

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

HEITOR SILVÉRIO BATISTA DOS REIS
JOSIRENE APARECIDA ARCIE POLLI

**PROJETO DE IMPLANTAÇÃO DA MICROCENTRAL
HIDROELÉTRICA DE RONCADOR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2015

HEITOR SILVÉRIO BATISTA DOS REIS
JOSIRENE APARECIDA ARCIE POLLI

PROJETO DE IMPLANTAÇÃO DA MICROCENTRAL HIDROELÉTRICA DE RONCADOR

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II do curso de Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase em Eletrotécnica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica – DAELT – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Curitiba, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: **Professor Dr. Gilberto Manoel Alves**

CURITIBA
2015

Heitor Silvério Batista dos Reis
Josirene Aparecida Arcie Polli

Projeto de Implantação da Microcentral Hidroelétrica de Roncador

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 Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 3 de julho de 2015.

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

Profa. Annemahlen 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

Paulo Cicero Fritzen, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Raphael Augusto de Souza Benedito, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

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

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente ao nosso orientador professor Dr. Gilberto Manoel Alves, que nos ajudou e contribuiu com seus conhecimentos para conclusão deste trabalho.

Agradecemos aos nossos familiares por todo o apoio desde o ingresso a Universidade.

Aos amigos que estiveram sempre conosco, pelo companheirismo durante esta caminhada.

A todos que nos ajudaram direta e indiretamente para produção deste trabalho, nosso humilde agradecimento.

RESUMO

REIS, Heitor Silvério Batista dos. POLLI, Josirene Aparecida Arcie. Projeto de Implantação da Microcentral Hidrelétrica de Roncador. 2015. 106 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Industrial Elétrica – ênfase em Eletrotécnica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

A prefeitura de Bocaiúva do Sul/PR e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) firmaram acordo para criação de um Centro de Educação Ambiental na cidade, incluindo a implantação de uma micro usina para geração de energia elétrica. Este trabalho tem como objetivo realizar o projeto de implantação da Microcentral Hidrelétrica (MCH) Roncador que se encontra desativada desde 1950. Para a implantação da mesma foi realizado trabalho de campo onde se analisou a estrutura existente e quais estruturas são necessárias para implantação de uma MCH (barragem, conduto forçado, vertedouro, tomada d'água, chaminé de equilíbrio, casa de máquinas, canal de fuga, turbina, gerador, regulador de velocidade, volante de inércia). Após análise verificou-se uma estrutura existente que poderá ser reaproveitada e algumas estruturas que serão necessárias a reconstrução para que a usina volte a ativa e sirva de usina didática para a comunidade acadêmica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Palavras-chave: Implantação. Microcentral hidrelétrica. Bocaiúva do Sul.

ABSTRACT

REIS, Heitor Silvério Batista dos. POLLI, Josirene Aparecida Arcie. Project Implementation of the Micro Hydroelectric Roncador. 2015. 106 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Industrial Elétrica – ênfase em Eletrotécnica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

The city of Bocaiúva do Sul/PR and the Federal Technological University of Paraná (UTFPR) signed an agreement for the creation of an Environmental Education Centre in the city, including the implementation of a micro power plant to generate electricity. This work aims the implementation of the micro hydroelectric (MCH) Roncador which is disabled since 1950. To implement the MCH was done field work where we analyzed the existing structure and what structures are necessary to implement a MCH (dam, penstocks, spillway, water intake, standpipe, powerhouse, tailrace, turbine generator, speed control, flywheel). After analysis it was found that an existing structure can be reused and some structures that reconstruction will be needed for the plant re-active and serve as a teaching facility for the academic community of the Federal Technological University of Paraná.

Keywords: Implantation. Hydroelectric micro power plant. Bocaiúva do Sul.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Classificação das Centrais Hidrelétricas.....	17
Tabela 2-Classificação de PCH quanto à potência e queda de projeto.....	18
Tabela 3-Classificação das PCHs em conformidade com os diversos países.....	18
Tabela 4-Material utilizado segundo velocidade máxima.....	27
Tabela 5 -Curva do vapor de água.....	41
Tabela 6 - Vazão obtida pelo método dos molinetes e estimada para os métodos do vertedouro e do flutuador.....	51
Tabela 7 - Resumo da perda de carga do circuito de geração.....	72
Tabela 8 - Coeficiente de depleção.....	76
Tabela 9 - Principais características das turbinas fabricadas no Brasil.....	80
Tabela 10 - Dimensões Turbina Pelton.....	81
Tabela 11 - Dimensões Turbina Banki.....	82
Tabela 12 - Dimensões Turbina Francis.....	84
Tabela 13 - Dimensões Turbina Hélice.....	86
Tabela 14 - Dimensões Chaminé de Equilíbrio.....	90

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA.....	15
FIGURA 2: FLUXOGRAMA - ESTUDOS E PROJETO BÁSICO DE PCH.....	20
FIGURA 3: ESTRUTURA DOS COMPONENTES PARA MICRO E MINICENTRAIS HIDRELÉTRICAS	28
FIGURA 4: CORTE TRANSVERSAL TURBINA PELTON DE 2 JATOS E EIXO HORIZONTAL.....	43
FIGURA 5: CORTE TRANSVERSAL TURBINA PELTON DE 6 JATOS E EIXO VERTICAL.....	43
FIGURA 6: TURBINA BANKI	45
FIGURA 7: CORTE TRANSVERSAL TURBINA FRANCIS CAIXA ESPIRAL DE EIXO HORIZONTAL.....	46
FIGURA 8: TURBINA FRANCIS EIXO HORIZONTAL.....	47
FIGURA 9: CORTE TRANSVERSAL TURBINA HÉLICE EM CAIXA ESPIRAL	48
FIGURA 10: FLUXOGRAMA - LICENCIAMENTO AMBIENTAL.....	55
FIGURA 11: LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO MUNICÍPIO DE BOCAIÚVA DO SUL	57
FIGURA 12: RESERVATÓRIO MCH RONCADOR	58
FIGURA 13: FLUVIOGRAMA DE VAZÕES MÉDIAS MENSAS PARA MCH RONCADOR	60
FIGURA 14: CURVA DE PERMANÊNCIA DE VAZÕES - MCH RONCADOR.....	61
FIGURA 15: CURVA DE PERMANÊNCIA DE POTÊNCIAS - MCH RONCADOR ...	61
FIGURA 16: CURVA DE POTÊNCIA INSTALADA VERSUS ENERGIA GERADA - MCH RONCADOR	62
FIGURA 17: RESERVATÓRIO MCH RONCADOR	64
FIGURA 18: VISTA 1 DA BARRAGEM - MCH RONCADOR.....	65
FIGURA 19: VISTA 2 DA BARRAGEM - MCH RONCADOR.....	65
FIGURA 20: VERTEDOIRO MCH RONCADOR - VISTA 1	66
FIGURA 21: VERTEDOIRO MCH RONCADOR - VISTA 2	67
FIGURA 22: TOMADA D'ÁGUA MCH RONCADOR	68
FIGURA 23:– TUBULAÇÃO FORÇADA, SAÍDA DA TOMADA D'ÁGUA - MCH RONCADOR	68

FIGURA 24: CONDUTO FORÇADO - MCH RONCADOR.....	69
FIGURA 25: CHAMINÉ DE EQUILÍBRIO - MCH RONCADOR.....	70
FIGURA 26: CASA DE MÁQUINAS - MCH RONCADOR.....	71
FIGURA 27: CANAL DE FUGA - MCH RONCADOR.....	72
FIGURA 28: DIMENSIONAMENTO DO VERTEDOURO.....	73
FIGURA 29:– EXTRAVASADOR - MCH RONCADOR	75
FIGURA 30: DIÂMETRO DO CONDUTO FORÇADO TRECHO UNITÁRIO - MCH RONCADOR	78
FIGURA 31: DIÂMETRO DO CONDUTO FORÇADO TRECHO RAMIFICADO - MCH RONCADOR	78
FIGURA 32: CHAMINÉ DE EQUILÍBRIO EM CENTRAIS A FIO D'ÁGUA.....	86
FIGURA 33: DIAGRAMA PARA PCH	87
FIGURA 34: DIMENSÕES TURBINA PELTON	89
FIGURA 35: DIMENSÕES TURBINA BANKI.....	90
FIGURA 36: DIMENSÕES TURBINA FRANCIS.....	91
FIGURA 37: DIMENSÕES TURBINA HÉLICE.....	93
FIGURA 38: CANAL DE FUGA – DIMENSÕES BÁSICAS.....	96
FIGURA 39: CASA DE MÁQUINAS	99

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANEEL	-	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	-	Balanço Energético Nacional
CERPCH	-	Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas
CM	-	Casa de Máquinas
DNAEE	-	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
EIA	-	Estudo e Relatório de Impacto Ambiental
EPE	-	Empresa de Pesquisa Energética
GD	-	Geração Distribuída
GG	-	Grupo Gerador
IAP	-	Instituto Ambiental do Paraná
IBGE	-	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LI	-	Licença de Instalação
LO	-	Licença de Operação
LP	-	Licença Prévia
MCH	-	Microcentral Hidrelétrica
PCA	-	Plano de controle Ambiental
PCH	-	Pequena Central Hidrelétrica
RADA	-	Relatório de Avaliação de Desempenho Ambiental
RIMA	-	Relatório de Impacto Ambiental
RCA	-	Relatório de Controle Ambiental
RV	-	Regulador de Velocidade
UTFPR	-	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. TEMA DE PESQUISA	15
1.1.1. Delimitação do Tema.....	15
1.2. PROBLEMAS E PREMISSAS	17
1.3. OBJETIVOS	18
1.3.1. Objetivo Geral.....	18
1.3.2. Objetivos Específicos	18
1.4. JUSTIFICATIVA.....	18
1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	19
1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
2.1. HISTÓRICO DA ENERGIA ELÉTRICA	22
2.2. ENERGIA HIDRÁULICA.....	24
2.3. CLASSIFICAÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS	24
2.3.1. Arranjos Básicos.....	27
2.3.1.1. Central hidrelétrica a fio d'água	27
2.3.1.2. Central hidrelétrica de acumulação com regulação diária do reservatório ...	27
2.4. ESTRUTURA DE MINICENTRAIS HIDRELÉTRICAS.....	28
2.5. ANÁLISE INICIAL PARA O PROJETO DE PCH	28
2.5.1. Medição da Vazão	29
2.5.2. Barragem.....	31
2.5.2.1. Barragem de terra.....	31
2.5.2.2. Barragem de Enrocamento.....	32
2.5.2.3. Barragem de Alvenaria de Pedra Argamassada	32
2.5.2.4. Barragem de Concreto do Tipo Gravidade	32

2.5.2.5. Barragem Tipo Misto	33
2.6. PROJETOS HÍDRICOS.....	33
2.6.1. Conduto Forçado	34
2.6.1.1. Diâmetro econômico para o conduto forçado	34
2.6.1.2. Velocidade do líquido no interior do conduto forçado	35
2.6.1.3. Espessura do conduto forçado	36
2.6.2. Vertedouro ou Extravasador	37
2.6.3. Tomada D'água e Desarenador	37
2.6.4. Conduitos de Adução da Água	38
2.6.5. Câmaras de Carga	39
2.6.6. Chaminé de Equilíbrio	39
2.6.7. Golpe de Aríete.....	40
2.6.8. Casa de Máquinas.....	40
2.6.9. Canais de Fuga	41
2.7. TURBINAS HIDRÁULICAS	41
2.7.1. Turbinas Pelton.....	42
2.7.2. Turbinas Banki.....	44
2.7.3. Turbinas Francis	45
2.7.4. Turbinas Hélice.....	47
2.8. CAVITAÇÃO EM TURBINAS HIDRÁULICAS	48
2.9. SELEÇÃO DAS TURBINAS HIDRÁULICAS	50
2.10. GERADOR	50
2.11. REGULADORES DE VELOCIDADE	51
2.12. CARACOL OU CAIXA ESPIRAL	52
2.13. VOLANTE DE INÉRCIA	52
2.14. MEIO AMBIENTE E IMPACTO AMBIENTAL	52
2.15. OUTORGA DA ÁGUA	53

2.16.	LICENCIAMENTO AMBIENTAL.....	54
3.	DADOS E ESTRUTURA DA MICROCENTRAL DE RONCADOR	57
3.1.	LOCALIZAÇÃO DA MICROCENTRAL	57
3.2.	CLASSIFICAÇÃO DA MICROCENTRAL	58
3.3.	ESTUDO HIDROENERGÉTICO INICIAL.....	58
3.3.1.	Métodos Utilizados para Medição de Vazão.....	59
3.3.2.	Vazão de Projeto	59
3.3.3.	Análise Inicial da Potência da MCH.....	63
3.3.3.1.	Determinação da potência bruta do aproveitamento	63
3.4.	RESERVATÓRIO	63
3.5.	BARRAGEM	64
3.6.	VERTEDOURO	66
3.7.	TOMADA D'ÁGUA.....	67
3.8.	CONDUTO FORÇADO.....	69
3.9.	CHAMINE DE EQUILIBRIO.....	69
3.10.	CASA DE MAQUÍNAS.....	71
3.11.	CANAL DE FUGA.....	72
4.	DIMENSIONAMENTOS REFERENTE À MICROCENTRAL	73
4.1	VERTEDOURO	73
4.2	CONDUTO FORÇADO PARA MICROCENTRAL	75
4.2.1	Diâmetro Econômico do Conduto Forçado	76
4.2.2	Velocidade da Água no Conduto Forçado.....	76
4.2.3	Espessura do Conduto Forçado.....	76
4.3	CONDUTO FORÇADO COM MULTIPLAS SAÍDAS	77
4.4	DETERMINAÇÃO FINAL DA QUEDA LÍQUIDA E POTÊNCIA A SER INSTALADA	79
4.4.1	Determinação das Perdas de Carga	80

4.4.2	Determinação da Queda Líquida e Potência Líquida	80
4.5	CHAMINÉ DE EQUILÍBRIO	81
4.5.1	Área Mínima da Seção transversal	81
4.5.2	Altura Mínima da Chaminé de Equilíbrio	82
4.5.2.1	Cálculo da elevação do nível de água	82
4.5.2.2	Cálculo da depleção do nível de água	83
4.5.2.3	Altura da chaminé de equilíbrio.....	85
4.6	CASA DE MÁQUINAS.....	86
4.6.1	Turbinas	86
4.6.1.1	Dimensionamento Turbina Pelton.....	89
4.6.1.2	Dimensionamento Turbina Banki.....	89
4.6.1.3	Dimensionamento Turbina Francis	91
4.6.1.4	Dimensionamento Turbina Hélice	92
4.6.2	Gerador	94
4.6.3	Regulador de Velocidade	94
4.6.4	Volante de Inércia	95
4.6.5	Canal de Fuga.....	95
5.	MEDIDAS E MUDANÇAS NECESSÁRIAS À MICROCENTRAL.....	97
5.1.	RESERVATÓRIO, BARRAGEM E VERTEDOIRO	97
5.2.	CONDUTO FORÇADO.....	97
5.3.	CHAMINÉ DE EQUILÍBRIO.....	98
5.4.	CASA DE MÁQUINAS.....	98
6.	CONCLUSÕES	100
	REFERÊNCIAS.....	102

1. INTRODUÇÃO

1.1. TEMA DE PESQUISA

1.1.1. Delimitação do Tema

O acesso a eletricidade foi um dos fatores preponderantes para o mundo alcançar o patamar atual de desenvolvimento tecnológico e social. O uso da energia elétrica se faz importante desde atividades simples do cotidiano, como assistir TV, até as mais complexas, como importantes estudos na área da saúde.

Segundo notícia publicada no site Portal Brasil (2014), a demanda de energia elétrica no Brasil subiu 3,6% no ano de 2013. Em contrapartida o aumento na oferta de energia foi de 2,9%, sendo que este aumento se deu através da expansão da geração térmica, onde 75,7% do combustível utilizado era do tipo carvão mineral (BEN, 2014).

As formas de se explorar a produção de energia são inúmeras, mas no momento as mais atraentes são as geradas através de fontes renováveis. O Brasil tem um enorme potencial e, por consequência, uma predominância em sua matriz energética, 70,6% da energia ofertada se dá através da geração hidráulica (BEN, 2014). A figura 1 mostra a Matriz de Geração de Energia Elétrica do Brasil.

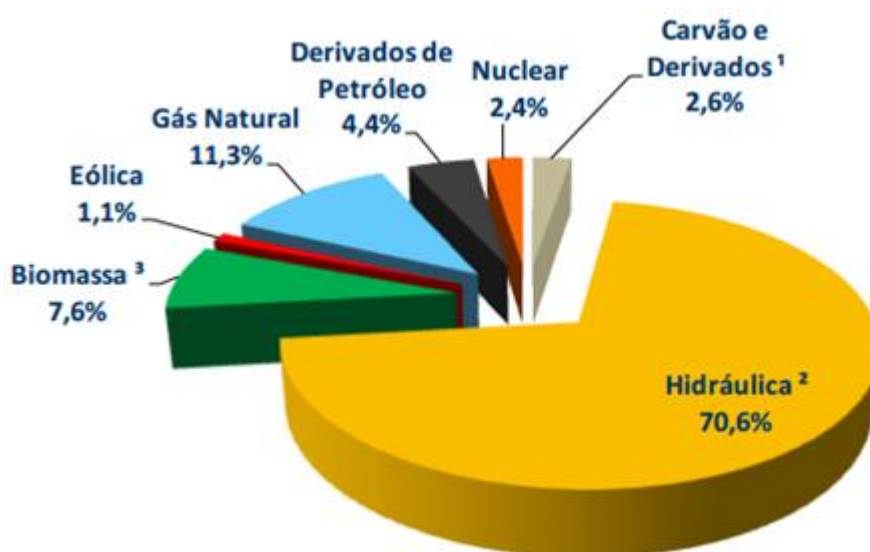


Figura 1: Matriz Elétrica Brasileira

Fonte: Balanço Energético Brasileiro - BEN (2014)

Um ponto relevante a ser considerado é que atualmente não há uma forma econômica viável de se armazenar energia elétrica. Diferentemente de outros meios de redes, a eletricidade deve ter um equilíbrio entre oferta e demanda. Portanto, índices como os publicados pelo BEN, sobre o ano de 2013, não são interessantes para o setor, principalmente pelo fato da expansão de maior importância ter ocorrido na área com utilização de combustível altamente poluente.

Constatou-se que o consumo aumenta em uma proporção maior que em relação à oferta e estima-se que aproximadamente 728 mil domicílios do país não têm acesso a eletrificação (IBGE – Censo 2010).

Existem alternativas apropriadas para atender o acréscimo na demanda nacional, uma delas é a Geração Distribuída (GD). Dias (2005) define GD como sendo qualquer fonte geradora com produção destinada a cargas locais ou próximas, alimentadas sem transporte através de redes de transmissão.

Uma forma de GD viável é aquela que visa a Mini e Microgeração por meio de centrais hidrelétricas. Segundo ANEEL (2014):

“A micro e a minigeração distribuída consistem na produção de energia elétrica a partir de pequenas centrais geradoras que utilizam fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conectadas à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.”

A ELETROBRÁS e Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE) (1985) definem Microcentrais hidrelétricas (MCHs) como centrais geradoras com potência instalada menor ou igual a 100 quilowatts (kW). Minicentrais até 1.000 quilowatts (kW) e Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) centrais com potência instalada de 1.000 à 10.000 quilowatts (kW).

A geração por pequenas centrais tem grande importância por não necessitar de linhas de transmissão e por conseguir atingir locais isolados onde não existem linhas de transmissão.

Em reunião realizada no dia 27/09/2010 foi assinado o Convênio entre a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Curitiba, e a Prefeitura Municipal de Bocaiúva do Sul para construção de um Centro de Educação

Ambiental na cidade. Neste acordo um ponto firmado foi à implantação de uma MCH com objetivo didático envolvendo os alunos da Universidade.

Segundo o convênio, a MCH será implantada no local onde já houve uma antiga usina chamada Roncador. O Instituto das Águas do Paraná (2011) estima que a usina está desativada desde o ano de 1959. A maior parte das estruturas é inexistente ou não se encontra em condições de uso.

Através de estudos anteriores e dados levantados desde o início do convênio, o trabalho de conclusão de curso terá por objetivo, através da análise de dados e análise em campo, fazer o projeto final para a futura implantação da MCH Roncador.

1.2. PROBLEMAS E PREMISSAS

Após convênio firmado entre a Prefeitura Municipal de Bocaiúva do Sul e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), foram iniciados os estudos para que futuramente a MCH entre novamente em operação e possa então atender aos interesses da Prefeitura e servir de laboratório para a Universidade.

O acompanhamento para futura implantação da MCH já serve de aprendizado para os alunos da Universidade, pois alguns estudos já foram desenvolvidos, como trabalhos de conclusão de curso sobre a vazão, queda, projetos referentes a casa de máquinas, entre outros. A partir de todos os estudos já realizados, pode-se agora chegar ao projeto final para implantação da Microcentral.

Para o projeto de implantação, devem ser levantados todos os dados e projetos já realizados referente à MCH, realizar levantamentos de campo, atualizados.

Como a MCH de Roncador tem por objetivo o uso didático para os alunos da Universidade, será previsto no projeto a instalação de diversos tipos de turbinas, para que possam ser conhecidas e estudadas na prática. Logo, será necessário fazer um estudo completo sobre todos os tipos de turbinas que poderão ser utilizados.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo Geral

O trabalho de conclusão de curso terá por objetivo realizar o projeto completo para a futura implantação das instalações da Micro Central Hidrelétrica de Roncador.

1.3.2. Objetivos Específicos

Para alcançar o resultado do projeto de implantação da usina, alguns objetivos complementares deverão ser atingidos:

- Revisão da literatura existente sobre projetos de implantação de MCH;
- Analisar as estruturas e equipamentos existentes na usina;
- Verificar o que poderá ser aproveitado;
- Realizar o levantamento e análise dos dados e resultados de estudos anteriores;
- Levantar as informações técnicas sobre os diversos tipos de turbinas que serão implantadas na usina para uso didático;
- Descrever os impactos e as transformações advindas da instalação de diferentes tipos de turbinas, para o uso didático.

1.4. JUSTIFICATIVA

A busca por fontes alternativas de energia está em pauta atualmente. Sabendo da relevância social de pequenas centrais que são sistemas de produção energética renovável excelentes (ALVES, 2007) e tendo em vista que o Brasil fará pelo menos 50% de sua expansão da necessidade energética pelo sistema hídrico (PORTAL BRASILEIRO, 2011), torna-se atrativa a busca pela implantação de PCHs e MCHs.

A participação de energias renováveis na matriz elétrica brasileira é uma das maiores do mundo, com cerca de 78,6% de energia renovável (EPE, 2013), tamanha fatia de geração de energia ressalta a importância da implantação da MCH.

O projeto visa também atender os interesses da Universidade, que formará profissionais mais qualificados. Além disso, o acesso a uma usina didática proporcionará aos estudantes uma oportunidade de conhecer o funcionamento prático. Aliar a teoria vista em sala de aula com a prática na futura central hidroelétrica será de grande valia e enriquecimento intelectual aos alunos.

1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os estudos para implantação de Microcentrais devem obedecer certos procedimentos. Tais procedimentos podem ser divididos nas seguintes etapas: estudos gerais, projetos, especificações e análise econômico-financeira (SOUZA, *et al*, 2009).

O trabalho será realizado por meio de pesquisa, revisão bibliográfica e registro das informações encontradas. Haverá um levantamento de todos os dados já coletados, através de trabalhos anteriores e pesquisa de campo. O estudo de campo deverá envolver a avaliação das estruturas e os equipamentos existentes, bem como suas condições para uso ou para rejeição e troca. Será necessário pesquisas sobre normas técnicas, catálogos e manuais de fabricantes e pesquisa econômico-financeira.

