

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

VICTOR HUGO AKIO BENASSI UNO

**ESTUDO PARA IMPLANTAÇÃO DE TURBINA DE FLUXO
CRUZADO TIPO MICHELL-BANKI NA MICRO CENTRAL
HIDRELÉTRICA DE RONCADOR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2012

VICTOR HUGO AKIO BENASSI UNO

**ESTUDO PARA IMPLANTAÇÃO DE TURBINA DE FLUXO
CRUZADO TIPO MICHELL-BANKI NA MICRO CENTRAL
HIDRELÉTRICA DE RONCADOR**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Disciplina de Trabalho de
Conclusão de Curso, do Curso Superior de
Engenharia Industrial Elétrica –
Eletrotécnica da Universidade Tecnológica
Federal do Paraná.

Orientador: Professor Dr. Gilberto Manoel
Alves

CURITIBA

2012

Victor Hugo Akio Benassi Uno

Estudo para implantação de turbina de fluxo cruzado tipo Michell-Banki na micro central hidrelétrica 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, 14 de junho de 2012.

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

Profa. Annemarle Gehrke Castagna, Mestre
Coordenadora dos 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

Carlos Henrique Mariano, Mestre
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Wanderley Szlichta, Mestre
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

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

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar ao professor Gilberto Manoel Alves pela ideia do tema e posterior apoio para realização deste trabalho.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná e todos os colaboradores que ajudaram com conhecimento técnico, incentivo e apoio durante a realização do trabalho.

À fabricante de turbinas Betta Hidroturbinas por fornecer a cotação e especificação técnica da turbina Michell-Banki.

Aos amigos Marcelo Stahlhoefer e Cesar de Carvalho pelo suporte e apoio no desenvolvimento do trabalho.

À prefeitura e aos habitantes de Bocaiúva do Sul pelo apoio e hospitalidade na visita realizada à MCH de Roncador.

A todos os familiares, amigos e aos que contribuíram direta ou indiretamente durante o desenvolvimento deste trabalho, sempre me motivando para que fosse alcançado o objetivo, meus sinceros agradecimentos.

“Se não puder voar, corra. Se não puder correr, ande. Se não puder andar, rasteje, mas continue em frente de qualquer jeito”.

(Martin Luther King Jr.)

RESUMO

UNO, Victor Hugo Akio Benassi. ESTUDO PARA IMPLANTAÇÃO DE TURBINA DE FLUXO CRUZADO TIPO MICHELL-BANKI NA MICRO CENTRAL HIDRELÉTRICA DE RONCADOR. 2012. 84 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Industrial Elétrica – Eletrotécnica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, unidade de Curitiba – UTFPR, 2012.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e a Prefeitura de Bocaiúva do Sul – PR, em parceria, estão reativando a Micro Central Hidrelétrica – MCH de Roncador para geração de energia elétrica e utilização como laboratório didático complementando o ensino teórico na Universidade. O trabalho consiste primeiramente no estudo para instalação da turbina de fluxo cruzado, tipo Michell-Banki, na MCH de Roncador. Esta turbina é definida como uma turbina de ação e pode ser instalada em quedas de 1 a 200 *m* de altura e vazões de 0,025 a 13 m^3/s , podendo alcançar diâmetros de rotores próximos de 1,0 *m* com largura até 3,0 *m* e desenvolver potência até 2000 *kW* e com rendimentos até 90%. A segunda parte do trabalho consiste na criação de um conduto forçado com múltiplas saídas para instalação de diversas turbinas, podendo assim, realizar estudos práticos e comparativos.

Palavras-chave: Bocaiúva do Sul. Micro Central Hidrelétrica. Michell-Banki. Conduto Forçado.

ABSTRACT

UNO, Victor Hugo Akio Benassi. STUDY FOR IMPLANTATION OF TURBINE CROSS-FLOW TYPE MICHELL-BANKI IN THE MICRO HYDROELECTRIC POWER PLANT OF RONCADOR. 2012. 84 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Industrial Elétrica – Eletrotécnica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, unidade de Curitiba – UTFPR, 2012.

