



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

**JACSON HUDSON INÁCIO FERREIRA**

**UMA CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA  
ESTIMATIVA DO POTENCIAL HIDRELÉTRICO DE  
PEQUENAS CENTRAIS HIDRÁULICAS**

UBERLÂNDIA  
2014

**JACSON HUDSON INÁCIO FERREIRA**

**UMA CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA  
ESTIMATIVA DO POTENCIAL HIDRELÉTRICO DE  
PEQUENAS CENTRAIS HIDRÁULICAS**

Dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Sistemas de Energia

Orientador: Prof. José Roberto Camacho

---

Prof. José Roberto Camacho,  
PhD.  
**Orientador**

---

Prof. Edgar Afonso Lamounier Júnior,  
PhD.  
**Coordenador do Curso de  
Pós-Graduação**

UBERLÂNDIA  
2014

**Jacson Hudson Inácio Ferreira**

**Uma contribuição ao estudo da estimativa do  
potencial hidrelétrico de pequenas centrais  
hidráulicas**

Dissertação de mestrado apresentada  
à Faculdade de Engenharia Elétrica  
da Universidade Federal de  
Uberlândia, como requisito parcial à  
obtenção do título de Mestre em  
Ciências.

Área de concentração: Sistemas de  
Energia

Uberlândia, 24 de outubro de 2014

Banca Examinadora

---

Prof. PhD. José Roberto Camacho - FEELT/UFU

---

Prof. Dr. Sebastião Camargo Guimarães Júnior – FEELT/UFU

---

Prof. Dr. Fernando Barbosa Matos – IF GOIANO

## **DEDICATÓRIA**

*Dedico esta dissertação aos meus pais, Cílio e Magda, por serem a minha força e dedicação aos estudos, pelo amor e carinho.*

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus por guiar meus passos e tornar real os meus sonhos.

Aos meus pais, **Cílio Vargas Ferreira, Magda de Fátima Alves Ferreira** e minha irmã **Jaqueline Inácio Alves Ferreira** por compreenderem a ausência em diversos momentos durante esta etapa e por sempre terem me amado incondicionalmente.

Ao Prof. Dr. **José Roberto Camacho** pela orientação e confiança dada durante todo o trabalho.

Ao **Flávio Caldeira Silva** pelo companheirismo, amizade, atenção e disponibilidade dada durante esses anos de mestrado, o meu muito obrigado e minha gratidão!

Aos meus amigos **Thiago Faria Tormin e Gustavo Maximiano Ferreira** pela amizade e atenção, não somente aos assuntos referentes ao mestrado, mas sim de tudo que envolve a minha vida, pelo convívio diário e por terem me recebido de braços abertos quando precisei, toda minha gratidão.

Aos meus amigos de Uberlândia **Thiago Taham e Ricardo Boaventura** pela prestatividade e apoio no início do meu mestrado e pela amizade durante essa etapa.

Aos meus colegas de IFTM e amigos pessoais de Ituiutaba **Vanessa Alves de Freitas, Karina Estela Costa, Flávia Fernandes Leva e Lindolfo Marra de Castro Neto** pelo apoio, conselhos, ajuda e principalmente pela amizade e carinho.

À minha colega de laboratório **Juliana Almansa Malagoli**, pela parceria, conversas e ajuda para a conclusão do meu trabalho.

Ao **Instituto Federal do Triângulo Mineiro** por me conceder o afastamento para que eu pudesse concluir meu mestrado.

## RESUMO

# Uma Contribuição ao Estudo da Estimativa do Potencial Hidrelétrico de Pequenas Centrais Hidráulicas

Esta dissertação tem como objetivo estudar e desenvolver uma metodologia para a primeira etapa do ciclo de implantação de uma Pequenas Centrais Hidráulica (PCH), a Estimativa do Potencial Hidrelétrico, etapa em que se estudam as situações favoráveis e desfavoráveis à implantação de pequenas usinas. Baseia-se em critérios socioambientais, técnicos e econômicos de uma bacia hidrográfica, conforme dados secundários que são disponibilizados pelas agências e instituições responsáveis por cada critério. Os dados da coleta para o estudo observam os aspectos geológicos – geotécnicos, socioambientais, infraestrutura e logística, disponibilidade hídrica e topografia. Além disso, apresenta o uso da ferramenta de Sistema de Informação Geográfica – SIG, sistema com capacidade para aquisição, manipulação e exibição de informações digitais georreferenciadas, capaz de gerar mapas onde os aspectos relevantes são apresentados e analisados, e utiliza a Hidrologia Estatística para o estudo hidrológico, onde se verifica a vazão de um rio ou a precipitação em um local ou região. Ao final, apresenta a estimativa da energia média gerada, ou potência média, baseando-se primeiro na variação dos valores de vazão ao longo de um ano médio, e queda constante, depois com valores constantes de vazão e queda, estimando a potência específica do local, o tipo de turbina hidráulica, potência e tensão do gerador elétrico. Foi aplicado um estudo de caso da metodologia em questão na bacia hidrográfica do rio Tijuco, limitado ao município de Ituiutaba – MG.

**Palavras chave:** Pequenas centrais hidráulicas, Estimativa do Potencial Hidrelétrico, Sistema de Informação Geográfica, Hidrologia Estatística, rio Tijuco.

## **ABSTRACT**

# **A Contribution to the Study of the Estimate Hydroelectric Potential for Small Hydropower Plant**

The aim of this masterthesis is to study and develop a methodology for the first stage of the deployment of a Small Hydraulic Plant (SHP), the Estimate Hydroelectric Potential, stage in which is studied the favorable and unfavorable situations to the deployment of small plants. Basing on environmental, technical and economic criteria of a watershed, according secondary data that are provided by agencies and institutions responsible for each criterion. Data collections for the study observe the geological and geotechnical, environmental, infrastructure and logistics, water availability and topography aspects. Moreover, it presents the use of GIS (Geographic Information Systems) to generate maps where relevant aspects are presented and analyzed, and it use the Hydrology Statistics for the hydrological study, to verify the flow of a river or precipitation at a local or region. At the end, it presents the estimate average energy generated, or average power, basing first on the variation of flow over an average year, and constant height, then with constant values of flow and height, estimating the specific power location, the type of water turbine, power and voltage of electric generator. It was applied a study case of the methodology in the watershed of the Tijuco river, limited to the city of Ituiutaba – MG.

**Keywords:** Small Hydraulic Plants, Estimate Hydroelectric Potential, Geographic Information Systems, Hydrology Statistics, Tijuco river.

# LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> – Atividades de estudos e projetos de pch.....	16
<b>Figura 2.1</b> - Desenho esquemático de um aproveitamento hidrelétrico em derivação .....	28
<b>Figura 2.2</b> - Desenho esquemático de um aproveitamento hidrelétrico com represamento.....	29
<b>Figura 2.3</b> - Esquema de uma turbina pelton.....	30
<b>Figura 2.4</b> - Turbina francis de eixo horizontal e caixa espiral.....	31
<b>Figura 2.5</b> - Esquema de funcionamento da turbina kaplan .....	32
<b>Figura 2.6</b> - Esquema de funcionamento da turbina bulbo .....	33
<b>Figura 3.1</b> - Evolução da capacidade de geração das pchs no brasil (2001-2010) .....	40
<b>Figura 4.1</b> - Metodologia aplicada à estimativa do potencial hidrelétrico.....	45
<b>Figura 4.2</b> - Lista dos orgãos estaduais responsáveis pela gestão dos recursos hidráticos.....	57
<b>Figura 4.3</b> - Gráfico para a escolha do tipo de turbina.....	63
<b>Figura 5.1</b> - Aproveitamentos hidrelétricos de pequeno porte inventariados no rio tijuco no município de ituiutaba -mg .....	66
<b>Figura 5.2</b> - Modelo do ambiente de trabalho arcview gis .....	68
<b>Figura 5.3</b> - Mapa litológico .....	69
<b>Figura 5.4</b> - Mapa dos títulos minerários quanto a substância .....	71
<b>Figura 5.5</b> - Mapa dos títulos minerários quanto a fase .....	72
<b>Figura 5.6</b> - Mapa das unidades de conservação e terras indígenas no estado de minas gerais .....	74
<b>Figura 5.7</b> - Índice de fatores condicionantes do zoneamento ecológico econômico para instalação de pchs .....	76
<b>Figura 5.8</b> - Mapa de infraestrutura e logística .....	77
<b>Figura 5.9</b> - Imagem do rio tijuco no município de ituiutaba no google earth .....	78
<b>Figura 5.10</b> - Perfil longitudinal do rio tijuco, município de ituiutaba-mg .....	79
<b>Figura 5.11</b> - Perfil longitudinal rio tijuco, município de ituiutaba - mg.....	80
<b>Figura 5.12</b> - Curva de permanência rio tijuco.....	84
<b>Figura 5.13</b> - Gráfico dos rendimentos de alguns tipos de turbinas com variação de vazões e queda constante.....	88

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 2.1</b> - Classificação das pch quanto à potência e quanto à queda de projeto	25
<b>Tabela 3.1</b> - Empreendimentos energéticos em operação .....	40
<b>Tabela 4.1</b> - Parâmetros de seleção do tipo de turbina .....	63
<b>Tabela 4.2</b> - Nível de tensão indicado para geradores .....	65
<b>Tabela 5.1</b> - Queda bruta e queda líquida conforme o arranjo.....	81
<b>Tabela 5.2</b> - Média das vazões mensais do rio tijuco, estação ituiutaba .....	82
<b>Tabela 5.3</b> - Valores de vazão com sua respectiva probabilidade de ocorrer no decorrer do tempo .....	83
<b>Tabela 5.4</b> - Menores valores das médias móveis de sete dias.....	84
<b>Tabela 5.5</b> - Vazão $q_{7,10}$ e suas variáveis.....	85
<b>Tabela 5.6</b> - Parâmetros de comparação.....	86
<b>Tabela 5.7</b> - Vazão média mensal, ecológica e turbinável.....	87
<b>Tabela 5.8</b> - Vazões mensais aplicadas .....	87
<b>Tabela 5.9</b> - Potência média (kw/m) para a turbina tipo francis .....	89
<b>Tabela 5.10</b> – Potência média (kw/m) para a turbina tipo kaplan .....	89
<b>Tabela 5.11</b> - Características e resultados do aproveitamento para 1 unidade geradora.....	91
<b>Tabela 5.12</b> - Características e resultados do aproveitamento para 2 unidades geradoras .....	92

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>AAI</b>	Avaliação Ambiental Integrada
<b>ANA</b>	Agência Nacional de Águas
<b>ANEEL</b>	Agência Nacional de Energia Elétrica
<b>CBH</b>	Comitês de Bacias Hidrográficas
<b>CEMIG</b>	Companhia Energética de Minas Gerais
<b>CRPM</b>	Serviços Geológicos do Brasil
<b>DNPM</b>	Departamento Nacional de Produção Mineral
<b>EIA</b>	Estudo de Impacto Ambiental
<b>ESRI</b>	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
<b>GIS</b>	<i>Geographic Information Systems</i>
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>IDH</b>	Índice de Desenvolvimento Humano
<b>IFC</b>	Índice de Fatores Condicionantes
<b>IGAM</b>	Instituto Mineiro de Gestão as Águas
<b>LI</b>	Licença de Instalação
<b>LO</b>	Licença de Operação
<b>LP</b>	Licença Prévia
<b>MME</b>	Ministério de Minas e Energia
<b>MRE</b>	Mecanismos de Realocação de Energia
<b>ONS</b>	Operador Nacional do Sistema Elétrico
<b>PCH</b>	Pequenas centrais hidráulicas
<b>PROINFA</b>	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
<b>RIMA</b>	Relatório de Impacto Ambiental
<b>SHP</b>	Small Hydropower Plant
<b>SIC</b>	Sistema de Informação ao Cidadão
<b>SIG</b>	Sistema de Informação Geográfica
<b>SIGMINE</b>	Sistema de Informações Geográficas de Mineração
<b>SNIRH</b>	Sistema Nacional de Informações dos Recursos Hídricos
<b>SRTM</b>	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
<b>UC</b>	Unidade de Conservação
<b>UHE</b>	Usina Hidrelétrica de Energia
<b>ZEE</b>	Zoneamento Ecológico Econômico

# LISTA DE SÍMBOLOS

<b>A</b>	Área do reservatório [Km <sup>2</sup> ]
<b>A<sub>1</sub></b>	Área de drenagem do local do aproveitamento [Km <sup>2</sup> ]
<b>A<sub>2</sub></b>	Área de drenagem do posto existente [Km <sup>2</sup> ]
<b>cos Φ</b>	Fator de potência do gerador
<b>CV</b>	Coeficiente de variação
<b>H<sub>B</sub></b>	Queda bruta
<b>H<sub>d</sub></b>	Queda de projeto
<b>H<sub>L</sub></b>	Queda líquida
<b>Km<sup>2</sup></b>	Quilômetros quadrado
<b>KV</b>	Quilovolt
<b>KVA</b>	Quilovoltampere
<b>KW</b>	Quilowatt
<b>m</b>	Metro
<b>M</b>	Matriz
<b>m<sup>3</sup>/s</b>	Metros cúbicos por segundo
<b>MVA</b>	Megavoltampere
<b>MW</b>	Megawatt
<b>n</b>	Número de dados
<b>P</b>	Potência instalada (MW)
<b>P<sub>ef</sub></b>	Potência efetiva (KW)
<b>P<sub>G</sub></b>	Potência do gerador (KVA)
<b>P<sub>med</sub></b>	Potência média (KWmedio/m)
<b>Q</b>	Vazão (m <sup>3</sup> /s)
<b>Q'</b>	Vazão média do período crítico do Sistema Interligado (m <sup>3</sup> /s)
<b>Q<sub>1</sub></b>	Vazão do local do aproveitamento (m <sup>3</sup> /s)
<b>Q<sub>2</sub></b>	Vazão do posto existente (m <sup>3</sup> /s)
<b>Q<sub>7</sub></b>	Vazão móvel de sete dias
<b>Q<sub>7,10</sub></b>	Vazão de sete dias com período de recorrência de dez anos (m <sup>3</sup> /s)
<b>Q<sub>7med</sub></b>	Vazão média de sete dias (m <sup>3</sup> /s)
<b>Q<sub>95%</sub></b>	Vazão disponível em 95% do tempo (m <sup>3</sup> /s)
<b>Q<sub>eco</sub></b>	Vazão ecológica (m <sup>3</sup> /s)
<b>T<sub>r</sub></b>	Tempo de retorno
<b>V</b>	Volts
<b>α, A(α), β</b>	Coeficientes da distribuição de Weibull
<b>η</b>	Rendimento do grupo turbina-gerador
<b>η<sub>g</sub></b>	Rendimento do gerador
<b>η<sub>t</sub></b>	Rendimento da turbina

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	15
1.2 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO .....	17
1.3 MOTIVAÇÃO .....	18
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	20
<b>2 CARACTERIZAÇÃO DE UMA PEQUENA CENTRAL HIDRÁULICA .....</b>	<b>22</b>
2.1 DEFINIÇÃO DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRÁULICAS (PCH).....	22
2.2 CLASSIFICAÇÃO DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRÁULICAS .....	23
2.2.1 CENTRAIS QUANTO À CAPACIDADE DE REGULARIZAÇÃO.....	23
2.2.2 CENTRAIS QUANTO AO SISTEMA DE ADUÇÃO .....	24
2.2.3 CENTRAIS QUANTO À POTÊNCIA INSTALADA E QUANTO À QUEDA DE PROJETO.....	25
2.3 COMPONENTES BÁSICOS DE UMA PCH .....	26
2.4 ARRANJOS DAS ESTRUTURAS DE APROVEITAMENTOS HIDRELÉTRICOS .....	27
2.4.1 LOCAL COM QUEDA NATURAL LOCALIZADA .....	27
2.4.2 LOCAL SEM QUEDA NATURAL LOCALIZADA .....	28
2.5 EQUIPAMENTOS ELETROMECÂNICOS – TURBINAS HIDRÁULICAS APLICÁVEIS .....	29
2.5.1 TURBINA PELTON .....	30
2.5.2 TURBINA FRANCIS .....	31
2.5.3 TURBINA KAPLAN .....	32
2.5.4 TURBINA BULBO .....	32
2.6 GERADORES ELÉTRICOS.....	33
<b>3 CONTEXTO REGULATÓRIO E ATUAL .....</b>	<b>35</b>
3.1 ATOS INSTITUCIONAIS .....	35
3.2 REGULAMENTAÇÕES PARA A INSERÇÃO DAS PCHs NO SETOR ELÉTRICO ATUAL .....	37
3.3 CENÁRIO ATUAL DAS PCHs PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	39
3.4 ETAPAS DE PROJETO.....	41
<b>4 METODOLOGIA PARA A ESTIMATIVA DO POTENCIAL HIDRELÉTRICO .....</b>	<b>44</b>
4.1 FERRAMENTA SIG .....	46
4.2 COLETA DE DADOS .....	47
4.3 ASPECTOS RELEVANTES ANALISADOS .....	49

4.3.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS – GEOTÉCNICOS .....	49
4.3.2 ASPECTOS SOCIOAMBIENTAIS .....	50
4.3.2.1       TÍTULOS MINERÁRIOS .....	51
4.3.2.2       UNIDADES DE CONSERVAÇÃO E TERRAS INDÍGENAS .....	51
4.3.2.3       ZONEAMENTO ECOLÓGICO – ECONÔMICO .....	52
4.3.3 ASPECTO DE INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA .....	52
4.4 CARTOGRAFIA E TOPOGRAFIA .....	52
4.4.1 QUEDA BRUTA E QUEDA LÍQUIDA.....	53
4.5 ESTUDOS HIDROLÓGICOS .....	54
4.5.1 DIREITO DE USO DOS RECURSOS HÍDRICOS .....	56
4.5.2 HIDROLOGIA ESTATÍSTICA.....	57
4.5.3 VAZÃO ECOLÓGICA.....	60
4.6 ESTIMATIVA DA ENERGIA MÉDIA GERADA .....	61
4.7 DETERMINAÇÃO DO TIPO DE TURBINA E POTÊNCIA DO GERADOR .....	62
4.7.1 TURBINA HIDRÁULICA .....	62
4.7.2 GERADORES ELÉTRICOS.....	64
4.7.2.1       POTÊNCIA DO GERADOR .....	64
4.7.2.2       TENSÃO DE GERAÇÃO.....	64
<b>5 ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>66</b>
5.1 COLETA DE DADOS .....	67
5.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS MAPAS .....	69
5.2.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS – GEOTÉCNICOS .....	69
5.2.2 ASPECTOS SOCIOAMBIENTAIS .....	70
5.2.2.1       TÍTULOS MINERAIS.....	70
5.2.2.2       UNIDADES DE CONSERVAÇÃO (UC) E TERRAS INDÍGENAS.....	73
5.2.2.3       ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO .....	75
5.2.3 ASPECTO DE INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA .....	76
5.3 CARTOGRAFIA E TOPOGRAFIA .....	78
5.3.1 QUEDA BRUTA E QUEDA LÍQUIDA .....	80
5.4 ESTUDOS HIDROLÓGICOS .....	81
5.4.1 DIREITOS DE USO DOS RECURSOS HÍDRICOS .....	81
5.4.2 HIDROLOGIA ESTATÍSTICA .....	82
5.5 ESTIMATIVA DO POTENCIAL HIDROENERGÉTICO .....	86
5.6 DETERMINAÇÃO DO TIPO DE TURBINA E DA POTÊNCIA DO GERADOR .....	90

<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>93</b>
6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	93
6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	94
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>95</b>
<b>ANEXO I.....</b>	<b>101</b>
<b>APÊNDICE I.....</b>	<b>107</b>
PROGRAMA NO OCTAVE 3.8.1 .....	107

# 1 Introdução

## 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

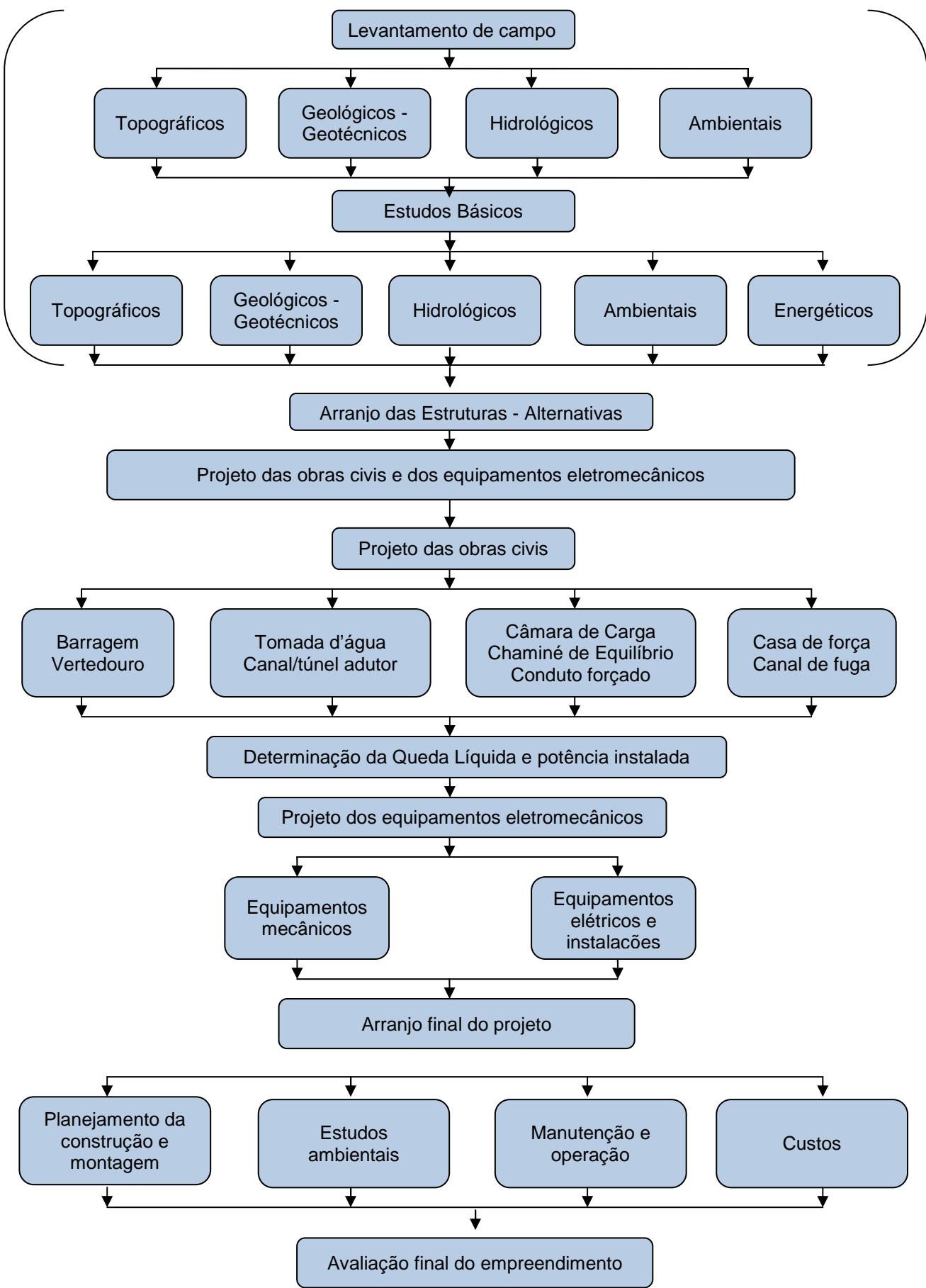
O papel que as fontes alternativas de energia representam para o setor elétrico atual está diretamente ligado à incoerência da sociedade quando a expansão da geração de energia é o assunto em questão. Por um lado, tem o desejo por mais energia elétrica para o desenvolvimento de novas tecnologias, uma sociedade moderna e com conforto, e por outro, contesta as formas de sua produção, sobretudo quando há interferências no meio ambiente e no uso de seus recursos naturais. Tal incoerência está diretamente ligada às políticas governamentais aplicadas para as fontes alternativas de energia.

Neste cenário, as pequenas centrais hidráulicas (PCHs), uma forma alternativa para a produção de energia, vem exercendo destaque na matriz energética brasileira devido aos melhores aproveitamentos hidrelétricos, do ponto de vista comercial e técnico, já estarem escasso de exploração do seu potencial, buscando assim pequenos aproveitamentos.

E, sobretudo, devido às características e vantagens existentes, tendo como maior destaque o baixo impacto ambiental, já que em seu conceito caracteriza-se por ser um empreendimento de pequeno porte com redução da área ambiental afetada [1], e a localização das construções dessas usinas, que se aproxima dos centros consumidores e diminuindo as perdas e gastos na transmissão de energia.

A exploração de um determinado potencial hidrelétrico é uma atividade sujeita de regulamentações de ordem institucional, ambiental e comercial. Durante o processo de implantação do empreendimento, atividades multidisciplinares permeiam entre si, constituindo o arcabouço legal de todo o projeto [2]. A Figura 1.1 apresenta as atividades que são típicas para o desenvolvimento e estudo de PCHs, retratando a interdisciplinaridade dos estudos [2].

## Capítulo 1 – Introdução



**Figura 1.1 – Atividades de estudos e projetos de PCH.**  
Fonte: Eletrobras (2000) [2]

---

## Capítulo 1 – Introdução

Na fase inicial do ciclo de implantação de uma PCH, chamada de Estimativa do Potencial Hidrelétrico, devem ser feitas análises dos aspectos técnicos e socioambientais multidisciplinares fundamentais para a viabilidade deste tipo de empreendimento (em destaque na Figura 1.1), de forma que colabore com o planejamento bem elaborado, a transparência e a democratização dos processos de decisão do projeto final da usina.

Essas análises são realizadas em escritório e pautadas em dados secundários das agências e instituições responsáveis por cada tópico disciplinar. Dessa forma, é possível reduzir os gastos durante as pesquisas de campo, observar no inicio quais aspectos merecem maior atenção e prever quais áreas merecem mais estudos e investimentos.

Com base nessas perspectivas, esta dissertação contribui com a análise dos aspectos que são importantes na primeira etapa do projeto de uma PCH, conforme os parâmetros geológicos – geotécnicos, socioambientais, topográficos, infraestrutura e logística, utilizando a ferramenta de Sistema de Informação Geográfica (SIG) para a análise dos parâmetros em questão, e realiza um estudo hidrológico para uma bacia hidrográfica. Tais fatores em conjunto contribuem para a estimativa do potencial hidroenergético. Esta metodologia auxilia empresas e instituições a agregar novos conhecimentos e fermentas na busca por novos locais para a implantação de PCHs.

### 1.2 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

Esta pesquisa propõe uma metodologia para a estimativa do potencial hidrelétrico para bacias hidrográficas, com foco, mas não restrito, a potenciais com características de pequenas centrais hidráulicas. A estimativa comprehende desde a localização e caracterização do local com potencial até a energia média, ou potência média, na bacia. O objetivo geral é a obtenção do potencial global viável na bacia.

A pesquisa tem como objetivos específicos:

- Usar o Sistema de Informação Geográfica para a análise dos aspectos técnicos e socioambientais de forma georreferenciada;
- Utilizar a Hidrologia Estatística para verificar a disponibilidade hídrica do local;

- Utilizar a legislação dos recursos hídricos, do meio ambiente, do setor elétrico e legislação correlata que são relevantes para os projetos de PCHs.

### 1.3 MOTIVAÇÃO

Há, nos dias de hoje, um extenso banco de dados *on-line* com informes georreferenciados de meio ambiente, linhas de transmissão, topologia, rodovias, geologia, entre outros, que viabiliza a utilização do Sistema de Informação Geográfica, uma metodologia de investigação hidroenergética, com uma análise técnica integrada ao meio ambiente, para o auxílio na identificação e caracterização de potenciais desconhecidos.

Observa-se ainda a carência de trabalhos que envolvem todos os aspectos e segmentos voltados para as pequenas centrais hidráulicas (elétrico, estrutural e ambiental) que são capazes de auxiliar na tomada de decisão de investimento por parte dos empreendedores já nas fases iniciais do projeto.

Outro ponto é a região em estudo onde há bastante discussão com relação à instalação de novas PCHs. Por essa razão escolheu-se a bacia hidrográfica do rio Tijuco, no município de Ituiutaba – MG, para servir como estudo de caso da metodologia e fornecer parâmetros confiáveis para fomentar as discussões que possam vir a ocorrer.

### SÍNTESSE DAS PUBLICAÇÕES

Na sequência são sumarizados e apresentados os documentos, publicações científicas e livros considerados relevantes para fins do trabalho.

#### a) Livros e Apostilas

A obra da referência [30] representou um dos pilares para o desenvolvimento deste trabalho. Esta apostila aborda o Sistema de Informação Geográfica, abordando conceitos que favorecem diversos princípios do geoprocessamento. Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são sistemas automatizados usados para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à informação e indispensável para analisá-la. Outro

---

## **Capítulo 1 – Introdução**

ponto para esta referência foi conhecer e apresentar o software ArcGis, suas ferramentas e comandos básicos para servirem como subsidio a iniciação de sua utilização.

O trabalho [39] aborda a Introdução a Hidrologia, apresentando os conceitos mais importantes da área e serviu como base para os cálculos das vazões de referências utilizadas para estimar a energia média da bacia hidrográfica, tais como vazões médias, vazão  $Q_{7,10}$  (vazão de sete dias com período de recorrência de dez anos) e a importância da curva de permanência, sua construção e análises para ser utilizada em empreendimentos hidrelétricos.

### **b) Teses e Dissertações**

A dissertação de mestrado [3] representou um papel fundamental no trabalho desenvolvido. Esta referência foi a única encontrada que abordasse o tema em questão, utilizando o SIG para a análise dos aspectos técnicos, econômicos e socioambientais para o estudo da estimativa do potencial hidrelétrico, chamado nesta referência por etapa da prospecção. Esta dissertação tem por objetivo apresentar uma metodologia de prospecção de potenciais hidrelétricos enquadrados como Pequenas centrais hidráulicas, e consiste em um estudo que deve ser elaborado anteriormente à etapa do estudo de inventário hidrelétrico. Ela também serviu como base para a busca de outras referências utilizadas neste trabalho.

### **c) Artigos Técnicos**

Os artigos técnicos associados a esta seção resumem o conhecimento referente ao uso da ferramenta SIG em estudos de rios para aproveitamentos hidroenergéticos e sua importância neste processo [31] [43] [58] e como proceder, apresentando conceitos, cálculos, legislações, para o estudo hidrológico de uma bacia hidrográfica [20] [23] [24].

### **d) Entidades Coletivas**

A referência [1] representou fundamental fonte de conhecimento onde são estabelecidos os critérios para o enquadramento de aproveitamento hidrelétrico na condição de pequenas centrais hidráulicas (PCHs).

Outro destaque foi a referência [2] onde são apresentadas as diretrizes de estudos e projetos de pequenas centrais hidráulicas, para futuros investidores e aos atuais investidores. É um instrumento orientador, atualizado pelo resultado de pesquisas na área de engenharia, metodologias e critérios para levantamentos e estudos ambientais, técnicas modernas de projeto e construção de PCHs, bem como a legislação e temas institucionais hoje vigente no Setor Elétrico Brasileiro.