O fluxograma apresentado na Figura 1, desenvolvido pela ELETROBRÁS mostra de maneira mais objetiva os passos que deverão ser seguidos para chegar ao projeto final de implantação. Este fluxograma apresenta as etapas para o Projeto de uma Pequena Central Hidrelétrica, mas também pode ser utilizado no caso de uma MCH.

O projeto de implantação apresentado, concentra-se em algumas atividades demonstradas no fluxograma da figura 2. Como a usina já esteve em operação, apresentando atualmente uma barragem em boas condições de uso, os estudos referentes a viabilidade da construção da microcentral e referentes aos aspectos topográficos, geológicos e ambientais não serão considerados neste trabalho de conclusão de curso. Assim também, os estudos de custos, de manutenção e operação também não serão citados. As demais atividades apresentadas no fluxograma e em destaque, serão todas, em algum momento, abordadas.

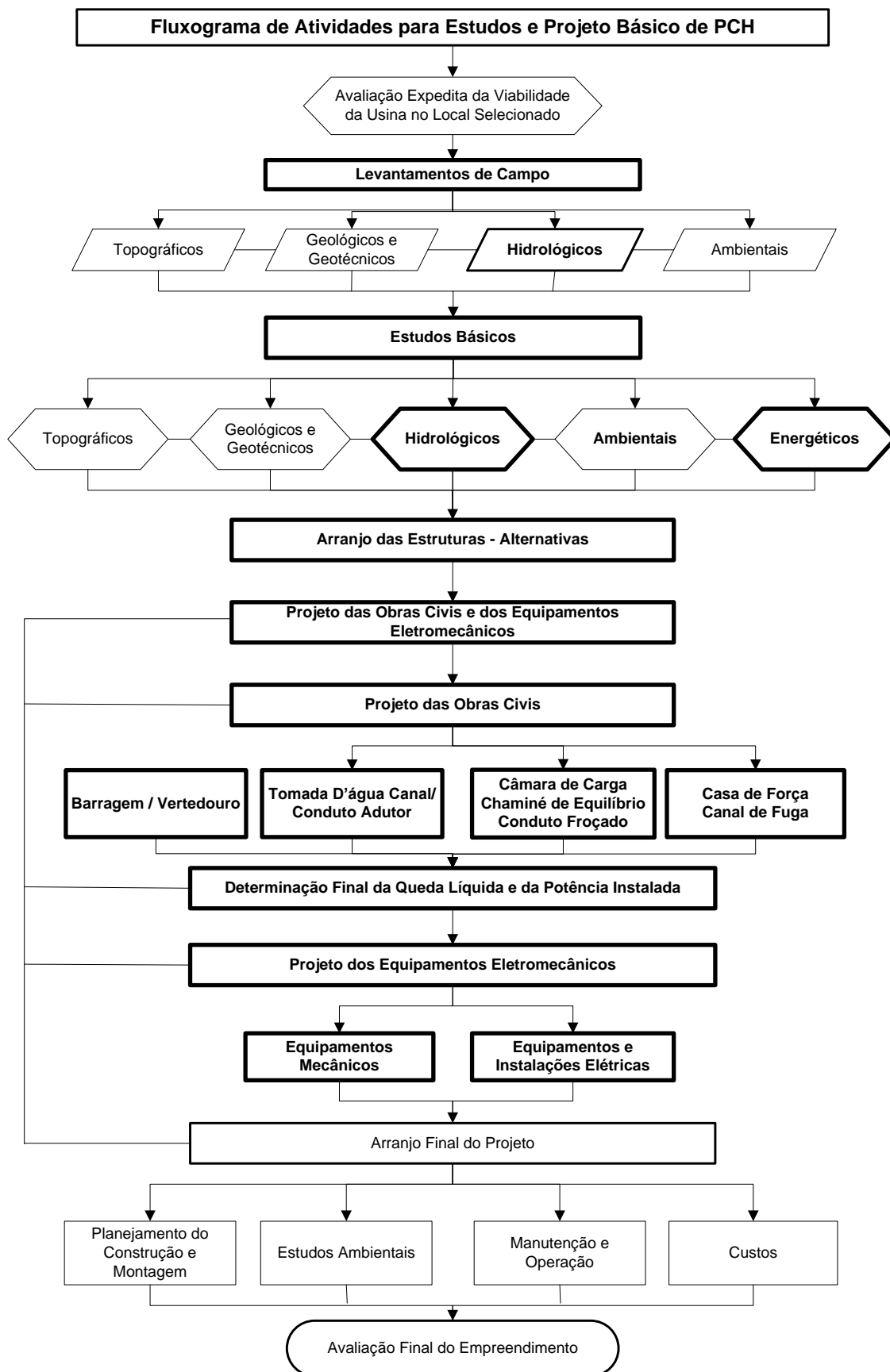


Figura 2: Fluxograma - Estudos e Projeto Básico de PCH

Fonte: ELETROBRÁS (2000).

1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho será dividido seguindo a seguinte estrutura:

- Capítulo 1 – Introdução

A introdução será composta de: tema de pesquisa, delimitação do tema, problemas e premissas, objetivos, justificativa, cronograma e procedimentos metodológicos.

- Capítulo 2 – Fundamentação Teórica

Neste capítulo serão abordados conceitos para melhor compreensão do tema. A fundamentação teórica, que dará base ao projeto e a tudo que será necessário para a construção do mesmo.

- Capítulo 3 – Dados e Estrutura da MCH Roncador

Dados que contemplam a estrutura e todos os dados coletados referente a MCH Roncador.

- Capítulo 4 – Dimensionamentos Referente à Microcentral

Estudo dos dimensionamentos necessários as estruturas que compõe a MCH.

- Capítulo 5 – Medidas e Mudanças Necessárias a Microcentral

Comentários sobre as melhorias e mudanças a serem realizadas.

- Capítulo 6 – Conclusão

Conclusões acerca do estudo realizado.

Referências

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. HISTÓRICO DA ENERGIA ELÉTRICA

Não há como saber corretamente quando o homem obteve conhecimento da existência da energia elétrica, mas fontes indicam que as primeiras descobertas foram feitas na Grécia antiga. Stano Junior e Tiago Filho (2007) citam que filósofos gregos descobriram que, quando uma peça de âmbar era atritada contra um pano de lã, pequenos objetos podiam ser atraídos por ela. Esta propriedade do âmbar, que foi batizada com o nome de elektron (no idioma grego significa âmbar), veio a ser futuramente a base para os estudos da eletrostática.

As descobertas de Faraday e Henry levaram a um período de desenvolvimento tecnológico muito importante para a indústria elétrica, pois a teoria da indução elétrica permitia a construção de geradores capazes de produzir energia elétrica em grandes quantidades. Neste ambiente promissor, também foram inventados outros equipamentos que utilizariam das descobertas de Faraday e Henry para tornar a oferta de energia elétrica mais abundante. Nicola Tesla inventou o sistema polifásico, o motor de indução, a bobina de Tesla e as lâmpadas fluorescentes. Nesta mesma época o transformador também foi utilizado pela primeira vez para transmissão de energia em alta tensão. George Westinghouse instalou os primeiros geradores hidroelétricos localizados nas cachoeiras do Niágara e Thomas A. Edison inventou por volta de 1880 a lâmpada incandescente, esta sem dúvida um marco na história da indústria elétrica (STANO JUNIOR; TIAGO FILHO, 2007).

No Brasil, a energia elétrica chegou em 1879 quando D. Pedro II inaugurou no Rio de Janeiro a iluminação elétrica, com seis lâmpadas, da estação D. Pedro II, que na época era chamada de estação da Corte. A primeira usina elétrica, instalada no Brasil, foi a usina termelétrica de Campos no Rio de Janeiro, a transformava energia mecânica em elétrica instalada, com potência de 52 kW (ALVES, 2007). Se tornando assim a primeira cidade com energia elétrica no Brasil. A primeira usina hidrelétrica, situada na bacia do Jequitinhonha, no município de Diamantina, então na província de Minas Gerais, recebeu o nome de Ribeirão do Inferno; foi pioneira e uma das maiores do mundo naquela época, com desnível de 5 metros (MULLER,

1995). Neste seguimento, a primeira hidrelétrica instalada no Brasil para fins de utilidade pública, foi a de Marmelos, localizada em Juiz de Fora – MG, instalada em 1889.

Em 1943, houve a criação de diversas companhias estaduais e federais e em 1960 foi criado o Ministério de Minas e Energia (ESCELSA, 2011).

Em 1957 foi criada a Central Elétrica de Furnas S.A. com o objetivo de aproveitar o potencial hidrelétrico do Rio Grande e solucionar, assim, a crise energética no Sudeste. Em 1963 entrou em operação a usina hidrelétrica de Furnas, maior usina do Brasil na época e que permitia a interligação dos estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais e São Paulo (EDP, 2011).

Em abril de 1961 foi criada a ELETROBRÁS, denominada Centrais Elétricas Brasileiras S. A., para responder à crise da década de 50 em consequência da falta de continuidade de investimentos por parte das empresas estrangeiras. As empresas Light foram compradas pela ELETROBRÁS em 1979. Outras empresas foram criadas, como as Centrais Elétricas do Sul do Brasil (ELETROSUL), em 1968; as Centrais Elétricas do Norte do Brasil (ELETRONORTE), em 1972 (ALVES, 2007).

O Brasil seguiu com seu crescimento energético na década de 70, para isso criou órgãos governamentais responsáveis pelo gerenciamento do setor elétrico e inaugurou novas usinas. Em 1973 foi assinado um tratado entre Brasil e Paraguai para construção da Usina Hidrelétrica Itaipu Binacional. Esta foi totalmente finalizada em 2006 com o pleno funcionamento das 20 unidades geradoras (ALVES, 2007).

O último Balanço Energético Nacional (BEN), publicado em 2014, mostra que no Brasil a matriz energética é predominantemente renovável, sendo que a geração de energia renovável corresponde a mais de 79% do total. Atualmente o cenário energético brasileiro mostra-se frágil, ficando assim em evidência a necessidade de novos investimentos no setor. O país possui grande parte de seu potencial hidráulico ainda não explorado. Como a implantação de grandes centrais hidrelétricas possui o entrave do licenciamento ambiental, uma das saídas para o país é investir em energias renováveis, em especial na energia de origem eólica, biomassa e na implantação de PCHs.

2.2. ENERGIA HIDRÁULICA

Historicamente, a energia hidráulica tem sido utilizada para fazer a água gerar trabalho útil — moer grãos, serrar madeira e fornecer energia para outras tarefas. A força das águas foi transferida para uma série de máquinas de movimento rotatório através de eixos, hastes, roldanas, polias, cabos e engrenagens. Os gregos utilizaram rodas d'água de eixo vertical já em 85 a.C. e de eixo horizontal por volta de 15 a.C. À força das águas foi a única fonte de energia mecânica (além do vento) disponível até o desenvolvimento do motor a vapor no século XIX (HINRICHS e KLEINBACK, 2003).

Outra importante invenção do século XIX foi o desenvolvimento do gerador elétrico. A energia hidráulica foi a fonte natural utilizada para abastecer estes geradores. A energia hidráulica converte energia potencial em energia cinética, em virtude de mudanças de elevação. Rios com uma ampla gama de variações nas taxas de vazão mostraram-se pouco adequados para a instalação de geradores, mas a construção de represas e barragens nos rios forneceu um meio de ajustar a vazão da água para atender às diversas demandas por eletricidade (HINRICHS e KLEINBACK, 2003).

No período entre os dois choques do petróleo, de 1973 a 1979, cresceu a valorização do gás por parte dos países industrializados e a incorporação da energia nuclear. O Brasil acrescentava a hidroeletricidade a sua matriz, enquanto os países industrializados utilizavam predominantemente a energia proveniente de combustíveis fósseis e nucleares (LEITE, 1997).

Hoje, há a predominância da energia hidráulica na matriz energética nacional, cerca de 70,6% da energia ofertada se dá pela geração hidráulica (BEN, 2014).

2.3. CLASSIFICAÇÃO DE USINAS HIDRELÉTRICAS

Para classificação das centrais hidrelétricas devem ser considerados, segundo Souza, Fuchs e Santos (1983), alguns critérios como potência gerada, queda quanto à forma de captação de água, quanto à forma de utilizar as vazões

naturais e quanto a sua função no sistema. A tabela 1 ilustra esses critérios e suas subdivisões.

Tabela 1: Classificação das Centrais Hidrelétricas

<i>a) Quanto a potencia</i>	<i>P(kW)</i>
a1) Microcentrais	$P \leq 100$
a2) Minicentrais	$100 \leq P \leq 1.000$
a3) Pequenas centrais	$1.000 \leq P \leq 10.000$
a4) Média centrais	$10.000 \leq P \leq 100.000$
a5) Grande centrais	$P \geq 100.000$
<i>b) Quanto a sua queda</i>	<i>H(m)</i>
b1) Centrais de baixíssima queda	$H < 10$
b2) Centrais de baixa queda	$10 \leq H < 50$
b3) Centrais de média queda	$50 \leq H < 250$
b4) Centrais de alta queda	$H > 250$
<i>c) Quanto à forma de captação de água</i>	
c1) Centrais em desvio e derivação	
c2) Centrais em leito de rio ou de represamento	
<i>d) Quanto à forma de utilizar as vazões naturais</i>	
d1) Centrais a fio d'água	
d2) Centrais com regularização: diária, semanal, anual e plurianual	
<i>e) Quanto à função no sistema</i>	
e1) Centrais de base	
e2) Centrais flutuantes	
e3) Centrais de ponta	

Fonte: Adaptado de SOUZA, FUCHS e SANTOS (1983).

Para a Eletrobrás podemos encontrar a tabela 2, onde a classificação apresenta algumas diferenças da tabela 1, como a queda de projeto.

A classificação pode ser diferente de acordo com o país, de acordo com o desenvolvimento tecnológico industrial em um determinado período, como mostra a tabela 3.

Tabela 2: Classificação de PCH quanto à potência e queda de projeto

CLASSIFICAÇÃO DAS CENTRAIS	POTÊNCIA - P (kW)	QUEDA DE PROJETO - H _d (m)		
		BAIXA	MÉDIA	ALTA
MICRO	P < 100	H _d < 15	15 < H _d < 50	H _d > 50
MINI	100 < P < 1.000	H _d < 20	20 < H _d < 100	H _d > 100
PEQUENAS	1.000 < P < 30.000	H _d < 25	25 < H _d < 130	H _d > 130

Fonte: Manual de PCH Eletrobrás (1982).

Tabela 3: Classificação das PCHs em conformidade com os diversos países

<i>País</i>	<i>Micro (kW)</i>	<i>Mini (kW)</i>	<i>Pequena (kW)</i>
Bolívia	100	101 – 1.000	--
China	100	101 – 500	501 – 25.000
Colômbia	--	--	>20.000
Equador	50	51 – 500	501 – 5.000
Filipinas	--	--	>15.000
França	500	501 – 2.000	2.001 – 8.000
Grécia	100	101 – 1.000	1.001 – 15.000
Índia	100	101 – 2.000	--
Indonésia	--	--	>5.000
Japão	--	--	>10.000
Nova Zelândia	--	10.000	10.001 – 50.000
Noruega	--	--	>10.000
Panamá	100	101 – 1.000	1.001 – 10.000
Peru	5 – 50	51 - 500	501 – 5.000
Polônia	100	101 – 1.000	1.001 – 15.000
Romênia	--	--	5 – 5.000
Suécia	--	100	101 – 15.000
Tailândia	200	201 – 6.000	6.001 – 15.000
EUA	500	501 – 2.000	2.001 – 15.000

Fonte: Balarim (1996).

2.3.1. Arranjos Básicos

Segundo a Eletrobrás e DNAEE (1985), para minicentrals hidrelétricas existem dois arranjos básicos a se considerar: Central Hidrelétrica a Fio D'água e Central Hidrelétrica de Acumulação com regularização diária de reservatório.

2.3.1.1. Central hidrelétrica a fio d'água

Schreiber (1977) define central a fio d'água aquela que não dispõem de uma bacia de acumulação d'água significativa e cuja produção é inconstante, dependendo da oscilação da vazão do rio.

A Eletrobrás e DNAEE (1985) esclarecem: “este tipo de central é empregado quando a vazão mínima do rio é igual ou maior que a descarga necessária à potência a ser instalada para atender à demanda máxima do mercado consumidor”.

A captação de água pode ser feita através de uma pequena barragem, onde o volume do reservatório criado é desprezado e projeta-se todo o sistema de adução para conduzir a descarga necessária à potência que atenda a demanda máxima (ELETROBRÁS e DNAEE, 1985).

2.3.1.2. Central hidrelétrica de acumulação com regulação diária do reservatório

A Eletrobrás e DNAEE (1985) afirma que:

“Este tipo de central é empregado quando a vazão mínima do rio não é suficiente para atender à descarga necessária à potência para suprir a demanda máxima do mercado consumidor e recorre-se à contribuição de reservatório que, através do seu volume d'água utilizável diariamente, acresce à descarga mínima do rio uma descarga regularizada correspondente.”

2.4. ESTRUTURA DE MINICENTRAIS HIDRELÉTRICAS

Segue na figura 3 a sequência lógica do dimensionamento da estrutura e equipamentos de uma minicentral hidrelétrica.

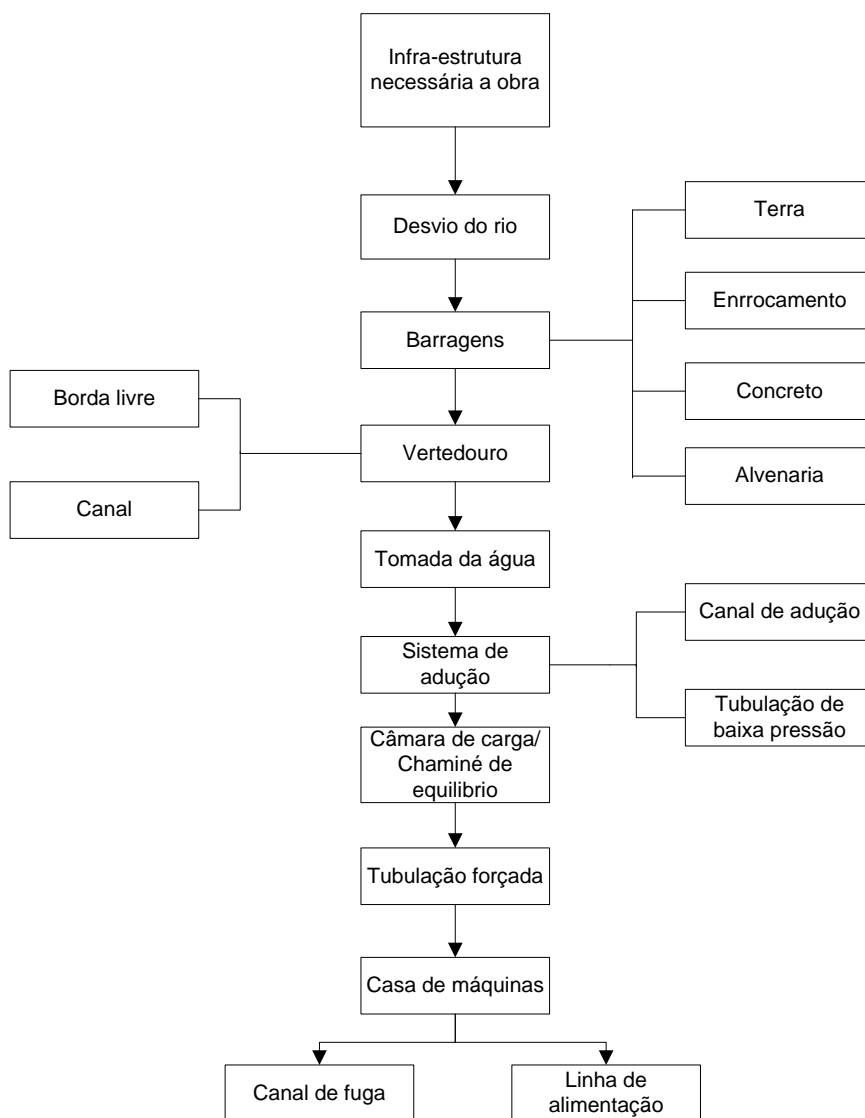


Figura 3: Estrutura dos componentes para micro e minicentraís hidrelétricas

Fonte: Adaptação Balarim (1999).

2.5. ANÁLISE INICIAL PARA O PROJETO DE PCH

Segundo a Eletrobrás e DNAEE (1985), os estudos iniciais devem fornecer dados básicos referentes à queda bruta do aproveitamento, perfis do terreno, vazões

naturais do curso d'água, vazões mínimas e a potência necessária para suprir o centro consumidor.

Os principais itens a serem observados são a existência de estradas e as condições mínimas de alojamento e assistência à saúde para os trabalhadores, bem como um sistema de captação de água e lançamento de detritos (BALARIM, 1999).

Através dos dados e conhecimentos adquiridos, torna-se possível realizar o dimensionamento das obras civis de tomada d'água, canal de adução, tubulação de adução em baixa pressão e tubulação forçada (ELETROBRÁS e DNAEE, 1985).

A casa de máquinas dependerá do conhecimento da potência exata a ser instalada e das dimensões da unidade geradora (ELETROBRÁS e DNAEE, 1985).

2.5.1. Medição da Vazão

Os estudos hidrológicos realizados para o projeto devem compreender: o regime fluviométrico do rio, com determinação das vazões para utilização no cálculo da potência a ser instalada, a vazão de desvio do rio durante a construção, a vazão de projeto das estruturas extravasadoras, ou cheia de projeto e a relação cota-descarga a jusante da central (ELETROBRÁS e DNAEE, 1985 p. 45).

Segundo a Eletrobrás e DNAEE (1985), a coleta dos dados fluviométricos deverá ser realizada simultaneamente a coleta de outras informações. Recomenda-se a consulta para coleta de dados através do DNAEE, órgãos estaduais e municipais, entre outros. Os dados coletados referem-se a: Mapas diversos, perfis transversais e longitudinais dos rios, dados topográficos, geológicos, hidrométricos, sistema energético existente na região.

Deve-se definir a implantação de um posto fluviométrico, sistema implantado em um local de um curso da água, o qual vai permitir conhecer, neste local, a função lâmina da água em relação à vazão (SOUZA, 2009).

Souza (2009) recomenda que o local escolhido para a instalação do posto fluviométrico seja um trecho retilíneo do curso da água, que tenha seção transversal com calha o mais estável possível, livre de vegetação, o que permitirá a utilização da curva chave. Segundo a Eletrobrás e DNAEE (1985), deve-se considerar a referência de nível, escalas linimétricas, levantamento da seção transversal.

Na maioria dos postos instalados as leituras são feitas diretamente, três vezes por dia, em réguas instaladas em uma das margens da seção transversal, em escalas acopladas a bóias ou registradores semanais (SOUZA, 2009).

Dentre as diversas formas para se medir a vazão, os mais simples são aqueles realizados por meio de flutuadores ou vertedores (ELETROBRÁS e DNAEE, 1985).

Na medição com flutuador, escolhe-se um trecho reto do curso da água cujo leito seja uniforme e onde a água flua serenamente. Mede-se o seu comprimento (L) que, se possível, deve ser superior a 10 metros, marcando-se seu início e fim. A alguns metros a montante do início do trecho escolhido e no meio do leito coloca-se um flutuador, constituído por uma garrafa fechada e lastrada com água em 1/3 do seu volume. Com cronômetro, determina-se o tempo, em segundos, que o flutuador gasta para percorrer o trecho escolhido para a medição da vazão (ELETROBRÁS e DNAEE, 1985).

