neste quarto capítulo, será dedicado ao elemento chave desta monografia, realizando o estudo de viabilidade técnica da micro usina voltado para a Pequena Central Hidrelétrica PCH PIPOCA, demonstrando que a instalação de uma micro central hidrelétrica na margem direita da barragem a PCH PIPOCA é aplicável. Trazendo para a planta um aumento nem que seja mínimo de geração e economia também, tendo como maior aliado o centro de carga ao lado do ponto de geração, para o consumo imediato, gerando assim economia para a planta, deixando de consumir energia da casa de força principal.

## 1.1 CONSIDERAÇÕES CONCEITUAIS

Atualmente a energia elétrica é utilizada em inúmeras aplicações. O mundo hoje é repleto de tecnologias, e o principal combustível desta imensa tecnologia é a eletricidade. Essa energia é resultado da transformação de outras formas de energia disponível na natureza. Podem ser citadas algumas formas de transformação, onde sabemos que a energia elétrica não se cria e sim se transforma, as formas seriam, através da energia solar, fotovoltaica, térmica, eólica, hidráulica e nuclear.

O foco principal desta pesquisa serão as fontes hidráulicas. Por sua vez são classificadas de acordo com o tamanho da instalação, da potência gerada e da área do seu reservatório, podendo se enquadrar como CENTRAIS GERADORAS HIDRELÉTRICAS (CGH), Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) e Usina Hidrelétrica de Energia (UHE).

A ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) adota como CGH, os empreendimentos com potência instalada de até 1.000 KW. De acordo com a ANEEL, RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 673, DE 4 DE AGOSTO DE 2015, Art. 2º Serão considerados empreendimentos com características de PCH aqueles empreendimentos destinados a autoprodução ou produção independente de energia elétrica, cuja potência seja superior a 3.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW e com área de reservatório de até 13 km², excluindo a calha do leito regular do rio. Já as UHE's são Usinas com potência instalada superior a 30.000 KW<sup>1</sup>.

Para produzir energia, tais empreendimentos utilizam o potencial hídrico de um rio, que é armazenado em reservatórios através de barragens, tendo como função principal interromper o curso normal do rio em questão. Esta água armazenada é captada por túneis, canais de adução ou condutos metálicos e direcionada para uma turbina. Estas turbinas têm a função de transformar a energia hidráulica em energia mecânica, e em sequência transformar energia mecânica em energia cinética (do movimento), através da rotação do seu eixo acoplado na turbina que é acoplado ao rotor do gerador, transmitindo um torque, fazendo com que todo o conjunto turbina/gerador gire em uma determinada rotação e sentido único. Essa energia é transportada através de cabos bons condutores até os painéis de média tensão responsáveis pelas medições, proteções e seccionadoras, e posteriormente levada para a subestação elevadora e transmitida para outra subestação abaixadora, onde é distribuída aos consumidores finais, que são fábricas, indústrias, hospitais, lojas, nossas casas, entre outros lugares.

Tabela 1 – Classificação das PCHs quanto à potência e à queda do projeto

Classificação das centrais	Potência (kW)	Queda de Projeto – Hd (m)		
		Baixa	Média	Alta
Micro	$P < 100$	$Hd < 15$	$15 < Hd < 50$	$Hd > 50$
Mini	$100 < P < 1.000$	$Hd < 20$	$20 < Hd < 100$	$Hd > 100$
Pequenas	$1.000 < P < 30.000$	$Hd < 25$	$25 < Hd < 130$	$Hd > 130$

Fonte: Eletrobrás (2012).

Para obter um maior conhecimento sobre usinas hidrelétricas, será realizada uma apresentação mais detalhada de alguns componentes de muita importância.

<sup>1</sup> ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, Dezembro de 2003. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20155673>. Acessado em 11/09/2016.

A Turbina é um equipamento formado por uma série de pás ligadas a um eixo, e tem como função transformar a energia de um fluxo de água em energia mecânica, seu princípio de funcionamento é o mesmo das antigas rodas d'água<sup>2</sup>

Para elaboração de um projeto e definição de qual melhor tipo a ser utilizada é preciso basear-se na queda e vazão oferecida pelo rio no qual o empreendimento será implantado. No Brasil atualmente são mais utilizadas os modelos de turbina: Francis, Kaplan, Pelton e Bulbo, e em micro usinas as mais utilizadas são as Pelton e Michel Banki (MELLO JUNIOR, 2000).

As turbinas são acopladas através do seu eixo ao eixo do rotor do gerador.

Geradores de energia. Todo dispositivo cuja finalidade é produzir energia elétrica à custa de energia mecânica constitui uma máquina geradora de energia elétrica (diz-se também, impropriamente, máquina geradora de eletricidade). O funcionamento dessas máquinas se baseia ou em fenômenos eletrostáticos ou na indução eletromagnética. Nas aplicações industriais a energia elétrica provém quase exclusivamente de geradores mecânicos cujo princípio é o fenômeno da indução eletromagnética, os geradores mecânicos de corrente alternante são também denominados alternadores; os geradores mecânicos de corrente contínua são também denominados dínamos. Numa máquina elétrica (seja gerador ou motor), distinguem-se essencialmente duas partes, a saber: o estator, conjunto de órgãos ligados rigidamente à carcaça e o rotor, sistema rígido que gira em torno de um eixo apoiado em mancais fixos na carcaça. Sob ponto de vista funcional distinguem-se o indutor, que produz o campo magnético, e o induzido que engendra a corrente induzida<sup>3</sup>.

Essa energia gerada é transmitida até a subestação elevadora através de condutores, cabos, onde a tensão é elevada para ser transmitida para minimizar as perdas por vários fatores. A subestação é composta basicamente pelos seguintes componentes: Transformador elevador, disjuntor, seccionadora, transformador de corrente (TC), Transformador de potencial (TP) e para-raios.

Conforme já citado, essa energia elétrica não foi criada, mas sim transformada, produzida por meio do campo eletromagnético gerado através dos polos do rotor do gerador. E a geração deste campo eletromagnético é feita a partir de um sistema conhecido como sistema de excitação (Dicionário Aurélio Eletrônico, versão 3.0, 1999).

---

<sup>2</sup> ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, dez 2003. Disponível em [www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas par 2 cap3..pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par_2_cap3..pdf). acessado em 21-ago. 2015

<sup>3</sup> [www.feiradeciencias.com.br](http://www.feiradeciencias.com.br). Reprodução autorizada pelo autor. O Copyright do "Feira de Ciências" está reservado para "Luiz Ferraz Netto" e seu conteúdo está protegido pela Lei de Direitos Autorais. Pag. 1 <http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/Component/Controller.aspx?CC=3332>

Segundo Costa (2002, p. 105) o sistema de excitação de um gerador tem por função "fornecer e controlar a tensão interna do gerador e também controlar o fator de potencia e a magnitude da corrente gerada"<sup>4</sup>.

Para a Fundação Coge, (2007, p. 32) esse controle da excitação também "permite manter de forma estável a tensão terminal do gerador em valor constante, mesmo diante de variações de potência da máquina"<sup>5</sup>.

Para realizar este controle, é utilizado um regulador de tensão, que é um elemento capaz de monitorar a tensão de saída do gerador e atuar diretamente na excitatriz para aumentar ou diminuir o fluxo de corrente nos polos do rotor do gerador (PEREIRA, 2000).

Para Costa (2002, p. 5) em sistemas antigos "o operador da usina que desempenhava esta função do regulador de tensão, observava a tensão de saída do gerador e ajustando o reostato de campo da excitatriz, de maneira a obter as condições de saída de tensão desejável".

Existem vários tipos de sistemas de excitação, com diferentes componentes em seu circuito, diversificando de acordo com o tipo de utilização. Podem ser classificadas como sistemas de excitação ESTATICOS E ROTATIVOS. Os sistemas Estáticos são compostos basicamente por um transformador, regulador de tensão, anel coletor e um conjunto de escovas. Já os sistemas Rotativos são compostos pelo regulador de tensão, podem ter ou não um transformador e escovas e são definidos por dois tipos, sendo tais: Excitatriz com gerador de corrente contínua (CC); Excitatriz sem escovas (Sistema Brushless) (COSTA, 2000).

## **2. GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

### **2.1 INFORMAÇÕES GERAIS**

O Brasil é um país muito rico em recursos hídricos. Para suprir a demanda de energia do país, que vem crescendo cada vez mais, o país necessita da construção de mais usinas hidrelétricas, mas o que tem afetado esses empreendimentos é o impacto ambiental causado nas construções, principalmente em usinas hidrelétricas de grande porte. Outro item que assombra o país é a seca dos rios Brasil a fora,

---

<sup>4</sup> COSTA, Antonio Simões. **Sistemas de Excitação de Geradores Síncronos**, notas de aula, UFSC, 2002, p 105. Disponível em <http://www.labspot.ufsc.br/~simoies/dincont/dc-cap5.pdf>. Acessado em 21 ago. 2015

<sup>5</sup> Fundação COGE, Apostila de treinamento para Operadores de Usinas, 2007, p.32.

principalmente na região sudeste que é rica em rios e muitas usinas hidrelétricas UHE, PCH e CGH (BRANCO, 2006).

Com esses entraves no país, a opção mais viável seria investimentos em outras fontes de energia renovável, no nosso estudo a PCH e MICRO PCH, devido a necessidade de produzir energia limpa e com menores impactos ambientais, em alguns casos como o deste estudo o impacto para a implantação de uma micro Usina seria o mínimo possível (Idem, 2006).

## 2.2 MATRIZ ENERGETICA DO BRASIL

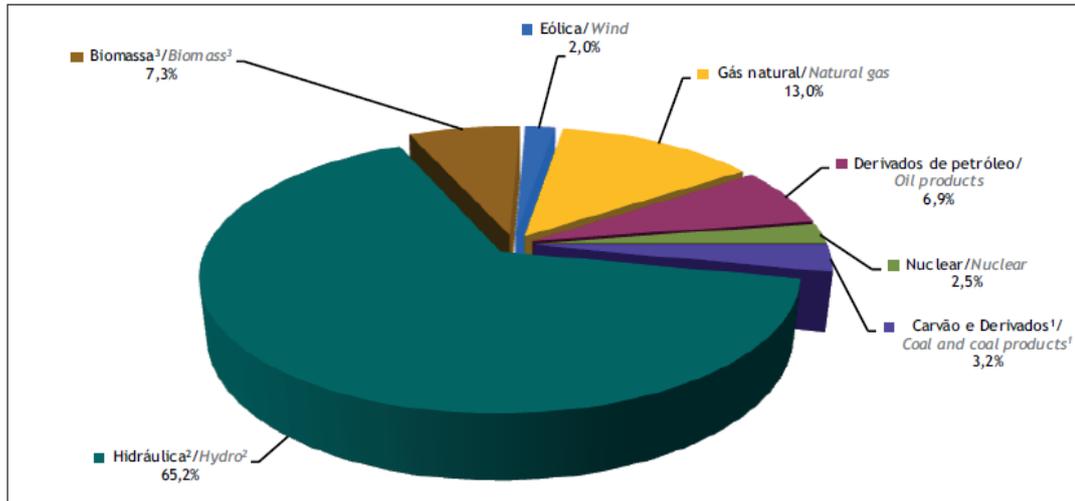
### 2.2.1 Matriz Energética Brasileira

O que temos visto ultimamente é a mudança climática no Brasil, e que tem afetado diretamente a nossa produção de energia elétrica através da fonte hídrica. a redução do volume hídrico foi o principal causador deste déficit. Com informações do relatório Balanço Nacional de 2015, ano base 2014.

A geração de energia elétrica no Brasil em centrais de serviço público e autoprodutor atingiu 590,5 TWh em 2014, resultado 3,4% superior ao de 2013. As centrais elétricas de serviço público, com 84,1% da geração total, permanecem como principais contribuintes. A principal fonte de geração de energia elétrica é hidráulica, embora tal fonte tenha apresentado uma redução de 4,5% na comparação com o ano anterior. A geração elétrica a partir de não renováveis representou 26,9% do total nacional, contra 23,3% em 2013. A geração de autoprodutores (APE) em 2014 participou com 15,9% do total produzido, considerando o agregado de todas as fontes utilizadas, atingindo um montante de 94,0 TWh. Desse total, 52,2 TWh são produzidos e consumidos in loco ou seja, pela própria instalação geradora usualmente denominada como APE não injetada na rede elétrica. A autoprodução não injetada agrega as mais diversas instalações industriais que produzem energia para consumo próprio, a exemplo dos setores de Papel e Celulose, Siderurgia, Açúcar e Alcool, Química, entre outros, além do Setor Energético. Neste último, destacam-se os segmentos de exploração, refino e produção de petróleo. Importações líquidas de 33,8 TWh, somadas à geração nacional, asseguraram uma oferta interna de energia elétrica de 624,3 TWh, montante 2,1% superior a 2013. O consumo final foi de 531,1 TWh, um acréscimo de 2,9% em comparação com 2013. O gráfico apresenta a estrutura da oferta interna de eletricidade no Brasil em 2014: O Brasil dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, com destaque para a geração hidráulica que responde por 65,2% da oferta interna. As fontes renováveis representam 74,6% da oferta interna de eletricidade no Brasil, que é a resultante da soma dos montantes referentes à produção nacional mais as importações, que são essencialmente de origem renovável. Do lado do consumo, o setor residencial apresentou crescimento de 5,7%. O setor industrial registrou uma queda de 2,0% no consumo eletricidade em relação ao ano anterior. Os demais setores – público, agropecuário, comercial e transportes – quando analisados em bloco apresentaram variação positiva de 7,0% em relação ao ano anterior. O setor energético cresceu 4,8%. Em

2014, a capacidade total instalada de geração de energia elétrica do Brasil (centrais de serviço público e autoprodutoras) alcançou 133.914 MW, acréscimo de 7.171 MW. Na expansão da capacidade instalada, as centrais hidráulicas contribuíram com 44,3%, enquanto as centrais térmicas responderam por 18,1% da capacidade adicionada. Por fim, as usinas eólicas e solares foram responsáveis pelos 37,6% restantes de aumento do grid nacional<sup>6</sup>.

Figura 1 - Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte; Matriz Elétrica Brasileira em 2014<sup>7</sup>



Notas/ Notes:

<sup>1</sup> Inclui gás de coqueria/ Includes coke oven gas

<sup>2</sup> Inclui importação de eletricidade/ Includes electricity imports

<sup>3</sup> Inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações/ Includes firewood, sugarcane bagasse, black-liquor and other primary sources

Fonte: Ministério das Minas e Energia

## 2.2.2 Potencial Hidrelétrico do Brasil

O Brasil é um dos maiores produtores de energia hidrelétrica do mundo.