O Manual [29] representa uma visão e uma atualização do Manual de Inventário Hidrelétrico. Na sua elaboração, foram consideradas as experiências nacionais no campo de inventários hidrelétricos de bacias hidrográficas e as mudanças ocorridas no últimos anos do Setor Elétrico Brasileiro, particularmente nas áreas de legislação, do meio ambiente, dos recursos hídricos e aspectos institucionais.

A legislação [56], onde são estabelecidos os procedimentos para a regularização do uso de recursos hídricos do domínio do Estado de Minas Gerais, determinando vazões de referências e procedimentos de outorgas para empreendimentos hidrelétricos.

## **1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

A fim de alcançar os objetivos aqui propostos, esta dissertação é construída com a seguinte estrutura:

### **Capítulo 1**

#### **INTRODUÇÃO**

Este capítulo tem por objetivo apresentar inicialmente, as motivações e os objetivos da dissertação e sínteses das publicações. Por fim, apresenta as contribuições deste trabalho.

### **Capítulo 2**

#### **CARACTERIZAÇÃO DE UMA PEQUENA CENTRAL HIDRÁULICA**

Este capítulo tem por objetivo apresentar a definição de uma pequena central hidráulica, sua classificação quanto à capacidade de regularização, quanto ao sistema de adução e quanto à sua potência e altura de projeto, os arranjos disponíveis para a construção da usina, turbinas hidráulicas mais utilizadas e geradores elétricos.

**Capítulo 3****CONTEXTO REGULATÓRIO E ATUAL**

Este capítulo apresenta as leis, decretos, resoluções no Brasil que envolve as PCHs. Enfoca no panorama atual das pequenas centrais hidráulicas no setor elétrico, mostrando sua contribuição potencial. Por fim, são descritas as etapas que o empreendimento deve percorrer até entrar em operação nacional, principalmente a etapa da estimativa do potencial hidrelétrico.

**Capítulo 4****METODOLOGIA PARA A ESTIMATIVA DO POTENCIAL HIDRELÉTRICO**

Apresenta a metodologia proposta, relatando todos os estudos necessários para estimar a potencialidade de uma bacia hidrográfica, seja ela em toda sua proporção ou apenas em um determinado trecho, segmento ou local.

**Capítulo 5****ESTUDO DE CASO**

O que foi proposto no capítulo 4 é exemplificado para uma bacia hidrográfica como forma de aplicação da teoria, relatando as análises feitas e os cálculos realizados, comparados com estudos já feitos no local.

**Capítulo 6****CONCLUSÕES**

Por fim, apresenta a avaliação da técnica aplicada, seja positiva ou negativa, relacionando as principais conclusões ao longo do trabalho. Além disso, citam-se sugestões para futuros trabalhos.

# 2 Caracterização de uma Pequena Central Hidráulica

## 2.1 DEFINIÇÃO DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRÁULICAS (PCH)

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), de acordo com a Resolução nº 652 de 09 de dezembro de 2003, define que os empreendimentos hidrelétricos com potência superior a 1.000 [KW] e igual ou inferior a 30.000 [KW], destinado à produção independente<sup>1</sup>, autoprodução ou produção independente autônoma<sup>2</sup> serão enquadrados como aproveitamentos com características de Pequenas Centrais Hidráulicas (PCHs) [1].

Para atender as características de PCHs, além das características potenciais, a área do reservatório, área da planta à montante do barramento, delimitada pelo nível de água máximo normal de montante, deverá ser inferior a 3,0 [Km<sup>2</sup>]. Caso o aproveitamento não siga essa condição de reservatório, deverá então verificar uma das seguintes condições [1]:

1. Atendimento à inequação:

$$A \leq \frac{14,3 \times P}{H_b} \quad (2.1)$$

Sendo:

P = Potência Instalada em [MW];

A = Área do reservatório em [Km<sup>2</sup>];

H<sub>B</sub> = queda bruta em [m], definida pela diferença entre os níveis d'água máximos normal de montante e normal de jusante.

1. Pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização do poder concedente para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia produzida, por sua conta e risco [1].  
 2. É a pessoa física ou jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebem concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo [1].

Se a conformidade vier desta expressão, a área do reservatório não poderá ser superior a 13 [Km<sup>2</sup>].

2. Reservatório cujo dimensionamento, comprovadamente, foi baseado em outros objetivos que não o da geração de energia elétrica.

Essa segunda condição salienta ao uso múltiplo das águas. A ANEEL poderá articular com a Agência Nacional das Águas – ANA, Comitês de Bacia Hidrográfica, os Estados e a Federação, quanto aos objetivos para definir as dimensões do reservatório, definidas após sua competência e destinação [1].

## 2.2 CLASSIFICAÇÃO DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRÁULICAS

A classificação das PCHs ocorre sob três critérios: quanto à capacidade de regularização; quanto ao sistema de adução; e quanto à potência instalada e queda de projeto [2].

### 2.2.1 CENTRAIS QUANTO À CAPACIDADE DE REGULARIZAÇÃO

Quanto à capacidade de regularização as PCHs possuem três tipos [2]:

- A Fio d'Água

Nessa categoria, as PCHs não utilizam a bacia para uma acumulação relevante e emprega a vazão concedida pelo curso do rio, nesse caso, desprezando o volume do reservatório cedido pela barragem. É empregado quando as vazões de estiagem do rio são iguais ou maiores que a descarga necessária à potência a ser instalada para atender a demanda máxima prevista.

O sistema de adução deverá ser projetado para conduzir a descarga necessária para fornecer a potência que atenda à demanda máxima. O aproveitamento energético do local será parcial e o vertedouro funcionará na quase totalidade do tempo, extravasando o excesso de água.

Esse tipo de PCH apresenta, dentre outras, as seguintes simplificações:

- dispensa estudos de regularização de vazões;
- dispensa estudos de sazonalidade da carga elétrica do consumidor; e
- facilita os estudos e a concepção da tomada d'água.

No projeto:

- não havendo flutuações significativas do nível de água do reservatório, não é necessário que a tomada d'água seja projetada para atender as depleções do nível de água;

- do mesmo modo, quando a adução primária é projetada através de canal aberto, a profundidade do mesmo deverá ser a menor possível, pois não haverá a necessidade de atender às depleções;

- pelo mesmo motivo, no caso de haver necessidade de instalação de chaminé de equilíbrio, a sua altura será mínima, pois o valor da depleção do reservatório que entra no cálculo dessa altura é desprezível;

- as barragens serão normalmente baixas, pois tem a função apenas de desviar a água para o circuito de adução;

- como as áreas inundadas são pequenas, os valores despendidos com indenizações serão reduzidos.

- Acumulação com Regularização Diária do Reservatório

Esse tipo de PCH é empregado quando as vazões de estiagem do rio são inferiores à necessidade para fornecer a potência para suprir a demanda máxima do mercado consumidor e ocorrem com risco superior ao adotado no projeto. Nesse caso, o reservatório fornecerá o adicional necessário de vazão regularizada.

- Acumulação com Regularização Mensal do Reservatório

Quando o projeto de uma PCH considera dados de vazões médias mensais no seu dimensionamento energético, analisando as vazões de estiagem médias mensais, pressupõe-se uma regularização mensal das vazões médias diárias, promovidas pelo reservatório.

## 2.2.2 CENTRAIS QUANTO AO SISTEMA DE ADUÇÃO

Quanto ao sistema de adução, são considerados dois tipos de PCH [2]:

- Adução em baixa pressão com escoamento livre em canal / alta pressão em conduto forçado;

## Capítulo 2 – Caracterização de uma Pequena Central Hidráulica

---

- Adução em baixa pressão por meio de tubulação / alta pressão em conduto forçado.

A escolha de um ou outro tipo dependerá das condições topográficas e geológicas que apresente o local do aproveitamento, bem como de estudo econômico comparativo.

Para sistema de adução longo, quando a inclinação da encosta e as condições de fundação forem favoráveis à construção de um canal, este tipo, em princípio, deverá ser a solução mais econômica. Para sistema de adução curto, a opção por tubulação única para os trechos de baixa e alta pressão, deve ser estudada.

### 2.2.3 CENTRAIS QUANTO À POTÊNCIA INSTALADA E QUANTO À QUEDA DE PROJETO

As PCHs podem ser ainda classificadas quanto à potência instalada e quanto à queda de projeto, como mostrado na Tabela 2.1 adiante, considerando-se os dois parâmetros conjuntamente, uma vez que um ou outro isoladamente não permite uma classificação adequada.

**Tabela 2.1 - Classificação das PCH quanto à potência e quanto à queda de projeto**

<b>Classificação das Centrais</b>	<b>Potência - P (KW)</b>	<b>Queda de Projeto - <math>H_d</math> (m)</b>		
		Baixa	Média	Alta
<b>MICRO</b>	$P < 100$	$H_d < 15$	$15 < H_d < 50$	$H_d > 50$
<b>MINI</b>	$100 < P < 1.000$	$H_d < 20$	$20 < H_d < 100$	$H_d > 100$
<b>PEQUENAS</b>	$1.000 < P < 30.000$	$H_d < 25$	$25 < H_d < 130$	$H_d > 130$

Fonte: Eletrobrás (2000) [2]

Para as centrais com alta e média queda, onde existe um desnível natural elevado, a casa de força fica situada, normalmente, afastada da estrutura da barragem. Consequentemente, a concepção do circuito hidráulico de adução envolve, rotineiramente, canal ou conduto de baixa pressão com extensão longa.

Para as centrais de baixa queda, todavia, a casa de força fica, normalmente, junto da barragem, sendo a adução feita através de uma tomada d'água incorporada à barragem.

## 2.3 COMPONENTES BÁSICOS DE UMA PCH

Para entender os fatores que interferem os benefícios de uma PCH é preciso antes compreender a função que os principais componentes têm diante de um aproveitamento hidrelétrico.

Destacam-se para as pequenas centrais hidráulicas os seguintes componentes [3] [4]:

- Barragem: é a estrutura de uma central responsável em elevar e manter o nível a montante da casa de máquinas, criando, artificialmente, um desnível local.
- Vertedouro: projetado com objetivo de escoar a cheia de projeto para a manutenção do nível da água do reservatório em uma cota desejável, evitando o risco de a água atingir a crista da barragem. É a estrutura de segurança da barragem.
- Circuito de geração: constituído por canais, tomadas d'água, condutos ou túneis de adução de baixa pressão, eventuais chaminés de equilíbrio ou câmaras de carga, condutos ou túneis forçados de alta pressão, casa de força externa ou subterrânea e canal ou túneis de fuga. O circuito de geração tem por finalidade aduzir a água para a transformação de energia mecânica em energia elétrica.

Para o circuito de geração têm-se:

- Tomada d'água: estrutura destinada a captar a água para o conduto forçado ou canal/túnel de adução.
- Canal e Túnel de Adução: estruturas responsáveis por aduzir a água até o conduto forçado em arranjos de derivação.
- Chaminé de Equilíbrio: tem a finalidade de estabilizar as variações de pressão resultantes de variação parcial ou total da vazão turbinada nas situações de partida, variações de carga ou rejeição de carga da unidade geradora.
- Câmara de carga: é a estrutura que realiza a transição entre o canal e a tomada d'água do conduto forçado. É dimensionada com o objetivo de atender condições críticas de partida e parada brusca da unidade geradora.
- Conduto Forçado: é a estrutura que liga a tomada d'água à casa de força funcionando sob pressão. Os condutos forçados podem ser externos ou em túneis.

- Casa de força: estrutura que abriga os equipamentos elétricos e mecânicos. O arranjo típico da casa de força é como em todo projeto dessa natureza, condicionado pelo tipo de turbina e do gerador.
- Túnel ou canal de fuga: localizado à jusante do tubo de sucção, entre a casa de força e o rio, é o canal através do qual a vazão turbinada é restituída ao rio.

## **2.4 ARRANJOS DAS ESTRUTURAS DE APROVEITAMENTOS HIDRELÉTRICOS**

A definição dos arranjos das estruturas para um aproveitamento hidrelétrico é o resultado da combinação das variantes geológicas, geotécnicas e topográficas do local escolhido. O melhor resultado deve conter todos os elementos e contenções do empreendimento, agilidade de operação, segurança e manutenção, combinados de forma a reduzir o impacto socioambiental e os custos globais.

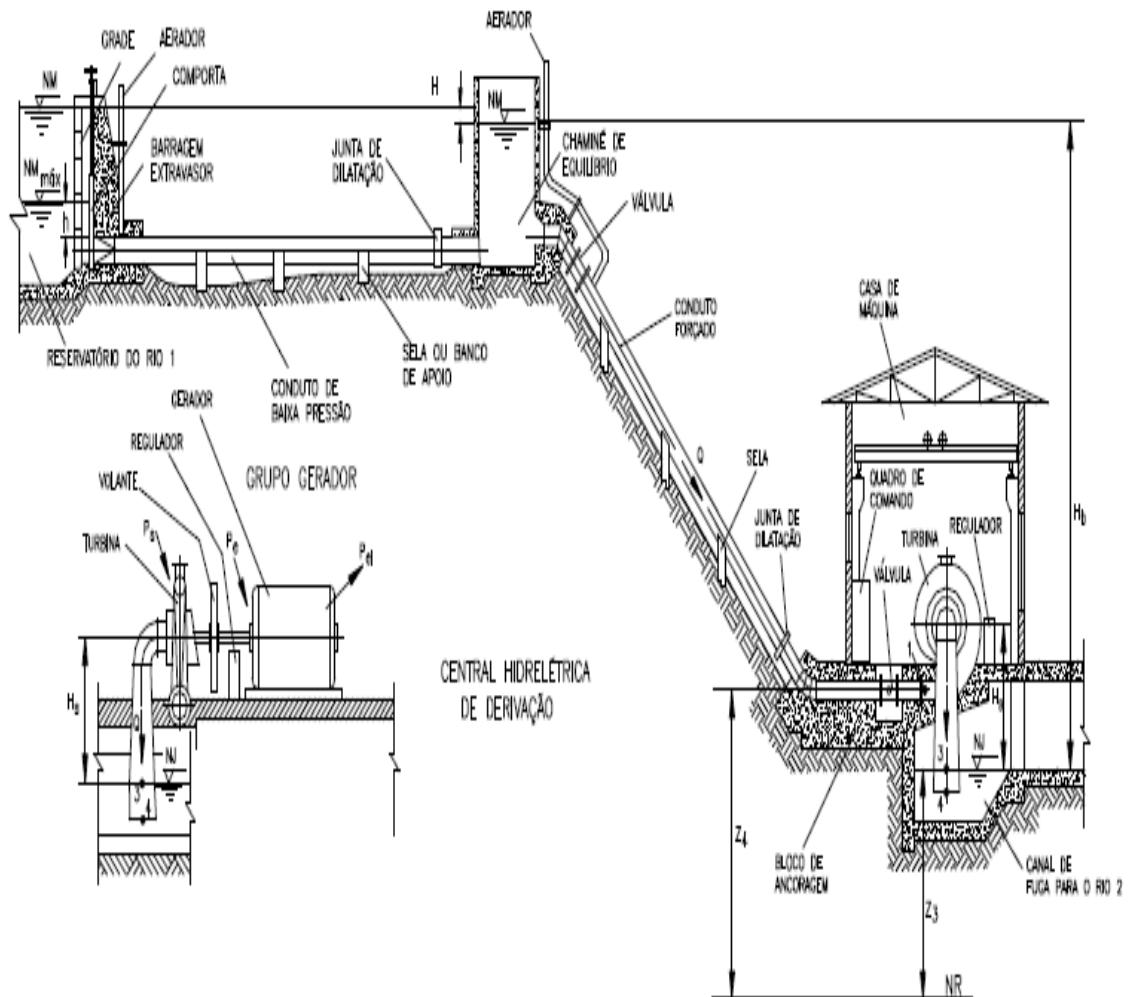
Em função desses aspectos, existem basicamente dois tipos de arranjos para PCHs [2]:

### **2.4.1 LOCAL COM QUEDA NATURAL LOCALIZADA**

Nesses locais, o arranjo, quase sempre, contempla uma barragem, a montante da queda, contendo vertedouro e tomada d'água. A casa de força fica, normalmente, posicionada longe do barramento. O circuito hidráulico de adução, em uma das ombreiras, é composto por dois trechos, sendo um de baixa pressão e outro de alta pressão. O trecho de baixa pressão, em função dos aspectos topográficos e geológico-geotécnicos locais, é constituído por canal ou conduto. O trecho de alta pressão é constituído por conduto(s) forçado(s).

Entre esses dois trechos prevê-se, em função do desnível, do tipo e comprimento da adução, uma câmara de carga e/ou chaminé de equilíbrio. A jusante do(s) conduto(s) forçado(s) posicionam-se a casa de força e o canal de fuga.

Esse tipo de arranjo é denominado como aproveitamento em derivação [3]. A Figura 2.1 apresenta um aproveitamento hidrelétrico em derivação.

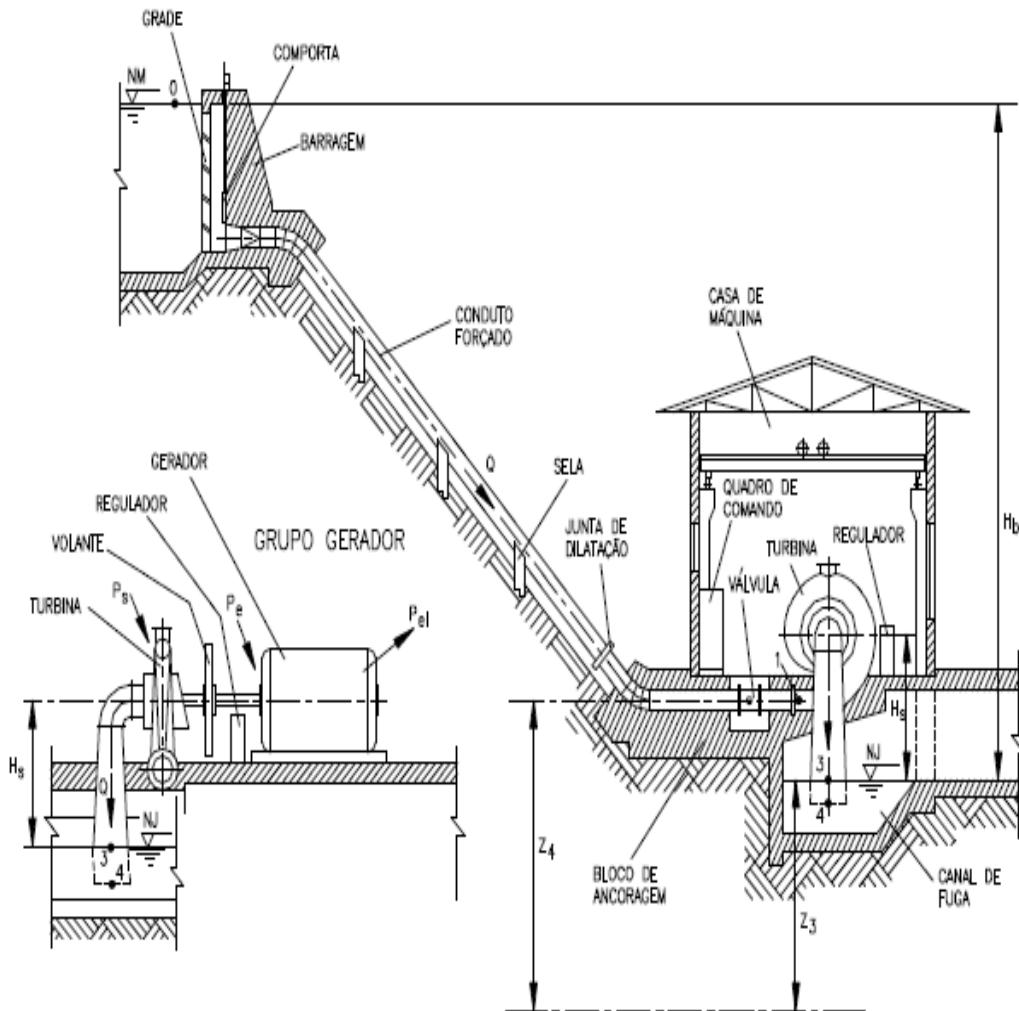


**Figura 2.1 - Desenho esquemático de um aproveitamento hidrelétrico em derivação.**  
Fonte: Justino (2006) [4]

#### 2.4.2 LOCAL SEM QUEDA NATURAL LOCALIZADA

Nesses locais, onde o desnível é criado pela própria barragem, tem-se, normalmente, um arranjo compacto com as estruturas alinhadas e com a casa de força localizada no pé da barragem. A adução é feita através de uma estrutura de tomada d'água, convencional, incorporada ao barramento e à casa de força.

Alternativas de arranjo podem ser estudadas, visto que cada local possui suas particularidades. A Figura 2.2 mostra um exemplo de um empreendimento hidrelétrico de represamento.



**Figura 2.2 - Desenho esquemático de um aproveitamento hidrelétrico com represamento.**  
Fonte: Justino (2006) [4]

## 2.5 EQUIPAMENTOS ELETROMECÂNICOS – TURBINAS HIDRÁULICAS APlicáveis

As turbinas hidráulicas são elementos responsáveis pela transformação da energia hidráulica (potencial), em energia cinética de movimento do rotor, e consequentemente, em energia mecânica de rotação do eixo, de acordo com a ABNT - NBR 6445, de 1987 [5].

Elas podem ser classificadas de acordo com o seu modo de operação: turbinas de ação e turbinas de reação.

Nas turbinas de ação, a energia hidráulica disponível pela água é transformada em energia cinética para, depois de incidir com as pás do rotor, transforma-se em energia mecânica, como a turbina Pelton. Nas turbinas de reação,

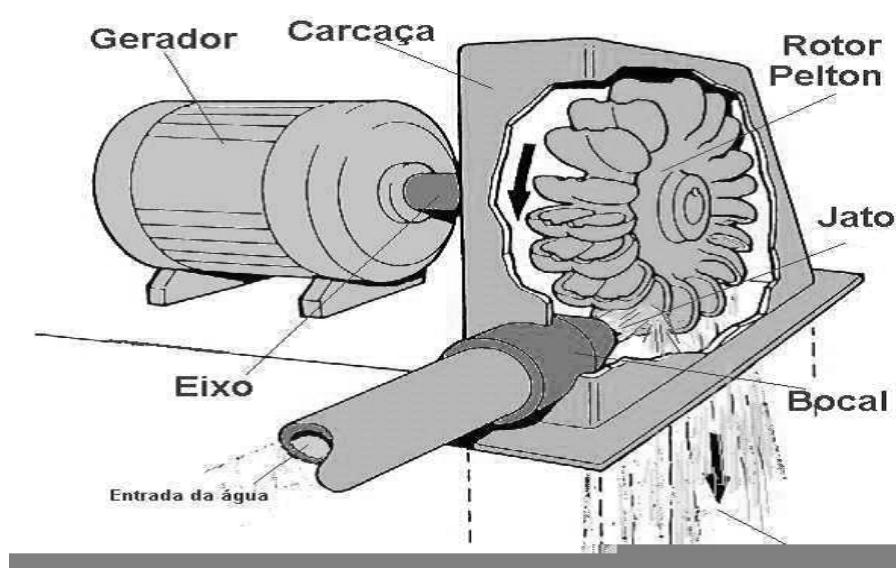
a energia hidráulica disponível é transformada diretamente em energia mecânica, como as turbinas Francis e Kaplan.

São várias as turbinas que podem ser utilizadas nas PCHs. As turbinas hidráulicas dividem-se em diversos tipos, sendo quatro tipos principais: Pelton, Francis, Kaplan, Bulbo. Cada um destes tipos é adaptado para funcionar em usinas com uma determinada faixa de altura de queda e vazão. As vazões volumétricas podem ser igualmente grandes em qualquer uma delas, mas a potência será proporcional ao produto da queda e da vazão volumétrica [2].

### 2.5.1 TURBINA PELTON

São turbinas de ação porque utilizam a velocidade do fluxo de água para provocar o movimento de rotação. A sua constituição física consiste numa roda circular que na sua periferia possui um conjunto de copos ou conchas sobre os quais incidem, tangencialmente, jatos de água dirigidos por um ou mais injetores distribuídos de forma uniforme na periferia do rotor [6].

Estas turbinas podem ser de eixo vertical ou horizontal e são utilizadas em aproveitamentos hidrelétricos caracterizados por pequenas vazões e elevadas quedas. Sua faixa de aplicação para as PCHs atende quedas de 100m a 500m e potências de 500 a 12.500 KW. Em casos excepcionais a queda pode ir até 1000m. A Figura (2.3) mostra o esquema de uma Turbina Pelton [2].



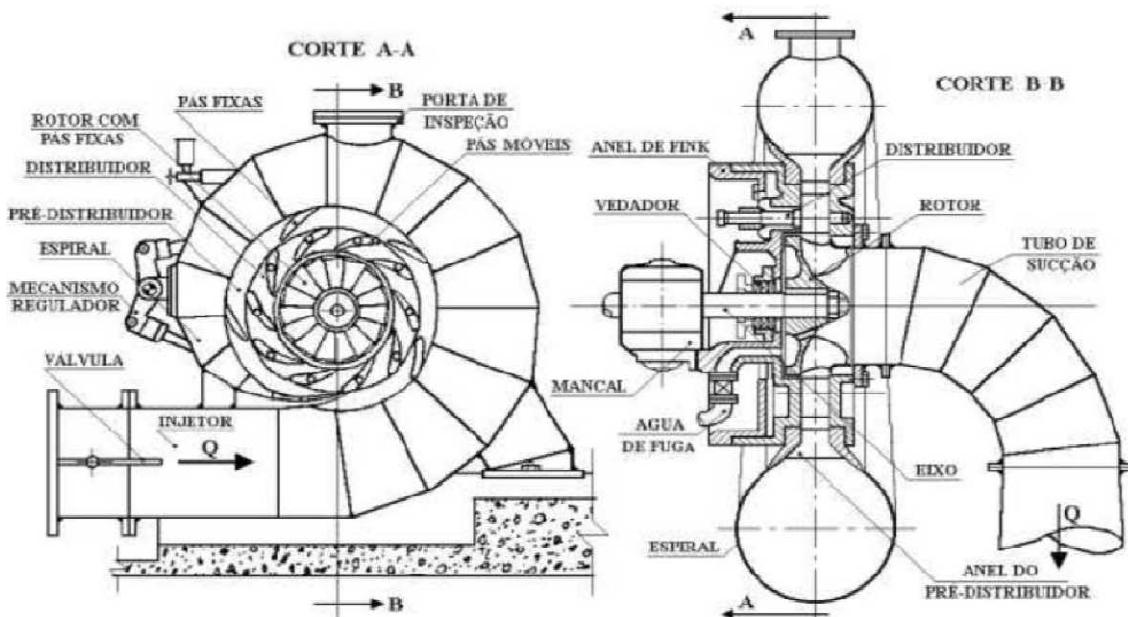
**Figura 2.3 - Esquema de uma Turbina Pelton**

Fonte: Araujo (2009) [6]

## 2.5.2 TURBINA FRANCIS

As turbinas Francis são turbinas de reação, com lâminas fixas e palhetas guia ajustáveis. Nessa turbina, a entrada de água é sempre radial, mas a saída é axial [6].

A água pressurizada entra através do injetor em um tubo em forma de espiral que cerca as pás móveis e passa por pás fixas na direção radial para dentro da turbina. O rotor é acionado pela água que exerce pressão nas pás móveis. A Figura (2.4) apresenta a turbina francis de eixo horizontal e caixa espiral [6].



**Figura 2.4 - Turbina Francis de eixo horizontal e caixa espiral**

Fonte: Araujo (2009) [6]

Podem ser classificadas em [2]:

Turbina Francis Espiral – caracteriza-se por possuir uma caixa espiral a montante do conduto forçado. Dentro da caixa estão as pás do distribuidor. É utilizada para quedas entre 15 a 250m e potências entre 500 kW a 15 MW.

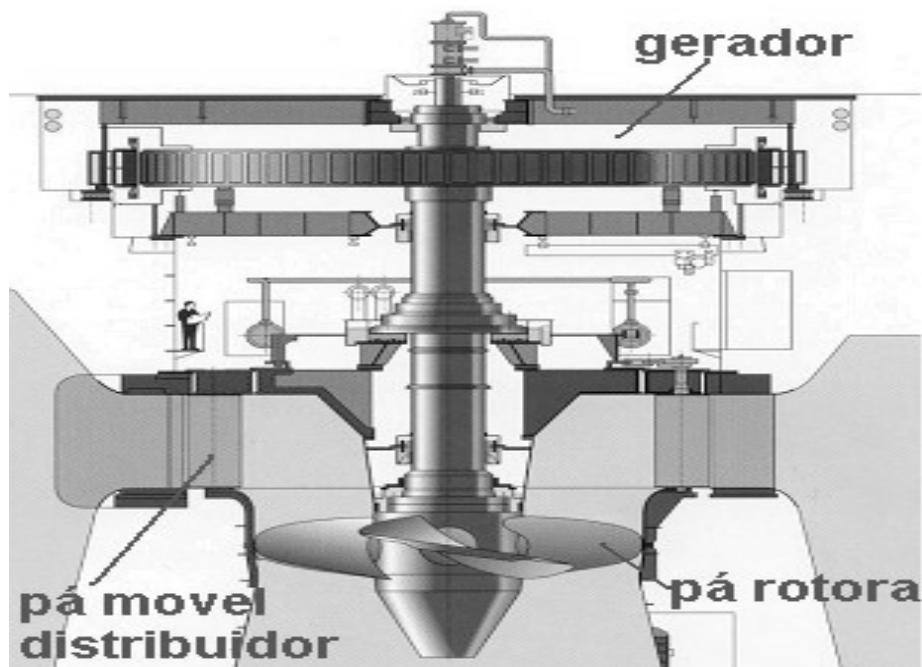
Turbina Francis Caixa Aberta – É construída sem um conduto forçado e caixa espiral e possui o conduto de sucção, o distribuidor e o rotor ligados diretamente com o tubo de sucção d'água. É utilizada para quedas de até 10m e potências entre 500 KW a 1,8 MW.

### 2.5.3 TURBINA KAPLAN

É uma turbina classificada também como de reação, na qual o fluxo d'água tem direção radial no distribuidor, aproximadamente axial na entrada do rotor, porém para a turbina Kaplan as pás têm passo regulável, podendo ser ajustada em pleno funcionamento [6].

As turbinas Kaplan são reguladas através da ação do distribuidor e com auxílio da variação do ângulo de ataque das pás do rotor o que lhes confere uma grande capacidade de regulação [6].

Apresenta uma faixa de operação que atende a quedas de 4 a 25 m e potências de 500 a 5000 KW. A Figura (2.5) apresenta o esquema de funcionamento da Turbina Kaplan [2].



