

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
CURSO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL ELÉTRICA - ÊNFASE ELETROTÉCNICA

ALEX MOISES LOPES DA SILVA  
ANIBAL CHAGAS JUNIOR  
LUIS AUGUSTO ORTEGA

**MEDIÇÃO DA VAZÃO DO RIO RANCHARIA E ESTUDO DO MELHOR  
APROVEITAMENTO POTENCIAL HIDRELÉTRICO DA USINA.**

PROJETO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2015

ALEX MOISES LOPES DA SILVA  
ANIBAL CHAGAS JUNIOR  
LUIS AUGUSTO ORTEGA

**MEDIÇÃO DA VAZÃO DO RIO RANCHARIA E ESTUDO DO MELHOR  
APROVEITAMENTO POTENCIAL HIDRELÉTRICO DA USINA.**

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – TCC2, do Curso de Engenharia Elétrica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Manoel Alves

CURITIBA

2015

Alex Moises Lopes da Silva  
Anibal Chagas Junior  
Luis Augusto Ortega

## MEDIÇÃO DA VAZÃO DO RIO RANCHARIA E ESTUDO DO MELHOR APROVEITAMENTO POTENCIAL HIDRELÉTRICO DA USINA

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase em Eletrotécnica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 24 de março de 2015.

---

Prof. Emerson Rigoni, Dr.  
Coordenador de Curso  
Engenharia Elétrica

---

Profa. Annemarlen Gehrke Castagna, Mestre  
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso  
de Engenharia Elétrica do DAELT

### **ORIENTAÇÃO**

---

Gilberto Manoel Alves, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Orientador

### **BANCA EXAMINADORA**

---

Gilberto Manoel Alves, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Ivan Azevedo Cardoso, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Eloi Rufatto Junior, Me.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Antonio Gomes de Araújo, Me.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores são gratos...

Primeiramente a Deus que nos guiou pelos caminhos do bem e nos deu a vida.

Aos nossos familiares, que nos apoiaram no decorrer de todo o curso de graduação.

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) onde adquirimos nosso conhecimento e nos oportunizou o desenvolvimento do trabalho.

Aos colegas que direta ou indiretamente participaram no desenvolvimento do projeto.

Ao Professor Doutor Gilberto Manoel Alves, que nos orientou.

Ao Senhor Pedro Proença dos Santos que nos procurou oportunizando a proposta desenvolvida.

## RESUMO

LOPES DA SILVA, Alex M.; JUNIOR, Anibal C.; ORTEGA, Luiz A. **Medição da vazão do rio Rancharia e estudo do melhor aproveitamento potencial hidrelétrico da usina**. 2015. 105f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase em Eletrotécnica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

O aumento da demanda por energia elétrica no Brasil tornou as fontes de energias alternativas uma opção viável para a geração de energia, elas proporcionam a descentralização da geração de energia, aliviando as linhas de transmissão existentes e proporcionando economia/lucro para o proprietário de uma pequena usina.

Considerando a importância e o crescimento desse tipo de empreendimento no país, este trabalho visa dar condições de determinar o potencial hidrelétrico da antiga Usina Siderúrgica Marumby Ltda – Usimar, localizada no município de Rio Branco do Sul/PR, desativada há muito tempo e sucateada. São abordados diversos métodos para medição de vazão de um rio de pequeno porte, apontando suas principais características, como forma de realizar a medição, facilidade de aplicação e precisão. Para determinar a vazão do rio Rancharia foi escolhido o método do Vertedouro por já existir um canal de adução no local da propriedade, por onde todo o volume de água do rio pode ser desviado, facilitando sua aplicação.

Foram confeccionados três vertedouros: retangular, trapezoidal e triangular. E realizados até três medições diárias da cota do vertedouro, possibilitando calcular a vazão do rio.

Em seguida foi realizada a transposição da vazão do rio Capivari que era conhecida e calculado o desvio relativo a fim de validar os resultados obtidos.

De posse da série histórica da vazão dos últimos vinte e cinco anos do rio Capivari, foi possível transpor a série histórica para o rio Rancharia, determinando a média de vazão dos últimos vinte e cinco anos. Consequentemente determinando o coeficiente de variação que representa o quanto a vazão tende a se dispersar em relação à média, possibilitando sugerir uma vazão firme em torno da média e dimensionar o aproveitamento hidrelétrico sem considerar perdas.

Palavras-chave: Usimar, fontes de energias alternativas, canal de adução, desvio relativo, coeficiente de variação.

## ABSTRACT

LOPES DA SILVA, Alex M. .; JUNIOR, Anibal C.; ORTEGA, Luiz A. Measuring the flow of the river Rancharia and study the best use of hydropower plant. 2015. 105f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase em Eletrotécnica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

The increased demand for electricity in Brazil has made alternative energy sources a viable option for power generation, they provide the decentralization of power generation, relieving existing transmission lines and providing savings / profit for the owner of a small plant.

Considering the importance and the growth of this type of development in the country, this study aims to determine conditions of the hydroelectric potential of the former Usina Siderurgica Marumby Ltda - Usimar, located in Rio Branco do Sul / PR, disabled long and scrapped. Several methods to a small river flow measurement are discussed, pointing out their main characteristics, in order to perform the measurement, ease of application and accuracy. To determine the flow of the river Ranchi was the Spillway of the method chosen by already a adduction channel in place of the property, where all the river water flow can be diverted, facilitating its implementation.

Rectangular, trapezoidal and triangular, three spillways were made. And made up to three daily measurements of the spillway elevation, allowing calculate the flow of the river.

Then was performed the transposition of the Capivari river flow that was known and calculated the deviation in order to validate the results obtained.

Having the time series of the flow of the last twenty-five years of the Capivari river was possible to transpose the time series of the river Ranchi, determining the average flow of the last twenty-five years. Consequently determining the coefficient of variation that is how the flow tends to disperse from the average, allowing suggest a strong flow around the mean and scale the hydroelectric excluding losses.

Keywords: Usimar, alternative energy sources, adduction channel, relative deviation, coefficient of variation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Barragem existente na propriedade .....	13
Figura 2 - Bacia Hidrográfica do Rio Ribeira .....	16
Figura 3 - Modelagem de um trecho de um rio.....	18
Figura 4 - Esquema de sistema hidrodinâmico equivalente para transformação de energia .....	20
Figura 5 - Corte longitudinal da central hidrelétrica .....	23
Figura 6 - Situação da geração de energia do Brasil – 2014 .....	26
Figura 7 - Desenho demonstrativo de uma MCH .....	28
Figura 8 - Curva chave Praia Grande Rio Capivari .....	31
Figura 9 - Esquematização das seções principais da calha Parshall .....	41
Figura 10 - Representação esquemática da calha de Parshall .....	42
Figura 11 - Calha Parshall.....	43
Figura 12 - Marcação ilustrativa do rio para medição da vazão utilizando o método .....	44
Figura 13 - Demonstração do método do flutuador em um trecho do rio .....	45
Figura 14 - Área de influência para a posição do molinete .....	49
Figura 15 - Medição a VAU .....	49
Figura 16 - Utilização de ponte como suporte .....	50
Figura 17 - Medição com teleférico .....	51
Figura 18 - Medidor triangular .....	54
Figura 19 - Vertedor retangular sem contração de placa delgada.....	55
Figura 20 - Vertedor retangular com contração de placa delgada.....	56
Figura 21 - Vertedor trapezoidal (CIPOLLETTI) .....	57
Figura 22 - Representação de um jato d'água saindo por um orifício .....	58
Figura 23 - Representação de um bocal cilíndrico externo .....	60
Figura 24 - Representação de um bocal cilíndrico reentrante .....	60
Figura 25 - Representação de um bocal cônico convergente .....	61
Figura 26 - Representação de um bocal cônico divergente .....	62
Figura 27 - Localização da Usina Rancharia.....	63
Figura 28 - Instalações da Usina Rancharia.....	65
Figura 29 - Placas de madeirite.....	66
Figura 30 - Placas de madeirite instalada no canal de adução .....	66
Figura 31 - Projeto dos vertedores (Medidas em metro) .....	68

Figura 32 - Instalação do vertedor.....	69
Figura 33 - Instalação do vertedor.....	70
Figura 34 - Instalação do vertedor.....	70
Figura 35 - Instalação do vertedor.....	71
Figura 36 - Vazões mínimas em pequenas bacias.....	74
Figura 37 – Vertedor Retangular .....	77
Figura 38 – Fluxograma das vazões medidas pelo método do vertedor retangular ..	79
Figura 39 – Vertedor Trapezoidal.....	79
Figura 40 – Fluxograma das vazões medidas pelo método do vertedor trapezoidal.	81
Figura 41 – Vertedor Triangular .....	81
Figura 42 – Fluxograma das vazões medidas pelo método do vertedor triangular ...	83
Figura 43 – Comparação das vazões obtidas pelos métodos, do vertedor retangular e da vazão transposta. ....	86
Figura 44 – Comparação das vazões obtidas pelos métodos, do vertedor trapezoidal e da vazão transposta. ....	88
Figura 45 – Comparação das vazões obtidas pelos métodos, do vertedor triangular e da vazão transposta. ....	90
Figura 46 – Comparação das vazões compiladas dos métodos do vertedor e da vazão transposta. ....	91
Figura 47 – Gráfico da vazão transposta no período de 25 anos.....	94
Figura 48 – Gráfico da curva de permanência. ....	95



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação das PCHs quanto à potência e quanto à queda de projeto	25
Tabela 2 - Classificação das PCHs em diversos países [kW] .....	25
Tabela 3 - Densidade pluviométrica anual média de 2001 a 2011 para a Região Metropolitana Norte de Curitiba.....	64
Tabela 4 - Visitas de campo para medição de vazão .....	67
Tabela 5 - Vazões médias específicas na Bacia da Ribeira.....	72
Tabela 6 – Medições diárias do Vertedor Retangular .....	78
Tabela 7 – Medições diárias do Vertedor Trapezoidal .....	80
Tabela 8 – Medições diárias do Vertedor Triangular .....	82
Tabela 9 – Transposição pelo Método do Vertedor Retangular .....	85
Tabela 10 – Transposição pelo Método do Vertedor Trapezoidal.....	87
Tabela 11 – Transposição pelo Método do Vertedor Triangular.....	89
Tabela 12 – Série histórica das vazões do rio Capivari.....	92
Tabela 13 – Série histórica das vazões do rio Rancharia .....	93
Tabela 14 – Potência aproveitável do rio Rancharia .....	96

## LISTA DE SIGLAS

AGUASPARANÁ	Instituto de Águas do Paraná
ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CERPCH	Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas
CG	Grupo Gerador
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
DRHGA	Departamento de Recursos Hídricos e Geologia Aplicada
ELETOBRÁS	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GE	Gerador Elétrico
GPS	Global Positioning System
GPS	Usina Hidrelétrica Governador Pedro Viriato Parigot de Souza
MCH	Micro Central Hidrelétrica
NBR	Denominação de norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas
NM	Nível de Montante
NJ	Nível de Jusante
ONS	Organização Nacional do Sistema Elétrico
PCHs	Pequenas Centrais Hidrelétricas
SUDERHSA	Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental
TH	Turbina Hidráulica
UFPI	Universidade Federal do Piauí
UHE	Usinas Hidrelétricas
Usimar	Usina Siderúrgica Marumby Ltda
UTM	Universal Transverso de Mercator

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>1.1 TEMA</b> .....	<b>13</b>
<b>1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA</b> .....	<b>14</b>
<b>1.3 PROBLEMAS E PREMISSAS</b> .....	<b>14</b>
<b>1.4 OBJETIVOS</b> .....	<b>15</b>
1.4.1 Objetivos Geral.....	15
1.4.2 Objetivos Específicos .....	15
<b>1.5 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>15</b>
<b>1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO</b> .....	<b>17</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1 ENERGIA HIDRÁULICA</b> .....	<b>18</b>
2.1.1 Modelagem.....	18
2.1.2 Sistema Equivalente Hidromecânico .....	19
2.1.2.1 Hipóteses – Energia .....	19
<b>2.2 TIPOS DE USINAS HIDRELÉTRICAS</b> .....	<b>22</b>
2.2.1 Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) .....	22
2.2.1.1 Centrais hidrelétricas quanto à capacidade de regularização .....	22
2.2.1.1.1 PCH a fio d'Água .....	23
2.2.1.1.2 PCH de acumulação, com regularização diária do reservatório .....	24
2.2.1.2 Pequenas centrais quanto ao sistema de adução .....	24
2.2.1.3 Centrais quanto à potência instalada e quanto à queda de projeto .....	25
2.2.2 Usinas Hidrelétricas (UHE).....	26
<b>2.3 MICROCENTRAIS HIDRELÉTRICAS (MCH)</b> .....	<b>26</b>
2.3.1 Estrutura das MCHs .....	28
2.3.1.1 Tomada d'água .....	28
2.3.1.2 Adução .....	29
2.3.1.3 Casa de máquinas.....	29
2.3.1.4 Barragem.....	30
2.3.1.5 Vertedouro ou extravasor .....	30
<b>2.4 HIDROLOGIA</b> .....	<b>30</b>
2.4.1 Fluviometria .....	31
2.4.1.1 Curva-Chave .....	31

2.4.1.2	Fluviograma.....	34
2.4.1.3	Curva de permanência ou de frequência.....	34
2.4.1.4	Diagrama de Rippl.....	35
2.4.1.5	Curva dos volumes da bacia .....	36
2.4.1.6	Complementação de series.....	37
2.4.1.7	Curva de transposição de vazões .....	38
<b>2.5</b>	<b>MEDIÇÃO DA VAZÃO .....</b>	<b>39</b>
2.5.1	Definição da Vazão .....	39
2.5.2	Métodos de Medição de Vazão .....	39
2.5.2.1	Método volumétrico .....	40
2.5.2.2	Método da calha Parshall .....	40
2.5.2.3	Método dos flutuadores .....	43
2.5.2.4	Método da diluição .....	46
2.5.2.5	Método magnético .....	47
2.5.2.6	Método do molinete .....	48
2.5.2.6.1	Tipo de medição de vazão com molinete .....	49
2.5.2.6.1.1	A vau .....	49
2.5.2.6.1.4	Com barco fixo .....	51
2.5.2.6.1.5	Com barco móvel .....	52
2.5.2.7	Método acústico (ultra-sônico) .....	52
2.5.2.8	Método do vertedor .....	53
2.5.2.8.1	Vertedor triangular.....	53
2.5.2.8.2	Vertedor retangular sem contração de placa delgada.....	54
2.5.2.8.3	Vertedor retangular com contração de placa delgada.....	55
2.5.2.8.4	Vertedor trapezoidal (CIPOLLETTI) .....	57
2.5.2.9	Método dos orifícios, bocais e tubos curtos.....	58
2.5.2.9.1	Bocal ajustado.....	59
2.5.2.9.2	Bocal cilíndrico externo .....	59
2.5.2.9.3	Bocal cilíndrico reentrante .....	60
2.5.2.9.4	Bocal cônico convergente .....	61
2.5.2.9.5	Bocal cônico divergente .....	61
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>63</b>
<b>3.1</b>	<b>MATERIAL.....</b>	<b>63</b>
3.1.1	Localização da Usina Rancharia .....	63

3.1.2 Instalações Existentes no Local .....	64
3.1.3 Materiais para Medição da Vazão pelo Método Vertedouro .....	66
3.1.4 Materiais para Medição de Vazão Média de Longo Período .....	67
<b>3.2 MÉTODO.....</b>	<b>67</b>
3.2.1 Medição da Vazão pelo Método Vertedouro .....	67
3.2.1.1 Vertedor retangular com duas contrações laterais .....	70
3.2.1.2 Vertedor trapezoidal .....	70
3.2.1.2 Vertedor Triangular.....	71
3.2.2 Medição da Vazão Média de Longo Período.....	71
3.2.2.1 Dados fisiográficos da bacia.....	71
3.2.2.2 Vazão média de longo período.....	72
3.2.2.3 Vazão mínima .....	73
3.2.2.4 Vazão do canal de adução .....	74
3.2.2.5 Potência instalada .....	75
3.2.2.6 Reservatório .....	76
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>77</b>
<b>4.1 MÉTODOS DE MEDIÇÃO DE VAZÃO .....</b>	<b>77</b>
4.1.1 Método do Vertedor Retangular .....	77
4.1.2 Método do Vertedor Trapezoidal .....	79
4.1.3 Método do Vertedor Triangular.....	81
4.2 TRANSPOSIÇÃO DE VAZÕES .....	83
4.2.1 Transposição pelo Método do Vertedor Retangular .....	85
4.2.2 Transposição pelo Método do Vertedor Trapezoidal .....	87
4.2.3 Transposição pelo Método do Vertedor Triangular .....	89
4.2.4 Definição da Transposição a ser aplicada.....	91
4.2.5 Transposição da vazão do rio Capivari para o rio Rancharia .....	92
4.3 CURVA DE PERMANÊNCIA.....	95
4.4 POTÊNCIA APROVEITÁVEL.....	96
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>97</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>98</b>

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 TEMA

Dimensionar o potencial hidrelétrico da antiga usina hidrelétrica sucateada, que abastecia a Usina Siderúrgica Marumby Ltda, que antes operava no local.

O proprietário da área onde existia a antiga Usina Siderúrgica Marumby Ltda – Usimar, em posse da liberação do aproveitamento de potencial hidroelétrico pelo Águas Paraná – Instituto das Águas do Paraná, solicitou avaliar a viabilidade de gerar energia no local.



**Figura 1 - Barragem existente na propriedade**

**Fonte: Autoria própria**

Para implantação de uma central hidrelétrica, diversas etapas precisam ser cumpridas. Tais etapas podem ser divididas em estudos gerais, medição de vazão, determinação das perdas e dimensionamento da turbina. A etapa de estudos

gerais compreende, dentre outros itens, os estudos hidrológicos para determinar o comportamento do curso d'água onde será instalada a central geradora (SOUZA; SANTOS; BORTONI, 2009, p.25). Segundo Souza, Fuchs e Santos (1983, p.91), uma importante etapa dos estudos hidrológicos é a fluviometria, cujo objetivo é determinar o comportamento da vazão de um curso d'água ao longo do tempo.

Conhecendo-se o comportamento da vazão, é possível dimensionar os vários componentes da central hidrelétrica e determinar sua potência instalada (SOUZA; SANTOS; BORTONI, 2009, p.25).

## 1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Realizar o estudo da vazão de água do rio Rancharia, transferir os dados de vazão de locais da mesma bacia para este rio e determinar a capacidade de vazão do canal adutor existente.

## 1.3 PROBLEMAS E PREMISSAS

Para a revitalização da usina faz-se necessário conhecer a sua vazão.

Como ela está localizada no rio Rancharia, pertencente à bacia hidrográfica da Ribeira no município de Rio Branco do Sul - Paraná (logo, sem monitoramento) e está desativada há um longo período, não há informações disponíveis acerca do comportamento de sua vazão nas bases de dados mantidas pelo governo brasileiro.

Na falta de informações sobre a vazão, é necessário então realizar medições no local da usina. Para isto, existem diversos métodos e técnicas que podem ser empregados, com diferentes níveis de precisão e de custo (ANDRADE et al., 2010).

A determinação da vazão característica de um curso d'água possui caráter estatístico, admitindo-se que os eventos se repetem de forma cíclica. Dessa forma, para se determinar a vazão de projeto de um aproveitamento hidrelétrico, faz-

se necessário conhecer a série histórica (25 anos) de vazões para o local, num período mais extenso possível (RICARDO, 2006, p.14).

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivos Geral

Medir a vazão do rio da Usina Rancharia, transferir os dados de vazão de locais da mesma bacia para este rio, estudar a topografia do terreno, determinar a capacidade de vazão do canal adutor existente e determinar a potência média gerada na situação ideal (sem perdas).

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Pesquisar literatura pertinente à instalação de micro, mini e pequenas Centrais Hidrelétricas.
- Levantar os principais métodos de medição citados na literatura;
- Comparar os métodos de medição de vazão quanto à exequibilidade;
- Medir a vazão do rio para calcular o potencial disponível, pesquisar a vazão de outros rios da mesma bacia que tenham a média histórica das vazões, ou seja, regionalizar a média histórica dos últimos 25 anos do Rio Capivari pertencente a mesma bacia hidrográfica. Regionalizar as médias de vazão para o rio Rancharia.
- Comparar os dados medidos com os fornecidos pelo Instituto das Águas do Paraná.

## 1.5 JUSTIFICATIVA

Estudar a quantidade de vazão de um rio ou córrego para a implantação de centrais hidrelétricas, objetiva obter a potência ou energia hidráulica a ser gerada.





## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

No Capítulo 1 será feita a introdução ao tema, onde serão apresentados os objetivos, as motivações e a justificativa para a realização do trabalho.

O Capítulo 2 apresentará uma revisão bibliográfica sobre o tema para levantar os principais métodos de medição de vazão encontrados na literatura com suas principais características.

No Capítulo 3 serão apresentados os materiais e métodos para a medição da vazão para a usina a ser construída.

No Capítulo 4 constarão os resultados da medição e uma análise dos dados obtidos.

No Capítulo 5 serão apresentadas as conclusões do presente trabalho.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 ENERGIA HIDRÁULICA

#### 2.1.1 Modelagem

Para que possam ser aplicados os *Princípios da Mecânica* é indispensável modelar a natureza. Para tanto, seja um trecho de um rio em planta e elevação representando esquematicamente na Figura 3. Onde foram tomadas as seções 1 e 2 distantes entre si, verticalmente em um determinado instante de uma altura,  $H_b$ , sendo que nesse mesmo instante na seção 1 entra um volume de água na unidade de tempo, vazão  $Q_1$ , saindo na seção 2 à vazão  $Q_2$  e, nas infinitas seções transversais entre 1 e 2 escoam vazões  $Q$  diferentes de  $Q_1$  e  $Q_2$ , isto ocorre devido ao trajeto do rio possuir afluentes, captação de água, evaporação dentre outros fatores.

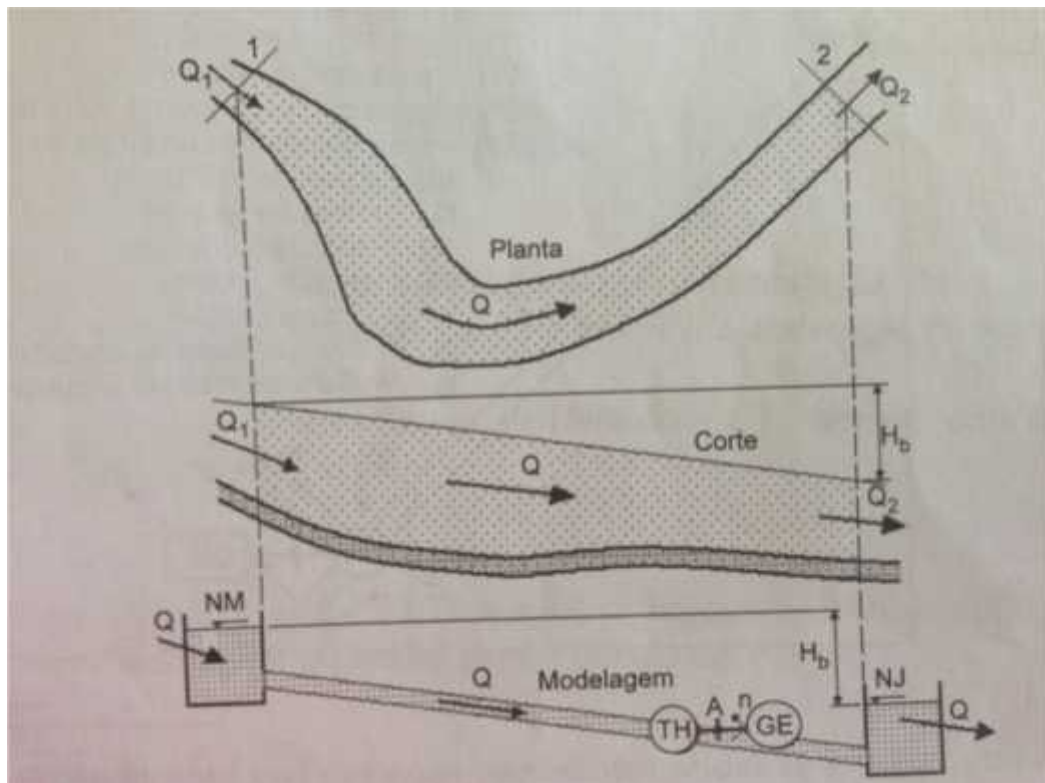


Figura 3 - Modelagem de um trecho de um rio.

Fonte: (Souza, Santos e Bortoni (1999, p.3)).

Para que as equações dos Princípios da mecânica possam ser aplicadas, o trecho do rio deve ser modelado, impondo-se, por exemplo, as seguintes condições: níveis nas seções constantes, logo  $H_b = \text{constante}$ , vazões na entrada e saída das seções também constantes, ou seja,  $Q_1 = Q_2 = Q = \text{constante}$ . Com essas hipóteses o trecho do rio pode ser substituído por dois reservatórios, um com água no nível de montante – NM, e outro correspondente, com água no nível de jusante – NJ. Estes reservatórios podem ser interligados por um conduto por onde escoará a vazão  $Q$ , devido à existência de altura bruta –  $H_b$ , que corresponde a uma energia específica hidráulica que pode, em parte, ser transformada em energia mecânica através de uma máquina girante denominada turbina hidráulica – TH, a qual pode ser interligada por um eixo contendo um acoplamento – A, a uma máquina elétrica, o gerador elétrico – GE, que transforma grande parte da energia recebida do eixo que gira a rotação –  $n$  em energia elétrica. (Souza, Santos e Bortoni (1999, p.9)).

## 2.1.2 Sistema Equivalente Hidromecânico

### 2.1.2.1 Hipóteses – Energia

A modelagem feita permite estabelecer um sistema equivalente hidromecânico, o qual transforma energia hidráulica em energia elétrica, esquematizado na Figura 4.