Em 2014, a participação da energia hidráulica vem representando um valor aproximado de 66,83% na participação da matriz energética Brasileira. "Sendo que 0,22% é representado por CGH's, com 477 empreendimentos em operação no país, totalizando um valor de 295.461 kw de potencia fiscalizada. Já as PCH's, contribuem com 3,56% do valor total gerado por fontes hidráulicas, com 469 empreendimentos em operação no país, com valor total de 4.677.132 kw de potência fiscalizada. E por último temos as maiores contribuidoras para a geração, são as UHE's que representam um

<sup>6</sup> **MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA.** Relatório do balanço energético nacional 2015 ano base 2015, p.15, disponível em <http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores/balanco-energetico-nacional>. Acessado em 10 de set. 2016.

<sup>7</sup> **MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA.** Relatório do balanço energético nacional 2015 ano base 2015, p.16, disponível em <http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores/balanco-energetico-nacional>. Acessado em 10 de set. 2016.

valor de 63,08% com 200 empreendimentos em operação, num total de 83.457.368 kW de potencia fiscalizada<sup>8</sup>.

Com a demanda cada vez mais aumentando, com os avanços tecnológicos, com a principal fonte de energia secando a cada ano (hídrica), o país brasileiro está buscando outras fontes de energia, renovável e limpa, mas o que parece é que a energia hidráulica se manterá como a principal fonte geradora de energia elétrica do país por um longo tempo ainda, pois é uma energia limpa e renovável. Com o fato das implantações dos grandes empreendimentos estarem enfrentando dificuldades nos diversos fatores burocráticos relacionados ao meio ambiente, o país tem passado por um processo de reestruturação do setor elétrico, do qual se estimula a geração descentralizada de energia elétrica, de modo que as fontes de energias renováveis tem ocupado maior espaço na matriz energética brasileira. Por isso, as PCH's e CGH's terão um papel extremamente importante para matriz energética brasileira (FERNANDES, et al, 2007).

### 2.2.3 Capacidade de geração do Brasil

Com o crescimento da demanda que o Brasil apresentou nos últimos anos, foi então necessário ampliar a planta de geração de energia, para que a demanda fosse suprida e mesmo assim, tem-se a necessidade de aumentar e ampliar cada vez mais a matriz energética e sua produção de energia elétrica devido ao contínuo desenvolvimento do país (ANEEL, 2016).

O Brasil possui no total **4.568** empreendimentos em operação, totalizando **147.506.191** kW de potência instalada. Está prevista para os próximos anos uma adição de **26.746.606** kW na capacidade de geração do País, proveniente dos **215** empreendimentos atualmente em construção e mais **671** em Empreendimentos com Construção não iniciada<sup>9</sup>.

<sup>8</sup> ANEEL, Agencia Nacional de Energia Elétrica. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/aplicações/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. acessado em 03-out. 2015

<sup>9</sup> ANEEL, Agencia Nacional de Energia Elétrica. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/aplicações/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. acessado em 10-set. 2016

Apesar de o país estar sempre num crescimento e cada vez mais acelerado, estes números não são suficientes para acompanhar o crescimento da sua demanda (Idem 2016).

Devido a crise hídrica que se instalou no país com baixas consideráveis nos reservatórios das hidrelétricas e PCH's, e também o planejamento duvidoso de construções de novas e grandes hidrelétricas o Brasil se viu obrigado a ligar as termoelétricas com energia muito mais cara (Idem 2016).

## 2.2.4 Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) no Brasil

No Brasil, a nossa geração de energia elétrica se dá, em sua maioria, por grandes empreendimentos. Mas devido aos grandes danos causados por essas construções UHE's, as PCH e CGH vêm ganhando mais espaço. Apesar da pequena geração de cada uma, quando somado o montante acrescenta uma grande parcela de contribuição ao país. No ano de 2015 o Brasil se viu obrigado a estimular a construção de PCH e CGH, pois está cada vez mais escasso locais para grandes obras de UHE, os limites de CGH E PCH, foram citados anteriormente num quadro da Eletrobrás (ANEEL, 2016)

Tabela 2 – Desenvolvimento do Projeto de Energia no Brasil

Empreendimentos em Construção			
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	%
<a href="#">CGH</a>	1	848	0,01
<a href="#">EOL</a>	144	3.284.730	37,1
<a href="#">PCH</a>	34	454.959	5,14
<a href="#">UFV</a>	3	84.000	0,95
<a href="#">UHE</a>	7	1.967.100	22,22
<a href="#">UTE</a>	25	1.711.246	19,33
<a href="#">UTN</a>	1	1.350.000	15,25
<b>Total</b>	<b>215</b>	<b>8.852.883</b>	<b>100</b>
Empreendimentos com Construção não iniciada			
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	%
<a href="#">CGH</a>	37	25.351	0,14
<a href="#">CGU</a>	1	50	0
<a href="#">EOL</a>	237	5.643.250	31,54
<a href="#">PCH</a>	120	1.710.966	9,56
<a href="#">UFV</a>	107	2.868.997	16,03
<a href="#">UHE</a>	6	629.000	3,52
<a href="#">UTE</a>	163	7.016.109	39,21
<b>Total</b>	<b>671</b>	<b>17.893.723</b>	<b>100</b>

Fonte ANEEL, 2016<sup>10</sup>

<sup>10</sup> ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/aplicações/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. acessado em 10-set. 2016

### 3 PRINCÍPIO DE TRANSFORMAÇÃO DE ENERGIA

É comum, mas não é correto o uso do termo geração de energia elétrica, mas é certo usar transformação de outra fonte como: cinética, hidráulica, mecânica, em energia elétrica. Um exemplo prático seria nas hidrelétricas, onde o princípio de transformação seria energia hidráulica em mecânica e a mecânica em energia elétrica, que para isso são utilizados basicamente as turbinas e geradores elétricos.

Os geradores elétricos para centrais hidrelétricas, ou hidrogeradores, em princípio, podem ser síncronos ou assíncronos (indução). Os geradores síncronos, de maior aceitação e historicamente mais utilizados, são máquinas elétricas que trabalham com velocidade constante e igual à velocidade síncrona, que é uma função da frequência da tensão gerada e do número de pares de polos do rotor do gerador. As máquinas de indução, quando acionadas acima de sua velocidade síncrona, passam a operar como gerador. O gerador de indução não possui excitação própria, que deverá ser fornecida pelo sistema ao qual será ligado ou através de capacitores<sup>11</sup>.

Os geradores podem ser síncronos ou de indução.

#### 3.1 GERADORES SÍNCRONOS

O gerador síncrono possui, como característica a velocidade síncrona que é igual a velocidade do rotor, ou seja, não tem o chamado escorregamento que seria a diferença entre essas velocidades.

É o tipo mais utilizado de gerador, para pequenas e grandes potências hidrelétricas e térmicas. Seu rotor é magnetizado por uma fonte CC (excitatriz) e é levado a girar por um acionador mecânico externo. O enrolamento trifásico do estator recebe a indução de tensões resultante da rotação do campo do rotor em razão do posicionamento geométrico das bobinas das três fases, um sistema equilibrado de tensões é produzido. As correntes de carga fluem do estator para o exterior por conexões rígidas, permanentes<sup>12</sup>.

---

<sup>11</sup> LIMA, Roberth dos Santos. Padronização De Projetos Elétricos De Pequenas Centrais Hidrelétricas. 2002. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Energia) Universidade Federal de Itajubá, p. 3. Disponível em <http://cerpch.unifei.edu.br/dissertacoes/padronizacao-de-projetos-eletricos-de-pequenas-centrais-hidreletricas/> Acessado em 04 out 2015.

<sup>12</sup> LIMA, Roberth dos Santos. Padronização De Projetos Elétricos De Pequenas Centrais Hidrelétricas. 2002. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Energia) Universidade Federal de Itajubá, p. 5. Disponível em <http://cerpch.unifei.edu.br/dissertacoes/padronizacao-de-projetos-eletricos-de-pequenas-centrais-hidreletricas/> Acessado em 04 out 2015.

### 3.2 GERADORES DE INDUÇÃO (ASSÍNCRONOS)

Tem este nome por possuir o chamado efeito de escorregamento. O campo do rotor tende a acompanhar o campo girante do estator, mas nunca vai ficar em fase, é daí que se dá o nome de motor assíncrono. Por este motivo tem-se uma diferença entre velocidade do rotor e síncrona.

A uma velocidade entre 1,5 e 5% acima da velocidade síncrona, aproximadamente, o gerador de indução está fornecendo sua potência nominal. O gerador de indução não possui excitação própria, que deverá ser fornecida pelo sistema ao qual será ligado ou através de capacitores. A principal vantagem do gerador de indução reside no menor custo de aquisição, instalação e manutenção, pela inexistência da excitatriz, regulador de tensão, regulador de velocidade, equipamento de sincronização, requerendo um sistema de controle e proteção relativamente simples<sup>13</sup>.

As máquinas de indução têm por sua vantagem a possibilidade de trabalhar em sobrecarga, ou seja, trabalhar acima da sua capacidade e quando chega a um valor acima da sua rotação, rompido o campo do rotor com o estator, o motor de indução passa a trabalhar como um gerador (LIMA, 2002).

## 4. COMPONENTES DA MICRO USINA

A partir deste espaço serão apresentados os principais componentes necessários ao funcionamento adequado de uma micro usina, bem como, quais são as principais características e função de cada um delas.

### 4.1 MICRO USINAS DE ENERGIA

As micro usinas hidrelétricas ou mini centrais hidrelétricas, produzem eletricidade utilizando o potencial hidráulico existente num rio, sendo necessária a construção total ou parcial do empreendimento, onde muitas vezes são necessários somente alguns itens para realizar este aproveitamento. As micro usinas hidrelétricas convertem a energia da água em energia mecânica e energia mecânica

---

<sup>13</sup> LIMA, Roberth dos Santos. Padronização De Projetos Elétricos De Pequenas Centrais Hidrelétricas. 2002. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Energia) Universidade Federal de Itajubá, p. 5. Disponível em <http://cerpch.unifei.edu.br/dissertacoes/padronizacao-de-projetos-eletricos-de-pequenas-centrais-hidreletricas/> Acessado em 04 out 2015.

em energia elétrica. A energia produzida é renovável e o processo não emite gases poluentes, nem tóxicos, nem outras destruições ao local, por se tratar de um empreendimento muito pequeno, e na maioria das vezes nem é utilizado máquinas pesadas para terraplanagem, onde o próprio homem com ferramentas de enxada e outras pode fazer o local do abrigo de gerador/turbina e a passagem do conduto forçado (ENGIOPRA, 2016).

#### 4.2 SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA

A captação, como o próprio nome diz, seria ao local (fonte) de onde a água será retirada. Portanto, a captação refere-se ao desvio da vazão da água de uma determinada fonte, numa quantidade determinada para movimentar a turbina de uma micro usina. Podemos citar duas formas de fazer esta captação:

- Pode ser diretamente da fonte, ou seja, leito de um rio.
- Pode ser pela construção de uma barragem, neste caso usado quando a vazão do rio apresentar variações significativas durante um determinado período do dia.

A captação pode ser feita através de barragens que pode ser:

- barragem de terra
- barragem de alvenaria
- barragem de pedra argamassada
- barragem de madeira
- entre outros tipos.

A opção pelo tipo de barragem a ser implantada no empreendimento deverá ser feita em função das características dos materiais disponíveis no local, da formação do local, área geográfica do local, do terreno, dos processos construtivos que serão utilizados e da disponibilidade de recursos (ENGIOPRA, 2016).

#### 4.3 SISTEMA DE TOMADA D'ÁGUA

A função da tomada d'água é fazer a transição entre o rio ou barragem, responsáveis pela captação da água e o sistema de adução da água.

A tomada d'água é constituída pelas grades, comportas e "stop logs" e desarenador (ENGIOPRA, 2016).

#### 4.4 SISTEMA DE ADUÇÃO D'ÁGUA

A adução refere-se à forma como a água será conduzida a tomada d'água, até a casa de máquinas.

Este sistema de adução pode ser composto por uma tubulação forçada ou um canal aberto, ou composto pelos dois sistemas. Estas estruturas são destinadas a conduzir a água desde a tomada d'água até a câmara de carga (ENGIOBRA, 2016).

#### 4.5 CÂMARA DE CARGA

É uma estrutura construída no final do canal de condução de água, representada por uma caixa de alvenaria ou de concreto, que fará a transição entre o canal e a tubulação forçada.

Portanto ela tem a função de receber a água do canal e conduzi-la para a tubulação forçada que conduzirá a água captada até a casa de máquinas, onde se localiza a turbina e o gerador (ENGIOBRA, 2016).

#### 4.6 TUBULAÇÃO FORÇADA

A condução da água da câmara de carga até a casa de máquinas é feita por meio de uma tubulação fechada, devido ao desnível existente, caracterizando um sistema de conduto forçado. Essa tubulação, que é denominada forçada, fica submetida a maior pressão e deverá ser de aço, ferro fundido, concreto armado, ou em alguns casos e micro usinas pode também ser de cano PVC (ENGIOBRA, 2016).

#### 4.7 COMPONENTES DA CASA DE MÁQUINAS

Na casa de máquinas, ficam instalados componentes importantes de uma micro usina, tais como: turbina, gerador, sistema de controle de tensão e de frequência, volante de inércia e o painel de controle, entre outros componentes.

**4.7.1 Turbina:** é a responsável pela transformação da energia hidráulica em energia mecânica que é utilizada para acionar o gerador através do seu eixo.

**4.7.2 Gerador:** o gerador é a máquina que recebe a energia mecânica, fornecida pela turbina e a converte em energia elétrica, usando o princípio da indução magnética. Esse gerador pode ser acionado em forma direta por meio do eixo que é acoplado entre turbina e gerador, ou por meio de polias e correias.

4.7.2.1 Sistema de controle de tensão e de frequência: para que a energia elétrica seja de boa qualidade, é necessário manter constante a tensão e a frequência elétrica de geração. Isso é feito mantendo constante a rotação do rotor, na rotação nominal, especificada pelo fabricante, mesmo quando ocorrem grandes variações na demanda de energia elétrica. Para isso pode ser utilizado um regulador hidráulico ou um controlador eletrônico.

4.7.2.2 Volante de inércia: o volante de inércia é um disco de ferro fundido ou de aço com massa relativamente grande, instalado no eixo da turbina, que tem a função de auxiliar no controle da variação de carga. Em muitos casos o volante de inércia também é utilizado como freio, onde são instalados dispositivos para utilizar as extremidades de sua circunferência para aplicar os feios.

**4.7.3 Painel de controle:** além de todos os componentes da casa de máquinas, sistemas de controle, é indispensável a existência de um painel de controle. No painel de controle devem existir alguns instrumentos indicadores básicos: frequencímetro para medir e informar a frequência da rede, amperímetro para medir e informar a corrente gerada e da rede, voltímetro para medir e informar a tensão gerada e da rede, disjuntor, para proteger o circuito e isolar o equipamento (ENGIOPRA, 2016).

## 4.8 LINHA DE TRANSMISSÃO

A linha de transmissão será responsável por conduzir a energia elétrica gerada pela Micro usina até os pontos de consumo ou painel de distribuição. Geralmente utilizam-se redes aéreas, formadas por condutores elétricos de alumínio com poste de concreto armado ou de madeira tratada.