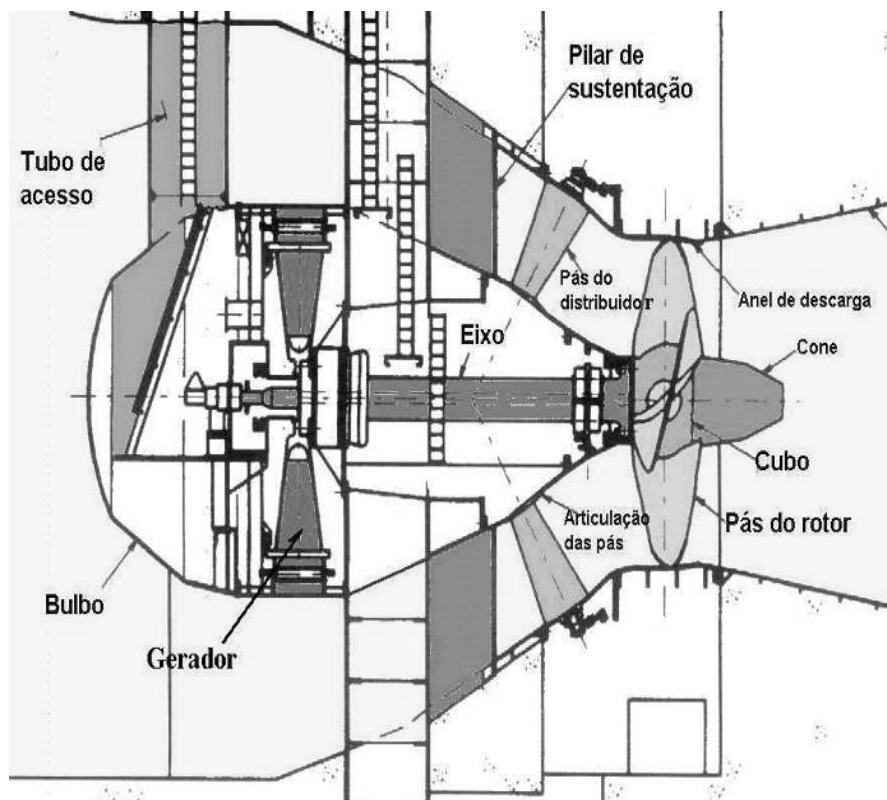
**Figura 2.5 - Esquema de funcionamento da Turbina Kaplan**

Fonte: Araujo (2009) [6]

### 2.5.4 TURBINA BULBO

É uma versão compacta da turbina Kaplan. O gerador é conectado diretamente no eixo do rotor e posicionado na mesma linha da turbina quase na posição horizontal e é envolvido por um bulbo que o protege da água que passa ao seu redor antes de alcançar as pás da turbina [6].

É utilizada normalmente em baixas quedas e para PCHs a fio d'água. Atende a quedas de 4 a 12m e potência até 1700 KW [2]. A Figura (2.6) mostra o esquema da Turbina Bulbo.



**Figura 2.6 - Esquema de funcionamento da Turbina Bulbo**  
Fonte: Araujo (2009) [6]

## 2.6 GERADORES ELÉTRICOS

Os geradores elétricos para centrais hidrelétricas, em princípio, podem ser síncronos ou assíncronos (indução) [7].

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. É o tipo mais utilizado de gerador, para pequenas e grandes potências (hidrelétricas e térmicas). Seu rotor é magnetizado por uma fonte de corrente contínua (CC), excitatriz, e é levado a girar por um acionador mecânico externo [7].

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. 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 [7].

As especificações para determinar qual o gerador para uma usina englobam: potência nominal, tensão nominal, fator de potência nominal, valores de reatância e rotação nominal. Ainda também, os arranjos de montagem são fatores a serem observados [2].

# 3 Contexto Regulatório e Atual

## 3.1 ATOS INSTITUCIONAIS

A legislação brasileira ao longo dos anos foi estabelecendo em sua estrutura, um ambiente que dispõe de elementos capazes de desenvolver empreendimentos no setor elétrico, que atende praticamente a todos os pontos desse setor. Após a criação da ANEEL, as pequenas centrais hidráulicas receberam fortes incentivos institucionais e regulamentais. As principais regulamentações que envolvem estes tipos de empreendimentos são relatadas abaixo:

1. Lei nº 9.074, de 07 de julho de 1995, estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos [8];
2. Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, que institui a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências [9];
3. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos [10];
4. Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998, altera dispositivos das Leis nº 9.074/1995 e 9.427/1996 e autoriza o Poder Executivo a reestruturar a Centrais Elétricas Brasileiras – ELETROBRÁS [11];
5. Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, que dispõe sobre a criação da Agência Nacional das Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e da coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos [12];
6. Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, dispõe sobre realização de investimento em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências [13];

---

**Capítulo 3 – Contexto Regulatório e Atual**

7. Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária e universalização do Serviço Público de Energia Elétrica, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia - PROINFA, a Conta de Desenvolvimento Energético - CDE, dá nova redação a diversas leis e dá outras providências [14];
8. Lei nº 10.762, de 11 de novembro de 2003, dispõe sobre a criação do Programa Emergencial e Excepcional de Apoio às Concessionárias de Serviços Públicos de Distribuição de Energia Elétrica e altera artigos de diversas leis [15];
9. Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004, que autoriza a criação da Empresa de Pesquisa Energética - EPE e dá outras providências [16];
10. Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004, que trata o novo modelo do setor elétrico e altera outras leis [17];
11. Decreto nº 2.003, de 10 de setembro de 1996, que regulamenta a produção de energia elétrica por produtor independente e por autoprodutor, e dá outras providências [18];
12. Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004, que regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências [19];
13. Decreto nº 5.184, de 16 de agosto de 2004, que cria a Empresa de Pesquisa Energética - EPE, aprova seu Estatuto Social e dá outras providências [20].
14. Resolução ANEEL nº 248, de 06 de maio de 2002, atualiza os procedimentos para cálculos dos limites de repasse dos preços de compra de energia elétrica, para as tarifas de fornecimento [21];
15. Resolução ANEEL nº 652, de 9 de dezembro de 2003, que estabelece os critérios para o enquadramento de aproveitamento hidrelétrico na condição de Pequenas centrais hidráulica (PCH) e revoga a Resolução ANEEL nº 394, de 04 de dezembro de 1998 [1];

---

**Capítulo 3 – Contexto Regulatório e Atual**

**16.** Resolução ANEEL nº 343, de 9 de dezembro de 2008, que estabelece procedimentos para registro, elaboração, aceite, análise, seleção e aprovação de Projeto Básico e para autorização de aproveitamento de potencial de energia hidráulica com características de Pequenas centrais hidráulica - PCH, bem como revoga as disposições em contrário, das Resoluções ANEEL 393 e 395 de 04/12/1998 [22];

**17.** Resolução ANEEL nº 559, de 27 de junho de 2013, estabelece o procedimento de cálculo das Tarifas de Uso de Sistema de Tranmissão – TUST [23];

**18.** Resolução CONAMA nº 01, de 23 de janeiro de 1986, define as situações e estabelece os requisitos e condições para desenvolvimento de Estudo de Impacto Ambiental - EIA, e respectivo Relatório de Impacto Ambiental – RIMA [24];

**19.** Resolução CONAMA nº 279, de 27 de junho de 2001, determina os procedimentos e prazos a serem aplicados, em qualquer nível de competência ao licenciamento ambiental simplificado de empreendimentos elétricos com pequeno potencial de impacto ambiental, tais como usinas hidrelétricas, usinas térmicas, sistema de transmissão de energia elétrica e usinas eólicas [25];

### **3.2 REGULAMENTAÇÕES PARA A INSERÇÃO DAS PCHs NO SETOR ELÉTRICO ATUAL**

Após a reestruturação do setor elétrico, que iniciou em 1995, uma série de leis, resoluções e decretos foram desenvolvidos com a finalidade de regular e regulamentar o setor, além de criar mecanismos para a atratividade de investimentos, ou seja, para que a competitividade no setor elétrico estabelecesse um ambiente de comercialização onde houvesse um número maior de agentes participando e atendendo o consumidor final diretamente ou podendo liquidar as eventuais sobras não contratadas no mercado de curto prazo [27].

Entre tais incentivos há aqueles que tratam dos investimentos e dizem respeito à organização do setor elétrico, à constituição de orgãos governamentais, às políticas de desenvolvimento para infra-estrutura, à utilização de recursos hidrícos, à proteção do meio ambiente, aos programas setoriais de apoio, à celebração de contratos entre os agentes, aos processos de autorização do Poder

---

**Capítulo 3 – Contexto Regulatório e Atual**

---

Concedente, ao licenciamento ambiental, dentre outros, dando sustentação e estabilidade para as mudanças. Abaixo, são retratadas as principais regulamentações para as PCHs [26]:

- 1.** Autorização não - onerosa para explorar o potencial hidráulico (Lei nº 9.074, de 07 de julho de 1995 e Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996);
- 2.** Descontos não inferiores a 50% nos encargos de uso dos sistemas de transmissão e distribuição (Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002; Resolução ANEEL nº 281, de 10 de outubro de 1999; e Resolução ANEEL nº 219, de 13 de abril de 2003);
- 3.** Livre comercialização de energia com consumidores ou conjunto de consumidores reunidos por comunhão de interesse de fato ou de direito, cuja carga seja igual ou superior a 500 KW (Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998 e, Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002);
- 4.** Livre comercialização de energia com consumidores ou conjunto de consumidores reunidos por comunhão de interesse de fato ou direito, situados em sistema elétrico isolado, cuja carga seja igual a 50 KW (Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002).
- 5.** Isenção relativa à compensação financeira pela utilização de recursos hídricos (Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989, e Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996);
- 6.** Participação no rateio da Conta de Consumo de Combustível - CCC, quando substituir geração térmica a óleo diesel, nos sistemas isolados (Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002);
- 7.** Isenção de aplicação, anualmente, de no mínimo um por cento (1%) da receita operacional líquida em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico - P&D (Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000);
- 8.** Comercialização das energias geradas pelas pequenas centrais hidráulicas com concessionárias de serviço público tendo como teto tarifário o valor normativo estabelecido conforme a Resolução da ANEEL nº 248, de 06 de maio de 2002;

---

**Capítulo 3 – Contexto Regulatório e Atual**

**9.** MRE - Mecanismos de Realocação de Energia para centrais hidrelétricas conectadas ao sistema interligado e não despachas centralizadamente pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS (Decreto nº 2.655, de 02 de janeiro de 1998, com a redação dada pelo Decreto nº 3.653, de 07 de novembro de 2000, e a Resolução da ANEEL nº 169, de 03 de maio de 2001, complementada pelo Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004);

**10.** PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica instituído com o objetivo de aumentar a participação de energia elétrica produzida por empreendimentos de produtores independentes autônomos, concebidos com base em PCH, fonte eólica e biomassa, mediante procedimentos estabelecidos nas Leis nº 10.438, de 26 de abril de 2002, Lei nº 10.762, de 11 de novembro de 2003, e Decreto nº 4.541, de 23 de dezembro de 2002.

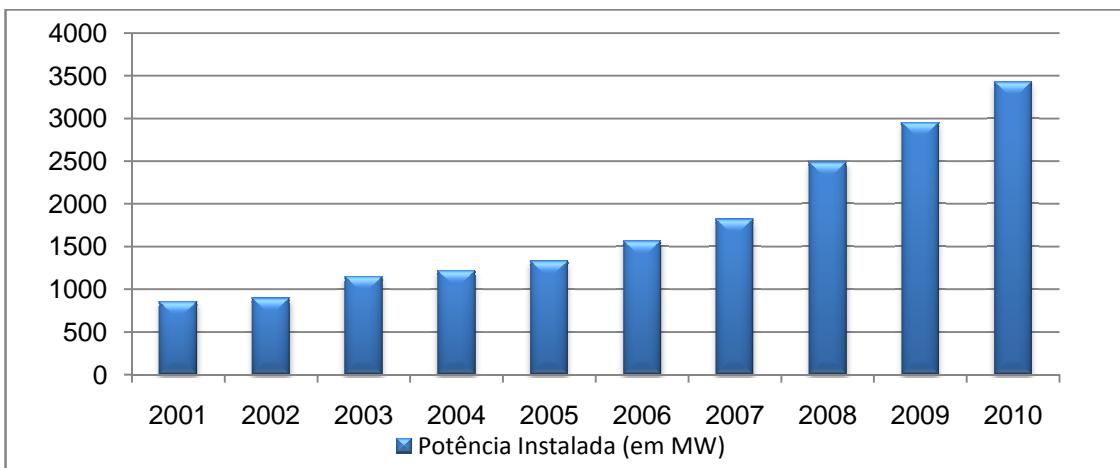
**11.** Revisão dos procedimentos e critérios utilizados no licenciamento ambiental que determina procedimentos e prazos a serem aplicados, em qualquer nível de competência ao licenciamento ambiental simplificado de empreendimentos elétricos com pequeno potencial de impacto ambiental. (Resolução do CONAMA nº 237, de dezembro de 1997, e Resolução do CONAMA nº 279, de 27 de junho de 2001).

### **3.3 CENÁRIO ATUAL DAS PCHs PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Com as recentes mudanças no inicio dos anos 2000, as pequenas centrais hidráulicas se tornaram mais atrativas para empreendedores que interessaram em gerar e comercializar a energia oriunda de tal fonte. Com isso, aumentou-se a capacidade de geração para o setor elétrico brasileiro.

Em 2001, o número de PCHs no Brasil era de 303 e com potência instalada de 855 MW. Com as modificações no setor e ao longo dos anos, em 2010, o número de empreendimentos já alcançava 387 e com uma potência instalada de 3.428 MW [28]. Em termos potenciais, o aumento na geração foi de pouco mais de 300% para a matriz energética brasileira na primeira década do século XXI somente com as pequenas centrais hidráulicas. A Figura 3.1 apresenta o gráfico evolutivo dos dados acima citados.

### Capítulo 3 – Contexto Regulatório e Atual



**Figura 3.1 - Evolução da Capacidade de Geração das PCHs no Brasil (2001-2010)**

Fonte: ANEEL (2014) [28]

Segundo dados da ANEEL em maio de 2014, a quantidade de PCHs em operação era de 462 e com uma potência instalada de 4.648 MW, o que representava 3,58% de toda matriz energética brasileira. Apesar do crescimento nos últimos 14 anos, a geração de energia desse segmento é fraca quando comparada com o grande potencial existente. Com os dados da Tabela (3.1) é possível de compreender o que as pequenas centrais hidráulicas representam no cenário atual do Brasil quando comparado com outras fontes de produção de energia elétrica.

**Tabela 3.1 - Empreendimentos energéticos em operação**

<b>Empreendimentos em Operação</b>				
<b>Tipo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência Outorgada (MW)</b>	<b>Potência Fiscalizada (MW)</b>	<b>%</b>
<b>CGH</b>	450	275,45	276,679	0,21
<b>EOL</b>	145	3.136,87	3.067,78	2,38
<b>PCH</b>	462	4.648,73	4.610,97	3,58
<b>UFV</b>	108	13.355	9.355	0,01
<b>UHE</b>	197	86.601,05	82.031,84	63,67
<b>UTE</b>	1830	39.049,13	36.861,42	28,61
<b>UTN</b>	2	1.990,00	1.990	1,54
<b>Total</b>	<b>3194</b>	<b>135.714,58</b>	<b>128.848,04</b>	<b>100</b>

Legenda: CGH - Central Geradora Hidrelétrica; EOL - Central Geradora Eólica; PCH - Pequenas centrais hidráulica; UFV - Central Geradora Solar Fotovoltaica; UHE - Usina Hidrelétrica; UTE - Usina Termelétrica; UTN - Usina Termonuclear  
Fonte: ANEEL (2014) [28]

Atualmente há 30 usinas com características de PCH em construção, que irá inserir uma potência 328 MW e 148 centrais outorgadas, que poderá aumentar em mais 2.038 MW na geração de energia elétrica através desta fonte alternativa de energia [28].

Para a obtenção da autorização para o empreendimento ser outorgado, construído e depois operar, existem algumas etapas a serem seguidas, são elas [29]:

- I. Estimativa do Potencial Hidrelétrico
- II. Inventário Hidrelétrico
- III. Viabilidade
- IV. Projeto Básico
- V. Projeto Executivo.

Esse é o caminho, desde a idealização do empreendimento até a sua entrada em operação nacional. Cada etapa possui seu significado e importância para o empreendimento, sendo que na etapa de Estimativa do Potencial Hidrelétrico, tema deste trabalho, acontece a identificação e avaliação inicial do aproveitamento de uma determinada bacia, rio, sítio, trecho, segmento ou local, obtendo assim permissão para prosseguir para a próxima etapa.

### **3.4 ETAPAS DE PROJETO**

A implantação de um empreendimento, que visa utilizar um aproveitamento hidrelétrico para a geração de energia elétrica, possui um ciclo de etapas que incluem fases que estimam, planejam e executam o projeto. Essas etapas, de acordo com o Manual de Inventário Hidrelétrico de Bacias Hidrográficas, da Eletrobrás, são [29]:

- 1. Estimativa do Potencial Hidrelétrico:** nesta etapa que se procede à análise preliminar das características da bacia hidrográfica, especialmente quanto aos aspectos topográficos, hidrológicos, geológicos e ambientais, no sentido de verificar sua vocação para geração de energia elétrica. Essa análise, exclusivamente pautada nos dados disponíveis, é feita em escritório e permite a primeira avaliação do potencial e estimativa de custo do aproveitamento da bacia hidrográfica e a definição de prioridade para a etapa seguinte.
- 2. Inventário Hidrelétrico:** se caracteriza pela concepção e análise de várias alternativas de divisão de queda para a bacia hidrográfica, formadas por um

---

**Capítulo 3 – Contexto Regulatório e Atual**

---

conjunto de projetos, que são comparadas entre si, visando selecionar aquela que apresente melhor equilíbrio entre os custos de implantação, benefícios energéticos e impactos socioambientais. Essa análise é efetuada com base em dados secundários, complementados com informações de campo, e pautado em estudos básicos cartográficos, hidrometeorológicos, energéticos, geológicos e geotécnicos, socioambientais e de usos múltiplos de água. Dessa análise resultará um conjunto de aproveitamentos, suas principais características, índices custo/benefício e índices socioambientais. Faz parte dos Estudos de Inventário submeter os aproveitamentos da alternativa selecionada a um estudo de Avaliação Ambiental Integrada visando subsidiar os processos de licenciamento. Estes aproveitamentos passam então a ser incluídos no elenco de aproveitamentos inventariados do País, passíveis de compor os planos de expansão anteriormente descritos.

**3. Viabilidade:** na qual são efetuados estudos mais detalhados, para a análise da viabilidade técnica, energética, econômica e socioambiental que leva à definição do aproveitamento ótimo que irá ao leilão de energia. Os estudos contemplam investigações de campo no local e compreendem o dimensionamento do aproveitamento, do reservatório e da sua área de influência e das obras de infraestrutura locais e regionais necessárias para sua implantação. Incorporam análises dos usos múltiplos da água e das interferências socioambientais. Com base nesses estudos, são preparados o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) de um empreendimento específico, tendo em vista a obtenção da Licença Prévia (LP), junto aos órgãos ambientais.

**4. Projeto Básico:** O aproveitamento concebido nos estudos de viabilidade é detalhado, de modo a definir, com maior precisão, as características técnicas do projeto, as especificações técnicas das obras civis e equipamentos eletromecânicos, bem como os programas socioambientais. Deve ser elaborado o Projeto Básico Ambiental com a finalidade de detalhar as recomendações incluídas no EIA, visando a obtenção da Licença de Instalação (LI), para a contratação das obras.

**5. Projeto Executivo:** que contempla a elaboração dos desenhos dos detalhamentos das obras civis e dos equipamentos eletromecânicos, necessários à

---

**Capítulo 3 – Contexto Regulatório e Atual**

---

execução da obra e à montagem dos equipamentos. Nesta etapa são tomadas todas as medidas pertinentes à implantação do reservatório, incluindo a implementação dos programas socioambientais, para prevenir, minorar ou compensar os danos socioambientais, devendo ser requerida a Licença de Operação (LO).

De acordo com tal divisão, a dissertação compreende a primeira etapa de desenvolvimento dos estudos para um aproveitamento hidrelétrico, que é a Estimativa do Potencial Hidrelétrico, chamada também de Estudo de Reconhecimento ou Prospecção de PCHs.

## 4 Metodologia para a Estimativa do Potencial Hidrelétrico

Atualmente, com as exigências que regulamentos e legislações impõem para a construção de usinas geradoras de energia, notadamente de meio ambiente, é necessário e possível organizar, já na fase inicial de estudos de uma bacia hidrográfica, análises multidisciplinares integradas dos aspectos técnicos, socioambientais e econômicos que são importantes para construções dessa natureza e que podem ser estudados e avaliados de maneira preliminar. Sistematizar a metodologia dessas atividades e análises importantes, incorporando alguns aspectos a outros, foi o objetivo dessa pesquisa, tendo como foco do trabalho as PCHs.

Na etapa de Estimativa do Potencial Hidrelétrico acontece a identificação e avaliação inicial do aproveitamento de uma determinada bacia, rio, sítio, trecho, segmento ou local, obtendo assim permissão para prosseguir para a etapa seguinte, o estudo do Inventário Hidrelétrico.

A importância desta etapa se dá ao fato de servir como um auxílio na verificação da atratividade que empresas que investem em projetos de PCHs precisam para culminar as decisões e avançar nos estudos de inventário hidrelétrico para determinada bacia hidrográfica.

Como a estimativa do potencial ocorre de forma secundária, pautada em dados de agências e instituições especializadas em cada aspecto analisado durante a execução da estimativa, não há necessidade de se investir nos próximos estudos onde foi possível identificar alguma(s) objeção(ões) ou pouco propensora energeticamente e, ainda, consegue-se analisar quais os aspectos merecem mais investimentos nos estudos de campo na fase de inventário hidrelétrico.

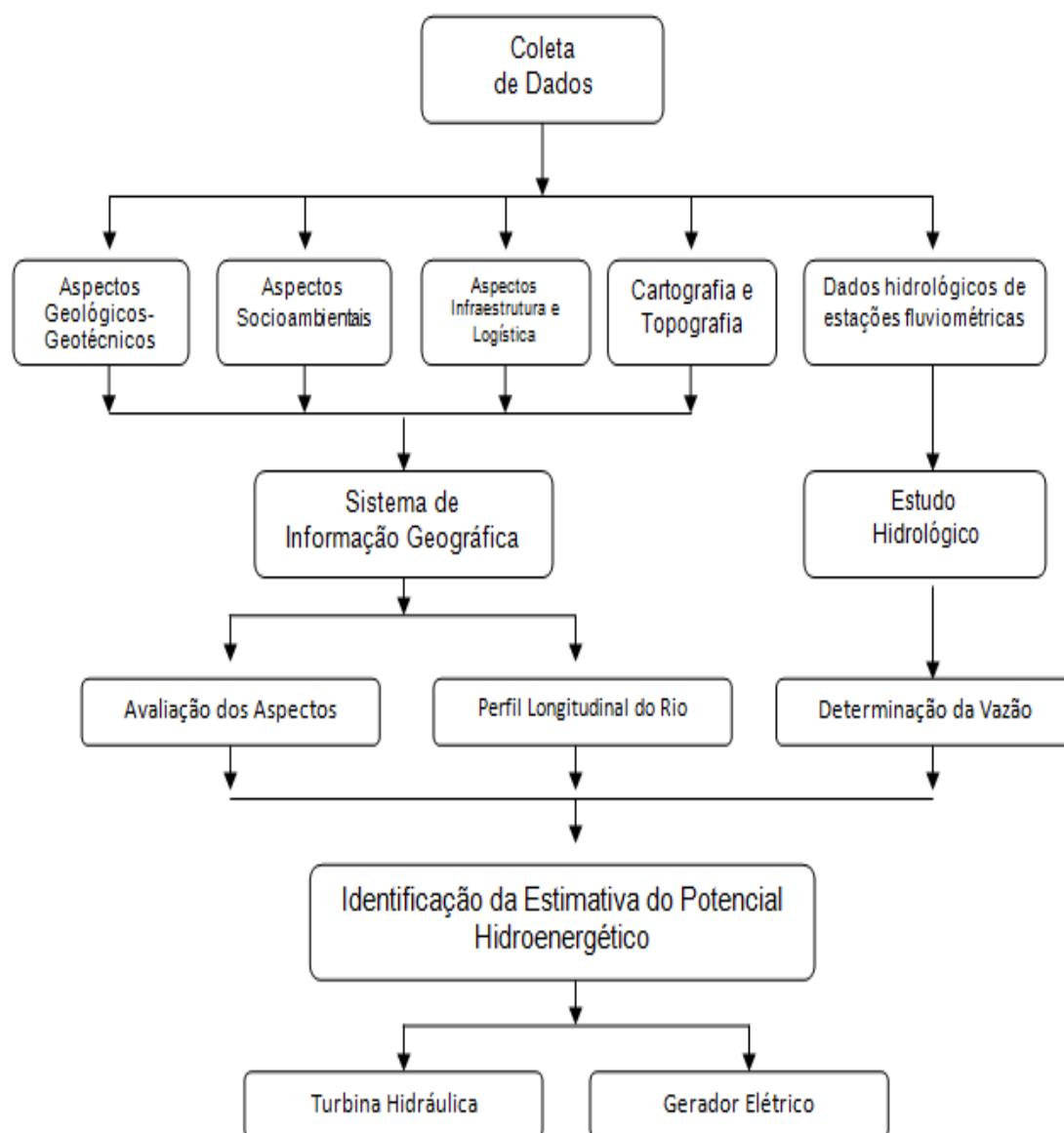
O desenvolvimento da fase de estimativa do potencial hidrelétrico, que no *lato sensu* o termo ganha o nome de etapa da prospecção, visa contribuir para a organização de uma estrutura de análise de cada um dos aspectos técnicos,

## Capítulo 4 – Metodologia para a Estimativa do Potencial Hidrelétrico

socioambientais e econômicos que são relevantes para empreendimentos desta natureza e que podem ser avaliados de forma preliminar [3].

Esta técnica de prospecção para identificar se um determinado trecho possui um potencial hidroenergético atrativo pode ser acoplada a uma ferramenta da geografia que utiliza dados de agências, instituições e organizações nacionais competentes, que possuem registros dos aspectos analisados durante esta etapa. Essa ferramenta é chamada de Sistema de Informação Geográfica (SIG).

A Figura 4.1 apresenta a organização para esta etapa inicial do trabalho.



**Figura 4.1 - Metodologia aplicada à estimativa do potencial hidrelétrico**

## 4.1 FERRAMENTA SIG

O termo geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia e planejamento urbano e rural. Por sua vez, o geoprocessamento faz uso de uma série de ferramentas computacionais denominadas Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para o tratamento de informações geográficas [30].

SIG é um sistema com capacidade para aquisição, armazenamento, tratamento, integração, processamento, recuperação, transformação, manipulação, modelagem, atualização, análise e exibição de informações digitais georreferenciadas (mesma coordenada geográfica), topologicamente estruturadas, associadas ou não a um banco de dados alfanumérico [30].

A utilização de tecnologias de Sistemas de Informações Geográficas permite introduzir informações e conhecimentos de diversas fontes em um mesmo ambiente, favorecendo o processo de auxílio à tomada de decisão e de manipulação de dados. Nestas ferramentas, toda a informação é armazenada em bancos de dados georreferenciados e separada através de camadas temáticas, o que contribui muito para a análise de empreendimentos com perfil multidisciplinar, como grandes obras de engenharia [3].

Devido à necessidade de relacionar dados de diferentes fontes, as ferramentas SIG possuem um importante papel para o planejamento, desenvolvimento e implementação de projetos de hidrelétricas. No ambiente SIG, dados georreferenciados podem ser armazenados, revisados e atualizados, além de possibilitar pesquisas, de maneira simples, economizando tempo e minimizando investimentos [3].

Atualmente, agências e instituições nacionais, tais como ANEEL, IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), ANA (Agência Nacional de Águas), CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais), IGAM (Instituto Mineiro de Gestão das Águas) e demais, fornecem um extenso banco de dados online, com informações georreferenciadas de topologia, infraestrutura de saneamento, meio-ambiente, linhas de transmissão, rodovias, ocupação do solo, entre outros, que

---

**Capítulo 4 – Metodologia para a Estimativa do Potencial Hidrelétrico**

---

nesta fase é de grande importância para verificar e caracterizar, até mesmo em grande escala, potenciais conhecidos ou não.

A partir desta análise, eliminam-se regiões com grande potencial de impactos negativos e com baixo potencial hidroenergético. Posteriormente, realiza-se uma seleção de favorabilidades ambientais à implantação de barramentos com base na topografia e nas variáveis selecionadas. As áreas com melhor valoração seguem para análise na segunda etapa, que é o levantamento de campo [31].

Porém, a utilização da ferramenta SIG não exclui a fase de levantamento de campo, mas permite uma melhor escolha para os estudos necessários realizados na fase seguinte pelos profissionais específicos de cada área que envolve uma PCH.

Dentro desta perspectiva, o software ArcGIS, que trabalha com o geoprocessamento, será utilizado para organizar os informes técnicos e socioambientais para a interpretação dos dados coletados.

O ArcGIS é um conjunto integrado de softwares de Sistema de Informação Geográfica produzido pela empresa americana ESRI (*Environmental Systems Research Institute*), que fornece ferramentas baseadas em padrões para a realização de análise espacial, armazenamento, manipulação, processamento de dados geográficos e mapeamento [30].

Foi utilizado um dos softwares do ArcGIS, o ArcMAP, para a criação dos mapas e leitura das informações, onde foram destacados os termos para a análise do local desejado. Nele foi possível organizar as informações geográficas, com suas semelhanças de contexto, para facilitar as interpretações.

As informações no ArcGis estão organizadas em arquivo de vários formatos. O formato utilizado nesse trabalho para colher os dados foi o Shapelite (.shp) pela facilidade de manipulá-lo no ArcMAP e pela disponibilidade nas instituições nacionais. É acompanhado sempre de mais dois arquivos que são do formato .dbf (arquivo que possui o banco de dados/atributos) e .shx (arquivo que cria o vínculo entre o .shp e .dbf).

## **4.2 COLETA DE DADOS**

A organização e a pesquisa contendo as informações da bacia a ser estudada corresponde a primeira etapa desta metodologia. A consulta e o acesso aos bancos

---

**Capítulo 4 – Metodologia para a Estimativa do Potencial Hidrelétrico**

---

de dados que órgãos nacionais fornecem sobre os aspectos em estudo emitem uma confiança e obtenção de resultados melhores.

Esse pluralismo de conhecimentos que envolve esta etapa, onde há disciplinas da engenharia elétrica, engenharia civil, geografia, topografia, geologia, e outras, compreende a integração dos dados e faz com que a extração dos resultados permita um melhor entendimento de um estudo de caso.

As informações necessárias colhidas são descritas nas Diretrizes para Estudo e Projetos de PCH, que são [2]:

- mapas diversos da região, inclusive os rodo-ferroviários, etc;
- mapas cartográficos e dados topográficos;
- imagens de satélites;
- perfil longitudinal do rio;
- sistema energético da região;
- dados hidrométricos observados pelas instituições oficiais;
- estudos hidrológicos já realizados na bacia;
- dados geológicos e geotécnicos, regionais e locais;
- dados ambientais sobre a região.

Todos os dados coletados foram inseridos dentro da ferramenta SIG, em um sistema onde as coordenadas geográficas são comuns, para que os dados sejam relacionados de forma integrada. Eles se encontram nos formatos compatíveis do ArcMAP e foram inseridos em camadas (layers) e utilizando os comandos do próprio software, foram gerados os mapas para interpretação e estudo de caso. O sistema de coordenadas utilizados foi o Datum WGS 1984 devido ao fato de ser o mais comum sistema dentre os arquivos coletados.