O processo de medição com vertedor retangular conduz a resultados mais precisos que o processo da medição com flutuador. Neste método, barra-se o curso da água com um painel de tábuas que tenha uma abertura retangular no centro, suficiente para a passagem de toda a água. A largura do vertedor deve ter de metade até dois terços da largura do curso da água. Os cortes da abertura devem ser chanfrados na direção do fluxo da água e a crista do vertedor deve ser bem nivelada. Depois de vedadas todas as fendas do painel e firmado o vertedor, crava-se, a montante do mesmo e a uma distância mínima de 6 vezes a altura máxima, uma estaca, cuja extremidade superior deve ficar no nível em que está a crista do vertedor. Espera-se que o escoamento da água se faça normalmente, através do vertedor, e mede-se a altura do nível da água (h) sobre o topo da estaca (ELETROBRÁS e DNAEE, 1985).

Souza *et al.* (1983) trata sobre o método dos molinetes que, atualmente, é o mais conhecido para a medição de vazão em virtude de sua precisão. Segundo Souza *et al.* (1983):

“Consiste basicamente em uma hélice cuja rotação é proporcional à velocidade do líquido. Geralmente a hélice é ligada a um sistema de engrenagens que, a cada 5, 10, 20 ou 30 voltas, atua num contato elétrico. Isso permite ao operador, na superfície, saber a velocidade do filete que está sendo analisado.”

2.5.2. Barragem

“Barragem é uma obra de engenharia que tem por objetivo reter água para determinados fins, criando, artificialmente, um desnível local” (SOUZA, 2009).

Souza (2009) destaca que uma barragem cria a montante um reservatório de acumulação, que pode ser utilizado para os diversos fins: Geração de energia elétrica, irrigação, regulação para navegação, abastecimento de água pública e industrial, lazer, entre outros, podendo atender a mais de uma finalidade simultaneamente.

A barragem deve elevar o nível das águas do rio, permitindo o afogamento da tomada de água. Segundo a Eletrobrás e DNAEE (1985), no caso de minicentrals, a altura da barragem prevista deve ser da ordem de 5 metros. Souza *et al.* (1983) enfatiza que, depois de concluída, a barragem deve satisfazer duas condições: ser estável em qualquer condição e apresentar grau de estanqueidade compatível com seus objetivos.

Segundo Alves (2007), o projetista usa a estabilidade e margem de segurança como critérios principais na construção de barragens. Estas devem ser projetadas para resistir a falhas por tensão, deslizamento e rupturas.

Schreiber (1977) classifica as barragens segundo o material de construção, separando em barragens de terra, de enrocamento, de alvenaria, de concreto ou do tipo misto.

2.5.2.1. Barragem de terra

A Eletrobrás e DNAEE (1985) recomendam este tipo de barragem para locais onde haja grande disponibilidade de solo argiloso e dificuldade para obter blocos de rocha para enrocamento, utilizando o solo escavado no canal de adução e no vertedouro. Ainda segundo a Eletrobrás e DNAEE (1985), este tipo de barragem é geralmente escolhido em função do volume e qualidade dos materiais existentes no local.

Uma vez que, sendo a finalidade da barragem criar um desnível hidráulico, não sendo preponderante a acumulação de água no reservatório para regularização da vazão do rio, as exigências de permeabilidade do corpo da barragem e das

fundações são pouco rigorosas, evitando apenas que a água que se infiltra pela barragem tenha altas velocidades para não ocorrer erosão no corpo da mesma (ELETROBRÁS e DNAEE, 1985).

2.5.2.2. Barragem de Enrocamento

Schreiber (1977) afirma que “barragens de enrocamento são construídas principalmente em locais onde existe rocha adequada sem grande cobrimento e o material argiloso, para construção de uma barragem de terra, é escasso”.

A barragem de enrocamento é formada pelas partes principais que são constituídas de pedras de maior tamanho e o elemento vedante que é constituído de material mais fino como o solo argiloso (ELETROBRÁS e DNAEE, 1985).

2.5.2.3. Barragem de Alvenaria de Pedra Argamassada

A Eletrobrás e DNAEE (1985) recomendam a barragem de alvenaria para vales relativamente estreitos, onde o represamento requer pouca altura. A decisão de construir o tipo apresentado de barragem tem como base as condições locais, dimensões e tipo de construção.

2.5.2.4. Barragem de Concreto do Tipo Gravidade

Barragem que resiste à ação das forças externas exclusivamente por efeito de seu peso próprio (SOUZA, 2009). Consiste em um muro, cuja seção transversal se aproxima a de um triângulo retângulo, resiste à pressão da água do reservatório e à subpressão das águas que se infiltram pelas fundações. Possui o vertedouro, de preferência coincidente com a parte central do vale, destinado a permitir extravasar as águas excedentes (ELETROBRÁS e DNAEE, 1985).

2.5.2.5. Barragem Tipo Misto

Para Souza (2009), barragem mista tem sua estrutura composta de um núcleo de terra compactada, o qual é revestido com placas de concreto.

Barragem do tipo misto compreende barragem com trechos de concreto e trechos de terra ou enrocamento. Barragem constituída parcialmente de terra compactada e de enrocamento não é classificada no tipo misto, mas sim segundo o material que constitui a maior parte da barragem (SCHREIBER, 1977).

2.6. PROJETOS HÍDRICOS

Segundo Skrotzki e Vopat (1996), a maioria de projetos hídricos é desenvolvida para produzir energia elétrica para usos próprios privados. Muitos projetos custeados pelo governo tentam servir a diversas finalidades com relação à geração de energia, tais como: controle da inundação de rios; armazenamento e manutenção dos níveis de água da correnteza do rio para necessidades da navegação; armazenamento da água para irrigação; e armazenamento para o abastecimento de água potável. A disposição de projetos de estação hídrica depende dos serviços que a estação deve executar, da topografia ao redor.

Estes fatores por sua vez, junto com as características físicas do local, regulam o tipo e o arranjo das barragens, dos vertedouros, e dos sistemas de adução. Muitos tipos de barragens podem ser encontrados em um projeto, a economia da região em particular determina o tipo escolhido. As barragens elevadas predominam onde o rio possui queda de uma longa distância, e as represas baixas são erguidas mais frequentemente na base de quedas concentradas. As barragens perto da base das cachoeiras custam menos, mas têm frequentemente canalizações mais longas até a casa de força. (ALVES, 2007)

A casa de força está geralmente próxima dos aproveitamentos para minimizar custos de escavação. As canalizações longas causam perdas de pressão e aumentam o custo da instalação.

2.6.1. Conduto Forçado

Os condutos forçados das centrais hidrelétricas podem ser de chapas de aço soldadas, aço laminado sem costura, ferro fundido, cimento-amianto, PVC ou madeira, tudo dependendo das condições técnicas e econômicas. Quanto à instalação podem ser a céu aberto ou enterrados, quando não necessitam de juntas de dilatação (SOUZA, 2009). A Eletrobrás e DNAEE (1985) considera que, para minicentrais hidrelétricas, as tubulações forçadas possuem o mesmo diâmetro ao longo de todo o comprimento.

2.6.1.1. Diâmetro econômico para o conduto forçado

O Manual apresentado em Eletrobrás (1985) define o diâmetro econômico como:

“Aquele em que a relação benefício/custo é máxima. Entende-se por benefício o valor da energia a ser produzida durante toda a vida útil da central e por custo, a soma dos custos de materiais, montagem, manutenção, juros e amortizações.”

O diâmetro calculado, que pode ser considerado sem grandes erros, como econômico, pode ser obtido pela fórmula de Bondschu (ELETROBRÁS e DNAEE, 1985):

$$D_e = 127 \sqrt[7]{\frac{Q^3}{H_t}} \quad (1)$$

Sendo:

$$H_t = H + h_s \quad (2)$$

E:

D_e – diâmetro econômico, em cm

Q – descarga máxima na tubulação, em m^3/s

H_t – carga hidráulica total sobre a tubulação, em m

H – queda bruta = carga hidráulica estática sobre a tubulação, em m

h_s – sobrepressão hidráulica devido ao golpe de aríete, em m

Para minicentraís pode-se admitir a simplificação:

$$h_s = 0,2 H \quad (3)$$

Logo:

$$H_t = 1,2 H \quad (4)$$

Resultando na simplificação da equação (1):

$$D_e = 123,7 \sqrt[7]{\frac{Q^3}{H}} \quad (5)$$

2.6.1.2. Velocidade do líquido no interior do conduto forçado

Calculado o diâmetro econômico e tendo conhecimento da descarga máxima na tubulação, pode-se obter a velocidade de escoamento:

$$v = \frac{4Q}{3,1416 D_e^2} \quad (6)$$

Onde:

v – velocidade de escoamento, em m/s

D_e – diâmetro econômico, em m

Q – descarga máxima na tubulação, em m³/s

A velocidade máxima admissível calculada permite saber de qual material a tubulação poderá ser constituída. No caso de minicentraís, são indicados os materiais referentes às velocidades como segue na tabela

Tabela 4: Material utilizado segundo velocidade máxima

Material	Velocidade máxima admissível (m/s)
Aço	5,0
Concreto	3,0

Fonte: Eletrobrás e DNAEE (1985).

2.6.1.3. Espessura do conduto forçado

A Eletrobrás e DNAEE (1985) definem que, para mini e microcentrais hidrelétricas, o cálculo de espessura da parede de uma tubulação em aço, pode ser realizada pela equação (7).

$$e = \frac{P_i \times D}{2 \times \sigma_f \times k_f} + e_s \quad (7)$$

$$P_i = H_1 + h_s \quad (8)$$

Onde:

D – diâmetro interno, em mm

P_i – pressão hidrostática máxima interna, em kgf/cm^2

σ_f – tensão admissível de resistência à tração do material, em kgf/cm^2

k_f – eficiência das soldas

e_s – sobre – espessura para corrosão – 1mm

H_1 – queda bruta subtraindo as perdas, em m

h_s – sobrepressão, em m

Para o dimensionamento do conduto forçado, a Eletrobrás e DNAEE (1985), definem uma perda de carga percentual máxima de 5%, onde considera-se a tubulação submetida à pressão interna, com uma sobrepressão de 35%, resistência do aço à tração (σ_f) de 1400 kgf/cm^2 , com eficiência da junta de solda (k_f) igual a 0,8, desprezando-se a depressão.

Ainda segundo a Eletrobrás e DNAEE (1985), existe uma espessura mínima a ser respeitada para a tubulação forçada em aço, que é determinada pela equação (9). Caso a espessura (e) calculada seja menor que a espessura mínima (e_{min}) prevista, utiliza-se a espessura mínima.

$$e_{min} = \frac{D + 508}{400} \geq 4,76\text{mm} (3/16'') \quad (9)$$

2.6.2. Vertedouro ou Extravasador

Para Souza (2009) o extravasador de reservatório ou de barragem é uma obra projetada e construída com o objetivo de escoar o excesso de água acumulada pelo reservatório, evitando o risco de o nível de água atingir a crista do reservatório ou da barragem.

Alves (2007) alerta que a operação segura do vertedouro é o objetivo principal no projeto, pois a falha do mesmo pode conduzir à falha da barragem levando danos à propriedade e possíveis perdas de vidas, principalmente para barragens do tipo de terra ou enrocamento, que não podem suportar transbordamentos.

Segundo a Eletrobrás e DNAEE (1985), de forma geral, dependendo do porte da obra, podem ser definidos dois tipos básicos de solução para o extravasamento do excesso de água:

- a) Extravasamento por um canal lateral, com fundo situado em cota mais elevada em relação ao leito natural do rio;
- b) Extravasamento por sobre o corpo da própria barragem, ao longo de toda a crista ou parte dela.

Também podem ser aventadas hipóteses de soluções mistas, em que exista mais de um órgão responsável pelo extravasamento, como a adoção de um canal lateral, prevendo-se ainda que a água possa verter por sobre a barragem (ELETROBRÁS e DNAEE, 1985).

2.6.3. Tomada D'água e Desarenador

A tomada da água é destinada a captar a água, conduzir aos órgãos adutores e daí às turbinas hidráulicas. Deve impedir a entrada de corpos flutuantes, que possam danificar as turbinas (SCHREIBER, 1977).

Além da retenção de corpos flutuantes e de material sólido, a tomada da água permite o “ensecamento da tubulação forçada ou canal de adução para a realização de obras de manutenção e eventuais reparos” (ELETROBRÁS e DNAEE, 1985).

A tomada pode ser ligada diretamente à tubulação forçada ou, dependendo da topografia local, pode descarregar a água captada em um canal aberto de adução ou em uma tubulação de baixa pressão que transportará a água até a tubulação forçada (ELETROBRÁS e DNAEE, 1985).

Souza (2009) aconselha que a locação a tomada da água considere:

- escoamento, se possível isento de perturbações e de baixa velocidade;
- Mínimo transporte de material sólido;
- Possibilidade de acesso para manutenção;
- Garantia de afogamento do conduto forçado ou do conduto de baixa pressão.

Para a realização de manutenção, vistorias e eventuais reparos, a tomada da água deve ser provida de ranhuras para a descida de uma comporta ou pranchões (ELETROBRÁS e DNAEE, 1985).

A Eletrobrás e DNAEE (1985) recomendam que, para evitar a entrada de sedimentos que danifiquem o conduto forçado e as máquinas, seja instalada na frente da tomada da água uma estrutura denominada desarenador. Esta estrutura tem por objetivo criar uma zona de escoamento de baixa velocidade a montante da tomada da água, fazendo com que os sedimentos trazidos pela água ali se depositem.

2.6.4. Condutos de Adução da Água

Órgãos adutores, ou adutoras, são todas as construções que ligam a tomada da água às turbinas. Essa ligação pode ser efetuada por: canais ou túneis com lâmina d'água livre, tubulações, túneis sob pressão e poços forçados, verticais ou inclinados. A escolha do tipo de adutora depende do tipo da central e das condições topográficas (SCHREIBER, 1977).

Nos casos em que o aproveitamento ocorre por uma queda natural e a barragem tem o objetivo apenas de garantir o afogamento da boca da estrutura de captação, torna-se geralmente necessária a utilização de um canal de adução ligando a tomada da água até a câmara de carga, ou chaminé de equilíbrio, a qual acopla-se ao conduto forçado (ELETROBRÁS e DNAEE, 1985).

A declividade do canal de adução deve ser mínima e constante, pode ser construído em solo natural ou revestido com enrocamento, pedra argamassada, concreto ou outro material (ELETROBRÁS e DNAEE, 1985).

O conduto forçado liga a câmara de carga, ou chaminé de equilíbrio, ou a tomada da água às turbinas e está sujeito a pressões internas crescentes, de cima para baixo, até alcançar a altura da queda estática da central, acrescida do eventual golpe de aríete (SCHREIBER, 1977).

2.6.5. Câmaras de Carga

A câmara de carga é a estrutura que interliga o canal com o conduto forçado. Esta deve ser dimensionada de modo a atender duas condições críticas de operação da central: em partida brusca, garantir que não entre ar no conduto forçado, e em parada brusca, garantir estabilidade funcional da câmara de carga e do canal adutor (SOUZA, 2009).

2.6.6. Chaminé de Equilíbrio

A chaminé de equilíbrio é uma estrutura, em concreto ou aço, constituída de um reservatório cilíndrico, de eixo vertical, normalmente implantada entre o trecho de adução de baixa declividade, constituído por uma tubulação em baixa pressão e o trecho de adução de grande declividade, constituído por uma tubulação forçada (ELETROBRÁS e DNAEE, 1985).

Como finalidade a chaminé de equilíbrio amortece as variações de pressão, que se propagam pelo conduto forçado, devido ao golpe de aríete, decorrente do fechamento rápido da turbina, e armazena água para fornecer ao conduto forçado o fluxo inicial provocado pela nova abertura da turbina, até que se estabeleça o regime contínuo.

Se for necessária a instalação, a chaminé de equilíbrio deve ser instalada o mais próximo possível da casa de força, para se ter o comprimento reduzido do conduto forçado e diminuir os efeitos do golpe de aríete.

2.6.7. Golpe de Aríete

Souza (2009) define:

“O transiente hidráulico máximo, positivo e negativo, que ocorre sempre que a velocidade v (m/s) do escoamento varia de seu valor máximo para o mínimo, zero, atuando-se no dispositivo de controle da vazão, denomina-se golpe de aríete.”

Em outras palavras, a pressão normal no interior da tubulação forçada sofre variações quando há mudanças súbitas de descarga. Essas mudanças são resultantes de fechamentos ou aberturas rápidas, parciais ou totais, do dispositivo de fechamento da turbina. As variações podem ser positivas ou negativas, conforme o engolimento da turbina diminua ou aumente repentinamente (ELETROBRÁS e DNAEE, 1985).

Para o projeto da tubulação forçada devem ser conhecidos os valores da sobrepressão e da depressão, decorrentes do golpe de aríete. O valor de sobrepressão interessa para o dimensionamento da espessura da tubulação e o valor de depressão para verificar se a linha piezométrica, não corta a tubulação, a fim de evitar pressões negativas (ELETROBRÁS e DNAEE, 1985).

2.6.8. Casa de Máquinas

A casa de máquinas (CM) “tem a finalidade de alojar as máquinas e os equipamentos, possibilitar sua montagem e eventual desmontagem e sua operação e manutenção” (SCHREIBER, 1977).

A CM encontra-se entre a câmara de carga e o canal de fuga, local onde se devem restituir as águas turbinadas ao rio. Uma vez determinada a localização da CM, deve ser verificado a cota do seu piso, de forma a evitar ser atingido pela cheia do rio (ELETROBRÁS e DNAEE, 1985).

Na CM define-se primeiramente definir a posição da turbina do ponto de vista hidráulico, depois a disposição dos equipamentos eletromecânicos. Então se deve encontrar uma solução compatível de espaço ao redor dos equipamentos para efeito de montagem e futura manutenção (ELETROBRÁS e DNAEE, 1985).

Este é o elemento principal da central hidrelétrica, pois nela estão concentrados os indicadores, dispositivos de proteção e quadro de controle e de comando necessários ao bom funcionamento da central (ELETROBRÁS e DNAEE, 1985).

2.6.9. Canais de Fuga

O canal de fuga “é a estrutura que faz recondução da água ao rio, após a passagem pela turbina” (ELETROBRÁS e DNAEE, 1985).

Souza (2009) explica que o canal de fuga consiste em reduzir a energia cinética da água a valores que evitem erosão em toda a região de descarga.

Na saída da turbina, a água pode apresentar velocidade razoável e para evitar, erosões, quer no fundo do canal, quer nas paredes laterais, são recomendados canais de fuga. Há casos em que as turbinas utilizam tubo de sucção, necessário quando se deseja colocar a CM afastada da margem do rio em terreno mais alto, neste caso deve haver a instalação de uma soleira afogadora na saída do tubo de sucção, com objetivo de criar um nível d'água de restituição artificial mais alto que o nível d'água natural do rio.

2.7. TURBINAS HIDRÁULICAS

Souza (1983) define a turbina hidráulica como:

“Máquina com a finalidade de transformar a maior parte da energia de escoamento contínuo da água que a atravessa em trabalho mecânico. Consiste, basicamente, de um sistema fixo hidráulico e de um sistema rotativo hidromecânico destinado, respectivamente, à orientação da água em escoamento e à transformação em trabalho mecânico.”

A Eletrobrás e DNAEE (1985), afirmam que:

“As turbinas hidráulicas utilizadas nas minicentrals hidrelétricas devem ser selecionadas de modo a se obter facilidade de operação e manutenção, dando-se grande importância a sua robustez. Assim sendo, na escolha de uma turbina deve-se analisar, além de seu preço, as garantias oferecidas pelo fabricante quanto à ausência de cavitação no rotor da turbina”.

Para Souza (1992), o critério para escolha da turbina é que a mesma tenha a maior rotação possível, trabalhando com cavitação controlada no campo entre carga máxima e mínima e, que neste campo, o rendimento máximo seja reduzido em, no máximo, 10% para pequenas centrais hidrelétricas.

A NBR 9969 de 1987 classifica as turbinas hidráulicas quanto a potência no eixo e a vazão em:

- a) Microturbinas hidráulicas: Cuja potência é igual ou inferior a 100kW e vazão de até $2\text{m}^3/\text{s}$;
- b) Miniturbinas hidráulicas: Cuja potência de até 1000kW e vazão até $7\text{m}^3/\text{s}$.

A NBR 9969 de 1987, também classifica as turbinas quanto à forma de transformação de energia: Turbinas de ação e turbinas de reação.

Nas turbinas hidráulicas de ação, o escoamento através do rotor ocorre sem variação da pressão estática, transformando somente a energia cinética da água. Exemplos desse tipo de turbina são: Turbinas Pelton e Turbinas Banki.

Na turbinas de reação, o escoamento através do rotor ocorre com variação de pressão estática, onde o trabalho mecânico é obtido pela transformação de energia cinética e de pressão da água. Exemplos desse tipo de turbina são: Turbinas Francis e Turbinas Hélice ou Kaplan.

2.7.1. Turbinas Pelton

A Turbina Pelton opera em quedas relativamente altas e pequenas vazões, com eixo horizontal (figura 4) no caso de ter um ou dois jatos injetores e eixo vertical (figura 5) para um número de três a seis jatos (SOUZA, 2009).

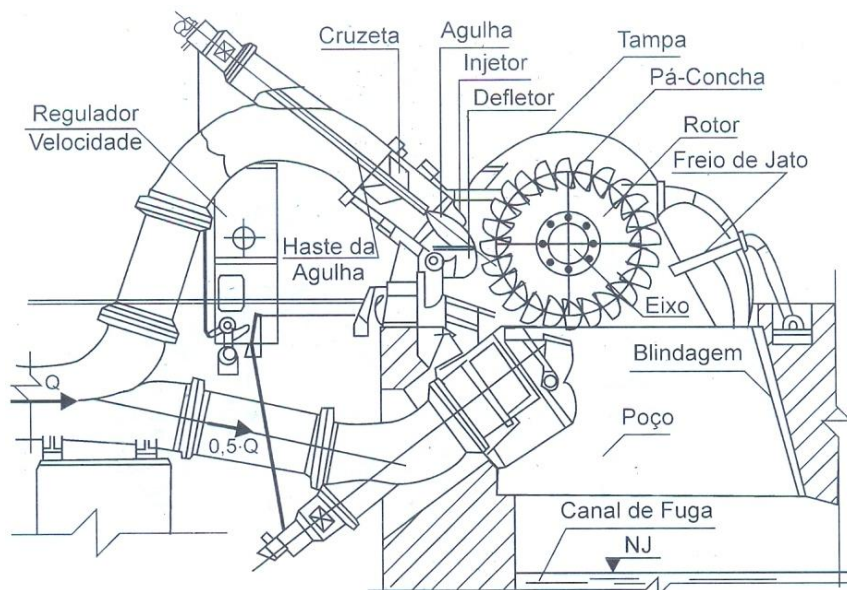


Figura 4: Corte transversal Turbina Pelton de 2 jatos e eixo horizontal

Fonte: Souza (2009).