Federal Technological University of Paraná (UTFPR) and Bocaiúva do Sul's city hall in partnership, are reactivating the Micro Hydroelectric Power Plant of Roncador for electricity generation and use as a teaching laboratory complementing the theoretical at the University. The work consists primarily in the study for installation of the turbine cross-flow, type Michell-Banki, in the Micro Hydroelectric Power Plant of Roncador. This turbine is defined as an action turbine and can be installed in falls from 1 to 200 *m* of height and flow of 0,025 to 13 m^3/s , it can reach diameters of rotors near 1,0 *m* with a width of 3,0 *m* and develop power up to 2000 *kW*, with yields of up to 90%. The second part of the work is the creation of a penstock with multiple outlets for installation of several turbines and can therefore carry out practical studies and comparative.

Palavras-chave: Bocaiúva do Sul. Micro Hydroelectric Power Plant. Michell-Banki. Penstock.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização Geográfica do Município de Bocaiúva do Sul.....	22
Figura 2: Placa de Identificação da Parceria com a UTFPR	23
Figura 3: Vista da MCH de Roncador.....	24
Figura 4: Represa da MCH de Roncador	25
Figura 5: Represa/Barragem da MCH de Roncador	26
Figura 6: Barragem da MCH de Roncador.....	27
Figura 7: Queda d'água na barragem da MCH de Roncador	28
Figura 8: MCH de Roncador.....	29
Figura 9: Casa de Força da MCH de Roncador	29
Figura 10: Tomada d'Água da MCH de Roncador	30
Figura 11: Exemplo de Conduto Forçado.....	31
Figura 12: Trifurcação	32
Figura 13: Vizualização 3D das Linhas da Trifurcação	33
Figura 14: Conduto Forçado da MCH de Roncador	33
Figura 15: Turbina de Fluxo Cruzado.....	40
Figura 16: Elementos Principais da Turbina Michel-Banki	40
Figura 17: Fluxo Cruzado e Padrões de Fluxo	41
Figura 18: Duas Turbinas Michell-Banki em Paralelo.....	42
Figura 19: Modelo Turbina Michell-Banki Betta Hidroturbinas.....	50
Figura 20: Esquema do Gerador Síncrono.....	51
Figura 21: Central Óleo Hidráulica	54
Figura 22: Painel do Regulador Automático de Velocidade	56
Figura 23: Trecho 1 do Conduto Forçado	61
Figura 24: Trecho 1 do Conduto Forçado em 3D	61
Figura 25: Cargas Atuantes no Trecho 1	65
Figura 26: Esforços Cortantes no Trecho 1.....	65
Figura 27: Momentos Fletores no Trecho 1	66
Figura 28: Trecho 3 do Conduto Forçado	68
Figura 29: Trecho 3 do Conduto Forçado em 3D	68
Figura 30: Cargas Atuantes no Trecho 3	71
Figura 31: Esforços Cortantes no Trecho 3.....	71
Figura 32: Momentos Fletores no Trecho 3	71
Figura 33: Desenho do Conduto Forçado	73
Figura 34: Corte A-A do Conduto Forçado.....	73
Figura 35: Desenho 3D do Conduto Forçado.....	74

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Consumo Final Energético por Setor	12
Gráfico 2: Oferta Interna de Energia	13
Gráfico 3: Oferta Interna de Energia Elétrica.....	14
Gráfico 4: Campo Típico de Aplicação de Turbinas Hidráulicas.....	38
Gráfico 5: Custos para turbinas hidráulicas, quedas de (◇) 5 m, (+) 10 m, (×) 15 m, (*) 20 m e (O) 30 m, para (Δ) bombas centrífugas e para (□) turbinas Michell-Banki	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação das PCH's no Brasil.....	15
Tabela 2: Velocidade de Rotação	35
Tabela 3: Características de Turbinas Fabricadas no Brasil	37
Tabela 4: Regimes de Serviço do Gerador Síncrono GTA252AIII	52
Tabela 5: Características do Gerador Síncrono GTA252AIII	53
Tabela 6: Parâmetros de Instalação da Unidade Geradora na MCH de Roncador...	59

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanco Energético Nacional
CERPCH	Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
CLP	Controlador Lógico Programável
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas
IEC	International Electrotechnical Commission
MCH	Micro Central Hidrelétrica
NBR	Norma Brasileira
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PID	Proporcional, Integrativa e Derivativa
PUC-RS	Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
SAE	Society of Automotive Engineers
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
WEG	Werner, Eggon e Geraldo (Fundadores da WEG S.A.)