Dos critérios acima citados, os únicos fatores que não foram analisados através da ferramenta SIG foram os dados hidrológicos e hidrométricos da região estudada, dados estes que auxiliam na estimativa da vazão específica da bacia, a escolha do tipo de turbina e o dimensionamento da potência do gerador. Segundo as Diretrizes para Estudo e Projeto de PCH, a vazão para o local deverá ser estimada a partir de dados de postos hidrométricos da bacia/região [2].

## 4.3 ASPECTOS RELEVANTES ANALISADOS

### 4.3.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS – GEOTÉCNICOS

No projeto de uma usina hidrelétrica, seja uma PCH, ou uma hidrelétrica de grande porte, a investigação das feições geológicas relativas à área de sua implantação inclui abordagens e fases distintas, no âmbito dos estudos de inventário, viabilidade, projeto básico e projeto executivo, sendo que os domínios da investigação e as escalas de abordagem variam de acordo com o tipo de obra e com as etapas consideradas [32].

A geologia do local é fator importantíssimo para a concepção do aproveitamento e a atratividade de uma usina hidrelétrica. Dessa forma, é fundamental incorporar à fase de estimativa do potencial o estudo dos aspectos geológico-geotécnicos. Nessa fase, os estudos geológicos devem ser conduzidos de forma a examinar características geológicas importantes e identificar áreas potencialmente problemáticas e com fenômenos geológicos naturais que podem ameçar um projeto [3].

A implantação de empreendimentos sempre acaba por impor alterações na dinâmica ambiental da área de influência da obra, muitas vezes acelerando, induzindo e/ou intensificando a ocorrência de processos geológicos. Associa-se também, o fato de diferentes materiais responderem de modo distinto a solicitações semelhantes, resultando em comportamentos geotécnicos dos terrenos que muitas vezes afetam a segurança e a eficiência das obras [32].

Como a fase de estimativa possui uma identidade introdutória de fornecer subsídios necessários para a etapa seguinte e é realizada em escritório, não se realiza as visitas e sondagens de campo. Sendo assim, os estudos feitos compreenderam [2] [29] :

- Análises de fotografias aéreas;
- Obtenção de dados geotécnicos de outras usinas ou obras de porte estudadas e executadas na região, e/ou condições geológicas similares às existentes na área de estudo;

---

**Capítulo 4 – Metodologia para a Estimativa do Potencial Hidrelétrico**

---

- Mapas geológicos, geomorfológicos, de potenciais de mineração e de sismotectônica;
- Dados sobre recursos mineiras.
- Caracterização dos materiais naturais de construção disponíveis nas proximidades da bacia hidrográfica.

Para a realização dos estudos geológicos-geotécnicos, as principais ferramentas como método de investigação são: sensoriamento remoto, mapeamento geológico-geotécnico, ensaios geofísicos e sondagens mecânicas [32]. Para esta pesquisa, foi utilizado o mapeamento geológico-geotécnico por se tratar de ser uma técnica utilizada nas etapas iniciais de projetos hidrelétricos [32] e por se acoplar bem ao SIG, ferramenta base do presente trabalho, capaz de gerar o mapa de uma bacia hidrográfica, apresentando a geologia do local .

O mapeamento possibilita o acesso direto aos materiais que estão expostos na superfície. Este é um método de investigação que procura identificar as condições geológico-geotécnicas do terreno, caracterizando as diferentes unidades presentes na área e estimando o seu comportamento através de métodos de classificação geomecânicas. É necessária a associação entre as características dos elementos geológicos e os problemas geotécnicos, para entendimento dos problemas técnicos e das causas dos acidentes ocorridos ou passíveis de ocorrer [32].

#### **4.3.2 ASPECTOS SOCIOAMBIENTAIS**

Independente da caracterização de um empreendimento hidrelétrico, seja ele pequeno ou grande, existe a necessidade de atrelar a geração de energia elétrica com o mínimo de impacto social e ambiental.

No Brasil, existem diversos programas, políticas e instrumentos que formentam a questão socioambiental no âmbito do setor, como exemplo a Avaliação Ambiental Integrada (AAI) que avalia a situação ambiental de uma bacia hidrográfica com os empreendimentos hidrelétricos implantados e os potenciais barramentos, considerando seus efeitos cumulativos e sinérgicos sobre os recursos naturais e as populações humanas, e os usos atuais e futuros dos recursos hidrícos e o Estudo de

Impacto Ambiental (EIA) que, em um de seus objetivos, avalia a viabilidade ambiental do empreendimento e fornece subsídios para o seu licenciamento junto ao órgão ambiental competente [29].

Como os estudos iniciais e finais de impacto socioambiental, durante o ciclo de implantação de uma pequena central hidráulica, acontece a partir da fase de Inventário Hidrelétrico, na fase de estimativa, quanto ao aspecto socioambiental, fica a cargo de avaliar a possibilidade de inviabilidade futura dos locais que poderão ter a PCH implantada. Sendo assim, nesta etapa foram analisados:

#### **4.3.2.1 TÍTULOS MINERÁRIOS**

A existência de alguma atividade de mineração pode impedir o projeto da PCH, seja ela pelo tipo de substância existente ou em que fase (licença para pesquisa, autorização para pesquisa/trabalho, etc) se encontra a atividade, pois pode haver conflito de interesse entre as atividades que envolvem a mineração e a de geração de energia elétrica.

#### **4.3.2.2 UNIDADES DE CONSERVAÇÃO E TERRAS INDÍGENAS**

A Unidade de Conservação, previsto pela Lei 9985/2000, é o espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção [33]. São divididas em duas:

- Proteção Integral: Preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais, com exceção dos casos previstos na Lei em questão.
- Uso Sustentável: Compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela de seus recursos naturais.

Terras e Áreas Indígenas (Atuais e Planejadas) tem o objetivo de garantir a manutenção e sobrevivência física e cultural das comunidades indígenas. É preciso, então, verificar na área de interesse a existência de terras e áreas indígenas, visto que as mesmas são asseguradas no termo da Constituição Federal [34].

#### **4.3.2.3 ZONEAMENTO ECOLÓGICO – ECONÔMICO**

Se baseia em um índice que reflete a combinação da vulnerabilidade natural com o potencial social, ele é capaz de direcionar a ocupação do território para áreas que sejam aptas para suportar determinado uso, ou ainda, para áreas aptas que necessitam ser recuperadas antes de serem plenamente utilizados. Da mesma forma, áreas inaptas por algum motivo são preservadas, evitando prejuízos sócio-econômicos e ambientais [35].

#### **4.3.3 ASPECTO DE INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA**

Não só os fatores ambientais e de construção devem ser levados em consideração. Como elaborar um projeto para uma PCH sem possuir acesso rodoviário ao local para realizar o transporte dos materiais necessários? Como fazer a interligação ao Sistema Elétrico Nacional (SIN) ou até mesmo para geração comercial sem possuir as linhas de transmissão com o nível de tensão para uma PCH?

Essas questões também são levadas em consideração no estudo da exequibilidade do projeto. Os aspectos da infraestrutura disponível e da logística necessária à implantação do aproveitamento constituem-se em outro aspecto importante que deve ser avaliado durante a estimativa do potencial.

A viabilidade de projetos de pequenas centrais hidráulicas é muito sensível às condições do local onde se pretende construí-la. Diferentemente dos grandes empreendimentos hidrelétricos, a viabilidade das PCHs depende muito dos recursos necessários à infraestrutura acessória, como as linhas de transmissão e subtransmissão, estradas e rodovias e a logística de implantação da obra.

### **4.4 CARTOGRAFIA E TOPOGRAFIA**

Cartografia é uma ciência técnica, com apoio a arte, que se ocupa da elaboração de mapas, cartas e modelos de terrenos, utilizando-se do estudo e representação das situações especiais da superfície terrestre, e topografia é uma ciência aplicada, baseada na cartografia e na trigonometria, estuda os métodos de operação no terreno, cálculos e desenhos necessários ao levantamento e representação gráfica de uma parte da superfície terreste [36].

Os estudos topográficos, de acordo com as Diretrizes para Projetos de PCH para o Estudo Básico, a partir dos dados do local compreendem [2]:

- a elaboração da base cartográfica em escala adequada ao desenvolvimento do projeto, como, por exemplo, 1:1000;
- determinação da queda bruta disponível no local;
- o levantamento do perfil do rio no trecho de interesse;
- o levantamento da curva cota x área, e da curva cota x volume do reservatório, se for necessário;
- locação das estruturas;
- locação dos furos de sondagem;
- locação do reservatório.

Para a etapa da prospecção, os dados cartográficos e topográficos foram utilizados para a construção do perfil longitudinal de um rio e para a determinação da queda bruta no local desejado.

O perfil longitudinal de um rio está intimamente ligado ao relevo, pois comprehende à diferença de altitude entre a nascente e a foz ou confluência com outro rio. Por isso, ao analisar o perfil longitudinal, é possível constatar sua declividade ou gradiente altimétrico, pois se trata de uma relação visual entre a altitude e o comprimento de um determinado curso d'água [37]. Através do perfil longitudinal de um rio, a identificação de quedas naturais fica mais fácil, ou seja, a determinação da queda bruta.

#### **4.4.1 QUEDA BRUTA E QUEDA LÍQUIDA**

A queda líquida ( $H_L$ ) é igual a queda bruta ( $H_B$ ) menos a perda de carga total no sistema de aduação.

A definição de  $H_B$  é feita a partir da concepção do arranjo para determinado local que mostre ser atrativo energeticamente, conforme a topografia da bacia e região. Para esta etapa, os arranjos são simbólicos, apenas ajudando a representação e verificação da atratividade do local. Sendo assim, supõem que não

há regularizações de vazões, não há flutuações nos níveis de água tanto a montante quanto a jusante [2].

Dessa forma, as perdas no sistema de adução foram definidas equivalente as Diretrizes da Eletrobrás, onde a queda líquida será igual a queda bruta menos as perdas hidráulicas e nesta fase será adotada uma perda igual a 3% da queda bruta para casas de força ao “pé” da barragem e 5% para aduções em túnel/canal [2].

## **4.5 ESTUDOS HIDROLÓGICOS**

O estudo hidrológico é uma das sessões mais importantes em qualquer etapa de projeto para uma PCH. Na etapa da Estimativa do Potencial, o conhecimento e desenvolvimento de um estudo hidrológico é responsável por verificar a disponibilidade hidráulica, ou seja, a vazão em m<sup>3</sup>/s, de uma bacia hidrográfica, variável esta usada para estimar a energia produzida em determinado ponto do rio.

As Diretrizes para Projeto de PCH, da Eletrobrás, aplicam alguns conceitos e procedimentos para determinar a vazão. São eles [2]:

- A vazão (Q) para o local deverá ser estimada a partir de dados de postos hidrométricos da bacia/região;
- Deverá ser estabelecida para o local do aproveitamento uma série de vazões médias mensais derivadas de uma série histórica de um posto localizado no mesmo curso d’água ou na mesma bacia;
- Poderá efetivar a correlação direta entre áreas de drenagem de uma mesma bacia, quando limitada a diferença entre as mesmas de 3 a 4 vezes. A equação de correlação é definida pela Eq. (4.1) [2]:

$$Q_1 = \frac{A_1}{A_2} * Q_2 \quad (4.1)$$

Onde:

$A_1$  = área de drenagem do local do aproveitamento em [Km<sup>2</sup>];

$A_2$  = área de drenagem do posto existente em [Km<sup>2</sup>];

$Q_1$  = vazão do local do aproveitamento em [m<sup>3</sup>/s];

$Q_2$ = vazão do posto existente em [m<sup>3</sup>/s];

- A série histórica deve possuir pelo menos 25 anos de registro;
- A vazão Q pode ser a vazão mínima medida no local, ou  $Q_{95\%}$  (vazão disponível em 95% do tempo), ou ainda, a vazão média ( $Q'$ ) ao longo do período crítico do Sistema Interligado (jun/1949 a nov/1956).

Faria (2011) [3] afirma que, sempre que possível, na etapa de prospecção devem ser utilizados estudos hidrológicos existentes, calcados em dados de postos fluviométricos devidamente avaliados, quanto à sua qualidade e quantidade, para a estimativa da disponibilidade hídrica de uma seção de um curso d'água. Entretanto, uma rede de postos fluviométricos, ainda que densa, dificilmente atenderá com seus dados a todos os locais de interesse. Que nesse contexto, os estudos de regionalização de vazões podem ser considerados uma alternativa adequada para estimativa da disponibilidade hídrica [3].

Ainda de acordo com Faria (2011), o estudo de regionalização de vazões comprehende espacializar a informação hidrológica, normalmente pontual, possibilitando a transferência de informações de uma região para a outra dentro de uma área com comportamento hidrológico semelhante. A regionalização hidrológica envolve a determinação de variáveis em diferentes locais da região e é definida por limites geográficos, levando em consideração os limites de bacias hidrográficas. A variável regionalizada é estimada através de uma função de variáveis explicativas. Um exemplo adotado foi determinar valores de vazão através da precipitação média anual e área de drenagem, de acordo com a regionalização de vazões do Altas Digital das Águas de Minas, elaborado pelo Instituto Mineiro de Águas - IGAM, Fundação Rural Minas e Universidade de Viçosa [3].

Porém, as Diretrizes de Projetos de PCH recomenda a elaboração de um estudo de regionalização de vazões caso a diferença entre a área de estudo para a área do posto hidrométrico seja 4 vezes maior [2]. A consistência, ou não, dos dados de postos fluviométricos não deve ser o fator decisivo quanto a confiabilidade de seus resultados. Os fenômenos da natureza não são cabíveis de serem expressos de forma igualitária no decorrer dos anos e como eles acontecem, porém a análise dos dados de postos fluviométricos para a determinação da disponibilidade hidráica permite uma melhor compreensão do que ocorreu ao longo dos anos na bacia,

verificando a sua pontencialidade através dos dados disponíveis e podendo até estimar suas perspectivas para os anos seguintes, de forma secundária visto que se trata de uma fenômeno da natureza.

A Agência Nacional das Águas (ANA) possui 4.543 estações de monitoramento, estrategicamente localizadas nas várias bacias hidrográficas brasileiras, que é possível mensurar volumes de chuvas, a evaporação da água, o nível e a vazão dos rios, a quantidade de sedimentos e a qualidade das águas em estações respectivamente relacionadas: pluviométricas, evaporimétricas, fluviométricas, sedimentrométricas e da qualidade da água [38].

Dessa forma, a aplicação do estudo hidrológico a partir de séries históricas de vazões de uma bacia/rio para esta etapa inicial para determinar as possíveis vazões de projeto configura-se como um bom método a ser aplicado durante essa fase inicial devido ao grande número de estações existentes com dados de vazões e foi o método utilizado neste trabalho. Após ser realizado o estudo, poderá ser feita a correlação entre as áreas de drenagem, respeitando o limite de diferença entre as mesmas, como citado anteriormente.

#### **4.5.1 DIREITO DE USO DOS RECURSOS HÍDRICOS**

Todo e qualquer empreendimento que utilize ou afete os recursos hídricos está sujeito a legislação. A Agência Nacional de Águas (ANA) é o orgão federal responsável pelos recursos hídricos e tem como missão implementar e coordenar a gestão compartilhada e integrada dos recursos hídricos e regular o acesso a água, promovendo o uso sustentável em benefício das atuais e futuras gerações.

Os estudos hidrológicos precisam associar, durante a sua realização, aos aspectos legislativos de utilização dos recursos hídricos que os órgãos ambientais, nos níveis estaduais e federais, fixam para o uso nos procedimentos administrativos de licenciamento ambiental e concessão de outorga de água e construção de barragens.

É importante nos estudos hidrológicos o conhecimento da legislação vigente do orgão federal, ANA, e também dos órgãos estaduais onde o empreendimento poderá se localizar. A Figura (4.1) apresenta os órgãos estaduais que fazem a gestão dos recursos hídricos nos estados brasileiros.

## Capítulo 4 – Metodologia para a Estimativa do Potencial Hidrelétrico

ESTADO	ÓRGÃO GESTOR DE RECURSOS HÍDRICOS
ACRE	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais – SEMARN <a href="http://www.ac.gov.br">www.ac.gov.br</a>
ALAGOAS	Secretaria Executiva de Meio Ambiente, Recursos Hídricos e Naturais – SEMARHN <a href="http://www.semarhn.al.gov.br">www.semarhn.al.gov.br</a>
AMAPÁ	Secretaria de Estado do Meio Ambiente – SEMA <a href="http://www.sema.ap.gov.br">www.sema.ap.gov.br</a>
AMAZONAS	Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável <a href="http://www.ipaam.br">www.ipaam.br</a>
BAHIA	Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado da Bahia <a href="http://www.srh.ba.gov.br">www.srh.ba.gov.br</a>
CEARÁ	Secretaria de Recursos Hídricos – SRH <a href="http://www.srh.ce.gov.br">www.srh.ce.gov.br</a>
DISTRITO FEDERAL	Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMARH <a href="http://www.semarh.df.gov.br">www.semarh.df.gov.br</a>
ESPÍRITO SANTO	Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IEMA <a href="http://www.iema.es.gov.br">www.iema.es.gov.br</a>
GOIÁS	Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos – SEMARH <a href="http://www.semarh.goias.gov.br">www.semarh.goias.gov.br</a>
MARANHÃO	Gerência Adjunta de Meio Ambiente e Recursos Hídricos <a href="http://www.maranhao.gov.br">www.maranhao.gov.br</a>
MATO GROSSO	Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEMA-MT <a href="http://www.fema.mt.gov.br">www.fema.mt.gov.br</a>
MATO GROSSO DO SUL	Secretaria de Estado do Meio Ambiente – SEMA <a href="http://www.sema.ms.gov.br">www.sema.ms.gov.br</a>
MINAS GERAIS	Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM <a href="http://www.igam.mg.gov.br">www.igam.mg.gov.br</a>
PARÁ	Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente – SECTAM <a href="http://www.sectam.pa.gov.br">www.sectam.pa.gov.br</a>
PARAÍBA	Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais – SEMARH <a href="http://www.semarh.pb.gov.br">www.semarh.pb.gov.br</a>
PARANÁ	Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – SUDEHSA <a href="http://www.pr.gov.br">www.pr.gov.br</a>
PERNAMBUCO	Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente – SECTMA <a href="http://www.sectma.pe.gov.br">www.sectma.pe.gov.br</a>
PIAUÍ	Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos – SEMAR <a href="http://www.semar.pi.gov.br">www.semar.pi.gov.br</a>
RIO DE JANEIRO	Fundação Superintendência Estadual de Rios e Lagoas – SERLA <a href="http://www.serla.rj.gov.br">www.serla.rj.gov.br</a>
RIO GRANDE DO NORTE	Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos – SERHID <a href="http://www.serhid.rn.gov.br">www.serhid.rn.gov.br</a>
RIO GRANDE DO SUL	Secretaria do Meio Ambiente – SEMA <a href="http://www.sema.rs.gov.br">www.sema.rs.gov.br</a>
RORAIMA	Fundação Estadual do Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia de Roraima – FEMACT <a href="http://www.femact.rr.gov.br">www.femact.rr.gov.br</a>
RONDÔNIA	Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental – SEDAM <a href="http://www.rondonia.ro.gov.br/secretarias/sedam/sedam.htm">www.rondonia.ro.gov.br/secretarias/sedam/sedam.htm</a>
SANTA CATARINA	Fundação do Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina – FATMA <a href="http://www.fatma.sc.gov.br">www.fatma.sc.gov.br</a>
SÃO PAULO	Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE <a href="http://www.daee.sp.gov.br">www.daee.sp.gov.br</a>
SERGIPE	Secretaria de Estado do Planejamento e da Ciência e Tecnologia – SEPLANTEC <a href="http://www.prodase.com.br/seplanteccsrh">www.prodase.com.br/seplanteccsrh</a>
TOCANTINS	Instituto Natureza do Tocantins <a href="http://www.seplan.to.gov.br">www.seplan.to.gov.br</a>

**Figura 4.2 - Lista dos Órgãos Estaduais Responsáveis pela Gestão dos Recursos Hídricos**  
Fonte: ANEEL (2003) [26]

Sendo assim, instituições e empresas interessadas em implantar um empreendimento hidrelétrico deverão pesquisar as legislações vigentes onde o mesmo se localizará para poder estabelecer os estudos hidrológicos.

### 4.5.2 HIDROLOGIA ESTATÍSTICA

O conhecimento da disponibilidade hídrica é parte fundamental dos estudos hidrológicos de uma bacia hidrográfica, estudos estes pertencentes a etapa de estimativa do potencial hidrelétrico para determinar a vazão do rio ou a precipitação em um local ou região, incluindo a sua variabilidade temporal [39]. Por isso, é necessário utilizar alguns valores estatísticos que resumem, em grande parte, o comportamento hidrológico do rio ou da bacia. Neste contexto, faz-se necessário

---

**Capítulo 4 – Metodologia para a Estimativa do Potencial Hidrelétrico**


---

realizar uma análise estatística para determinar os valores da vazões de referência, vazões médias, vazões máximas e vazões mínimas, valores que podem entrar no cálculo do potencial energético (energia média).

Conforme descrito no início do item 4.5, as vazões de referência para os projetos de PCH são vazão mínima medida no local, ou  $Q_{95\%}$  (vazão que é superada em 95% do tempo estudado), ou ainda, a vazão média ( $Q'$ ) ao longo do período crítico do sistema interligado<sup>1</sup> (jun/1949 a nov/1956). Estes valores de vazão são encontrados após análises estatísticas da série histórica no local selecionado.

Com as perspectivas acima relatadas, as análises compreenderam e demonstraram os cálculos das seguintes variáveis estatísticas:

**I.** Média das Vazões: A vazão ou precipitação média é a média de toda a série de vazões ou precipitações registradas, e é muito importante na avaliação da disponibilidade hídrica total de uma bacia. As vazões médias mensais representam o valor médio da vazão para cada mês do ano, e são importantes para analisar a sazonalidade de um rio [22].

A média das vazões é encontrada através da Eq (4.2) [39]:

$$Q_{med} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n} \quad (4.2)$$

Onde:  $Q_{med}$  é a vazão média (diária, mensal ou anual),  $n$  é o número de dados disponíveis (diários, mensais ou anuais) e  $Q_i$  é a vazão (diária, mensal ou anual)

**II.** Curva de Permanência: A curva de permanência relaciona a vazão ou nível d'água de um rio com a sua probabilidade de ocorrerem valores iguais ou superiores, exemplo a vazão  $Q_{95\%}$ . Ela pode ser estabelecida com base em valores diários, semanais ou mensais para todo o período da série histórica disponível, ou ainda, se necessário, para cada mês do ano [2].

A sua elaboração é uma das análises estatísticas mais importante na hidrologia e para empreendimentos hidrelétricos. A curva de permanência auxilia na análise dos dados de vazão determinando a constância de seus valores, porcentagem do tempo em que o rio apresenta vazões em determinada faixa [2].

Os cálculos para a construção da curva envolvem variáveis de frequência (relativa e absoluta) e amplitude dos valores de vazões de série históricas de um rio

1- Período crítico como sendo o pior ciclo hidrológico ou o único ocorrido uma vez em 20 anos.

[39]. E também, é possível utilizar ferramentas computacionais que agilizam o trabalho e possuem a mesma confiabilidade para preparar a curva de permanência.

Para o cálculo da curva de permanência, o software HIDRO, fornecido pela Agência Nacional de Águas (ANA) e uma função do *OpenOffice Calc* chamada PERCENTIL são dois exemplos de ferramentas computacionais que agilizam o processo e gera o gráfico da curva de permanência.

Este trabalho utilizou, pela simplicidade de uso, a função PERCENTIL do *OpenOffice Calc*. Para a construção da curva utilizando o Percentil é necessário:

- Em uma coluna, inserir valores de duração, D, entre 0 e 1. (Ex: 0; 0,05; 0,1; 0,15; ...; 1);
- Para cada valor de duração, calcule a vazão equivalente usando a função = PERCENTIL (MATRIZ; 1- D);
- MATRIZ (M) é o conjunto de células onde se encontra a série de dados, organizadas em séries diárias, semanais ou mensais, e D é a duração.
- Fazer o gráfico Vazão/Probabilidade.

**III. Vazão de Sete Dias com Período de Recorrência de Dez Anos ( $Q_{7,10}$ ):** A vazão  $Q_{7,10}$ , ou seja, a vazão mínima média anual de 7 dias de duração com período de retorno de 10 anos, é utilizada em alguns estados brasileiros como vazão de referência para outorga dos usos dos recursos hídricos superficiais [40].

É um método que se insere dentro do grupo de Métodos Hidrológicos ou de vazões Históricas ou Empíricas onde são utilizadas apenas informações de vazões históricas para requerimento de vazões mínimas em rios. No Método  $Q_{7,10}$  trabalha-se com vazões mínimas para estabelecer a vazão máxima possível de ser utilizada pelos usuários. O valor obtido (a vazão mínima) visa manter os padrões de qualidade da água em corpos receptores de poluentes, sendo a quantidade suficiente para a sua remoção [40].

Para este estudo foi aplicado a função de distribuição de *Weibull* por ser considerado como um dos parâmetros de distribuições mais comuns usados no cálculo de vazões mínimas de rios [40] [41] [42]. A praticidade dos cálculos a serem executados também foi levado em consideração.

Para utilizar o ajuste de vazão pela distribuição de *Weibull*, efetua-se o cálculo da média e do desvio padrão dos valores de  $Q_7$ . Em seguida determina-se o coeficiente de variação ( $CV$ ) conforme a Eq. (4.3) [42]:

$$CV = \frac{\text{desvio padrão}}{Q7\text{med}} \quad (4.3)$$

Logo depois, calcula-se os parâmetros da distribuição de *Weibull*  $\alpha$ ,  $A(\alpha)$  e  $\beta$ , utilizando as Eq. (4.4), (4.5) e (4.6) [42]:

$$\alpha = 1,0122 \cdot CV^{-1,077} \quad (4.4)$$

$$A(\alpha) = 0,9982 - 0,4419 * CV + 0,4360 * CV^2 \quad (4.5)$$

$$\beta = (\text{média } Q7)/A(\alpha) \quad (4.6)$$

A vazão mínima para o tempo de retorno ( $Tr$ ) desejado, que nesse estudo é 10 anos ( $Q_{7,10}$ ), é calculada por meio da Eq. (4.7) [42]:

$$Q_{7,10} = \beta \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{Tr} \right) \right]^{1/\alpha} \quad (4.7)$$

#### **4.5.3 VAZÃO ECOLÓGICA**

Aliado ao fator ambiental, durante os estudos hidrológicos é preciso identificar qual a vazão ecológica necessária para a preservação das características locais já existentes na bacia em estudo, seja pela agricultura, abastecimento público, industrial, etc.

Vazão Ecológica ou Residual é a demanda necessária de água a manter em um rio de forma a assegurar a manutenção e conservação dos ecossistemas aquáticos naturais, aspectos da paisagem de outros de interesse científico ou cultural. É um valor de referência que deve ser mantido no trecho de um rio a jusante de um barramento ou de uma retirada de água. Em geral, a fixação de vazões ecológicas no Brasil tem sido feita principalmente através da legislação nos níveis estadual e federal, principalmente para uso nos procedimentos administrativos de licenciamento ambiental e concessão de outorga de água e construção de barragens. Diante disso, se faz necessário conhecer os órgãos ambientais

responsáveis pelos recursos hídricos e as legislações do(s) Estado(s) que a bacia do rio se encontra, como dito anteriormente [41].

## 4.6 ESTIMATIVA DA ENERGIA MÉDIA GERADA

A avaliação do potencial hidroenergético de um aproveitamento considera duas variáveis como relevante, queda líquida e vazão, conforme a Eq. (4.8) [2]:

$$P_{EF} = 9,81 * \eta * Q * H_L \quad (4.8)$$

Onde:  $P_{EF}$  é a potência efetiva (KW),  $\eta$  é o rendimento do conjunto turbina-gerador,  $Q$  é a vazão ( $m^3/s$ ) e  $H_{liq}$  é a queda líquida (m).

Durante a fase de prospecção do local é feita a estimativa da energia média (ou potência média) que pode ser produzida no aproveitamento, aspecto este relevante nesta etapa. Geralmente, essa estimativa é feita com base nas séries históricas de vazões definidas nos estudos hidrológicos para o local do aproveitamento e da queda líquida, definida a partir da percepção do arranjo da usina (nível do reservatório, canal de fuga, circuito de adução, etc.).

Para este trabalho foi aplicado um estudo para a estimativa da potência média de um aproveitamento de forma preliminar. Primeiramente, as variáveis utilizadas para os cálculos, vazão e queda líquida, foram separadas e considerou-se apenas a vazão para o cálculo, sendo a potência média estimada com base na variação dos valores de vazão e de acordo com a curva de rendimento de turbinas hidráulicas. A curva de rendimento de turbinas hidráulicas leva em consideração a variação dos valores de vazão (vazão turbinável/vazão máxima) com queda constante. Consequentemente, a potência média se torna uma variável em função da queda.

Sendo assim, o cálculo utilizado é descrito na Eq. (4.9):

$$P_{med} = 9,81 * \eta_T * (Q - Q_{eco}) \quad (4.9)$$

Onde:  $P_{med}$  é a potência média correspondente à energia média gerada ( $KWmédio/m$ ),  $Q$  é a vazão média ( $m^3/s$ ),  $Q_{eco}$  é a vazão ecológica ( $m^3/s$ ) e  $\eta_T$  é o rendimento da turbina.

A segunda fase foi feita de forma global, utilizando a queda líquida como variável de cálculo, como descrito na Eq. (4.8), e o rendimento do conjunto turbina-

gerador, apresentando a potência média gerada em KWmédio. Utilizou-se, para essa segunda fase, o software gratuito Octave 3.8.1 para gerar um programa para fazer os cálculos necessários. O programa implementado no Octave encontra-se no Apêndice I.

Optou-se por essa separação das variáveis para a potência média porque os arranjos que são definidos nessa fase de prospecção são representativos, ou seja, apresenta características básicas e observando a topologia já existente no local. Como nesta etapa busca-se observar a atratividade, a análise da potência média em etapas faz com que primeiro verifique qual a potencialidade energética do local, independente do arranjo da usina, utilizando apenas a disponibilidade hídrica, e posteriormente, utilizando a topologia do local, verificar a real estimativa do local do aproveitamento.

## 4.7 DETERMINAÇÃO DO TIPO DE TURBINA E POTÊNCIA DO GERADOR

Para agregar maiores informações para a estimativa do potencial hidrelétrico do local de implantação de uma PCH, é proposto neste trabalho a determinação tanto do tipo de turbina quanto da potência nominal do gerador para o local, com sua tensão de geração, utilizando um software linguagem compatucional para computação matemática, o Octave 3.8.1. Este fato favorece a apreciação dos estudos que são realizados nas próximas fases de projeto de uma PCH. São máquinas de alto custo e que representa a parte mais importante do ponto de visto hidrelétrico, podendo, já nesta etapa de projeto de PCH, estudar formas dos aspectos construtivos dos equipamentos e arranjos da usina, equipamentos de proteção para os equipamentos elétricos, entre outras características a partir de sua determinação.