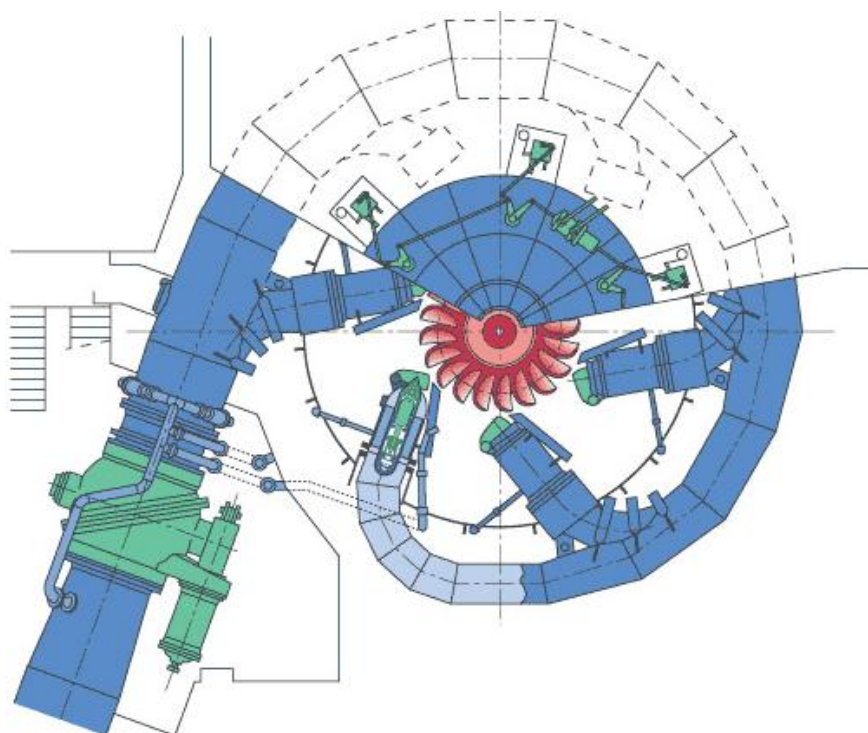


Figura 5: Corte transversal Turbina Pelton de 6 jatos e eixo vertical

Fonte: Souza (2009).

Schreiber (1977) explica que, a questão da turbina ser projetada com um ou mais injetores depende do tamanho das conchas, que está relacionado ao diâmetro do jato. Uma turbina com um só jato é mais simples, e conseqüentemente mais econômica. Porém, segundo a ELETROBRÁS e DNAEE (1985), uma turbina de dois

jatos permite uma rotação 1,4 vezes maior. Logo, deve-se analisar primeiramente a utilização da turbina de um jato, caso a velocidade de rotação seja baixa, é aconselhável comparar os custos do conjunto turbina-gerador.

A Turbina Pelton é basicamente constituída por um rotor, em torno do qual estão fixadas as pás ou conchas, por uma tubulação de adução contendo um ou mais injetores e por blindagens metálicas no caminho da água (ELETROBRÁS e DNAEE, 1985).

O rotor e suas conchas podem, em pequenas unidades, ser fundidos em uma única peça. Outra opção, normalmente mais cara, válida para maiores unidades, é a fabricação individual das conchas e posterior ligação por parafusos ao rotor, o que permite a troca de cada pá em caso de desgaste (ELETROBRÁS e DNAEE, 1985).

A Eletrobrás e DNAEE (1985) recomendam que:

“Para minicentraís deve-se prever a regulagem da descarga de água, e conseqüentemente da potência fornecida, por meio de uma peça móvel, colocada na parte interna do injetor e acionada por um mecanismo manual ou hidráulico, denominada agulha.”

A ELETROBRÁS e DNAEE (1985) assinalam que as dimensões da turbina deverão ser determinadas pelo fabricante, de modo que ele possa garantir o bom funcionamento e durabilidade da máquina.

2.7.2. Turbinas Banki

Segundo o Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas - CERPCH (2015), o campo de aplicação das turbinas Banki atende quedas de 3 a 100 m com vazões de 0,02 a 2,0 (m³/s). Devido à sua simplicidade construtiva e as peculiaridades quanto ao seu funcionamento, esta turbina mostra-se altamente indicada para ser usada em microcentrais hidroelétricas.

O fluxo d'água no rotor desta turbina é de seção retangular e incide inicialmente sobre uma parte das pás, cruza o interior e de novo incide ao sair o rotor, de tal modo que a vazão impulsiona duas vezes o rotor, por apresentar esta característica, a turbina também pode ser denominada de turbina de dupla ação (FLÓREZ, 2014).

A forma cilíndrica do rotor obriga que a turbina Banki seja de eixo horizontal (figura 6), característica que permite aumentar a extensão do rotor e assim ajustar-se a maiores faixas de vazão (FLÓREZ, 2014).

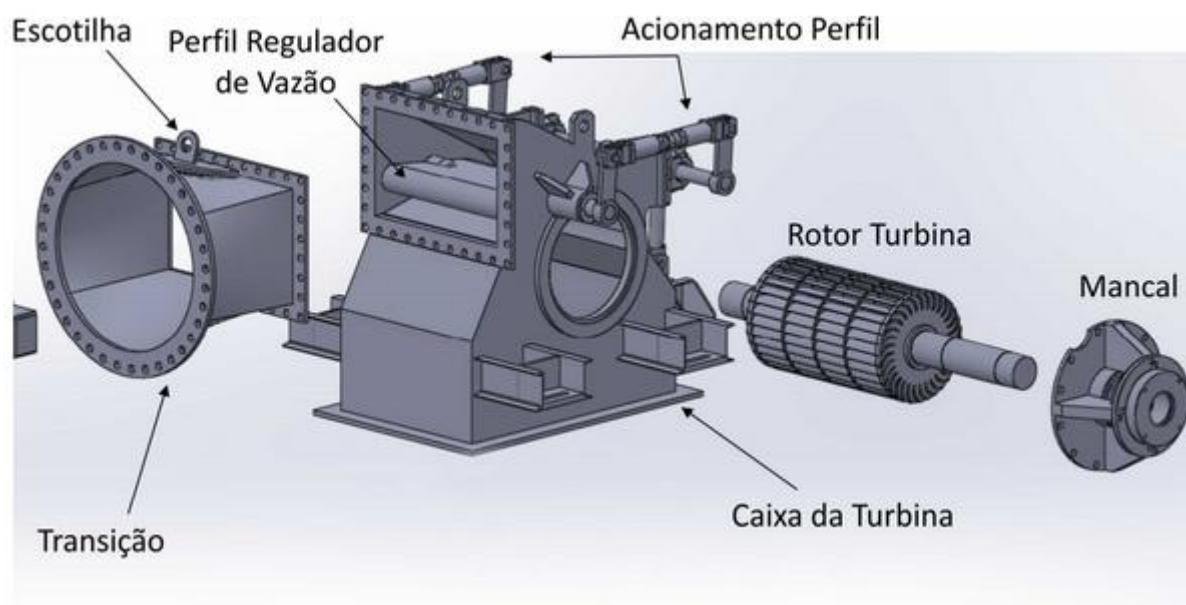


Figura 6: Turbina Banki

Fonte: Betta Hidroturbinas, 2014.

2.7.3. Turbinas Francis

Souza (2009) define que este tipo de turbina é normalmente utilizado para quedas entre 8m e 600m e que, por unidade, alcança potências da ordem de 850MW.

A Eletrobrás e DNAEE (1985) apontam que, aproveitamentos com quedas abaixo de 10 metros utilizam-se Turbinas Francis de Caixa Aberta e, em quedas acima de 10 metros, utilizam-se Turbinas Francis de Caixa Espiral.

A turbina de caixa aberta, utilizada para pequenas quedas, leva a ausência do conduto forçado e da caixa espiral, o que simplifica a concepção e diminui o custo do equipamento (ELETROBRÁS e DNAEE, 1985).

Neste tipo de turbina, o rotor, o distribuidor, o tubo de sucção e a parte do eixo ficam situados dentro de uma câmara em comunicação direta com a câmara de carga e abaixo do nível mínimo da montante (ELETROBRÁS e DNAEE, 1985).

O rendimento da turbina de caixa aberta é menor se comparado a turbina de caixa espiral, devido à maior aspereza das paredes, que ocasiona vórtices localizados e maiores perdas de pressão no distribuidor, mas é compensado pelo custo mais baixo. As turbinas de caixa aberta apresentam baixas velocidades de rotação e em muitos casos há a necessidade de se instalar um multiplicador de velocidade, para o acoplamento com o gerador (ELETROBRÁS e DNAEE, 1985).

A turbina de caixa espiral, recomendada para quedas maiores de 10 metros é normalmente feita em chapa de aço soldada ou em ferro fundido. Para micro e minicentraís, têm o eixo disposto horizontalmente, devido às facilidades de instalação e manutenção (ELETROBRÁS e DNAEE, 1985).

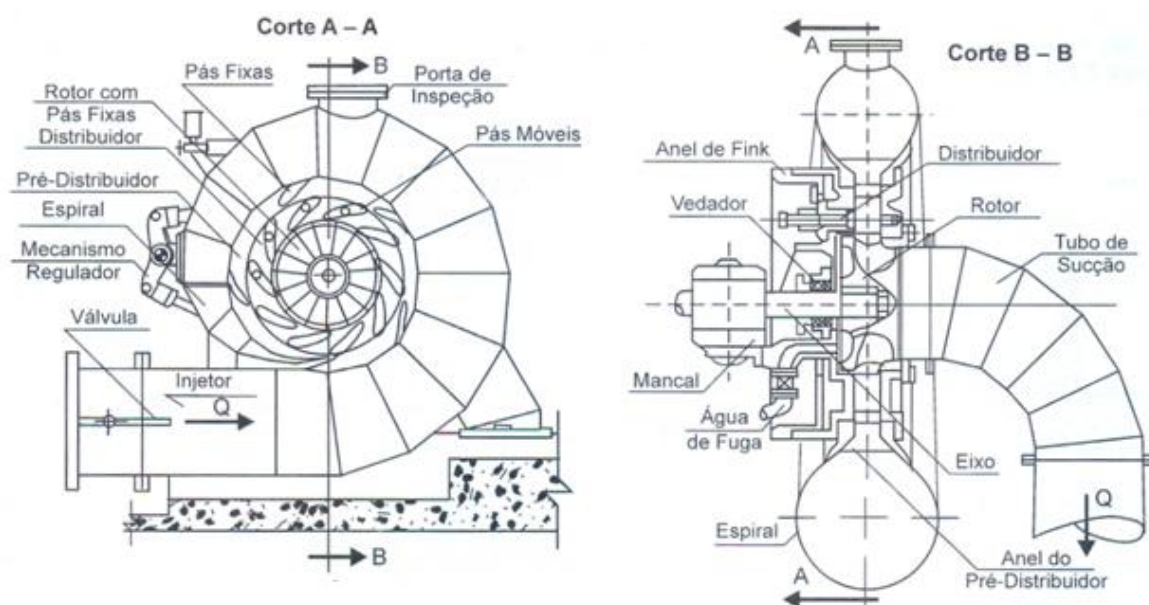


Figura 7: Corte transversal Turbina Francis caixa espiral de eixo horizontal

Fonte: Souza, 2009.

Neste tipo de turbina, a variação de potência é obtida através da abertura e fechamento das palhetas do distribuidor. A Eletrobrás e DNAEE (1985) recomenda que turbinas com eixo horizontal, tenham o piso de acesso à turbina cerca de 1,5 metros acima do nível da água mínimo da jusante.

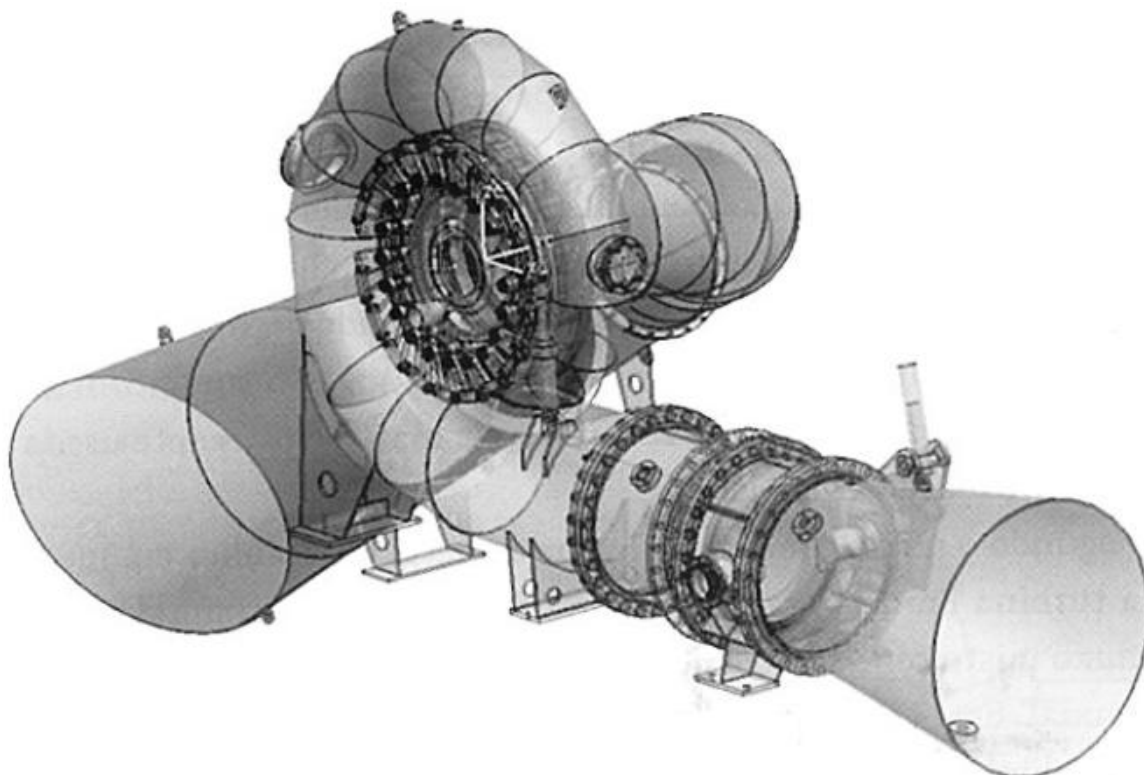


Figura 8: Turbina Francis eixo horizontal

Fonte: Floréz, 2014.

2.7.4. Turbinas Hélice

Com relação à forma da carcaça e da maioria dos componentes, estas turbinas se assemelham às turbinas Francis, exceto na geometria do rotor, que é composta por um cubo de pás em forma de asa de sustentação, cujo número varia de três a oito. Estas pás podem ser fixadas rigidamente ao cubo, ou as pás podem ter movimento em relação ao cubo (SOUZA, 2009).

Schreiber (1977) esclarece que as turbinas com pás fixas têm sua curva de rendimento muito aguda, com carga um pouco maior ou menor do ponto ótimo, o rendimento cai rapidamente, por isso são raramente utilizadas. Esse defeito é eliminado com o uso das pás ajustáveis, em dependência das aletas do distribuidor e conseqüentemente da carga. As turbinas que apresentam a característica de pás ajustáveis é conhecida como Turbina Kaplan.

As turbinas Hélice são utilizadas com maior frequência em aproveitamentos com quedas menores de 12 metros e em pequenos aproveitamentos por apresentar

um custo mais baixo com relação a Turbina Kaplan. Assim como a Turbina Francis, este tipo de turbina pode ser montado em caixa aberta ou com caixa espiral (ELETROBRÁS e DNAEE, 1985).

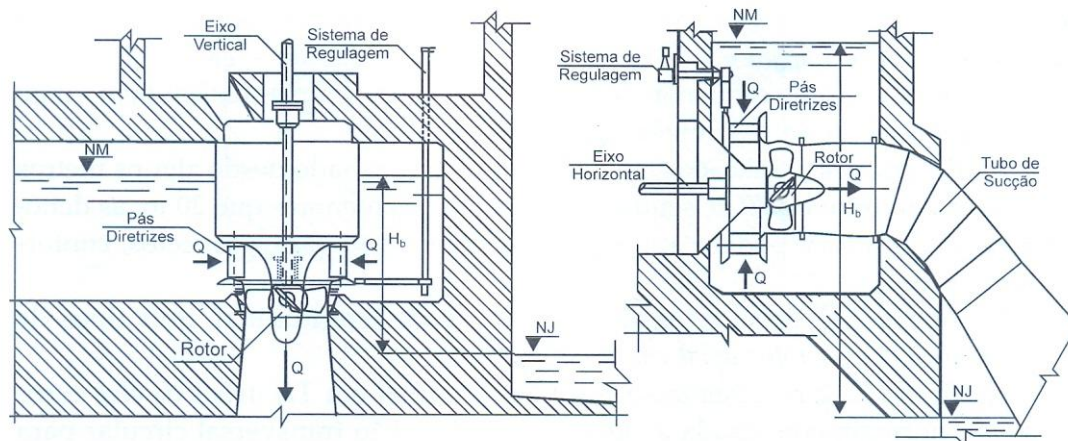


Figura 9: Corte transversal Turbina Hélice em caixa espiral

Fonte: Souza, 2009.

Para Turbina Hélice de caixa aberta, utilizada em quedas inferiores a 10 metros e para a Turbina Hélice em caixa espiral, para quedas inferiores a 12 metros, valem os mesmos comentários feitos para a Turbina Francis, porém com uma vantagem, a velocidade de rotação é ligeiramente superior, o que leva a uma melhor adaptação para o gerador (ELETROBRÁS e DNAEE, 1985).

2.8. CAVITAÇÃO EM TURBINAS HIDRÁULICAS

Henn (2006) define cavitação como a formação e subsequente colapso, no seio de um líquido em movimento, de bolhas ou cavidades preenchidas, em grande parte, por vapor líquido.

Souza (2009) observou que a água muda de fase obedecendo à curva de tensão do vapor, nesta mudança a massa específica da água passa de 1000kg/m^3 para em torno de 1kg/m^3 , conseqüentemente aumenta inversamente seu volume específico. Tal fato ocasiona a formação de bolhas de vapor e de gases.

Tabela 5: Curva do vapor de água

Pressão de vapor mca	Temperatura °C
20	0,0234
40	0,0738
60	0,199
80	0,474
100	1,013

Fonte: Pfleiderer e Petermann, 1979.

A formação de cavidades macroscópicas em um líquido ocorre a partir de núcleos gasosos microscópicos. O crescimento destes núcleos microscópicos acontece por vaporização sempre que a pressão em um ponto qualquer do escoamento tem valores iguais ou inferiores à pressão de vaporização do líquido na temperatura em que ele se encontra, até o local em que a pressão torna-se novamente superior à pressão de vaporização da água. Neste ponto, o vapor contido no interior das bolhas condensa-se bruscamente, deixando um espaço vazio, preenchido rapidamente pela água circundante, causando o que se denomina implosão das bolhas (HENN, 2006).

Segundo HENN (2006) as superfícies metálicas próximas as zonas de colapso das bolhas são atingidas por golpes altamente concentrados e repetidos que acabam por descarregar partículas de material por fadiga, formando pequenas crateras que caracterizam a erosão por cavitação. Souza (2009) informa que este fenômeno causa efeitos destrutivos e de queda de potência ativa, além da redução da vida útil de toda a instalação.

Há necessidade das turbinas hidráulicas serem instaladas com uma altura de sucção adequada. A altura de sucção é medida sempre do nível de jusante até o eixo para turbinas de eixo horizontal e até a linha média do distribuidor para o eixo vertical (SOUZA, 2009).

Segundo Souza (2009), a altura máxima de sucção segue a equação:

$$H_{max} = 10 - 0,00122 \times z_b - \sigma \times H \quad (10)$$

Sendo:

z_b – Altitude de nível mínimo de jusante no canal de fuga

σ – Coeficiente de cavitação

2.9. SELEÇÃO DAS TURBINAS HIDRÁULICAS

A NBR 10208 de 1988 informa que para a seleção de turbinas utilizáveis em pequenas centrais hidrelétricas, além dos condicionantes econômicos e outros próprios do local, devem ser considerados os seguintes aspectos:

- a) Robustez e simplicidade do equipamento;
- b) Facilidade de operação;
- c) Facilidade de manutenção;
- d) Assistência técnica.

A NBR 10208 de 1988 também garante que a maioria desses aspectos podem ser obtidos por aval do fabricante no tocante a: cavitação, vibração, ruído e peças de reposição.

2.10. GERADOR

Em PCH's sempre são utilizados geradores síncronos, que operam com velocidade constante independentemente da carga elétrica que é colocada em seus terminais. O dimensionamento do gerador, normalmente solucionado pelo fabricante, considera variáveis como: número de pólos, potência, tensão, fator de potência, rendimento, sistema de excitação e aterramento (BALARIM, 1996).

O controle de velocidade do grupo turbina-gerador é feito por um regulador de velocidade, que faz com que a turbina tenha sua potência controlada mesmo com as variações de cargas solicitadas pelo gerador (BALARIM, 1996)

De acordo com a Eletrobrás (2015) o gerador é dimensionado em função da potência disponível no eixo da turbina através da equação abaixo.

$$P_G = P_T \times \frac{n_G}{\cos \phi} \quad (11)$$

Onde:

P_G – potência do gerador (kVA)

P_T – potência no eixo da turbina (kW)

n_G – rendimento do gerador

$\cos \phi$ – fator de potência do gerador

De acordo com GOMES (2010), o fator de potência é definido em função das necessidades do sistema elétrico ao qual o gerador será conectado e o rendimento, se não indicado pelo fabricante, considera-se:

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

2.11.REGULADORES DE VELOCIDADE

Souza (1992) afirma que:

“Os reguladores de velocidade das turbinas hidráulicas tem por objetivo manter, durante a operação do grupo, a velocidade praticamente constante quando a carga é constante ou sofre variações, permitir variações da velocidade com tempo de retorno a velocidade nominal muito pequeno, sendo que a variação máxima da velocidade para uma rejeição total da carga não ultrapasse a sobrevelocidade de cálculo.”

O regulador de velocidade (RV) desempenha o papel fundamental de controle da potência ativa, notadamente quando o grupo gerador (GG) está operando em paralelo com a rede ou com outra máquina (SOUZA, 2009).

Os reguladores automáticos de velocidade, geralmente empregados nas microcentrais hidrelétricas “são do tipo mecânico, constituídos por um servomecanismo acionado por óleo pressurizado, comandado por um pêndulo centrífugo” (ELETROBRÁS e DNAEE, 1985).

Qualquer variação de rotação do GG coloca em funcionamento o servomecanismo de acionamento do distribuidor da turbina. O distribuidor dispõe o fluxo de água por meio da turbina e controla a sua variação de potência, conforme a variação da carga na unidade geradora (ALVES, 2007).

Segundo Souza (2009) existem basicamente dois tipos de RV: RV isócrono e RV com estatismo permanente. O regulador isócrono, em regime permanente, mantém a velocidade de rotação constante e igual à velocidade de referência, no entanto suas características em regime transitório são ruins. Sua aplicação é fortemente indicada para sistemas isolados, que é o caso da MCH de Roncador.

2.12. CARACOL OU CAIXA ESPIRAL

A caixa espiral é uma tubulação de forma toroidal que envolve a região do rotor. Esta parte fica integrada à estrutura civil da usina, não sendo possível ser removida ou modificada. O objetivo é distribuir a água igualmente na entrada da turbina.

É normalmente fabricada com chapas de aço carbono soldadas em segmentos. A caixa espiral liga-se ao conduto forçado na secção de entrada, e ao pré-distribuidor na secção de saída (ALVES, 2007).

2.13. VOLANTE DE INÉRCIA

A Eletrobrás e DNAEE (1985) explicam que nos GG de pequena capacidade ocorre que frequentemente o momento de inércia das massas girantes é insuficiente para garantir uma regulação estável. Torna-se então necessário recorrer ao emprego de volantes de inércia, que poderão ser fabricados em ferro fundido e aço fundido. Estes volantes são normalmente colocados na extensão do eixo do gerador, sendo sua massa e diâmetro determinados pelo fabricante.

2.14. MEIO AMBIENTE E IMPACTO AMBIENTAL

Segundo o Greenpeace (2004), as pequenas, micro e minicentrals hidrelétricas estão em bom posicionamento quanto às emissões de carbono, tornando-se instrumentos importantes para cumprir os cortes previstos no Protocolo de Kyoto e das metas defendidas pelo Brasil no Rio+10, e em Johannesburgo, que é a obtenção de 10% de energia mundial de fontes renováveis até 2010.