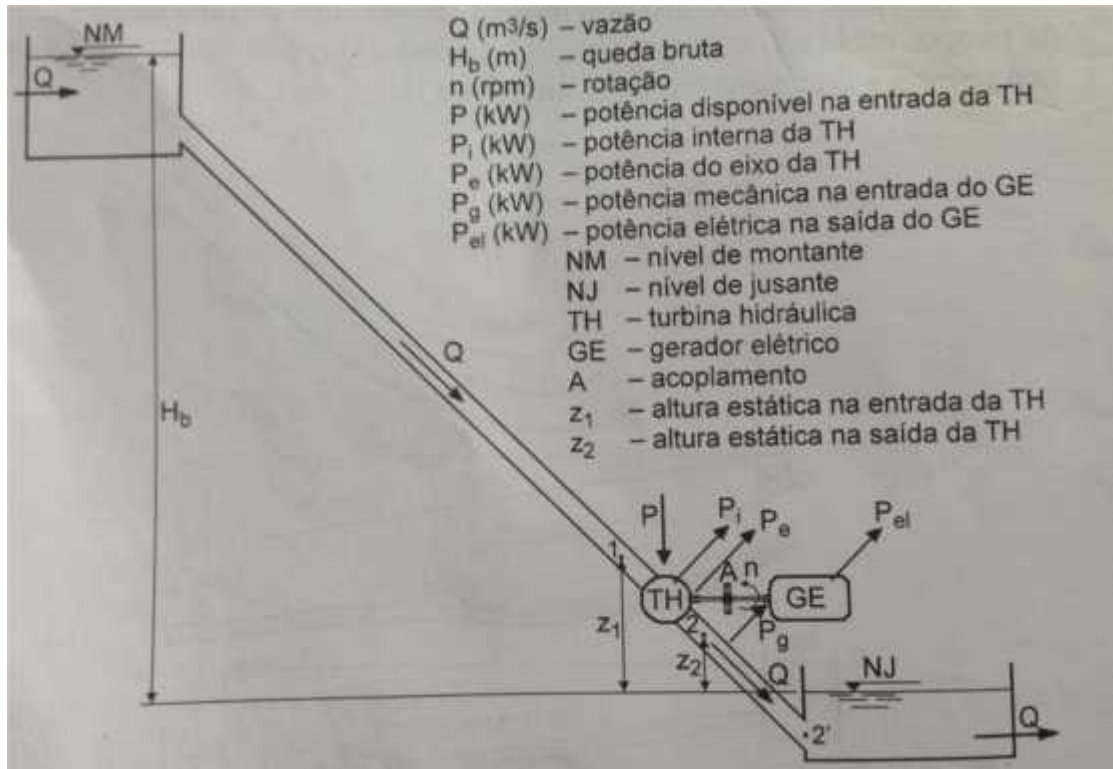


Figura 4 - Esquema de sistema hidrodinâmico equivalente para transformação de energia hidráulica em energia elétrica.

Fonte: (Souza, Santos e Bortoni (1999, p.4)).

Admitindo-se as hipóteses feitas na modelagem, isto é, que os reservatórios tenham seus níveis NM e NJ inalterados, sendo a distância vertical entre eles  $H_b$  [m] interligado por um conduto, por onde escoar  $Q = \text{constante}$ . Neste conduto instala-se um grupo gerador – CG, constituído na TH, do GE, conjunto este girando com  $n$  (rpm) a qual controlada pelo regulador de velocidade – R. Aplicando-se a este sistema os Princípios de Conservação da Energia e da Massa entre os níveis NM e NJ, tendo este último como referência, obtém-se (SOUZA; SANTOS; BORTONI, p.5):

A energia hidráulica média disponível, por unidade de massa na entrada 1 e saída 2 da TH será dada. Respectivamente por:

$$E_1 = \frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + g \cdot z_1 \quad (1)$$

e

$$E_2 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + g \cdot z_2 \quad (2)$$

A energia específica hidráulica, transformada em trabalho pela TH (SOUZA; SANTOS; BORTONI, p.5):

$$E_1 - E_2 = \frac{p_1 - p_2}{\rho} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} + g \cdot (z_1 - z_2) \quad (3)$$

Para que essa energia seja máxima, deve-se ter:

$$\frac{p_2}{\rho} = \frac{p_a}{\rho}; v_2 = 0; z_2 = 0 \quad (4)$$

Assim, tecnicamente, deve-se colocar a saída 2 da TH o mais próximo possível do NJ. Em muitos casos e para certos tipos de TH a saída 2 pode ser prolongada através de um tubo tronco cônico denominado, tubo de sucção – TS, o qual fará parte integrante de TH, sendo, portanto, sua saída à seção 2, resultando, para o trabalho específico máximo, denominado trabalho específico disponível – Y [J/kg], o fornecido pela expressão (SOUZA; SANTOS; BORTONI, p.5):

$$Y = \frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} + g \cdot z_1 \quad (5)$$

onde  $p_1$  [N/m<sup>2</sup>] é a expressão estática relativa na entrada da TH;  $V_2$  [m/s], a velocidade média da água na saída do TS e  $g$  [m/s<sup>2</sup>], a aceleração da gravidade local.

Considerando-se o Sistema Técnico de Unidades – UTI, tem-se uma relação entre Y e a queda disponível – H [m]:

$$Y = g \cdot H \quad (6)$$

Quando a TH não possui TS (TH de ação), as normas brasileiras e internacionais determinam a seguinte expressão para cálculo de Y (SOUZA; SANTOS; BORTONI, p.5):

$$Y = \frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + g \cdot (z_1 - z_2) \quad (7)$$

## 2.2 TIPOS DE USINAS HIDRELÉTRICAS

### 2.2.1 Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs)

O artigo 2º da resolução 394 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) do dia 04 de dezembro de 1988 definiu PCH como sendo “Empreendimentos hidrelétricos com potência superior a 1.000 [kW] e igual ou inferior a 30.000 [kW], com área total de reservatório igual ou inferior a 3,0 [km²].” Posteriormente, essa resolução foi revogada pela Resolução 652, de 09 de dezembro de 2003, que manteve basicamente os mesmos parâmetros anteriores, mas flexibilizou a área alagada para até 13 [km²], caso uma das seguintes condições fossem verificadas: reservatório cujo dimensionamento, comprovadamente, foi baseado em outros objetivos que não o de geração de energia elétrica; ou o atendimento da seguinte inequação:

$$A \leq \frac{14,3P}{H} \quad (8)$$

onde  $P$  é a potência elétrica instalada em [MW],  $A$  é a área do reservatório em [km²], e  $H$  a queda bruta em metros, definida pela diferença entre os níveis d’água máximo normal de montante e normal de jusante.

A Eletrobrás apresentou nas “Diretrizes para projetos de PCH” (2011, p.2-2) os critérios de classificação das Pequenas Centrais Hidrelétricas, são elas:

- Centrais quanto à capacidade de regularização;
- Centrais quanto ao sistema de adução;
- Centrais quanto à potência instalada e quanto à queda de projeto.

#### 2.2.1.1 Centrais hidrelétricas quanto à capacidade de regularização

Segundo Macintyre (1983, p.74) existem dois tipos de centrais quanto à capacidade de regularização: a Central Hidrelétrica a Fio D’água e a Central Hidrelétrica de Acumulação, com Regularização Diária de Reservatório.

### 2.2.1.1.1 PCH a fio d'Água

De acordo com as Diretrizes da Eletrobrás (2011, p.2-4) “esse tipo de PCH é empregado quando as vazões de estiagem do rio são iguais ou maiores que a descarga necessária à potência a ser instalada para atender à demanda máxima prevista”.

Segundo Eletrobrás as minicentralas hidrelétricas são denominadas centrais a fio d'água, pois não é possível grande regularização da vazão afluente, como ocorre nas centrais de represamento.

Por não possuir reservatório de acumulação é possível fazer simplificações no estudo, de acordo com as descrições contidas nas Diretrizes para projetos de PCH (2011, p.2-4), como exemplo de simplificação temos a dispensa de estudos de regularização de vazões, sazonalidade da carga elétrica do consumidor. Facilitando o estudo e a concepção da tomada d'água. A Figura 5 exemplifica essa forma de PCH.

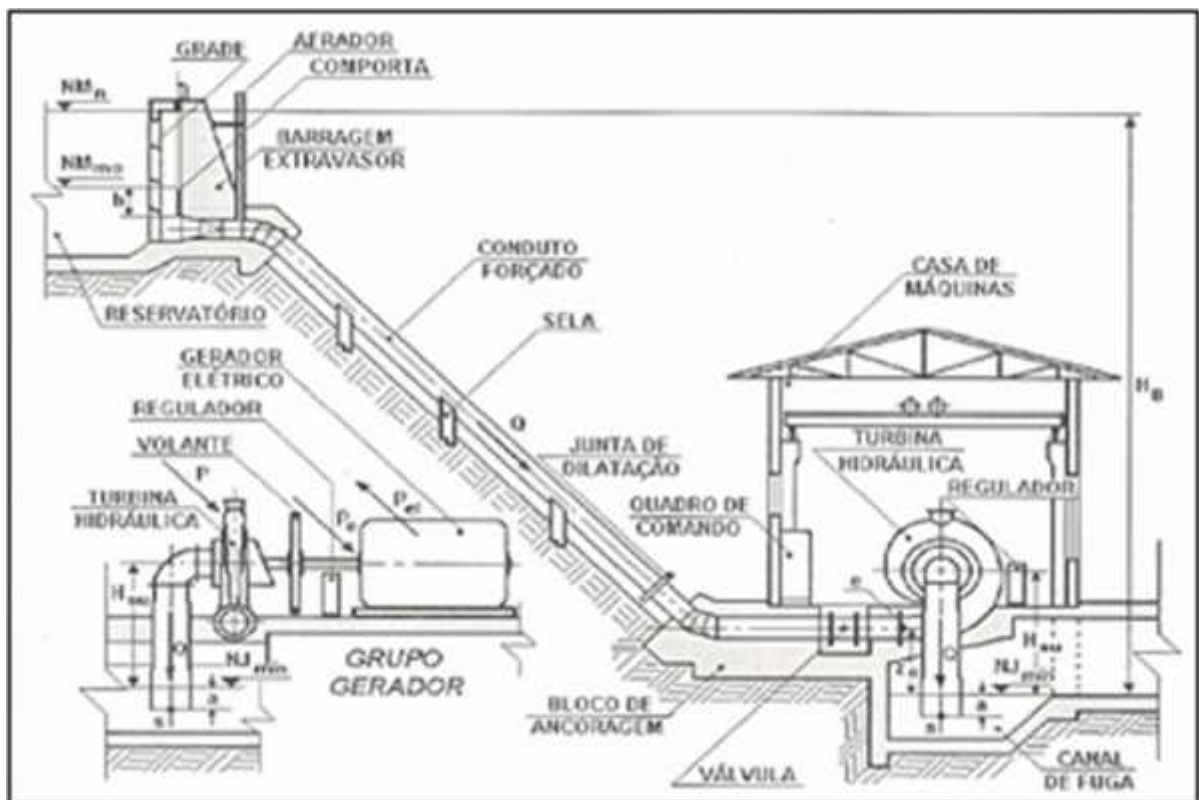


Figura 5 - Corte longitudinal da central hidrelétrica

Fonte: Souza, Santos e Bortoni (1999, p.9).



#### 2.2.1.1.2 PCH de acumulação, com regularização diária do reservatório

Diferente da PCH a fio d'água, esta possui uma acumulação para regularizar a sua vazão. As Diretrizes da Eletrobrás (2011, p.2-4) relatam que esse tipo de PCH é empregado quando as vazões de estiagem do rio são inferiores à necessária para fornecer a potência para suprir a demanda máxima do mercado consumidor e ocorrem com risco superior ao adotado no projeto.

Alves (2007, p.25) ressalta que nos períodos de escassez de água complementa-se a geração por meio de outras fontes produtoras de energia, tais como óleo diesel, cana de açúcar, e biomassa.

#### 2.2.1.2 Pequenas centrais quanto ao sistema de adução

Segundo a Eletronorte, em sua apostila Introdução às Energias Renováveis (2011, p.63), as pequenas centrais hidroelétricas são subdivididas em:

- Adução em baixa pressão com escoamento livre em canal/alta pressão em conduto forçado;
- Adução em baixa pressão por meio de tubulação/alta pressão em conduto forçado.

A escolha de um ou outro tipo de baixa e alta pressão deverá ser estudada e dependerá das condições topográficas e geológicas que o local do aproveitamento apresenta, bem como de estudo econômico comparativo, segundo as Diretrizes para projetos de PCH da Eletrobrás (2011, p.2-5), 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.

### 2.2.1.3 Centrais quanto à potência instalada e quanto à queda de projeto

De acordo com a Eletronorte (2011, p.63) as PCHs podem ser ainda classificadas quanto à potência instalada e quanto à queda de projeto, considerando-se os dois parâmetros conjuntamente, uma vez que um ou outro isoladamente não permite uma classificação adequada, conforme mostrado na Tabela 1.

**Tabela 1 - Classificação das PCHs quanto à potência e quanto à queda de projeto**

CLASSIFICAÇÃO DAS CENTRAIS	POTÊNCIA - P [kW]	QUEDA DE PROJETO - $H_d$ [m]		
		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: Diretrizes para Projetos de PCH (ELETROBRÁS, 2011).

A classificação das usinas de pequeno porte varia de uma nação para outra. Balarim (1999, p.12) afirma que os diferentes países classificam de modo diferente as micros, minis e pequenas centrais. Isso decorre do estágio industrial do momento em um determinado período. A Tabela 2 apresenta essa variação.

**Tabela 2 - Classificação das PCHs em diversos países [kW]**

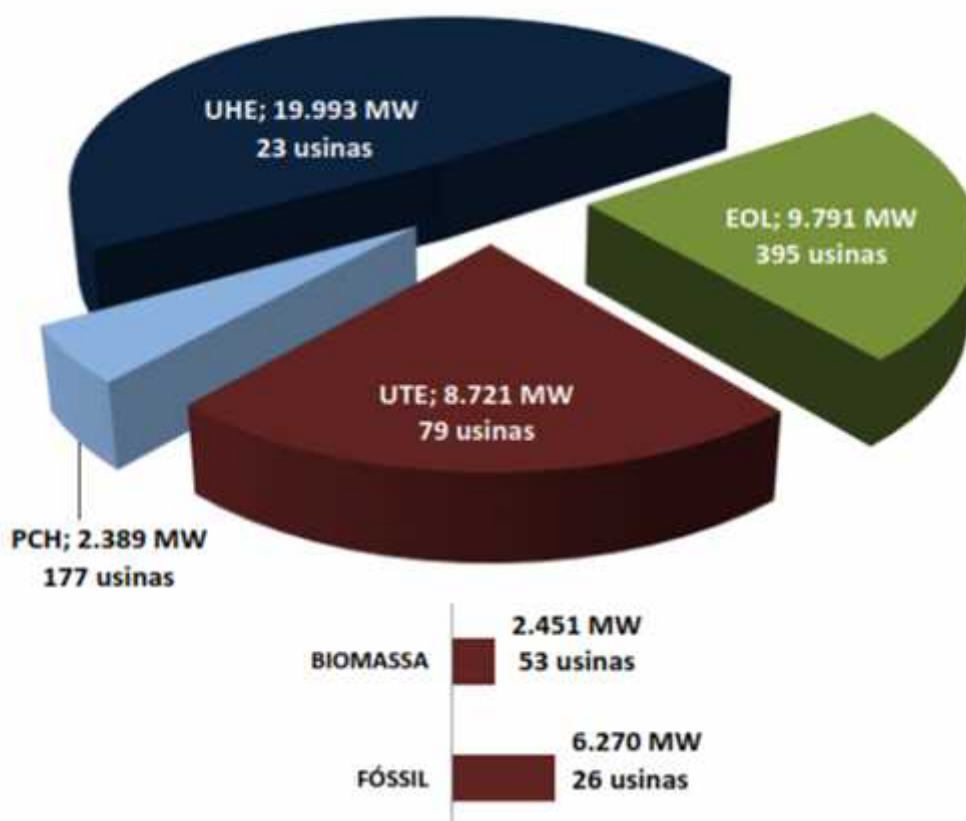
País	Micro	Mini	Pequena
Brasil	100	101 a 1000	101 a 10000
Bolívia	100	101 a 1000	-
China	100	101 a 500	501 a 25000
Equador	50	51 a 500	501 a 5000
Estados Unidos	500	501 a 2000	2002 a 15000
Peru	5 a 50	51 a 500	501 a 5000
Polônia	100	101 a 1000	1001 a 15000

Fonte: Alves (2007).

### 2.2.2 Usinas Hidrelétricas (UHE)

Segundo o parecer da ANEEL de número 215/2007 do dia 31 de agosto de 2007, aproveitamentos hídricos acima de 30 [MW] são denominados de Usinas Hidrelétricas (UHE).

O cenário atual, a quantidade de usinas integrantes da expansão da oferta de energia elétrica no Brasil soma 674, totalizando 40.893 MW. A Figura 6 indica a divisão por tipo.



**Figura 6 - Situação da geração de energia do Brasil – 2014**

Fonte: ANEEL (2014).

### 2.3 MICROCENTRAIS HIDRELÉTRICAS (MCH)

A Eletrobrás em sua página virtual definiu que as MCHs estão classificadas dentro do conceito geral das Pequenas Centrais Hidrelétricas,

identificadas de acordo com grandezas como potência de até 100 [kW], altura de queda menor que 3 [m], vazão inferior a 2 [m<sup>3</sup>/s] e período de implantação máximo de seis meses.

De acordo com Santos (2003), atualmente, o perfil daqueles que desenvolvem esse tipo de aproveitamento é caracterizado pelo isolamento da unidade consumidora, não tendo outra forma de suprimento, estando muito distante da rede convencional de energia elétrica.

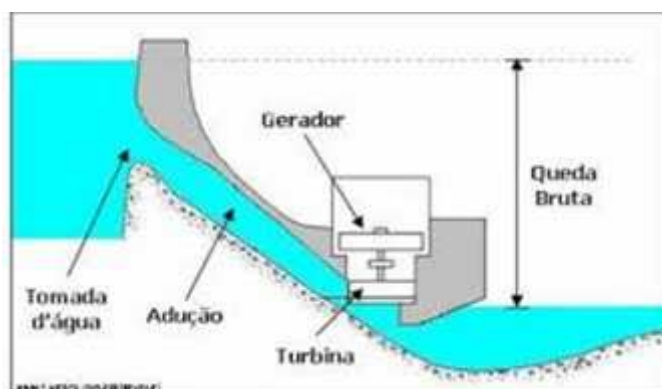
Alves (2007, p.17) comenta que a classificação das microcentrais é utilizada no Brasil especialmente no que diz respeito às áreas rurais, embora não existam engenharia e legislação adequadas.

Segundo STANO (2002, p.4), estima-se que haja mais de 1.000 minicentrais e microcentrais com potências médias de 300 [kW], entre centrais desativadas e em funcionamento. E em relação ao estado de conservação e de operação destes empreendimentos, não se tem nenhum dado a respeito. Contudo Alves (2007, p.17) salienta que embora a ANEEL tenha tentado inventariar todas as usinas hidrelétricas, não conseguiu incluir as micro usinas. Uma das dificuldades é a complexidade de levantamento de todos os pequenos empreendimentos, pois muitas vezes são privados e muitos deles em áreas rurais. Tiago Filho (2001) ainda alerta que [...] as minicentrais e as microcentrais, que são as centrais abaixo de 1 [MW], estão no limbo. Não existe consenso para determinar sua situação. Geralmente, elas são operadas por autoprodutoras e sua produção destina-se a consumo próprio. Normalmente elas são associadas a empreendimentos agroindustriais. Sobre microcentral, estima-se que existam 200 [MW] em recapacitação. Desativadas, temos notícia de que existem 427 e em situação desconhecida, 1.039, grande parte delas no Estado de Minas Gerais. [...] Por ser um Estado montanhoso e ter muitas nascentes, há vários potenciais remanescentes, várias centrais desativadas. Temos que nos preocupar com isso. Pelo registro das microcentrais e pelo de potência instalada, podemos ver que o pessoal que implanta microcentrais abaixo de 1 [MW] não se preocupa em avisar o órgão regulador, que é a ANEEL. E ela precisa desse registro. Então, existem vários empreendimentos, mas não existe a correlação registrada na ANEEL.

Segundo a Eletrobrás (2011) uma MCH é composta por dispositivos que captam e conduzem água do rio para uma casa de máquinas, onde ocorre a transformação de energia hidráulica em elétrica através da utilização de um conjunto

turbina-gerador. A água utilizada é restituída ao rio ao final do processo. Os principais componentes de uma MCH são uma Barragem, uma Estrutura de Captação, um Canal ou Tubulação de Adução, um Canal de Fuga, Comportas, Turbinas Hidráulicas, Geradores Elétricos e equipamentos de proteção.

A Figura 7 é uma imagem ilustrativa de uma Micro Central Hidrelétrica.



**Figura 7 - Desenho demonstrativo de uma MCH**

Fonte: [www.novomilenio.inf.br/santos/bicopena/ribs23.jpg](http://www.novomilenio.inf.br/santos/bicopena/ribs23.jpg)

### 2.3.1 Estrutura das MCHs

#### 2.3.1.1 Tomada d'água

Segundo a Eletrobrás/DNAEE (1985, p.16), a captação da água é feita pela tomada d'água que será implantada o mais próximo possível da casa de máquinas. Sua implantação será feita sobre terreno firme, em posição tal que capte as vazões do curso d'água entre o nível máximo e mínimo, de tal modo que atenda as cargas necessárias.

As funções da tomada d'água são duas: permitir o ensecamento da tubulação forçada ou canal de adução para a realização das obras de manutenção [...]; prover a retenção de corpos flutuantes e de material sólido (sedimentos) transportados pelo escoamento (ELETROBRAS/DNAEE, 1985, p.169).

### 2.3.1.2 Adução

A Eletrobrás/DNAEE (1985, p.16) define que a adução compreende o sistema de ligação de água entre a tomada d'água e a casa de máquinas. É apresentado em três concepções nos arranjos de microcentrais hidrelétricas:

- Adução entre a tomada d'água e a câmara de carga em escoamento livre por canal, e adução em alta pressão entre a câmara de carga e a turbina através de tubulação forçada;
- Adução entre a tomada d'água e a câmara de carga em baixa pressão, por meio de tubulação, e adução entre a câmara de carga e a turbina, em alta pressão, através de tubulação forçada;
- Adução em canal ou tubulação em baixa pressão, sem tubulação forçada, nos casos de turbinas tipo caixa aberta.

### 2.3.1.3 Casa de máquinas

É definida como “edificação que abriga os grupos geradores destinados à produção de energia elétrica, bem como os equipamentos auxiliares necessários ao funcionamento da central hidrelétrica” (ELETROBRÁS; DNAEE, 1985a, p. 273).

Alves (2007, p.44) afirma que seu posicionamento deve ser também levado em consideração devido aos custos relacionados, bem como deve ser observada com atenção a cota do seu piso para que a cheia do rio não a alcance. É importante realizar análise a respeito da posição da casa de máquinas em relação à câmara de carga ao canal de fuga e à distância do consumidor, especialmente por abranger altos custos. A casa de máquinas é colocada neste local devido às condições do terreno levando em consideração a otimização da queda útil da usina.

#### 2.3.1.4 Barragem

As barragens têm como função primária o armazenamento de água, para fins de abastecimento, irrigação, controle de cheias, navegação, recreação ou geração de energia. A forma construtiva adotada deve ser definida pelas disponibilidades locais de material de construção e pelas características das fundações.

Caso seja necessária a construção de uma barragem para garantir a operacionalidade da tomada d'água, deve se escolher o tipo de barragem (terra ou alvenaria) (ELETROBRÁS; DNAEE, 1985a, p.17).

#### 2.3.1.5 Vertedouro ou extravasor

É uma obra projetada e construída com o objetivo de escoar o excesso d'água acumulado pelo reservatório, evitando o risco do nível d'água atingir a crista da barragem (SOUZA, 1999, p.151).

### 2.4 HIDROLOGIA

“Hidrologia é a ciência que trata do estudo da água na natureza. É parte da geografia física e abrange, em especial, propriedades, fenômenos e distribuição da água na atmosfera, na superfície da terra e no subsolo.” (SOUZA; FUCHS; SANTOS, 1983, p. 81).

Já a hidrologia aplicada está focada na utilização dos recursos hídricos, preservação do meio ambiente e ocupação da bacia hidrográfica (CARVALHO; SILVA, p. 2).

### 2.4.1 Fluviometria

“A fluviometria trata da determinação da vazão de um curso de água em várias de suas seções durante um longo tempo. Neste sentido, os valores das vazões médias diárias ou mensais podem ser apresentados sob forma de diagramas [...] que colocam em evidência aspectos distintos do regime do curso de água e facilitam a compreensão das características da bacia hidrográfica e a solução de problemas específicos.” (SOUZA; FUCHS; SANTOS, 1983, p. 91-92).

#### 2.4.1.1 Curva-Chave

A curva-chave, ou curva de descarga de um rio, em uma determinada seção, é a relação entre as alturas do nível de água e a vazão correspondente (SOUZA; FUCHS; SANTOS, 1983, p. 92).

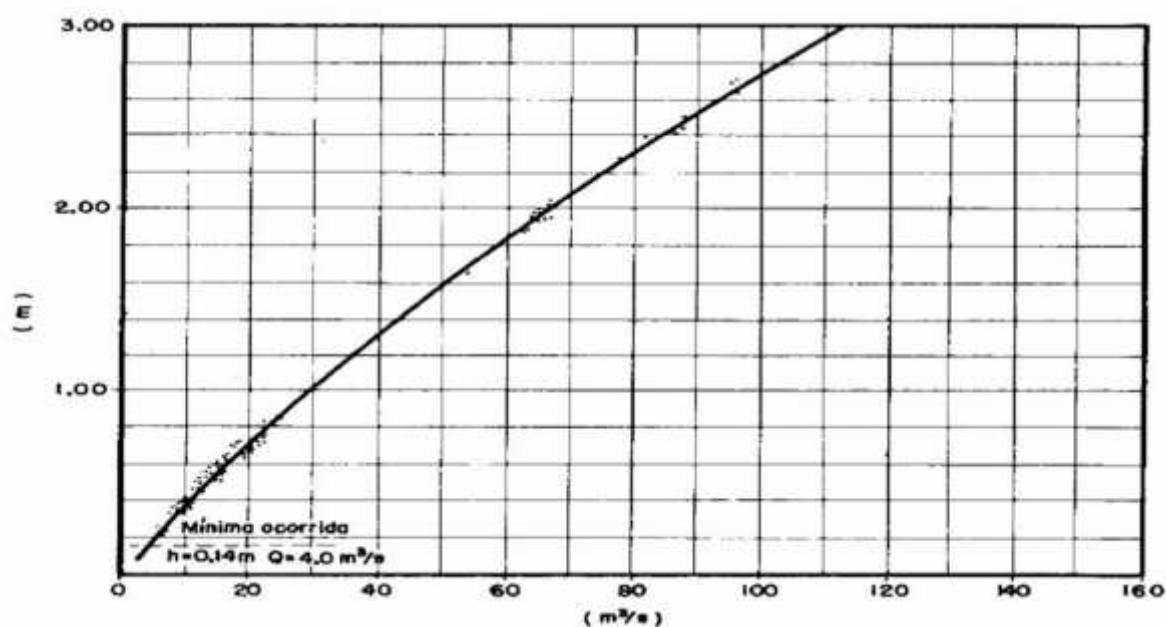


Figura 8 - Curva chave Praia Grande Rio Capivari

Fonte: Zuffo, C. Apostila Medições de Vazão - EC-811 Hidrologia Aplicada. Unicamp, 2005.

Sua obtenção parte da medida, em épocas oportunas, da vazão e das alturas da água para uma determinada seção do rio (SOUZA; FUCHS;



SANTOS, 1983, p. 92). A relação cota-descarga é obtida a partir da interpolação dos pontos obtidos, e como as medições costumam definir apenas um trecho central da curva, utiliza-se ainda a extrapolação (PORTO; FILHO; SILVA, p. 34; TUCCI; PEREIRA; NETO, 2003).