Essas linhas de transmissão podem ser instaladas para atender um único, ou vários pontos de consumo.

**4.8.1 Aterramento:** um ponto muito importante, tanto da linha como de toda a instalação da micro usina. Todo sistema elétrico para funcionar com eficiência e segurança contra acidentes e choques deve ser aterrado.

**4.8.2 Transformador elevador e abaixador:** dependendo a configuração da Micro usina, faz-se necessário possuir um transformador na saída da micro usina, um transformador elevador para elevar a tensão e transmiti-la a maiores distâncias com melhor qualidade, e no outro lado no ponto de consumo se faz necessário ter um transformador abaixador, para abaixar a tensão que foi elevada no ponto de geração. Mas em alguns casos não se faz o uso de transformador, pois o gerador já gera em um determinado valor monofásico ou trifásico e a distância é pequena, sem necessidade de transformação (ENGIOPRA, 2016).

## 4.9 TIPOS DE TURBINAS UTILIZADAS EM PCH, MICRO E MINI USINAS

### 4.9.1 Turbinas Hidráulicas tipo Pelton

As turbinas hidráulicas são conhecidas basicamente por dois tipos de classificação, são aquelas de impulso e de reação. O tipo predominante de máquina de impulso é a roda Pelton (inventada por Lester Allen Pelton), daí a origem do nome PELTON. Uma roda com conchas. Que é muito utilizada para uma queda que varia de 150-2000 metros de altura, quando o fator queda é predominante, mas quando o fator predominante é a pressão da água na chegada da turbina, também podemos utilizar a turbina Pelton, como é o caso das micros e mini usinas hidrelétrica, onde se tem uma baixa ou média queda, e utiliza uma tubulação de determinado valor de diâmetro e na chegada dessa tubulação na turbina, faz-se uma redução de três, quatro ou até mais vezes o diâmetro dessa tubulação na entrada da turbina, tendo ai uma maior pressão incidindo na turbina (RAMOS, et al, 2009).

### 4.9.2 Turbinas hidráulicas tipo Francis

Em 1847 o inglês James Bicheno Francis (1815-1892) trabalhando nos EUA, através de estudos e trabalhos, protótipos e testes, ensaios, melhorou uma máquina de escoamento centrípeta desenvolvida em 1838 por Samuel Dowd (1804- 1879), de modo que a partir disso, esses tipos de turbinas hidráulicas receberam o nome de

turbinas Francis, em homenagem ao responsável que aprimorou e deixou a turbina do jeito que conhecemos hoje (RAMOS, et al, 2009).

As turbinas Francis são máquinas de reação do tipo “ação total” (a água ao passar pelo rotor e preenche simultaneamente todos os canais das pás). Agora quanto ao posicionamento do eixo podem ser: tipo turbina FRANCIS de eixo vertical ou turbina FRANCIS de eixo horizontal (Idem 2009).

#### **4.9.3 Turbinas Hidráulicas tipo Kaplan**

Em 1912, o engenheiro Victor Kaplan (1876-1934), daí o nome deste tipo de turbina hidráulica, após estudos teóricos e experimentais, protótipos, concebeu um novo tipo de turbina a hélice, comportando a possibilidade de variar o passo ou inclinação das pás.

Os principais componentes de uma turbina Kaplan são: 1) Distribuidor. 2) Rotor: 3) Tubo de sucção: 4) Caracol ou caixa espiral (RAMOS, et al, 2009).

#### **4.9.4 Turbinas Hidráulicas tipo tubulares**

Quando o desnível hidráulico (queda) for muito reduzido, pode não ser viável nem mesmo a instalação de turbinas tipo Kaplan. Deste modo foram desenvolvidos novos tipos de turbinas mais apropriadas para tais condições. Um destes tipos é a turbina Tubular.

Nas turbinas tubulares, o receptor, de pás fixas ou orientáveis, é colocado num tubo por onde a água escoar e o eixo, horizontal ou inclinado, aciona um alternador colocado externamente ao tubo (RAMOS, et al, 2009).

#### **4.9.5 Turbinas Hidráulicas tipo bulbo**

As turbinas de bulbo podem ser consideradas como uma evolução do tipo de turbina hidráulica tubular. O rotor possui pás orientáveis como as turbinas Kaplan e existe uma espécie de bulbo colocado dentro do tubo adutor de água. No interior do bulbo que é uma câmara blindada, pode existir simplesmente um sistema de engrenagens para transmitir o movimento do eixo ao alternador e/ou, nos tipos mais aperfeiçoados, no interior do bulbo fica o próprio gerador elétrico, isso varia de particularidade de projeto para projeto (RAMOS, et al, 2009).

A turbina bulbo dispensa a caixa em caracol e o trecho vertical do tubo de sucção. O espaço ocupado em planta é, portanto menor que o das turbinas Kaplan. Para um mesmo diâmetro do rotor, a turbina bulbo absorve uma descarga maior que as Kaplan, resultando daí maior potência a plena carga (Idem 2009).

#### **4.9.6 Turbina Hidráulicas tipo Michell Banki**

A turbina Banki pode ser utilizada para o aproveitamento hidráulico das pequenas quedas com grande volume de água, muito comum nas regiões planas. É uma turbina de fluxo cruzado (Cross-Flow), constituída de um rotor, tambor dotado de pás em forma de lâmina que controla a vazão da água, cujo fluxo é controlado pelo próprio perfil hidráulico impulsionado pelas pás do rotor (Idem 2009).

### **5. IMPLANTAÇÃO DE MICRO USINA UTILIZANDO ÁGUA DE PERCOLAÇÃO.**

Neste capítulo será apresentado o projeto de implantação de uma micro CGH a jusante da barragem da PCH PIPOCA, para aproveitamento de uma água de "percolação" da ombreira direita.

Serão apresentados e descritos alguns dados que levaram ao estudo de implantação desta micro CGH nesta planta. Também serão mostrados custos básicos para a implantação, e os benefícios também. Serão apresentados estudos e dados para a implantação desse aproveitamento hídrico, tendo a seu favor uma PCH de 20 MW já instalada e em utilização a rede de energia que interliga a casa de força com a barragem em tensão de nível 6.900 volts (6,9 kv), podendo esse estudo trazer para o proprietário ao final de cada mês uma economia com a energia elétrica gerada, pois com o que for gerado de energia podendo abastecer parte ou totalidade do centro de carga da barragem, deixaria assim de consumir uma parte da energia proveniente da casa de força principal que fica situada a cerca de 3 km da barragem, e tendo em vista a crise hídrica no país e principalmente nesta citada planta.

#### **5.1 CARACTERÍSTICAS DO EMPREENDIMENTO**

A PCH Pipoca está localizada no município de Ipanema - Minas Gerais se beneficia do potencial hídrico do Rio Manhuaçu; este rio compõe a bacia hidrográfica

do Rio Doce. Sua instalação é composta por três unidades geradoras com turbinas Francis de eixo horizontal (queda nominal de 44,5 m; potência nominal de 7,05 MW; vazão nominal de 17,66 m<sup>3</sup>/s; rotação 400 rpm) e geradores síncronos de (potência nominal 7410 KVA; rotação 400 rpm; rendimento 97%), com geração por unidade de máxima potência em 6,82 MW, totalizando potência instalada de 20 MW, em propriedade da empresa OMEGA ENERGIA (ACERVO USINA PIPOCA).

A PCH Pipoca iniciou suas atividades de geração comercial no dia 08/10/2010, quando sua primeira unidade geradora foi conectada ao sistema da CEMIG, através de uma linha de transmissão de 69 KV (Idem, Pipoca).

## 5.2 MICRO USINAS DE ENERGIA - MCGH

As micro usinas hidrelétricas ou mini centrais hidrelétricas também conhecidas como CGH, produzem eletricidade utilizando o potencial hidráulico existente num rio, sendo necessária a construção total ou parcial do empreendimento, onde muitas vezes são necessários somente alguns itens para realizar este aproveitamento. As micro usinas hidrelétricas convertem a energia da água em energia mecânica e energia mecânica em energia elétrica. A energia produzida é renovável e o processo não emite gases poluentes, nem tóxicos, nem outras destruições ao local, por se tratar de um empreendimento muito pequeno, e na maioria das vezes nem é utilizado máquinas pesadas para terraplanagem, onde o próprio homem com ferramentas de enxada e outras pode fazer o local do abrigo de gerador/turbina e a passagem do conduto forçado.

Com o termo de desenvolvimento sustentável ao uso de recursos naturais, isto em outras palavras, significa manter o equilíbrio frágil entre o uso de recursos e a exploração. Hoje em dia para encontrar o equilíbrio é uma tarefa muito difícil, estabelecer um limite na consideração, pois são feitas exigências excessivas aos recursos limitados, e cada dia que se passa os recursos naturais vão ficando mais escassos mais difíceis de ser encontrado, pois o homem vai degradando tudo, então quando temos a oportunidade de se obter uma energia elétrica de forma limpa, segura renovável, e sem agredir o meio ambiente, podemos fazer sempre respeitando as regras e ao nosso meio ambiente (ENGIOPRA, 2016).

### 5.3 LOCAL DO APROVEITAMENTO HÍDRICO

Atualmente no local tem um encanamento que capta a água de percolação da rocha e direciona para o leito natural do rio. O aproveitamento se daria em instalando a micro usina próximo a este local do visualizado na figura 2, colocando a unidade geradora um pouco mais abaixo ao lado direito do rio, ganhando assim um fator importantíssimo para a geração, a queda de água que aumentaria um pouco com a nova localização que está demonstrada na figura 2:

Figura 2 : Local para Aproveitamento Hídrico

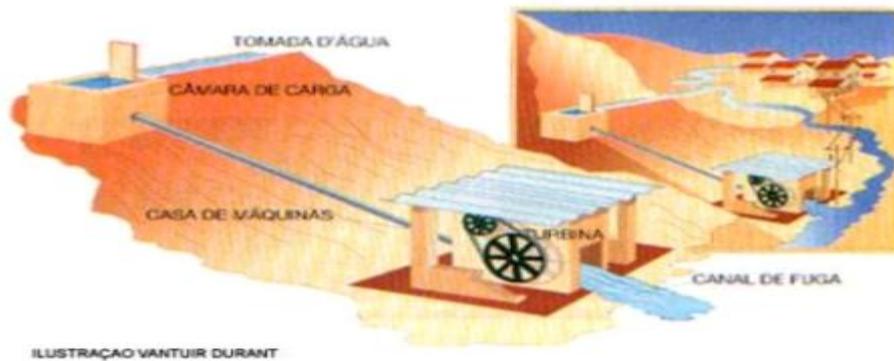


Fonte: Acervo do autor

#### 5.3.1 Funcionamento

O funcionamento básico desta micro usina de energia elétrica MICRO CGH, se dá pela captação da água de percolação da rocha na obreira esquerda, esta água será conduzida por uma tubulação de PVC e direcionada ao abrigo da turbina e gerador logo a alguns metros abaixo. Ao chegar neste abrigo denominado casa de força a água vinda pelo conduto forçado será direcionada para a turbina hidráulica, esta por sua vez estará conectada por polia ao gerador de energia elétrica. Este gerador de energia elétrica vai gerar energia em tensão monofásica alternada de 220 volts, e vai enviar esta energia através de cabos até a casa de abrigo de painéis do vertedouro, onde este fará sua medição e distribuição para os equipamentos do vertedouro e tomada d'água, tais como iluminação, câmera de monitoramento de nível, CLP, telefone, sensores de nível, tomadas, relés, contator, entre outros equipamentos de consumo reduzido de carga.

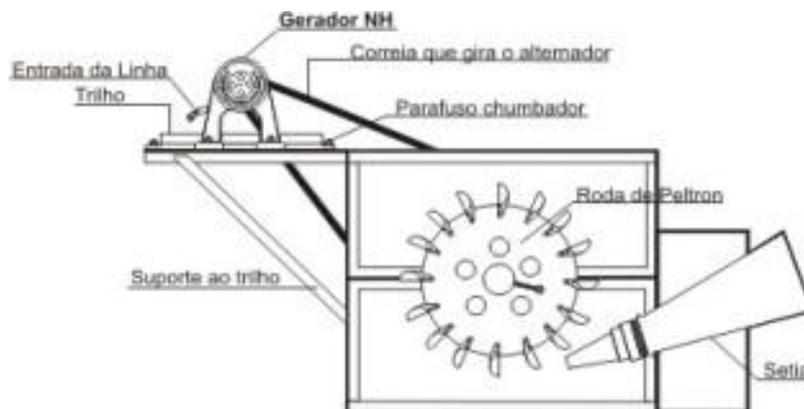
Figura 3 - Modelo esquemático de uma micro usina<sup>14</sup>



Fonte: MANSUR, 2016

Na Figura 4 está demonstrado uma figura com Gerador e Turbina Pelton acoplado.

Figura 4 – Gerador/Turbina de Micro usina<sup>15</sup>.



Fonte: MANSUR, 2016.

### 5.3.2 Manutenção na micro usina

Devido ao fato de já possuir na planta uma empresa especializada de O&M, fica mais fácil e viável incluir no escopo de atividades a manutenção desde pequeno empreendimento, onde que em análises pesquisadas as intervenções neste tipo pequeno de instalação são mínimas, tendo muito poucas paradas do sistema, sendo

<sup>14</sup> MANSUR, Nagib. Gerador Alterima. Disponível em: [www.alterima.com.br](http://www.alterima.com.br). Acesso em 15/12/2016

<sup>15</sup> MANSUR, Nagib. Gerador Alterima. Disponível em: [www.alterima.com.br](http://www.alterima.com.br). Acesso em 15/12/2016.

mais comum é a injeção de graxa no sistema hidráulico e mecânico, tendo em vista que a própria empresa que já trabalha no local poderá por experiência e conhecimento dar o suporte e atendimento necessário na micro usina, para solucionar as eventuais anormalidades.

#### 5.4 – VANTAGENS DA MICRO USINA DE ENERGIA

As micro usinas hidrelétricas têm uma série de vantagens sobre outras formas de produzir energia, algumas delas estão indicadas abaixo:

- Constante fornecimento de eletricidade
- Poupanças nos custos de compra de diesel para os geradores a diesel
- Baixo impacto ambiental
- Baixo ruído e poluição do ar
- Juntamente com reflorestação na área de captação de água, a utilização de micro usinas hidrelétricas reduz o risco de inundações nos anos seguintes.
- Não causa o potencial submergimento da floresta/terra agrícola.
- Produzir energia hidrelétrica não produz gases de estufa, nem poluentes do ar ou quaisquer desperdícios.
- Energia em áreas remotas e montanhosas onde não existe a extensão do sistema público,
- E não-poluente e ambientalmente benigno.
- Fornecimento de água
- Irrigação a pequena escala
- Indústria agrícola a pequena escala, moinhos de arroz e óleo, indústrias de madeira, serrarias<sup>16</sup>.