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE GRÁFICOS	8
LISTA DE TABELAS	9
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	10
1 INTRODUÇÃO	12
1.1 TEMA DE PESQUISA	12
1.1.1 Delimitação do Tema	15
1.2 PROBLEMAS	16
1.3 OBJETIVOS	17
1.3.1 Objetivo Geral	17
1.3.2 Objetivos Específicos	17
1.4 JUSTIFICATIVA	18
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	18
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	19
1.7 CRONOGRAMA	20
2 BOCAIÚVA DO SUL	21
2.1 HISTÓRICO	21
2.2 LOCALIZAÇÃO	21
2.3 POPULAÇÃO	22
2.4 REDE HIDROGRÁFICA	22
2.5 PARCERIA COM A UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ	23
3 MICRO CENTRAL HIDRELÉTRICA DE RONCADOR	24
3.1 DADOS HIDROENERGÉTICOS	25
3.2 RESERVATÓRIO	25
3.3 BARRAGEM	26
3.4 CASA DE FORÇA	28
3.5 TOMADA D'ÁGUA	30
3.6 CONDUTO FORÇADO	30
4 TURBINAS HIDRÁULICAS	34
4.1 TURBINA MICHELL-BANKI	38
5 ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA	42
5.1 CRITÉRIOS PARA ANÁLISE DE VIABILIDADE	42
5.2 CUSTOS DE TURBINAS HIDRÁULICAS	43
6 PROJETO BÁSICO DA UNIDADE GERADORA	45
6.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	45
6.2 TURBINA MICHELL-BANKI	45
6.2.1 Especificações Técnicas do Modelo Betta 6090	46
6.2.2 Características do Equipamento	46
6.3 GERADOR	50

6.3.1	Partes Constituintes de um Gerador Síncrono.....	50
6.3.2	Regimes de Serviço	52
6.3.3	Características do Equipamento	52
6.4	UNIDADE HIDRÁULICA.....	53
6.5	UNIDADE ELETRÔNICA DO REGULADOR DE VELOCIDADE	54
6.6	UNIDADE GERADORA	57
7	MEMORIAL DE CÁLCULO DO CONDUTO FORÇADO.....	59
7.1	DADOS TÉCNICOS.....	59
7.2	CÁLCULOS DO CONDUTO NO TRECHO 1.....	60
7.2.1	Pressão Estática Máxima.....	61
7.2.2	Pressão Dinâmica Máxima.....	62
7.2.3	Pressão Total	62
7.2.4	Tensão Devido à Pressão	62
7.2.5	Cálculo das Tensões Devido aos Pesos do Conduto e da Água	64
7.3	CÁLCULOS DO CONDUTO NO TRECHO 3.....	67
7.3.1	Pressão Estática Máxima.....	68
7.3.2	Pressão Dinâmica Máxima.....	68
7.3.3	Pressão Total	69
7.3.4	Cálculo das Tensões Devido aos Pesos do Conduto e da Água	70
7.4	DESENHOS DO CONDUTO FORÇADO	73
8	CONCLUSÃO	75
	REFERÊNCIAS.....	76
	APÊNDICE	80
	ANEXO	83

1 INTRODUÇÃO

1.1 TEMA DE PESQUISA

Na atualidade, a energia elétrica é fundamental para toda a sociedade, em todos os meios. Seu uso está praticamente disseminado em todo o tipo de trabalho e lazer das pessoas.

De acordo com os dados do gráfico 1, do Balanço Energético Nacional – BEN, em 2011, é possível observar que o setor de transportes e o setor industrial são os que consomem a maior parte da oferta de energia no Brasil, totalizando 68,9 % da energia, utilizando principalmente fontes não renováveis de energia, como combustíveis fósseis (BEN, 2011).

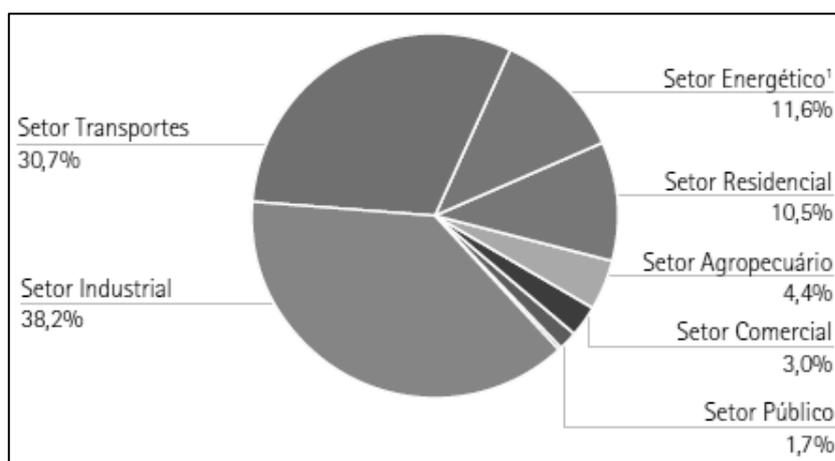


Gráfico 1: Consumo Final Energético por Setor
Fonte: Balanço Energético Nacional, 2011