Para a identificação e a avaliação dos impactos ambientais de forma detalhada, o meio ambiente pode ser representado por “componentes-síntese”, abrangendo: Ecossistemas Aquáticos, Ecossistemas Terrestres, Modos de Vida, Organização Territorial e Base Econômica (ELETROBRÁS, 2015).

Quando houver a previsão de ocorrência de impactos de grande magnitude, provocados pelo empreendimento, esses órgãos deverão exigir a edição e discussão pública de um Estudo e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA).

Normalmente, esses impactos potenciais estão associados à existência de populações próximas, à vizinhança com áreas ambientalmente sensíveis, à concepção técnica do aproveitamento envolvendo túneis, à redução da vazão liberada para jusante, dentre outros aspectos (ELETROBRÁS, 2015).

O EIA tem os seguintes objetivos principais: avaliar a viabilidade ambiental do empreendimento e fornecer subsídios para o seu licenciamento prévio (LP) junto ao órgão ambiental competente; complementar e ordenar uma base de dados temáticos sobre a região onde se inserem as obras propostas; permitir, através de métodos e técnicas de identificação/avaliação de impactos, o conhecimento e o grau de transformação que a região sofrerá com a introdução das obras propostas, como agente modificador; estabelecer programas que visem prevenir, mitigar e/ou compensar os impactos negativos e reforçar os positivos, promovendo, na medida do possível, a inserção regional das obras propostas; caracterizar a qualidade ambiental atual e futura da Área de Influência; definir os programas de acompanhamento/monitoramento que deverão ser iniciados e/ou continuados durante e/ou após a implantação do empreendimento (ELETROBRÁS, 2015).

O desenvolvimento sustentável, utilização do recurso natural de modo seguro e racional, a partir de fontes tradicionais de energia pode ainda possibilitar a sustentabilidade ambiental, em âmbito local e global, bem como reduzir a desertificação, a pobreza rural, a eficiência energética e econômica. (CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA – CEPEL, 2001).

2.15. OUTORGA DA ÁGUA

O Instituto das Águas do Paraná orienta que a outorga é o ato administrativo que expressa os termos e as condições mediante as quais o Poder Público permite, por prazo determinado, o uso de recursos hídricos. No Estado do Paraná, os atos de autorização de uso de recursos hídricos de domínio estadual são de competência do Instituto das Águas do Paraná (IAP).

São listados, pelo Instituto das Águas, os tipos de usos hídricos que dependem de outorga:

- Derivação ou captação de água superficial (rio, córrego, mina ou nascente) para qualquer finalidade.
- Extração de água subterrânea (poço tubular profundo) para qualquer finalidade.
- Lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos com o fim de diluição.
- Uso de recursos hídricos para aproveitamento hidrelétrico.
- Intervenções de macrodrenagem.

2.16. LICENCIAMENTO AMBIENTAL

A partir da resolução CONAMA 001/86, uma grande maioria de projetos de centrais hidrelétricas incluindo as com potência instalada inferior a 10MW, passaram a necessitar, para sua aprovação pelos órgãos governamentais, de licenciamento ambiental. Assim ficou estabelecido que para centrais hidrelétricas com potência superior a 10MW há necessidade de haver um Estudo de Impacto Ambiental (EIA), enquanto que para centrais com potência instalada inferior a 10MW o documento necessário é o Relatório de Controle Ambiental (RCA) seguido da apresentação de um Plano de Controle Ambiental (PCA) elaborados de acordo com as diretrizes estabelecidas pelo Órgão Ambiental Estadual, ou Federal, competente (CERPCH, 2015).

Para um melhor entendimento pode se observar o fluxograma simplificado retirado da Revista PCH Notícias & SHP NEWS - Número 28.

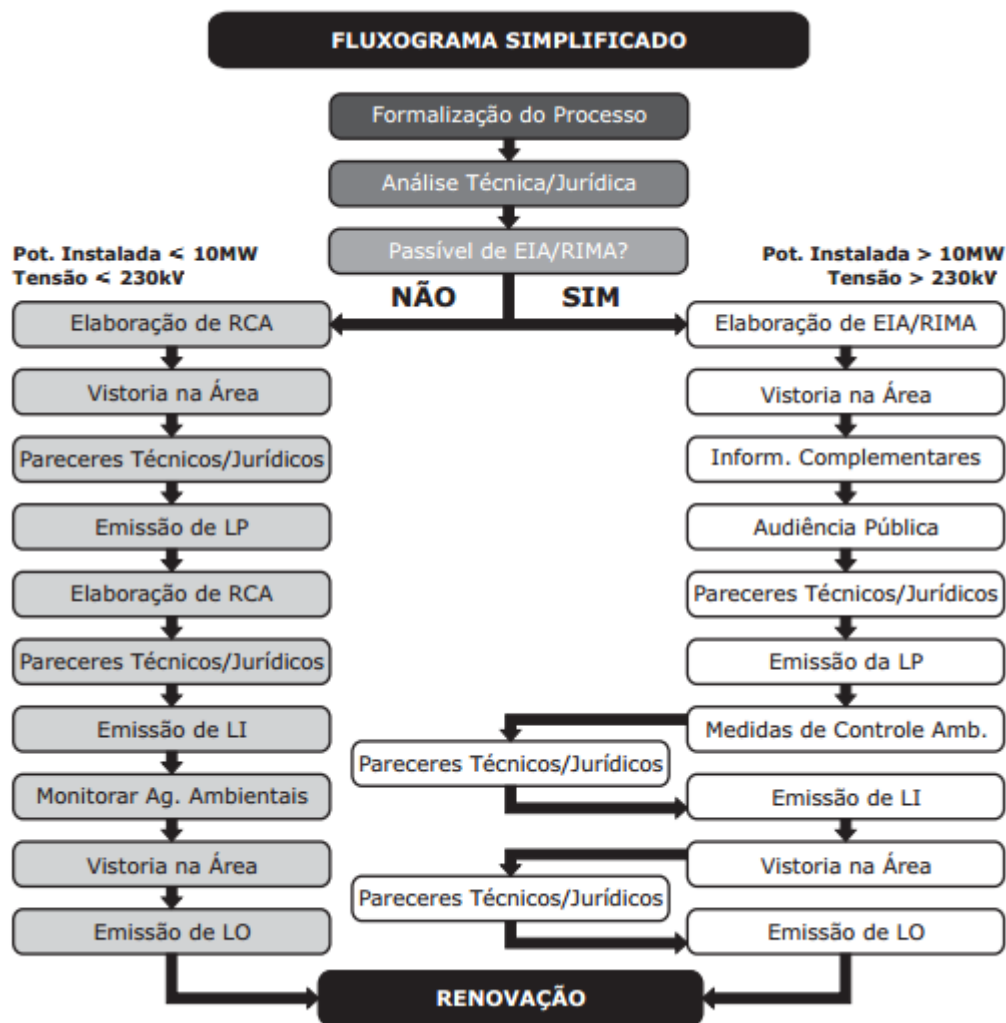


Figura 10: Fluxograma - licenciamento ambiental

Fonte: Revista PCH Notícias & SHP NEWS

Licença Prévia (LP) deverá ser requerida no início do estudo de viabilidade técnica e econômica do empreendimento, com validade de até 5 (cinco) anos. Licença de Instalação (LI) deverá ser obtida antes da realização da Licitação e/ou efetivo início das obras civis para construção do empreendimento, com validade de até 6 (seis) anos. Licença de Operação (LO) deverá ser obtida antes do fechamento da barragem, com validade entre 1 (um) até 10 (dez) anos (IAP).

A revalidação de licenças deve ser solicitada até 120 dias antes do vencimento da licença anterior, e ser requerido juntamente com o Relatório de Avaliação de Desempenho (RADA).

Segundo Michellis (2006), “o empreendimento que causa significativo impacto ambiental somente obtém a respectiva licença ambiental, se houver a previsão de se eliminar os impactos ambientais considerados significativos. A licença somente é

expedida quando todas as condições estão atendidas. Estas condições incluem a identificação dos impactos negativos e as medidas ou formas de mitigá-los ou minorá-los ao máximo, conforme a avaliação de impactos ambientais. Impactos negativos que não puderem ser totalmente eliminados serão danos residuais sem significação relevante e ou que estão dentro dos limites permitidos pela legislação ambiental que, justamente, consubstanciam a conciliação do desenvolvimento econômico e com a preservação do meio ambiente, ambos de vital importância para a vida da população.”

3. DADOS E ESTRUTURA DA MICROCENTRAL DE RONCADOR

3.1. LOCALIZAÇÃO DA MICROCENTRAL

De acordo com a prefeitura municipal de Bocaiúva do Sul, entre 1947 e 1951 foi construída a Usina Hidrelétrica Roncador, na gestão do prefeito Sr. Manoel Costacurta.

A Usina de Roncador localiza-se no município de Bocaiúva do Sul, ao Leste do Estado do Paraná, conforme figura 11 – onde a casa de força situa-se na latitude $25^{\circ}11'19''$ S e $49^{\circ}08'15''$ W e a barragem na latitude $25^{\circ}11'13''$ S e $49^{\circ}08'13''$ W, apresentando uma área de $101.164,42$ m², distante 3 km de Bocaiúva do Sul e a 44,60 km de Curitiba. De acordo com o Instituto das Águas do Paraná o início de operação da usina de Roncador ocorreu em 1953, composto de dois geradores, sendo um de 200 kW e outro de 30 kW, ambos utilizando a turbina do tipo Francis. Sua desativação ocorreu em 1959 (GARCIA *et al.*, 2011).

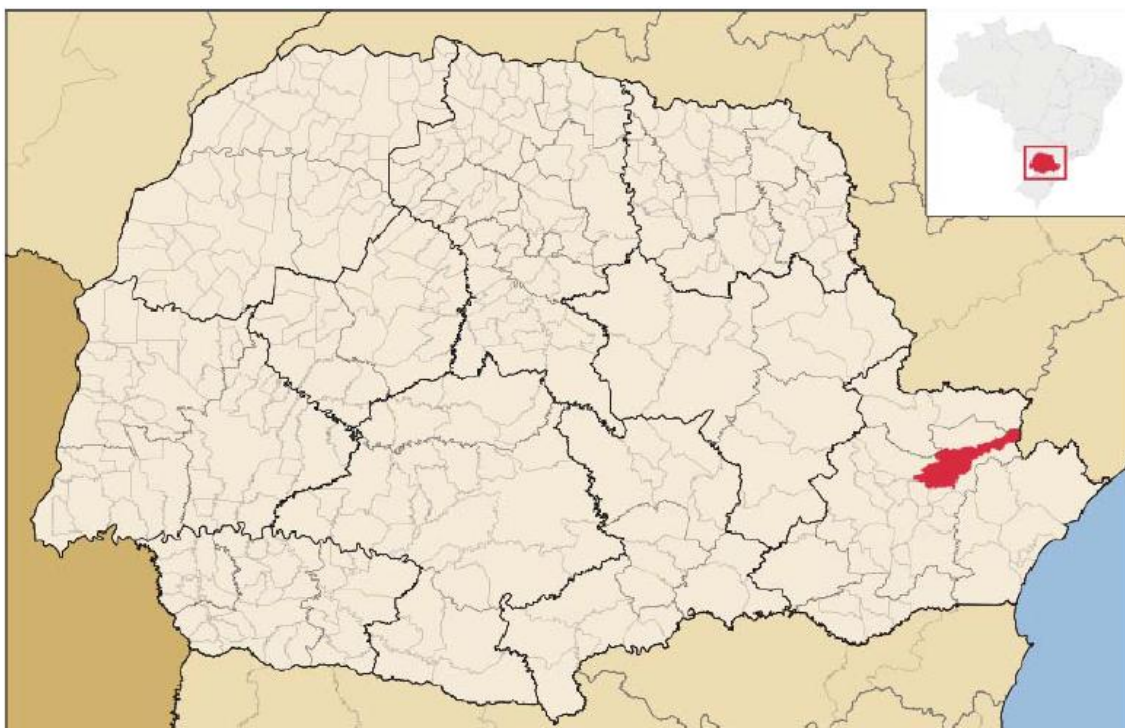


Figura 11: Localização geográfica do município de Bocaiúva do Sul

Fonte: Prefeitura municipal de Bocaiúva do Sul, 2011

A usina situa-se no curso d'água Rio Santana que pertence à sub-bacia do Rio Capivari, este um dos principais rios da região e da Bacia Hidrográfica do Atlântico trecho Sudeste.

3.2. CLASSIFICAÇÃO DA MICROCENTRAL

A usina de roncador é classificada como fio d'água, de acordo com as especificações da Eletrobrás e DNAEE (1985).



Figura 12: Reservatório MCH Roncador

Fonte: Própria, 2015.

3.3. ESTUDO HIDROENERGÉTICO INICIAL

De acordo com Reis, Filho e Souza (2011), o ponto de aproveitamento hidroenergético onde se encontra a Usina de Roncador tem uma queda bruta (H_b)

de 14,8 metros. No estudo inicial determina-se a vazão de projeto e o cálculo preliminar da potência a ser instalada, chamada de potência bruta. Após um estudo das características da MCH torna-se possível determinar as perdas de carga e estimar de maneira mais precisa a potência a ser instalada.

3.3.1. Métodos Utilizados para Medição de Vazão

Os principais dados hidroenergéticos disponíveis da MCH de Roncador foram medidos em pesquisas no local onde está instalada, sendo uma vazão máxima de $2,08\text{m}^3/\text{s}$ e uma queda bruta de 14,8m convalidados pelo método do vertedouro (GARCIA *et al.*, 2011).

A vazão da usina de Roncador foi medida e calculada por Reis, Filho e Souza (2011), de acordo com a norma da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13403: *Medição de vazão em efluentes líquidos e corpos receptores – Escoamento livre*. Rio de Janeiro, 1995.

A medição da vazão foi realizada através do método do vertedouro e método do flutuador. Para as medições foram realizadas 05 (cinco) visitas de campo à Usina Roncador, entre os dias 03/09/2011 e 12/10/2011.

Para comparação o Instituto de Águas do Paraná realizou uma medida utilizando o método dos molinetes. Tendo como resultado a tabela 6:

Tabela 6: Vazão obtida pelo método dos molinetes e estimada para os métodos do vertedouro e do flutuador para $H = 2,34\text{m}$

Método	Molinetes	Vertedouro	Flutuador
Vazão (m^3/s)	1,013	1,414	1,161

Fonte: Adaptado Reis, Filho e Souza, 2011.

3.3.2. Vazão de Projeto

Os estudos de medições de vazão pelos métodos apresentados, foram realizados em um pequeno período de tempo, logo estes valores não são representativos para a determinação da vazão de projeto. Então, foi também

realizado um estudo da série histórica de vazões da Usina de Roncador, obtida por Reis, Filho e Souza (2011), por meio de transposição de vazões, apresentada na figura 13. A técnica de transposição consiste em obter uma relação entre a vazão num curso d'água com série histórica desconhecida e a vazão num curso d'água com série conhecida. Este procedimento só é válido para o caso de cursos d'água presentes numa mesma bacia hidrográfica (SOUZA, FUCHS e SANTOS, 1983). No estudo realizado, Reis, Filho e Souza (2011), utilizam a série histórica do posto fluviométrico Capivari-Montante.

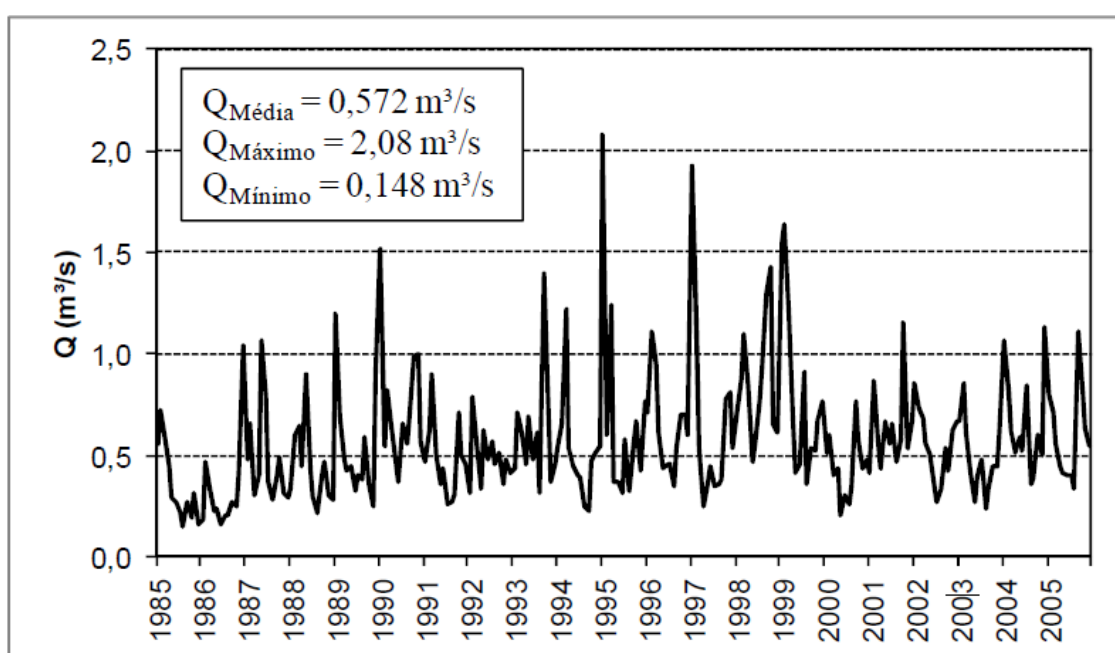


Figura 13: Fluviograma de vazões médias mensais para MCH Roncador

Fonte: Reis, Filho e Souza, 2011.

Do fluviograma, observa-se que a vazão máxima encontrada foi de 2,08 m³/s, a vazão média foi de 0,572 m³/s e a vazão mínima neste período de tempo foi de 0,148 m³/s.

Ainda segundo Reis, Filho e Souza (2011), a determinação da vazão, a ser utilizada nos cálculos do projeto, pode ser obtida por meio da curva de permanência da MCH, apresentada na figura 14. A curva de permanência é o gráfico representativo da porcentagem de tempo em que uma dada vazão é igualada ou excedida (SOUZA, FUCHS e SANTOS, 1983). Esta curva é construída com base

nos registros do fluviograma das vazões médias mensais da Microcentral de Roncador.

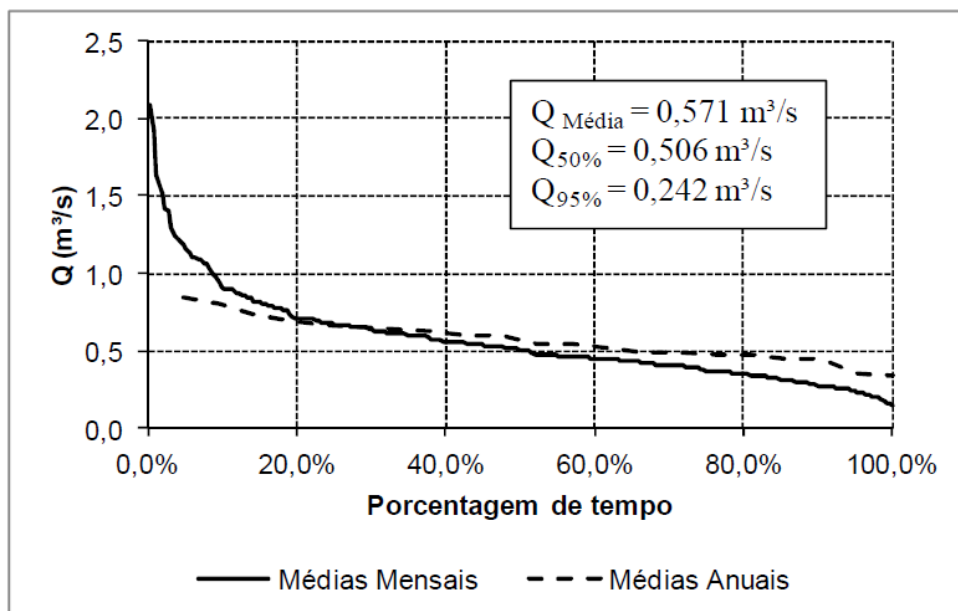


Figura 14: Curva de Permanência de Vazões - MCH Roncador

Fonte: Reis, Filho e Souza, 2011.

Através da curva de permanência de vazões, Stahlhoefer (2013) obteve a curva de permanência da potência referente a permanência anual, conforme figura 15.

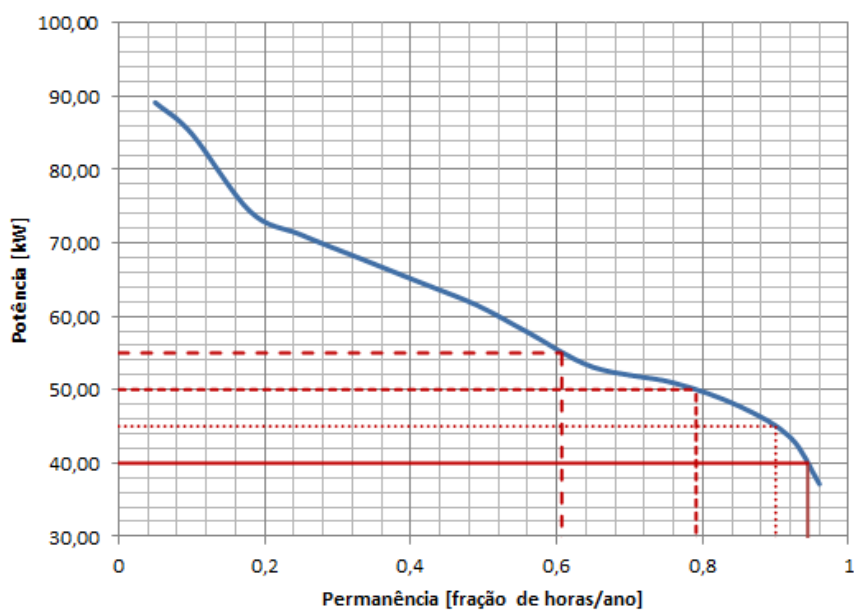


Figura 15: Curva de Permanência de Potências - MCH Roncador

Fonte: Stahlhoefer, 2013.

Sabendo que o número de dias do ano equivale a 365 dias ou 8760h, Stahlhoefer (2013) realizou os cálculos para estimar a quantidade de horas que uma determinada potência instalada produz de energia no período considerado. Assim foi possível traçar o gráfico da energia produzida versus potência instalada, mostrado na figura 16.