As dificuldades na representação do trecho inferior da curva são devidas principalmente à mudança de leito. Já no trecho superior o problema é a carência de medidas nos eventos extremos (TUCCI; PEREIRA; NETO, 2003).

Segundo Tucci, Pereira e Neto, as extrapolações nem sempre apresentam uma boa aproximação da curva real, devendo-se realizar medições fora do intervalo já medido, a fim de confirmar ou retificar as extrapolações.

Existe um grande número de métodos para extrapolar as curvas-chave, que serão apresentados adiante (TUCCI; PEREIRA; NETO, 2003).

O método da extrapolação gráfica, segue a tendência do trecho definido pelas medições, e o método do ajuste de equações nos pontos medidos são usados apenas para pequenas extrapolações, por serem os mais sujeitos a grandes erros caso aplicados a trechos extensos (TUCCI; PEREIRA; NETO, 2003).

O método que se utiliza da leitura de cotas simultâneas em outra estação próxima com uma curva-chave melhor definida, “consiste em plotar num gráfico as leituras de régua simultâneas da duas estações e estabelecer uma relação empírica entre essas estações.” (TUCCI; PEREIRA; NETO, 2003).

A técnica mais utilizada no Brasil para extrapolar a parte superior da curva-chave é o método da extrapolação logarítmica, porém não pode ser utilizado para o trecho inferior. Esse processo de extrapolação apresenta bons resultados quando o controle hidráulico da estação permanece estável. Entretanto, os erros podem ser muito grandes quando as condições de controle mudam (TUCCI; PEREIRA; NETO, 2003).

Outro processo de extrapolação é o que consiste na determinação da área em função da cota a partir do levantamento topobatimétrico da seção de medições. Esse gráfico geralmente representa uma forma de “S”, com ponto de inflexão acima da cota média. Diferente do processo anterior esse método apresenta bons resultados para o trecho inferior da curva e resultados que nem sempre são razoáveis para o superior. Isso é devido à falta de diretriz para extrapolar a velocidade média, que apresenta variações nem sempre previsíveis nas vazões altas (TUCCI; PEREIRA; NETO, 2003).

Existe ainda o método que realiza a extrapolação com base em fórmulas do regime uniforme em canais. Este método consiste em aceitar como válidas as fórmulas de Chezy ou de Manning para o escoamento uniforme em canais. “O método Stevens é a forma mais clássica desta maneira de extrapolar uma curva-chave e baseia-se na fórmula de Chezy”. (TUCCI; PEREIRA; NETO, 2003).

O último método citado é a extrapolação da curva-chave por meio de cálculo de remanso a partir do controle hidráulico. “Esse é o único processo que permite levar em conta a eventual mudança de controle, pois o cálculo de remanso pode ser feito partindo-se alternativamente de duas seções de controle, devendo-se adotar o nível mais elevado.” (TUCCI; PEREIRA; NETO, 2003).

Para traçar a curva-chave pode-se aproximar a relação cota-descarga por uma expressão exponencial do tipo (PORTO; FILHO; SILVA, p. 38):

$$Q = a.(H - H_0)^b \quad (9)$$

onde  $a$ ,  $b$  e  $H_0$  são parâmetros de ajuste,  $H$  é o nível do rio, e  $Q$  é a vazão.

$H_0$  é o valor para o qual a vazão é nula e pode assumir valores positivos ou negativos, dependendo da posição do zero da escala com relação ao fundo do rio (PORTO; FILHO; SILVA, p. 38).

Para determinar os parâmetros de ajuste a expressão geral é linearizada, determinando-se  $H_0$  por tentativa e erro, e  $a$  e  $b$  por regressão linear, utilizando a equação (PORTO; FILHO; SILVA, p. 38-39):

$$\log Q = \log a + \log b.(H - H_0) \quad (10)$$

Após definida a curva-chave é necessário apenas monitorar o nível da água para se obter a vazão do rio, mas o “acúmulo das pequenas variações das características da seção ao longo dos anos faz com que a relação determinada seja associada a um período de validade.” (PORTO; FILHO; SILVA, p. 29-36).

#### 2.4.1.2 Fluviograma

Hidrógrafa, hidrograma, ou fluviograma é o gráfico que representa as vazões em função do tempo para uma seção transversal do rio (SOUZA; FUCHS; SANTOS, 1983, p.93).

O fluviograma pode ser representado com as “vazões instantâneas, médias diárias, semanais, mensais ou anuais, máximas e mínimas semanais, mensais ou anuais” (SOUZA; SANTOS; BORTONI, 2009, p. 58).

A obtenção desse gráfico parte de leituras diárias feitas em uma régua instalada na seção para a qual já se determinou a curva-chave. Essas leituras devem ser feitas diariamente, de preferência nos horários da 7h30, 13h30 e 17h30 (SOUZA; FUCHS; SANTOS, 1983, p.93).

A média diária é a média aritmética das três alturas, que permite traçar os gráficos semanais (SOUZA; FUCHS; SANTOS, 1983, p. 93).

“A combinação adequada da curva-chave e do gráfico das alturas permite o traçado do fluviograma.” (SOUZA; FUCHS; SANTOS, 1983, p. 94).

Segundo Souza, Santos e Bortoni (2009, p. 59) os fluviogramas são os que melhor representam visualmente o comportamento no passado do rio, e também permitem visualizar com facilidade “a extensão e a distribuição temporal de secas e enchentes ao longo do período de observações” (STUDART, p. 2).

#### 2.4.1.3 Curva de permanência ou de frequência

A curva de permanência, também conhecida como curva de frequência é o gráfico representativo da porcentagem de tempo em que uma dada vazão é igualada ou excedida (SOUZA; FUCHS; SANTOS, 1983, p. 94; BARBOSA, p. 1).

Essa curva é construída com base nos registros das vazões em uma estação fluviométrica. A curva pode ser traçada para vazões diárias, mensais ou anuais. Como, em geral, as vazões de um rio mantêm um valor médio anual aproximadamente constante, a curva de permanência das vazões médias anuais será uma linha quase horizontal (BARBOSA, p. 1).

Para a construção do gráfico primeiramente é feita uma divisão em classes, dispostas em ordem decrescente, da faixa total das vazões utilizadas na análise. O tamanho do intervalo é calculado segundo:

$$\Delta Q = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{N_p} \quad (11)$$

Onde  $Q$  é o tamanho do intervalo de classe,  $Q_{\max}$  é a vazão máxima,  $Q_{\min}$  é a vazão mínima e  $N_p$  é o número de pontos de plotagem, que depende do tamanho da série de registros, mas, em geral, são utilizados dez ou mais pontos (BARBOSA, p. 1).

Em seguida é feito um levantamento do número de observações dentro de cada classe. Esse número é então acumulado a partir do intervalo que contém a vazão máxima, fazendo uma classificação decrescente (BARBOSA, p. 2).

O próximo passo é dividir os valores acumulados pelo número total de registros de vazão e multiplicar o resultado por 100, obtendo a contagem das observações acumuladas em porcentagem (BARBOSA, p. 2).

Por último é lançado no gráfico os valores das vazões em ordenada e as contagens percentuais acumuladas em abscissa, traçando uma linha suave através dos pontos plotados (BARBOSA, p. 2).

A forma da curva de permanência é um indicativo das características do curso d'água. Uma curva plana sugere a presença de armazenamentos naturais a montante da seção fluviométrica. Já uma curva com forte declividade indica a ausência de armazenamentos significativos na calha do rio (BARBOSA, p. 2).

A potencialidade do rio pode ser tirada da curva de permanência, e é igual à potência disponível para vazões entre 90% e 100% do tempo. "Pressupõe, evidentemente, ausência de regularização, pois se baseia nas vazões naturais." (SOUZA; FUCHS; SANTOS, 1983, p. 96).

#### 2.4.1.4 Diagrama de Rippl

Denomina-se curva de massa, de volumes acumulados ou diagrama de Rippl a curva integral do fluviograma, que representa as áreas do fluviograma da

origem ao tempo respectivo em ordenadas, e na abscissa este tempo (SOUZA; FUCHS; SANTOS, 1983, p.96).

$$V = \int_{t_i}^{t_f} Q \cdot dt \cong \sum_{t_i}^{t_f} Q_i \cdot \Delta t_i \quad (12)$$

A partir do fluviograma é feita uma tabela com as vazões médias mensais para um ano e a partir dos valores dessa tabela é construído o diagrama de Rippl (SOUZA; FUCHS; SANTOS, 1983, p. 97).

Nesse diagrama, as vazões são dadas pela tangente a essa curva (SOUZA; FUCHS; SANTOS, 1983, p. 97):

$$Q = \frac{dv}{dt} \quad (13)$$

Esta curva é fundamental no estudo de regularização de cursos de água, e permite também determinar o período crítico e a vazão média deste período (SOUZA; FUCHS; SANTOS, 1983, p. 98; SOUZA; SANTOS; BORTONI, 2009, p. 69).

#### 2.4.1.5 Curva dos volumes da bacia

É uma curva representativa dos volumes acumulados na bacia em função das alturas da água ou alturas represadas (SOUZA; FUCHS; SANTOS, 1983, p. 98).

Sobre cartas geográficas, na menor escala possível, delimita-se a área da bacia hidrográfica a montante da seção de regularização para a obtenção de sua área e do fator de transposição (SOUZA; FUCHS; SANTOS, 1983, p. 98).

Em seguida, com auxílio de um planímetro, determina-se a área limitada pela curva de nível inferior, que é cortada pela linha do centro da barragem. As áreas limitadas pelas curvas de nível imediatamente em níveis superiores são então igualmente determinadas até a cota considerada como a máxima inundável (SOUZA; FUCHS; SANTOS, 1983, p. 98).

O volume contido por dois planos que passam por suas curvas de nível vizinhas são obtidos pela equação:

$$V_i = \frac{A_{i-1} + A_i}{2} \cdot h \text{ [m}^3\text{]} \quad (14)$$

onde  $h$  é a diferença de nível entre duas curvas consecutivas (SOUZA; FUCHS; SANTOS, 1983, p. 99).

O volume acumulável é obtido pela soma dos  $n$  volumes (SOUZA; FUCHS; SANTOS, 1983, p. 99):

$$V_n = \sum_{i=1}^n \frac{A_{i-1} + A_i}{2} \cdot h \text{ [m}^3\text{]} \quad (15)$$

“Do volume total obtido, uma parte,  $V$ , não é aproveitável para a produção de energia e isso deve ser considerado nos estudos.” (SOUZA; FUCHS; SANTOS, 1983, p. 99).

#### 2.4.1.6 Complementação de series

A falta de todos os dados diários nos postos fluviométricos leva a falhas nos dados mensais e anuais, o que faz necessário a complementação dessas séries, para não invalidar futuros estudos (SOUZA; SANTOS; BORTONI, 2009, p. 52).

É possível completar uma série de vazões fazendo uma correlação com dados de outro posto fluviométrico próximo, preferencialmente da mesma bacia, desde que haja semelhança sob todos os aspectos entre as respectivas áreas de drenagem. Neste caso, pode-se estabelecer a seguinte correlação (SOUZA; SANTOS; BORTONI, 2009, p. 52-53):

$$q_i t = a \cdot q_s t + b + \varepsilon \quad (16)$$

onde  $q_i(t)$  é a vazão unitária no posto de interesse no instante  $t$ ,  $q_s(t)$  é a vazão unitária no posto semelhante no instante  $t$ , e  $\varepsilon$  é o erro ou ruído.

Os estimadores de  $a$  e de  $b$  podem ser calculados por mínimos quadrados, a partir de um conjunto de valores de  $q_i(t)$  e de  $q_s(t)$  (SOUZA; SANTOS; BORTONI, 2009, p. 53). Utilizando-se o método de Monte Carlo, sorteia-se o erro,

permitindo estimar a vazão de interesse (SOUZA; SANTOS; BORTONI, 2009, p. 53).

$$Q_i t' = A_{di} \cdot [\hat{a} \cdot q_s t' + \delta + \varepsilon] \quad (17)$$

onde  $Q_s(t')$  é a vazão sorteada, no posto de interesse, no instante da falha de dado,  $(t')$ ;  $\hat{a}$  e  $\delta$  são estimadores de  $a$  e  $b$ , calculados por regressão linear;  $\varepsilon$  é o erro sorteado; e  $A_{di}$  é a área de drenagem no posto de interesse.

#### 2.4.1.7 Curva de transposição de vazões

É a “curva obtida para uma determinada seção de um curso de água em função da curva conhecida para uma outra seção do mesmo ou de outro curso de água.” (SOUZA; FUCHS; SANTOS, 1983, p. 100)

É comum não ter o histórico de vazões do local de interesse, fazendo-se necessária a transposição de dados de outros postos fluviométricos, que devem estar próximos e terem áreas de drenagem semelhantes às do local de estudo (SOUZA; SANTOS; BORTONI, 2009, p. 55).

A área de drenagem é a “área, em planta, da superfície do solo capaz de coletar a água das precipitações e conduzi-las ao ponto do rio de interesse, diretamente ou através de seus afluentes” (SOUZA; SANTOS; BORTONI, 2009, p. 51).

Os postos fluviométricos para a transposição devem estar preferencialmente dentro da mesma bacia, mas se estiverem longe ou em outras bacias devem pelo menos estar na mesma faixa de paralelos terrestres do posto de interesse (SOUZA; SANTOS; BORTONI, 2009, p. 55).

Assim, a vazão no local de interesse pode ser calculada por (SOUZA; SANTOS; BORTONI, 2009, p. 55):

$$\bar{Q} = \frac{A_{di}}{A_{ds}} \cdot Q_s \quad (18)$$

onde i indica o posto de interesse e s o posto semelhante.

Para obter dados mais precisos pode-se efetuar medições de vazão no ponto de estudo em diversas épocas do ano, obtendo valores que se relacionam com as vazões do local de onde se pretende transpor os dados, nas mesmas datas das medições, resultando então em um fator de transposição que pode ser usado para conseguir a história do local de interesse a partir de um local semelhante (SOUZA; FUCHS; SANTOS, 1983, p. 100-101):

$$f_t = \frac{q_i}{q_s} \quad (19)$$

## 2.5 MEDIÇÃO DA VAZÃO

### 2.5.1 Definição da Vazão

O volume de água que passa por uma seção de um rio dividido por um intervalo de tempo é denominado vazão, geralmente essa vazão é expressa em metros cúbicos por segundo [m<sup>3</sup>/s] (EMBRAPA, 2007, p.1).

A vazão sofre influência do clima, sendo maior em períodos chuvosos e diminuindo durante as secas. Também pode ser influenciada pelas estações do ano, sendo menor quando as taxas de evaporação são maiores (EMBRAPA, 2007, p.1).

### 2.5.2 Métodos de Medição de Vazão

A medição de vazão em cursos d'água é realizada de forma indireta, a partir da medição da velocidade ou do nível do rio (SEVERO, 2010, p.144).

Existem inúmeras formas de se medir a vazão, que tem princípios diferentes: volumétrico, colorimétrico, estruturas hidráulicas (calhas e vertedores), velocimétrico, acústico e eletromagnético (PORTO; FILHO; SILVA, 2001, p.7).



### 2.5.2.1 Método volumétrico

Este método é baseado no conceito volumétrico de vazão, isto é, vazão é o volume que passa por uma determinada seção controlada por unidade de tempo (PORTO; FILHO; SILVA, 2001, p.7).

Consiste em deslocar o caminho do rio para um reservatório e depois de um tempo pré-estabelecido verificar o acréscimo de volume (ZULCY, 1983, p.102). Este processo se limita a pequenas vazões, em geral pequenas fontes d'água, minas e canais de irrigação (PORTO; FILHO; SILVA, 2001, p.7).

A vazão, para o método volumétrico pode ser calculada através da equação (PEREIRA; MELLO, p.1):

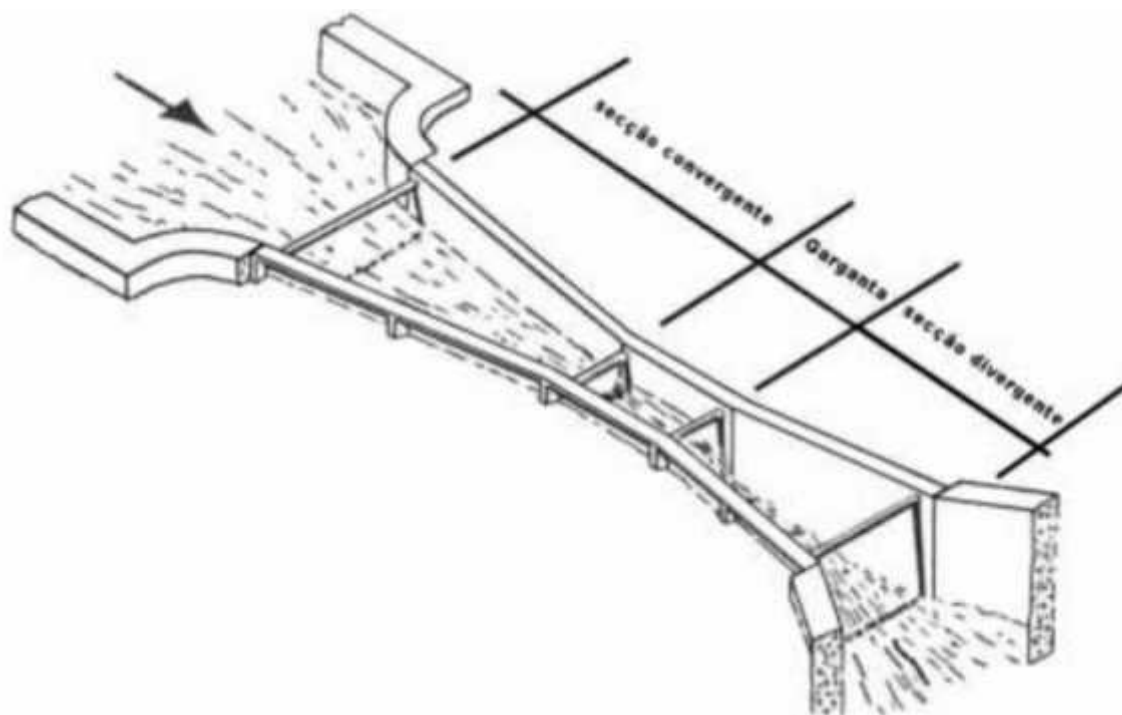
$$Q = \frac{vol}{t} \quad (20)$$

onde Q é a vazão em [m<sup>3</sup>/s], vol é o volume do reservatório em [m<sup>3</sup>], e t é o tempo em [s] que o fluxo de d'água demorou para preencher o reservatório.

### 2.5.2.2 Método da calha Parshall

O medidor Parshall desenvolvido pelo engenheiro Ralph L. Parshall, na década de 1920, nos Estados Unidos é um aprimoramento realizado no projeto da calha de Venturi. Projetado primeiramente para aplicações em irrigações, hoje em dia é utilizado frequentemente nas aplicações industriais e de saneamento. (MOURA; VICTOR; FREITAS; ROSA, p.3).

O medidor Parshall mede a vazão em canais abertos, é dividido em três partes: uma seção convergente, uma seção estrangulada e uma seção divergente. O nível na seção convergente deve ser mais alto do que o nível na seção divergente (Agência Nacional de Águas – ANA, 2004, p.9)



**Figura 9 - Esquematização das seções principais da calha Parshall**

**Fonte: CPRH N 2.004.**

De acordo com a NBR 13403 (ASSOCIAÇÃO..., 1995, p.1) esse método utiliza um dispositivo com seção convergente, com fundo em nível, seção estrangulada ou garganta, com fundo em declive e seção divergente, com fundo em auge. A vazão deve ser determinada a partir da leitura, em escala, da lâmina líquida na seção convergente.

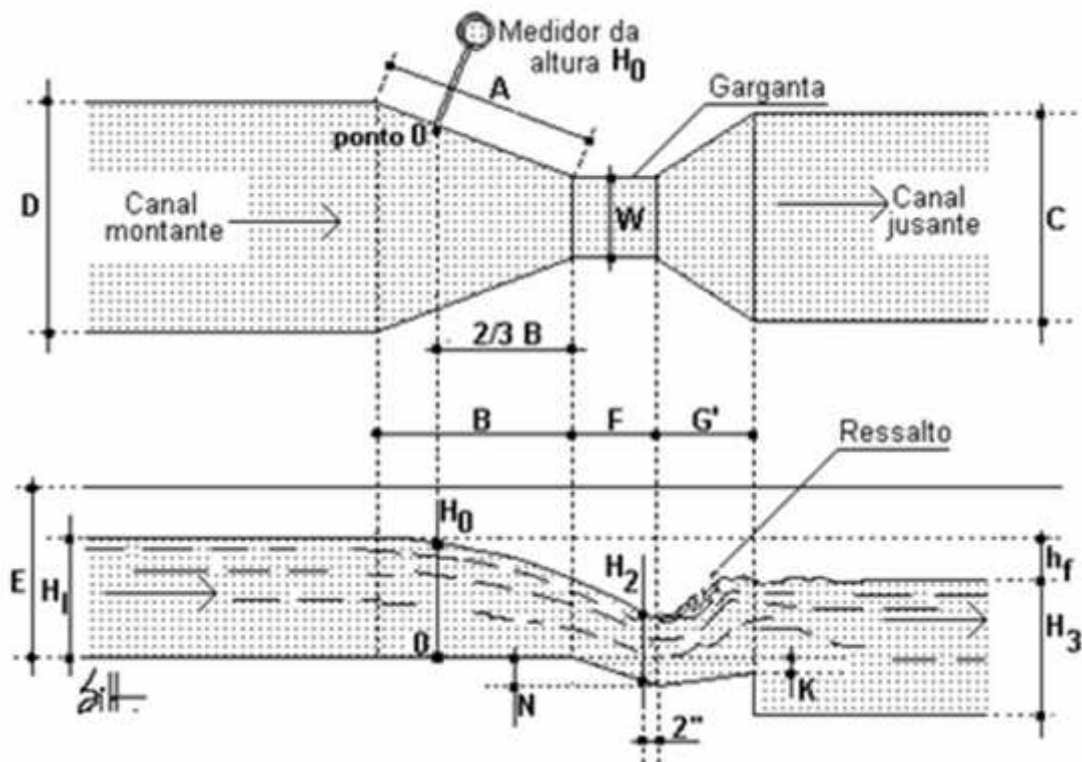


Figura 10 - Representação esquemática da calha de Parshall

Fonte: (Fernades, 2004).

Quando o nível d'água a jusante estiver elevado o suficiente para influenciar o escoamento, ou seja, a calha de Parshall está afogada, torna-se necessário a leitura da escala em duas secções (CPRH N 2.004, p.4).

A elevação da altura do nível da lâmina d'água (carga hidráulica), a montante da garganta da calha Parshall, é medida por meio de uma régua vertical ou inclinada, ou por meio de régua flutuadora acoplada a um registrador, quando se deseja uma medição contínua (CPRH N 2.004, p.4).

A equação de descarga usada para este método é dada por (CPRH N 2.004, p.7):

$$Q = 2,2.W.H_0^{\frac{3}{2}} \quad (21)$$

onde Q é a vazão em [m<sup>3</sup>/s], W é a largura da garganta em polegadas e em pés, H é a altura da lâmina d'água em [m], medida a montante da garganta, em um poço auxiliar.

Seguindo as condições previamente citadas, estima-se uma precisão de 1% nas determinações de vazão (CPRH N 2.004, p.9).



**Figura 11 - Calha Parshall**

**Fonte: (PORTO; FILHO; SILVA, 2001, p.9).**

As calhas Parshall não interferem no escoamento do rio, mas a viabilidade está limitada a pequenos canais (PORTO; FILHO; SILVA, 2001, p.9).

### 2.5.2.3 Método dos flutuadores

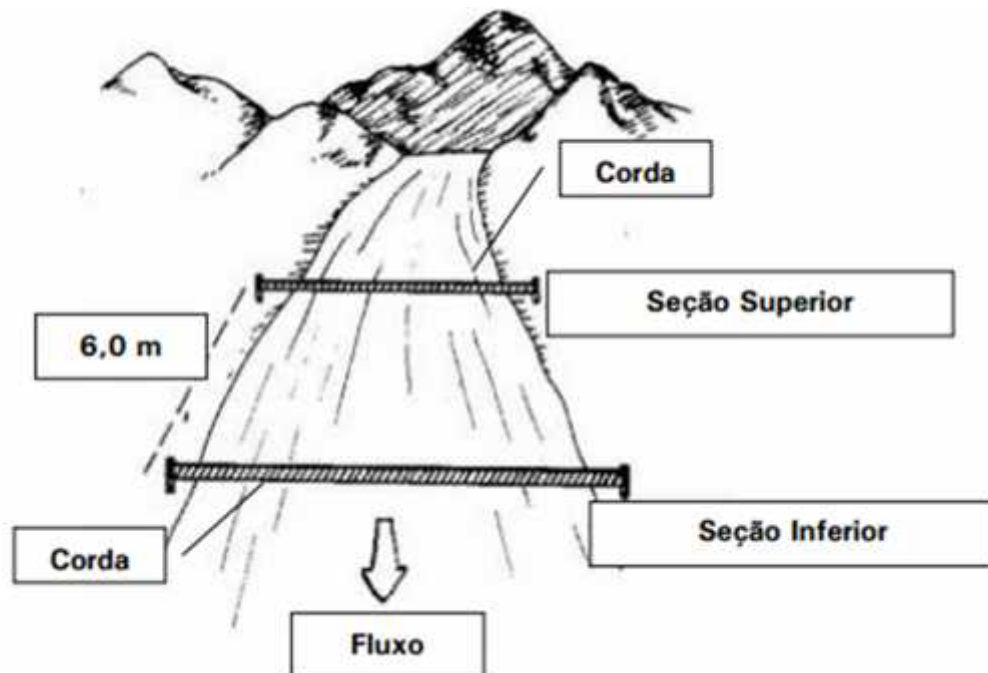
Encontramos flutuadores de várias formas e tipos, porém, os mais utilizados são os esféricos, ocos e de metal. Têm por finalidade medir a velocidade de um filete na superfície. Para isso cronometramos o tempo necessário para essa esfera percorrer uma distância previamente definida, para então ser possível calcular a velocidade. Para ser possível saber a velocidade de filetes abaixo da superfície utiliza uma esfera auxiliar que não flutue sozinha, mas que presa à primeira esfera, forme um conjunto da média aritmética das velocidades dos filetes da superfície e interno. Conhecendo a velocidade do filete da superfície é possível

calcular a velocidade interna (SOUZA; FUCHS; SANTOS, p.106).

Segundo a NBR 13403 (ASSOCIAÇÃO..., 1995, p.4) o método dos flutuadores é de pré-avaliação, pois apresenta erros de até 20% devido à precariedade e a necessidade da aplicação de um coeficiente para se obter a velocidade média da seção.

De acordo com a NBR 13403 (ASSOCIAÇÃO..., 1995, p.4) pode ser utilizado mesmo com grandes concentrações de materiais particulados não dissolvidos, seu custo para aplicação é baixo, e sua operação simples.

A medição deve ser feita em um trecho reto, de no mínimo 15 [cm] de profundidade, e não ser uma área de águas paradas, utilizando cordas para fazer as marcações necessárias, conforme é ilustrado na Figura 12 (EMBRAPA, 2007, p.2).