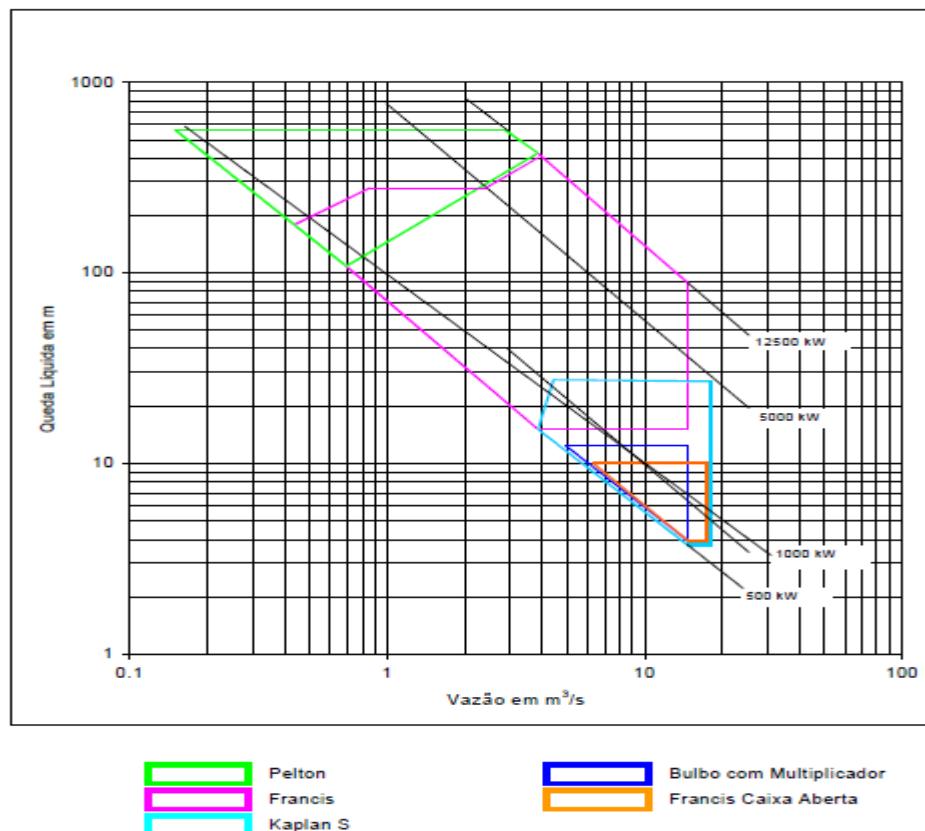
### 4.7.1 TURBINA HIDRÁULICA

Após determinar a vazão de projeto, a queda líquida e a potência efetiva, a especificação do tipo de turbina pode ser feita e abrange melhor a visão de uma possível PCH que pode vir a ser implantada no local em estudo.

A queda líquida (m) e a vazão de projeto por turbina ( $m^3/s$ ) são parâmetros utilizados para a escolha preliminar do tipo de turbina, conforme gráfico da Fig. (4.2), apresentados pela Eletrobrás nas Diretrizes de Projeto. A potência (KW) estimada

## Capítulo 4 – Metodologia para a Estimativa do Potencial Hidrelétrico

na saída pode ser obtida da mesma figura, bastando interpolar os valores das linhas oblíquas [2].



**Figura 4.3 - Gráfico para a escolha do tipo de Turbina**  
Fonte: Eletrobrás (2000) [2]

De acordo com a Figura 4.2 e o que foi apresentado no capítulo 2 desta dissertação, é possível determinar o tipo de turbina conforme seus campos de aplicação segundo as variáveis vazão, queda e potência. Para este trabalho, as variáveis para o estudo foram queda líquida e potência. Sendo assim, a Tabela 4.1 apresenta os parâmetros que foram analisados para selecionar a turbina [2].

**Tabela 4.1 - Parâmetros de seleção do Tipo de Turbina**

Tipo de Turbina	Potência (KW)	Queda (m)
<b>Pelton</b>	500 a 12500	100 a 1000
<b>Francis Caixa Espiral</b>	500 a 15000	15 a 250
<b>Francis Caixa Aberta</b>	500 a 1800	Até 10
<b>Kaplan</b>	500 a 5000	4 a 25
<b>Bulbo</b>	Até 1700	4 a 12

Fonte: Eletrobrás (2000) [2]

## 4.7.2 GERADORES ELÉTRICOS

### 4.7.2.1 POTÊNCIA DO GERADOR

A potência do gerador é determinada após o cálculo da potência disponível no eixo da turbina, através da Eq (4.10) [7]:

$$P_G = P_{EF} * \left( \frac{\eta_G}{\cos \phi} \right) \quad (4.10)$$

Onde:

$P_G$  = Potência do gerador (KVA);

$P_{EF}$  = Potência disponível no eixo da turbina (KW);

$\eta_G$  = rendimento do gerador;

$\cos \phi$  = fator de potência do gerador.

O rendimento do gerador deve ser obtido junto ao fabricante do equipamento. Na falta de informações, podem ser utilizados os seguintes valores [7]:

- 96% para geradores de até 1 MVA;
- 97% para geradores de até 10 MVA;
- 98% para geradores de até 30 MVA.

O fator de potência deve ser definido em função das necessidades do sistema elétrico ao qual o gerador será ligado. Não é economicamente vantajoso, no caso de sistemas isolados, utilizar geradores com fator de potência nominal abaixo de 0,80. Para o caso de geradores que operem interligados ao sistema elétrico, um fator de potência nominal de 0,90 a 0,95 é adequado [7].

### 4.7.2.2 TENSÃO DE GERAÇÃO

A seleção da tensão nominal é baseada em critérios econômicos e de confiabilidade operacional, ou seja, sua escolha deve considerar não só os custos do gerador, mas também os custos de interligação gerador-transformador e dos equipamentos ligados à tensão de geração. Os custos de um gerador, para uma determinada potência nominal e velocidade, variam com a tensão.

---

**Capítulo 4 – Metodologia para a Estimativa do Potencial Hidrelétrico**

---

No sentido de orientar a escolha da tensão, a Tab. (4.2), fornecida pela Eletrobrás [2], resulta numa solução economicamente atraente para a tensão de geração.

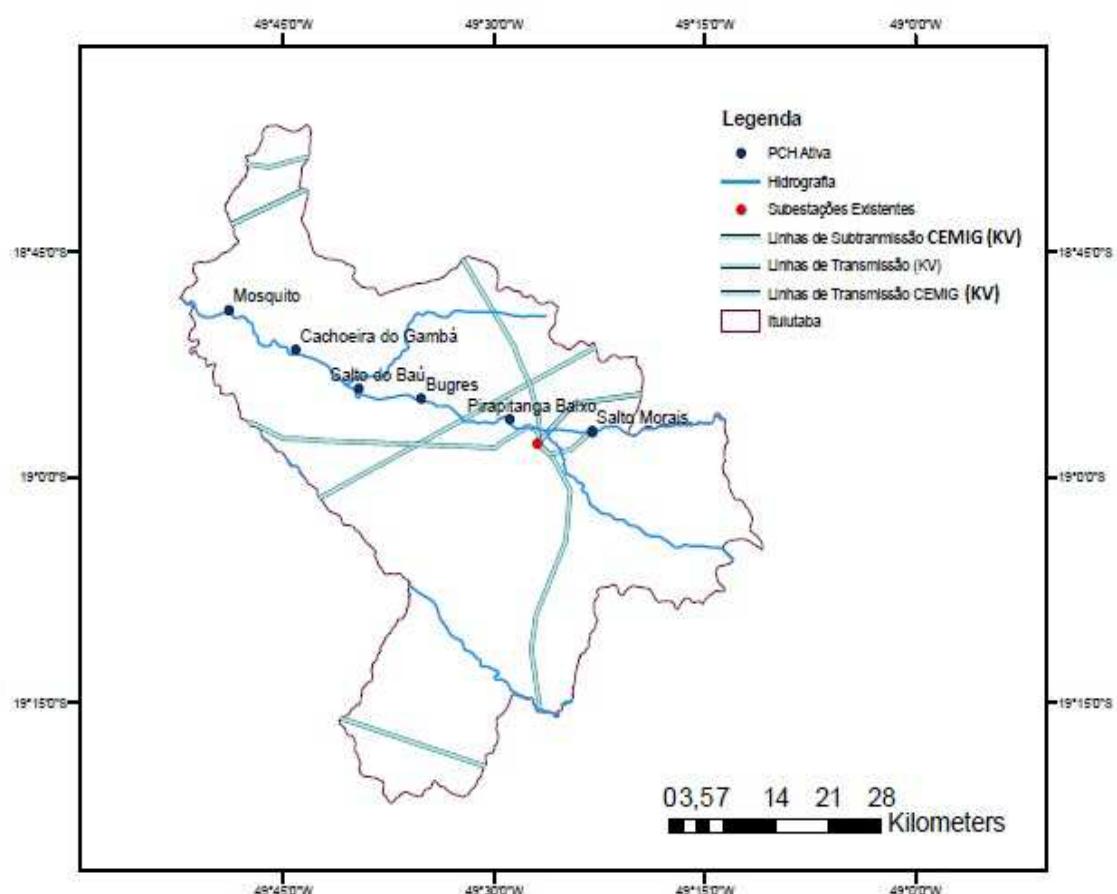
**Tabela 4.2 - Nível de Tensão Indicado para Geradores**

<b>Tensão do Gerador</b>	<b>Potência do Gerador</b>
<b>220/380 ou 480 V</b>	Até 2 MVA
<b>2,3 KV</b>	Até 3 MVA
<b>4,16 KV</b>	Até 5 MVA
<b>6,9 KV</b>	Até 15 MVA
<b>13,8 KV</b>	Acima de 10 MVA

Fonte: Eletrobrás (2000) [2]

## 5 Estudo de Caso

A metodologia descrita no capítulo 4 foi aplicada na bacia do rio Tijuco, limitado ao município de Ituiutaba-MG. A escolha pelo local de aplicação da metodologia foi motivada por ser uma região que já possui PCHs implantadas, em construção ou que precisam de autorização para entrar em funcionamento [28]. Em 11 de maio de 2006 a ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica aprovou por meio do Despacho n. 950 os Estudos de Inventário Hidrelétrico Simplificado do rio Tijuco, quando foram considerados treze aproveitamentos hidrelétricos com capacidade total de 170,8MW, sendo que 6 estão localizadas no município de Ituiutaba-MG. A Figura 5.1 apresenta as PCH no Rio Tijuco, no município de Ituiutaba-MG. A usina Salto Moraes, com 2,39 MW e com concessão outorgada à CEMIG, encontra-se em operação nacional [28].



**Figura 5.1 - Aproveitamentos hidrelétricos de pequeno porte inventariados no rio Tijuco no município de Ituiutaba - MG**

A bacia hidrográfica do Rio Tijuco, município de Ituiutaba -MG, com área aproximada de 1.335,1 (Km<sup>2</sup>), região de grande significado econômico para o Estado de Minas Gerais, localiza-se no Triângulo Mineiro, entre as coordenadas geográficas 18°40' e 19°47' S e 47°53' a 50°13' W. O rio Tijuco nasce a 950 m de altitude, nas coordenadas 19° 31'39.88" S; 47°54'41.40"W, no município de Uberaba-MG, e tem sua foz na cota de 526 m, sendo afluente da margem esquerda do Rio Paranaíba, tendo como principais afluentes os rios Prata, Babilônia, Cabaçal, Douradinho, Panga, dentre outros [43].

## 5.1 COLETA DE DADOS

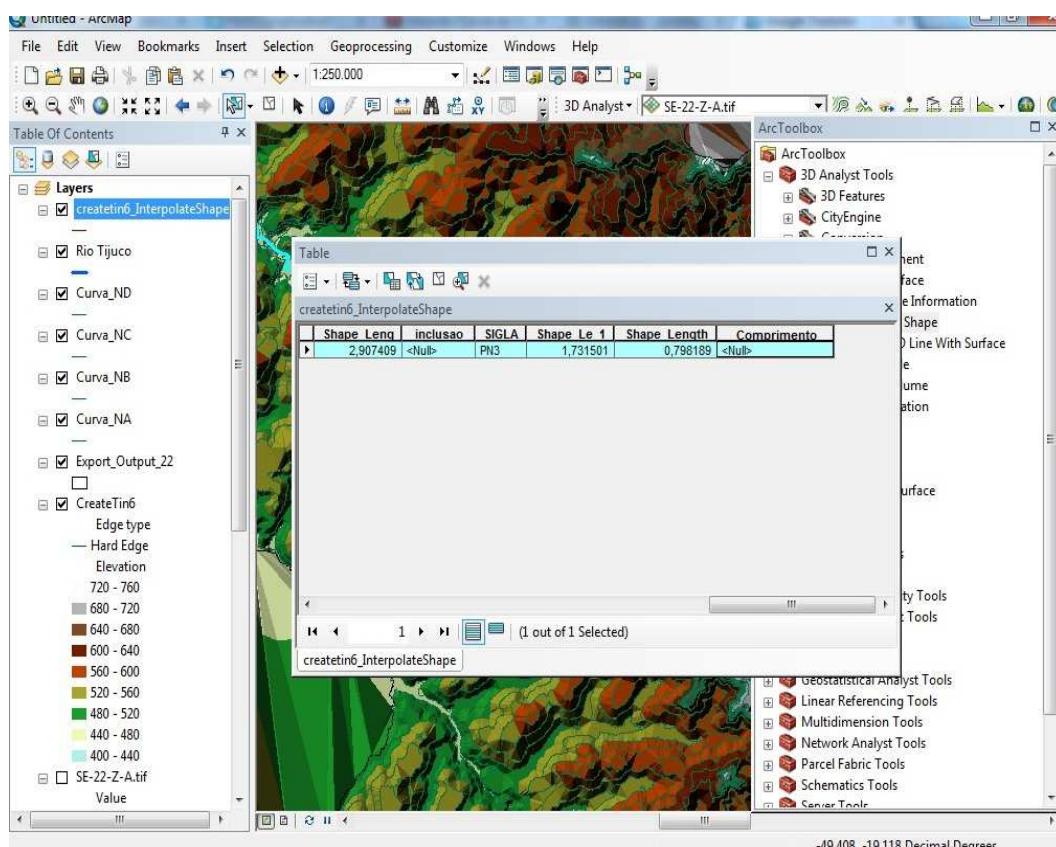
A busca pelos dados para desenvolver a metodologia abrangeu uma pesquisa em artigos, estudos e relatórios de organizações e instituições federais para a região escolhida como alvo do estudo.

Segue abaixo a lista dos dados e as fontes utilizadas que foram processadas dentro da ferramenta SIG:

- Cartografia e Topografia: As cartas topográficas digitalizadas do IBGE, no formato TIFF, escala 1:100.000, utilizadas foram: SE-22-Z-A, SE-22-Z-B, SE-22-Z-C e SE-22-Z-D. Modelo Digital de Terreno em formato GEOTIFF (16 bits), unidade de altitude em metros, sistema de coordenadas geográficas WGS 1984 [44].
- Geologia: Mapa geológico do Estado de Minas Gerais. Elaborado pelo Serviços Geológicos do Brasil (CRPM). Arquivo tipo Shapefile [45].
- Hidrografia: Base cartográfica de hidrografia. Escala de origem: 1:50000 e 1:100000. Arquivo tipo Shapefile [46].
- Títulos Minerários: Mapa de Títulos Minerários de Minas Gerais. Elaborado pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Os dados dos processos minerários são atualizados diariamente no SIGMINE - Sistema de Informações Geográficas de Mineração. Arquivo tipo Shapefile [46].
- Unidades de Conservação: Unidades de Conservação Estaduais e Federais. Elaborado pelo Ministério do Meio Ambiente. Arquivo tipo Shapefile [47].

## Capítulo 5 – Estudo de caso

- Linhas de Transmissão: Sistema de Transmissão e Subtransmissão do Estado de Minas Gerais. Elaborado pela CEMIG. Arquivo tipo Shapefile [48].
- Rodovias: rodovias pavimentadas, não pavimentadas e em pavimentação. Base IBGE. Arquivo tipo Shapefile [44].
- Terras Indígenas: zonas indígenas existentes e em estudo no estado de Minas Gerais. Arquivo tipo Shapefile [47].
- Divisão Territorial: Mapa da Divisão Territorial nacional e estadual, especificadamente do Estado de Minas Gerais. Arquivo tipo Shapefile [44].
- Zoneamento Ecológico e Econômico: Diagnóstico dos meios geo-biofísico e sócio-econômico-jurídico- institucional, gerando respectivamente duas cartas principais, a carta de Vulnerabilidade Ambiental e a Carta de Potencialidade Social, que sobrepostas irão conceber áreas com características próprias, determinando o Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado. Arquivo tipo Shapefile [49]. A Figura 5.2 apresenta o ambiente de trabalho no ArcView GIS.



**Figura 5.2 - Modelo do ambiente de trabalho ArcView GIS**

Os dados foram inseridos dentro da plataforma SIG, no software ArcView GIS. Eles foram georreferenciados e inseridos em camadas (layers) que geraram os mapas que auxiliaram a análise da região estudada com os principais aspectos analisados na etapa de prospecção.

## 5.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS MAPAS

Conforme descrito no capítulo 4, os mapas foram analisados de forma a condicionar ou restringir à implantação de empreendimentos hidrelétricos de pequeno porte sob a ordem dos aspectos geológicos-geotécnicos, de infraestrutura e socioambientais.

### 5.2.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS – GEOTÉCNICOS

O rio Tijuco, como pode ser observado na Figura 5.3, corta a seguinte litologia: Dacito.

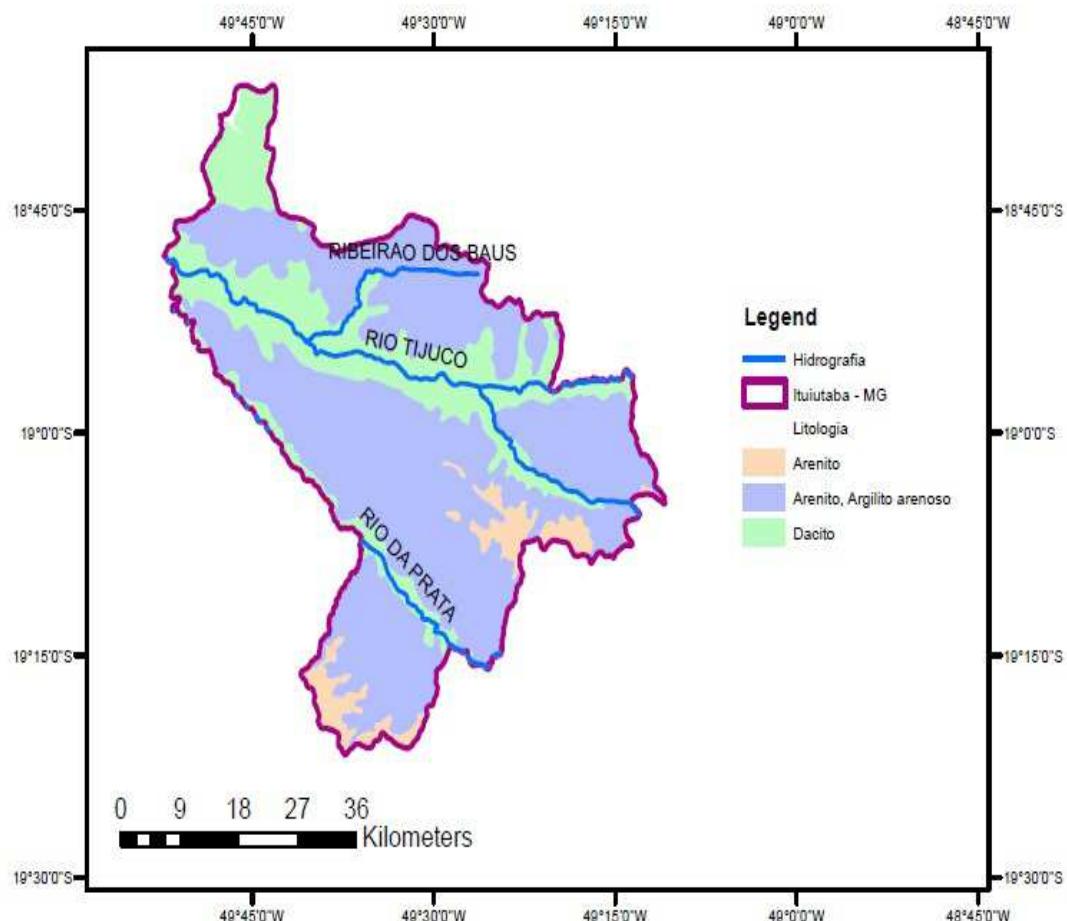


Figura 5.3 - Mapa litológico

Dacito é um tipo de rocha caracterizada como magmática ou vulcânica. É uma rocha equivalente ao granodiorito, que são rochas com parentesco com os granitos [50].

Esta geologia faz parte dos complexos gnáissicogranítoides de médio grau, o que confere atributos favoráveis para fundações de obras de engenharia, devido às suas boas qualidades geomecânicas e hidráulicas.

Estas rochas são muito mais resistentes que os concretos e tendem - a menos dos defeitos estruturais - a serem boas ou mesmo excelentes fundações para quaisquer tipos de barragens. São bons materiais de construção, de escavação subterrânea fácil e permitem construir vertedouros, túneis de desvio e de adução, apenas parcialmente revestidos [50].

Dessa forma, é possível descrever que em todo o trecho do rio Tijuco estudado possui atributos favoráveis a implantação de PCHs por estar localizada em uma região predominada por granodioritos, que podem servir como materiais de construção e uma boa qualidade para fundações e escavações.

## **5.2.2 ASPECTOS SOCIOAMBIENTAIS**

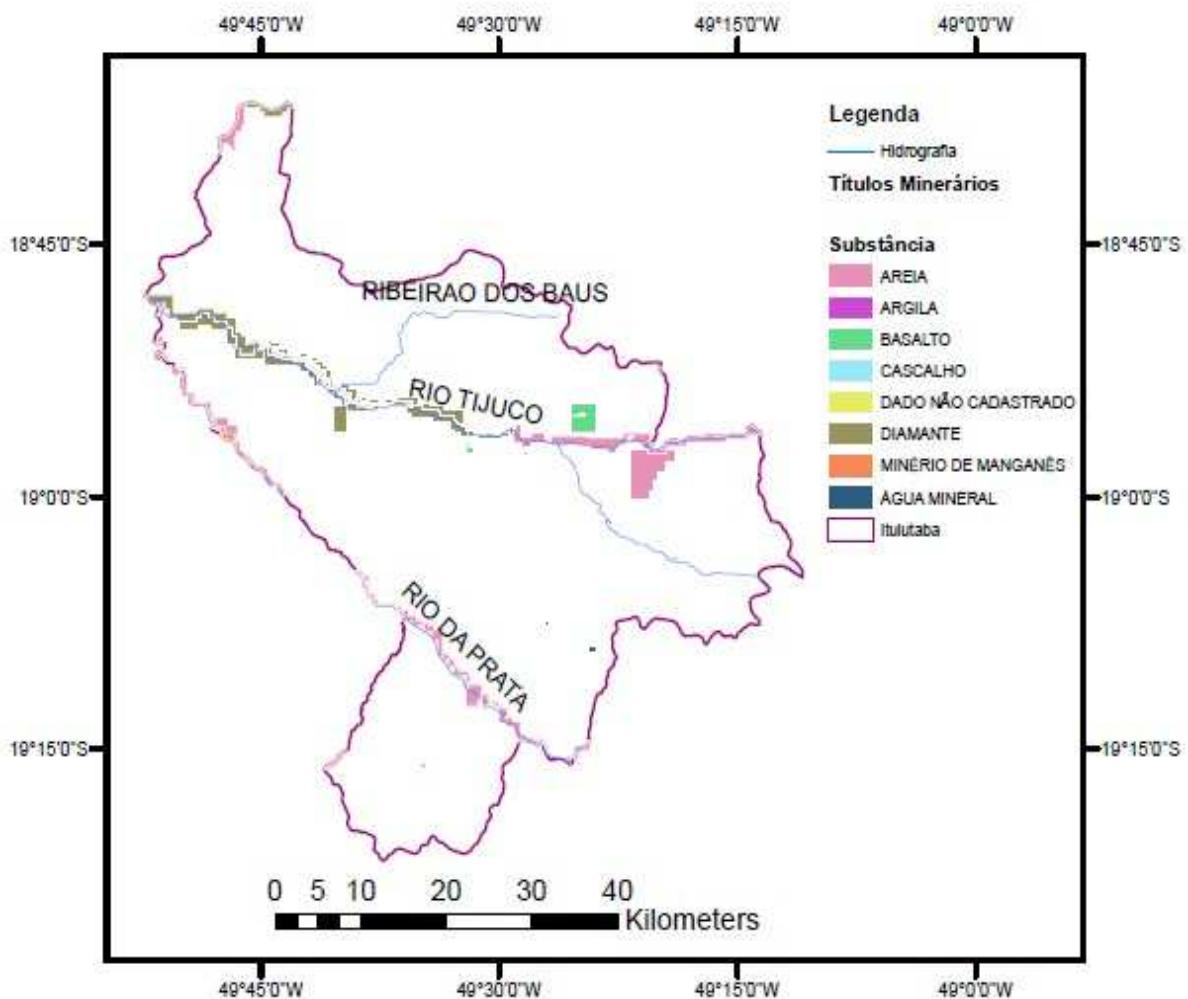
### **5.2.2.1 TÍTULOS MINERAIS**

A existência de títulos minerários em regiões com vista à implantação de PCH pode representar um conflito de interesses e até mesmo uma restrição para empreendimentos hidrelétricos. Assim como os recursos hidrícos, seja ele utilizado para qualquer fim, nesse caso para a geração de energia elétrica, são patrimônios da União e tem orientação e legislação da ANA, para a parte hídrica e, ANEEL, para a energia elétrica, os recursos minerais também são, sendo de responsabilidade do Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM.

Tendo em vista que as duas instituições federais podem conceder autorização para exploração dos potenciais, minerários e energéticos, para uma mesma área, cabe ao Ministério de Minas e Energia (MME) avaliar qual das duas atividades representa maior interesse nacional, do ponto de vista socioeconômico, ou até mesmo a viabilização de ambas atividades na área avaliada [3].

## Capítulo 5 – Estudo de caso

A Figura 5.4 mostra a existência de dois títulos minerários na bacia do rio Tijuco: retirada de areia, localizado a leste, e exploração de diamante, localizado a oeste da bacia.



**Figura 5.4 - Mapa dos títulos minerários quanto a substância**

Esses são as substâncias predominantes em toda a extensão do rio Tijuco no município de Ituiutaba – MG.

Em relação a concessão de lavras, nota-se que, de acordo com a Figura (5.5), em nenhuma parte da região estudada do rio, existe a concessão de lavras, aspecto que poderia inviabilizar um empreendimento hidrelétrico.

Em quase toda a região estudada existe a autorização de pesquisa e/ou requerimento de pesquisa para a mineração, etapas estas que são iniciais para tal atividade.

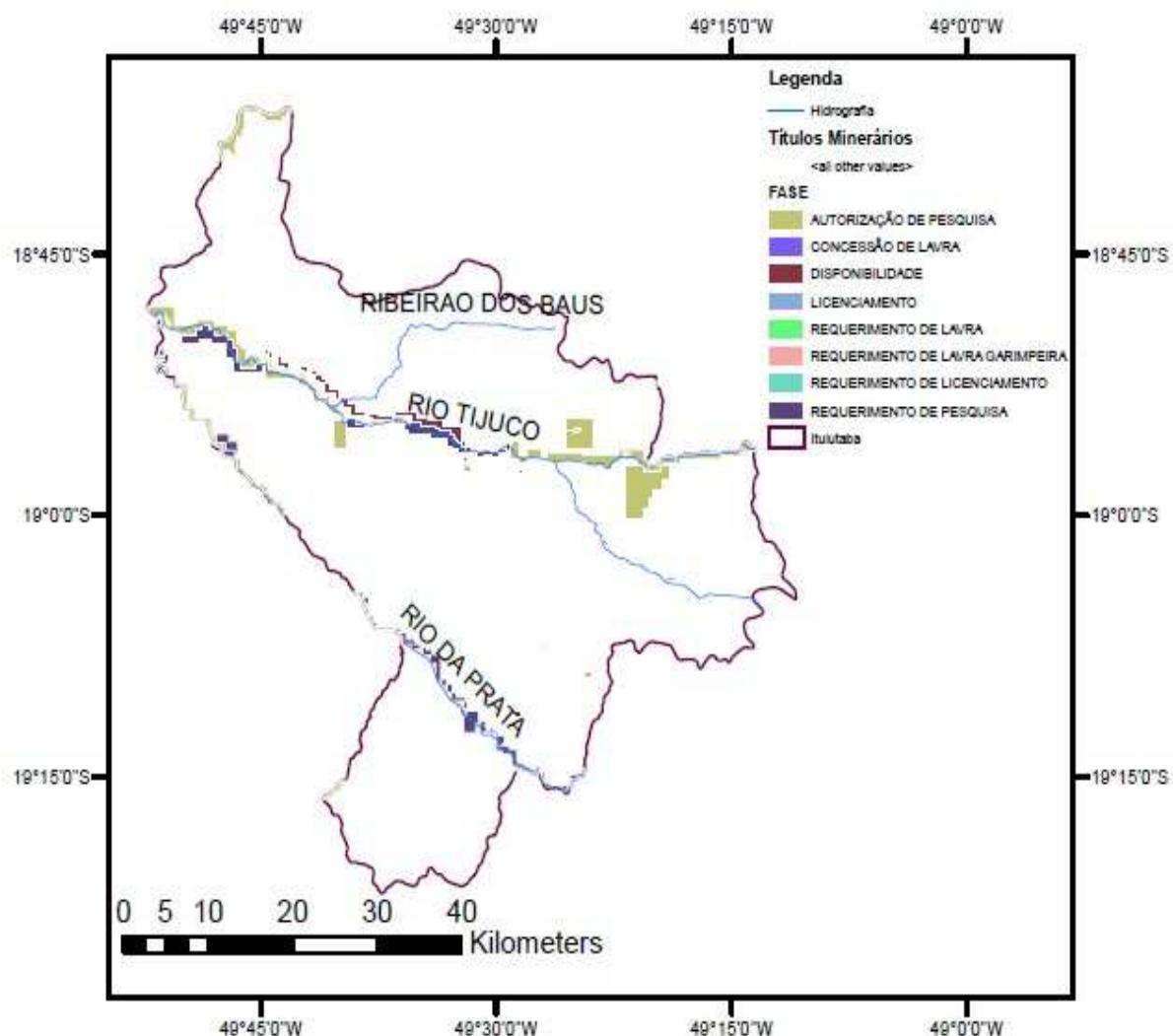


Figura 5.5 - Mapa dos títulos minerários quanto a fase

Deste modo, é possível de acontecer, nesta região, o conflito de interesses entre a atividade minerária e o empreendimento hidrelétrico, caso venha a ser uma área de interesse para a geração de energia elétrica. Cabe ao Ministério de Minas e Energia decidir qual atividade será realizada.