##### 5.4.1 Para a Iluminação em Geral

A micro usina pode fornecer luz elétrica as casas, indústrias, hospitais, escolas, colégios, universidades, etc. Em uma determinada área onde a micro usina hidrelétrica deve ser implantada, mas em geral construídas em propriedades rurais, podendo alimentar as casas da propriedade rural, os currais, iluminações externas, e outras instalações (ENGIOBRA, 2016).

##### 5.4.2 Utilização na Irrigação

Podendo utilizar diretamente na irrigação, pode ser feita a vários hectares (depende da potência da micro usina) de terra na propriedade rural. As pessoas de outros locais podem usar bombas elétricas para irrigar as suas terras de uma

<sup>16</sup> <http://engiobra.com/micro-usinas-hidreletricas/> acessado em 05-10-2016

maneira restrita para assegurar que os efeitos adversos não serão criados na ecologia e sociologia da sociedade. Pode ser utilizada para levar água a uma caixa de água comunitária.

### 5.5 IDENTIFICAÇÃO DO LOCAL IDEALIZADO PARA IMPLANTAÇÃO

O local foi escolhido devido estar próximo à percolação e visando aproveitar a queda existente que até então está sem nenhuma utilidade com desperdício de uma fonte de energia renovável.

Figura 5 Local Escolhido



Fonte: acervo do autor.

Descrição dos pontos de intercessão.

1. Local atual da queda de água
2. Futura tubulação a ser instalada até o local escolhido para instalação da turbina hidráulica e gerador da MICRO CGH.
3. Caminho a ser percorrido pelos cabos de energia de saída do gerador até o painel elétrico instalado no vertedouro.

4. Futuro local de instalação da MICRO CGH, o local escolhido fica localizado mais abaixo da atual queda d'água, para ganhar maior valor de queda d'água.
5. Local onde a água após passar pela turbina hidráulica irá retornar para o leito natural do rio.

### 5.5.1 Local da instalação

As usinas hidrelétricas de pequeno porte apresentam configurações específicas hidrológicas e topográficas regionais, portanto de suma importância em estudos de geração de energia elétrica o conhecimento da localização do empreendimento.

O aproveitamento em estudo tem uma vazão de 20 l/s e uma queda bruta de 20 m, o valor da vazão foi obtido pela medição em um recipiente com valores graduados, durante este procedimento o tempo de captação da água foi cronometrado, e depois de realizado estes procedimentos, para obter a vazão por segundo, foram realizados o seguinte cálculo: o total de água obtida no recipiente foi dividido pelo tempo que levou para encher o recipiente graduado utilizado, tendo então um valor de vazão de m<sup>3</sup>/s (metros cúbicos por segundo de tempo). A queda do aproveitamento foi confirmada com auxílio de um GPS.

Para isso é importante verificar a Vazão Volumétrica que

é definida como sendo a quantidade em volume que escoar através de certa seção em um intervalo de tempo considerado. As unidades volumétricas mais comuns são: m<sup>3</sup>/s, m<sup>3</sup>/h, l/h, l/min, GPM (galões por minuto), Nm<sup>3</sup>/h (normal metro cúbico por hora), SCFH (normal pé cúbico por hora), entre outras<sup>17</sup>, de acordo com a fórmula abaixo:

$$Q = \frac{V}{t}$$

onde: V = volume, t = tempo, Q = vazão volumétrica.

A altura da queda do aproveitamento foi utilizada o valor de altura da barragem, que marca 20 metros, distância do ponto de captação do aproveitamento hidráulico até o ponto de utilização na turbina tem 75 metros.

A distância do local de implantação da casa de força até o centro de consumo na barragem é de 150 metros.

São dois pontos muito importantes além da vazão, a distância e principalmente a altura, queda, que é a altura de desnível do ponto de captação de

<sup>17</sup> <http://www.smar.com/newsletter/marketing/index40.html> acessado 15 out 2016

água na tomada d'água e levada através de conduto forçado até a casa de força na turbina hidráulica. A vazão do aproveitamento hidráulico, aliada a queda do local é fundamental para a escolha de uma turbina hidráulica ideal e com rendimento muito bom para o empreendimento. A correta escolha da turbina é fundamental para um bom desempenho, aproveitamento ao máximo da água e eficiência no acionamento do gerador para geração da esperada energia elétrica. Pela queda e vazão disponibilizada no local será possível escolher qual tipo de turbina hidráulica melhor se adapta ao empreendimento e trazendo melhor rendimento de custo benefício associado ao gerador elétrico.

## 5.6 ESPECIFICAÇÕES GERAIS DA OBRA MEMORIAL DESCRITIVO

O presente trabalho tem por objetivo o aproveitamento hidrelétrico do Rio Manhuaçu, especificamente uma água de percolação da ombreira direita da barragem da PCH PIPOCA, localizada no município de Ipanema no estado de MINAS GERAIS, distante do centro de consumo na barragem em linha reta aproximadamente de 150 metros.

O rio é alimentado por vários ribeirões e córregos. Este aproveitamento tem por sua maior importância o constante volume de vazão o ano inteiro, devido a percolação ser em rocha desde o início da construção e enchimento do reservatório, não tendo valores expressivos de diminuição ou aumento do volume de água.

### 5.6.1 Estudos Topográficos

Primeiramente foi feita uma exploração do local da água de percolação da ombreira direita da barragem, durante um período, monitorando o volume de vazão, tendo em vista que a barragem trabalha em boa parte do ano com seu vertimento, e outra parte do ano em cota próxima do vertimento, sendo assim ajudando ao volume máximo de percolação e se ter um maior aproveitamento hídrico dessa água de percolação. Foi observado um local para instalação da casa de força para abrigar o gerador elétrico e a turbina, onde não se terá problemas com enchente, e

principalmente um local próximo ao centro de consumo da energia e também o local onde poderá escoar a água para o leito normal do rio após passar pela turbina.

### **5.6.2 Estudos Geológicos**

Não foi realizado estudo específico do rio, de sua formação rochosa, margens, entre outros pontos, pois o projeto já possui uma barragem para a usina principal, onde será feito o aproveitamento desta barragem e partir do ponto de captação da água de percolação da ombreira direita.

### **5.6.3 Estudos Hidrográficos e Hidrológicos**

O Rio Manhuaçu é o principal da cidade de Ipanema MG que tem vários ribeirões com seus afluentes.

Nasce no município de próprio nome citado, sua bacia hidrográfica abrange vários municípios inclusive passando por Ipanema em seu percurso, e ao longo de sua trajetória tem em seu caminho curvas, quedas, obstáculos e algumas usinas de energia tanto a montante quanto a jusante da usina de PIPOCA.

### **5.6.4 Determinação da queda disponível**

Para determinação da queda disponível no empreendimento existe várias formas e meio de extrair os valores para conhecimento e entre eles se destacam tais:

- Método do nível da mangueira
- Método do nível do carpinteiro
- Método do nível das duas réguas
- Método mais inovador, marcação por GPS (utilizado neste projeto)
- Método de topografia

Para determinação deste valor foi utilizado como base o valor de altura da barragem, pois com apoio e informações de professores e orientador, deve-se

utilizar este valor, pois a barragem influencia no peso da água represada, então a queda seria o topo da crista da barragem até sua base, e como a projeção de construir a MCGH será basicamente nível da base da barragem (um pouco acima do leito do rio atual), nesse caso será usado o valor de altura da barragem que é de 20 metros.

Para certificação deste valor foi utilizado um GPS, para obter os pontos referente ao desnível do local, e após isso subtraído os valores encontrados e obtendo um valor de desnível total entre os dois pontos, de captação e de transformação.

#### **5.6.5 Determinação da distância**

Para determinar a distância total entre a captação da água de percolação na barragem ombreira direita até o ponto onde será instalado a casa de força da micro usina para transformação da energia mecânica em energia elétrica foi utilizado um GPS realizando duas medições nos dois pontos distintos e subtraindo, para obter um valor total de distância, para usar este valor em cálculos a frente para obter o comprimento da tubulação, escolha do tipo de turbina e percurso, caso seja necessário emendas, curvas, etc.

A distância total obtida foi de 75 metros, para tubulação.

#### **5.6.6 Determinação da Vazão e Método utilizado**

Para se calcular a potência de uma micro central, além da altura de queda da água, também é necessário conhecer a vazão do rio.

Existem vários tipos e formas de realizar a medição de vazão de um curso de água numa propriedade, para fins de cálculo de potência de uma micro central. São eles:

- Método do flutuador
- Método do vertedor
- Método do balde graduado (utilizado neste projeto)

Um dos meios mais utilizados para saber a vazão de um sistema de curso de água em menor quantidade é pelo método do balde graduado, cujo método já é utilizado mensalmente para monitorar, mensalmente a atual vazão. Para comprovar

este valor foram realizadas diversas medições ao longo de um período de 2 meses, com um intervalo de 3 dias cada. O procedimento é simples: deve-se conhecer o tempo que demora para atingir o volume de um determinado recipiente (neste caso utilizado um tambor graduado de capacidade para 40 litros de água) e aplicar na fórmula abaixo:

$$\text{Vazão} = \text{Volume} / \text{Tempo}$$

Colocando o **Volume** em litros [L] e o **Tempo** em segundos [s] se obtém a Vazão em metros cúbicos por hora [m<sup>3</sup>/h]. Para saber este valor em L/s, basta dividir por 1.000.

Cálculo do projeto: Demorou 2 segundos para completar com água um tambor de 40 litros. Aplicando na fórmula, temos:  $\text{Vazão} = 40 / 2 = 20 \text{ L/s}$  ou  $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $20/1000$ ). Portanto a vazão na tubulação é de 20 L/s.

### 5.6.7 Barragem do empreendimento

Para este caso em específico não será necessário estudo, cálculo nem construção de barragem, devido ao aproveitamento da água ser de uma barragem já construída e em funcionamento, esta água é proveniente de uma percolação em rocha da ombreira direita da barragem, onde também é de conhecimento que esta percolação está desde o início da operação da barragem, não tendo aumento nem diminuição brusca de volume, mantendo-se praticamente constante todo o dia, as 24 horas durante todos os dias do ano, sem interrupção. Sendo de conhecimento dos proprietários da PCH PIPOCA esta percolação e também que ela tem um aumento e redução mínima durante os períodos de cheias e de vertimento e/ou não da barragem, e se mantém praticamente constante, sem trazer maiores riscos para o atual empreendimento.

### 5.6.8 Conduto forçado

O conduto forçado a ser utilizado será aconselhável uma tubulação de PVC, muito utilizado em irrigação rural, de 300 mm (tubulação de acordo com a vazão medida) e comprimento 75 metros, conforme calculado e medido anteriormente a distância, com inclinação entre 30 e 45 graus.

## 5.7 ESTIMATIVA DA POTÊNCIA HIDRÁULICA DISPONÍVEL

Antes de fazer a seleção da turbina, será necessário calcular a potência hidráulica disponível no local, para se ter uma ideia de qual potência elétrica será possível fornecer através do gerador que será acoplado ao eixo da turbina que será utilizada.

Resumindo, a potência elétrica disponível será a potência que o gerador poderá gerar a partir da potência hidráulica disponível, descontando-se as perdas hidráulicas no sistema de adução e na turbina hidráulica, as perdas mecânicas nos mancais e na transmissão, e as perdas elétricas no gerador.

Além de estimar a vazão, também se faz necessário medir a queda (que seria a diferença de altura entre o local de coleta da água e o local a ser instalada a turbina), dados esses que já obtivemos anteriormente.

O valor calculado para vazão foi de 20 l/s, para obter o valor de vazão em Q m<sup>3</sup>/s, basta fazer o seguinte cálculo.

$$Q = \frac{v \text{ (em l/s)}}{1.000}$$

$$Q = \frac{20 \text{ (em l/s)}}{1.000} = Q = 0,02 \text{ m}^3/\text{s}$$

Uma vez conhecida a vazão ( Q ) que é em m<sup>3</sup>/s, a altura de queda que é em metros, onde valor obtido foi de 20 metros, bastará utilizar a fórmula seguinte para estimar a potência hidráulica disponível.

Para calcularmos a energia hidráulica utilizamos a seguinte fórmula<sup>18</sup>:

$$Ph = h \times Q \times g$$

**Ph** = Potência hidráulica em kW.

**h** = Desnível, queda em metros

**Q** = Vazão disponível em m<sup>3</sup>/s

**g** = Aceleração da Gravidade = 9,81 m/s<sup>2</sup>

Assim,

$$Ph = 20 \times 0,02 \times 9,81$$

$$Ph = 3,9 \text{ kw.}$$

<sup>18</sup> <http://masterenergia.com.br/index.php/informacoes-tecnicas/78-como-medir-a-energia-hidraulica-e-hidreletrica> acesso: 25-10-2016.

A estimativa da potência hidráulica disponível é um valor aproximado que permite a tomada de decisão quanto à implantação ou não da micro usina.

O valor real da potência que será gerada só será conhecido após fazer a escolha da turbina, dependendo do rendimento da turbina escolhida.

Esse valor deverá ser comparado com a demanda de potência do local, que corresponde ao somatório total das cargas que serão utilizadas no local, ou parte da carga, devidamente selecionada. Entretanto nem todas as cargas são ligadas ao mesmo tempo, ou ao mesmo período. Por este motivo, o procedimento tecnicamente correto consiste em estabelecer um planejamento de uso de cargas, o que é feito por meio de um quadro de demandas.

## 5.8 ESCOLHA DOS COMPONENTES DA MICRO USINA

### 5.8.1 Escolha da turbina

Existem vários tipos de turbina que poderão ser utilizadas em micro centrais rurais. Todas elas, quando instaladas em uma determinada condição de altura de queda e vazão vão gerar energia. Mas para cada condição específica, vai existir tipos de turbina que será mais eficiente que outra, que vai permitir maior conversão da energia hidráulica disponível no local em energia elétrica oferecida.

Na turbina Pelton, o torque é gerado pela ação de um jato livre sobre a dupla concha do rotor. Por essa razão a turbina Pelton também é chamada de turbina de jato livre. Essa turbina foi idealizada cerca de 1880 pelo americano Pelton de onde se originou o nome. Em grandes aproveitamentos as turbinas Pelton são consideradas para alturas superiores a 150m podendo chegar até 2000, neste caso para alturas menores que 250m pode-se tornar mais conveniente o uso da turbina Francis (EISENRING, Marcus, 1991)<sup>19</sup>.