**Figura 12 - Marcação ilustrativa do rio para medição da vazão utilizando o método dos flutuadores**

Fonte: Adaptado de EPA (EMBRAPA, p.2).

Para encontrar a profundidade média do rio, deve-se realizar o cálculo da média aritmética dos valores de profundidade obtidos conforme equação a seguir (JÚNIOR; BITENCOURT; FILHO, p.12):

$$P_m = \frac{P1 + P2 + P3 + P4 + P5}{5} \quad (22)$$

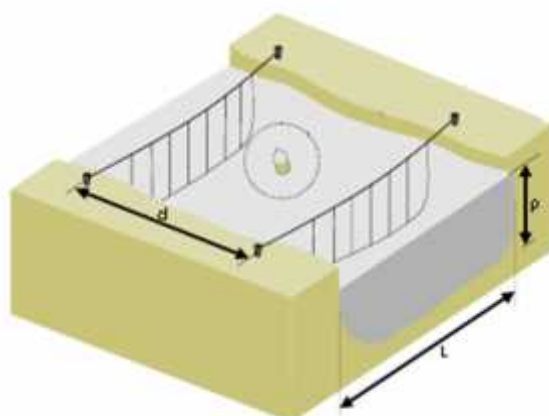
As áreas das seções transversais limitadas pelos níveis d'água e o fundo do córrego devem ser determinadas no mínimo para o ponto inicial e final do trecho de medição (ELETROBRÁS, 1985, p.2). A área do rio é o produto da média da profundidade pela largura do rio, devendo ser calculada a área da seção superior e inferior do rio. Sendo assim, somam-se as áreas e divide o resultado por dois, a fim de obter a média aritmética da área do trecho estudado (EMBRAPA, 2007, p.2):

$$A_1 = L_1 \cdot P_m \quad (23)$$

$$A_2 = L_2 \cdot P_m \quad (24)$$

$$A_m = \frac{A_1 + A_2}{2} \quad (25)$$

Após os cálculos necessários preliminarmente, é lançado o flutuador três metros antes da corda inicial, para que haja estabilização do movimento do objeto utilizado e para dar tempo de outra pessoa se posicionar perto da corda inicial. Inicia-se a marcação do tempo assim que o flutuador ultrapassar a corda inicial, devendo seguir o percurso, mantendo a marcação de tempo até o flutuador chegar à segunda corda, obtendo-se assim o tempo gasto para fazer o percurso (JÚNIOR; BITENCOURT; FILHO, p.13).



**Figura 13 - Demonstração do método do flutuador em um trecho do rio**  
 Fonte: JÚNIOR, BITENCOURT, FILHO(2007, p.14).

A vazão  $Q$ , em  $[m^3/s]$ , pode ser calculada pela equação (ELETROBRÁS, 1985, p.40):

$$Q = \frac{C.L.A_m}{t} \quad (26)$$

onde  $C$  é o coeficiente ou fator de correção (0,8 para rios com fundo pedregoso ou 0,9 para rios com fundo barrento), o coeficiente permite a correção devido ao fato de a água se deslocar mais rápido na superfície do que na porção do fundo do rio,  $L$  é o comprimento do trecho medido em  $[m]$ ,  $A_m$  é a média da área do rio, e  $t$  é o tempo em segundos que o flutuador leva para atravessar o comprimento  $L$ .

#### 2.5.2.4 Método da diluição

Esse método consiste em colocar a jusante do curso do rio em questão uma solução que não se encontra nessa água em grande quantidade, medir a concentração dessa solução comparando-a com a concentração natural do curso. O método da diluição deve ser utilizado em águas turbulentas para garantir uma boa dissolução da substância. É comum utilizar-se uma solução de cloreto de sódio por ser inofensivo à ecologia (SOUZA; FUCHS; SANTOS, p.105).

Para calcular a vazão as fórmulas abaixo (SOUZA; FUCHS; SANTOS, p.105):

$$Q = q_s \cdot \frac{N_1 - N_2}{N_2 - N_0} \quad (27)$$

(quando a substância no curso da água existe de forma considerável)

$$Q = q_s \cdot \left( \frac{N_1}{N_2} - 1 \right) \quad (28)$$

(quando a substância no curso da água não existe de forma considerável)

Em que  $q_s$  é a vazão constante da solução,  $N_0$  a concentração inicial da substância no curso de água,  $N_1$  a concentração da solução lançada no curso, e  $N_2$  a concentração final da substância no curso de água.

Segundo a NRB 13403 essa medição deve ser feita cuidadosamente e com o devido critério, por um especialista, pois pode afetar diretamente o valor calculado da vazão. Devendo ser retirada amostras de vários pontos do curso d'água, a montante e a jusante (SOUZA; FUCHS; SANTOS, p.105). Não é necessário saber qual é a secção transversal do rio, encontra-se um erro de até 5%.

#### 2.5.2.5 Método magnético

O método de vazão magnética, também conhecido como eletromagnético ou por tensão induzida, é um medidor que tem como princípio a lei de Faraday (TORRES, p.1).

O método consiste em determinar o movimento do líquido (o qual deverá possuir uma condutividade elétrica mínima admitida) através do campo magnético induzindo uma força eletromotriz que atravessa o líquido num sentido perpendicular ao campo magnético, a f.e.m. é diretamente proporcional à sua velocidade de escoamento, e pode ser encontrada utilizando dois eletrodos inseridos em um plano perpendicular ao campo magnético, conectados a um milivoltímetro (TORRES, p.1).

Nesse método o campo magnético é gerado por um ímã permanente ou por bobinas excitadas por corrente contínua ou alternada (TORRES, p.1).

Conforme a NBR 13404 (ASSOCIAÇÃO..., 1995, p.6) pode-se encontrar alta precisão no método de vazão magnética, com erro de 2 a 5%, sendo a velocidade mínima detectável 0,001 [m/s], mas é suscetível à presença de campos elétricos e magnéticos na área, e também a turbulência e vórtices (intenso movimento espiral de parte da massa líquida).



#### 2.5.2.6 Método do molinete

Esse é o método mais difundido para medição de vazão devido à versatilidade e exatidão. Consiste em uma hélice cuja rotação é proporcional à velocidade do líquido. Comumente a hélice está ligada a um sistema de engrenagens que após certo número de voltas atua em um contato elétrico. Marca-se o tempo entre alguns sinais e determina-se o número de rotações por segundo, sendo possível por parte do operador saber a velocidade do filete que está sendo analisado (SOUZA; FUCHS; SANTOS, p.108).

Segundo a NBR 13403 (ASSOCIAÇÃO..., 1995, p.6) pode-se utilizar o mesmo equipamento em vários locais, exige operação especializada, tendo erros de até 5 % para seções grandes e/ou irregulares. O método do molinete não deve ser empregado em regimes turbulentos ou na presença de grandes concentrações de sólidos suspensos.

"A medição de vazão com molinetes hidrométricos exige, dependendo das dimensões do rio, no mínimo 20 medições individuais ao longo da seção, que geralmente compreendem várias horas de trabalho." (CERPCH, 2008, p.4).

Os molinetes apresentam uma equação característica (SOUZA; FUCHS; SANTOS, p.108):

$$V = a + b.n \quad (29)$$

onde  $V$  é a velocidade;  $a$  é o passo da hélice;  $b$  é a inércia da hélice; e  $n$  a rotação da hélice, em rotação por segundo.

A vazão é determinada pelo somatório do produto de cada velocidade média por sua área de influência, como podemos ver na Figura 14 (TUCCI; PEREIRA; NETO, 2003).

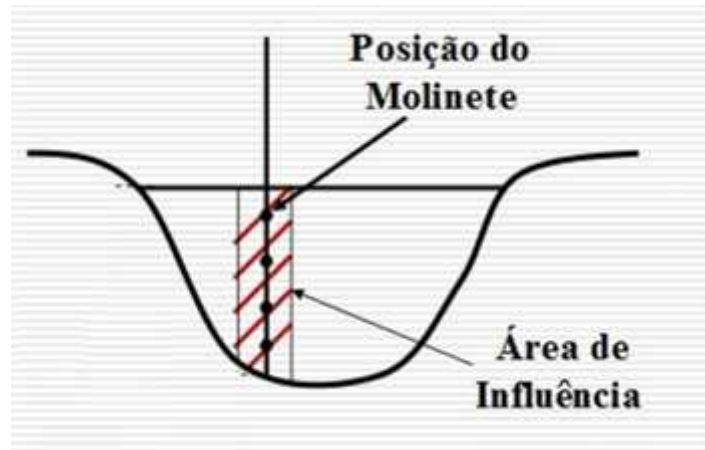


Figura 14 - Área de influência para a posição do molinete  
Fonte: BATISTA (2014, p.44).

#### 2.5.2.6.1 Tipo de medição de vazão com molinete

##### 2.5.2.6.1.1 A vau

Este método deve ser aplicado com o nível d'água inferior a 1,20 [m] e com uma velocidade adequada para o operador trabalhar em segurança, consiste em prender o molinete numa haste, respeitando 20 [cm] de distância do leito (PORTO; FILHO; SILVA, 2001, p.17).



Figura 15 - Medição a VAU  
Fonte: PORTO, FILHO, SILVA (2001, p.17).

#### 2.5.2.6.1.2 Sobre ponte

A seção de uma ponte com pilares no leito do rio pode interferir na velocidade de escoamento. Uma alternativa seria afastar o molinete da ponte utilizando suportes, fazendo-se assim as medições em um trecho com menor influência no escoamento (PORTO; FILHO; SILVA, 2001, p.18).



**Figura 16 - Utilização de ponte como suporte**

**Fonte: PORTO, FILHO, SILVA (2001, p.18).**

#### 2.5.2.6.1.3 Com teleférico

Em rios profundos, que não dispõem de ponte, ou que possa apresentar perigo ao operador (detritos), utiliza-se o teleférico como recurso para obter a velocidade de escoamento (PORTO; FILHO; SILVA, 2001, p.18).



**Figura 17 - Medição com teleférico**  
**Fonte: PORTO, FILHO, SILVA (2001, p.18).**

#### 2.5.2.6.1.4 Com barco fixo

Em um rio profundo é comumente utilizado o recurso do barco fixo. O barco é preso na margem do rio através de cabos (PORTO; FILHO; SILVA, 2001, p.19).

O problema deste método encontra-se na dificuldade de ancorar o barco em rios muito profundos e no risco de materiais flutuantes colidirem com a embarcação (PORTO; FILHO; SILVA, 2001, p.19).

A medição é feita com um equipamento especial que permite regular a velocidade do molinete (PORTO; FILHO; SILVA, 2001, p.19).

#### 2.5.2.6.1.5 Com barco móvel

Dependendo da largura do rio, é inviável o uso de cabos de ancoramento, então se torna necessário à utilização de um barco em movimento. No método, as tomadas de velocidades medidas pelo molinete correspondem à velocidade do rio em relação ao barco, para encontrar a velocidade do barco em relação à terra precisa saber a distância percorrida pelo mesmo durante a tomada de velocidade divergente (Agência Nacional de Águas – ANA, 2004, p.55)

#### 2.5.2.7 Método acústico (ultra-sônico)

Nesse método é feita a emissão de ondas ultra-sônicas por meio de um transdutor piezoelétrico, que transforma um sinal elétrico em vibração, que é transmitida no líquido. Quando um pulso ultra-sônico é orientado à jusante, sua velocidade é acrescida à velocidade da corrente do rio, quando esse pulso é dirigido à montante, a velocidade do impulso no líquido é subtraída da velocidade de corrente do rio (ANRADE; MARTINEZ; FILHO; AGUIRRE, p.77).

Segundo a NBR 13403 (ASSOCIAÇÃO..., 1995, p.2) "Os tipos usualmente mais utilizados são contador-propagador (time-of-flight) e reflexão (Doppler)".

O perfilador Doppler emite um pulso acústico (ultrassom) em uma frequência previamente estabelecida (entre 300 e 3.000 [kHz]), e recebe de volta o eco ultra-sônico refletido nas partículas imersas na água, a suposição desse método é que as partículas dissolvidas na água se deslocam na mesma velocidade do fluxo. Já o contador-propagador tem o mesmo princípio de funcionamento, mas com a restrição de ser usado exclusivamente em águas limpas, sem material em suspensão (SEVERO, 2010, p.155).

Os perfiladores podem ser acoplados a uma embarcação que atravessa determinada seção do rio lentamente. A velocidade da embarcação é encontrada pelo próprio perfilador, com base na análise do eco refletido pelo fundo do rio, cuja intensidade é maior do que o eco das partículas imersas na água, sendo fácil a

distinção das frequências (SEVERO, 2010, p.157).

De acordo com a NBR 13403 (ASSOCIAÇÃO..., 1995, p.6) esse método deve ser empregado em rios com vazão superior a 30 [L/s], o erro é de 2 a 5%, seu custo é considerado alto, e a aplicação requer uma mão de obra especializada.

#### 2.5.2.8 Método do vertedor

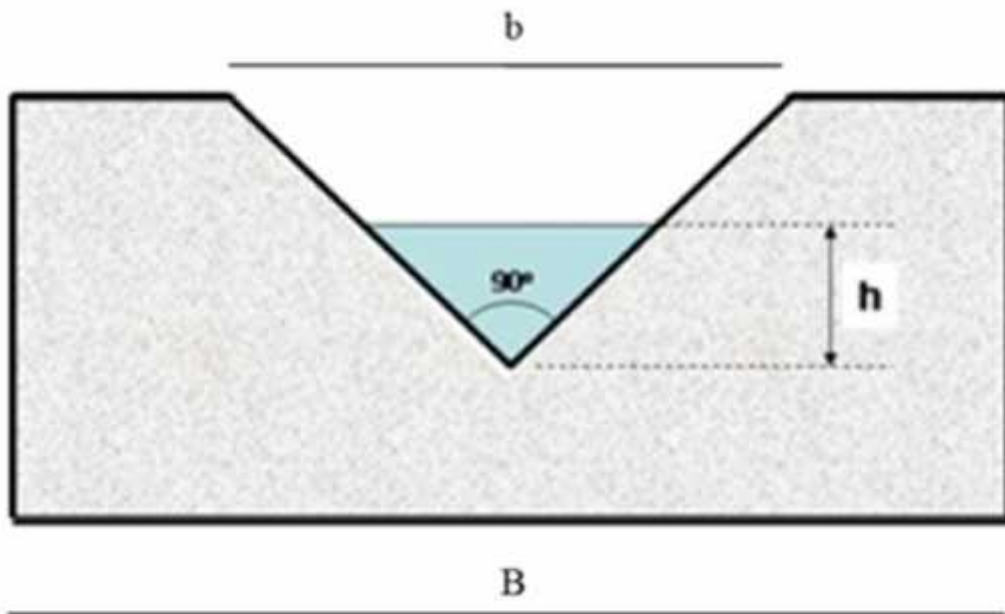
Segundo a NBR 13403 (ASSOCIAÇÃO..., 1995, p.2) é um método que utiliza um dispositivo que é introduzido no rio perpendicularmente ao seu fluxo. Esse dispositivo tem uma abertura por onde o líquido escoar.

Os vertedores são de aplicações variadas, mas deve-se utilizá-lo em obras já concluídas ou em rios com pequeno curso de águas. Os vertedores devem ser construídos com forma geométrica definida e seu estudo é feito considerando-os como orifícios sem a parte superior (SOUZA; FUCHS; SANTOS, p.103).

Segundo a NBR 13403 (ASSOCIAÇÃO..., 1995, p.4) os vertedores dividem-se segundo muitos fatores, como forma, altura relativa da soleira, natureza da parede e largura da abertura do vertedor em relação ao canal. Para vazões menores que 30 [L/s], os vertedores triangulares fornecem maior precisão. Já para vazões estimadas entre 30 [L/s] e 300 [L/s], os vertedores triangulares e os retangulares oferecem a mesma precisão. Para vazões acima de 300 [L/s], os vertedores retangulares são mais indicados por possuírem coeficientes de vazão mais bem definidos.

##### 2.5.2.8.1 Vertedor triangular

De acordo com a NBR 13403 (ASSOCIAÇÃO..., 1995, p.4) os vertedores triangulares são utilizados para medir pequenas vazões apresentando boa precisão. Esses vertedores são econômicos e fáceis de instalar. É recomendado sua utilização para vazões de 1 [L/s] a 5 [L/s].



**Figura 18 - Medidor triangular**

Fonte: AVIX GEO AMBIENTAL (2011).

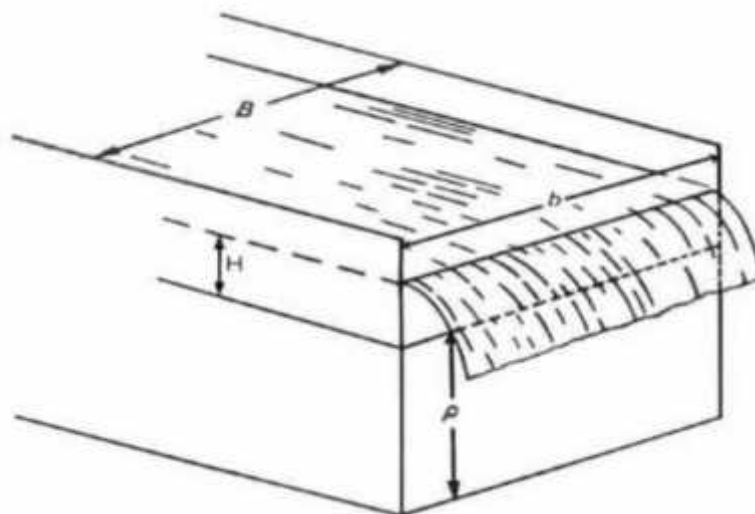
A vazão de um medidor triangular com ângulo reto ( $90^\circ$ ), conforme a Figura 18, é dada por (VILLELA; MATOS..., 1975):

$$Q = 1,4 \cdot h^{\frac{5}{2}} \quad (30)$$

onde  $Q$  é a descarga em  $[m^3/s]$ , e  $h$  a altura da lâmina de água que passa sobre a soleira em  $[m]$ .

#### 2.5.2.8.2 Vertedor retangular sem contração de placa delgada

São vertedores de placa delgada fina, têm a mesma largura do canal de aproximação ( $b=B$ ), no mínimo igual a 30  $[cm]$  (CPRH N 2.004, p.6)



**Figura 19 - Vertedor retangular sem contração de placa delgada**

**Fonte: (CPRH N 2.004 ).**

A equação de descarga é dada por (CPRH N 2.004,p.6):

$$Q = 1,838bH^{\frac{3}{2}} \quad (31)$$

onde  $Q$  é a vazão em  $[m^3/s]$ ,  $b$  é a largura do vertedor em metros,  $H$  é a altura do nível de água sobre a crista do vertedor em metros.

Esse método tem algumas restrições para a aplicação, a altura  $P$  (observada na Figura 19) não deverá ser superior a 10 [cm], e a altura  $H$  deve estar compreendida entre 3 [cm] e 75 [cm]. A razão de  $H$  e  $P$  não deve ser superior a uma unidade (CPRH N 2.004,p.6).

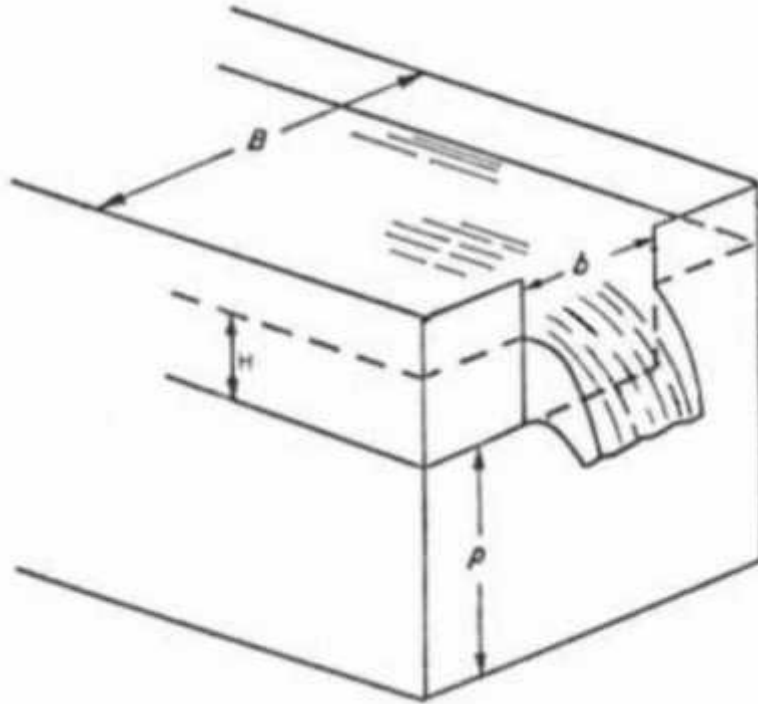
Sendo obedecidas às condições previamente destacadas, estima-se que o método do vertedor retangular sem contração de placa delgada apresente erro de até 3% na determinação da vazão (CPRH N 2.004,p.6).

#### 2.5.2.8.3 Vertedor retangular com contração de placa delgada

São vertedores de placas delgadas finas, com largura menor do que a do canal que se encontra ( $b < B$ ), fazendo-se necessário fazer contrações no vertedor,



como pode ser observado na Figura 20 (CPRH N 2.004, p.7).



**Figura 20 - Vertedor retangular com contração de placa delgada**  
**Fonte: (CPRH N 2.004).**

A equação de descarga é dada por (CPRH N 2.004,p.7):

$$Q = 1,838bH^{\frac{3}{2}} \quad (32)$$

Sendo que  $b = B - 0,2H$  , então a fórmula da descarga neste caso é:

$$Q = 1,838(B - 0,2H)H^{\frac{3}{2}} \quad (33)$$

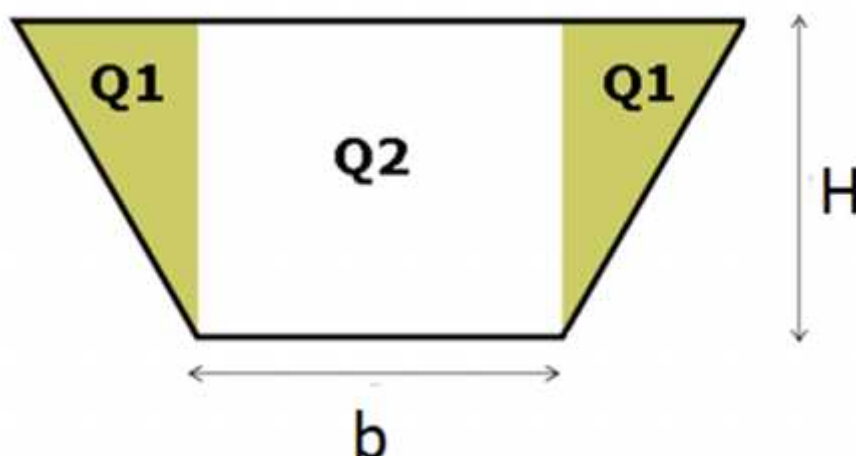
onde Q é a vazão, em [m<sup>3</sup>/s], B é a largura do canal, em metros, b é a largura da contração, em metros, H é a altura do nível de água sobre a crista do vertedor, em metros.

A largura do vertedor contraído ( b ), e a altura do vertedor (P), devem ser no mínimo 0,30 [m]. A altura da lâmina d'água (H) vertedor deve estar compreendida entre 0,075 [m] e 0,60 [m] (CPRH N 2.004,p.7).

Sendo obedecidas às condições previamente destacadas, estima-se que o método do vertedor retangular sem contração de placa delgada apresente erro de até 3% na determinação da vazão (CPRH N 2.004,p.7).

#### 2.5.2.8.4 Vertedor trapezoidal (CIPOLLETTI)

O método do vertedor trapezoidal visa compensar a redução da vazão gerada pelas contrações laterais, Cipolletti propôs um dispositivo com formato trapezoidal (UCKER, p.19).



**Figura 21 - Vertedor trapezoidal (CIPOLLETTI)**

**Fonte: UCKER (2013, p.19).**

Como pode ser observado na Figura 21, a largura da contração ( $b$ ) continua a mesma do método do vertedor retangular com contração de placa, mas as vazões  $Q1$  compensam a perda de vazão gerada pelas contrações (UCKER, p.19).

Para inclinação das faces laterais deve obedecer a proporção de 1:4, ou seja, para cada unidade de medida na horizontal, deve ser feita quatro unidades na vertical (UCKER, p.21).

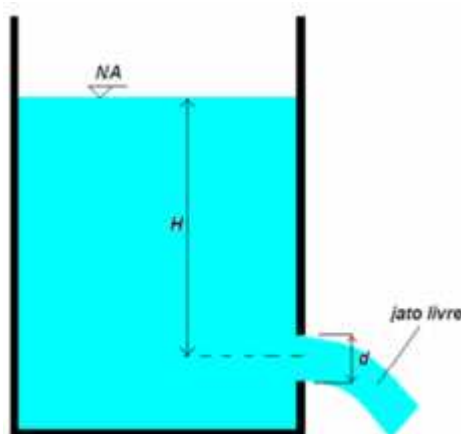
A equação de descarga é dada por (CPRH N 2.004,p.6):

$$Q = 1,86bH^{\frac{3}{2}} \quad (34)$$

onde  $Q$  é a vazão, em  $[m^3/s]$ ,  $b$  é a largura do vertedor em metros,  $H$  é a altura do nível de água sobre a crista do vertedor, em metros.

#### 2.5.2.9 Método dos orifícios, bocais e tubos curtos

De acordo com a NBR 13403 (ASSOCIAÇÃO..., 1995, p.2) este método utiliza dispositivos com a abertura de perímetro na parede de um reservatório ou conduto sob pressão, de forma geométrica definida, feitas abaixo da superfície livre d'água.



**Figura 22 - Representação de um jato d'água saindo por um orifício**  
**Fonte: SILVA(2013, p.9).**

Referente a Figura 22,  $H$  é a carga que age no orifício formado pela altura da abertura (representado pela letra  $d$ ) e  $NA$  é o nível do líquido sob pressão atmosférica (SILVA, p.9).

Os orifícios podem ser classificados de duas maneiras, pequenas e grandes dimensões. No primeiro todas as partículas que atravessam o orifício estão sujeitas à mesma carga  $H$ , e têm a mesma velocidade. Já o segundo a carga  $H$  é considerado variável, e as partículas que atravessam a abertura têm velocidades distintas (SILVA, p.10).

No orifício pode ser adaptado bocais, que são pequenas peças que tem como função dirigir o jato. O seu comprimento deve estar compreendido entre 1,5 e 3,0 vezes o seu diâmetro, podendo ser encontrando vários tipos de bocais: bocal ajustado, bocal cilíndrico externo, bocal cilíndrico reentrante, bocal cônico convergente e bocal cônico divergente (UFPI-DRHGA, p.46).

#### 2.5.2.9.1 Bocal ajustado

É um bocal adaptável, e a do jato que sai do orifício em uma parede delgada tem o mesmo formato, sendo praticamente nula a contração. A perda de carga é muito pequena, sendo essa forma de bocal utilizada nas saídas de reservatórios (UFPI-DRHGA, p.46).