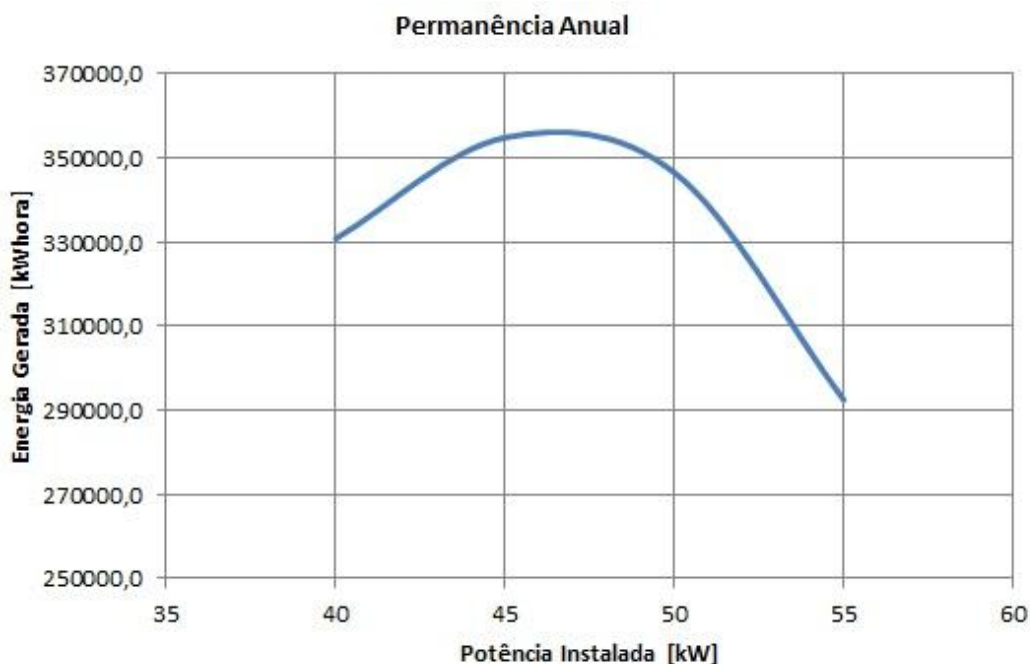


Figura 16: Curva de potência instalada versus energia gerada - MCH Roncador

Fonte: Stahlhoefer, 2013.

Visualizando o gráfico concluiu-se que para o caso da permanência anual, a potência ideal de projeto é de 47 kW, o que equivale a uma permanência de 85,6% no ano e uma vazão de aproximadamente 0,45 m³/s.

Para efeito de cálculo no sistema adutor, a vazão utilizada será de duas vezes a vazão de projeto, sendo 0,90 m³/s que equivale a uma permanência anual de menos de 20%.

3.3.3. Análise Inicial da Potência da MCH

3.3.3.1. Determinação da potência bruta do aproveitamento

A análise preliminar da potência do aproveitamento pode ser realizada através do cálculo da potência bruta, inicialmente calculada sem considerar as perdas de carga. Esta potência pode ser obtida por meio da equação (12).

$$P_b = 7,16 \times Q \times H_b \quad (12)$$

$$P_b = 7,16 \times 0,571 \times 14,8 = 60,57kW$$

Sendo:

P_b – potência bruta instalada do aproveitamento, em kW

Q – vazão de projeto, em m^3/s

H_b = queda bruta de projeto, em m

3.4. RESERVATÓRIO

De acordo com Garcia, Rebelatto e Pompermaier (2011), a usina tem funcionamento a fio de água, isto significa que o volume criado pela barragem é desprezado e a vazão de estiagem atende à demanda máxima prevista instalada, na figura 17 é possível ver a situação atual da represa da MCH de Roncador.



Figura 17: Reservatório MCH Roncador

Fonte: Própria, 2015.

3.5. BARRAGEM

A barragem, conforme mostrado nas figuras 18 e 19, na MCH do Roncador tem as seguintes dimensões:

- Altura de 2,57m;
- Largura de 58m;
- Crista de 0,55m.



Figura 18: Vista 1 da barragem - MCH Roncador

Fonte: Própria, 2015.



Figura 19: Vista 2 da barragem - MCH Roncador

Fonte: Própria, 2015.

A barragem existente na MCH do Roncador é do tipo muro-gravidade e de concreto com uma base de pedras argamassadas.

3.6. VERTEDOURO

O vertedouro da usina de Bocaiúva do Sul é incorporado pela barragem, isto é, na barragem de concreto existe um trecho rebaixado onde encontra-se o vertedouro. A estrutura existente tem um comprimento de 7,08 m, crista de 0,54 m e altura de lâmina d'água de 0,47 m e nada impede sua utilização. As figuras 20 e 21 apresentam o vertedouro existente na MCH Roncador.



Figura 20: Vertedouro MCH Roncador - Vista 1

Fonte: Própria, 2015.



Figura 21: Vertedouro MCH Roncador - Vista 2

Fonte: Própria, 2015.

3.7. TOMADA D'ÁGUA

Para o dimensionamento da tomada de água deve-se levar em consideração duas modalidades: ser ligada na tubulação forçada, possibilitando a condução da água até a máquina, ou descarregar a água captada em canal aberto de adução. Neste estudo a tomada d'água está ligada na tubulação forçada, permitindo o ensecamento da tubulação. As dimensões da tomada d'água da MCH Roncador são 1,2 m de largura e 3,5 m de altura.



Figura 22: Tomada d'água MCH Roncador

Fonte: Própria, 2015.



Figura 23:- Tubulação forçada, saída da tomada d'água - MCH Roncador

Fonte: Própria, 2015.

3.8. CONDUTO FORÇADO

O conduto forçado da MCH de Roncador encontra-se bastante danificado por estar muito tempo inativo e sem manutenção, como é demonstrado na figura 24. O material utilizado para sua construção foi aço, com diâmetro de 0,70 m e comprimento de 225 m.



Figura 24: Conduto forçado - MCH Roncador

Fonte: Própria, 2015.

3.9. CHAMINE DE EQUILIBRIO

A chaminé de equilíbrio é uma estrutura existente na MCH Roncador, conforme mostrado na figura 25, construída a uma distância de 35 m da casa de máquinas.

A chaminé de equilíbrio é um reservatório que amortece a variação de pressão ocasionada por um acionamento brusco do dispositivo de fechamento da turbina (ELETROBRAS, 2010).



Figura 25: Chaminé de equilíbrio - MCH Roncador

Fonte: Própria, 2015.

De acordo com Flórez (2014), a necessidade de instalação de uma chaminé de equilíbrio para pequenas centrais hidrelétricas pode ser verificada através da equação (13).

Se

$$L_{cf} \geq 5 * H_b \quad (13)$$

Sendo:

L_{cf} – comprimento do conduto forçado, em m

H_b – queda bruta, em m

Considerando que o comprimento do conduto forçado da MCH Roncador é de 225 m e a queda bruta é de 14,8 m, a equação (9) indica a necessidade de instalação de uma chaminé de equilíbrio para a hidrelétrica Roncador.

3.10. CASA DE MÁQUINAS

A instalação existente possui aproximadamente 75m², mas encontra-se totalmente degradada, como apresentado na figura 26, sendo necessária a revitalização na sua totalidade. Atualmente não há na MCH nenhum tipo de equipamento dentro da casa de força. A estrutura terá de comportar quatro tipos de turbinas diferentes e seus respectivos geradores.



Figura 26: Casa de máquinas - MCH Roncador

Fonte: Própria, 2015.

3.11. CANAL DE FUGA

O canal de fuga localiza-se na casa de máquinas e tem a função de conduzir a água turbinada até o leito do rio. A figura 27 mostra o canal de fuga presente na casa de máquinas da MCH Roncador.



Figura 27: Canal de fuga - MCH Roncador

Fonte: Própria, 2015.

4. DIMENSIONAMENTOS REFERENTE À MICROCENTRAL

4.1 VERTEDOURO

Conforme o Manual de Microcentrais Hidrelétricas (ELETROBRÁS & DNAEE, 1985) o dimensionamento da largura do vertedouro, cuja barragem é de concreto, pode ser calculado da mesma maneira que uma barragem feita de alvenaria com pedras argamassadas, segundo a equação (14). Os parâmetros de dimensionamento podem ser visualizados na figura 28.

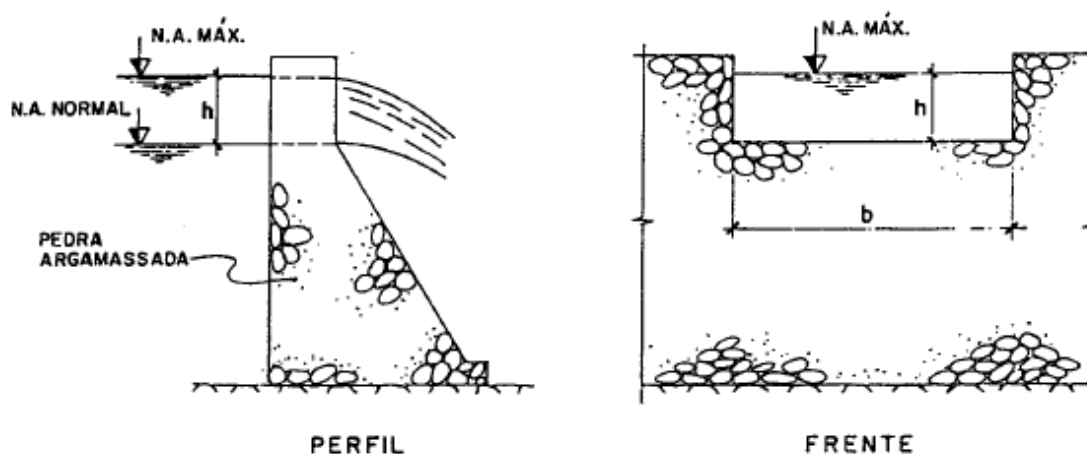


Figura 28: Dimensionamento do vertedouro

Fonte: ELETROBRÁS & DNAEE, 1985

$$b = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{1,7 \times h^{3/2}} \quad (14)$$

Sendo:

b – largura do vertedouro, em m

$Q_{m\acute{a}x}$ – vazão máxima, em m^3/s

h – altura da lâmina d'água, em m

A altura da lâmina d'água é fixada com base no cotejo entre vários valores, aos pares, de h e b . Encontra-se então a largura mínima necessária para o vertedouro, considerando a vazão máxima de $2,08 \text{ m}^3/s$ e com o valor medido da lâmina d'água é $0,47 \text{ m}$.

Assim, para a MCH Roncador:

$$B = \frac{2,08}{1,7 \times 0,47^{3/2}} = 3,80m$$

O vertedouro existente na usina tem largura de 7,08 m, sobrando espaço para extravasar o excesso de água. De acordo com as Diretrizes para Projetos de PCH (ELETROBRAS, 2010) é possível calcular a vazão máxima suportada pelo vertedouro através da equação (15).

$$Q_{v\ máx} = C \times B \times \sqrt{h^3} \quad (15)$$

Sendo:

$Q_{v\ máx}$ – vazão máxima do vertedouro, em m^3/s

B – largura do vertedouro, em m

C – coeficiente de vazão, barragem vertedouro = 2

h – altura da lâmina d'água, em m

$$Q_{v\ máx} = 2 \times 7,08 \times \sqrt{0,47^3} = 4,56m^3/s$$

A máxima vazão que o vertedouro existente suporta é de 4,56 m^3/s e, conforme visto, tem-se uma vazão máxima de 2,08 m^3/s . Assim o coeficiente de segurança do vertedouro é dado do pela equação (12).

$$\theta_s = \frac{Q_{v\ máx}}{Q_{máx}} \quad (12)$$

$$\theta_s = 2,19$$

Sendo:

θ_s – coeficiente de segurança do vertedouro

$Q_{v\ máx}$ – vazão máxima do vertedouro, em m^3/s

$Q_{máx}$ – vazão máxima, em m^3/s

Assim o vertedouro suporta até 119% a mais da vazão máxima do reservatório. Para casos em que necessite ou que se deseje forçar um esvaziamento da barragem, há no lado esquerdo, a jusante, o extravasador (figura 29) com 700mm de diâmetro.



Figura 29 – Extravasador - MCH Roncador

Fonte: Própria, 2015.

4.2 CONDUTO FORÇADO PARA MICROCENTRAL

O conduto forçado existente na MCH, mostrado no capítulo anterior, não se apresenta em condições de uso, sendo necessário refazer toda a tubulação forçada, que liga a tomada d'água à casa de máquinas. Nesta etapa, o cálculo é realizado para apenas um conduto forçado simples ligando a tomada d'água à casa de máquinas.

4.2.1 Diâmetro Econômico do Conduto Forçado

Utilizando a equação (5) vista na página 35, o diâmetro do conduto forçado pode ser obtido através da queda bruta de 14,8 m e a vazão máxima de 2,08 m³/s.

$$D_e = 123,7 \sqrt[7]{\frac{2,08^3}{14,8}} = 115,21 \text{ cm}$$

O diâmetro econômico (D_e) para a MCH de Roncador é de aproximadamente 115 cm. Assim, sabe-se também a área da seção transversal do conduto forçado, 0,904 m².

4.2.2 Velocidade da Água no Conduto Forçado

A velocidade de escoamento do fluido pelo conduto forçado pode ser calculada pela equação (6) presente na página 35, utilizando os valores de diâmetro econômico e vazão máxima, como segue:

$$v = \frac{4 \times 2,08}{3,1416 \times 1,15^2}$$

A velocidade de escoamento é de 2,00 m/s. Da tabela 4, sabe-se que a velocidade máxima admissível para o conduto, de material de aço, é de 5 m/s. Logo, a velocidade calculada é menor que a máxima admissível e portanto aceitável.

4.2.3 Espessura do Conduto Forçado

A espessura do conduto forçado pode ser calculado por meio da equação (7) presente na página 36, como segue:

$$e = \frac{19,881 \times 115}{2 \times 1400 \times 0,8} + 1$$

$$e = 2,02 \text{ mm}$$

Conforme determinado na NBR 10132/1987, a espessura mínima de segurança especificada deve ser maior que 6 mm sendo calculada pela equação (9) presente na página 36.

$$e_{min} = \frac{1000 + 500}{400} = 3,75 \text{ mm}$$

Como o valor mínimo de espessura calculado é menor que o valor mínimo de segurança determinado em norma, então a espessura do conduto forçado da MCH deverá ser de 6mm.

4.3 CONDUTO FORÇADO COM MULTIPLAS SAÍDAS

O dimensionamento do sistema do conduto forçado depende do número de turbinas, vazão turbinada e do comprimento da tubulação (BALARIM, 1996). Ao implantar quatro tipos de turbinas na microcentral torna-se necessária a construção de saídas múltiplas do conduto forçado.

Neste estudo o conduto forçado apresenta um certo diâmetro até o patamar da casa de máquinas, referenciado como trecho unitário, e então se ramifica em condutos de diâmetros menores de acordo com o número de máquinas, apontado como o trecho ramificado.

Em estudo Stahlhoefer (2013), chegou ao diâmetro econômico destes trechos através da comparação entre os custos de construção do conduto e as receitas deixadas de arrecadar devido as perdas de carga, levando em consideração os seguintes parâmetros nos custos dos diâmetros:

- Máxima perda de carga para uma dada vazão;
- Custo capitalizado por metro de perda de carga.

Utilizando uma vazão de $0,9 \text{ m}^3/\text{s}$ para o trecho unitário e uma vazão de $0,45 \text{ m}^3/\text{s}$ para o trecho ramificado, Stahlhoefer (2013) chegou aos resultados apresentados nas figuras 30 e 31.

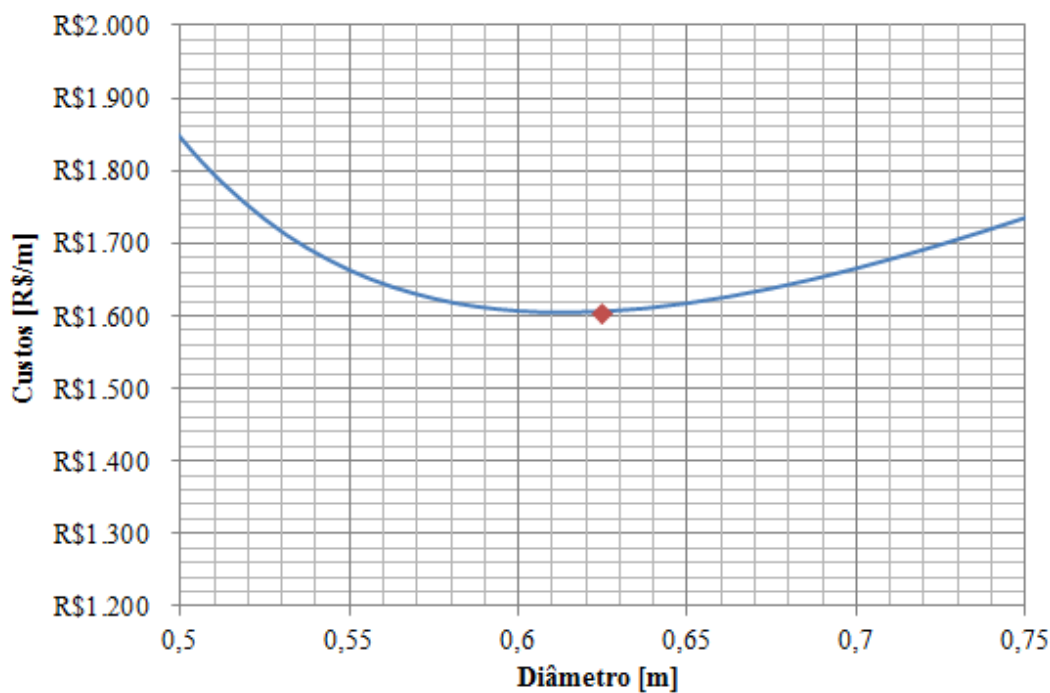


Figura 30: Diâmetro do conduto forçado trecho unitário - MCH Roncador

Fonte: Stahlhoefer, 2013.

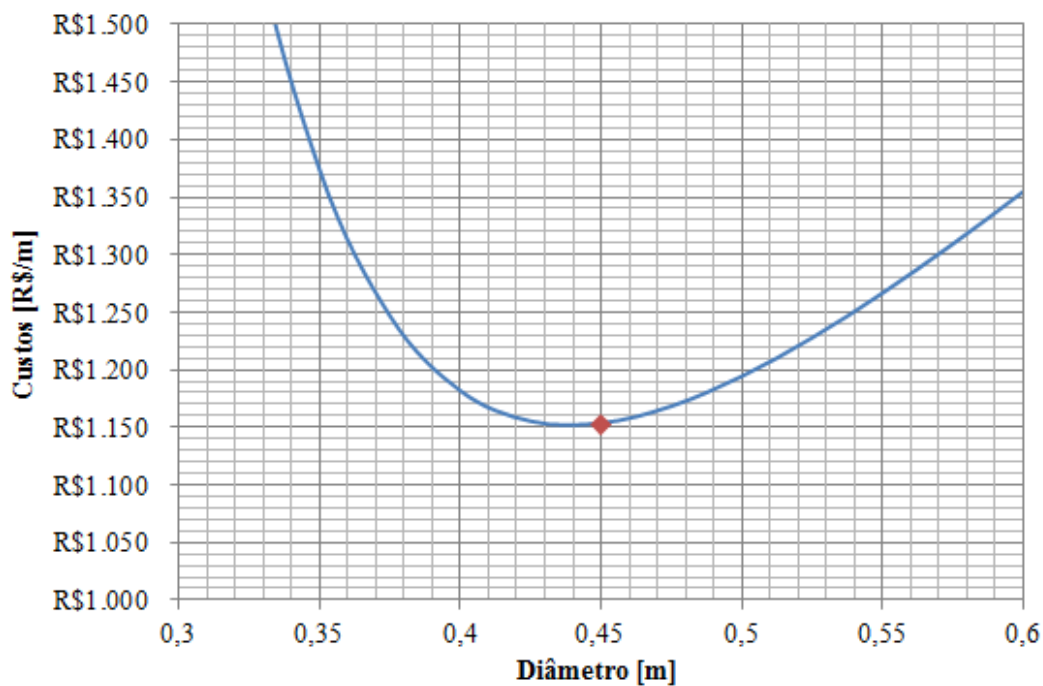


Figura 31: Diâmetro do conduto forçado trecho ramificado - MCH Roncador

Fonte: Stahlhoefer, 2013.

Concluiu-se que para o trecho unitário o diâmetro deve ser de 625 mm e para o trecho ramificado o diâmetro deve ser de 450 mm.

Utilizando os valores de vazão de 0,9 e 0,45 m³/s, pode-se verificar o correto dimensionamento dos diâmetros pelo critério da velocidade máxima da água no conduto forçado, dado pela equação (6).

Para Q = 0,9 m³/s:

$$v = \frac{4 \times 0,9}{3,1416 \times 0,625^2} = 2,93m/s$$

Para Q = 0,45 m³/s:

$$v = \frac{4 \times 0,45}{3,1416 \times 0,450^2} = 2,83m/s$$

Como o critério da máxima velocidade no conduto forçado estabelece que para condutos de materiais de aço a velocidade máxima deve ser de 5 m/s, os dois diâmetros calculados se encaixam no critério e portanto são aceitáveis. Sendo que a espessura do conduto deve ser de no mínimo 6 mm conforme NBR 10132/1987. A área da seção transversal pode ser estimada em 0,332 m² para o trecho unitário e 0,159m² para o trecho ramificado.

4.4 DETERMINAÇÃO FINAL DA QUEDA LÍQUIDA E POTÊNCIA A SER INSTALADA

A potência líquida de projeto, aproveitável, deve considerar as perdas de carga inicial, nas grades da tomada d'água e na tubulação forçada (ELETROBRÁS E DNAEE, 1985). No presente projeto desconsideram-se as perdas na tubulação de baixa pressão pois o conduto forçado é conectado diretamente da tomada d'água à casa de máquinas.

4.4.1 Determinação das Perdas de Carga

As perdas de carga consideradas foram obtidas através do estudo realizado por Stahlhoefer (2013). Nesta análise, foi considerada a vazão de projeto de 0,45 m³/s e o valor da rugosidade do conduto forçado foi tomado a partir da NBR 10132, onde o valor sugerido é de 15 mm. A Tabela 7 apresenta os resultados.

Tabela 7 – Resumo da perda de carga do circuito de geração

<i>Local</i>	<i>$\epsilon(mm)$</i>	<i>$\Delta H (m)$</i>
Tomada d' Água	1,5	0,0106
Circuito de Geração	0,15	0,552
Saída	-	0,053
Total		0,615

Fonte: Stahlhoefer, 2013.

4.4.2 Determinação da Queda Líquida e Potência Líquida

A queda líquida do aproveitamento foi calculada através da equação (17).

$$H_l = H_b - h_t \quad (17)$$

$$H_l = 14,8 - 0,615 = 14,185m$$

Sendo:

H_l – queda líquida de projeto, em m

H_b = queda bruta de projeto, em m

h_t – perda de carga total no sistema de adução, em m

O valor de 0,615 m corresponde a 4,16% da queda bruta, este valor se aproxima ao valor de 5% de perdas determinado pelo Manual de Microcentrais da Eletrobrás (1985). Encontrado o valor da queda líquida, estima-se a potência líquida de projeto, aquela que considera as perdas do sistema, através da equação (18).

$$P = 7,16 \times Q \times H_l \quad (18)$$

$$P = 7,16 \times 0,45 \times 14,185 = 45,70kW$$

Sendo:

P – potência líquida instalada do aproveitamento, em kW

Q – vazão de projeto, em m^3/s

H_l – queda líquida, em m

O valor de potência líquida de 45,70kW aproxima-se ao valor de 47kW determinado pela curva de permanência de potência.

4.5 CHAMINÉ DE EQUILÍBRIO

O dimensionamento da chaminé de equilíbrio, deve determinar a área mínima da seção transversal e a altura da chaminé.

4.5.1 Área Mínima da Seção transversal

Segundo o Manual da Eletrobrás e DNAEE (1985), a área interna mínima da seção transversal pode ser calculada pela equação (19).

$$A_c = \frac{v^2}{2g} \times \frac{L_c \times A_t}{(H_b - h_t)h_t} \quad (19)$$

Sendo:

A_c – área interna mínima da seção transversal da chaminé, em m^2

v – velocidade da água no interior da tubulação, em m/s

L_c – comprimento da tubulação adutora, em m

A_t – área interna da seção transversal da tubulação adutora, em m^2

H_b – queda bruta de projeto, em m

h_t – perda de carga no sistema adutor, em m

g – aceleração da gravidade, $9,81\text{m/s}^2$

$$A_c = \frac{2,93^2}{2 \times 9,81} \times \frac{225 \times 0,332}{(14,8 - 0,615)0,615}$$

$$A_c = 3,75\text{m}^2$$

Após o cálculo obtemos um resultado de área da seção da chaminé de $3,75\text{m}^2$. Para a área mínima calculada, tem-se que o diâmetro mínimo da chaminé de equilíbrio é 2,19m. Na atual instalação, a chaminé de equilíbrio tem o diâmetro de 3,03 m, área da seção de $7,21\text{ m}^2$, valores maiores que os calculados, portanto o diâmetro da chaminé bastante aceitável.