Com a crescente preocupação com o meio ambiente e com a sustentabilidade energética, surgem neste contexto, os recursos renováveis, buscando ampliar a oferta de energia e redução de custos.

Energia renovável é a energia provida de recursos naturais, que são reabastecidos naturalmente, como energia solar, energia eólica, energia geotérmica, biomassa, energia das ondas / marés e energia hidrelétrica, foco principal da pesquisa.

O principal motivo de se utilizar recursos renováveis está na diminuição do impacto ambiental, provocado pelo esgotamento das fontes de energia não

renováveis e pelo aumento do dióxido de carbono - CO_2 produzido pela utilização de fontes que podem se esgotar futuramente, principalmente os combustíveis fósseis.

Segundo os dados do BEN (2011) no gráfico 2, a oferta nacional de energia se concentra ainda no petróleo e seus derivados, com 38 % da total. A energia obtida através da cana-de-açúcar e hidrelétrica cresce de forma gradativa atingindo as marcas de 17,7 % e 14,2 % respectivamente (BEN, 2011).

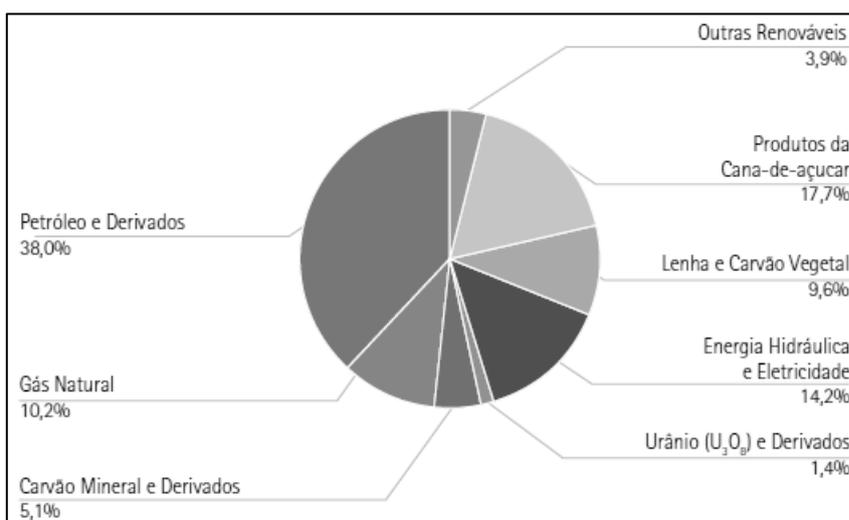


Gráfico 2: Oferta Interna de Energia
Fonte: Balanço Energético Nacional, 2011

Entretanto, no cenário da oferta de energia elétrica no Brasil, há um domínio muito grande das hidrelétricas, fornecendo praticamente 75 % utilizada no país, conforme é mostrado no gráfico 3 (BEN, 2011).