O coeficiente de descarga desse bocal é (UFPI-DRHGA, p.46):

$$C_d \leq 0,98$$

#### 2.5.2.9.2 Bocal cilíndrico externo

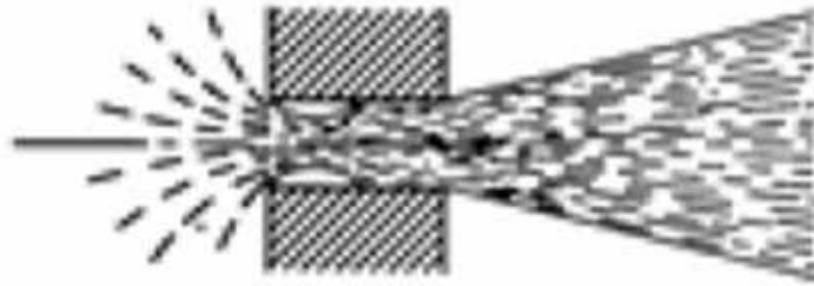
Esse bocal é um tubo cilíndrico que se projeta para fora da parede, ou orifício. Seu comprimento iguala-se a 2,5 vezes o seu diâmetro (UFPI-DRHGA, p.47).

Quando a altura d'água é muito maior que o comprimento do bocal, o jato é o mesmo do orifício, ocorrendo uma contração da veia líquida que faz total preenchimento do bocal de saída (UFPI-DRHGA, p.47).

O bocal em questão não apresenta área de seção contraída, sendo visto uma perda de carga maior que um orifício de mesma dimensão (FUNDAÇÃO..., p.4).

O coeficiente de descarga desse bocal é (UFPI-DRHGA, p.47):

$$C_d = 0,82$$



**Figura 23 - Representação de um bocal cilíndrico externo**

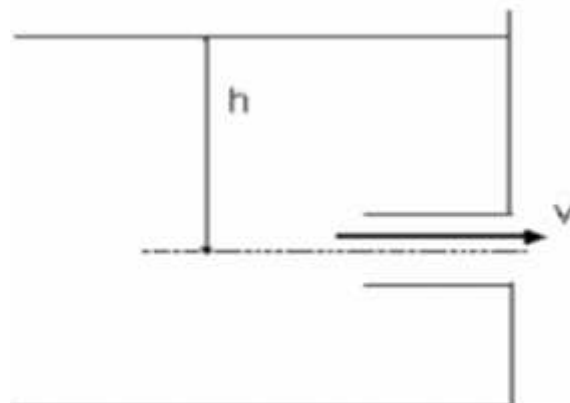
Fonte: SILVA (2013, p.9).

#### 2.5.2.9.3 Bocal cilíndrico reentrante

É um tubo no formato cilíndrico projetado para o interior da parede. Se seu comprimento for igual ou próximo do seu diâmetro, o jato sofre contração na entrada do bocal maior que a observada nos orifícios, não tocando nas paredes internas do mesmo (UFPI-DRHGA, p.50).

O coeficiente de descarga desse bocal é (UFPI-DRHGA, p.50):

$$C_d = 0,51$$

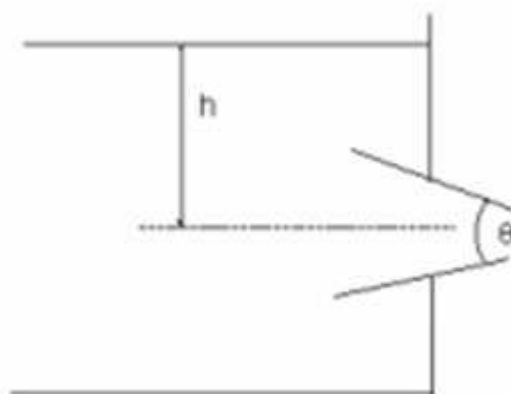


**Figura 24 - Representação de um bocal cilíndrico reentrante**

Fonte: (UFPI-DRHGA, p.51).

#### 2.5.2.9.4 Bocal cônico convergente

É um tubo em que se observa pequena contração do jato, seguido por uma expansão na saída. Pode-se observar um aumento da vazão com o bocal cônico, sendo a vazão máxima obtida com um ângulo de  $13^{\circ}30'$ , como pode ser observado na Figura 25 (CORDEIRO, p.25).



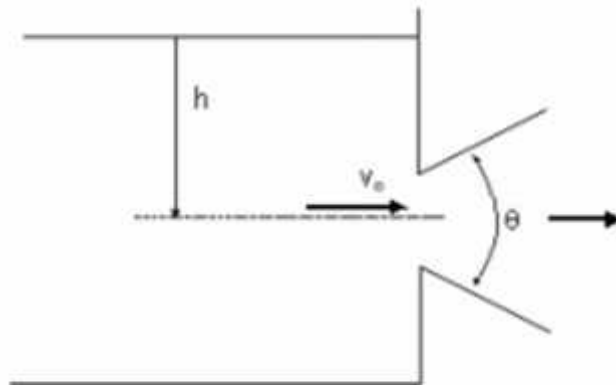
**Figura 25 - Representação de um bocal cônico convergente**  
**Fonte: (UFPI-DRHGA, p.52).**

O coeficiente de descarga desse bocal é aproximadamente 0,94, podendo variar dependendo do ângulo de convergência (FUNDAÇÃO..., p.4).

#### 2.5.2.9.5 Bocal cônico divergente

É um tubo em que se pode observar pequena contração do jato, seguido por uma expansão que enche completamente o bocal de saída, funcionando em plena seção (UFPI-DRHGA, p.55).

O coeficiente de descarga desse bocal é máximo quando o ângulo de divergência é  $5^{\circ} 5'$  e o comprimento do bocal é nove vezes maior que seu diâmetro (UFPI-DRHGA, p.55).



**Figura 26 - Representação de um bocal cônico divergente**  
**Fonte: (UFPI-DRHGA, p.55).**

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 MATERIAL

##### 3.1.1 Localização da Usina Rancharia

A Usina Rancharia está localizada no município de Rio Branco do Sul localizado na Região Metropolitana Norte de Curitiba ao Leste do Estado do Paraná. Suas coordenadas na barragem são em UTM igual a 7.214.112N e 670.953E (fuso 22J). A Figura 27 mostra uma vista aérea da usina com o local de seu reservatório e da casa de máquinas.



Figura 27 - Localização da Usina Rancharia

Fonte: Google (2014).

A usina situa-se no curso d'água Rio Rancharia que pertence à sub-bacia do Rio Açungui, que por sua vez é afluente do Rio Ribeira, este um dos principais rios da região e da Bacia Hidrográfica do Ribeira.

Com relação à precipitação na região, a Tabela 3 mostra a média da densidade pluviométrica anual média entre 2001 e 2011 para a Região Metropolitana Norte de Curitiba.



**Tabela 3 - Densidade pluviométrica anual média de 2001 a 2011 para a Região Metropolitana Norte de Curitiba.**

jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
226	159	123	92	90	74	118	82	122	144	139	158

Fonte: SIMEPAR (2011).

### 3.1.2 Instalações Existentes no Local

A Usina Rancharia foi desativada há mais de 50 anos e grande parte das instalações existentes na época de seu funcionamento hoje está deteriorada pela ação do tempo e/ou por atos de vandalismo. A Figura 28a, Figura 28b, Figura 28c, Figura 28d, e Figura 28e mostra o local da casa de máquinas, a parte inferior da casa de máquinas, o canal de adução, a tomada d'água e a barragem, respectivamente.



(a) – Local da casa de máquinas



(b) – Parte inferior da casa de máquinas



(c) – Canal de adução



(d) – Tomada d'água



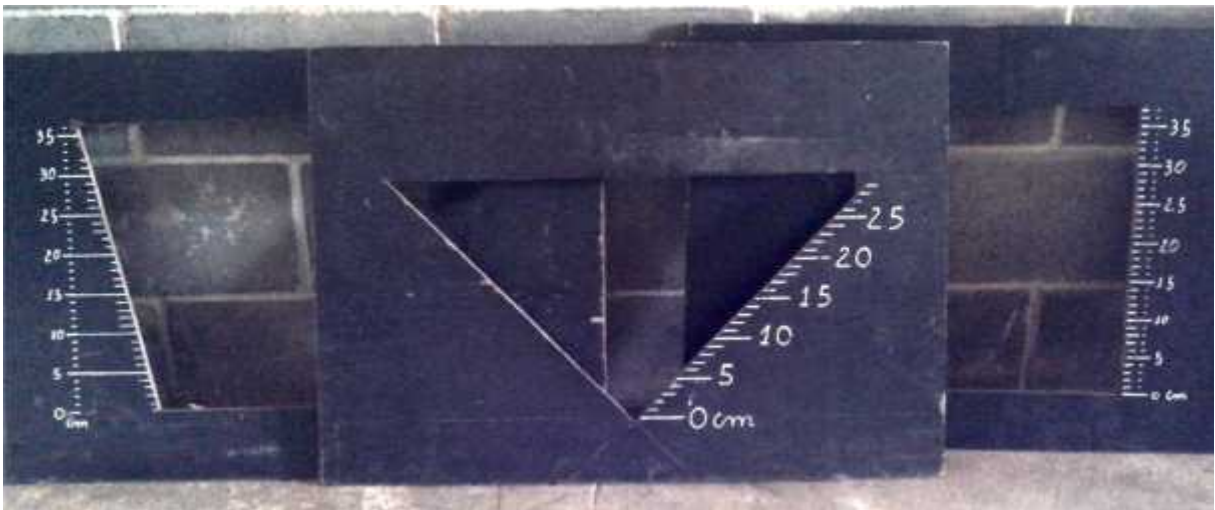
(e) - Barragem

Figura 28 - Instalações da Usina Rancharia

Fonte: Própria.

### 3.1.3 Materiais para Medição da Vazão pelo Método Vertedouro

Para medição da vazão pelo método do vertedouro foi utilizado placas de madeirite com medidas graduadas. A Figura 29 mostra as placas confeccionadas e a Figura 30 mostra uma placa instalada no canal de adução.



**Figura 29 - Placas de madeirite**

Fonte: Própria.



**Figura 30 - Placas de madeirite instalada no canal de adução**

Fonte: Própria.

### 3.1.4 Materiais para Medição de Vazão Média de Longo Período

Para a medição da vazão média de longo período foi necessário levantar os dados fisiográficos da Bacia Hidrográfica do Ribeira e dados de vazão média de longo período de PCHs e outros rios pertencentes à mesma bacia conforme Tabela 5.

## 3.2 MÉTODO

### 3.2.1 Medição da Vazão pelo Método Vertedouro

Para medição da vazão foram realizadas 17 (dezesete) medidas no local da Usina Rancharia, entre os dias 05/01/2014 e 18/04/2014, conforme mostra a Tabela 4.

**Tabela 4 - Visitas de campo para medição de vazão**

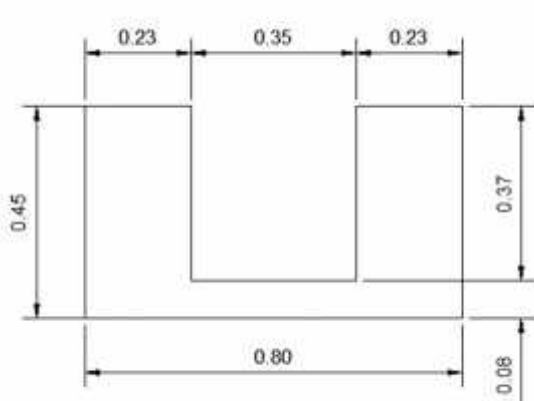
Medição	Dia	Hora
1	05/01/2014	18h00
2	08/01/2014	15h00
3	10/01/2014	18h00
4	11/01/2014	15h00
5	18/01/2014	11h00
6	20/01/2014	11h00
7	22/01/2014	16h00
8	31/01/2014	11h00
9	08/02/2014	10h00
10	21/02/2014	11h00
11	07/03/2014	9h00
12	26/03/2014	15h00
13	27/03/2014	9h00
14	27/03/2014	8h15
15	28/03/2014	17h30
16	29/03/2014	8h15
17	31/03/2014	9h00

Fonte: Própria.15/06/2014

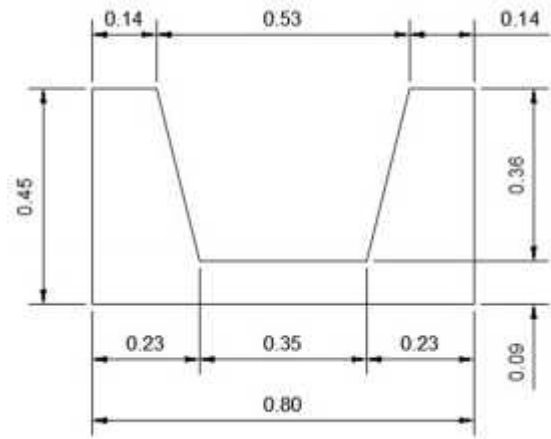
Em cada coleta de dados foi verificado o nível da água que passava pelo vertedouro conforme a graduação deste e exemplificado pela Figura 27.

A Figura 31a, Figura 31b e Figura 31c mostram o projeto, com as medidas em metros, dos vertedores confeccionados para medir a vazão da Usina Rancharia.

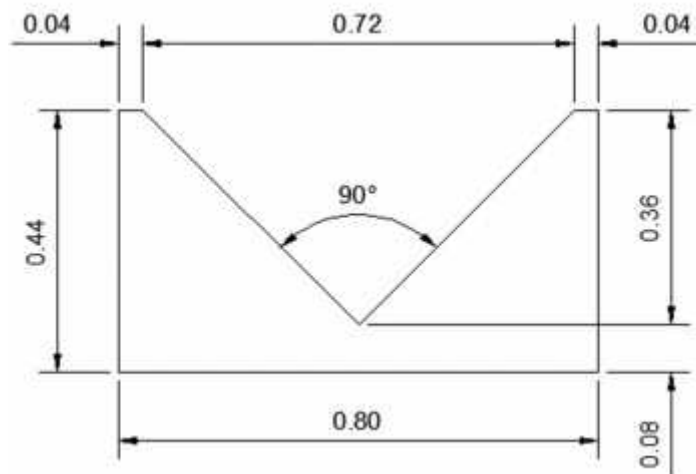
Os vertedores são simples aberturas ou entalhes na parte superior de uma parede por onde o líquido escoar, podendo ser instalados em cursos d'água naturais ou artificiais e sua utilização é indicada para pequenos cursos d'água, canais com vazão média entre 10 e 300 litros por segundo. (PEREIRA e ROGÉRIO DE MELLO, p.4).



(a) – Vertedor Retangular



(b) – Vertedor Trapezoidal



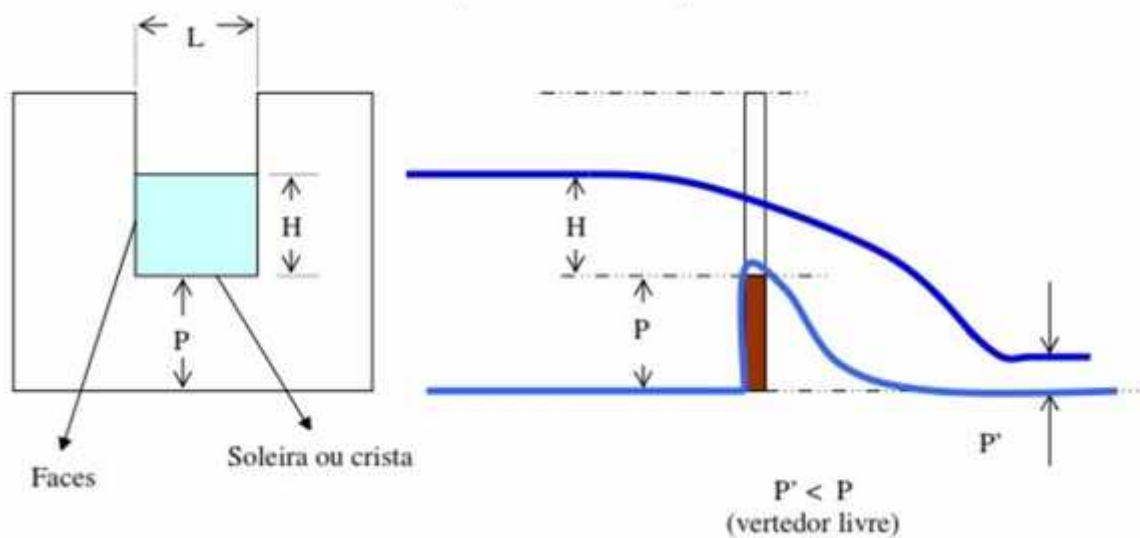
(c) – Vertedor Triangular

Figura 31 - Projeto dos vertedores (Medidas em metro)

Fonte: Própria.

Pelas orientações de Pereira e Rogério de Mello, tomamos certos cuidados na instalação dos Vertedores, conforme Figura 32:

- A soleira ficou nivelada;
- Face de montante na vertical e lisa;
- Paredes finas;
- Não deve ser afogado. A água não deve escoar pela parede de jusante;
- $P \geq 2H$ , com  $P$  superior a 0,2 metros;
- $H$  com valores entre 0,05 metros e 0,6 metros;
- Vertedor instalado em local de trecho retilíneo.



**Figura 32 - Instalação do vertedor**

**Fonte: (PEREIRA e ROGÉRIO DE MELLO, p.4).**

onde  $L$  é a largura da soleira em metro,  $H$  a altura da lâmina de água que passa (carga hidráulica) sobre a soleira em metro,  $P$  a distância do fundo d'água à soleira e  $P'$  a profundidade do curso de água à jusante do vertedor.

### 3.2.1.1 Vertedor retangular com duas contrações laterais

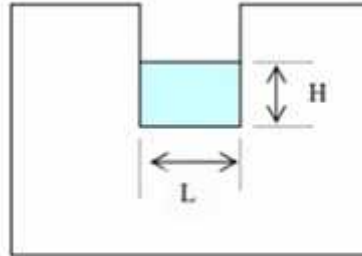


Figura 33 - Instalação do vertedor

Fonte: (PEREIRA e ROGÉRIO DE MELLO, p.5).

$$Q = 1.84 L H^{3/2} \quad (35)$$

onde Q é a vazão em metros cúbicos por segundo.

### 3.2.1.2 Vertedor trapezoidal

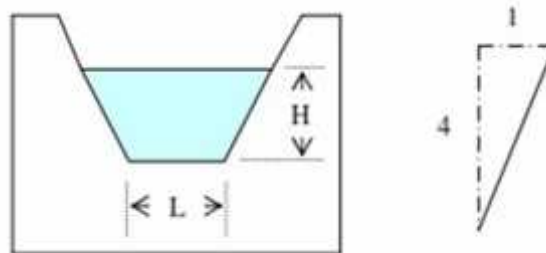
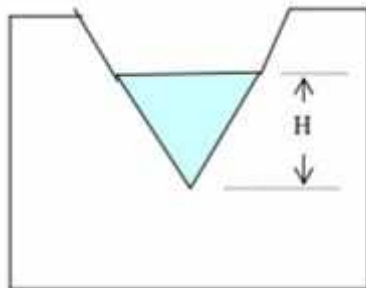


Figura 34 - Instalação do vertedor

Fonte: (PEREIRA e ROGÉRIO DE MELLO, p.6).

$$Q = 1.86 L H^{3/2} \quad (36)$$

### 3.2.1.2 Vertedor Triangular



**Figura 35 - Instalação do vertedor**

Fonte: (PEREIRA e MELLO, p.5).

$$Q = 1,4 H^{5/2} \quad (37)$$

### 3.2.2 Medição da Vazão Média de Longo Período

Esta medição foi realizada pelo Instituto das Águas do Paraná que emitiu um laudo em 08 de agosto de 2012, contendo os valores de vazão e potência instalada/gerada em quilo Watt.

#### 3.2.2.1 Dados fisiográficos da bacia

Os dados fisiográficos da bacia foram levantados a partir de mapas planialtimétricos da Diretoria de Serviço Geográfico do Ministério do Exército, carta Rio Branco do Sul, folha SG.22-K-II-1, escala 1:50000.

- Área de drenagem (S) = 9,40 [km<sup>2</sup>];
- Comprimento do talvegue principal (L) = 5.650 [m];
- Declividade do terreno (s) = 0,0398 [m/m].



### 3.2.2.2 Vazão média de longo período

A vazão média de longo período da pequena bacia do Ribeirão Rancharia foi estimada através de dados existentes nas bacias dos Rios Turvo e Ribeira, pois não existe estação de monitoramento de vazões no local do aproveitamento hidrelétrico. O Ribeirão Rancharia é um dos vários pequenos tributários da margem direita do Rio Açungui, que é afluente pela margem direita do Rio Ribeira e o Rio Turvo é pela margem esquerda. As vazões médias específicas se referem aos resultados dos estudos hidrológicos realizados para os aproveitamentos hidrelétricos a serem instalados na Bacia do Rio Ribeira, onde as vazões médias dos postos fluviométricos existentes na bacia foram transportados para os locais dos aproveitamentos através de regionalização de vazões (AGUASPARANÁ, 2013).

Na Tabela 5, são apresentadas as vazões médias específicas dos estudos hidrológicos realizados para os aproveitamentos hidrelétricos na Bacia do Rio Ribeira. O Instituto das Águas do Paraná adota o valor médio das vazões médias específicas desta tabela, para o local da PCH Rancharia, resultando uma vazão média de longo período ( $Q_{mlp}$ ) igual a 190,91 [L/s].

**Tabela 5 - Vazões médias específicas na Bacia da Ribeira**

Rio	Aproveitamento Hidrelétrico	Área Drenagem [km <sup>2</sup> ]	Vazão Média Específica ( $Q_{me}$ ) [L/s/km <sup>2</sup> ]
Ribeira	PCH Água Branca	1314	20,54
Ribeira	PCH Caratuva	1059	20,54
Turvo	PCH Ribeirão Bonito	407,1	20,19
Turvo	PCH das Almas	366,2	20,18
Turvo	PCH Cachoeira Brava	356,8	20,10

Fonte: (ÁGUASPARANÁ, 2012)

Para chegar nesse resultado foi utilizado o seguinte equacionamento:

$$Q_{mlp} = \frac{(Q_{me1} + Q_{me2} + Q_{me3} + Q_{me4} + Q_{me5})}{5} \cdot S \quad (38)$$

onde  $Q_{mlp}$  é a vazão média de longo período em litros por segundo,  $Q_{me1}$ ,  $Q_{me2}$ ,  $Q_{me3}$ ,  $Q_{me4}$ ,  $Q_{me5}$ , as vazões médias específicas das PCH da bacia da Ribeira em litros por segundo por quilo metro quadrado e  $S$  é a área de drenagem em quilo metro quadrado.

### 3.2.2.3 Vazão mínima

Por exigência do Instituto das Águas do Paraná quanto à vazão mínima garantida à jusante da barragem, igual a 50% da vazão mínima de sete dias de duração e dez anos de tempo de recorrência, essa foi estimada através do Atlas de Recursos Hídricos do Estado do Paraná, SUDERHSA (Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental - 1998), em 3.5 [L/s/km<sup>2</sup>] para dez anos de recorrência e sete dias de duração de estiagem, conforme Figura 36. Para o local da barragem a vazão mínima a ser garantida à jusante é igual a 16,45 [L/s].

Para chegar nesse resultado foi utilizado o seguinte equacionamento:

$$Q_{min} = Q_{min pb} \cdot S \cdot 0,5 \quad (39)$$

onde  $Q_{min}$  é a vazão mínima à jusante da barragem,  $Q_{min pb}$  é a vazão mínima em pequenas bacias em litros por segundo por quilo metro quadrado e  $S$  é a área de drenagem em quilo metro quadrado.

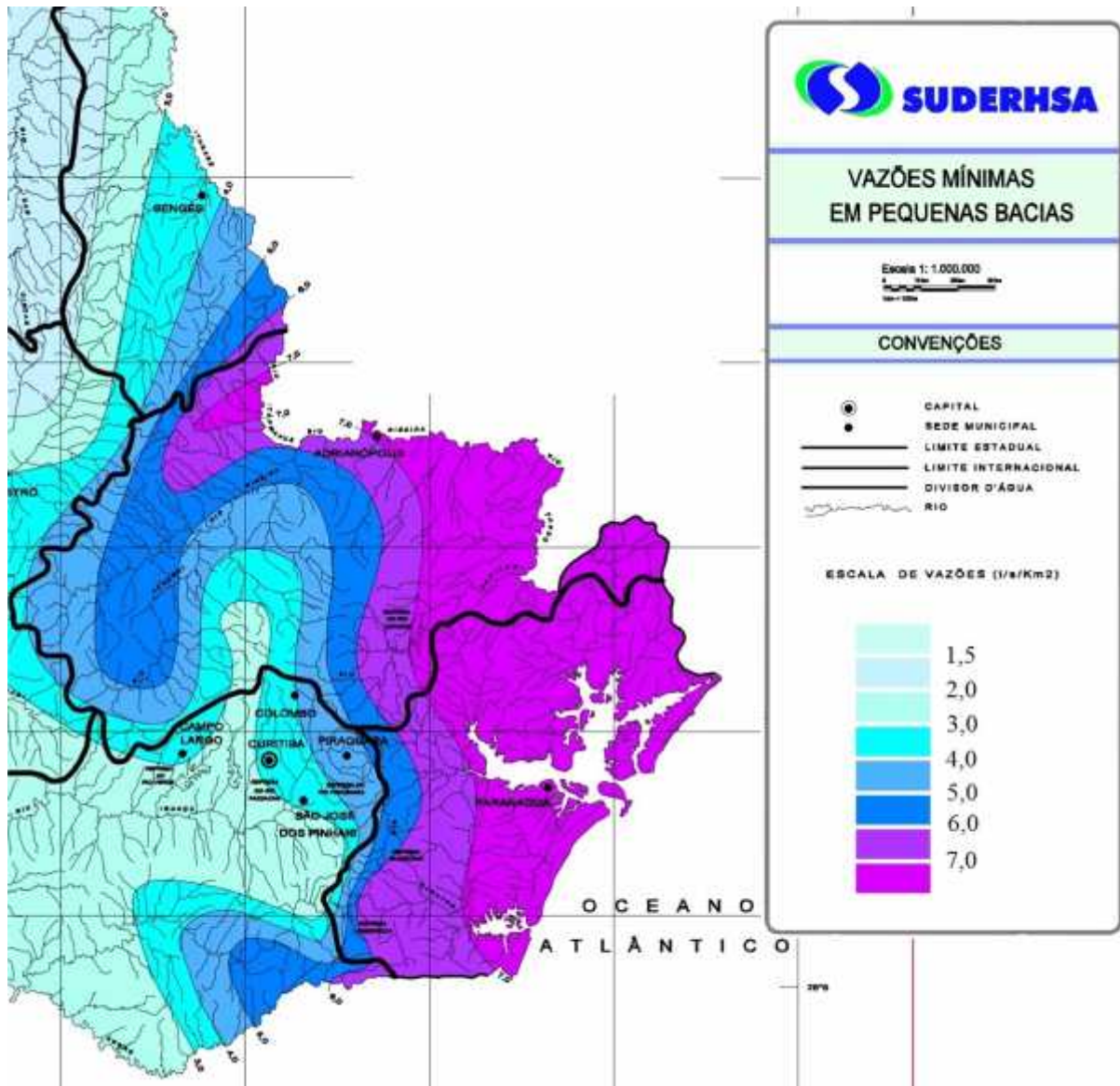


Figura 36 - Vazões mínimas em pequenas bacias

Fonte: (SUDERHSA, 1998).