4.5.2 Altura Mínima da Chaminé de Equilíbrio

4.5.2.1 Cálculo da elevação do nível de água

A elevação do nível de água será estimada utilizando a equação (23) que utiliza para seus cálculos as equações (20), (21) e (22) definidas nas diretrizes para projetos de PCH (ELETROBRÁS, 2010).

$$Y_e = v \times \sqrt{\frac{A_{cf} \times L_{cf}}{g \times A_c}} \quad (20)$$

$$k = \frac{H_t}{Y_e} \quad (21)$$

$$z_e = 1 - \frac{2}{3} \times k + \frac{1}{9} \times k^2 \quad (22)$$

$$Y_E = z_e \times Y_e \quad (23)$$

Sendo:

Y_e – elevação sem as perdas do sistema adutor, em m

v – velocidade da água no interior da tubulação, em m/s

A_{cf} – área da seção do conduto forçado, em m^2

L_{cf} – comprimento do conduto, em m

A_c – área da seção da chaminé de equilíbrio, em m^2

g – aceleração da gravidade, $9,81m/s^2$

k – perda de carga relativa

H_t – perda de carga, em m

Z_e – coeficiente de elevação

Y_E – elevação com as perdas do sistema adutor, em m

$$Y_e = 2,93 \times \sqrt{\frac{0,332 \times 225}{9,81 \times 3,75}} = 4,175m$$

$$k = \frac{0,615}{4,175} = 0,1473$$

$$z_e = 1 - \frac{2}{3} \times 0,1473 + \frac{1}{9} \times 0,1473^2 = 0,904$$

$$Y_E = 0,904 \times 4,175 = 3,77m$$

A elevação do nível de água no interior da chaminé de equilíbrio estimada é de 3,77m.

4.5.2.2 Cálculo da depleção do nível de água

A depleção do nível de água será estimada utilizando a equação (26), onde encontram-se relacionadas também as equações (24) e (25), definidas nas diretrizes para projetos de PCH (ELETROBRÁS, 2010).

$$Y_d = v \times \sqrt{\frac{A_{cf} \times L_{cf}}{g \times A_c}} \quad (24)$$

$$k = \frac{H_t}{Y_d} \quad (25)$$

$$Y_D = z_d \times Y_d \quad (26)$$

Sendo:

Y_d – elevação sem as perdas do sistema adutor, em m

v – velocidade da água no interior da tubulação, em m/s

A_{cf} – área da seção do conduto forçado, em m²

L_{cf} – comprimento do conduto, em m

A_c – área da seção da chaminé de equilíbrio, em m²

g – aceleração da gravidade, 9,81m/s²

k – perda de carga relativa

H_t – perda de carga, em m

Z_d – coeficiente de elevação, encontrado na tabela 8

Y_D – elevação com as perdas do sistema adutor, em m

Em função do valor da perda de carga relativa (k) calculado com a equação (25), obtém-se o valor do coeficiente de depleção (zd) mostrado na tabela 8.

Tabela 8 – Coeficiente de depleção

K	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0	1	0,837	0,712	0,619	0,539	0,475	0,422	0,378	0,343	0,313	0,289
0,01	0,982	0,823	0,702	0,611	0,532	0,469	0,417	0,374	0,34	0,31	-
0,02	0,964	0,809	0,692	0,603	0,526	0,464	0,412	0,371	0,337	0,308	-
0,03	0,946	0,794	0,683	0,594	0,519	0,458	0,408	0,367	0,334	0,305	-
0,04	0,928	0,78	0,673	0,586	0,513	0,453	0,403	0,364	0,331	0,303	-
0,05	0,91	0,766	0,663	0,578	0,506	0,447	0,398	0,36	0,328	0,3	-
0,06	0,895	0,755	0,654	0,57	0,5	0,442	0,394	0,357	0,325	0,298	-
0,07	0,881	0,744	0,645	0,562	0,494	0,437	0,39	0,353	0,322	0,296	-
0,08	0,866	0,734	0,637	0,555	0,487	0,432	0,386	0,35	0,319	0,293	-
0,09	0,852	0,723	0,628	0,547	0,481	0,427	0,382	0,346	0,316	0,291	-

Fonte: Adaptado ELETROBRÁS (2010)

$$Y_d = 2,93 \times \sqrt{\frac{0,332 \times 225}{9,81 \times 3,75}} = 4,175m$$

$$k = \frac{0,615}{4,175} = 0,1473$$

Para o valor encontrado de k temos um valor de Z_d de 0,78.

$$Y_D = 0,78 \times 4,175 = 3,26m$$

4.5.2.3 Altura da chaminé de equilíbrio

Conhecendo os valores de elevação e depleção da água no interior da chaminé de equilíbrio, pode-se estimar a altura ideal da mesma através da equação (27). A figura 32 ilustra os parâmetros calculados para a altura da chaminé de equilíbrio.

$$H_c = Y_E + y_E + Y_D + y_D \quad (27)$$

$$H_c = 3,77 + 1 + 3,26 + 1 = 9,03m$$

Sendo:

H_c – altura ideal da chaminé de equilíbrio, em m

Y_E – elevação com as perdas do sistema adutor, em m

Y_D – elevação com as perdas do sistema adutor, em m

$y_E = y_D$ – acréscimo da elevação e da depleção da água por segurança, 1m

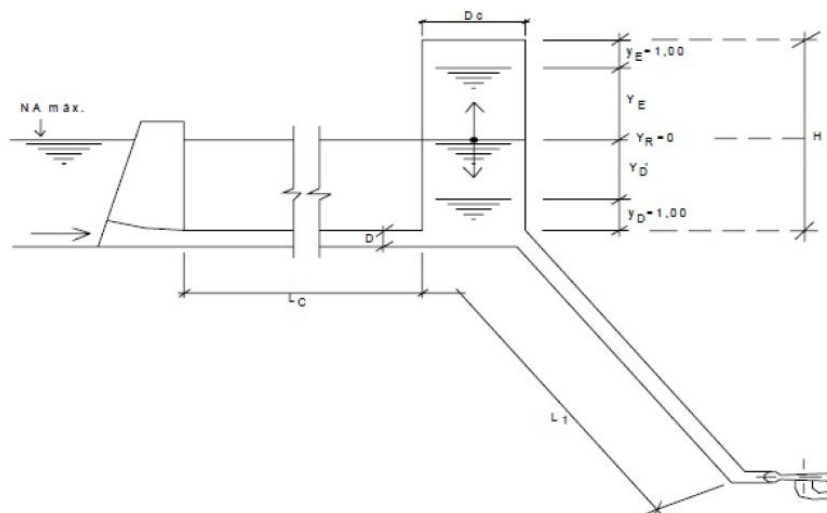


Figura 32: Chaminé de equilíbrio em centrais a fio d'água

Fonte: ELETROBRÁS, 2010.

Comparando o valor de 9,03 m obtido para a altura ideal utilizando o método apresentado nas Diretrizes para Projeto de PCH (ELETROBRÁS, 2010) com o valor de 6,85 m da altura da chaminé de equilíbrio existente, percebe-se que há uma grande diferença e que se considerarmos apenas a altura como quesito, a chaminé deverá sofrer alterações no caso do dimensionamento de um conduto com 62,50 cm de diâmetro com vazão de $0,9 \text{ m}^3/\text{s}$.

4.6 CASA DE MÁQUINAS

Para o dimensionamento da casa de máquinas, o primeiro passo a ser realizado é um pré-dimensionamento do diâmetro do rotor das turbinas, pois os demais dimensionamentos dependem destes cálculos.

4.6.1 Turbinas

Segundo Souza (2009), pode-se obter em caráter preliminar, o tipo de turbina mais apropriado para uma pequena central. Conhecida a vazão de projeto e a queda bruta é possível determinar a turbina através do diagrama apresentado na figura 33.

Como resultado observa-se que as turbinas encontradas na região de queda de 14,8 m e vazão de 0,450 m³/s são as turbinas Francis e Banki. Também observa-se que a potência está próxima da linha de 50 kW o que leva bem próximo a potência de 47kW estimada pela curva de permanência de potências da MCH Roncador.

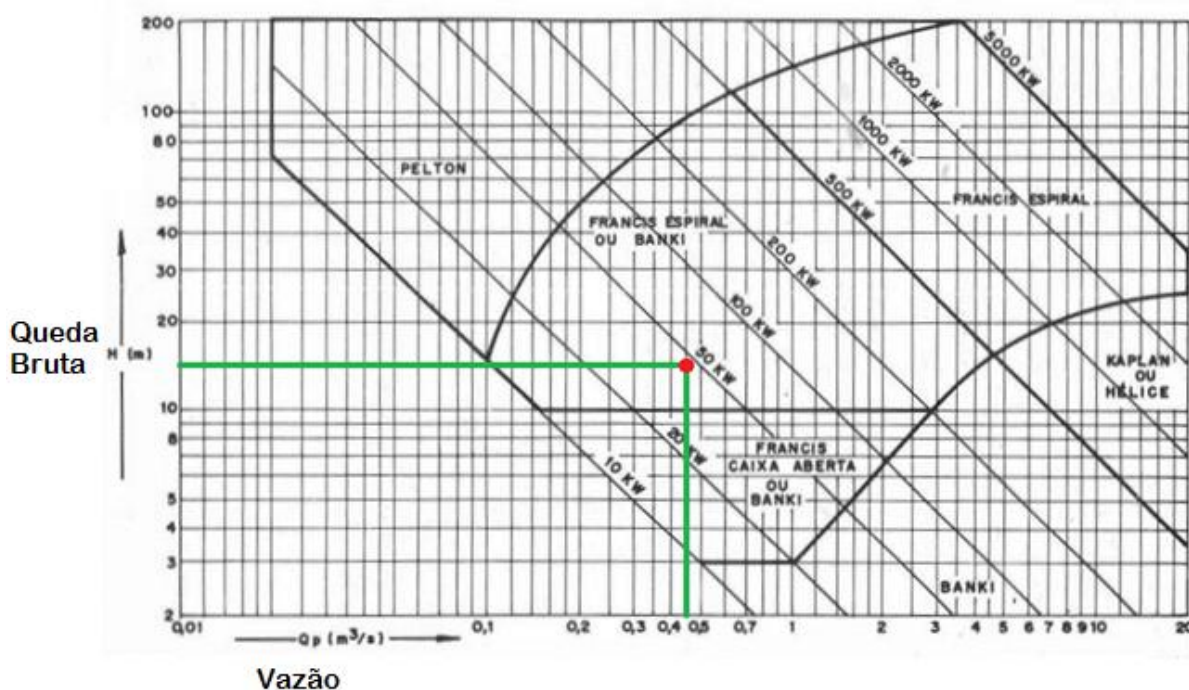


Figura 33: Diagrama para PCH

Fonte: Souza, 1992.

Este estudo de implantação da MCH Roncador prevê a instalação de quatro turbinas distintas, Pelton, Banki, Francis e Hélice. A tabela 9 mostra algumas características técnicas referentes aos quatro tipos de turbinas estudadas, e que são fabricadas no Brasil, como a rotação específica, dada pelo número de rotações por minuto da turbina unidade e quanto ao rendimento de cada tipo de turbina.

Tabela 9 – Principais características das turbinas fabricadas no Brasil.

Nome	Rotação		Vazão Q	Queda	Potência	Rendimento
	Específica Ns		(m³/s)	H (m)	(kW)	Máximo (%)
Pelton	Número de jatos	Ns				
	1	30				
	2	30-50				
	4	40-60	0,05-50	30-1800	0,1-300.000	70-91
	6	50-70				
Banki	-	40-160	0,025-5	1-50	1-750	65-82
Francis	TIPO	Ns				
	Lenta	60-170	0,05-700	2-750	1-750.000	80-93
	Normal	150-250				
	Rápida	250-400				
Hélice Kaplan	-	300-800	0,3-1000	5-80	2-200.000	88-93

Fonte: Adaptado de TIAGO FILHO, 2004.

O dimensionamento para estimativa do tamanho aproximado das turbinas e consequentemente da casa de máquinas pode ser realizado de acordo com a NBR 12591 de 1992, onde o diâmetro de referência das turbinas (D_r) é estimado em função dos valores de altura de queda nominal ($H_r = 14,07$ m), vazão garantida ($Q_r = 0,450$ m³/s) e da velocidade de rotação (n). A partir do valor do diâmetro a NBR 12591 de 1992 apresenta os valores de algumas dimensões das turbinas. As dimensões da Turbina Pelton, segundo a NBR 12591 de 1992, já foram calculadas em estudos anteriores e aqui serão apresentados apenas os resultados. Para as demais turbinas foram realizados os cálculos segundo a NBR enunciada anteriormente.

4.6.1.1 Dimensionamento Turbina Pelton

Segundo estudo, Stahlhoefer (2013) determinou as dimensões estimadas de uma turbina Pelton apresentados na figura 34 e tabela 10.

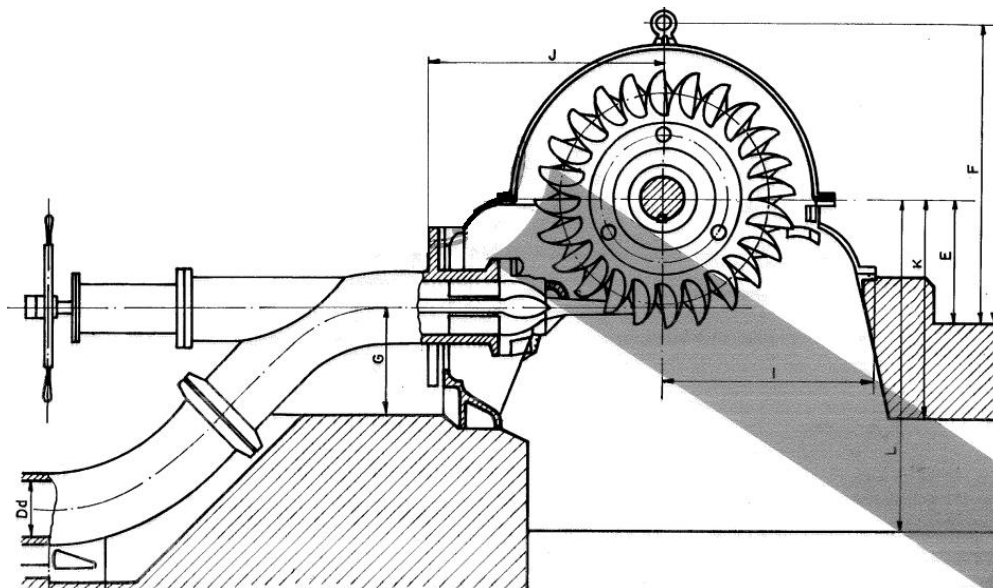


Figura 34: Dimensões Turbina Pelton

Fonte: NBR 12591, 1992

Tabela 10 – Dimensões Turbina Pelton

<i>Dimensões</i>	<i>Valor (mm)</i>
Dd	250
G	489.79
J	554.56
I	485.12
L	816
F	681

Fonte: Stahlhoefer, 2013.

4.6.1.2 Dimensionamento Turbina Banki

O diâmetro externo do rotor da turbina pode ser calculado pela equação (28) (NBR 12591, 1992).

$$D_r = 38 \times \frac{(H_r)^{0,5}}{n} \quad (28)$$

$$D_r = 38 \times \frac{(14,07)^{0,5}}{238} = 598,90 \text{ mm}$$

Através da NBR 12591 de 1992 após o cálculo do diâmetro do rotor o dimensionamento da turbina Banki está apresentado na figura 35 e tabela 11.

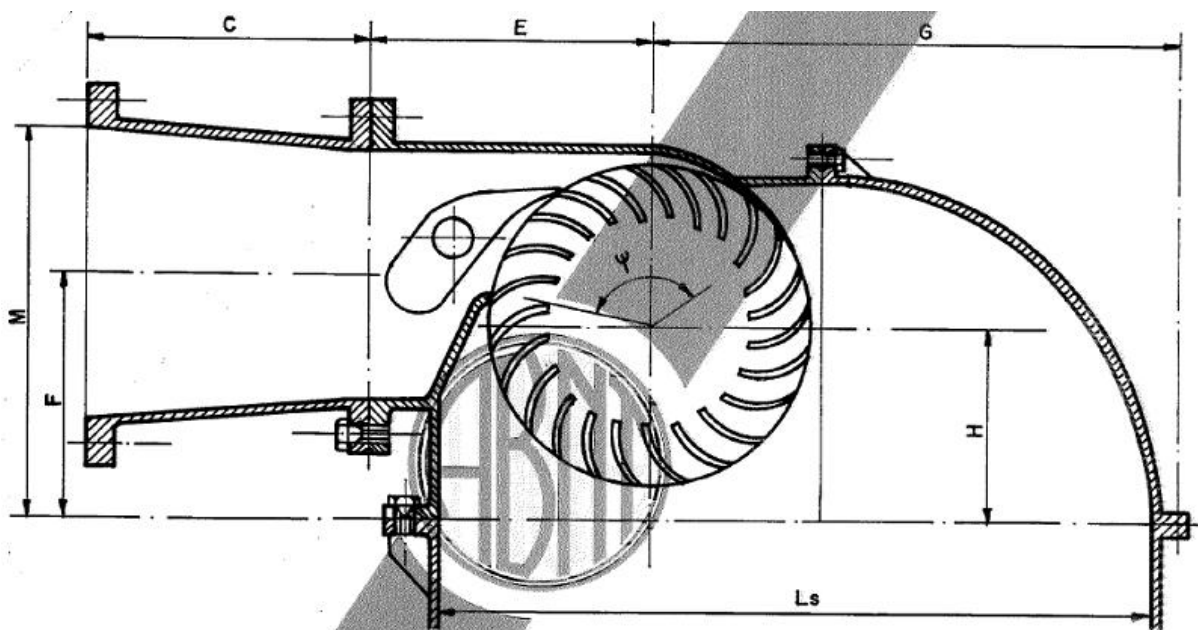


Figura 35: Dimensões Turbina Banki

Fonte: NBR 12591, 1992

Tabela 11 – Dimensões Turbina Banki

<i>Dimensões</i>	<i>Valor (mm)</i>
C	778,57
E	497,08
F	730,65
G	892,36
H	539,01
M	1101,97

Fonte – Aatoria própria, 2015.

4.6.1.3 Dimensionamento Turbina Francis

O diâmetro do rotor para turbina Francis pode ser determinado segundo a equação (29) apresentada no Manual de Microcentrais (Eletrobrás e DNAEE, 1985).

$$D_r = 0,3 \times (H_r)^{1/8} \times (Q_r)^{1/2} + \frac{1}{H_r} \quad (29)$$

$$D_r = 0,3 \times (14,07)^{1/8} \times (0,450)^{1/2} + \frac{1}{14,07} = 351,14\text{mm}$$

A NBR 12591 de 1992 apresenta a partir do dimensionamento do rotor da turbina, uma aproximação das demais dimensões da turbina como segue na figura 36 e tabela 12.

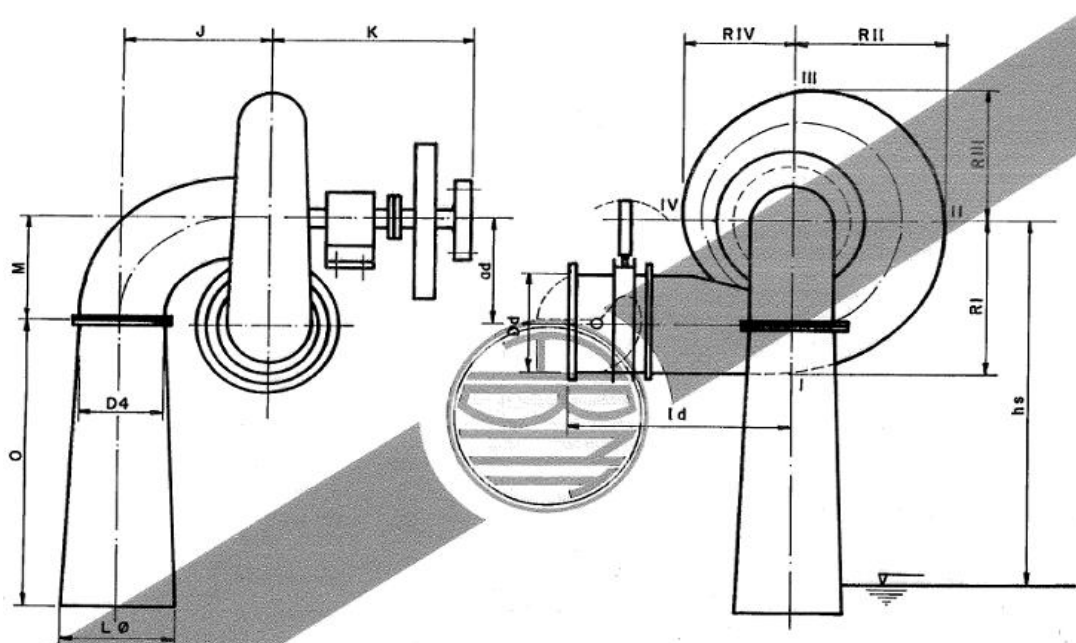


Figura 36: Dimensões Turbina Francis

Fonte: NBR 12591, 1992

Tabela 12 – Dimensões Turbina Francis

<i>Dimensões</i>	<i>Valor (mm)</i>
D2a	351,14
RIV	63,205
RII	737,394
RIII	702,28
Dd	456,482
D4	368,697
ld	1123,648
Ad	702,28
J	702,28
RI	772,508
K	1334,332
L	375,719
M	526,71

Fonte – Aatoria própria, 2015.

4.6.1.4 Dimensionamento Turbina Hélice

Para o dimensionamento do rotor da turbina tipo Hélice, a NBR 12591 de 1992 utiliza a equação (30).

$$D_r = (76,3 + 0,359 \times n_{qr}) \times \frac{(H_r)^{0,5}}{n} \quad (30)$$

Onde:

$$n = 600 \times \frac{(H_r)^{0,25}}{(Q_r)^{0,5}}$$

$$n_{qr} = n \times \frac{(Q_r)^{0,5}}{(H_r)^{0,75}}$$

Assim, o diâmetro encontrado:

$$n = 600 \times \frac{(14,07)^{0,25}}{(0,450)^{0,5}} = 1732,28 \text{ rpm}$$

Para efeito de calculo o valor da rotação será aproximado para 1800 rpm.

$$n_{qr} = 1800 \times \frac{(0,450)^{0,5}}{(14,07)^{0,75}} = 166,21 \text{ rpm}$$

$$D_r = (76,3 + 0,359 \times 166,21) \times \frac{(14,07)^{0,5}}{1800} = 283,34 \text{ mm}$$

Realizados os cálculos, através da NBR 12591 de 1992 é possível obter alguns dimensionamentos da Turbina Hélice como mostra a figura 37 e tabela 13.