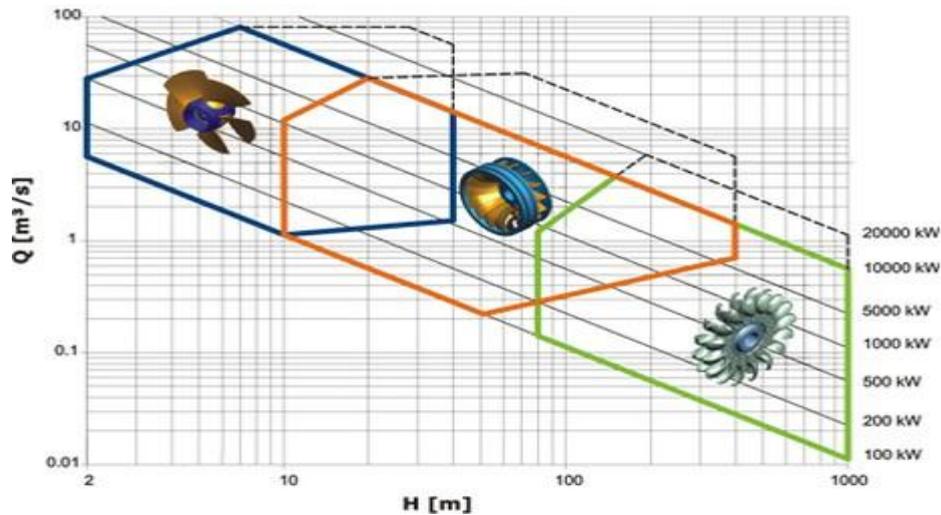
Para mini e micro aplicações entretanto, a turbina Pelton pode ser usada para baixas quedas em alguns casos até menos de 20m (HARVEY, 1998)<sup>20</sup>.

---

<sup>19</sup> EISENRING, Marcus; Micro Pelton Turbines, 1991.

<sup>20</sup> HARVEY, Adam; e outros; Turbinas Hidráulicas, 1998.

Figura 6 - Modelo de Turbinas mais aplicadas nas PCHs e MCHs

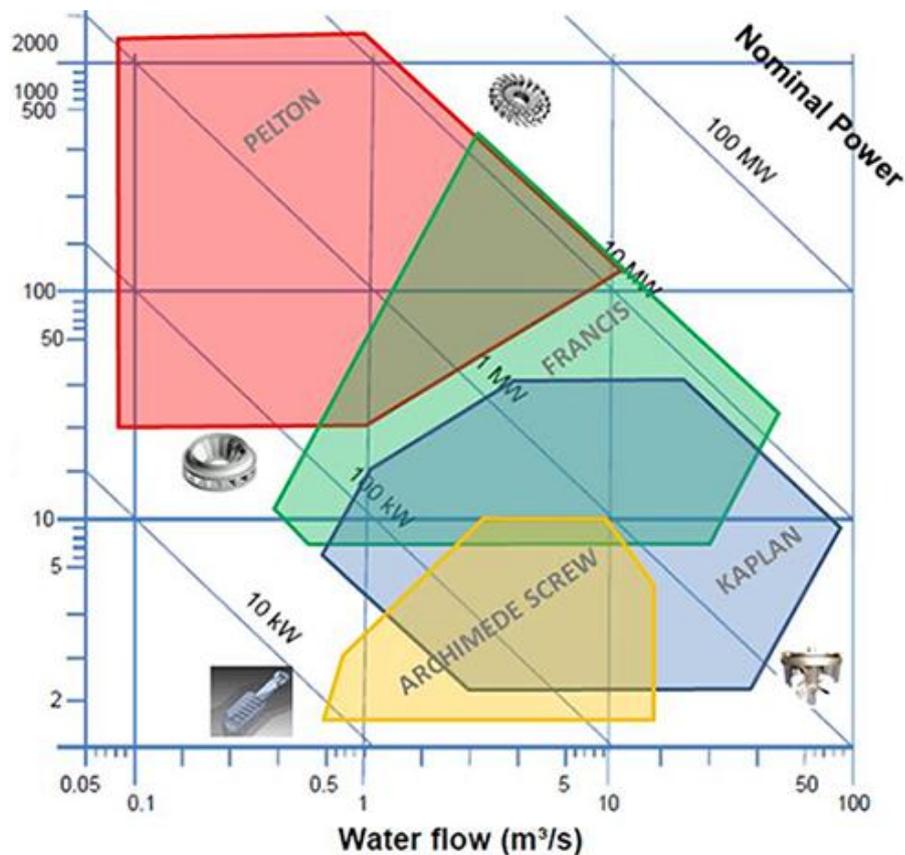


Fonte: <http://www.esnow.it/la-tecnologia.html>

Então para esse projeto também foi consultado um fabricante e fornecedor de micro usinas rurais, localizado em MANHUAÇU MG, a ALTERIMA GERADORES, onde foi realizada uma visita técnica a fábrica e escritório, e após apresentar as medições realizadas em campo, como queda, distância, vazão, apresentadas fotos e vídeos do local, a melhor indicação seria uma turbina PELTON.

Devido as peculiaridades locais e após consulta a diversos manuais de instalação de micro usinas, neste projeto decidiu-se pelo uso da turbina Pelton, onde a mesma é aconselhável em alta e baixa queda. A explicação técnica para aplicação deste tipo de turbina se baseia em obter a velocidade mais elevada, é que a tubulação ao chegar à turbina ela é reduzida drasticamente, a valores em polegadas 3 a 4 vezes menor que o inicial na captação da água. Neste caso, para escolha da turbina a ser utilizada na Micro usina, será levado em consideração a pressão na tubulação e na chegada à turbina, que será elevada devido aos fatores de: queda e redução do diâmetro desta tubulação.

Figura 7 – Aplicação dos tipos de turbinas



Fonte: <http://www.camulenzi.com/it/viti-d-archimede/>

O rotor Pelton é utilizado em usinas hidroelétricas com três características: alta queda, baixa queda e baixa vazão. Instaladas em rios de baixa vazão, obtém-se a força necessária para geração de energia devido a altura de queda da água. O rotor Pelton, também chamado de roda Pelton, é o que mais se assemelha às antigas rodas d'água. Roda Pelton é uma turbina hidráulica, dotada de movimento giratório, construída para funcionar em desníveis d'água de até mais de 1.000 metros de altura. Atua como unidade geradora de energia, acoplada a eixos de geradores elétricos. A roda Pelton pode ser acoplada em micro turbinas, micro usinas e usinas hidrelétricas com função de acionar os geradores. A Alterima fabrica Rodas Pelton em ferro fundido e em vários tamanhos, para cada tipo de vazão e altura. Fabrica também rodas Pelton em aço fundido nodular e bronze para altura e pressão especiais, e sob encomendas, qualquer medida e material ferroso<sup>21</sup>.

<sup>21</sup> <http://www.alterima.com.br/index.asp?InCdSecao=24>

Para grande vazão e pequena queda a roda da turbina pode-se tornar demasiadamente grande em relação a potência; neste caso deve-se usar uma das duas soluções:

- a. Aumentar o número de jatos. Com o uso de dois ou mais jatos pode-se admitir um menor diâmetro do rotor para a mesma vazão;
- b. Utilizar rotores gêmeos. Dois rotores podem ser usados lado a lado montados no mesmo eixo ou nos extremos do gerador montados também sobre o mesmo eixo. Essa opção normalmente só é utilizada quando não existe condições de maximizar o número de jatos.
- c. Pode-se ainda, bifurcar uma única tubulação principal, o mais próximo da turbina e instalar duas turbinas independentes, com geração independente<sup>22</sup>.

Geralmente o gerador é acoplado diretamente ao eixo da turbina, por meio de acoplamentos rígidos, mas um ajuste de rotações pode ser feito com o uso de transmissão por correias ou redutores de engrenagens. No caso da utilização de correias, para pequenas potências dá-se preferência as correias padronizadas em V, que são mais versáteis e baratas que as correias planas, recomendadas para potências maiores. Basicamente a turbina consiste das seguintes partes consideradas principais: o rotor, o bocal e a caixa<sup>23</sup>.

Os rotores atuais são fundidos em uma só peça, com as conchas e a roda formando um só conjunto. Entretanto é possível a fabricação separada das conchas e da roda e a fixação por meio de pinos e parafusos. No primeiro caso, caso haja uma concha danificada o rotor precisa ser substituído por inteiro, enquanto no segundo caso, basta substituir a pá danificada. O material utilizado para a fabricação das conchas é o aço fundido com adição de 13% de cromo. A geometria das conchas é bastante complicada o que torna sua fabricação um serviço quase artesanal principalmente a etapa de acabamento. A concha deve ter a capacidade de absorver convenientemente a energia cinética transmitida pela ação do jato que sai do bocal e ao mesmo tempo distribuí-la no seu retorno, sem interferir com a pá subsequente.

No bocal, a pressão da água é convertida em velocidade. O bocal consiste em uma peça cônica fixada ao extremo da tubulação e uma agulha interna acionada por uma haste, a qual regula o fluxo de saída da água para a roda da turbina.

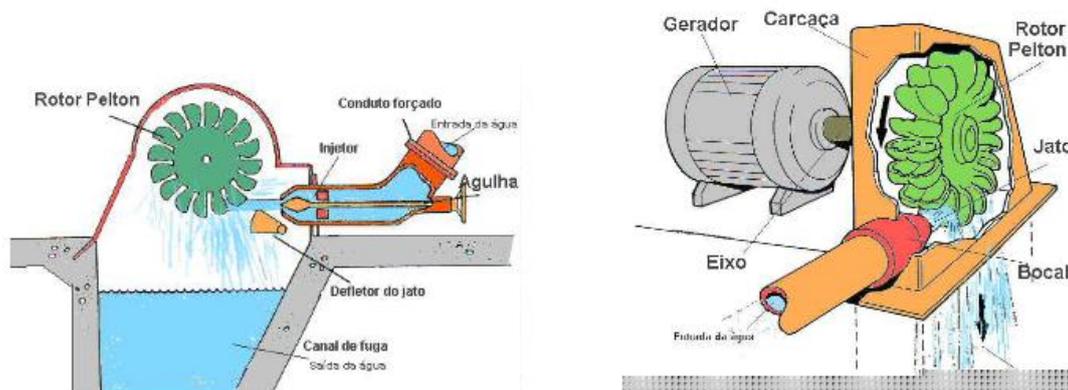
---

<sup>22</sup> <http://meusite.mackenzie.com.br/>

<sup>23</sup> Idem

Tanto o bocal quanto a agulha sofrem severo desgaste, sendo feitos de material de alta qualidade, normalmente um aço com manganês, que apresenta grande resistência ao desgaste, provocado por partículas como areia. Algumas máquinas possuem a agulha do bocal construída em bronze e apresentam boa resistência ao desgaste<sup>24</sup>.

Figura 8 – Esquemático de conjunto Turbina/Gerador



Fonte: <http://meusite.mackenzie.com.br/>

### 5.8.2 Escolha do Gerador

Depois de escolher a turbina através de cálculos e dados coletados, em consulta com um fabricante de experiência no ramo de micro geração hidráulica, agora podemos calcular a potência elétrica (PE) que será fornecida pelo gerador. Para esse cálculo, basta multiplicar a potência mecânica (PM), fornecida pela turbina, pelo coeficiente de rendimento do gerador, que neste caso foi fornecido pelo fabricante, 85 % ou 0,85, ou seja:

$$PE = ME \times 0,85$$

$$PE = 3,924 \times 0,85$$

$$PE = 3,335 \text{ KVA}$$

Portanto poderá ser utilizado um gerador monofásico com potência nominal de 4 Kva. (potência arredondada para mais). O motivo seria por se fazer uma fabricação mais comum, e não ser um valor diferente, específico e limitado, pois a potência é calculada, mas pode haver uma pequena diferença, motivo pelo qual o

<sup>24</sup> Ibidem

componente é produzido com valor acima, visando amenizar as oscilações, sobrecargas, sobreaquecimento, perdas, entre outras.

De posse deste valor de potência elétrica fornecida, será necessário considerar três situações distintas, ou seja:

**1) Potência elétrica fornecida maior que a requerida:**

Nesse caso, não será necessário utilizar toda a vazão de água disponível.

**2) Potência elétrica fornecida igual à potência requerida:**

neste caso, utiliza-se toda vazão de água e o sistema trabalhará sempre a plena carga.

**3) Potência elétrica fornecida maior que a requerida:**

neste caso, será necessário fazer um planejamento de utilização das cargas, por meio de um quadro de demandas. Este levantamento será apresentado mais a frente.

### **5.8.3 Escolha do Regulador**

Quando a potência da micro central for inferior a 20 quilowatts, recomenda-se a utilização de um "controlador eletrônico", o qual funciona com a turbina operando com uma vazão de água constante, mantendo a frequência também constante. Mas não é obrigatório, é opcional.

Mas no caso de potências geradas em micro centrais sejam superiores a 20 kw, recomenda-se o uso de "reguladores hidromecânicos", que funcionam variando a abertura do distribuidor e, em consequência, ocorre variação da vazão em função da carga elétrica do sistema.

### **5.8.4 Escolha do Disjuntor de Proteção**

O disjuntor de proteção, que fica instalado no quadro de comando, tem a função de proteger o gerador contra sobrecargas.

O seu dimensionamento é feito, levando-se em consideração a potência elétrica máxima que será gerada e a tensão elétrica na saída do gerador.

Por exemplo, para um gerador trifásico, com potência igual a 75 kw, e tensão de 220 volts, o disjuntor a ser utilizado deverá ser trifásico, de 250 ampères.

Para este cálculo foi baseado na norma de distribuição na CEMIG, a ND-5.1, Item 2.1a utilizado para apresentação de todos os cálculos de demanda e proteção, o campo de aplicação desta norma, em edificações individuais, com carga instalada igual ou inferior a 75 kW<sup>25</sup>.

A escolha do disjuntor se obtém pela formula:

$$I = \frac{P}{V}$$

I = Corrente

P = Potência gerada

V = Tensão de saída do gerador

$$I = \frac{4 \text{ KVA}}{220 \text{ Volts}}$$

I = 18,18 Amperes

O disjuntor a ser utilizado será de 20 Amperes para garantir a proteção do circuito. I = 20 A.

Sobre a classificação do atendimento aos consumidores urbanos ou rurais estes serão atendidas por redes de distribuição secundárias trifásicas (127V/220V) ou redes de distribuição secundárias bifásicas (127/254V), com carga instalada até 10kW e da qual não constem: motores monofásicos com potência nominal superior a 2 cv; máquina de solda a transformador com potência nominal superior a 2 kVA.<sup>26</sup>.

Pelas normas da CEMIG para geração própria não é permitido o paralelismo de geradores de propriedade do consumidor com o sistema elétrico desta distribuidora<sup>27</sup>. Quando for o caso de conexão com a rede da distribuidora deverá ser consultada outras normas.

No caso deste projeto que está sendo apresentado, a geração será para consumo próprio, o consumo será feito no local mesmo, não havendo nenhuma conexão com a rede da concessionária. Evitando assim contatos com órgãos reguladores, aprovações, solicitações, entre outros procedimentos regulatórios, etc.