#### 3.2.2.4 Vazão do canal de adução

O escoamento em canais deve ser calculado pela fórmula de Manning, onde se calcula a velocidade e uma vez que se tem o comprimento obteremos o tempo de escoamento da água de chuva também chamado tempo de trânsito (TOMAZ, 2011).

A vazão escoada pelo canal de adução à casa de máquinas foi calculada

através da equação de Manning:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R \cdot H^{\frac{2}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}} \quad (40)$$

onde Q é a vazão escoada pelo canal de adução em metro cubico por segundo, R o raio hidráulico em metro, i a declividade do canal em metro por metro e n o coeficiente de rugosidade do canal.

Segundo o Instituto de Águas do Paraná os dados do canal de adução são:

- Dimensões de seção do canal de adução = 0,60 [m] de base e 1,0 [m] de altura;
- Raio hidráulico (R) = 2,60 [m];
- Coeficiente de rugosidade do canal de concreto (n) = 0,018;
- Altura líquida (H) = 18,30 [m];
- Declividade do canal (i) = 0,002 [m/m];
- Aplicando a fórmula: Q = 0,56 [m<sup>3</sup>/s].

### 3.2.2.5 Potência instalada

Segundo o Instituto de Águas do Paraná, a potência instalada do aproveitamento hidrelétrico foi calculada pela equação:

$$P = 9,81 \cdot \eta_t \cdot \eta_g \cdot Q \cdot H \quad (41)$$

onde P é a potência instalada em quilo Watt, 9,81 representa a aceleração da gravidade em metros por segundo ao quadrado,  $\eta_t$  o rendimento da turbina,  $\eta_g$  o rendimento do gerador, Q a vazão de engolimento em metro cubico por segundo, H a altura líquida em metros.

Aplicando a fórmula: Q = 0,56 [m<sup>3</sup>/s].

Dados do aproveitamento hidrelétrico:

- Rendimento da turbina-gerador = 0,90;
- Vazão escoada pelo canal de adução = 0,56 [m<sup>3</sup>/s];
- Queda líquida = 18,30 [m];
- Potência instalada = 90,48 [kW].

A capacidade de escoamento do canal de adução aproximadamente 0,56 [m<sup>3</sup>/s] corresponde a uma potência nominal gerada de aproximadamente 90,48 [kW]. Entretanto a vazão média do local é de 190,91 [L/s], inferior à vazão máxima aduzida pelo canal. Descontando a vazão mínima assegurada a jusante da barragem, a vazão escoada será a diferença da vazão média e a mínima assegurada, resultando uma potência gerada nessas condições de escoamento igual a 28,3 [kW]. Para manter o escoamento máximo no canal de adução, as vazões deverão ser regularizadas através de um reservatório que atenda essas condições (AGUASPARANÁ, 2013).

### 3.2.2.6 Reservatório

O Instituto de Águas do Paraná forneceu o cálculo de volume e área do reservatório pelo seguinte cálculo:

$$V = A_b \cdot \frac{L}{3} \quad (42)$$

- $A_b = 27,0$  [m<sup>2</sup>];
- $L = 100$  [m];
- $V = 900$  [m<sup>3</sup>];
- Área do reservatório (A) = 1350 [m<sup>2</sup>].

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 MÉTODOS DE MEDIÇÃO DE VAZÃO

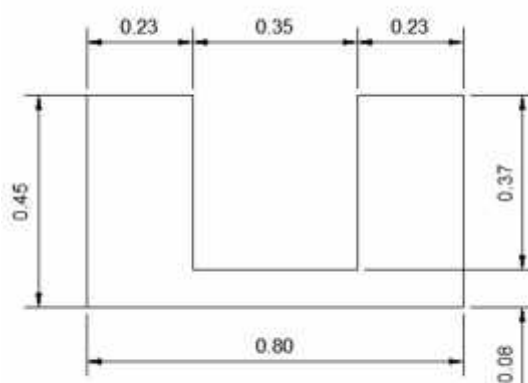
Tendo em vista as características do rio Rancharia decidimos utilizar o método do vertedor, já que apresenta erros de até 3% para a medição da vazão.

Para melhor confiabilidade utilizamos três tipos de vertedores, retangular, trapezoidal e triangular.

Para todas as vazões calculadas foi acrescentado 0,014 [m<sup>3</sup>/s] no resultado, pois na barragem existe uma válvula de esgotamento e drenagem que não está totalmente vedada e em uma visita no local da barragem medimos aproximadamente 14 [L/s] de vazão escoando pelo canal da válvula de esgotamento e drenagem.

#### 4.1.1 Método do Vertedor Retangular

Para esse método realizamos medições durante vinte e cinco dias com no mínimo duas medições diárias, a figura 35 representa o vertedor retangular instalado no canal de adução existente no local.



**Figura 37 – Vertedor Retangular**

**Fonte: Própria.**

A tabela 6 foi elaborada com base nos dados das medições diárias realizadas até três vezes ao dia, nos seguintes horários: nove horas, doze horas e dezoito horas. Em cada medição foi extraída uma cota do vertedor e calculada a média das cotas por dia, possibilitando determinar a vazão diária utilizando a equação 35 para extrair a média das vazões.

**Tabela 6 – Medições diárias do Vertedor Retangular**

Dia	Vertedor Retangular				Vazão Calculada
	09:00h	12:00h	18:00h	Média	
15/05/2014	0,27m		0,27m	0,2700m	<b>0,1044 m<sup>3</sup>/s</b>
16/05/2014	0,25m	0,26m	0,25m	0,250m	<b>0,0961 m<sup>3</sup>/s</b>
19/05/2014	0,24m	0,25m	0,27m	0,2533m	<b>0,0961 m<sup>3</sup>/s</b>
28/05/2014	0,30m		0,3m	0,3000m	<b>0,1198 m<sup>3</sup>/s</b>
03/06/2014	0,26m	0,27m	0,26m	0,2633m	<b>0,1010 m<sup>3</sup>/s</b>
12/06/2014	0,33m	0,33m	0,35m	0,3367m	<b>0,1398 m<sup>3</sup>/s</b>
15/06/2014	0,31m	0,31m	0,31m	0,3100m	<b>0,1252 m<sup>3</sup>/s</b>
21/06/2014	0,30m	0,31m	0,3m	0,3033m	<b>0,1216 m<sup>3</sup>/s</b>
25/06/2014	0,30m	0,29m	0,29m	0,2933m	<b>0,1163 m<sup>3</sup>/s</b>
28/06/2014	0,290m	0,29m	0,28m	0,2867m	<b>0,1128 m<sup>3</sup>/s</b>
01/07/2014		0,29m	0,3m	0,2950m	<b>0,1172 m<sup>3</sup>/s</b>
04/07/2014	0,28m	0,28m	0,28m	0,2800m	<b>0,1094 m<sup>3</sup>/s</b>
07/07/2014	0,28m	0,29m	0,27m	0,2800m	<b>0,1094 m<sup>3</sup>/s</b>
09/07/2014	0,28m	0,28m	0,27m	0,2767m	<b>0,1077 m<sup>3</sup>/s</b>
12/07/2014	0,26m	0,27m	0,27m	0,2667m	<b>0,1027 m<sup>3</sup>/s</b>
15/07/2014	0,27m	0,27m		0,2700m	<b>0,1044 m<sup>3</sup>/s</b>
18/07/2014		0,33m	0,33m	0,3300m	<b>0,1361 m<sup>3</sup>/s</b>
21/07/2014	0,27m	0,27m	0,27m	0,2700m	<b>0,1044 m<sup>3</sup>/s</b>
24/07/2014		0,33m	0,33m	0,3300m	<b>0,1361 m<sup>3</sup>/s</b>
26/07/2014	0,24m	0,3m	0,28m	0,2733m	<b>0,1060 m<sup>3</sup>/s</b>
29/07/2014	0,27m	0,28m	0,28m	0,2767m	<b>0,1077 m<sup>3</sup>/s</b>
01/08/2014	0,26m	0,26m	0,26m	0,2600m	<b>0,0994 m<sup>3</sup>/s</b>
04/08/2014	0,26m	0,26m	0,25m	0,2567m	<b>0,0977 m<sup>3</sup>/s</b>
07/08/2014	0,25m	0,27m	0,25m	0,2567m	<b>0,0977 m<sup>3</sup>/s</b>
10/08/2014		0,25m	0,25m	0,2500m	<b>0,0945 m<sup>3</sup>/s</b>
Média					<b>0,1105 m<sup>3</sup>/s</b>
Desvio Padrão					<b>0,0131</b>
C. VAR. = Coeficiente de Variação					<b>0,1182</b>

Legenda		
	Valor de Vazão Máxima	0,1398m <sup>3</sup> /s
	Valor de Vazão Mínima	0,0945m <sup>3</sup> /s
	Sem medição	

Fonte: Própria. 11/08/2014

A figura 38 representa o fluxograma com as vazões obtidas pelo método do vertedor triangular, assim como a média dos valores.

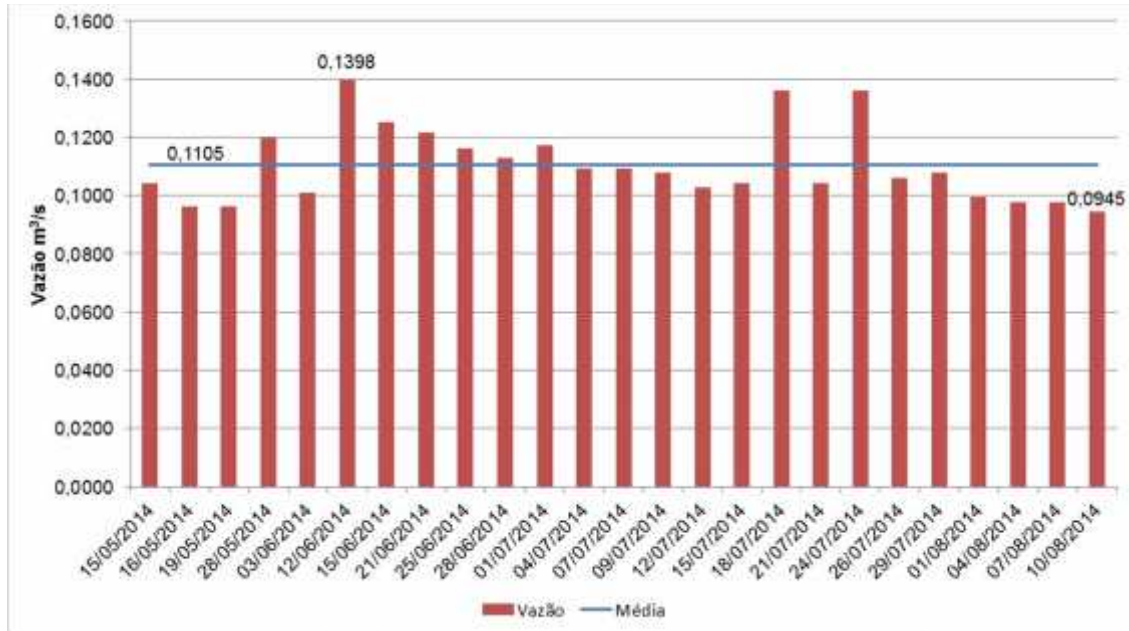


Figura 38 – Fluxograma das vazões medidas pelo método do vertedor retangular

Fonte: Própria.

#### 4.1.2 Método do Vertedor Trapezoidal

Para esse método realizamos medições durante vinte e cinco dias com no mínimo duas medições diárias, a figura 39 representa o vertedor trapezoidal instalado no canal de adução existente no local.

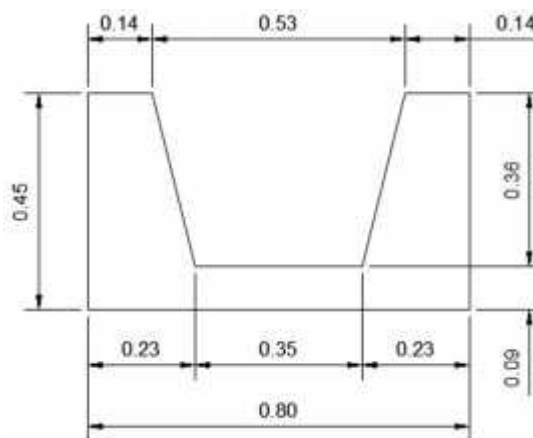


Figura 39 – Vertedor Trapezoidal

Fonte: Própria.



A tabela 7 foi elaborada com base nos dados das medições diárias realizadas até três vezes ao dia, nos seguintes horários: nove horas, doze horas e dezoito horas. Em cada medição foi extraída uma cota do vertedor e calculada a média das cotas por dia, possibilitando determinar a vazão diária utilizando a equação 36 para extrair a média das vazões.

**Tabela 7 – Medições diárias do Vertedor Trapezoidal**

Dia	Vertedor Trapezoidal				Vazão Calculada
	09:00	12:00	18:00	Média	
15/05/2014	0,27m		0,27m	0,2700m	<b>0,1053 m<sup>3</sup>/s</b>
18/05/2014	0,25m	0,25m		0,2500m	<b>0,0954 m<sup>3</sup>/s</b>
20/05/2014		0,20m	0,20m	0,2000m	<b>0,0722 m<sup>3</sup>/s</b>
21/05/2014	0,23m	0,23m	0,25m	0,2367m	<b>0,0890 m<sup>3</sup>/s</b>
27/05/2014	0,30m	0,3m	0,29m	0,2967m	<b>0,1192 m<sup>3</sup>/s</b>
30/05/2014	0,25m	0,25m		0,2500m	<b>0,0954 m<sup>3</sup>/s</b>
05/06/2014	0,24m	0,24m	0,23m	0,2367m	<b>0,0890 m<sup>3</sup>/s</b>
11/06/2014	0,33m	0,33m		0,3300m	<b>0,1374 m<sup>3</sup>/s</b>
14/06/2014	0,30m	0,31m	0,31m	0,3067m	<b>0,1246 m<sup>3</sup>/s</b>
17/06/2014	0,28m	0,28m		0,2800m	<b>0,1105 m<sup>3</sup>/s</b>
20/06/2014	0,27m	0,28m	0,28m	0,2767m	<b>0,1087 m<sup>3</sup>/s</b>
24/06/2014	0,26m	0,27m	0,28m	0,2700m	<b>0,1053 m<sup>3</sup>/s</b>
27/06/2014	0,25m	0,27m	0,27m	0,2633m	<b>0,1020 m<sup>3</sup>/s</b>
03/07/2014	0,26m	0,26m	0,26m	0,2600m	<b>0,1003 m<sup>3</sup>/s</b>
06/07/2014	0,25m	0,25m	0,25m	0,2500m	<b>0,0954 m<sup>3</sup>/s</b>
11/07/2014	0,30m	0,30m	0,29m	0,2967m	<b>0,1192 m<sup>3</sup>/s</b>
17/07/2014	0,25m	0,24m	0,24m	0,2433m	<b>0,0921 m<sup>3</sup>/s</b>
20/07/2014	0,29m	0,28m	0,28m	0,2833m	<b>0,1122 m<sup>3</sup>/s</b>
23/07/2014	0,28m	0,29m	0,29m	0,2867m	<b>0,1139 m<sup>3</sup>/s</b>
27/07/2014	0,25m	0,25m	0,25m	0,2500m	<b>0,0954 m<sup>3</sup>/s</b>
30/07/2014	0,27m	0,27m	0,26m	0,2667m	<b>0,1036 m<sup>3</sup>/s</b>
02/08/2014	0,25m	0,26m	0,26m	0,2567m	<b>0,0987 m<sup>3</sup>/s</b>
05/08/2014	0,23m	0,23m	0,23m	0,2300m	<b>0,0858 m<sup>3</sup>/s</b>
08/08/2014	0,23m	0,23m	0,23m	0,2300m	<b>0,0858 m<sup>3</sup>/s</b>
11/08/2014		0,23m	0,23m	0,2300m	<b>0,0858 m<sup>3</sup>/s</b>
Média					<b>0,1017 m<sup>3</sup>/s</b>
Desvio Padrão					<b>0,0145</b>
C. VAR. = Coeficiente de Variação					<b>0,1425</b>

Legenda		
	Valor de Vazão Máxima	0,1374m <sup>3</sup> /s
	Valor de Vazão Mínima	0,0722m <sup>3</sup> /s
	Sem medição	

Fonte: Própria. 11/08/2014

A figura 40 representa o fluxograma com as vazões obtidas pelo método do vertedor triangular, assim como a média dos valores.

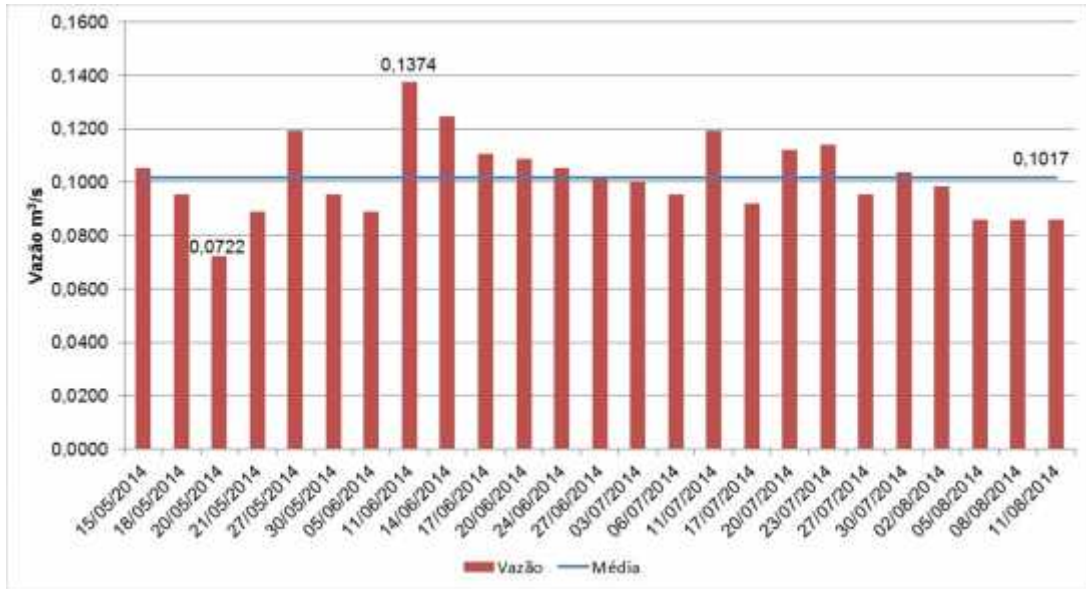


Figura 40 – Fluxograma das vazões medidas pelo método do vertedor trapezoidal

Fonte: Própria.

#### 4.1.3 Método do Vertedor Triangular

Para esse método realizamos medições durante vinte e cinco dias com no mínimo duas medições diárias, a figura 41 representa o vertedor Triangular instalado no canal de adução existente no local.

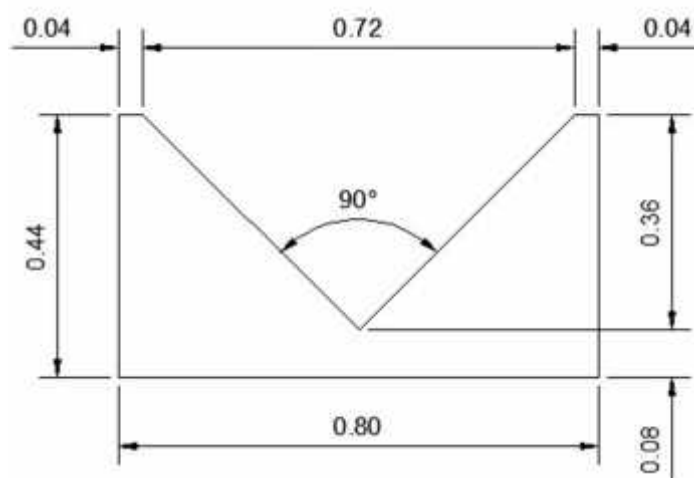


Figura 41 – Vertedor Triangular

Fonte: Própria.

A tabela 8 foi elaborada com base nos dados das medições diárias realizadas até três vezes ao dia, nos seguintes horários: nove horas, doze horas e dezoito horas. Em cada medição foi extraída uma cota do vertedor e calculada a média das cotas por dia, possibilitando determinar a vazão diária utilizando a equação 37 para extrair a média das vazões.

**Tabela 8 – Medições diárias do Vertedor Triangular**

Dia	Vertedor Triangular				Vazão Calculada
	09:00	12:00	18:00	Média	
15/05/2014		0,33	0,33	0,3300m	<b>0,1016 m<sup>3</sup>/s</b>
17/05/2014	0,32m	0,3		0,3100m	<b>0,0889 m<sup>3</sup>/s</b>
20/05/2014	0,31m	0,31m		0,3100m	<b>0,0889 m<sup>3</sup>/s</b>
23/05/2014	0,34m		0,34m	0,3400m	<b>0,1084 m<sup>3</sup>/s</b>
29/05/2014	0,33m	0,32m	0,32m	0,3233m	<b>0,0972 m<sup>3</sup>/s</b>
04/06/2014	0,32m	0,33m	0,32m	0,3233m	<b>0,0972 m<sup>3</sup>/s</b>
13/06/2014	0,35m	0,35mm	0,35m	0,3500m	<b>0,1155 m<sup>3</sup>/s</b>
16/06/2014	0,35m	0,35m	0,31m	0,3367m	<b>0,1061 m<sup>3</sup>/s</b>
19/06/2014		0,35m	0,35m	0,3500m	<b>0,1155 m<sup>3</sup>/s</b>
23/06/2014	0,35m	0,35m	0,35m	0,3500m	<b>0,1155 m<sup>3</sup>/s</b>
26/06/2014	0,34m	0,34m	0,35m	0,3433m	<b>0,1107 m<sup>3</sup>/s</b>
02/07/2014	0,35m	0,35m	0,34m	0,3467m	<b>0,1131 m<sup>3</sup>/s</b>
05/07/2014	0,32m	0,34m	0,33m	0,3300m	<b>0,1016 m<sup>3</sup>/s</b>
08/07/2014	0,34m	0,34m	0,35m	0,3433m	<b>0,1107 m<sup>3</sup>/s</b>
10/07/2014	0,34m	0,34m	0,33m	0,3367m	<b>0,1061 m<sup>3</sup>/s</b>
13/07/2014	0,33m	0,33mm	0,33m	0,3300m	<b>0,1016 m<sup>3</sup>/s</b>
16/07/2014	0,33m	0,33m	0,32m	0,3267m	<b>0,0994 m<sup>3</sup>/s</b>
19/07/2014	0,35m	0,34m	0,35m	0,3467m	<b>0,1131 m<sup>3</sup>/s</b>
22/07/2014	0,33m	0,33m	0,34m	0,3333m	<b>0,1038 m<sup>3</sup>/s</b>
25/07/2014		0,35m	0,35m	0,3500m	<b>0,1155 m<sup>3</sup>/s</b>
28/07/2014	0,32m	0,32m		0,3200m	<b>0,0951 m<sup>3</sup>/s</b>
31/07/2014	0,33m	0,32m	0,33m	0,3267m	<b>0,0994 m<sup>3</sup>/s</b>
03/08/2014	0,31m	0,31m	0,31m	0,3100m	<b>0,0889 m<sup>3</sup>/s</b>
06/08/2014	0,32m	0,33m	0,34m	0,3300m	<b>0,1016 m<sup>3</sup>/s</b>
09/08/2014	0,31m	0,31m	0,35m	0,3233m	<b>0,0972 m<sup>3</sup>/s</b>
Média					<b>0,1037 m<sup>3</sup>/s</b>
Desvio Padrão					<b>0,0086</b>
C. VAR. = Coeficiente de Variação					<b>0,0828</b>

Legenda		
	Valor de Vazão Máxima	0,1155m <sup>3</sup> /s
	Valor de Vazão Mínima	0,0889m <sup>3</sup> /s
	Sem medição	

Fonte: Própria. 11/08/2014

A figura 42 representa o fluxograma com as vazões obtidas pelo método do vertedor triangular, assim como a média dos valores.

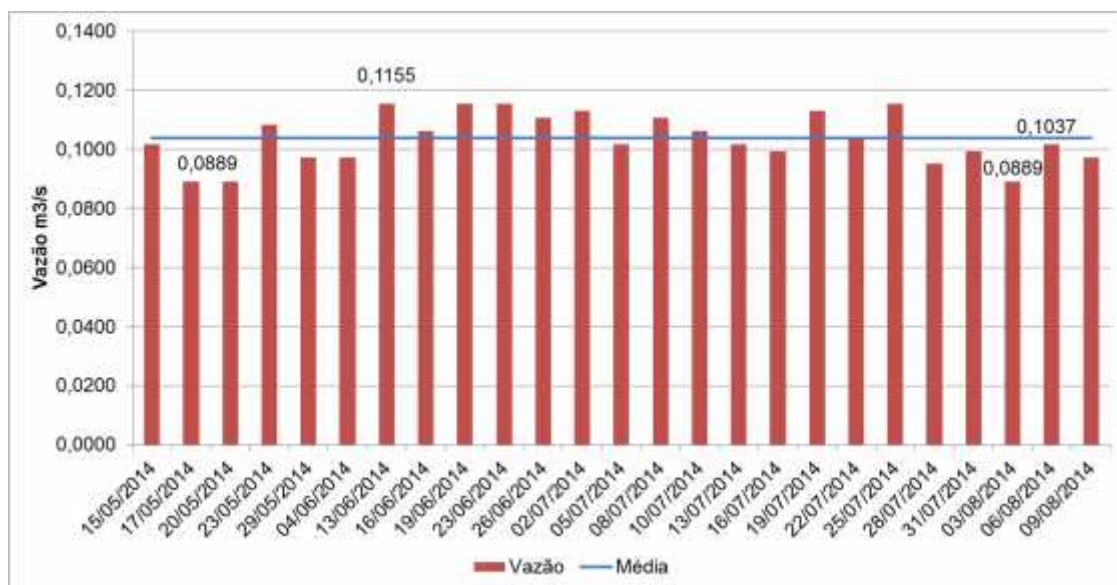


Figura 42 – Fluxograma das vazões medidas pelo método do vertedor triangular

Fonte: Própria.

## 4.2 TRANSPOSIÇÃO DE VAZÕES

Para implantação de uma usina hidrelétrica é necessário realizar um estudo hidro energético baseado no histórico de vazões naturais. Pode se obter a vazão natural realizando a reconstituição, observando a vazão em um determinado trecho do rio e as informações antrópicas na bacia, tais como reservatório, desvio de água, evaporação em reservatório, irrigação, criação animal, abastecimento urbano, rural, industrial entre outros. (Organização Nacional do Sistema Elétrico - ONS, 2014).