Então, nas etapas posteriores à estimativa do potencial hidrelétrico, verificar junto ao DNPM informações mais relevantes acerca da atividade minerária no rio Tijuco, sendo que nesta etapa verificou-se a existência de haver incompatibilidade para a implantação de PCHs.

### **5.2.2.2 UNIDADES DE CONSERVAÇÃO (UC) E TERRAS INDÍGENAS**

Como apresentado anteriormente, as Unidades de Conservação de Proteção Integral e Uso Sustentável são destinadas a proteção e conservação da natureza associada ao uso sustentável de seus recursos.

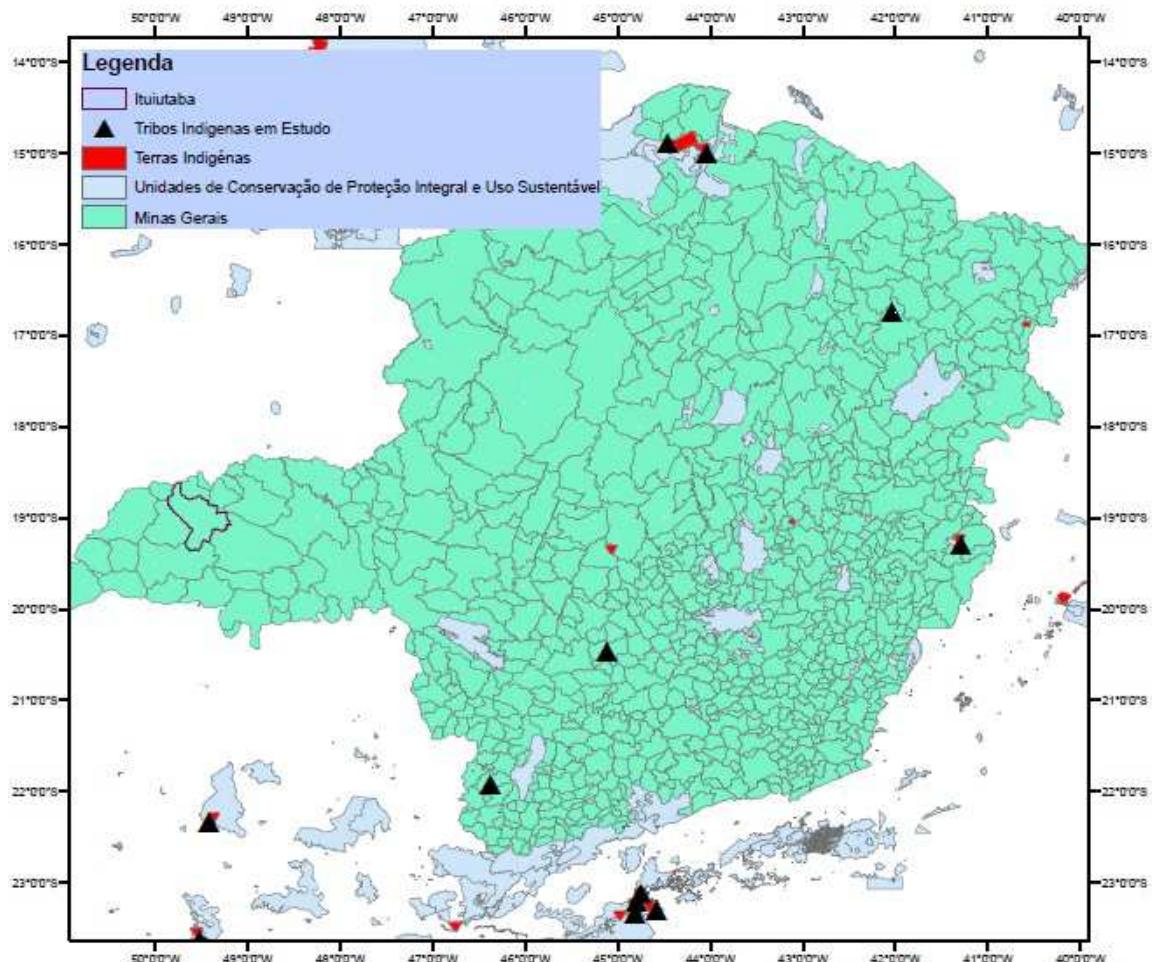
Quando o empreendimento afetar uma UC específica ou sua zona de amortecimento, o licenciamento só poderá ser concedido mediante autorização do órgão responsável por sua administração, e a unidade afetada, mesmo que não pertencente ao Grupo de Proteção Integral, deverá ser uma das beneficiárias de compensação ambiental [3].

As áreas indígenas garantem a manutenção e sobrevivência física e cultural das comunidades indígenas. O artigo 231, § 3º, da Constituição Federal diz que o aproveitamento dos recursos hídricos, incluídos os potenciais energéticos, a pesquisa e a lavra das riquezas minerais em terras indígenas só podem ser efetivados com autorização do Congresso Nacional [34].

Isto posto, tanto as UC's quanto as terras indígenas podem representar como aspectos restritivos à implantação de PCHs.

A Figura 5.6 apresenta o mapa das UC's e Terras Indígenas de todo estado de Minas Gerais. Ele mostra que na região da bacia do rio Tijuco, em Ituiutaba, não possui nenhuma Unidade de Conservação ou Terras Indígenas, ou seja, nenhuma restrição ambiental ou indígena para a implantação de PCHs.

O governo de Minas assinou, em 22 de março de 2011, o decreto 45.568 para a criação de uma Unidade de Conservação na bacia do rio Tijuco. A área com cerca de 9,7 mil hectares do Refúgio de Vida Silvestre na bacia do rio Tijuco é um dos mais importantes corredores ecológicos do Triângulo Mineiro e é considerado íntegro e propício a reprodução de peixes pertencentes à ictiofauna da bacia hidrográfica do Paranaíba [51].



**Figura 5.6 - Mapa das unidades de conservação e terras indígenas no estado de Minas Gerais**

Essa UC é considerada de Proteção Integral, sendo admitido apenas o uso indireto dos recursos naturais. Em pesquisa ao Instituto Estadual de Florestas (IEF) de Minas Gerais, a criação dessa UC engloba os municípios de Ituiutaba, Campina Verde, Prata, Gurinhatã e Ipiaçu e, ainda, não apresenta dados concretos dessa UC com relação à área ocupada [51].

Por essa razão, não foi possível identificar a área dessa UC no mapa da Figura 5.6. Diante disso, a pesquisa aos órgãos se faz necessária para complementar e discutir os dados encontrados nos mapas gerados pela ferramenta SIG.

Sendo assim, a criação dessa UC pode vir a tornar um aspecto restritivo ao uso dos recursos hidráulicos para a geração de energia elétrica, utilizando as PCHs como meio de geração.

Nas etapas posteriores à estimativa do potencial hidrelétrico, citadas anteriormente, são feitos estudos elaborados quanto ao aspecto ambiental, como o

---

**Capítulo 5 – Estudo de caso**

AIA (Avaliação Integrada Ambiental) e o EIA (Estudo de Impacto Ambiental). Então, nas próximas etapas, esses estudos deverão aprofundar sobre o impacto que as PCHs podem inferir nessa bacia hidrográfica associado ao que essa UC tem de mais importante para a região.

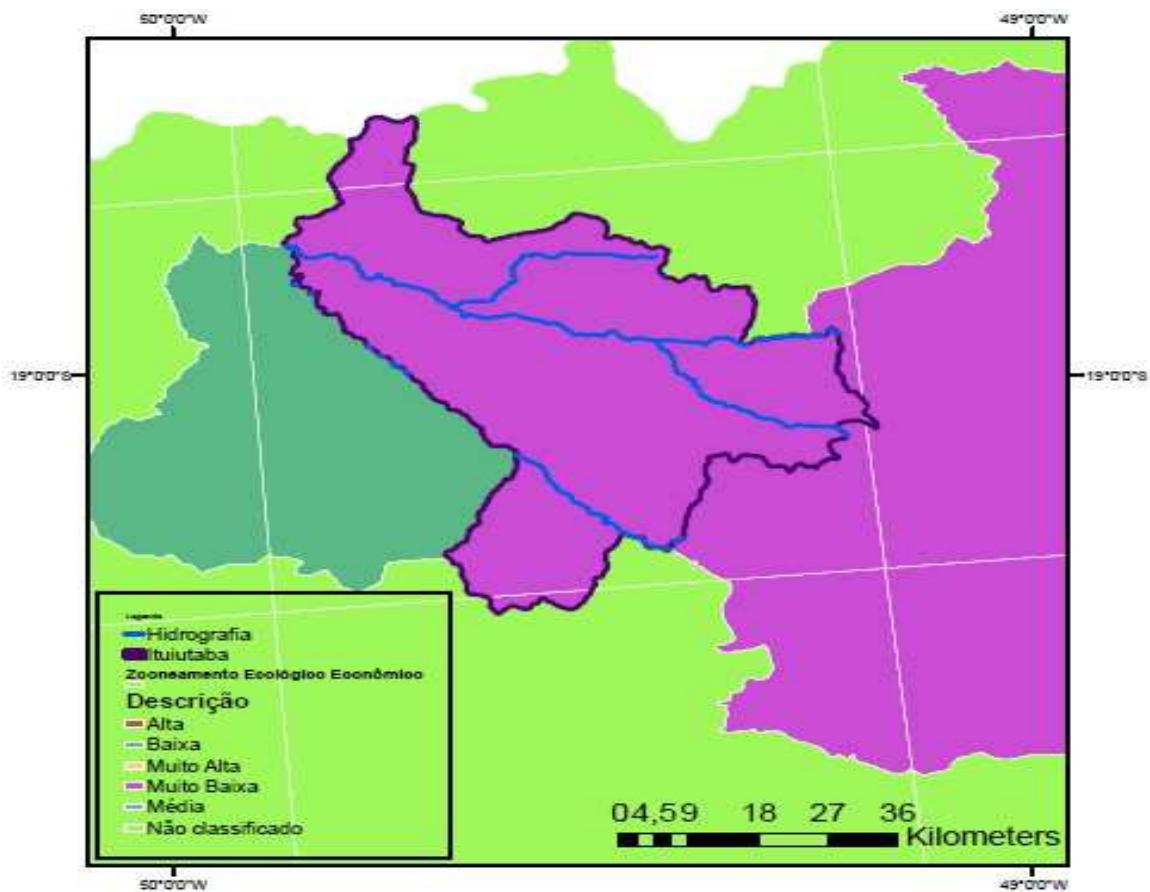
### **5.2.2.3 ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO**

Elaborado pelo governo do Estado de Minas Gerais com a participação de outras entidades e da sociedade civil, o Zoneamento Ecológico Econômico - ZEE de Minas Gerais elaborou o Índice de Fatores Condicionantes do ZEE para instalação de PCHs e Usinas Hidrelétricas de Energia (UHE's), o IFC - PCH/UHE, com o objetivo de servir de referência para avaliação da instalação de novos empreendimentos hidrelétricos [35].

O IFC - PCH/UHE analisou, para a criação dos índices, alguns fatores condicionantes da potencialidade socieconômico. São eles: Índice de Desenvolvimento Humano Municipal - IDH-M (2000); Emprego formal; Organizações de Fiscalização e Controle; Índice do Valor Agregado da Indústria 2004; Índice de Agricultores Familiares; Índice do Valor Agregado de Serviços de 2004; Índice do Valor Agregado Agropecuário 2004; Gestão Ambiental Municipal; Densidade de Ocupação Econômica das Terras; Índice da Malha Rodoviária; Índice de Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais; Índice de Concentração Fundiária Invertido; Índice Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação Ecológico - Área Conservação [35].

Como resultado de uma análise multivariada, foram definidas 5 classes e graus para instalação de usinas hidrelétricas, sendo que quanto menor for este índice, entre a pontuação de 5 (Muito Alto) a 1 ( Muito Baixo), melhores são as condições sociais, econômicas, naturais e institucionais dos municípios, o que representa uma situação favorável à implantação de PCHs ou UHEs [35].

Para a bacia hidrográfica do rio Tijuco, no município de Ituiutaba-MG, e a partir dessa classificação, em toda sua porção, é classificada como muito baixo, ou seja, possui fatores condicionantes e favoráveis à instalação de PCHs, conforme a apresentação da classificação na Figura (5.7). Essa classificação favorece a região estudada e é favorável para os estudos das etapas seguintes do projeto.



**Figura 5.7 - Índice de fatores condicionantes do zoneamento ecológico econômico para instalação de PCHs**

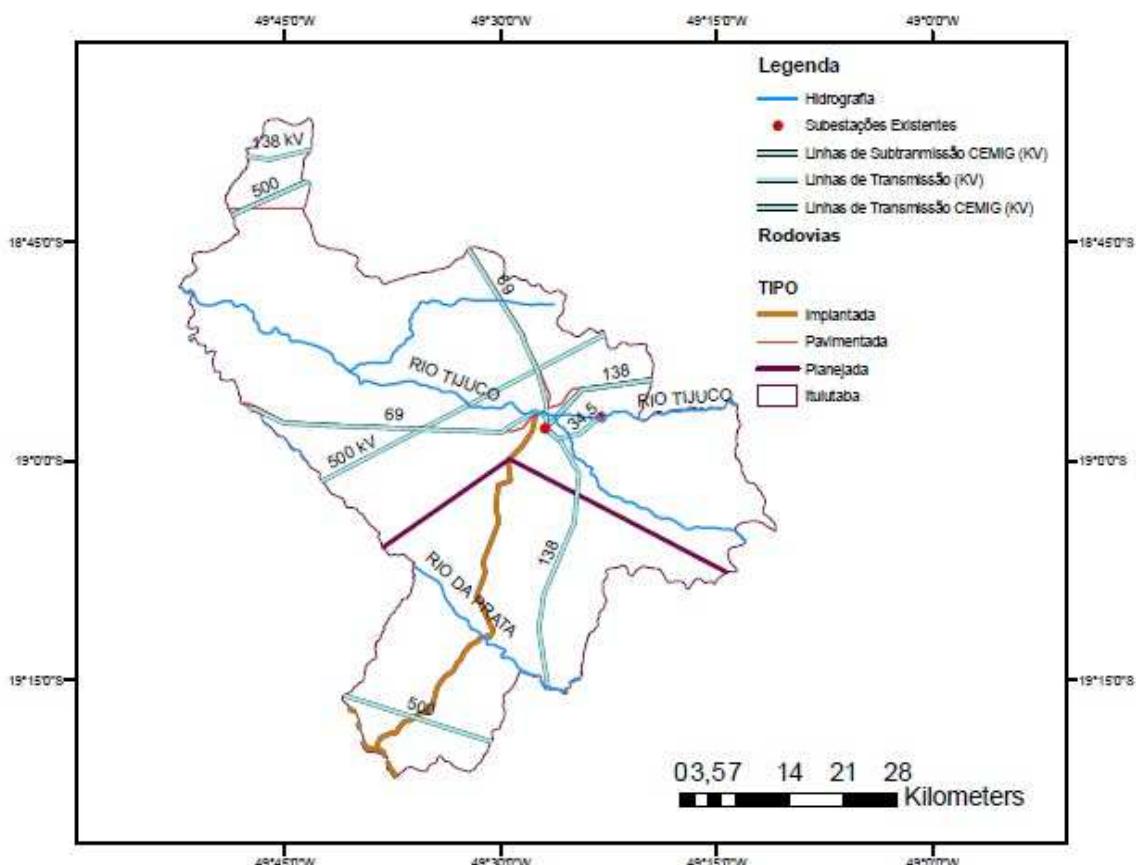
### 5.2.3 ASPECTO DE INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA

As vantagens que as PCH apresentam como uma forma alternativa de geração de energia elétrica deve tomar algumas preocupações quanto ao aspecto de infraestrutura e logística disponível no local que será inserido o empreendimento.

A ideia de ter as usinas geradoras de menor porte mais próximas dos centro consumidores, reduzindo assim a extensão das linhas de transmissão e descentralizando a produção energética, o uso e ganho dos descontos previstos em leis do sistema de transmissão e distribuição, entre outras vantagens relacionadas a este aspecto, só serão passíveis de serem usufruidas se a região possuir uma boa infraestrutura e logística para construir, interligar e colocar em operação a PCH, com estradas para ter acesso ao local, linhas de transmissão e subestações que possam vir a diminuir o custeio nas obras e componentes elétricos.

## Capítulo 5 – Estudo de caso

A Figura (5.8) apresenta as estradas, linhas de transmissão/distribuição e subestações existentes na bacia do rio Tijuco, em Ituiutaba-MG.



**Figura 5.8 - Mapa de infraestrutura e logística**

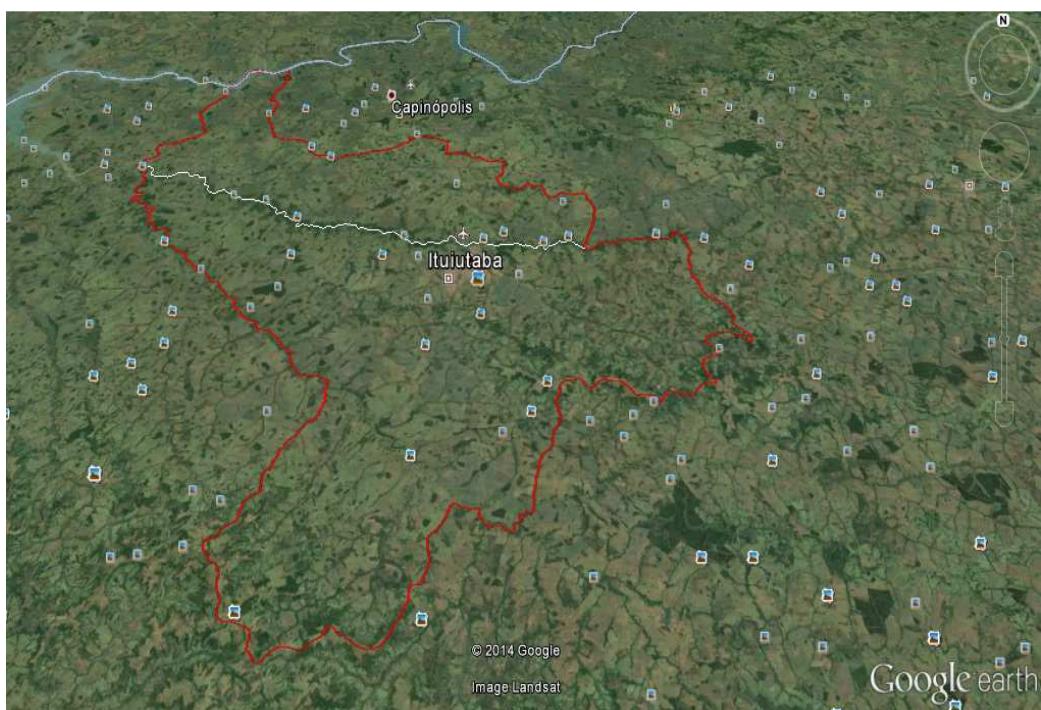
A conexão elétrica da PCH ao sistema elétrico é requerida ao Operador Nacional do Sistema Elétrico e normalmente se dá na rede de distribuição, tendo em vista que o nível da tensão da transmissão deve ser abaixo de 230 KV [52]. É possível observar através da Figura (5.8) que quase em toda a extensão do rio na região estudada possui linhas de transmissão com valores possíveis de haver a interligação da PCH ao sistema elétrico, uma rede de 34,5 KV, duas de 69 KV e uma de 138 KV. A porção leste do mapa, diante deste aspecto, apresenta melhores opções de conexão para possíveis PCHs.

Com relação as estradas, a parte leste também se manifesta como mais atrativa por possuir estradas existentes (implantadas e/ou pavimentadas) e outra que está em fase de planejamento, facilitando assim o transporte dos materiais e acesso ao local.

### 5.3 CARTOGRAFIA E TOPOGRAFIA

Como discutido no item 4.4, a observação do perfil longitudinal de um rio auxilia na identificação de locais com quedas naturais. Foi utilizado o software *Google Earth®*, desenvolvido pela empresa Google. Este recebe imagens via satélite orbital que podem ser gratuita e facilmente acessadas, e tem potencial para se tornar um instrumento valioso para averiguação da altitude e da distância, bem como para análise de dados e tomada de decisões [53].

Para a criação do gráfico do perfil longitudinal, o *Google Earth* baseia-se na técnica do perfil de elevação do terreno com o objetivo de auxiliar as análises morfométricas (medida das formas físicas e dos fenômenos terrestres) do relevo e sua interpretação. Nele, o relevo é representado através de dados de topografia oriundos de imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*)<sup>1</sup> [53]. A Figura 5.9 apresenta o ambiente de trabalho no software.



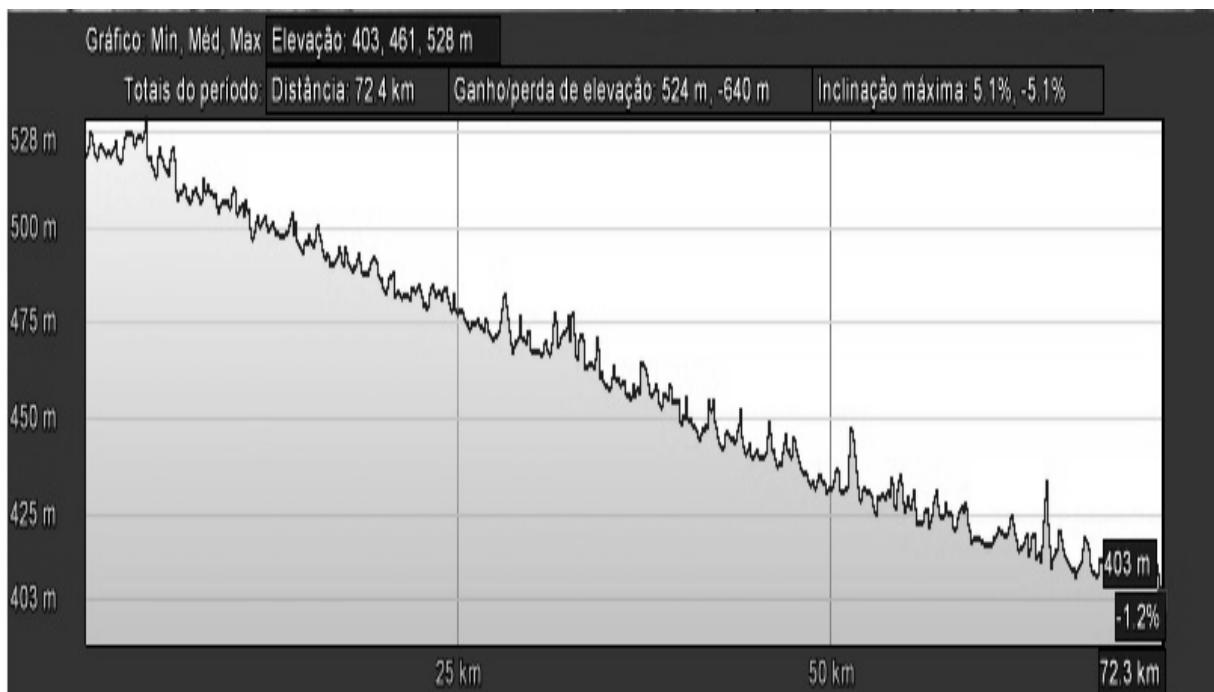
**Figura 5.9 - Imagem do rio Tijuco no município de Ituiutaba no Google Earth**

O curso foi traçado obedecendo todas as curvas do leito do rio, para isso foi necessário aproximar a visualização para um ponto de visão entre 1000 e 2500 metros de altitude do solo e está na escala de 1:100.000 .

<sup>1</sup>- SRTM, traduzindo para o português é Missão Topográfica Radar Shuttle, foi uma missão realizada pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e NIMA (*National Imaging and Mapping Agency*) dos EUA para obter um modelo digital de terreno da Terra [3].

## Capítulo 5 – Estudo de caso

Pode-se observar que ao longo do trecho do rio ele apresenta declividades, não muito grandes, mas que podem ser tornar pontos de quedas naturais, como pode ser visto na Figura 5.10. Existem deformações ao longo do trecho que são geradas em função da variação dos dados de altitude retirados das imagens do *Google Earth* [54].

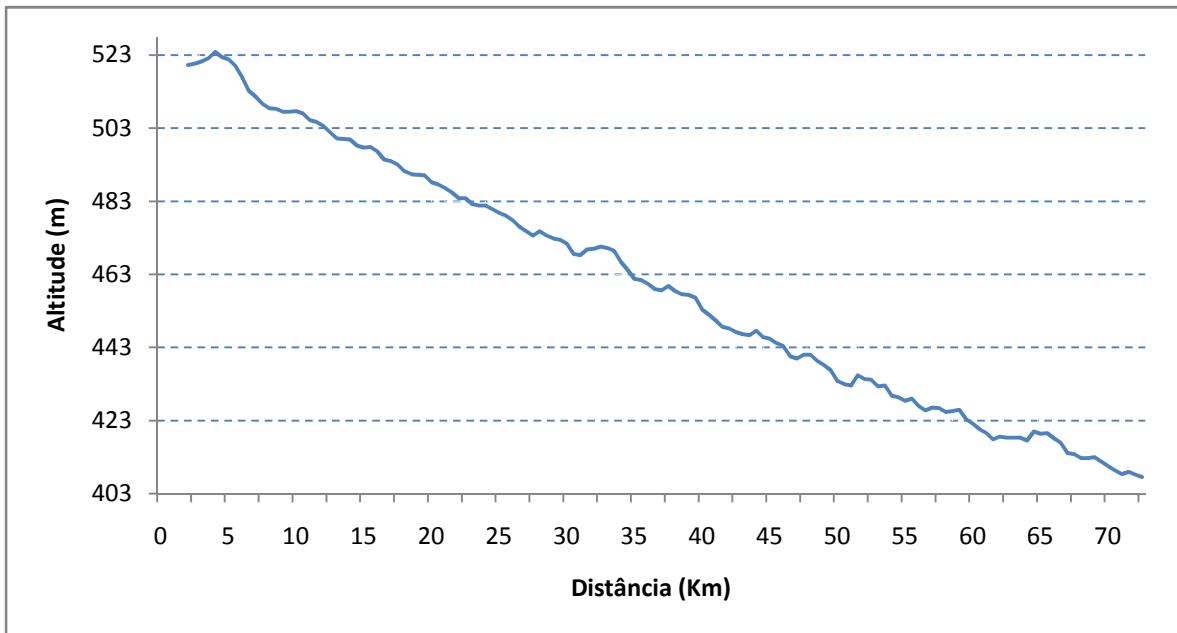


**Figura 5.10** - Perfil Longitudinal do rio Tijuco, município de Ituiutaba-MG

Com a ajuda do próprio *Google Earth* pode-se identificar a diferença entre um ponto e outro. Porém, foi necessário adotar um procedimento de suavização dos dados para eliminar essas deformações.

Os dados de altitude e distância gerados pelo *Google Earth* foram exportados para o *OpenOffice Calc* para desenvolver a suavização. A suavização foi concebida através da opção "adicionar linha de tendência", do tipo "média móvel", período 5 e ajustada para os 140 pontos.

Com isso, obteve-se a curva do perfil ajustada com os dados de comprimento e altitude para cada trecho. A Figura (5.11) mostra o perfil longitudinal após processar os dados da suavização.



**Figura 5.11 - Perfil longitudinal rio Tijuco, município de Ituiutaba - MG**

A obtenção de dados para levantamento de perfis longitudinais de rios é geralmente feita em cartas topográficas. Porém, a utilização do *Google Earth* para a criação do perfil longitudinal retrata a mesma morfologia dos perfis gerados pelas cartas topográficas [54].

Para este trabalho, escolheu-se o trecho onde se localiza a estação fluviométrica Ituiutaba para realizar os estudos hidrológicos e a análise dos dados de vazão. Sendo assim, observou-se também os desniveis das cotas na região.

A estação fluviométrica Ituiutaba, localizada nas coordenadas 18°56'S e 49°26'W, entre os quilômetros 15 e 20, encontra-se entre a cota 497m e termina na cota 487m (1,31 Km). Apresenta-se, do ponto de vista hidroenergético, com um desnível de 10 metros.

Caso haja a necessidade de estudar outro trecho do rio e utilizá-lo a fins de cálculo, basta observar os desniveis entre as curvas de nível no trecho e fazer a correlação entre áreas, respeitando a diferença entre elas, como citado no início do item 4.5 deste trabalho.

### 5.3.1 QUEDA BRUTA E QUEDA LÍQUIDA

Com base na queda bruta do local em estudo, 10 metros, a determinação da queda líquida foi feita conforme os critérios adotados nas Diretrizes de projeto de

PCHs, da Eletrobras. Como os arranjos nesta etapa são representativos, definiu-se duas quedas líquidas para a região. A Tabela 5.1 mostra os resultados das quedas líquidas tanto para arranjos em derivação (5% de perda) e casas de forças ao "pé" da barragem (3%) [2].

**Tabela 5.1 - Queda bruta e queda líquida conforme o arranjo**

Arranjo	Queda Bruta (m)	Perdas (%)	Queda Líquida (m)
<b>Em Derivação</b>	10	5	9,5
<b>Casa de Forças "Pé" da Barragem</b>	10	3	9,7

## 5.4 ESTUDOS HIDROLÓGICOS

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre os Recursos Hídricos (SNIRH), coordenado pela Agência Nacional de Águas, dentro do município de Ituiutaba-MG existem duas estações de monitoramento dos recursos hidrícos para o rio Tijuco. Para este trabalho foi escolhida a Estação Ituiutaba por possuir dados das séries históricas de vazão dos últimos 72 anos, 1942 a 2013. A Estação Ituiutaba está localizada nas coordenadas 18°56'S e 49°26'W e área de drenagem de 6310 Km<sup>2</sup> [38].

Os dados das séries históricas de vazão foi disponibilizado pela Agência Nacional de Águas, através do Serviço de Informação ao Cidadão - SIC, e também pelo Sistema Nacional de Informações sobre os Recursos Hídricos (SNIRH).

Foi observado que para alguns anos havia a falta de dados registrados em certos períodos mas que não compromete a veracidade dos cálculos por se tratar de uma porcentagem pequena, aproximadamente 1%, em comparação a número de dados registrados.

### 5.4.1 DIREITOS DE USO DOS RECURSOS HÍDRICOS

A bacia hidrográfica em estudo localiza-se no Estado de Minas Gerais. No Estado, o IGAM (Instituto Mineiro de Gestão das Águas) é responsável por planejar e promover ações direcionadas à preservação da quantidade e da qualidade das águas de Minas Gerais.

O gerenciamento é feito por meio da outorga de direito de uso da água, do monitoramento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas do Estado, dos planos de recursos hídricos, bem como da consolidação de Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs) e Agências de Bacia. O Instituto tem como diretriz uma administração compartilhada e descentralizada, envolvendo todos os segmentos sociais [55].

Fez-se então necessário conhecer as legislações do IGAM para os cálculos realizados. As principais serão destacadas durante a execução dos mesmos.