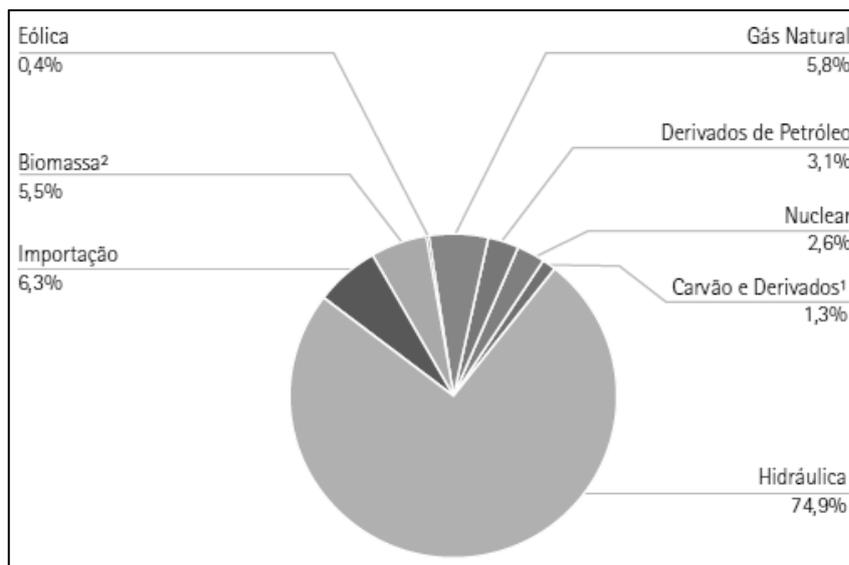


Gráfico 3: Oferta Interna de Energia Elétrica
Fonte: Balanço Energético Nacional, 2011

De acordo com dados do Portal Brasileiro de Energias Renováveis, mesmo com o aumento de outras fontes alternativas de energia, devido a restrições econômicas e ambientais sobre usinas hidrelétricas, existe a certeza que a energia de hidrelétricas continuará sendo, a principal fonte geradora de energia elétrica do país, estipulam-se que, no mínimo, 50 % da expansão de geração de energia nos próximos anos, sejam de origem hídrica (PORTAL BRASILEIRO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2011). E é neste contexto que as Pequenas e Micro Centrais Hidrelétricas – PCH's e MCH's – terão, seguramente, um papel importante a cumprir.

Os incentivos aos interessados e a remoção de vários empecilhos à entrada de empreendedores na indústria de energia elétrica, têm estimulado o aumento de aproveitamentos hidrelétricos de pequeno porte e baixo impacto ambiental no país, procurando atender demandas próximas aos centros de carga.

Segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, de 1998 até 2010, foram autorizadas as instalações de 404 PCH's no Brasil, gerando uma potência de aproximadamente 5127,61 MW. Apenas no estado do Paraná foram autorizadas 35 PCH's, a maioria delas sendo de empresas particulares (ANEEL, 2011).

1.1.1 Delimitação do Tema

Segundo o Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas – CERPCH (2011), a ANEEL, por meio da Resolução nº. 394, de 04 de dezembro de 1998, estabeleceu novos critérios para empreendimentos de PCH's, com as seguintes características (CERPCH, 2011):

- Potência igual ou superior a 1,0 MW e igual ou inferior a 30,0 MW;
- Área total do reservatório igual ou inferior a 3,0 km²;
- Cota d'água associada à vazão de cheia com tempo de recorrência de 100 anos.

Em 2003 a ANEEL através da Resolução 652 altera a área do reservatório. Caso o limite de 3,0 km² seja ultrapassado, ainda terá as características de uma PCH, se forem atendidas pelo menos duas condições (CERPCH, 2011):

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

Onde:

A – Área do reservatório em km²;

P – Potência elétrica instalada em MW;

H_b – Queda bruta do aproveitamento em m (diferença entre os níveis de água máximos, de montante e jusante);

- Área não poderá exceder 13,0 km², sendo definida pelo nível d'água máximo normal à montante da barragem.

Segundo o manual de PCH da Eletrobrás (1982), as PCH's são classificadas de acordo com a tabela 1:

Tabela 1: Classificação das PCH's no Brasil

Categoria	Potência	Queda
Micro central	Até 100 kW	Entre 15 e 50 metros
Mini central	Entre 100 kW e 1 MW	Entre 20 e 100 metros
PCH	Entre 1 MW e 30 MW	Entre 25 e 130 metros

Fonte: CERPCH, 2011.

De acordo com o Portal PCH (2011), o custo da energia elétrica produzida pelas PCH's é maior do que de uma usina de grande porte. Entretanto, as PCH's geram menores impactos ambientais e possuem a geração de energia descentralizada, utilizando rios de pequeno / médio portes que tenham desníveis significativos durante o percurso, gerando potência hidráulica suficiente para movimentar as turbinas (PORTAL PCH, 2011).

Assim, o presente estudo está focado na área de pequenas centrais hidrelétricas, realizando uma análise de viabilidade técnica da turbina Michell-Banki, pois ela se adapta muito bem na geração em MCH's, com uma potência menor ou igual a 1 MW, relativamente fácil de construir, é um meio altamente eficiente de aproveitar um pequeno rio ou riacho para fornecer energia suficiente para geração de energia elétrica.