Para a consulta de dados hidrométricos de todo o território nacional, como cotas, vazões, chuva, evaporação, perfil do rio, qualidade da água e sedimentos, basta acessar o banco de dados online da Agência Nacional de Águas (ANA), porém pelo fato da PCH Rancharia estar desativada há mais de cinquenta anos, tais informações não foi inserido no referido sistema (Agência Nacional de Águas - ANA, 2014).

Em decorrência da necessidade dessas informações e a indisponibilidade no site da Agência Nacional de Águas (ANA), para o alcance da série histórica de vazões da PCH Rancharia foi necessário realizar a transposição de vazões, ou seja, obteve-se a relação entre a vazão em um curso d'água com série histórica desconhecida e a vazão em um curso d'água com série conhecida. Tal procedimento somente foi possível pelo fato de ambos os cursos d'água estarem em uma mesma bacia hidrográfica. (SOUZA; FUCHS; SANTOS, 1983, p. 100).

Para essa referida transposição de vazões foram utilizados os dados do reservatório da Usina Hidrelétrica Governador Pedro Viriato Parigot de Souza (Usina GPS), localizado no Rio Capivari.

Inicialmente obteve-se a vazão média diária afluente para Usina de GPS nos mesmos dias em que foram medidas as vazões no rio Rancharia. A cota de cada método do vertedor foi medida no mínimo duas vezes ao dia por 25 dias, no período de 15/05/2014 à 11/08/2014.

Com tais dados calcula-se o fator de transposição pela fórmula:

$$FT = \frac{Q_{rancharia}}{Q_{gps}} \quad (43)$$

onde FT é o fator de transposição,  $Q_{rancharia}$  é a vazão média observada na Usina de Rancharia [m<sup>3</sup>/s] e  $Q_{gps}$  é a vazão média observada na Usina de GPS [m<sup>3</sup>/s], obtendo o valor de FT.

A fim de validar a transposição deve-se achar o desvio relativo, que nos dá uma informação a mais acerca da precisão dos valores encontrados.

A fórmula para encontrar o desvio relativo é:

$$D_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f(Q_{calculado} - Q_{transposto})^2}{n - 1}} \quad (44)$$

onde  $D_r$  é o desvio relativo e n é o número de medições de vazão realizadas,  $Q_{calculado}$  é a média das vazões calculadas no rio Rancharia e  $Q_{transposto}$  é a média das vazões transpostas do rio que abastece a Usina de GPS.

#### 4.2.1 Transposição pelo Método do Vertedor Retangular

A tabela 9 foi elaborada com base nos dados das medições diárias encontrando o FT e o desvio relativo.

**Tabela 9 – Transposição pelo Método do Vertedor Retangular**

Dia	Transposição pelo método do Vertedor Retangular		
	Vazão Calculada [m <sup>3</sup> /s]	Vazão de GPS [m <sup>3</sup> /s]	Vazão Transposta [m <sup>3</sup> /s]
15/05/2014	0,1044	18,63	0,1141
16/05/2014	0,0961	17,28	0,1059
19/05/2014	0,0961	16,46	0,1009
28/05/2014	0,1198	20,66	0,1266
03/06/2014	0,1010	15,93	0,0976
12/06/2014	0,1398	26,66	0,1633
15/06/2014	0,1252	17,61	0,1079
21/06/2014	0,1216	15,49	0,0949
25/06/2014	0,1163	19,42	0,1190
28/06/2014	0,1128	16,24	0,0995
01/07/2014	0,1172	18,85	0,1155
04/07/2014	0,1094	16,41	0,1005
07/07/2014	0,1094	17,20	0,1054
09/07/2014	0,1077	17,27	0,1058
12/07/2014	0,1027	15,27	0,0936
15/07/2014	0,1044	20,89	0,1280
18/07/2014	0,1361	25,18	0,1543
21/07/2014	0,1044	15,98	0,0979
24/07/2014	0,1361	21,11	0,1293
26/07/2014	0,1060	18,56	0,1137
29/07/2014	0,1077	19,20	0,1176
01/08/2014	0,0994	17,90	0,1097
04/08/2014	0,0977	15,71	0,0963
07/08/2014	0,0977	14,50	0,0888
10/08/2014	0,0945	12,63	0,0774
Média	0,1105	18,0416	0,1105
FT (adimensional)			<b>0,006127</b>
Desvio Relativo (adimensional)			<b>0,0121</b>
Desvio Relativo (%)			<b>1,2122</b>

Fonte: Própria. 11/08/2014

A figura 43 representa um comparativo entre as vazões calculadas no rio Rancharia pelo método do vertedor retangular e vazões transpostas do rio que alimenta a Usina de GPS.

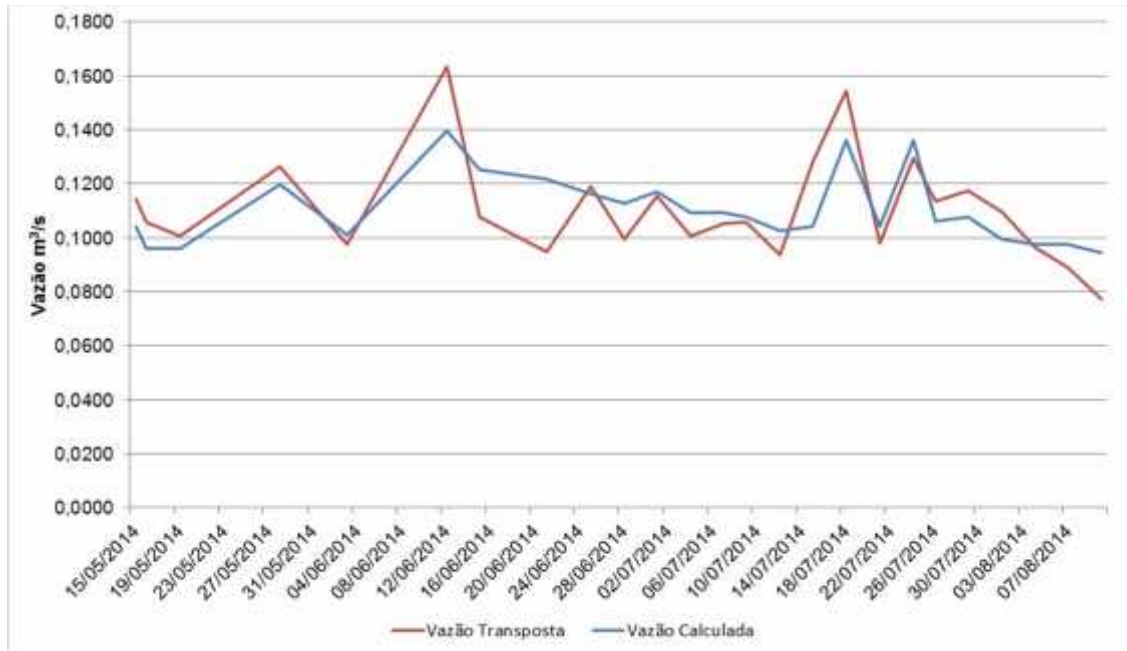


Figura 43 – Comparação das vazões obtidas pelos métodos, do vertedor retangular e da vazão transposta.

Fonte: Própria.

## 4.2.2 Transposição pelo Método do Vertedor Trapezoidal

A tabela 10 foi elaborada com base nos dados das medições diárias encontrando o FT e o desvio relativo.

Tabela 10 – Transposição pelo Método do Vertedor Trapezoidal

Dia	Transposição pelo método do Vertedor Trapezoidal		
	Vazão Calculada [m <sup>3</sup> /s]	Vazão de GPS [m <sup>3</sup> /s]	Vazão Transposta [m <sup>3</sup> /s]
15/05/2014	0,1053	18,63	0,1008
18/05/2014	0,0954	15,21	0,0823
20/05/2014	0,0722	16,32	0,0883
21/05/2014	0,0890	14,69	0,0795
27/05/2014	0,1192	27,96	0,1512
30/05/2014	0,0954	17,23	0,0932
05/06/2014	0,0890	16,10	0,0871
11/06/2014	0,1374	27,83	0,1505
14/06/2014	0,1246	24,61	0,1331
17/06/2014	0,1105	21,43	0,1159
20/06/2014	0,1087	23,58	0,1276
24/06/2014	0,1053	19,60	0,1060
27/06/2014	0,1020	19,50	0,1055
03/07/2014	0,1003	17,61	0,0953
06/07/2014	0,0954	11,16	0,0604
11/07/2014	0,1192	22,88	0,1238
17/07/2014	0,0921	21,09	0,1141
20/07/2014	0,1122	17,24	0,0933
23/07/2014	0,1139	17,90	0,0968
27/07/2014	0,0954	13,15	0,0711
30/07/2014	0,1036	20,42	0,1105
02/08/2014	0,0987	17,63	0,0954
05/08/2014	0,0858	16,12	0,0872
08/08/2014	0,0858	16,75	0,0906
11/08/2014	0,0858	15,31	0,0828
Média	0,1017	18,7980	0,1017
FT (adimensional)			<b>0,005409</b>
Desvio Relativo (adimensional)			<b>0,0148</b>
Desvio Relativo (%)			<b>1,4848</b>

Fonte: Própria. 11/08/2014



A figura 44 representa um comparativo entre as vazões calculadas no rio Rancharia pelo método do vertedor trapezoidal e vazões transpostas do rio que alimenta a Usina de GPS.

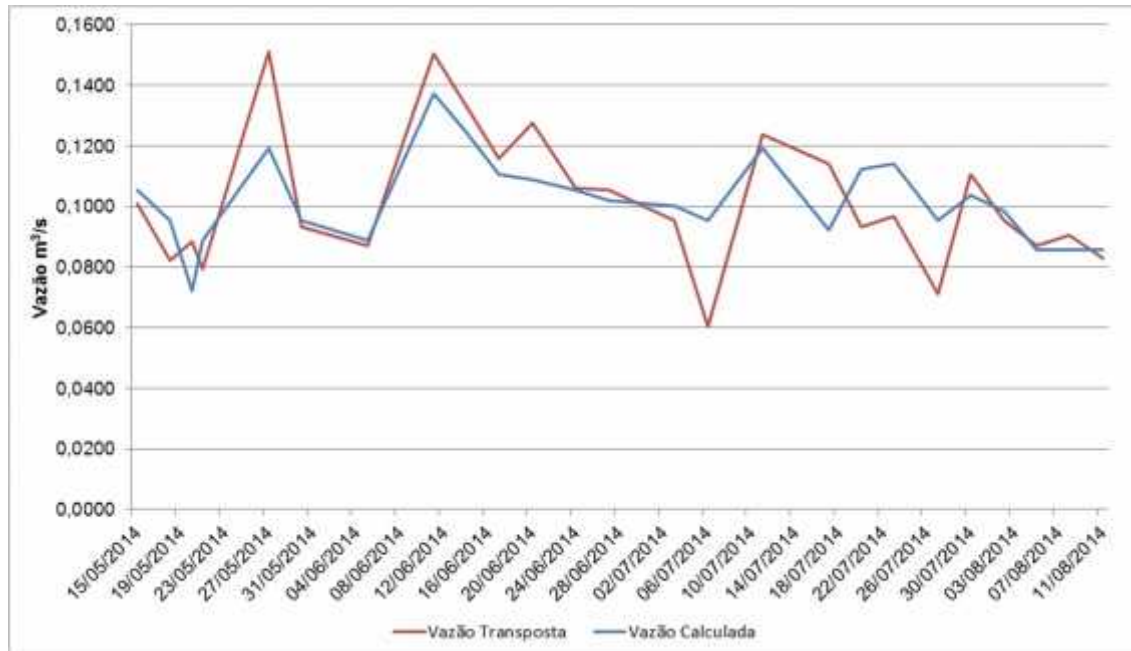


Figura 44 – Comparação das vazões obtidas pelos métodos, do vertedor trapezoidal e da vazão transposta.

Fonte: Própria.

#### 4.2.3 Transposição pelo Método do Vertedor Triangular

A tabela 11 foi elaborada com base nos dados das medições diárias encontrando o FT e o desvio relativo.

**Tabela 11 – Transposição pelo Método do Vertedor Triangular**

Dia	Transposição pelo método do Vertedor Triangular		
	Vazão Calculada [m <sup>3</sup> /s]	Vazão de GPS [m <sup>3</sup> /s]	Vazão Transposta [m <sup>3</sup> /s]
15/05/2014	0,1016	18,63	0,1066
17/05/2014	0,0889	17,51	0,1002
20/05/2014	0,0889	16,32	0,0934
23/05/2014	0,1084	22,07	0,1263
29/05/2014	0,0972	17,45	0,0999
04/06/2014	0,0972	15,75	0,0902
13/06/2014	0,1155	25,62	0,1467
16/06/2014	0,1061	21,80	0,1248
19/06/2014	0,1155	27,04	0,1548
23/06/2014	0,1155	18,19	0,10471
26/06/2014	0,1107	19,30	0,1105
02/07/2014	0,1131	15,83	0,0906
05/07/2014	0,1016	11,52	0,0659
08/07/2014	0,1107	15,35	0,0879
10/07/2014	0,1061	19,05	0,1091
13/07/2014	0,1016	13,52	0,0774
16/07/2014	0,0994	19,30	0,1105
19/07/2014	0,1131	22,18	0,1270
22/07/2014	0,1038	16,94	0,0970
25/07/2014	0,1155	19,64	0,1124
28/07/2014	0,0951	17,77	0,1017
31/07/2014	0,0994	17,65	0,1010
03/08/2014	0,0889	12,99	0,0744
06/08/2014	0,1016	15,56	0,0891
09/08/2014	0,0972	15,86	0,0908
Média	0,1037	18,1136	0,1037
FT (adimensional)			0,005725
Desvio Relativo (adimensional)			0,0174
Desvio Relativo (%)			<b>1,7356</b>

Fonte: Própria. 11/08/2014

A figura 45 representa um comparativo entre as vazões calculadas no rio Rancharia pelo método do vertedor triangular e vazões transpostas do rio que alimenta a Usina de GPS.

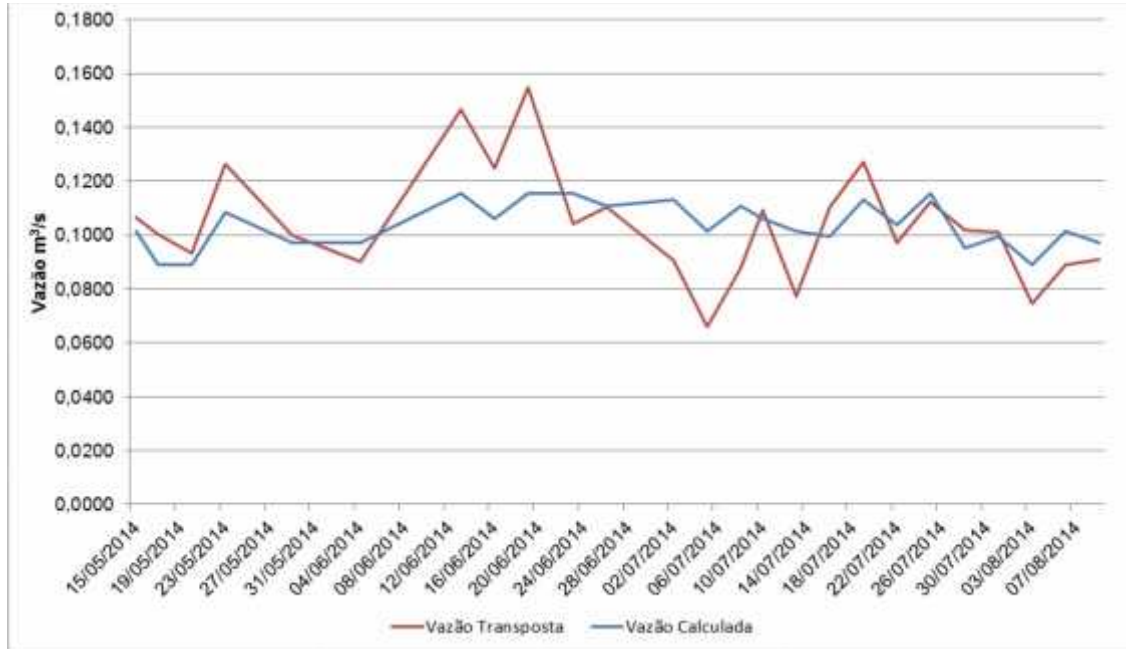


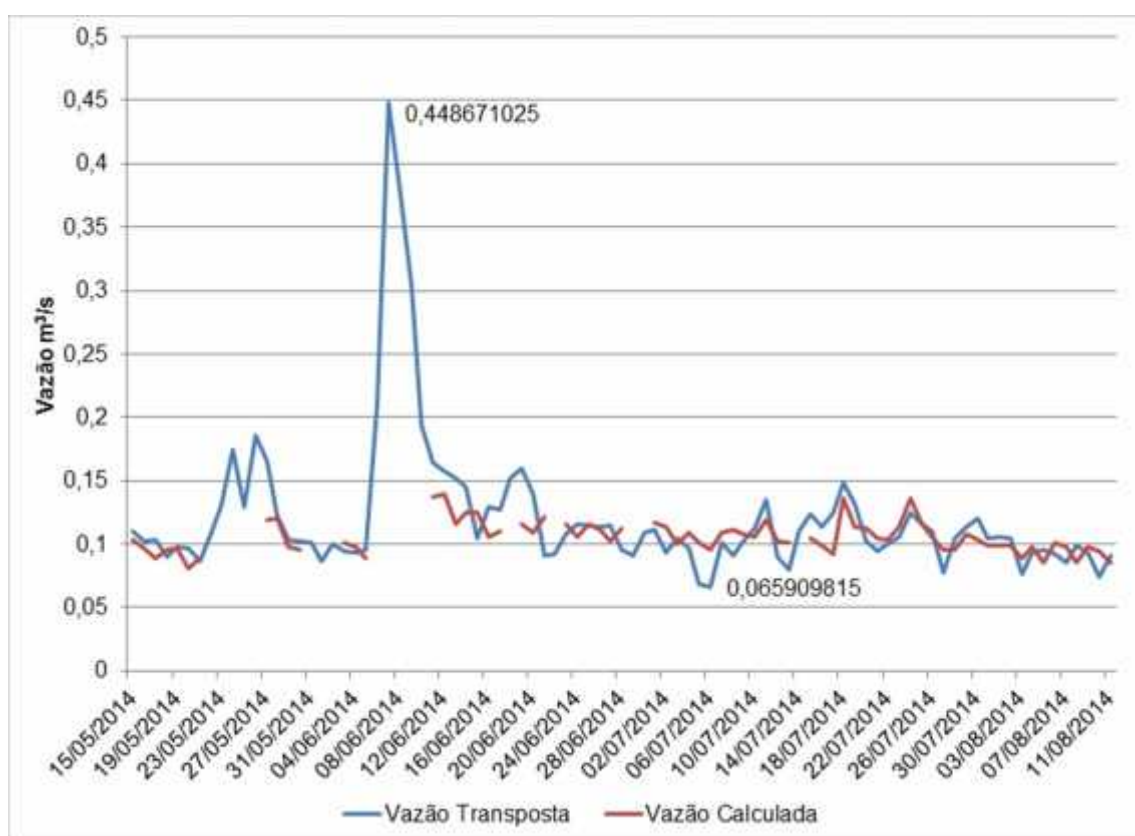
Figura 45 – Comparação das vazões obtidas pelos métodos, do vertedor triangular e da vazão transposta.

Fonte: Própria.

#### 4.2.4 Definição da Transposição a ser aplicada

O desvio relativo máximo encontrado foi da ordem de 1,7356 %, conclui-se que todos os métodos utilizados para encontrar a série histórica da vazão do rio Rancharia são válidos. Foi adotado o FT de 0,0059059, que é igual à média de todos os fatores de transposição, independente do método utilizado.

Compilando os dados de todos os métodos do vertedor utilizados e aplicando o fator de transposição encontra-se o gráfico da figura 46.



**Figura 46 – Comparação das vazões compiladas dos métodos do vertedor e da vazão transposta.**

**Fonte: Própria.**

Observando o gráfico da figura 44, verifica-se que pela comparação dos dados existe uma tendência das vazões calculada e transposta, apresentarem valores próximos no decorrer do período analisado.

#### 4.2.5 Transposição da vazão do rio Capivari para o rio Rancharia

A tabela 12 apresenta a série histórica de vazões em [m<sup>3</sup>/s] do rio Capivari nos últimos 25 anos.

**Tabela 12 – Série histórica das vazões do rio Capivari**

Série Histórica - Reservatório de Capivari em m <sup>3</sup> /s															
ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÍNIMA	MÁXIMA	MÉDIA
1990	57,00	20,00	29,00	23,00	16,00	15,00	31,00	27,00	28,00	27,00	32,00	18,00	15,00	57,00	27,00
1991	17,00	16,00	27,00	16,00	14,00	20,00	10,00	10,00	10,00	18,00	15,00	16,00	10,00	27,00	15,75
1992	11,00	19,00	18,00	10,00	22,00	16,00	21,00	17,00	16,00	13,00	15,00	13,00	10,00	22,00	15,92
1993	15,00	25,00	25,00	17,00	20,00	21,00	22,00	12,00	45,00	32,00	14,00	16,00	12,00	45,00	21,95
1994	21,00	21,00	36,00	18,00	16,00	15,00	15,00	10,00	9,00	15,00	24,00	20,00	9,00	36,00	18,33
1995	74,00	56,00	23,00	17,00	14,00	15,00	16,00	12,00	18,00	20,00	26,00	27,00	12,00	74,00	26,34
1996	29,00	44,00	36,00	23,00	16,00	17,00	16,00	16,00	16,00	28,00	8,00	28,00	8,00	44,00	23,05
1997	63,00	38,00	21,00	15,00	14,00	20,00	16,00	15,00	17,00	28,00	28,00	21,00	14,00	63,00	24,61
1998	30,00	32,00	41,00	31,00	18,00	20,00	29,00	30,00	47,00	52,00	23,00	21,00	18,00	52,00	31,17
1999	44,00	60,00	39,00	26,00	18,00	18,00	30,00	16,00	18,00	22,00	22,00	20,00	16,00	60,00	27,56
2000	19,00	21,00	21,00	12,00	11,00	13,00	12,00	11,00	23,00	18,00	14,00	16,00	11,00	23,00	15,89
2001	14,00	27,00	20,00	16,00	24,00	20,00	24,00	16,00	19,00	39,00	20,00	23,00	14,00	39,00	21,82
2002	28,00	25,00	23,00	19,00	18,00	14,00	14,00	14,00	18,00	13,00	17,00	19,00	13,00	28,00	18,46
2003	21,00	31,00	20,00	15,00	11,00	14,00	16,00	10,00	14,00	15,00	15,00	19,00	10,00	31,00	16,66
2004	31,00	28,00	24,00	19,00	23,00	21,00	27,00	14,00	15,00	20,00	18,00	35,00	14,00	35,00	22,94
2005	31,00	26,00	20,00	17,00	17,00	16,00	16,00	13,00	33,00	32,00	23,00	18,00	13,00	33,00	21,79
2006	14,00	18,00	19,00	14,00	9,00	11,00	10,00	8,00	13,00	11,00	17,00	17,00	8,00	19,00	13,38
2007	25,15	28,69	14,69	11,23	15,72	9,02	12,78	11,24	10,00	11,55	16,28	24,64	9,02	28,69	15,86
2008	29,89	25,81	22,44	18,74	16,67	19,40	10,51	16,84	14,66	26,39	25,43	20,21	10,51	29,89	20,57
2009	24,49	24,71	19,62	14,56	11,44	12,19	31,86	19,16	32,91	30,59	22,84	27,26	11,44	32,91	22,64
2010	60,97	48,40	47,95	48,00	33,05	29,46	27,96	23,97	18,85	22,26	17,62	32,86	17,62	60,97	34,23
2011	45,56	46,68	43,91	25,25	18,10	18,35	24,72	49,39	22,43	27,31	22,70	22,16	18,10	49,39	30,51
2012	26,90	25,80	21,20	18,20	19,10	39,80	35,10	17,20	15,80	13,50	15,40	18,20	13,50	39,80	22,16
2013	20,64	28,05	24,56	17,61	18,78	35,89	34,69	19,16	27,89	18,84	26,08	21,71	17,61	35,89	24,44
2014	23,99	38,22	27,74	38,86	19,21	25,27	17,90	16,86	23,26	20,78	19,01	16,93	16,86	38,86	23,86
MÍNIMA	11,00	16,00	14,69	10,00	9,00	9,02	10,00	8,00	9,00	11,00	8,00	13,00	8,00		13,38
MÁXIMA	74,00	60,00	47,95	48,00	33,05	39,80	35,10	49,39	47,00	52,00	32,00	35,00		74,00	34,23
MÉDIA	31,06	30,90	26,56	20,02	17,32	19,02	20,82	16,99	20,99	22,97	19,85	21,24			22,27
D. PADRÃO	16,92	11,86	8,90	8,60	4,96	7,21	8,11	8,57	9,89	9,57	5,47	5,35			5,32
C. VAR.	0,54	0,38	0,34	0,43	0,29	0,38	0,39	0,50	0,47	0,42	0,28	0,25			0,24

Fonte: Própria. 11/08/2014

Para determinar a série histórica de vazões do rio Rancharia, multiplica-se a série histórica do rio Capivari que se encontra disponível na base de dados já exposta pelo fator de transposição que é  $FT=0,0059059$ . Resultando na tabela 13.