#### 5.4.2 HIDROLOGIA ESTATÍSTICA

A partir dos dados históricos da estação Ituiutaba foi calculado a vazão média mensal a fim de representar o mínimo esperado de volume de água em um ano médio. A Tabela 5.2 apresenta a média da vazão mensal global do rio Tijuco a partir da estação Ituiutaba, de 1942 a 2013. A média dos meses da série histórica encontra-se no Anexo A.

**Tabela 5.2 - Média das Vazões Mensais do Rio Tijuco, Estação Ituiutaba**

Mês	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Mês	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Mês	Vazão (m <sup>3</sup> /s)
<b>Janeiro</b>	160,8508	<b>Maio</b>	75,9235	<b>Setembro</b>	40,2699
<b>Fevereiro</b>	164,1751	<b>Junho</b>	60,9954	<b>Outubro</b>	56,2166
<b>Março</b>	149,7311	<b>Julho</b>	51,7608	<b>Novembro</b>	78,9305
<b>Abril</b>	113,1393	<b>Agosto</b>	42,3645	<b>Dezembro</b>	125,0129

Observa-se na Tabela 5.2 que as maiores vazões ocorrem em Fevereiro e as menores em Setembro, consequência direta da sazonalidade das chuvas, que ocorrem de forma concentrada no verão (Dez a Fev). É possível também destacar que a vazão média de longo termo ( $Q_{med}$ ) é de **93,2809 (m<sup>3</sup>/s)**.

---

## Capítulo 5 – Estudo de caso

---

Calculou-se também, pela média, a vazão média do período crítico do Sistema Interligado. Esse período está no intervalo entre Jun/1949 a Nov/1956. Sendo assim, a média do período crítico é **44,6751 (m<sup>3</sup>/s)**.

A curva de permanência foi construída conforme a média das vazões mensais, apresentadas na Tabela 5.2. Organizou-se a matriz M de acordo com as médias de cada mês para todos os anos devido ao extenso número de dados.

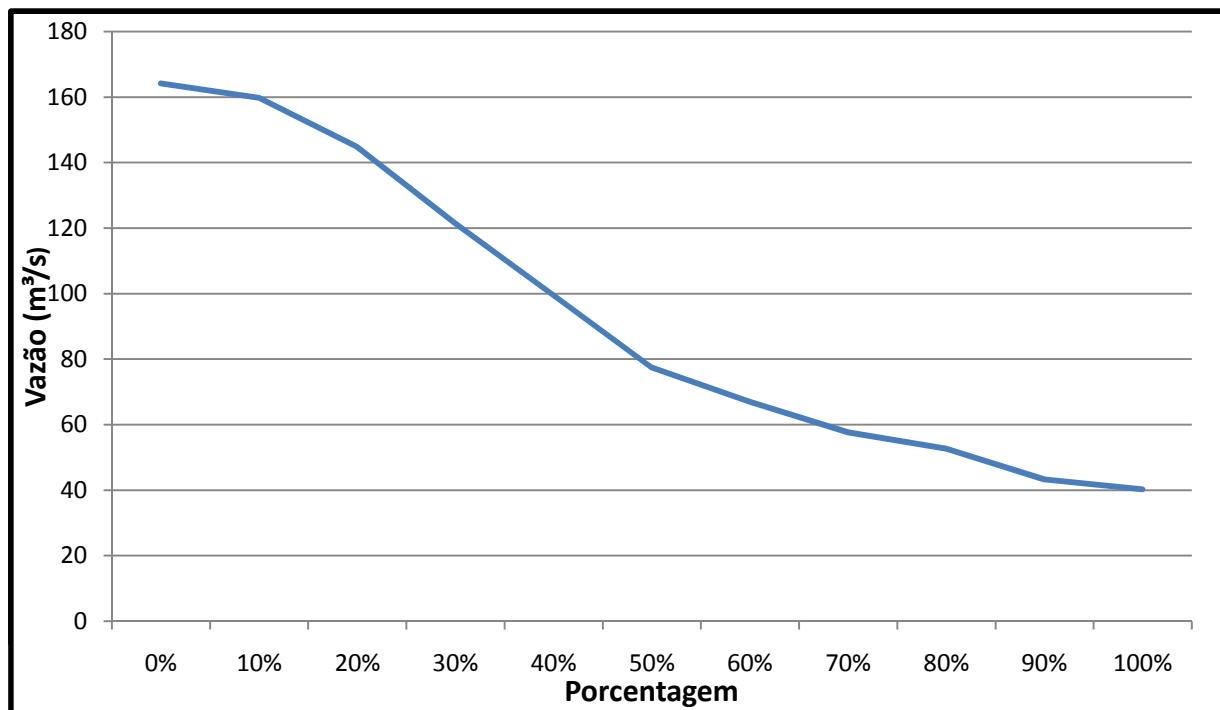
Logo em seguida, utilizou-se a função PERCENTIL para encontrar os dados necessários para a construção da curva. Os valores encontrados para cada período de duração D se encontram na Tabela 5.3.

**Tabela 5.3** - Valores de vazão com sua respectiva probabilidade de ocorrer no decorrer do tempo

Duração (D)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Duração (D)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)
0%	164,1751	5%	162,3467
10%	159,7389	15%	153,623
20%	144,7875	25%	131,1924
30%	121,4508	35%	114,9203
40%	99,45579	45%	80,64096
50%	77,42699	55%	75,17706
60%	66,96663	65%	60,27859
70%	57,65024	75%	55,10263
80%	52,65192	85%	48,47205
90%	43,3041	95%	41,4219
100%	40,26987		

A Figura 5.12 apresenta o gráfico da curva de permanência encontrada para o rio Tijuco.

## Capítulo 5 – Estudo de caso



**Figura 5.12 - Curva de permanência rio Tijuco**

Alguns pontos da curva de permanência recebem maior atenção. Como o intuito do estudo é para fins hidrelétricos, o ponto de maior destaque é para a vazão  $Q_{95\%}$ , que possui um valor de **41,422 (m³/s)**. Este valor de vazão pode ser o utilizado para definir a energia assegurada em um aproveitamento hidrelétrico.

Os valores das menores médias móveis de sete dias consecutivos  $Q_7$  encontrados para cada ano da série estudada podem ser observados na Tabela 5.4.

**Tabela 5.4 - Menores valores das médias móveis de sete dias**

Ano	$Q_7$ (m³/s)	Ano	$Q_7$ (m³/s)	Ano	$Q_7$ (m³/s)	Ano	$Q_7$ (m³/s)	Ano	$Q_7$ (m³/s)	Ano	$Q_7$ (m³/s)
<b>1942</b>	31,5	<b>1954</b>	9,6	<b>1966</b>	33,54	<b>1978</b>	28,51	<b>1990</b>	37,8	<b>2002</b>	15,02
<b>1943</b>	31,61	<b>1955</b>	6,028	<b>1967</b>	36,57	<b>1979</b>	33,64	<b>1991</b>	43,51	<b>2003</b>	31,77
<b>1944</b>	30,41	<b>1956</b>	18,92	<b>1968</b>	32,12	<b>1980</b>	52	<b>1992</b>	43,08	<b>2004</b>	20,51
<b>1945</b>	#	<b>1957</b>	22,528	<b>1969</b>	18,92	<b>1981</b>	22,2	<b>1993</b>	51,78	<b>2005</b>	28,66
<b>1946</b>	#	<b>1958</b>	34,4	<b>1970</b>	25,5	<b>1982</b>	51,98	<b>1994</b>	40,4	<b>2006</b>	42,59
<b>1947</b>	#	<b>1959</b>	28,7	<b>1971</b>	7,40	<b>1983</b>	49,62	<b>1995</b>	38,7	<b>2007</b>	26,19
<b>1948</b>	29,04	<b>1960</b>	21,3	<b>1972</b>	28,01	<b>1984</b>	46,47	<b>1996</b>	34,19	<b>2008</b>	27,99
<b>1949</b>	20,12	<b>1961</b>	19,1	<b>1973</b>	28,87	<b>1985</b>	40,22	<b>1997</b>	33,70	<b>2009</b>	51,13
<b>1950</b>	19,44	<b>1962</b>	23,21	<b>1974</b>	29,1	<b>1986</b>	33,42	<b>1998</b>	30,11	<b>2010</b>	29,13
<b>1951</b>	23,9	<b>1963</b>	15,6	<b>1975</b>	53,5	<b>1987</b>	41,42	<b>1999</b>	28,31	<b>2011</b>	3,64
<b>1952</b>	21,5	<b>1964</b>	#	<b>1976</b>	35,18	<b>1988</b>	37,58	<b>2000</b>	25,50	<b>2012</b>	29,96
<b>1953</b>	20,12	<b>1965</b>	#	<b>1977</b>	38,1	<b>1989</b>	35,92	<b>2001</b>	22,30	<b>2013</b>	32,51

## Capítulo 5 – Estudo de caso

Alguns anos não apresentam seus valores devido ao pouco número de dados registrados para aquele ano, citado anteriormente. Optou-se pela exclusão desses anos para que não favorecesse ou prejudicasse os cálculos executados.

O valor da vazão  $Q_{7,10}$  e das variáveis envolvidas no seu cálculo encontram-se na Tabela 5.5.

**Tabela 5.5 - Vazão  $Q_{7,10}$  e suas variáveis**

Média $Q_7$	Desvio Padrão $Q_7$	Coeficiente de Variação
30,5297 (m <sup>3</sup> /s)	11,2475	0,3684
$\alpha$	$A(\alpha)$	$\beta$
2,9672	0,8946	34,1266
<b>Vazão <math>Q_{7,10}</math></b>		
16 (m <sup>3</sup> /s)		

A Portaria IGAM nº 49, de 01 de julho de 2010 , Artigo 5º, § 1º garante a jusante de cada derivação, fluxos residuais mínimos equivalentes a 70% da  $Q_{7,10}$  [56]. Sendo assim, a vazão ecológica, se fosse construído um empreendimento em derivação nessa localidade, seria de **11,2 (m<sup>3</sup>/s)**.

A empresa Alupar Investimentos S.A. encaminhou ao IGAM, em 2011, um parecer técnico, de acordo com a Portaria IGAM na 49, de 01 de julho de 2010, que regulariza os procedimentos para a regularização ambiental do uso de recursos hidráulicos do domínio do Estado de Minas Gerais, para fins de aproveitamento de potencial hidrelétrico do empreendimento PCH Cutia Alto no rio Tijuco [57].

Utilizaram a série histórica de vazões da estação Ituiutaba, a mesma utilizada nesta dissertação, por se localizar próximo ao local pretendido, para verificar a disponibilidade hidráulica do local e fazendo a relação entre as áreas de drenagem, citada no item 4.5 deste trabalho.

A Tabela 5.6 apresenta os resultados do autor comparados com os valores calculados pela empresa Alupar Investimentos S.A..

**Tabela 5.6 - Parâmetros de Comparação**

Parâmetro	Parecer Técnico PCH Cutia Alto	Resultados do Autor
<b>Estação Fluviométrica</b>	Ituiutaba	Ituiutaba
<b>Período Série Histórica</b>	01/1942 – 09/2007	01/1942 – 12/2013
<b>Vazão Média Longo Termo</b>	91,0656 m <sup>3</sup> /s	92,2809 m <sup>3</sup> /s
<b>Vazão Q<sub>7,10</sub></b>	16,0 m <sup>3</sup> /s	16,0 m <sup>3</sup> /s

Fonte: Instituto Mineiro de Gestão as Águas (2011) [57]

Analizando a Tabela 5.6, verifica-se que os dados apresentados pelo autor e pela empresa apresentam resultados similares, mesmo com uma diferença no período da série histórica. Mostra também a utilização da hidrologia estatística pelas empresas de engenharia para os estudos hidrológicos.

Outro ponto que merece destaque e que foi utilizado no parecer técnico realizado pela empresa é a relação das áreas de drenagem e a utilização de postos fluviométricos para verificar a disponibilidade hídrica, que tenham uma proximidade do local de implantação, respeitando a diferença de 4 vezes entre as áreas.

Sendo assim, os resultados obtidos neste trabalho poderá ser utilizado para fins de cálculo de outras áreas próximas a estação fluviométrica Ituiutaba por aplicar um maior número de dados em seus cálculos.

## 5.5 ESTIMATIVA DO POTENCIAL HIDROENERGÉTICO

Como discutido no item 4.6, o cálculo para a estimativa da potencia média foi dividida em duas etapas.

A primeira levou-se em consideração a variação dos valores de vazão. Sendo assim, primeiramente foi determinado a vazão turbinável, em m<sup>3</sup>/s, após subtrair a vazão ecológica das vazões médias mensais [58]. Os valores se encontram na Tabela 5.7.

**Tabela 5.7 - Vazão Média Mensal, Ecológica e Turbinável**

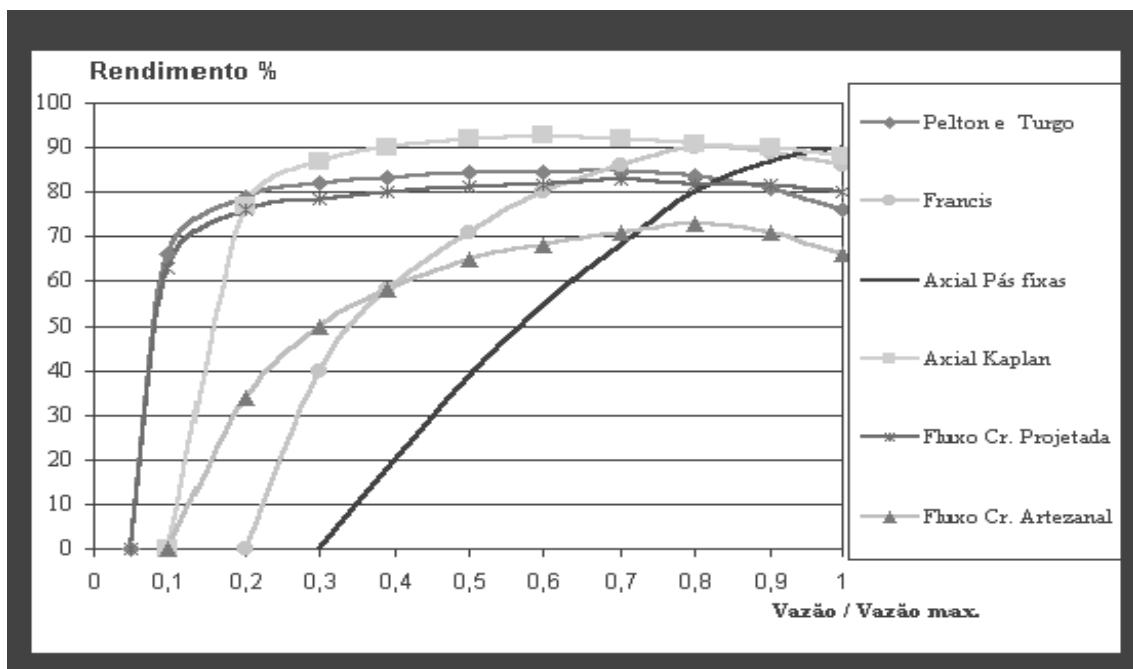
Mês	Vazão Média Mensal (m <sup>3</sup> /s)	Vazão Ecológica (m <sup>3</sup> /s)	Vazão Turbinável (m <sup>3</sup> /s)
Janeiro	160,8508	11,19	149,6608
Fevereiro	164,1751	11,19	152,9851
Março	149,7311	11,19	138,5411
Abril	113,1393	11,19	101,9493
Maio	75,9235	11,19	64,7335
Junho	60,9954	11,19	49,8054
Julho	51,7608	11,19	40,5708
Agosto	42,3645	11,19	31,1745
Setembro	40,2699	11,19	29,0799
Outubro	56,2166	11,19	45,0266
Novembro	78,9305	11,19	67,7405
Dezembro	125,0129	11,19	113,8229

Logo após foi escolhido alguns valores de vazão, entre o intervalo de  $Q_{95\%}$ , 41,422 (m<sup>3</sup>/s) até  $Q_{med}$ , 92,2809 (m<sup>3</sup>/s), para identificar qual acarretaria em uma melhor estimativa de energia. Quando a vazão escolhida fosse menor que as vazões médias mensais, prevaleceria a escolhida. Caso contrário, utilizaria a vazão média mensal [58]. A Tabela (5.8) apresenta a vazão, para cada mês, após fazer essa relação.

**Tabela 5.8 - Vazões Mensais Aplicadas**

	Q45 m <sup>3</sup> /s	Q60 m <sup>3</sup> /s	Q75 m <sup>3</sup> /s	Q90 m <sup>3</sup> /s
Janeiro	45	60	75	90
Fevereiro	45	60	75	90
Março	45	60	75	90
Abril	45	60	75	90
Maio	45	60	64,7335	64,7335
Junho	45	49,8054	49,8054	49,8054
Julho	40,5708	40,5708	40,5708	40,5708
Agosto	31,1745	31,1745	31,1745	31,1745
Setembro	29,0799	29,0799	29,0799	29,0799
Outubro	45	45,0266	45,0266	45,0266
Novembro	45	60	67,7405	67,7405
Dezembro	45	60	75	90

Foi utilizado os rendimentos das turbinas Francis e Kaplan para fins de cálculo, apresentados na Figura (5.13).



**Figura 5.13** - Gráfico dos rendimentos de alguns tipos de turbinas com variação de vazões e queda constante.

Fonte: [59]

Escolheu-se nos cálculos da potência média para a turbina tipo Francis rendimento igual ou maiores que 0,87, e para as turbinas tipo Kaplan, rendimento igual ou maior que 0,88. Tais valores são os resultados da relação Vazão/Vazão max igual a 1, apresentados na Fig. (5.13). Para determinar o rendimento primeiro fez-se a divisão entre a vazão mensal aplicada pela vazão turbinável. Depois de encontrado o valor, observa-se na curva da turbina escolhida, o valor correspondente ao rendimento.

Após encontrado todos as variáveis, fez-se a estimativa da energia média gerada a partir da Eq. (5.1) [58]:

$$P_{med} = 9,81 * \eta * (Q - Q_{eco}) \quad (1)$$

Onde:

$P_{med}$  = Potência média correspondente à energia média gerada (KWmédio/m).

$Q$  = vazão média ( $m^3/s$ ).

$Q_{eco}$  = vazão ecológica ( $m^3/s$ ).

---

**Capítulo 5 – Estudo de caso**


---

$$Q_{turb} = Q - Q_{eco}$$

$\eta$  = rendimento da turbina.

Obteve-se os seguintes valores de potências médias (KW/m) que estão apresentados nas Tab. (5.9) e (5.10).

**Tabela 5.9 - Potência Média (KW/m) para a turbina tipo Francis**

Mês	P <sub>45</sub>	P <sub>60</sub>	P <sub>75</sub>	P <sub>90</sub>
Janeiro	383,67	511,56	639,45	767,34
Fevereiro	383,67	511,56	639,45	767,34
Março	383,67	511,56	639,45	767,34
Abril	383,67	511,56	639,45	767,34
Maio	383,67	511,56	570,9495	0
Junho	383,67	439,2836	0	0
Julho	353,8585	0	0	0
Agosto	265,7938	0	0	0
Setembro	0	0	0	0
Outubro	383,67	392,722	0	0
Novembro	383,67	511,56	590,8326	0
Dezembro	383,67	511,56	639,45	767,34
<b>Total</b>	<b>4072,682</b>	<b>4412,926</b>	<b>4359,032</b>	<b>3836,7</b>

**Tabela 5.10 - Potência Média (KW/m) para a turbina tipo Kaplan**

	P <sub>45</sub>	P <sub>60</sub>	P <sub>75</sub>	P <sub>90</sub>
Janeiro	388,08	517,44	646,8	776,16
Fevereiro	388,08	517,44	646,8	776,16
Março	388,08	517,44	646,8	776,16
Abril	388,08	517,44	646,8	776,16
Maio	388,08	517,44	564,6056	583,63724
Junho	388,08	439,2836	453,9264	453,92642
Julho	357,8345	365,7863	369,7623	361,81039
Agosto	281,0693	281,0693	274,9591	268,84889
Setembro	265,0342	259,3345	253,6349	0
Outubro	388,08	401,5472	410,3724	405,95983
Novembro	388,08	517,968	597,4712	610,74835
Dezembro	388,08	517,968	646,8	776,16
<b>Total</b>	<b>4396,658</b>	<b>5370,157</b>	<b>6158,732</b>	<b>6565,7311</b>

As Tabelas 5.9 e 5.10 proporcionam as seguintes observações:

- a)** Nota-se que a potência é nula para alguns meses. Isso ocorre por conta da relação vazão/vazão máxima imprimir um rendimento menor que aqueles escolhidos para cada tipo de turbina. Sendo assim, a não utilização do mesmo para fins de cálculo.
- b)** Os resultados das Tabelas 5.9 e 5.10, e a Figura . (5.13) mostram que, a medida que a relação vazão/vazão máxima diminui, ocorre um decréscimo do rendimento na turbina Francis, gerando menores potências médias para as vazões escolhidas. Já a turbina Kaplan, que apresenta maior estabilidade no seu rendimento de acordo com a relação vazão/vazão máxima, promove maiores valores de potência média.
- c)** De acordo com os resultados, tem-se uma melhor estimativa de energia com a vazão de 60 ( $m^3/s$ ) para turbina Francis e de 90 ( $m^3/s$ ) para a Kaplan. Porém, tais valores se afastam muito das médias de alguns meses como mostrado na Tabela 5.2. Usufruiria da eficiência das turbinas apenas no período chuvoso, ficando muito baixa a geração no período seco.
- d)** As diretrizes da Eletrobrás para projetos de PCH considera que a vazão deverá ser a mínima medida no local, ou  $Q_{95\%}$ , ou ainda, a vazão média ao longo do período crítico do sistema interligado, 44,6751 ( $m^3/s$ ). Considerando a afirmação acima e os resultados das tabelas, a vazão escolhida que melhor se encaixa para essa estimativa de energia é de 45 ( $m^3/s$ ). Mesmo sendo um valor abaixo das vazões que apresentaram melhor potencial, a energia média gerada pela vazão de 45 ( $m^3/s$ ) é atrativa.
- e)** A região escolhida apresenta um potencial para aproveitamentos do tipo hidrelétrico bastante considerável, podendo ser uma região de estudos para a implantação de empreendimentos dessa natureza do ponto de vista hidrológico.

## 5.6 DETERMINAÇÃO DO TIPO DE TURBINA E DA POTÊNCIA DO GERADOR

A simulação do programa envolve duas situações diferentes: uma unidade geradora e duas unidades geradoras. Para cada situação foi encontrado a estimativa

## Capítulo 5 – Estudo de caso

---

da potência instalada, do tipo de turbina, da potência do gerador e da tensão de geração, utilizando os dois valores de queda líquida, conforme a Tabela 5.1.

O programa e as simulações foram feitas utilizando o *Octave 3.8.1*. As características dos aproveitamentos e os resultados para cada situação se encontram nas Tabela 5.11 e Tabela 5.12

**Tabela 5.11 - Características e resultados do aproveitamento para 1 unidade geradora**

---

### 1 UNIDADE GERADORA

<b>Queda Líquida</b>	9,5 (m)	9,3 (m)
<b>Rendimento Turbina-Gerador</b>	85%	85%
<b>Vazão</b>	45 (m <sup>3</sup> /s)	45 (m <sup>3</sup> /s)
<b>Rendimento Gerador</b>	98%	98%
<b>Fator de Potência do Gerador</b>	0.95	0.95
<b>Potência do Local</b>	3.56 (MW)	3.48 MW
<b>Potência da Unidade</b>	3.56 (MW)	3.48 (MW)
<b>Turbina</b>	Francis Caixa Aberta Kaplan	Francis Caixa Aberta Kaplan
<b>Potência Gerador</b>	3.68 (MVA)	3.6 (MVA)
<b>Tensão de Geração</b>	4.1.6 (KV) / 6.9 (KV) / 13.8 (KV)	4.1.6 (KV) / 6.9 (KV) / 13.8 (KV)
<b>Potência da Usina</b>	3.56 (MW)	3.48 (MW)

**Tabela 5.12 - Características e resultados do aproveitamento para 2 unidades geradoras****2 UNIDADE GERADORAS**

<b>Queda Líquida</b>	9,5 (m)	9,3 (m)
<b>Rendimento Turbina-Gerador</b>	85%	85%
<b>Vazão</b>	45 (m <sup>3</sup> /s)	45 (m <sup>3</sup> /s)
<b>Rendimento Gerador</b>	98%	98%
<b>Fator de Potência do Gerador</b>	0.95	0.95
<b>Potência do Local</b>	3.56 (MW)	3.48 MW
<b>Potência da Unidade</b>	3.56 (MW)	3.48 (MW)
<b>Turbina</b>	Francis Caixa Aberta Kaplan	Francis Caixa Aberta Kaplan
<b>Potência Gerador</b>	3.68 (MVA)	3.6 (MVA)
<b>Tensão de Geração</b>	4.1.6 (KV) / 6.9 (KV) / 13.8 (KV)	4.1.6 (KV) / 6.9 (KV) / 13.8 (KV)
<b>Potência da Usina</b>	7.12 (MW)	6.96 (MW)

Os dimensionamentos das potências das turbinas e dos geradores foram baseados no valor para a vazão selecionada, encontrada durante o estudo hidrológico realizado neste trabalho. Conforme visto, ocorre a sazonalidade das chuvas em alguns meses do ano, aumentando assim a vazão do rio e posteriormente a potência no local. Com isso, o dimensionamento desses equipamentos deve ter uma margem a mais de potência para que possam ser aproveitado essas variações de vazão e gerar mais energia.

# 6 Conclusões

## 6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mesmo com a existência de um grande potencial energético a partir de usinas hidrelétricas, a abundância dos recursos hídricos imprimiu ainda um potencial hidroenergético não estudado ou utilizado que pode ser viável para gerar energia através deste tipo de empreendimento, ainda mais com as características de uma PCH que alia geração a baixo impacto ambiental.

Com isso, a dissertação teve como objetivo apresentar uma metodologia em que avaliasse de forma preliminar uma bacia hidrográfica, ou um local, trecho ou segmento da mesma, para a implantação de pequenas centrais hidráulicas, estimando o potencial hidrelétrico, conforme os aspectos técnicos e socioambientais.

As análises das condicionantes geológico-geotécnicas, socioambientais e infraestrutura e logística foram aliadas ao Sistema de Informações Geográficas (SIG). Há, atualmente, um vasto banco de dados *on-line*, com informações georreferenciadas de topografia, meio ambiente, transporte, linhas de transmissão, geologia, entre outros, disponibilizados pelas agências e instituições nacionais. Dado que os estudos preliminares de empreendimentos desta natureza e estudos ambientais utilizam informações secundárias, estas informações podem ser adotadas no ciclo de implantação de uma PCH de forma a reduzir custos com estudos, incertezas e acelerar o processo de estimativa do potencial. A utilização do SIG, para a organização e análise dos dados, garante agilidade no processo da estimativa. Lembrando que esta ferramenta não substitui os estudos de campo.

Outro fator de total relevância se aplica aos estudos hidrológicos para a prospecção de potenciais. Baseados em série histórica de vazões de uma estação fluviométrica, a vazão ou disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica foi encontrada de acordo com as Diretrizes de Projetos de PCH, da Eletrobrás, relacionando as variáveis da hidrologia estatística com a legislação vigente e um estudo de intervalos de vazões, verificando o melhor valor para os cálculos.

---

## Referências

Por fim, toda a metodologia descrita foi aplicada em uma região que apresenta um potencial hidroenergético considerável para a instalação de PCHs, conforme os resultados de cada aspecto analisado, e pode servir como um elo entre estudos acadêmicos e uso da sociedade, seja empresas ou órgãos que relacionam os aspectos em questão, que tenham interesse na região ou para aplicar em outras bacias hidrográficas.

## 6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Apresentam-se alguns temas indicativos para um maior aprofundamento:

- Realizar estudos de arranjos, dimensionando os principais componentes de uma PCH (conduto forçado, casa de força, túnel de adução, canal de fuga, entre outros);
- Análise da possibilidade de modernização de antigas PCHs, com substituição de equipamentos, a partir de uma técnica mais moderna de análise de projetos;
- Análise da possibilidade de utilização de vários tipos de turbina em uma mesma PCH com o intuito de minimizar os custos de operação e manutenção;
- Análise e estudo dos componentes elétricos conforme o mercado atual buscando uma padronização para as PCHs;
- Análise técnico-financeira dos parâmetros de custos de investimentos contextualizada em curto, médio e longo prazo.

## REFERÊNCIAS

- [1] - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução nº 652, de 9 de dezembro de 2003. Estabelece os critérios para o enquadramento de aproveitamento hidrelétrico na condição de Pequenas centrais hidráulica e revoga a Resolução nº 394, de 04 de dezembro de 1998. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 11 dez. 2003. Seção 1, p. 140.
- [2] - CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS. **Diretrizes de estudos e projetos de pequenas centrais hidráulicas**. Rio de Janeiro, RJ, 2000. 458p.
- [3] - FARIA, F. A. M. de. **Metodologia de prospecção de pequenas centrais hidráulicas**. 2000. 120f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- [4] - JUSTINO, L. A. **Estudos de procedimentos de ensaios de campo em turbinas hidráulicas para pch**. 2006. 140f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia da Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2006.
- [5] - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6445**: turbinas hidráulicas, turbinas-bombas e bombas de acumulação. Rio de Janeiro, 1987.
- [6] - ARAUJO, B. R. **Metodologia preliminar para definição da turbina mais adequada a ser utilizada em uma pequenas centrais hidráulica**. 2009. 83f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, 2009.
- [7] - LIMA, R. S. **Padronização de projetos elétricos de Pequenas centrais hidráulicas**. 2002. 209f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia da Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2002.
- [8] - BRASIL. Lei nº 9074, de 07 de julho de 1995. Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 07 jul. 1995.
- [9] - BRASIL. Lei nº 9427, de 26 de dezembro de 1996. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 27 dez. 1996. Seção 1, p. 28653.
- [10] - BRASIL. Lei nº 9433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 08 jan. 1997.
- [11] - BRASIL. Lei nº 9648, de 27 de maio de 1998. Altera dispositivos das Leis no 3.890-A, de 25 de abril de 1961, no 8.666, de 21 de junho de 1993, no 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, no 9.074, de 7 de julho de 1995, no 9.427, de 26 de dezembro de 1996, e autoriza o Poder Executivo a promover a reestruturação da Centrais Elétricas Brasileiras - ELETROBRÁS e

---

## Referências

- de suas subsidiárias e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 27 mai. 1998.
- [12] - BRASIL. Lei nº 9984, de 17 de julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 jul. 2000.
- [13] - BRASIL. Lei nº 9991, de 24 de julho de 2000. Dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 24 jul. 2000.
- [14] - BRASIL. Lei nº 10438, de 26 de abril de 2002. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica, dá nova redação às Leis no 9.427, de 26 de dezembro de 1996, no 9.648, de 27 de maio de 1998, no 3.890-A, de 25 de abril de 1961, no 5.655, de 20 de maio de 1971, no 5.899, de 5 de julho de 1973, no 9.991, de 24 de julho de 2000, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 26 abr. 2002.
- [15] - BRASIL. Lei nº 10762, de 11 de novembro de 2003. Dispõe sobre a criação do Programa Emergencial e Excepcional de Apoio às Concessionárias de Serviços Públicos de Distribuição de Energia Elétrica, altera as Leis nos 8.631, de 4 de março de 1993, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 11 nov. 2003.
- [16] - BRASIL. Lei nº 10847, de 15 de março de 2004. Autoriza a criação da Empresa de Pesquisa Energética – EPE e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 15 mar. 2004.
- [17] - BRASIL. Lei nº 10848, de 15 de março de 2004. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis nos 5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de março de 1993, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 15 mar. 2004.
- [18] - BRASIL. Decreto nº 2003, de 10 de setembro de 1996. Regulamenta a produção de energia elétrica por Produtor Independente e por Autoprodutor e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 10 set. 1996.
- [19] - BRASIL. Decreto nº 5163, de 30 de julho de 2004. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 30 jul. 2004.