O ramal de ligação que vai levar a energia gerada pelo gerador da casa de força da micro central geradora até o ponto de consumo na casa de abrigo do vertedouro, em consulta a norma da CEMIG, a mesma também se aplica a este caso, pois a transmissão será em baixa tensão, monofásica a dois fios, rede aérea, de 0 a 300 metros usar cabo de alumínio nº 4 sem alma, de 300 a 900 metros usar

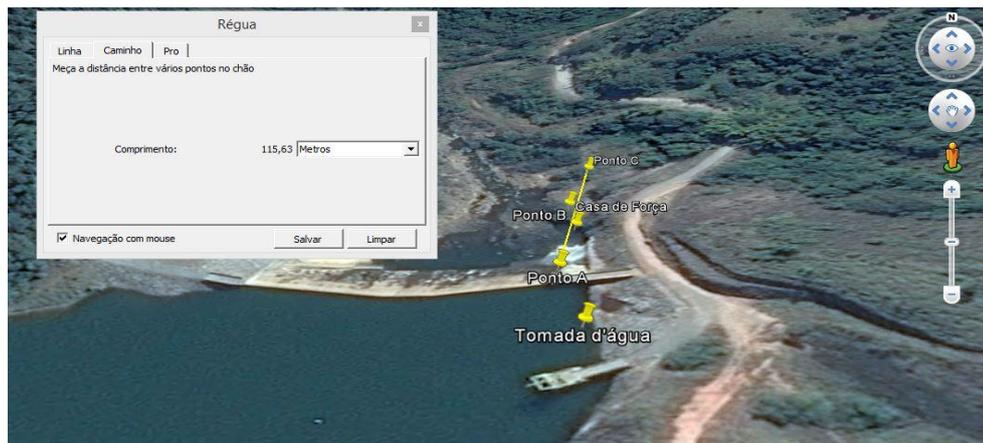
<sup>25</sup> [http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/documents/nd\\_5\\_1\\_mai\\_2013.pdf](http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/documents/nd_5_1_mai_2013.pdf).

<sup>26</sup> Idem

<sup>27</sup> Ibidem

cabo de alumínio nº 2 sem alma, onde praticamente não haverá perdas de energia no percurso. Pelos cálculos efetuados teve o auxílio de GPS na medição do local, e lançando os dados obtidos na medição, num programa gratuito disponibilizado na internet, google earth, para se obter as reais localizações por satélite, principalmente as distâncias entre o ponto de captação da água, distância da tubulação, distância da casa de força até o ponto de consumo da energia.

Figura 9 – Vista aérea das dimensões locais



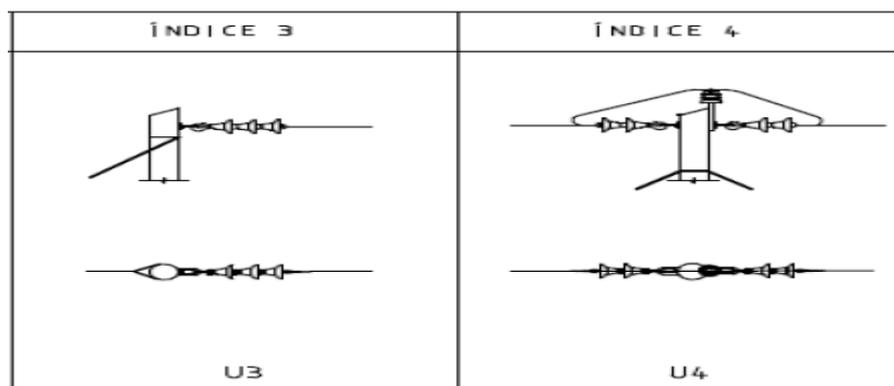
Fonte: Acervo do autor

A figura 9 mostra a distância medida entre o ponto A até o ponto de consumo C, num total de 115,63 metros.

### 5.8.5 O dimensionamento dos Condutores

Após a geração de energia, será utilizado para ancoragem dos cabos de distribuição, (normas da CEMIG) o índice 3 na saída da casa de força e na chegada no vertedouro. Será utilizado um índice 4 no meio do percurso conforme exemplificados nas figuras abaixo:

Figura 10 – Rede de distribuição



Fonte: <https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Documents/ND-2.2.pdf>

A distribuição de energia será realizada em cabos de acordo com as normas da ABNT, conforme tabela 2.

Tabela 3 – Diâmetro dos cabos de distribuição de energia elétrica

ESCALA AWG		
EB-98 ABNT - 60°C		
AWG/MCM	SECÇÃO aprox. em mm <sup>2</sup>	AMPÉRES
14	2,09	15
12	3,30	20
10	5,27	30
8	8,35	40
6	13,27	55
4	21,00	70
2	34,00	95
1	42,00	110
1/0	53,00	125
2/0	67,00	145
3/0	85,00	165
4/0	107,00	195

Fonte: <http://www.atinet.com.br/manuais-toyota/cabo-Tabela%20corrente.pdf>.

Os cabos utilizados são do tipo Multiplex e destinam-se às instalações de redes de distribuição secundária e entradas de serviço aéreas. São formados pela união de 1, 2, 3 condutores fase em torno de um condutor neutro de sustentação (mensageiro). (O condutor fase é constituído por um ou mais fios de alumínio isolado em Polietileno Termoplástico PE) ou em Polietileno Termofixo (XLPE). O condutor neutro pode ser constituído por um cabo de alumínio nu (CA) ou um cabo de alumínio nu com alma de aço (CAA), ou ainda um cabo de alumínio liga 6201 (CAL). O condutor neutro pode ser nu ou isolado. Os cabos Multiplex admitem uma tensão de 1000V entre fases e de 600V entre fase e terra, e são particularmente indicados para locais arborizados, com possibilidade de contato humano ou qualquer outro elemento. Oferecem sensível vantagem sobre o sistema convencional, pois, devido à proximidade de seus condutores, há uma menor reatância indutiva e, conseqüentemente, menor queda de tensão. Além disso, as perdas na linha também são reduzidas, proporcionando um melhor fator de potência<sup>28</sup>.

<sup>28</sup> [http://www.nexans.com.br/eservice/Brazilpt\\_BR/fileLibrary/Download\\_540134435/Brazil/files/mini%20catalogo%20cobertos\\_maio%202013.pdf](http://www.nexans.com.br/eservice/Brazilpt_BR/fileLibrary/Download_540134435/Brazil/files/mini%20catalogo%20cobertos_maio%202013.pdf).

Tabela 4 – Dados de condutores elétricos

Número AWG	Diâmetro (mm)	Secção (mm <sup>2</sup> )	Número de espiras por cm	Kg por Km	Resistência (ohms/Km)	Capacidade (A)
0000	11,86	107,2			0,158	319
000	10,40	85,3			0,197	240
00	9,226	67,43			0,252	190
0	8,252	53,48			0,317	150
1	7,348	42,41		375	1,40	120
2	6,544	33,63		295	1,50	96
3	5,827	26,67		237	1,63	78
4	5,189	21,15		188	0,80	60
5	4,621	16,77		149	1,01	48
6	4,115	13,30		118	1,27	38
7	3,665	10,55		94	1,70	30
8	3,264	8,36		74	2,03	24
9	2,906	6,63		58,9	2,56	19
10	2,588	5,26		46,8	3,23	15

Fonte: <http://www.novacon.com.br/audiotabawg.htm>.

A tabela 5 – Condutor elétrico neutro

#### Cabos Duplex - bitolas AWG - neutro CA

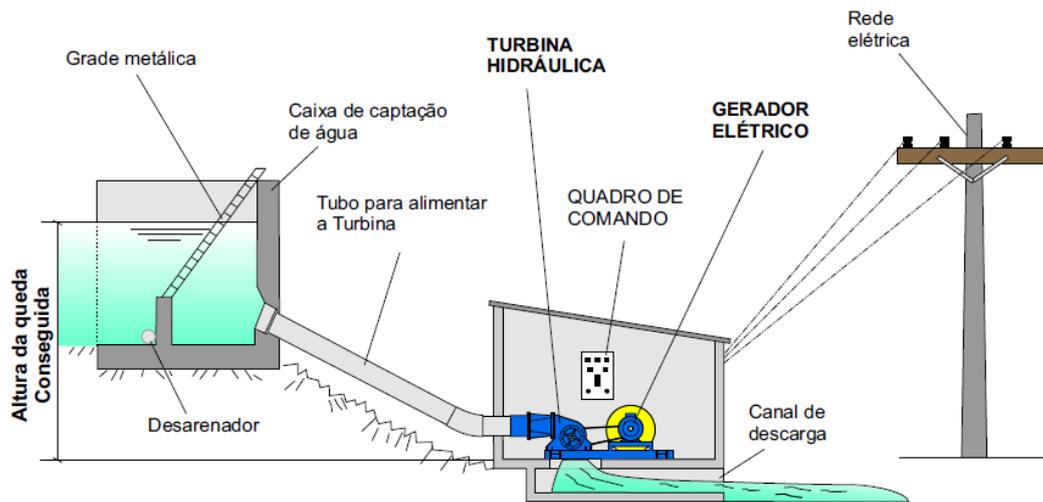
Código	Condutor fase			Condutor neutro		
	Bitola AWG	Nº fios / diâmetro (mm)	Espessura isolamento (mm)	Bitola AWG	Nº fios / diâmetro (mm)	Carga ruptura (kgf)
Pekingese	6	1/4,11	1,14	6	7/1,55	255
Collie	6	7/1,55	1,14	6	7/1,55	255
Dachshund	4	1/5,19	1,14	4	7/1,96	399
Spaniel	4	7/1,96	1,14	4	7/1,96	399
Doberman	2	7/2,47	1,14	2	7/2,47	612
Malemute	1/0	19/1,89	1,52	1/0	7/3,12	903

Fonte: <http://www.nexans.com.br/>

O dimensionamento dos condutores deverá ser feito com base em dois critérios, que são o da "máxima capacidade de condução de corrente", e o da "queda de tensão admissível". Estes cálculos se faz necessário em projetos que são constituídos de vários trechos, exemplo: da micro usina até um centro de distribuição, depois para uma residência, para um curral, para outros pontos de consumo, então deverá ser calculado os condutores nesses trechos, que vai variar suas capacidades de condução. Neste projeto será considerado o trecho da micro usina até a casa do vertedouro, com uma distância total de 150 metros aproximadamente.

Figura 11 – Esquema de instalação de uma MCH

## MCH - ESQUEMA PARA INSTALAÇÃO



Fonte: [http://www.bettahidroturbinas.com.br/assets/downloads/mch\\_instalacao.pdf](http://www.bettahidroturbinas.com.br/assets/downloads/mch_instalacao.pdf)

A rede entre a Micro usina e o vertedouro será aérea com cabo multiplex fase isolado, 1 cabo , 1 cabo de alumínio nu. O cabo será 4 AWG. Mas também para este tipo de ligação, também é recomendado os cabos, 6 AWG, 4 AWG, 2 AWG, 1/0 AWG, 2/0 AWG, entre outros.

### 5.8.6 Critério da capacidade de condução de corrente

Deve-se determinar a corrente elétrica máxima que fluirá em cada trecho do circuito e, depois disso, compara-la com a máxima corrente que um determinado condutor poderá suportar. O Cálculo se dará pela fórmula abaixo:

Fórmula:

$$I = \frac{P}{V \times \text{Cos}\phi}$$

sendo:

I = Corrente do ponto de consumo, em Amperes

P= Potência elétrica, em Watts (w)

V = Tensão elétrica, em Volts (v)

Cosq = Fator de potência, adimensional.

Dados:

potência (micro central - centro de distribuição) = 4.000 VA

tensão elétrica = 220 V

$\text{Cos } \Theta = 1$

$$I = \frac{4.000}{220 \times 1}$$

$$I = 18,8 \text{ A}$$

Para este trecho, o condutor poderá ser de bitola 4 AWG.

### 5.8.7 Critério da queda de tensão

Para isto, será necessário conhecer:

- o percentual admissível de queda em cada trecho do circuito
- o comprimento do trecho
- a potência elétrica consumida no trecho

O máximo percentual de queda admissível para sistemas de distribuição em baixa tensão é de 5 %, desde os terminais do gerador até o ponto de entrega da energia elétrica.

- Cálculo do momento elétrico.

Para calcular o momento elétrico (ME), é necessário conhecer a distância entre a micro central e o ponto de consumo, ou seja, o comprimento do condutor ( $C_c$ ) que vai interligar esses dois componentes do circuito.

O momento elétrico será calculado da seguinte forma:

$$\text{ME} = \frac{C_c \times P_c}{\text{Cos } \Theta}$$

ME = Momento elétrico em KVA.m

$C_c$  = Comprimento do condutor entre a micro central e o centro de consumo, em metros.

$P_c$  = Potência elétrica, em W

$\text{Cos } \Theta$  = fator de potência, adimensional

$$C_c = 150 \text{ m}$$

$$P_c = 3,2 \text{ kw}$$

$$\text{Cos } \Theta = 0,8$$

Portanto:

$$ME = \frac{150 \times 3,2}{0,8}$$

$$ME = 600 \text{ KVA.m}$$

Com este valor, podemos através da tabela abaixo, visualizar o condutor e momento elétrico adequado.

Tabela 6 – Condutor usado em cada momento elétrico

Condutor de Alumínio	Momentos Elétricos
6 AWG	1.092 KVA.m
4 AWG	1.708 KVA.m
2 AWG	2.744 KVA.m
1/0 AWG	4.340 KVA.m
2/0 AWG	5.488 KVA.m
3/0 AWG	6.916 KVA.m
4/0 AWG	8.708 KVA.m

Fonte: Tabela adaptada do livro micro, mini e PCH's (Sá 2012)

### 5.8.8 - Cálculo de demanda

Nas instalações elétricas, raramente, utiliza-se toda a potência instalada, simultaneamente. Podemos ter como exemplo nossa casa, raramente utilizamos todas as tomadas, iluminação, chuveiro, TV, entre outras coisas.

A potência máxima consumida em um determinado instante é conhecida como Demanda Máxima Instantânea de uma Instalação.

A determinação da demanda máxima, permitirá a escolha por exemplo do dispositivo de proteção, entre outros componentes.

Tabela 7 – Descrição do cálculo de demanda

LOCAL	Equipamentos		Potencia Requerida	
	Quant.	Descrição	Horas do dia	(watts)
Tomada d'água	4	Lâmp. fluorescente 15 w cada	12	60
	2	Tomada 500 w	24	1000
	1	Indicador de nível	24	100
	1	Medidor de nível	24	100
	1	Telefone	24	100
	2	Luminária LED 100 w	12	200
	Vertedouro	2	Lâmp. fluorescente 32 w cada	12
4		Lâmp. fluorescente 15 w cada	12	60
1		Tomada 500 w	24	500
1		Câmera CFTV	24	100 W
1		Telefone	24	100 w
1		Luminária LED 100 w	12	100
<b>Total</b>				<b>2.484 W</b>

Fonte: o autor

A tabela evidencia a relação de cargas instaladas no centro de consumo.

Obs: 1 cv = 736 Watts; 1 kw = 1.000 Watts.