Tabela 13 – Série histórica das vazões do rio Rancharia

Série Histórica de vazão do Rio Rancharia em m³/s															
ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÍNIMA	MÁXIMA	MÉDIA
1990	0,3366	0,1181	0,1713	0,1358	0,0945	0,0886	0,1831	0,1595	0,1654	0,1595	0,1890	0,1063	0,0886	0,3366	0,1595
1991	0,1004	0,0945	0,1595	0,0945	0,0827	0,1181	0,0591	0,0591	0,0591	0,1063	0,0886	0,0945	0,0591	0,1595	0,0930
1992	0,0650	0,1122	0,1063	0,0591	0,1299	0,0945	0,1240	0,1004	0,0945	0,0768	0,0886	0,0768	0,0591	0,1299	0,0940
1993	0,0886	0,1476	0,1476	0,1004	0,1181	0,1240	0,1299	0,0709	0,2658	0,1890	0,0827	0,0945	0,0709	0,2658	0,1296
1994	0,1240	0,1240	0,2126	0,1063	0,0945	0,0886	0,0886	0,0591	0,0532	0,0886	0,1417	0,1181	0,0532	0,2126	0,1083
1995	0,4370	0,3307	0,1358	0,1004	0,0827	0,0886	0,0945	0,0709	0,1063	0,1181	0,1536	0,1595	0,0709	0,4370	0,1556
1996	0,1713	0,2599	0,2126	0,1358	0,0945	0,1004	0,0945	0,0945	0,0945	0,1654	0,0472	0,1654	0,0472	0,2599	0,1361
1997	0,3721	0,2244	0,1240	0,0886	0,0827	0,1181	0,0945	0,0886	0,1004	0,1654	0,1654	0,1240	0,0827	0,3721	0,1453
1998	0,1772	0,1890	0,2421	0,1831	0,1063	0,1181	0,1713	0,1772	0,2776	0,3071	0,1358	0,1240	0,1063	0,3071	0,1841
1999	0,2599	0,3544	0,2303	0,1536	0,1063	0,1063	0,1772	0,0945	0,1063	0,1299	0,1299	0,1181	0,0945	0,3544	0,1628
2000	0,1122	0,1240	0,1240	0,0709	0,0650	0,0768	0,0709	0,0650	0,1358	0,1063	0,0827	0,0945	0,0650	0,1358	0,0939
2001	0,0827	0,1595	0,1181	0,0945	0,1417	0,1181	0,1417	0,0945	0,1122	0,2303	0,1181	0,1358	0,0827	0,2303	0,1289
2002	0,1654	0,1476	0,1358	0,1122	0,1063	0,0827	0,0827	0,0827	0,1063	0,0768	0,1004	0,1122	0,0768	0,1654	0,1090
2003	0,1240	0,1831	0,1181	0,0886	0,0650	0,0827	0,0945	0,0591	0,0827	0,0886	0,0886	0,1122	0,0591	0,1831	0,0984
2004	0,1831	0,1654	0,1417	0,1122	0,1358	0,1240	0,1595	0,0827	0,0886	0,1181	0,1063	0,2067	0,0827	0,2067	0,1355
2005	0,1831	0,1536	0,1181	0,1004	0,1004	0,0945	0,0945	0,0768	0,1949	0,1890	0,1358	0,1063	0,0768	0,1949	0,1287
2006	0,0827	0,1063	0,1122	0,0827	0,0532	0,0650	0,0591	0,0472	0,0768	0,0650	0,1004	0,1004	0,0472	0,1122	0,0790
2007	0,1485	0,1695	0,0868	0,0663	0,0928	0,0533	0,0755	0,0664	0,0591	0,0682	0,0962	0,1455	0,0533	0,1695	0,0937
2008	0,1765	0,1524	0,1325	0,1107	0,0985	0,1146	0,0621	0,0995	0,0866	0,1559	0,1502	0,1194	0,0621	0,1765	0,1215
2009	0,1446	0,1459	0,1159	0,0860	0,0676	0,0720	0,1882	0,1132	0,1944	0,1807	0,1349	0,1610	0,0676	0,1944	0,1337
2010	0,3601	0,2859	0,2832	0,2835	0,1952	0,1740	0,1651	0,1415	0,1113	0,1315	0,1041	0,1941	0,1041	0,3601	0,2021
2011	0,2691	0,2757	0,2593	0,1491	0,1069	0,1084	0,1460	0,2917	0,1324	0,1613	0,1340	0,1309	0,1069	0,2917	0,1802
2012	0,1589	0,1524	0,1252	0,1075	0,1128	0,2351	0,2073	0,1016	0,0933	0,0797	0,0910	0,1075	0,0797	0,2351	0,1309
2013	0,1219	0,1657	0,1450	0,1040	0,1109	0,2120	0,2049	0,1132	0,1647	0,1113	0,1540	0,1282	0,1040	0,2120	0,1443
2014	0,1417	0,2257	0,1638	0,2295	0,1135	0,1492	0,1057	0,0996	0,1374	0,1227	0,1123	0,1000	0,0996	0,2295	0,1409
MINIMA	0,0650	0,0945	0,0868	0,0591	0,0532	0,0533	0,0591	0,0472	0,0532	0,0650	0,0472	0,0768	0,0472		0,0790
MÁXIMA	0,4370	0,3544	0,2832	0,2835	0,1952	0,2351	0,2073	0,2917	0,2776	0,3071	0,1890	0,2067		0,4370	0,2021
MÉDIA	0,1835	0,1827	0,1569	0,1182	0,1023	0,1123	0,1230	0,1004	0,1240	0,1357	0,1173	0,1254			0,1315
D. PADRÃO	0,0999	0,0700	0,0526	0,0508	0,0293	0,0426	0,0479	0,0506	0,0584	0,0565	0,0323	0,0316			0,0314
C. VAR.	0,5445	0,3833	0,3351	0,4295	0,2861	0,3789	0,3893	0,5046	0,4713	0,4166	0,2755	0,2518			0,2389

Fonte: Própria. 11/08/2014

Com os dados da vazão transposta da tabela 13 foi plotado o gráfico da figura 47 evidenciando a variação das vazões no decorrer do período.

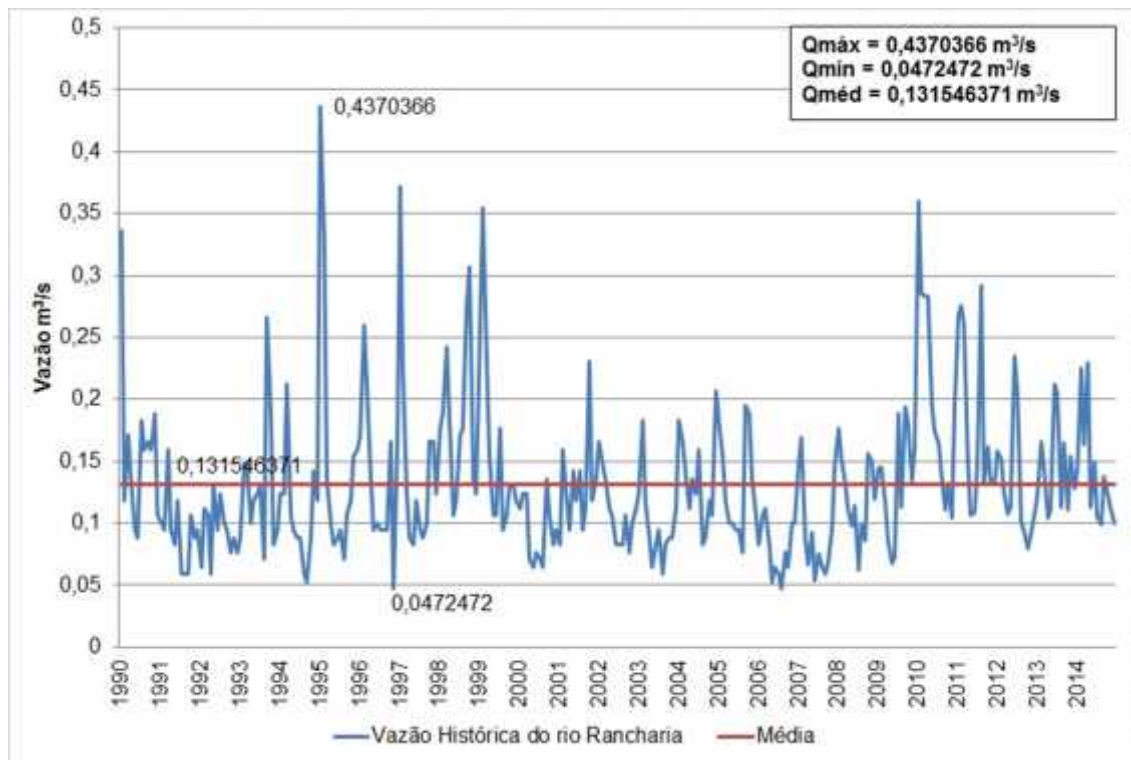


Figura 47 – Gráfico da vazão transposta no período de 25 anos.

Fonte: Própria.

### 4.3 CURVA DE PERMANÊNCIA

A curva de permanência de vazão é um gráfico que informa a vazão em um período de tempo. O traçado da curva é feito, com a vazão lançada em ordenada, pela porcentagem do tempo em que essa vazão é igualada ou excedida em abscissa (BARBOSA, 2014).

Utilizando os dados da tabela 13, foi possível traçar a curva de permanência para os últimos 25 anos:

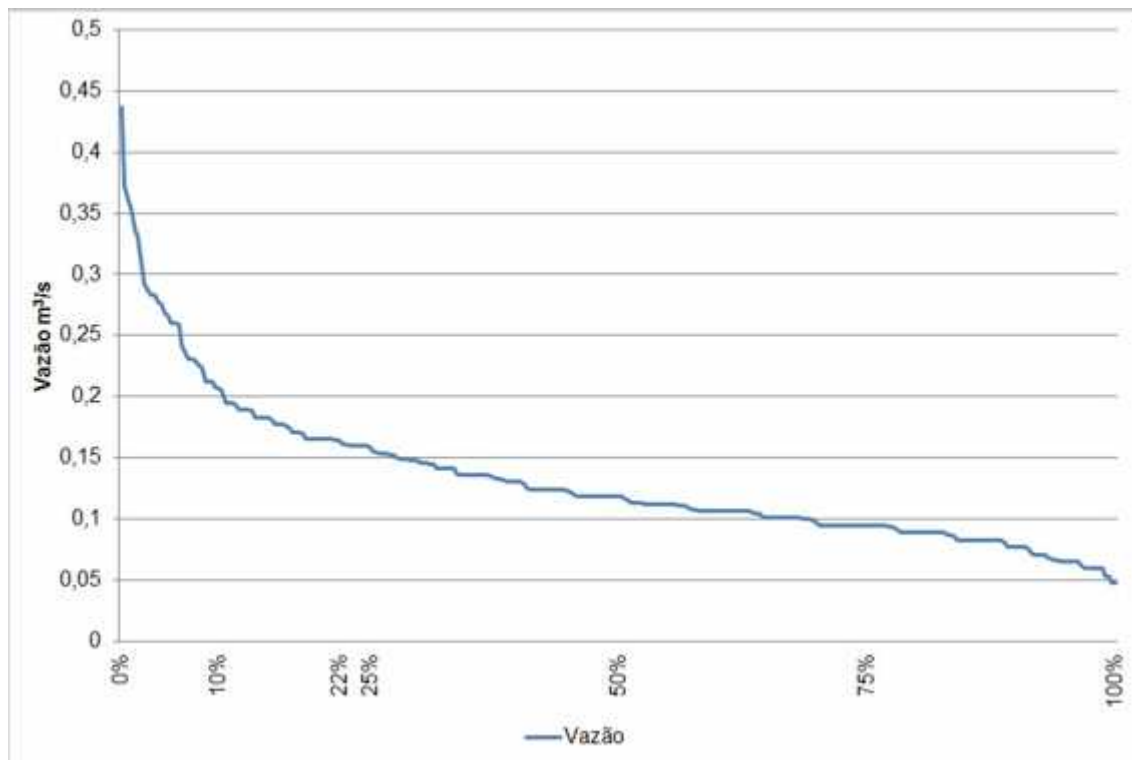


Figura 48 – Gráfico da curva de permanência.

Fonte: Própria.



#### 4.4 POTÊNCIA APROVEITÁVEL

Tendo o valor de queda líquida apresentado no laudo aprovado pelo Instituto Águas do Paraná de  $H = 18,30$  [m] é possível obter uma projeção da potencia aproveitável do rio Rancharia.

$$P = 9,81 \cdot Q \cdot H \quad (45)$$

onde P é a potência instalada projetada, Q a vazão média acrescida a porcentagem do coeficiente de variação e H é a queda líquida.

Os valores mais pertinentes de potência aproveitável são demonstrados na tabela 14.

**Tabela 14 – Potência aproveitável do rio Rancharia**

Condição da Vazão	Vazão (m³/s)	Potência Aproveitável (kW)
Mínimo	0,0760	13,64
Médio	0,1315	23,62
Máximo	0,4370	78,46
Firme 78%	0,1638	29,41
Firme 90%	0,2067	37,11

**Fonte: Própria. 11/08/2014**

## 5 CONCLUSÃO

Para implementar uma usina hidroelétrica, o principal fator que deve ser levado em consideração é o potencial aproveitável e para isso é de suma importância conhecer a vazão do rio em questão.

A literatura possui diversos métodos para determinar a vazão de um rio. Porém cada estudo exige métodos específicos devido a fatores como custos de aplicação, volume de água, precisão, topologia e acesso do local.

Neste trabalho os métodos utilizados obtiveram resultados satisfatórios comparados com a vazão transposta do rio Capivari, apresentando um desvio relativo que não comprometeu o resultado final.

Segundo o laudo aprovado pelo Instituto de Águas do Paraná a vazão média é de 0,19091 [m<sup>3</sup>/s] e pelos resultados obtidos pelo método do vertedor chegamos a uma vazão média 0,13155 [m<sup>3</sup>/s]. Como o desvio relativo máximo apresentado no trabalho foi de apenas 1,7356% com relação à vazão transposta do rio Capivari, aconselhamos utilizar os resultados obtidos pelo método do vertedor.

Considerando a situação do mercado energético, em que diversas pessoas preocupam-se cada vez mais em investir em fontes alternativas de energia, o proprietário viu nas instalações já existentes em sua propriedade, uma oportunidade de geração de energia para consumo próprio. A reativação da usina no rio Rancharia se mostra uma oportunidade viável, tendo em vista a vazão firme de setenta e oito por cento calculado e uma potência aproveitável de 29,41[kW], possibilitando a abertura de uma empresa autossuficiente energeticamente.

## REFERÊNCIAS

VI SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE PEQUENAS E MÉDIAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS, 2008, Belo Horizonte. **Análise e aplicação de perfiladores acústicos Doppler para medição de vazão em pequenas centrais hidrelétricas.** Belo Horizonte: CERPCH, 2008. Disponível em: <<http://www.cerpch.unifei.edu.br/Adm/artigos/03322dc4adeee3602bdcbf76c5e88463.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2014.

AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. **Medição de vazão de efluentes líquidos – escoamento livre: Procedimento. Pernambuco: CPRH N 2.004. 23/08/2000.** p.7. Disponível em: <<http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/normas-cprh-2004.pdf>>. Acesso em: 1 ago. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Hidroweb.** Disponível em: <[hidroweb.ana.gov.br](http://hidroweb.ana.gov.br)> . Acesso em: 21.out.2014

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Hidroweb.** Disponível em: <[hidroweb.ana.gov.br](http://hidroweb.ana.gov.br)>. Acesso em: 10 jul. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13403: **Medição de vazão em efluentes líquidos e corpos receptores – Escoamento livre.** Rio de Janeiro, 1995.

ALTERIMA. **Micro usina hidrelétrica.** Disponível em: <<http://www.alterima.com.br/projetomicrousina.htm>> . Acesso 05 mar. 2014.

ALVES, Gilberto M. **Avaliação da viabilidade de aplicação de uma microcentral hidrelétrica, para atender consumidores localizados em regiões isoladas.** 2007. 156 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2007.

ANDRADE, Luiz A.; MARTINEZ, Carlos B.; FILHO, Jair N.; AGUIRRE, Luis A. **Estudo comparativo dos métodos de medição de vazão – uma aplicação em**

**comissionamento de turbinas hidráulicas.** Centro de Pesquisas em Hidráulica e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, p. 73-79, 2010.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Regionalização das Vazões.** TUCCI, C.E.M. (coord.). IPH / UFRGS. Porto Alegre. 254p. 2002.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. BANCO DE INFORMAÇÃO DA GERAÇÃO (BIG). **Capacidade de Geração do Brasil.** Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.asp>> . Acesso em: 27 jul. 2014

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução n.º394, de 04 de dezembro de 1988.** Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res1998394.pdf>> . Acesso em: 03 jul. 2014.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução n.º652, de 09 de dezembro de 2003.** Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2003652.pdf>> . Acesso em: 03 jul. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13403: **Medição de vazão em efluentes líquidos e corpos receptores – escoamento livre.** Rio de Janeiro, 1995.

ATLAS DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO PARANÁ, SUDERHSA (Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental - 1998). Disponível em: <<http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/mp13.pdf>>. Acesso em: 1 ago. 2014.

AVIX GEO AMBIENTAL. **Medição de vazões.** 2011. Não paginado. Disponível em: < <http://www.avix.com.br/mediccedilatildeo-de-vazotildees.html>> . Acesso em: 31 jun. 2014.

BALARIM, Carlos Roberto. **Estimativa de custo das estruturas e equipamentos**

**de micro centrais hidrelétricas.** Tese (doutorado em Agronomia). UNESP-Botucatu, SP, 1999.

BARBOSA, Antenor R. **Curva de permanência de vazão.** Disponível em: <<http://www.em.ufop.br/deciv/departamento/~carlosetuardo/1Curva%20de%20Permanencia.pdf>> . Acesso em: 27 ago. 2014.

BATISTA, Myrla de Souza, **Medição do Escoamento Curva Chave.** Disponível em: <<http://slideplayer.com.br/slide/356650/#>>. Acesso em: 10 ago. 2014.

CARVALHO, Daniel F.; SILVA, Leonardo D. B. **Hidrologia.** Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap1-INTRO.pdf>> . Acesso em: 28 ago. 2014.

CIRON, Moura; VICTOR Hadiel; FREITAS, Jailson; ROSA, Felipe Santa. **Instrumentação em controle.** Não paginado. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABZ0kAH/parshal2>>. Acesso em: 10 jun. 2014.

CORDEIRO, Ademar. **Apostila de hidráulica.** Fundação Universidade Regional de Blumenau. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAA60oAL/apostila-hidraulica>>. Acesso em: 05 jun. 2014.

ELETROBRÁS. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Manual de microcentrais hidrelétricas.** 344p. Rio de Janeiro: [sn], 1985.

ELETROBRÁS. **Diretrizes para projetos de PCH.** Disponível em: <<http://www.portalpch.com.br>> . Acesso em 06 jul. 2014.

ELETRONORTE. **Introdução às energias renováveis.** Disponível em: <<http://www.ebah.com.br>> . Acesso em: 05 jul. 2014.

EMBRAPA. Comunicado técnico nº455, de julho de 2007. **Medição da vazão em**

**rios pelo método do flutuador.** Concórdia, SC. Disponível em: <[http://www.cnpsa.embrapa.br/down.php?tipo=publicacoes&cod\\_publicacao=1017](http://www.cnpsa.embrapa.br/down.php?tipo=publicacoes&cod_publicacao=1017)>. Acesso em: 25 jun. 2014.

FERNANDES, Carlos. **Medidores Parshall.** Disponível em: <<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/PARSHALL.html> . Acesso em: 28 ago. 2014.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA. **Orifícios, bocais e aberturas.** Disponível em: <[http://www.fcth.br/fesparquivos/CH2\\_TEORIA/Orifícios,%20Bocais%20e%20Vertedores.pdf](http://www.fcth.br/fesparquivos/CH2_TEORIA/Orifícios,%20Bocais%20e%20Vertedores.pdf)>. Acesso em: 20 jul. 2014.

JÚNIOR, Ângelo Stano; BITENCOURT, Valdinéa Aparecida; Filho, Geraldo Lúcio Tiago. **Série Energias Renováveis - Hidráulica.** Itajubá: 2007. Disponível em: <<http://www.cerpch.unifei.edu.br/arquivos/cartilhas/cartilhas-energias-renovaveis-hidraulica.pdf>>. Acesso em: 8 jul. 2014.

LABORATÓRIO DE MECÂNICA dos fluidos. **CARACTERÍSTICAS DE BOCAL E PERDAS DE CARGA.** Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/72551201/Caracteristicas-de-Bocais-e-Perdas-de-Carga>>. Acesso em: 03 jul. 2014.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Máquinas motrizes hidráulicas.** Rio de Janeiro: Guanabara, 1983.

MAGELA PEREIRA, Geraldo; ROGÉRIO DE MELLO, Carlos. **Apostila de Hidrometria (Medição de Vazão).** Universidade Federal de Lavras. Disponível em: <[http://www.deg.ufla.br/setores/engenharia\\_agua\\_solo/disciplinas/eng\\_187/aulas%20opracas/6.pdf](http://www.deg.ufla.br/setores/engenharia_agua_solo/disciplinas/eng_187/aulas%20opracas/6.pdf)>. Acesso em: 5 jul. 2014.

ORGANIZAÇÃO NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Séries Históricas de Vazões.** Disponível em: <[http://www.ons.org.br/operacao/vazoes\\_naturais.aspx](http://www.ons.org.br/operacao/vazoes_naturais.aspx)>. Acesso em: 05 fev. 2014.

PEREIRA, Geraldo M.; MELLO, Carlos R. **Aula prática de hidrometria**. Curso promovido pela Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG. Disponível em: <[http://www.deg.ufla.br/site/\\_adm/upload/file/6\\_Aula%20pratica%206.pdf](http://www.deg.ufla.br/site/_adm/upload/file/6_Aula%20pratica%206.pdf)>. Acesso em: 7 jun. 2014.

PEREIRA, Geraldo Magela; ROGÉRIO DE MELLO, Carlos. **Apostila de Dimensionamento de Conduitos Livres (Canais)**. Universidade Federal de Lavras. Disponível em: <[http://www.deg.ufla.br/site/\\_adm/upload/file/8\\_aula%20pratica%208.PDF](http://www.deg.ufla.br/site/_adm/upload/file/8_aula%20pratica%208.PDF)>. Acesso em: 5 jul. 2014.

PORTO, Rubem L. P.; FILHO, Kamel Z.; SILVA, Ricardo M.. **Medição de vazão e curva-chave**. Disponível em: <[http://www.unilasalle.edu.br/canoas/assets/upload/eng\\_ambiental/medicao\\_de\\_vazao\\_e\\_curva\\_chave.pdf](http://www.unilasalle.edu.br/canoas/assets/upload/eng_ambiental/medicao_de_vazao_e_curva_chave.pdf)>. Acesso em: 01 jun. 2014.

PORTO, Rubem La Laina; ZAHED FILHO, Kamel; MARCELLINI, Silvana Susko. **Apostila de Escoamento Superficial: Análise do Hidrograma e Hidrograma Unitário**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, ano 1999. Disponível em: <<http://files.engflorestal.webnode.com.br/200000003-5b1305c0ce/cap%2011%20-%20Hidrograma%20unit%C3%A1rio.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2014.

RICARDO, Mateus. **Transposição de dados hidrológicos para a determinação da vazão de projeto de micro e minicentrals hidrelétricas: estudo de caso**. PCH Notícias & SHP News. N.28. Itajubá: 2006.

SANTOS, Afonso Henriques Moreira. **As fontes alternativas de energia e o empresarismo descentralizado: potencialidades e obstáculos para a sua expansão no Brasil**. Itajubá: CERNE – UNIFEI, 2003.

SEVERO, Gildomar Borges. **Medição de vazão**. Disponível em: <<http://blog.fimes.edu.br/gildomar/files/2010/04/cap-13-Medi%C3%A7%C3%A3o-de-vaz%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: 03 jun. 2014.

SILVA, Gilberto Queiroz da. **Hidráulica II**. Escola de Minas/UFOP, Ouro Preto, 2013. Disponível em: <[http://www.passeidireto.com/arquivo/2293328/civ225--hidraulica\\_ii\\_orificios-e-bocais](http://www.passeidireto.com/arquivo/2293328/civ225--hidraulica_ii_orificios-e-bocais)>. Acesso em: 20 jul. 2014.

SIMEPAR, Instituto Tecnológico. **Precipitação pluviométrica na Região Metropolitana Norte de Curitiba nos anos de 2001 a 2011**. 2011

SOUSA, Rui S. de. **Determinação de vazão turbinada com emprego de traçador fluorescente**. 1997. 125f. Tese (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997. Disponível em: <[http://www.coc.ufrj.br/es/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_download&gid=1552](http://www.coc.ufrj.br/es/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=1552)> . Acesso em: 10 jul. 2014.

SOUZA, Podalyro A.; ALFREDINI, Paolo; MARTINS, Reginaldo G. **Experiências de laboratório no curso de Hidráulica I**. Curso promovido pela Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004. Disponível em: <[http://200.144.189.36/phd/LeArq.aspx?id\\_arq=2718](http://200.144.189.36/phd/LeArq.aspx?id_arq=2718)> . Acesso em: 01 jun. 2014.

SOUZA, Zulcy; FUCHS, Rubens D.; SANTOS, Afonso H. M. **Centrais hidro e termelétricas**. São Paulo: Edgard Blücher; Itajubá-MG: Escola Federal de Engenharia, 1983.

SOUZA, Zulcy; SANTOS, Afonso H. M.; BORTONI, Edson da C. **Centrais Hidrelétricas**. Rio de Janeiro: ELETROBRÁS, 1999.

STANO JUNIOR, Ângelo; TIAGO FILHO, Gilberto Lúcio. **Eletricidade**. 1ªed. Itajubá: FAPEPE, Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas – CERPCH, 2007.

STANO JUNIOR, Ângelo; TIAGO FILHO, Gilberto Lúcio. **Energias Renováveis**. 1ªed. Itajubá: FAPEPE, Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas – CERPCH, 2007.



STANO, Ângelo; VIANA, Augusto Nelson Carvalho. **Curso PCHs**. Campinas: AGRENER, 2002.

STUDART, Ticiania M. C. **Hidrologia**. Paginação irregular. Disponível em: <[http://www.deha.ufc.br/ticiania/Arquivos/Graduacao/Apostila\\_Hidrologia\\_grad/Cap\\_12\\_Regularizacao\\_de\\_Vazoes.pdf](http://www.deha.ufc.br/ticiania/Arquivos/Graduacao/Apostila_Hidrologia_grad/Cap_12_Regularizacao_de_Vazoes.pdf)> . Acesso em: 27 jun. 2014.

TIAGO FILHO, Geraldo Lucio. Diário do legislativo de 22/11/2001. Disponível em: <[http://www.almg.gov.br/dia/A\\_2001/11/L221101.htm](http://www.almg.gov.br/dia/A_2001/11/L221101.htm)> . Acesso em: 12 jul. 2014.

TOMAZ, Plínio. **Curso de Manejo de águas pluviais**. 2011. Disponível em: <[http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/capitulo\\_50\\_formula\\_de\\_manning\\_galerias\\_e\\_canais.pdf](http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/capitulo_50_formula_de_manning_galerias_e_canais.pdf)>. Acesso em: 5 ago. 2014.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: UFRGS/ABRH/EDUSP, 1993. p. 944. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 4).

TUCCI, Carlos E. M.; PEREIRA, Régis da S.; NETO Adalmino da S. **Princípios da Hidrometria**. In: \_\_\_\_\_. Porto Alegre: 2003. Paginação irregular. Disponível em: <<http://www.iph.ufrgs.br/posgrad/disciplinas/hip01/Cap13-Hidrometria.pdf>> . Acesso em: 31 jul. 2014.

UCKER, Fernando Ernesto. **Vertedores**. Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2013. Disponível em: <<http://professor.ucg.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/16525/material/Hidr%C3%A1ulica%20-%20Vertedores.pdf>>. Acesso em: 20 jul. 2014.

UFPI-DRHGA. Universidade Federal do Piauí de Tecnologia. Depart.<sup>o</sup> de recursos hídricos e geologia aplicada. **Bocais ou tubos**. Disponível em: <<http://www.ufpi.br/subsiteFiles/ct/arquivos/files/pasta/CAP3.pdf>>. Acesso em: 11 jul. 2014.

VILLELA, S. M.; MATTOS, M. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill , Berkeley, 1975.

ZUFFO, Antonio Carlos. **Apostila Medições de Vazão** - EC-811 Hidrologia Aplicada. Unicamp, 2005. 28.