## Referências

---

- [20] - BRASIL. Decreto nº 5184, de 16 de agosto de 2004. Cria a Empresa de Pesquisa Energética – EPE, aprova seu Estatuto Social e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 16 ago. 2004.
- [21] - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução nº 248, de 06 de maio de 2002. Atualiza os procedimentos para cálculos dos limites de repasse dos preços de compra de energia elétrica, para as tarifas de fornecimento. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 07 mai. 2003.
- [22] - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução nº 343, de 09 de dezembro de 2008. Estabelece procedimentos para registro, elaboração, aceite, análise, seleção e aprovação de Projeto Básico e para autorização de aproveitamento de potencial de energia hidráulica com características de Pequenas centrais hidráulica - PCH, bem como revoga as disposições em contrário, das Resoluções ANEEL 393 e 395 de 04/12/1998. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 07 mai. 2003.
- [23] - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução nº 559, de 27 de junho de 2013. Estabelece o procedimento de cálculo das Tarifas de Uso de Sistema de Transmissão – TUST. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 27 jun. 2013.
- [24] - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 01, de 23 de janeiro de 1986. Define as situações e estabelece os requisitos e condições para desenvolvimento de Estudo de Impacto Ambiental - EIA, e respectivo Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 fev. 1986.
- [25] - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 279, de 27 de junho de 2001. Determina os procedimentos e prazos a serem aplicados, em qualquer nível de competência ao licenciamento ambiental simplificado de empreendimentos elétricos com pequeno potencial de impacto ambiental, tais como usinas hidrelétricas, usinas térmicas, sistema de transmissão de energia elétrica e usinas eólicas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 29 jun. 2001.
- [26] - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Guia do empreendedor de pequenas centrais hidráulicas**. Brasília, DF, 2003. 704p.
- [27] - LEÃO, L. L. **Considerações sobre impactos socioambientais de pequenas centrais hidráulicas (pchs) – modelagem e análise**. 2008. 150f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.
- [28] - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Banco de informações de geração: capacidade de geração do Brasil**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 27 mai. 2014.
- [29] - BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Manual de inventário hidrelétrico de bacias hidrográficas**. Rio de Janeiro, RJ, 2007. 684p.
- [30] - SILVA, V. C. B., MACHADO, P. S. **Iniciando no ArcGis**. Belo Horizonte: Departamento de Ciências Biológicas, Ambientais e da Saúde, Centro Universitário de Belo Horizonte, 2010. 62 p. Apostila.

---

## Referências

- [31] - FILHO, G. L. T., NUNES, C. F., ALVES, L. H. F. Uso de ferramenta SIG em estudos de inventário de rios para o aproveitamento hidroenergético de pequeno porte. **Revista PCH Noticias & SHP NEWS**, Itajubá, v.9, n. 38, p. 24-27, jun./ago./set. 2008.
- [32] - CASTRO, L. W. A. de. **Risco geológico-geotécnico associado a projetos de implantação de pchs: caso da pch cachoeirão**. 2008. 88f. Dissertação (Mestrado Profissional) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008.
- [33] - BRASIL. Lei nº 9985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, §1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 jul. 2000.
- [34] - BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.
- [35] - SCOLFORO, J. R. S., OLIVEIRA, A. D. de., TAVARES, L. M. **Zoneamento ecológico-econômico do Estado de Minas Gerais: zoneamento e cenários exploratórios**. Lavras: ed. UFLA, 2008. 136p.
- [36] - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Diretrizes para a elaboração de serviços de cartografia, de topografia e para o georreferenciamento de mapas, desenhos e arquivos eletrônicos, relativos a estudos e projetos de centrais hidrelétricas**. Brasília, DF, 2008. 21p.
- [37] - MELO, A. G., GOLDFARB, M. C. Contribuição para modelagem do perfil longitudinal: bacia do rio Una (PE). In: CONGRESSO DE MATEMÁTICA APLICADA E COMPUTACIONAL, 4. 2012, Lindóia. **Anais do Congresso de Matemática Aplicada e Computacional**. Lindóia: SBMAC, 2012. p. 109-111.
- [38] - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Sistema nacional de informações sobre os recursos hídricos**. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br>>. Acesso em: 03 de abr. 2014.
- [39] - COLLISCHONN, W., TASSI, R. **Introduzindo hidrologia**. Rio Grande do Sul: Instituto de Pesquisa Hidráulica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008, 151p. Apostila.
- [40] - REIS, A. A., NAGHETTINI, M., MELO, M. D. Estudo comparativo, aplicação e definição de metodologias apropriadas para a determinação da vazão ecológica na bacia do rio Para, em Minas Gerais. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2007, São Paulo. **XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**. São Paulo, 2007.
- [41] - SARMENTO, R. **Termo de referência para a elaboração de estudos sobre a vazão ecológica na bacia do rio São Francisco**. Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. Projeto 704BRA2041, Edital n.05, 2006. 50p.
- [42] - SANTOS, B. B., SOBRINHO, T. A., ALMEIDA, I. K. Avaliação da disponibilidade hídrica para concessão de outorgas baseada em vazões mínimas de referência. In: XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2011, Maceió. **XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**. Maceió, 2011.
- [43] - VALLE JÚNIOR, R. F., PISSARA, T. C. T., PASSOS, A. O. RAMOS, T. G., ABDALA, V. L. Diagnóstico das áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica do rio tijuco,

---

## Referências

- Ituiutaba – MG, utilizando tecnologia SIG. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.3, p.495-503. mai./jun. 2010.
- [44] - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Bando de dados georreferenciados.** Disponível em: <[http://www.ibge.com.br/home/geociencias/default\\_prod.shtm](http://www.ibge.com.br/home/geociencias/default_prod.shtm)>. Acesso em: 08 de jan. 2014.
- [45] - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Dados georreferenciados do Brasil.** Disponível em: <<http://geobank.sa.crpm.gov.br>>. Acesso em: 13 jan. 2014.
- [46] - DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUTO MINERAL. **Sistema de informações geográficas de mineração.** Disponível em: <<http://sigminc.dnpm.gov.br/webmap>>. Acesso em: 13 jan. 2014.
- [47] - MINISTÉRIO DE MEIO AMBIENTE. **Dados geográficos do Brasil.** Disponível em: <<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload>>. Acesso em: 28 jan. 2014.
- [48] - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Banco de informações ao cliente.** Disponível em: <<http://www.cemig.com.br>>. Acesso em: 10 fev. 2014.
- [49] - SISTEMA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DE MINAS GERAIS. **Zoneamento ecológico econômico.** Disponível em: <<http://meioambiente.mg.gov.br>>. Acesso em: 28 jan. 2014.
- [50] - OLIVEIRA, A. M. S., BRITO, S. N. A. **Geologia de engenharia.** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. 586p.
- [51] - MINAS GERAIS. Decreto nº 45568, de 22 de março de 2011. Cria o refúgio de vida silvestre estadual dos rios Tijuco e do Prata, e dá outras providências. **Diário do Executivo**, Belo Horizonte, MG, 23 mar. 2011. p.8\_col1.
- [52] - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Acesso e uso dos sistemas de transmissão e de distribuição.** Brasília, DF, 2005. 57p.
- [53] - LIMA, R. N. S. Google earth aplicado a pesquisa e ensino de geomorfologia. **Revista de ensino de geografia.** Uberlândia, v.3, n.5, p. 17-30, jul./dez. 2012.
- [54] - KOMINECKI, A. DE LIMA, A. G. Uso do programa Google Earth na obtenção de perfis longitudinais de rios. In: XVII Semana de Iniciação Científica da UNICENTRO. 2012, Santa Cruz. **XVII Semana de Iniciação Científica da UNICENTRO.** Santa Cruz, 2012.
- [55] - MINAS GERAIS. Decreto 45818, de 16 de dezembro de 2011. Regulamento do Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM. **Diário do Executivo**, Belo Horizonte, MG, 17 dez. 2014. p.8\_col.1.
- [56] - INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO AS ÁGUAS. Portaria nº 49, de 01 de julho de 2010. Estabelece os procedimentos para a regularização do uso de recursos hídricos do domínio do Estado de Minas Gerais. **Diário do Executivo**, Belo Horizonte, MG, 06 jul. 2010.
- [57] - INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO AS ÁGUAS. **Parecer técnico, Processo nº 7756/2011 referente ao aproveitamento hidrelétrico para a geração de 30.0 MW de potência, no rio Tijuco, local denominado por PCH Cutia Alto, município de Ituiutaba, MG.** Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br>>. Acesso em: 10 jun. 2014.

---

**Referências**

- [58] - RAMIREZ ROSADO, I. J., ZORZANO SANTAMARIA, P., MENDOZA VILLENA, M., ZORZANO ALBA, E., LARA SANTILLAN, P., FERNANDEZ JIMÉNEZ, L. A., GARCI GARRIDO, E. Advanced computational evaluation of minihydraulic Power stations. In: 22<sup>nd</sup> IASTED INTERNATIONAL CONFERENCE – MODELLING, IDENTIFICATION AND CONTROL. 2003, Innsbruck. **Proceedings of the 22<sup>nd</sup> IASTED International Conference – Modelling, Identification and Control.** Innsbruck, 2003. p. 10-13.
- [59] - MIRANDA, R. L. **Regulação técnica para se obter melhor eficiência na motorização de pequenas centrais hidráulicas no Brasil.** 2009, 118f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Salvador, 2009.

# ANEXO I

## Série Histórica Estação Ituiutaba

MÉDIA DAS VAZÕES MENSAIS (m³/s) - 1942/2013												
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
<b>1942</b>	107	149	186	172	84,3	63,4	52,9	41,2	44,9	49,3	54,1	132
<b>1943</b>	292	199	170	117	72,6	63,7	48	39,8	34,6		126	114
<b>1944</b>	93,8	162	175	121	70,6	58,4	49,1	41,4	34,1	50,2	74,1	78,1
<b>1948</b>								42,3	34,5	44	119	127
<b>1949</b>	197	236	144	111	89,9	53,6	43	34	27,3	88,7	51,7	86,2
<b>1950</b>	114	174	153	88,1	52,9	42,5	34,3	26,7	21	37,6	133	120
<b>1951</b>	200	225	206	114	84	64,9	51,4	42	33,1	41,7	49,8	61,4
<b>1952</b>	125	157	182	100	59,7	53,6	40,6	31,6	29,9	49	75,1	54,9
<b>1953</b>	52,8	79,2	124	89,6	45	34,5	30,6	24,4	26	50,9	53,2	83,2
<b>1954</b>	59,3	127	54,6	39,6	53,3	31,2	21,3	13,7	9,96	12,6	28,6	47,8
<b>1955</b>	115	63,2	75,7	60	28,5	23	14,4	9,76	6,77	18,9	28,6	115
<b>1956</b>	53	67,9	104	58	69,4	72,3	41,9	39,3	30,5	25,4	48,2	96
<b>1957</b>	133	151	128	159	83,7	57,2	57,7	40,4	38,6	32,6	54,5	113
<b>1958</b>							62,2	45,5	51,8	52,9	48,8	82,5
<b>1959</b>	176	162	244	116	72,4	62,2	47,9	45,3	33,3	40,8	68,4	90,7
<b>1960</b>	139	155	106	99,4	51,5	35,1	36,1	30,2	25,8	60,6	92,7	218
<b>1961</b>	111	167	100	77,3	83,1	32,7						
<b>1962</b>					62,9		36	30,4	36,8	85,9	50,7	243
<b>1963</b>	103	146	71,1	27,3								
<b>1966</b>	132	91,7	142	90,2				43,5	39,6	71,5	126	136
<b>1967</b>	164	199				57,1	49,5	63			167	243
<b>1968</b>												
<b>1969</b>	135	141	99,9	68,6	45,4	37,5	32,4	26,6	21	43,7	76,3	63,4
<b>1970</b>	101	174	98,6	77,5	40,5	33,6	32,9	29	27,8	48,6	49,5	44,3
<b>1971</b>	38,9	71,5	67,6	48,3	24,1	22,8	15,7	13,1	12,4	34,2	41,1	120
<b>1972</b>	102	254	130	111	57,3	35,1	34,4					
<b>1973</b>	153	151	181	135	71,2	57	48,4	37,5	34,8	64,5	85,6	153

## Apêndices

---

<b>1974</b>	163	111	168	126	89,1	65,9	50	43,8	31,8	51,2	44,2	136
<b>1975</b>	133	106	79,5	128	107	91,5	93,3			76,3	134	156
<b>1976</b>	153	189	154	107	69,3	55,1	48,3	41,4	55,4	67,2	85,8	160
<b>1977</b>	172	114	102	133	95,5	87,3	63,5	48,4	62,3	74,2	132	159
<b>1978</b>	235	86,2	108	83,5	67	64,2	47,3	35,9	40,5	48,5	97,4	134
<b>1979</b>	146	199	124	80,8	75,7	60,3	54,1	40,4	57,2	42	79,3	125
<b>1980</b>	203	227	103		83,5	87,2	88	77,4		73,7	107	167
<b>1981</b>	169	119	114	72	60,2	58,4	40,6	40,6	26,2	83,5	95,1	159
<b>1982</b>	302	213	294	173	130	92,1	75,8	72,2	58,4	83,7	116	180
<b>1983</b>	348	312	255	222	150	126	82,7	65,8	97,3	191	165	221
<b>1984</b>	201	157	106	147	99,7	69,8	62,4	62,6	70,5	67,5	85	153
<b>1985</b>	231	175	218	133	79,5	73,6	63,6	60,6	55	53,8	72,5	93,5
<b>1986</b>	151	140	145	87,3	84,2	56,1	53,4	57,5	44	46,3	47,7	132
<b>1987</b>	153	202	217	132	101	78,4	57,2	50,9	48,3	52,9	109	200
<b>1988</b>	173	210	171	150	93,9	73,3	59,9	54,8	43,6	73,3	97,3	145
<b>1989</b>	159	214	147	112	71,3	61,9	60,2	57,1	62,7	48,4		
<b>1990</b>	136								46	54,5	65,4	70,5
<b>1991</b>	161	251	249	257	107	78,3	65,6	57,1	49,5	59,5	59,8	80,2
<b>1992</b>									55,2	124	171	126
<b>1993</b>	93,9	204	145	130	84,4	84,4	64,2	61	67,8	75,8	73,4	128
<b>1994</b>	280						71,4	59	47,3	50,8	74,8	139
<b>1995</b>	160	311	180	126	122	82,5	68			62,3		78,7
<b>1996</b>	153,617	136,493	160,09	87,49	67,12	54,669	48,986	42,281	50,287	38,916	86,452	94,79886
<b>1997</b>	224,401	129,404	148,21	96,28	68,63	89,349	55,745	45,515	37,40895	55,024	77,8124	148,9977
<b>1998</b>	130,939	170,029	153,86	105,2	86,01	63,981	50,013	50,331	32,86161	54,229	71,30251	99,37912
<b>1999</b>	154,522	128,13	173,82	92,46	63,34	55,267	46,304	36,278	41,20766	31,37	36,006	54,39693
<b>2000</b>	142,615	204,6893	194,16	106,5	68,03	54,877	48,452	40,998	59,844	31,874	65,20889	111,7765
<b>2001</b>	91,1106	73,21301	94,297	82,55	53,93	42,154	33,217	26,956	27,10217	42,522	52,7423	78,71146
<b>2002</b>	134,604	178,853	123,74	65,3	55,4	42	36,441	26,784	28,66	20,12	46,814	93,239
<b>2003</b>	423,996	210,5995	191,24	129,1	73,71	60,664	49,694	42,64	36,55915	40,503	58,58103	104,1874
<b>2004</b>		224,906	142,43	133,6	75,02	64,721	56,78	42,233	23,76968	41,215	79,03406	210,8235
<b>2005</b>	245,243	205,3854					54,748	41,407	53,11897	47,836	83,45541	138,1906
<b>2006</b>	113,387	137,3725	198,8	158,7	77,8	62,975	59,267	61,666	49,92178	118,84	102,6431	184,8797
<b>2007</b>	188,97	198,7196	114,12	96,01	64,75	52,726	49,556	40,353	30,58312	33,431	52,68072	70,9066
<b>2008</b>	75,5766	181,5391	135,68	134,2	99,9	73,595	58,786	46,622	33,05762	48,245	51,34834	77,09571
<b>2009</b>	147,258	172,0218	155,53	162,7	101,7	71,547	57,362			68,259	71,9562	131,5086
<b>2010</b>	102,804	95,9188	95,565	104,6	48,62	45,296	39,535	36,632	30,4409	46,443	76,8388	282,636
<b>2011</b>	257,1117	111,4937	317,91	169,9		85,41	85,243	18,097	32,0552	69,356	98,497	121,8639
<b>2012</b>	266,963	127,1991	145,97	131,7	86,24	53,013	62,747	53,206	37,5227	37,081	45,8088	56,9934
<b>2013</b>	139,079	121,8372	116,98				54,97	41,481	34,9919	46,028	60,5107	
<b>MÉDIA</b>	<b>160,851</b>	<b>164,1751</b>	<b>149,73</b>	<b>113,1</b>	<b>75,92</b>	<b>60,995</b>	<b>51,761</b>	<b>42,364</b>	<b>40,26987</b>	<b>56,217</b>	<b>78,93052</b>	<b>125,0129</b>

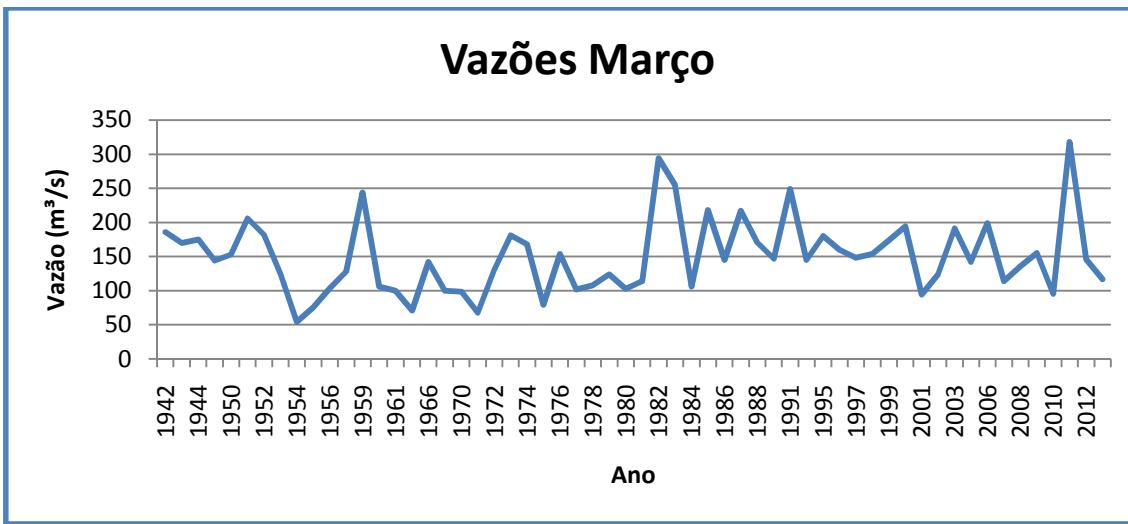
---



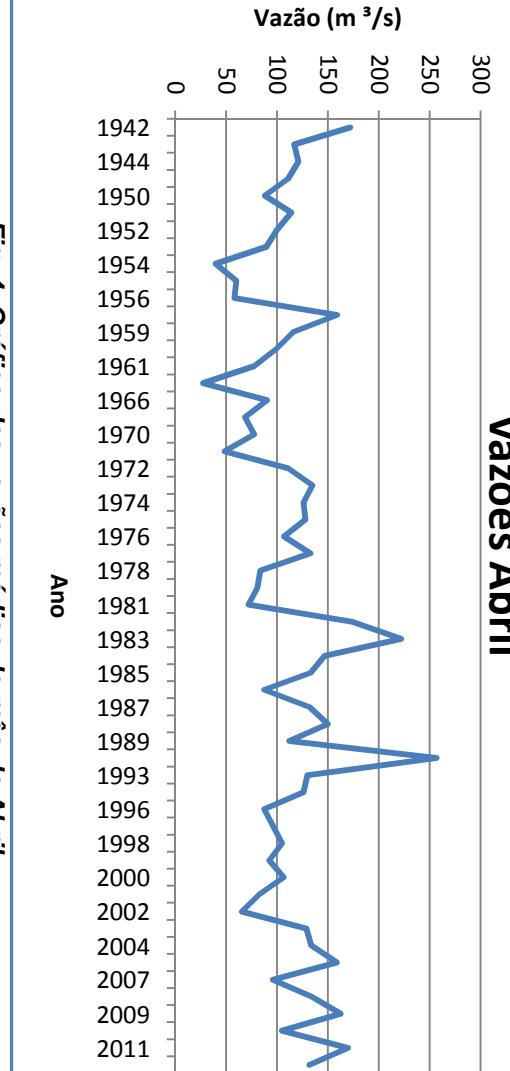
*Fig. 1. Gráfico das vazões médias do mês de Janeiro*



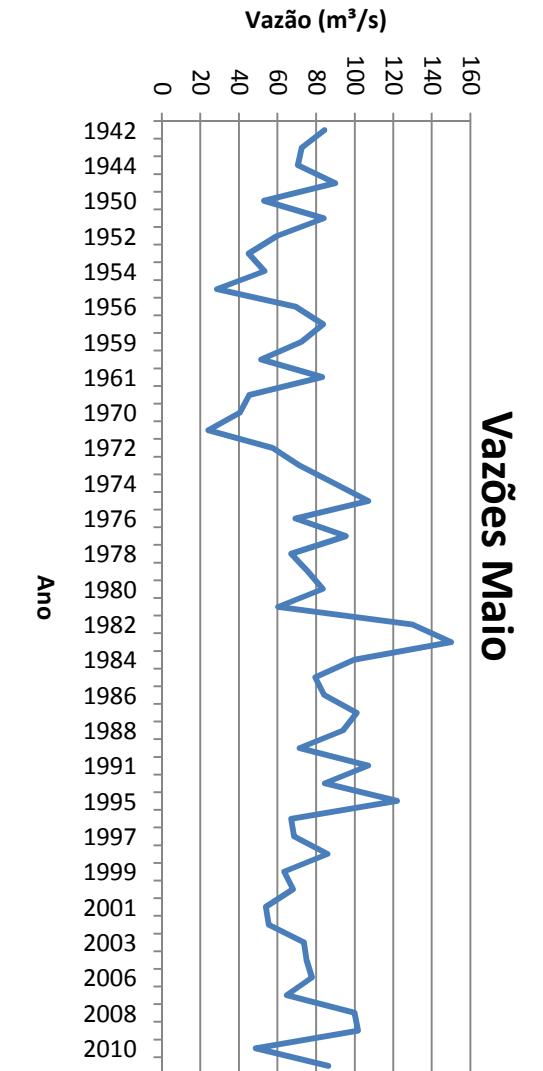
*Fig. 2. Gráfico das vazões médias do mês de Fevereiro*



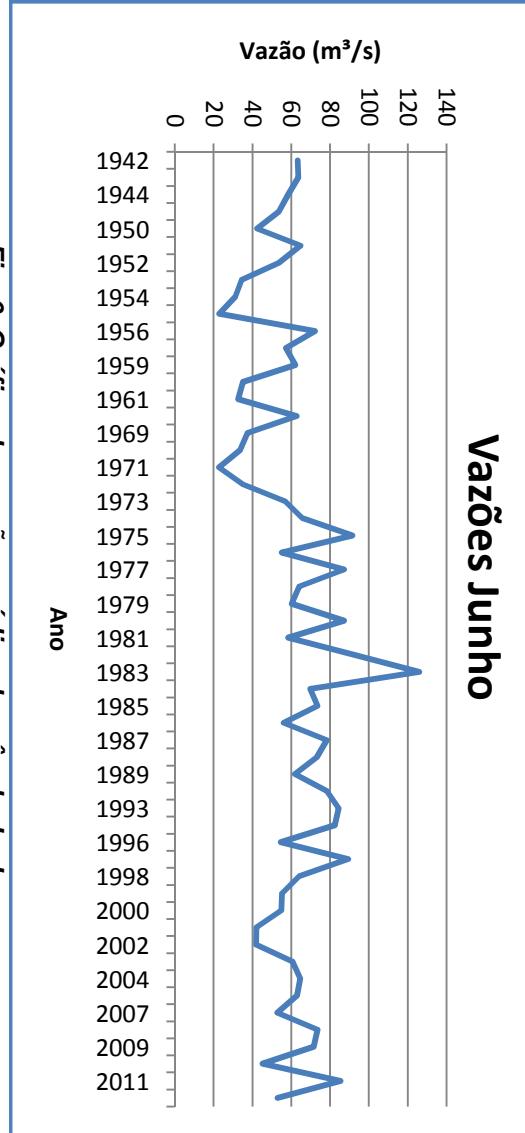
*Fig. 3. Gráfico das vazões médias do mês de Março*



*Fig. 4. Gráfico das vazões médias do mês de Maio*



*Fig. 5. Gráfico das vazões médias do mês de Junho*



*Fig. 6. Gráfico das vazões médias do mês de Junho*



*Fig. 7. Gráfico das vazões médias do mês de Julho*



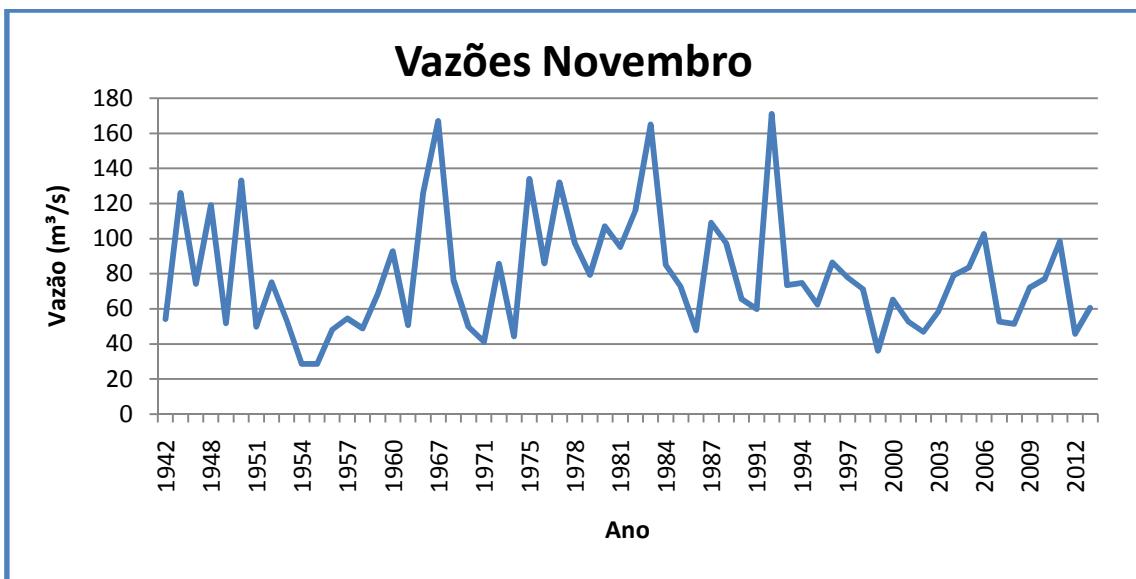
*Fig. 8. Gráfico das vazões médias do mês de Agosto*



*Fig. 9. Gráfico das vazões médias do mês de Setembro*



*Fig. 10. Gráfico das vazões médias do mês de Outubro*



*Fig. 11. Gráfico das vazões médias do mês de Novembro*



*Fig. 12. Gráfico das vazões médias do mês de Dezembro*

# APÊNDICE I

---

## PROGRAMA NO OCTAVE 3.8.1

```
#Universidade Federal de Uberlândia - UFU
#Mestrado em Engenharia Elétrica - Fontes Alternativas de Energia
#Dissertação: Contribuição ao Estudo da Estimativa do Potencial
#Hidrelétrico para Pequenas centrais hidráulicas
#Orientador Prof. Dr. José Roberto Camacho
#Aluno Jacson Hudson Inácio Ferreira
%#O programa tem como objetivo determinar a potência instalada em um
#aproveitamento hidrelétrico de pequeno porte, seu tipo de turbina,
#potência do gerador e classe de tensão de geração.

p = 1; # p = densidade da água (grama/cm^3)
g = 9.81; # g = aceleração da gravidade (m/s^2)
n = input('Rendimento do grupo turbina-gerador (%): '); # n = rendimento do
# grupo turbina/gerador (pu)
rn = n/100;
Q = input('Valor da vazao(m^3/s): '); # Q = vazão (m^3/s)
H = input('Valor da altura(m): '); # H = altura (m)
ng = input ('Rendimento do Gerador (%):'); # rendimento do gerador
ngr = ng/100;
fp = input ('Fator de Potência do Gerador:'); # Fator de Potência
ug = input ('Número de unidades geradoras:'); # Quantida de unidades
# geradoras
PI = p*rn*g*Q*H; # PI = potencia instalada (KW)
disp('Potencia Instalada(KW)');
disp(PI);
PCU = PI*ug;
disp('Potência por Unidade Geradora (KW)')
disp (PCU);
PG = PCU * (ngr/fp); # Potência Gerador (KVA)
if (H>=100)& (H<=1000)
    if (PCU>=500) & (PCU<=12500)
        disp ('Turbina tipo Pelton');
    end
end
if (H>=15)& (H<=250)
    if (PCU>=500) & (PCU<=15000)
        disp ('Turbina tipo Francis Caixa Espiral');
```

---

---

## Apêndices

---

```
    end
end
if (H<=10)
    if (PCU>=500) & (PCU<=15000)
        disp ('Turbina tipo Francis Caixa Aberta');
    end
end
if (H>=4)& (H<=25)
    if (PCU>=500) & (PCU<=5000)
        disp ('Turbina tipo Kaplan');
    end
end
if (H>=4)& (H<=12)
    if (PCU<=1700)
        disp ('Turbina tipo Bulbo');
    end
end
disp ('Potência para cada Gerador (KVA):');
disp (PG);
if (PG<=2000)
    disp ('Tensão de Geração 220/380 ou 480V');
end
if (PG<=3000)
    disp ('Tensão de Geração 2.3 KV');
end
if (PG<=5000)
    disp ('Tensão de Geração 4.16 KV');
end
if (PG<=15000)
    disp ('Tensão de Geração 6.9 KV');
end
if (PG<=100000)
    disp ('Tensão de Geração 13.8 KV');
end
```