Nota-se que a demanda total é menor do que será gerado. Se tudo for ligado ao mesmo tempo, a micro usina será capaz de suprir a carga. Um ponto importante que deverá ser levado em consideração.

Se a potência elétrica disponível for maior que a demanda de potência do ponto de consumo, a micro usina poderá ser instalada. Caso contrário, será necessário reduzir a demanda de cargas, ou verificar outra opção. Uma vez definido quanto a implantação da micro usina, inicia-se o processo de escolha da melhor turbina. Dispondo-se dos valores de vazão e da altura de queda, bastará entrar com

esses valores nos cálculos, e também entrar em contato com um fabricante de experiência no ramo, para obter o tipo de turbina mais adequado, bem como a potência real que será gerada. Como se pode visualizar, a demanda que será conectada a Micro usina é bem menor que a potência gerada.

### 5.8.9 Condutor de Aterramento

De acordo com os Itens 4.3.1/2 das normas da CEMIG, O condutor de aterramento, que interliga o neutro ao(s) eletrodo(s) de aterramento (ou haste de aterramento), através do conector de aterramento da caixa de medição, deve ser isento de emendas e de qualquer dispositivo que possa causar seu seccionamento; e ainda: devem ser de cobre nu, rígido, 10 mm<sup>2</sup> e ficar exposto para inspeção quando do pedido da ligação. Esse condutor deve ser contínuo (sem emendas) desde a conexão na caixa de medição até o último eletrodo de aterramento, com a conexão do aterramento efetuada no interior da caixa de medição e proteção<sup>29</sup>.

### 5.8.10 Dimensionamento da tubulação forçada

O dimensionamento da tubulação forçada poderá ser feito utilizando as tabelas abaixo, com base nos cálculos anteriores e valores coletados em campo.

Tabela 8 – Tubulação

Diâmetro DN	Diâmetro Externo (mm)		PN 60 Espessura (mm)		PN 80 Espessura (mm)		PN 125 Espessura (mm)	
100	118	+0,4	2,7	+0,5	3,1	+0,5	4,8	+0,7
150	170	+0,5	3,9	+0,6	4,4	+0,7	6,8	+0,9
200	222	+0,5	5,0	+0,7	5,8	+0,8	8,9	+1,1
250	274	+0,6	6,2	+0,4	7,1	+0,9	11,0	+1,3
300	326	+0,7	7,4	+1,0	8,5	+1,1	13,1	+1,5
350	378		8,6		9,9		15,2	
400	429		9,8		11,2		17,2	
500	532		12,1		13,9		21,3	

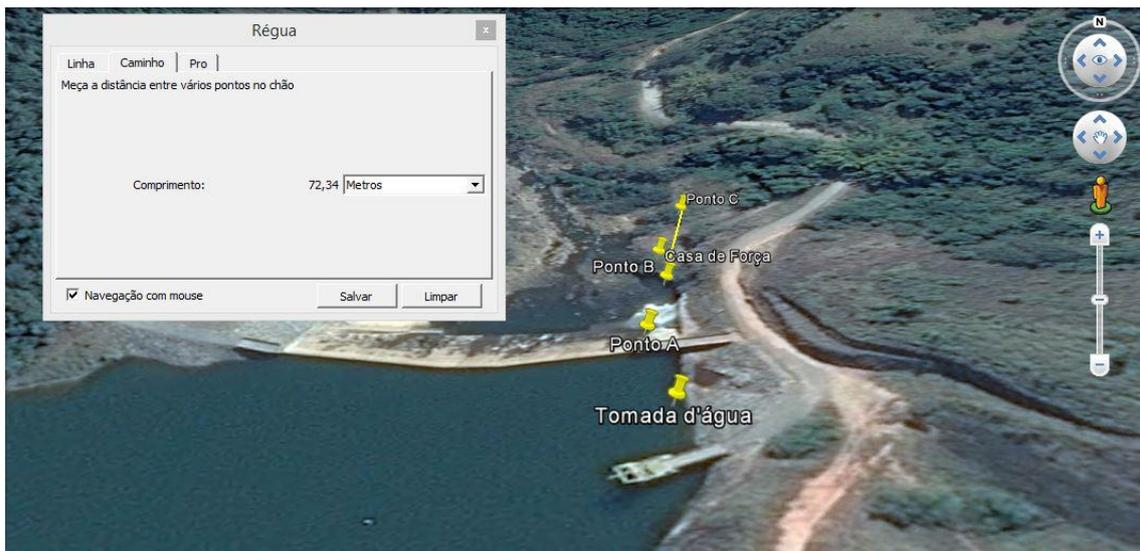
Fonte: <http://www.pvcbrasil.com.br/catalogo/>.

A Micro usina foi projetada para utilizar a tubulação forçada de 12" polegadas (300 mm), e na chegada a turbina haverá uma grande redução dessa tubulação,

<sup>29</sup> [http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/documents/nd\\_5\\_1\\_mai\\_2013.pdf](http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/documents/nd_5_1_mai_2013.pdf).

para 3 polegadas (76 mm), divididos em 2 bicos injetores de alta pressão direto nas conchas da turbina. Distância da tubulação: 80 metros. Seriam 75 metros do ponto de captação até a micro usina. Seriam 5 metros da chegada da Micro usina para jusante, uma opção para isolar a Micro usina em manutenções, fazendo assim a água seguir para o leito do rio normal, em caso na micro usina ficar parada para qualquer intervenção na turbina ou gerador.

Figura 12 - Vista aérea da captação da água até a micro usina



Fonte: Acervo do autor

#### 5.8.10.1 Dimensionamento dos blocos de apoio.

No caso da tubulação, podemos ter de concreto armado, aço ou tubos de PVC utilizado em irrigação. O escolhido foi de PVC utilizado em irrigação, recomendado, e também devido aos custos. Mas como essa tubulação ficará exposta, será necessário ao longo do trecho utilizar blocos de apoio.

A tubulação deverá ser assentada sobre esses blocos de apoio, espaçados de uma distância adequada, calculada em função do diâmetro, espessura da parede e material com que é fabricado o tubo.

A distância mínima entre o fundo do tubo e a superfície do terreno é 30 cm.

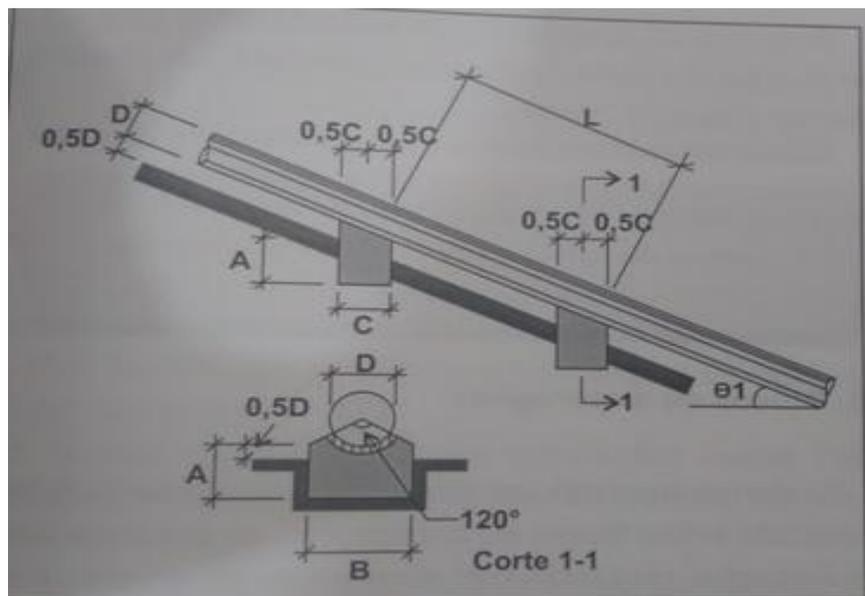
Tabela 9 – Dimensionamento dos blocos de apoio

Nominal [Pol] (mm)	Diâmetro		Espessura da parede (mm)	Peso/metro do tubo com água (kg/m)	Comprimento dos vãos entre blocos (m)
	Nominal [Pol] (mm)	Interno (mm)			
[2"] (60)		52,5	3,91	8	7
		49,2	5,54	9	7
		38,2	11,07	15	7
[2 1/2"] (73)		62,7	5,16	12	8
		59,0	7,01	14	8
		54,0	9,52	17	8
[3"] (89)		77,9	5,48	16	8
		73,3	7,62	20	9
		68,7	11,1	25	9
[4"] (114)		102,3	6,02	24	9
		97,2	8,56	30	10
		87,3	13,5	35	10
[6"] (168)		154,0	7,11	47	11
		146,3	10,97	60	12
[8"] (219)		211,5	8,18	75	13
		193,7	12,7	95	13
[10"] (273)		254,5	9,27	112	14
		260,5	1/2"	131	15
[12"] (324)		314,6	3/8"	148	15
		311,5	1/2"	168	16
[14"] (356)		346,6	3/8"	172	15
		343,5	1/2"	194	16

Fonte: Sá, 2012

As dimensões dos blocos de apoio são determinadas em função da inclinação do solo, do tamanho do tubo, do vão entre blocos, entre outros pontos. A figura abaixo representa um corte esquemático exemplificando um tubo apoiado sobre blocos de apoio.

Figura 13 – Esquemático de bloco de apoio



Fonte: Sá, 2012

O comprimento da base é dado pela tabela abaixo, determinado em função do diâmetro e da inclinação do terreno.

Tabela 10 – Inclinação da tubulação

Diâmetro (mm)	Inclinação da tubulação			
	0°	15°	30°	45°
200	0,35	0,35	0,45	0,65
400	0,66	0,66	0,66	1,00
600	1,00	1,00	1,00	1,20
800	1,30	1,30	1,30	1,40
1000	1,60	1,60	1,60	1,60
1200	2,00	2,00	2,00	2,00

Fonte: Sá, 2012

Os blocos de apoio além de suportarem o peso do tubo tem a função de permitirem o deslizamento do mesmo em função da dilatação térmica.

#### 5.8.10.2 Blocos de ancoragem

Também se faz necessário a instalação de blocos de ancoragem, de concreto armado ou de alvenaria. Esses blocos cumprem a função de absorver o peso da tubulação e da água, mantendo a estrutura estável.

Os blocos de ancoragem, além de suportarem o peso da tubulação, devem absorver os esforços oriundos das mudanças de direção e dos demais carregamentos hidromecânicos dos tubos.

Eles devem ser construídos nos seguintes pontos, ao longo da tubulação:

- Em longos trechos retos de tubulação, em no máximo entre blocos de 80 m;
- Em pontos de mudança de direção;
- Em um ponto qualquer antes da casa de máquinas;
- Imediatamente depois da câmara de carga (se houver).

Devem também ficar a cerca de 30 cm do solo.

Os blocos de ancoragem requerem um dimensionamento adequado para cada situação, do contrário, não cumprirão sua função. Por isso, recomenda-se a

orientação de um técnico especializado, estudo mais detalhado de topografia e de solo do local, para melhor traçado da tubulação e dimensões. Figura 14.

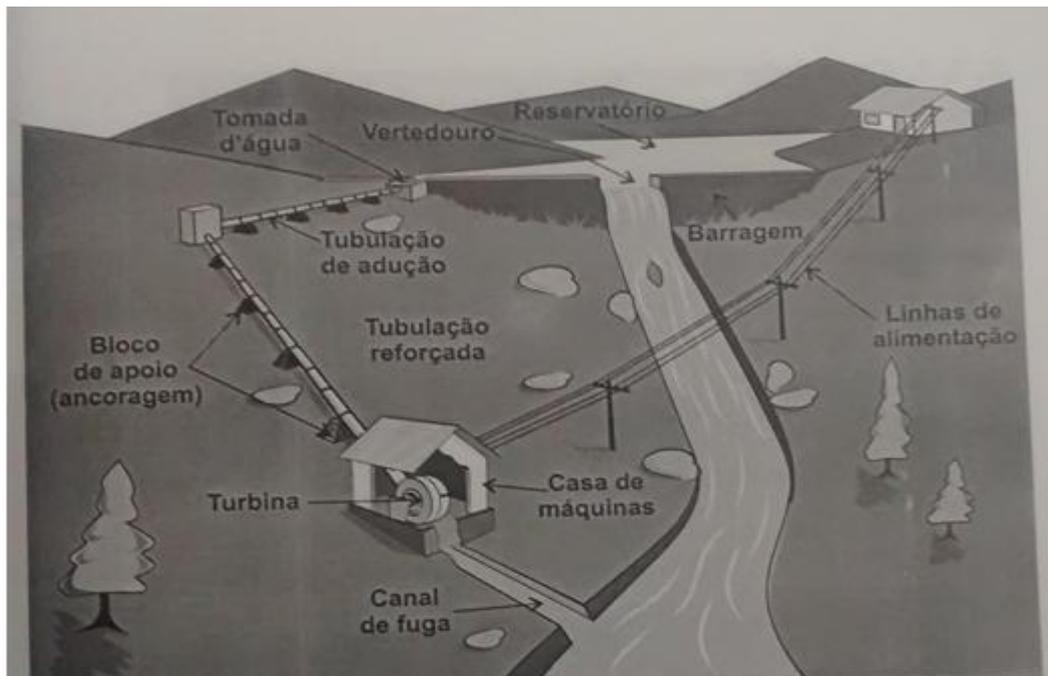
Figura 14 - Exemplo de Bloco para ancoragem na tubulação



Fonte: Sá, 2012

Para ilustrar a figura 15 mostra um exemplo de Layout para uma micro usina.

Figura 15 - Layout de uma Micro usina



Fonte: Sá, 2012

Para a construção de uma Micro usina foi feito um pré-levantamento dos materiais necessários para a implantação de uma micro usina, acompanhado de um orçamento básico.

Tabela 11 – Materiais e orçamentos para o projeto de Micro usina

<b>Planilha de Materiais e orçamento</b>			
<b>Item</b>	<b>Descrição</b>	<b>Preço Un.</b>	<b>Preço Total</b>
14	Tubo PVC 300mm, vara de 6 m	180,00	2.520,00
01	Tê PVC 300mm	617,00	617,00
01	Derivação em Y 300mm	1.429,00	1.429,00
01	Válvula 12 " polegadas	250,00	250,00
02	Válvula 4 " polegadas	100,00	200,00
06	Telhas fibra ecológica 3 metros	25,00	150,00
02	Poste de eucalipto tratado 8 metros	140,00	280,00
04	Poste de eucalipto tratado 3 metros	50,00	200,00
10	Ripas de madeira p/ telhado 5 metros	7,00	70,00
01	Medidor de tensão/corrente/potência	124,00	124,00
01	Cabo duplex 2 x 16 mm - 150 m	2,00	300,00
01	Conjunto turbina/gerador/volante de inércia com 2 bicos injetores 4 " pol. alta pressão	15.900,00	15.900,00
		<b>TOTAL</b>	22.040,00

Fonte: o autor

O Gerador a ser utilizado na Micro usina, são de manutenção simples: somente lubrificação mensal dos rolamentos. Este equipamento possui: Onda senoidal; Fator de potência 0,85; Rotação 600/1.200; Rendimento 85 %; Diâmetro o eixo 29 mm; Corrente alternada; Frequência 60 HZ; Sem escovas e anéis e Chaveta  $\frac{1}{4}$ <sup>30</sup>.