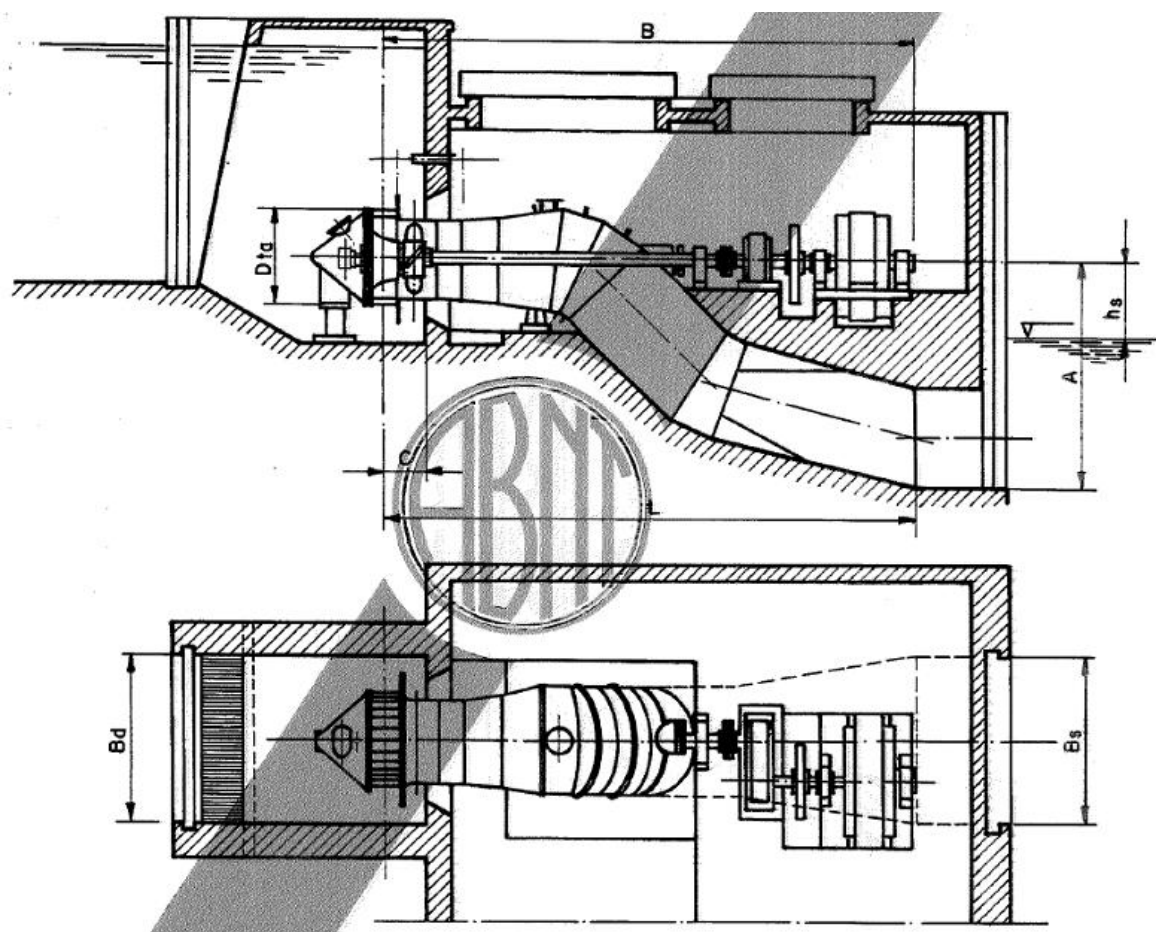


Figura 37: Dimensões Turbina Hélice

Fonte: NBR 12591, 1992

Tabela 13 – Dimensões Turbina Hélice

<i>Dimensões</i>	<i>Valor (mm)</i>
Dta	425,02
B	1657,57
C	170,01
L	1530,07
Bd	1076,71
Bs	566,69
A	793,37

Fonte – Autoria própria, 2015.

4.6.2 Gerador

Segundo Floréz (2014) dimensões aproximadas e características principais para geradores de eixo horizontal com velocidades superiores a 600 rpm podem ser encontradas em catálogos de geradores, mas para geradores com velocidade de rotação entre 125-250 rpm, catálogos similares não existem, por isso as principais dimensões e sua massa são normalmente fornecidas pelo fabricante. No caso da MCH Roncador serão utilizados geradores de 4 pólos, 1800 rpm.

4.6.3 Regulador de Velocidade

Os dimensionamentos e parâmetros operacionais do regulador de velocidade, como: faixa morta do regulador, tempo de inércia, tempo de regulação para correção de frequência, entre outros parâmetros devem ser informados pelo fabricante da turbina.

Segundo a Betta Hidroturbinas (2014), fabricante de turbinas pesquisado para este estudo, os parâmetros de regulador de velocidade para turbinas Banki, que podem ser, de maneira geral, aproximados para as demais turbinas com potência de aproximadamente 40kVA são:

- Faixa morta do regulador “dead band” – ajustável a partir de 0,4% da frequência nominal;

- Tempo de inércia utilizado para o cálculo do volante de inércia – 6 s;
- Tempo de regulação para correção da frequência em operação normal – 1 a 2,5 s;
- Tempo máximo de recuperação da frequência na rejeição de carga (desligamento elétrico do Gerador estando o conjunto à plena potência - 10 s).

4.6.4 Volante de Inércia

Segundo o Manual de Microcentrais Hidrelétricas, Eletrobrás e DNAEE (1985), os volantes de inércia são normalmente colocados na extensão do eixo do gerador, sendo sua massa e diâmetro determinados pelo fabricante da turbina em função das características da máquina oferecida.

A Betta Hidroturbinas (2014), fornece alguns parâmetros para o volante de inércia para o caso de turbina com potência próxima a 40kVA:

- Volante de Inércia com tempo de inércia de 6 segundos;
- Diâmetro 850mm e espessura 95 mm.

4.6.5 Canal de Fuga

De acordo com Alves (2007), as dimensões do canal de fuga, largura e profundidade (figura 38), são calculadas pelas equações (31) e (32).

$$L = (0,1 * Q) + 1,3 \quad (31)$$

$$C = (0,05 * Q) + 2,3 \quad (32)$$

Sendo:

L – profundidade, em m

C – largura do canal de fuga, em m

G – fornecido pelo fabricante, 0,3m

Q – vazão turbinada, 2,08m³/s

$$L = (0,1 * 2,08) + 1,3 = 1,508m$$

$$C = (0,05 * 2,08) + 2,3 = 2,404m$$

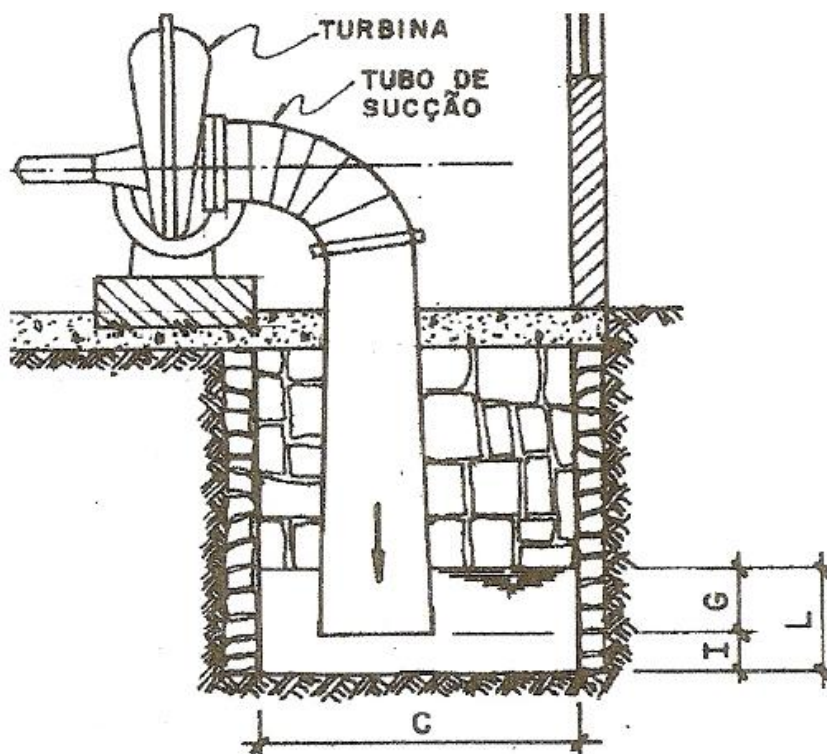


Figura 38: Canal de fuga – dimensões básicas

Fonte: ELETROBRÁS e DNAEE, 1985

5. MEDIDAS E MUDANÇAS NECESSÁRIAS À MICROCENTRAL

Após os estudos e levantamentos de dados referentes a MCH Roncador, percebe-se que algumas mudanças e melhorias devem ser tomadas para sua reativação. Este capítulo apresenta as medidas mais importantes para sua implantação.

5.1. RESERVATÓRIO, BARRAGEM E VERTEDOIRO

Observa-se um que o reservatório vem sofrendo um assoreamento devido ao acúmulo de solo desprendido ocasionado por erosões que ocorrem pela diminuição da mata ciliar, sendo necessário realizar um desassoreamento e dragagem no reservatório da MCH.

Na barragem observa-se pequenos problemas de erosão e perda de reboco, neste caso uma reforma pode deixar a barragem em plena condição de uso juntamente com o vertedouro, estrutura que também apresenta-se em boas condições de uso.

5.2. CONDUTO FORÇADO

Conforme levantamento feito na MCH, o conduto forçado não encontra-se mais em condições de uso, sendo necessária toda a reconstrução da estrutura. Como a MCH terá em sua planta quatro turbinas diferentes, houve a necessidade de um estudo onde o conduto apresentasse saídas múltiplas.

A tubulação forçada da tomada d'água até a chaminé de equilíbrio tem um comprimento de aproximadamente 190 m e diâmetro de 625 mm e da chaminé de equilíbrio até o patamar da casa de máquinas deve ter um comprimento de aproximadamente 35 m e um diâmetro de 625 mm, onde próximo a casa de máquinas se ramifica em 4 tubulações de 450 mm.

5.3. CHAMINÉ DE EQUILÍBRIO

Conforme mostrado no item 4.5.2.3 deste trabalho, a chaminé de equilíbrio deve sofrer alterações na altura para se utilizar um conduto forçado de 625 mm na MCH. A tabela 14 mostra os valores da estrutura existente e os valores que foram calculados para a nova chaminé de equilíbrio.

Tabela 14 – Dimensões Chaminé de Equilíbrio

	<i>Altura mínima (m)</i>	<i>Diâmetro mínimo (m)</i>
Existente	6,85	3,03
Calculada	9,03	2,19

Fonte – Aatoria própria, 2015.

Calculando o valor do volume de água suportado para a estrutura existente temos um valor máximo de 49,4 m³ e para os valores de dimensionamento calculados no capítulo 4, o volume de água máximo correspondente seria de 34,014m³. Logo, pode-se observa que a estrutura existente possui uma capacidade maior de volume de água, já que o valor de diâmetro existente maior que o calculado compensa o valor menor da altura. Conclui-se então que não há necessidade de mudanças neste estrutura.

5.4. CASA DE MÁQUINAS

Neste estudo não foram consideradas as instalações para o operador, nem a instalação de um pequeno banheiro.

Os grupos geradores são assentados em fundações de acordo com o desenho fornecido pelo fabricante da turbina. Os equipamentos devem ser aparafusados às fundações para facilitar a remoção em caso de manutenção e reparo (ELETROBRÁS e DNAEE, 1985).

O dimensionamento preliminar da casa de máquinas foi realizado após o dimensionamento das turbinas a serem instaladas. A figura 39 mostra o

dimensionamento mais detalhado do conduto forçado próximo a casa de máquinas e a disposição das turbinas na mesma.

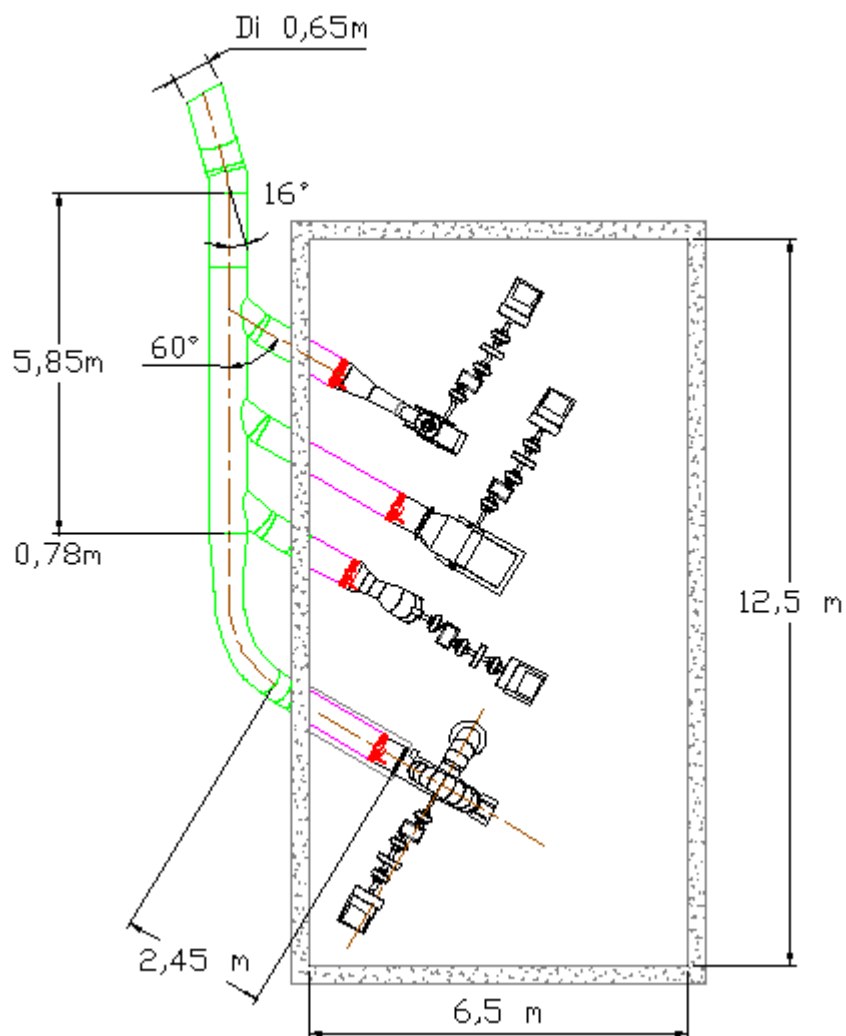


Figura 39: Casa de Máquinas

Fonte: Adaptado Stahlhoefer, 2013.

6. CONCLUSÕES

Com este trabalho, espera-se contribuir no estudo de pequenas e microcentrais hidrelétricas, que atualmente apresentam grande importância levando-se em consideração a evolução de tecnologias, o reconhecimento de suas vantagens e principalmente pela promoção do desenvolvimento sustentável. Considera-se que o estudo inicial para realização deste tipo de empreendimento seja obter um local adequado para aproveitamento energético sem que acarrete em grandes impactos ambientais e impactos a comunidade vizinha.

No caso estudado, as estruturas que podem causar grandes impactos ambientais, como a construção de barragem, já estão concretizadas, sendo necessárias apenas pequenas reformas.

As estruturas que se apresentam em condições de uso, que tem um dimensionamento correto segundo o Manual de Microcentrais e que apenas necessitam de reformas são: barragem, tomada d'água, vertedouro e chaminé de equilíbrio.

Segundo os estudos realizados, a MCH apresenta uma vazão de $0,450 \text{ m}^3/\text{s}$ entregue a turbina e uma queda bruta de 14,8 m. Através dos cálculos de perdas no sistema de adução, foi obtido um valor de potência aproximada de 47kW. Para esta vazão e queda, observou-se que a melhor turbina a ser utilizada no empreendimento seria a turbina Francis de eixo horizontal.

Como a reativação da MCH visa um progresso de natureza tecnológica envolvendo a Universidade e o Município de Bocaiúva do Sul, o estudo para a implantação espera a instalação de outros tipos de turbinas para estudo prático, para que a MCH torne-se um laboratório para os alunos da Universidade, implantando as turbinas: Pelton, Francis, Banki e Hélice.

Essa usina pode influenciar positivamente na formação de futuros engenheiros, para que eles tenham maior conhecimento da prática aliando-o com o conhecimento adquirido em sala de aula. Assim tendo a oportunidade de saber como realmente funciona uma usina ao se realizar visitas técnicas.

Após um estudo em campo e do levantamento de trabalhos anteriores, verificou-se o completo abandono das instalações existentes. Sendo necessárias algumas mudanças nas estruturas, como a reconstrução total do conduto forçado e

da casa de máquinas. Um estudo para a construção da casa de máquinas foi realizado através do dimensionamento das turbinas, mas somente após obter a verba necessária para a concretização da implantação, poderá ser feita a escolha dos fabricantes para delinear a estrutura final da casa de máquinas.

Como sugestão para trabalhos posteriores referentes a MCH Roncador, seria interessante a realização de um estudo sobre os custos para refazer todo o conduto forçado e a construção da casa de máquinas. Também podem ser desempenhados trabalhos quanto a parte de controle da MCH, podendo ser feito um estudo sobre controle remoto da MCH pela Universidade.

REFERÊNCIAS

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 Agrônômicas, Botucatu, 2007.

ANEEL. Cadernos Temáticos ANEEL. **Mini e Microgeração Distribuída – Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. ANEEL. Brasília, 2014.

_____. **NBR 9969**:Turbinas Hidráulicas para Pequenas Centrais Hidrelétricas, 1987.

_____. **NBR 10132**:Cálculo de condutos forçados, 1987.

_____. **NBR 12591**:Dimensões principais de turbinas hidráulicas para PCH, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 10280 - Determinação de Parâmetros Básicos de Turbinas Hidráulicas para Pequenas Centrais Hidrelétricas**, 1988.

BETTA HIDROTURBINAS. **Turbina Hidráulica tipo Banki**. Franca, 2014. 4 p.

BOYLE, Godfrey. **Renewable Energy: Power for a Sustainable Future**. New York: Oxford, 2004.

BALARIM, Carlos R. **Avaliação expedida do custo de implantação de microcentrais hidrelétricas**. 1996. 162 f. Dissertação (Mestrado)– Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 1996.

BEN -**Balanco Energético Nacional (2014, ano base 2013)**. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2014_Web.pdf> Acesso em: 27 mai. 2014.

CEPEL. Relatório Técnico ADG, A/PER Projeto 1462: **Estruturas para redes de distribuição rural**, n. 279, 2001.

CERPCH, **Centro nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidroelétricas**. Disponível em: <http://www.cerpch.unifei.edu.br/resumo_art.php?id=48> Acesso em: 15 jan. 2015.

DIAS, Marcos V. X. **Geração Distribuída no Brasil: Oportunidades e Barreiras**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2005.

ELETROBRÁS. **Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas**. Centrais Elétricas Brasileiras S.A., 2000.

ELETROBRÁS. **Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas**. Disponível em:<<http://www.portalpch.com.br/saiba-mais/diretrizes-para-estudos-e-projetos-de-pequenas-centrais-hidreletricas.html>> Acesso em: 10 mar. 2015.

EPE. **Síntese do Relatório Final do Balanço Energético Nacional 2013**. Disponível em: < <https://ben.epe.gov.br/default.aspx> >. Acesso em Dezembro 2013.

EDP BANDEIRANTE. **História da Energia Elétrica no Brasil**. Infográfico. Disponível em: <http://www.bandeirante.com.br/energia/pesquisadores_estudantes/energia_eletrica/historia_energia_eletrica/historia_energia_eletrica.asp.> Acesso em: 15 jan. 2015.

ELETROBRÁS. **Diretrizes para projetos de PCH**. Disponível em: <<http://www.portalpch.com.br>.> Acesso em 06 jan. 2015.

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

ESCELSA. **História da Energia Elétrica no Brasil**. Disponível em: <<http://www.edpescelsa.com.br/aescelsa/historia-ee-brasil.asp>> Acesso em 12 jan. 2015.

FLORÉZ, Ramiro O. **Pequenas Centrais Hidrelétricas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

GARCIA, Ângelo. B.; REBELATTO, Jorge A.; POMPERMAIER, Vitor. **Estudo para Revitalização da Micro Central Hidrelétrica de Roncador**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase em Eletrotécnica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

GOMES, Carla da Gama S. **Noções de geração de energia utilizando algumas fontes de baixo impacto ambiental**. 2010. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

GREENPEACE. **Energia positiva para o Brasil**. Disponível em: <http://www.greenpeace.org.br/energia/pdf/dossie_energia_2004.pdf> Acesso em 11 jan. 2015.

HINRICHS, Roger A.; KLEINBACK, Merlin. **Energia e Meio Ambiente** - 3ªed Editora: Thomson, 2003.

HENN, Érico A. L. **Máquinas de fluídos** - 2ªed. Santa Maria: UFSM, 2006;

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ (IAP). **Procedimentos de licenciamento ambiental para implantação de Empreendimentos Hidrelétricos no Paraná**. Disponível em:

<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/61AA3835/Procedimentos_LicenciamentoAmbiental_EHS.pdf> Acesso em 05 jan. 2015.

INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ. Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=10>
Acesso em: 12 jan. 2015.

ISOLA, Vinícius. **A História do Eletromagnetismo**. Disponível em: <http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem1_2003/992558ViniciusIsola-RMartins_F809_RF09_0.pdf> Acesso em 12 jan. 2015.

IBGE Censo Demográfico 2010. Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=P13&uf=00>> Acesso em: 25 mai. 2014.

LEITE, Antonio D. **A Energia do Brasil**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997.

MICHELLIS, Decio Junior. **O licenciamento ambiental de PCHs e a matriz elétrica brasileira**. Disponível em: <<http://www.redenergia.com/imprensa/o-licenciamento-ambiental-de-pchs-e-a-matriz-eletrica-brasileira-6/>> Acesso em: 15 jan. 2015.

MULLER, Arnaldo Carlos. **Hidrelétricas, meio ambiente e desenvolvimento**. São Paulo: Makron Books, 1995.

PFLEIDERER, Carl; PETERMANN, Hartwig. **Máquina de fluxo**. Tradução: Ana Lucia S. de Almeida; José ^a Royo dos Santos e Zulcy de Souza. Rio de Janeiro: Livros Técnicos, 1979.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BOCAIÚVA DO SUL. **O município**. Disponível Em: <<http://www.bocaiuvadosul.pr.gov.br> > Acesso em: 08 abr. 2015.

REIS, Josilene F.; FILHO, Sérgio Luiz O. J.; SOUZA, Wellington Linconl C. **Medição da Vazão da Usina Hidrelétrica de Roncador**. 2011. Trabalho de Conclusão de

Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Industrial Elétrica –Ênfase em Eletrotécnica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

SKROTZKI, Bernhardt G. A.; VOPAT. **William A. Power Station engineering and economy**. 5th ed. New York: McGraw-Hill, 1996.

SOUZA, Zulcy de. SANTOS, Afonso H. M. BORTONI, Edson da C. **Centrais Hidrelétricas – Estudos para Implantação**. Eletrobrás. Rio de Janeiro, 1999.

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

SOUZA, Zulcy de. **Centrais Hidrelétricas - Dimensionamento de Componentes**. São Paulo: Edgard Blücher, 1992.

SOUZA, Zulcy de; SANTOS, Afonso H. M.; BORTONI, Edson da C. **Centrais Hidrelétricas - Implantação e Comissionamento** -2ºed. Rio de Janeiro: InterciênciaLtda, 2009.

SCHREIBER, Gerhard P. **Usina Hidrelétricas**. São Paulo: Edgard Blücher; Rio de Janeiro: Engevix, 1977.

STAHLHOEFER, Marcelo. **Estudos Econômico para Repotencialização da Micro Central Roncador**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

TIAGO FILHO, Geraldo L. **Eficiência dos equipamentos de PCHs no Brasil**. Itajubá-MG: EFEI, 2004.