Os geradores ALTERIMA funcionam em baixo regime de rotação, 600/1.200 RPM. Podem ser acoplados a rodas d'água. Extraordinário rendimento, até 40% extra, se comparados com geradores convencionais. Não possuem anéis, escovas

<sup>30</sup> <http://www.alterima.com.br/index.asp?InCdSecao=24>

ou coletores que provocam atrito mecânico. Baixa taxa intrínseca de defeitos e de vida útil de até 8 anos.

Rolamentos empregados são da linha automotiva, robusto e fácil de encontrar no mercado. Os geradores ALTERIMA são auto excitáveis e não possuem sentido específico de rotação podendo inclusive operar sob regime de baixa frequência, ou seja, com apenas 20% de sua capacidade nominal.

Foram feitas consultas a diversos fabricantes de Micro usinas. A proposta mais interessante para esta implementação, foi do Fabricante ALTERIMA, cuja proposta está no anexo B.

#### 5.9 VANTAGENS ENCONTRADAS SÃO INÚMERAS, PODENDO SER CITADAS ABAIXO ALGUMAS:

Aproveitamento hídrico, de uma água que não é utilizada, onde a mesma está disponível 24 horas ao dia, todos os dias do ano.

Ter mais uma fonte de energia para suprir a pequena demanda no local, que consiste basicamente durante o dia de instrumentos de medição e monitoramento e a noite iluminação.

Ao ter mais uma fonte de energia no local, tem mais garantia de continuidade das leituras e monitoramento da barragem e nível do reservatório, quando por qualquer razão perder a alimentação proveniente da casa de força principal, devido a rede atual ser de 3 km, e passar por meio de uma mata, tendo possíveis contato acidental com galhos, arvores, bambuzal, barranco.

Reduzir gastos com monitoramento presencial do nível do reservatório, quando por algum motivo perder a rede principal e atual que fornece energia, pois em caso de falta dessa rede proveniente da casa de força principal da usina, a alimentação da câmera e medidor de nível é perdida, não enviando sinais pela fibra óptica para o centro de operação remoto, necessitando assim presença humana no local para leituras.

Em caso de manutenção da rede atual, poda de árvores, reparos, etc., é necessário desligar a rede, ficando assim sem leituras e monitoramento.

A manutenção da micro usina será realizada pela equipe da empresa terceirizada, quando necessário, evitando assim gasto com a contratação de empresa especializada neste tipo de prestação de serviços.

Devido a usina principal não estar gerando muita energia, pelo período de seca no rio, está ficando praticamente 20 horas parada por dia, mas está tendo casos de ficar mais de dias parada, então o consumo da barragem vem da casa de força, sendo assim a usina em vez de gerar energia, está quase sempre consumindo, e no caso de implantação da Micro usina, seria uma economia, pois durante o dia não haveria consumo, a Micro usina seria responsável pela alimentação dos equipamentos da barragem, e durante a noite, podemos considerar que a Micro usina vai suprir 50% da carga.

Ao fornecer a autorização (ANEXO A) para o presente projeto a empresa demonstrou grande interesse em estudar técnica e economicamente o projeto proposto para eventual aproveitamento da ideia de implantação da micro usina para geração de energia elétrica reaproveitando o recurso hídrico disponível na barragem, água de percolação da ombreira direita, que atualmente não está sendo utilizado.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto percebe-se claramente que a implantação da micro usina, gerando energia elétrica através da água de percolação, proveniente da ombreira direita, é suficiente para abastecer 100% das cargas da barragem e tomada d'água da usina principal.

Para esta implantação deverá ser apresentado o presente estudo para a empresa proprietária do local, auxiliando nas análises de um possível investimento no empreendimento, para ter mais opções de energia elétrica, e como política da empresa, a mesma fará estudos de custo, mão de obra, investimento, retorno, para incluir em seu orçamento anual os custos de investimento.

O presente estudo comprovou através de cálculos e dados que é possível a geração de energia elétrica no local.

A empresa também mostrou interesse em conhecer o estudo realizado para ser colocado em pauta dentro da empresa para possíveis investimento no projeto, no futuro próximo.

O retorno do investimento pode vir em pouco tempo, sendo necessário um planejamento de investimento anual por parte da empresa, inserindo este investimento no orçamento anual da empresa para o ano seguinte.

Assim, a construção desta Micro usina atende ao objetivo do projeto que é gerar energia para consumo próprio na barragem/tomada d'água, evitando o consumo proveniente da casa de força principal, principalmente quando a usina principal não estiver gerando energia, evitando despesas com o consumo da barragem.

## REFERÊNCIAS

ALTERIMA. **Roda d'água para turbina hidráulica.** Disponível em [www.alterima.com.br/index.asp?InCdSecao=24](http://www.alterima.com.br/index.asp?InCdSecao=24). Acesso em 14/11/2016.

ANEEL, **Agência Nacional de Energia Elétrica**, dez 2003. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015673>. Acessado em 11/09/2016.

**BRANCO, Otavio Eurico de Aquino. Avaliação da disponibilidade hídrica: Conceitos e aplicabilidade (2006).** Disponível em: [www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2012/04/Disponibilidade-Hídrica.pdf](http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2012/04/Disponibilidade-Hídrica.pdf). Acesso em 15/12/2016.

BRASIL. MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA. **Relatório do balanço energético nacional 2015 ano base 2015**, p.15, disponível em <http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores/balanco-energetico-nacional>. Acessado em 10 de set. 2016.

CASSIOLATO, César. **Medição de Vazão.** Publicação de 2013. Artigos Técnicos SMAR. Disponível em: <http://www.smar.com/newsletter/marketing/index40.html>. Acesso em: 14/11/2016.

CEMIG. **Atendimento individual.** Disponível em: [http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/documents/nd\\_5\\_1\\_mai\\_2013.pdf](http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/documents/nd_5_1_mai_2013.pdf). Acesso em 14/11/2016.

COSTA, Antônio Simões. **Sistemas de Excitação de Geradores Síncronos**, notas de aula, UFSC, 2002, p 105. Disponível em <http://www.labspot.ufsc.br/~simoies/dincont/dc-cap5.pdf>. Acessado em 11/11/2016.

ENGIOBRA - Engenharia Civil e Construção. Micro Usina Hidrelétrica. Disponível em: [www.engiobra.com/](http://www.engiobra.com/). Acesso em 15/12/2016.

FERNANDES, Francisco R. C., Adão B. da Luz, Gerson M. M. Matos, Zuleica Carmen Castilhos. **Tendências Tecnológicas Brasil 2015: Geociências e Tecnologia Mineral/Eds. - Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007.**

FUNDAÇÃO COGE, Apostila de treinamento para Operadores de Usinas, 2007, p.32.

LIMA, Roberth dos Santos. **Padronização De Projetos Elétricos De Pequenas Centrais Hidrelétricas.** 2002. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Energia) Universidade Federal de Itajubá, p. 3. Disponível em <http://cerpch.unifei.edu.br/dissertacoes/padronizacao-de-projetos-eletricos-de-pequenas-centrais-hidreletricas/>. Acessado em 10/11/2016.

MASTER ENERGIA. **Como medir a energia hidráulica e hidrelétrica.** Disponível em: [masterenergia.com.br/index.php/informacoes-tecnicas/78-como-medir-a-energia-hidr...](http://masterenergia.com.br/index.php/informacoes-tecnicas/78-como-medir-a-energia-hidr...) Acesso em 14/11/2016.

MELLO JÚNIOR, Antônio Gonçalves de. **A Turbina de Fluxo Cruzado (Michell – Banki como opção para centrais hidráulicas de pequeno porte)**. Universidade de São Paulo, USP. São Paulo, 2000.

MICRO USINAS hidrelétricas – englobra. Agosto de 2013. Disponível em: <http://engiobra.com/micro-usinas-hidreletricas/>. Acesso em 11/11/2016.

NETTO, Luiz Ferraz. **Feira de Ciências**. Reprodução autorizada pelo autor. O Copyright do “Feira de Ciências” conteúdo protegido pela Lei de Direitos Autorais. Disponível em: <http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/Component/Controller.aspx?CC=3332>. Acesso em 14/11/2016.

NEXANS. **Especialista global em cabos e sistemas de cabeamento**. Disponível em: [www.nexans.com.br/](http://www.nexans.com.br/). Acesso em 14/11/2016.

PEREIRA, J. C. **Motores e Geradores – Princípios para o Dimensionamento, Instalação, Operação e Manutenção dos Grupos Diesel-Generadores**. Apostila, 73 p; 2000.

RAMOS, Ricardo Alan Verdú; SILVA, João Batista Campos. **Máquinas Hidráulicas**. Capítulo 8. Turbinas Hidráulicas. Ilha Solteira, 2009.

SÁ, Cleber Malta de. Micro, Mini e PCHs. **Pequenas Centrais Hidrelétricas**. Editora Kelps. 2ª Edição. Goiânia, 2012.

**ANEXO**

## Anexo A – Carta de autorização para estudo do local



### DECLARAÇÃO

Declaro para os devidos fins, que a empresa HIDRELETRICA PIPOCA S.A, autoriza o uso e divulgação dos dados necessários de forma acadêmica para elaboração do Trabalho de Conclusão de Curso do Aluno Paulo Autieres Zampier Bonin, matriculado no Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Doctum de Educação e Tecnologia, intitulado "Projeto de Implantação de uma microssina Hidrelétrica na barragem da Pequena Central Hidrelétrica Pipoca".

#### INFORMAÇÕES NECESSARIAS PARA O ESTUDO:

Imagens fotográficas do local.

Dados de níveis de reservatório.

Dados de construção do local e barragem.

Análise do local.

Dados dos componentes elétricos da barragem e tomada d'água.

Outros dados de geração e consumo de energia do empreendimento.

Medições no local.

Atenciosamente,



Eng. Alexandre Freitas

OMEGA ENERGIA S.A

CREA - MG 122417D

## Anexo B - PROPOSTA ENVIADA PELO FABRICANTE ALTERIMA.

Com altura de 20 metros e vazão de 20 litros por segundo sua potencia é 4 KVA, é suficiente para acionar simultaneamente 02 geladeiras de 300 litros, 01 freezer de 300 litros, 01 TVs e antena parabólica, 20 lâmpadas de LED e eletro domestico em geral, mas usando alternadamente pode-se usar aparelhos que consomem energia proporcional a 4 KVA.

De 0 a 300 metros usar cabo de alumínio nº 4 sem alma, de 300 a 900 metros usar cabo de alumínio nº 2 sem alma, não haverá perca de energia no percurso.

1.000 watts = 01 KVA.

746 watts = 01 CV.

A entrada da turbina é 300 mm (12 polegadas) na turbina será reduzido de uma só vez para 3 ou 4 polegada, a turbina acompanha 2 jatos para fazer a substituição de acordo com a vazão de água inverno e verão, o tubo tem que ser grosso para dar peso e pressão, mas o consumo d'água é proporcional a vazão disponível e calculada.

Valor da turbina com 01 rotor - modificada - registro em bronze - eixo em aço - galvanizada - volante inércia força motriz - polia em V - ferro fundido - com gerador baixa rotação - 127/220 v - garantia 5 anos - potencia 4 KVA - R\$ 15,900,00 a vista. A função do volante é não deixar a rotação cair na hora da partida de um motor ou freezer, geralmente os motores chegam a consumir 50 % a mais na hora da partida. Nossas turbinas são com polias em V em ferro fundido, registro de gaveta de bronze para fechar a água, rotor em ferro fundido balanceado digitalmente. Nosso equipamento já esta pré montado, por isto a instalação é muito simples. Garantia de 5 anos.

Manutenção somente graxa nos rolamentos de 30 em 30 dias para funcionar 24 horas. Caso queira que lhe passamos o valor do frete nos envie qual é a cidade e estado. Prazo de fabricação 25 dias após pedido



## **Justificativa Técnica das Micro Centrais Hidrelétricas ALTERIMA**

Diversos são os atributos que integram, potencializam e conferem à Micro Central Hidrelétrica ALTERIMA, substancial e notório perfil que a diferencia dentre as demais, entre os quais elencamos com extraordinária convicção e propriedade; a confiabilidade e eficiência técnica que ao longo de 40 anos tem-se comportado de maneira singular.

Sempre submetidas à exaustíssimo regime de trabalho, elas nunca se intimidaram. Robustez e dinamismo irmanam perfeita e harmoniosa companhia, motivo pelos quais orgulhosamente nos motivaram conceder a extensa garantia de cinco anos, culminando em conforto, tranquilidade e satisfação aos nossos clientes por anos a fio.

Dotada da mais alta tecnologia, cada unidade é primorosamente produzida consoante específica queda e vazão encontrada no local, ou seja, para cada ação existe um projeto, o que a torna ímpar e incomparável em todos os aspectos.

Nela não se empregam transistores, carvão, anéis ou diodos que indubitavelmente traduz-se por baixíssima e ignóbil taxa intrínseca de defeitos. O induzido do alternador é confeccionado em ímãs permanentes primorosamente usinados e balanceados em bancada eletrônica.

Por não haver escovas (carvão), não há atrito mecânico ou arrasto. A geração é silenciosa, leve e suave, necessitando apenas lubrificar mensalmente os rolamentos.

O detalhe mais importante; atualmente existe grande conscientização ambiental presente e difundida em todas as esferas da sociedade.

As pessoas priorizam equipamentos que utilizam energia renovável, sobremaneira os procedentes de empresas que respeitam o meio ambiente e a Micro Central Hidrelétrica ALTERIMA sumariamente está inserida neste contexto.

Os geradores ALTERIMA também podem ser acoplados à rodas d'água por gerarem em baixas rotações (600 a 1200 RPM), tendo portanto rendimento superior aos da categoria (até 40% extra se comparados aos convencionais).

Gerador Especial - Geradores Magnéticos sem escovas (carvão), sem anéis e diodo, de baixa rotação. Características:

- De 1/2 a 30 Kw.
- Gerador Magnético Monofásico ou Trifásico, sem diodos, escovas, (não necessitam de regulador eletrônico).

- Sem Transistores e de baixa rotação, de 600 a 1200 rpm.
- Geradores com potência de ½ KVA, 01 KVA, 02 KVA, 03 KVA, 04 KVA, 05 KVA, 06 KVA, 08 KVA, 10 KVA, 15 KVA, 20 KVA e 30 KVA.

As Micro Centrais Hidrelétricas ALTERIMA são produzidas com polias em V (ferro fundido de 40 CM a 80 CM de diâmetro com 02 canais B), podendo variar seu diâmetro consoante a altura e vazão específica. Os registros são em bronze (gaveta) de 04 polegadas, os rotores produzidos em ferro fundido e balanceados digitalmente.