De acordo com Pérez, Magalhães Filho e Carvalho Jr. (2010), a turbina Michell-Banki possui baixo custo de fabricação, instalação e manutenção, podendo ser usadas em grandes intervalos de rotações específicas e vazões, sem diminuir de maneira considerável a eficiência da mesma. Devido a estas vantagens, ela se torna muito atraente para ser utilizadas em zonas rurais (PÉREZ et al., 2010).

A turbina Michell-Banki é classificada como uma turbina de ação, entrada radial, de admissão parcial e fluxo transversal. A turbina tem como principais características de operação (PÉREZ et al., 2010):

- H (altura): $1\text{ m} \leq H \leq 100\text{ m}$;
- Q (vazão): $0,2\text{ m}^3/\text{s} \leq Q \leq 7\text{ m}^3/\text{s}$;
- P (potência): $P \leq 1\text{ MW}$;
- n_s (velocidade específica): $30 \leq n_s \leq 180$.

1.2 PROBLEMAS

A partir da parceria entre a UTFPR e a Prefeitura de Bocaiúva do Sul para a utilização da MCH de Roncador é possível notar que a mesma tem praticamente toda a estrutura e equipamentos deteriorados. Assim, é necessária uma revitalização da usina para oferecer condições de geração de energia e fins didáticos.

Uma MCH é constituída de diversas partes: reservatório de água, barragem, tomada d'água, conduto forçado, casa de força, equipamentos eletromecânicos, subestação, entre outros.

Para utilizar a MCH de Roncador para fins didáticos, a UTFPR, o departamento de elétrica (DAELT) e os alunos que estão fazendo trabalhos de conclusão de curso, estudam maneiras de instalar vários tipos de turbinas na saída do conduto forçado.

Espera-se com este trabalho auxiliar em uma parte desta revitalização, realizando o estudo para implantação da turbina Michell-Banki e o projeto básico de um conduto forçado com saídas múltiplas.

Um dos problemas é fazer o levantamento de todos os dados da turbina Michell-Banki, pois os fornecedores e distribuidores no Brasil dificilmente disponibilizam os manuais técnicos e memórias de cálculos.

Outra problema de grande importância é a verificação da possibilidade de instalação de diversas saídas de um conduto forçado para o estudo de diferentes turbinas encontradas no mercado, considerando a pouca utilização desta tecnologias nas PCH's e MCH's no Brasil.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar os aspectos técnicos da utilização da turbina de fluxo cruzado, do tipo Michell-Banki na MCH didática de Roncador.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Estudar os dados técnicos da turbina Michell-Banki disponíveis no mercado para a geração de energia elétrica;
- Fazer o levantamento dos custos de implantação de uma turbina Michell-Banki na MCH de Roncador;
- Caso de estudo da aplicação de uma turbina Michell-Banki na MCH de Roncador;

- Fazer o levantamento do custo x energia de uma turbina de fluxo cruzado de acordo com o preço de fornecedores e a energia gerada na MCH de Roncador;
- Realizar um projeto básico da instalação de um conduto forçado com saídas múltiplas para estudo de diferentes turbinas disponíveis no mercado nacional.

1.4 JUSTIFICATIVA

O objetivo do trabalho é auxiliar na revitalização da MCH de Roncador na cidade de Bocaiúva do Sul – PR.

De acordo com Pérez, Magalhães Filho e Carvalho Jr. (2010), as turbinas Michell-Banki se adaptam bem na geração de energia elétrica em MCH's, com potências menores a 1 MW, é uma maneira boa de aproveitar pequenos rios para geração de energia elétrica (PÉREZ et al., 2010):

- Descentralização da geração de energia elétrica;
- Grande número de locais com potencial de aproveitamento de baixas quedas d'água;
- Tecnologia com eficiência alta (70 % em média);
- Impactos ambientais pouco significativos.

A instalação de um conduto forçado com saídas múltiplas é uma maneira de aproveitar a usina existente sem causar impactos ambientais, e assim, analisar as diferenças de diversas turbinas na prática, podendo ser estudadas individualmente na MCH de Roncador.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O trabalho pode ser classificado de forma aplicada, com o objetivo de gerar novos conhecimentos e solução de problemas: descentralização da energia elétrica, menor custo para instalações de MCH's, aproveitamento de baixas quedas d'água e menos impactos ambientais.

Será um trabalho quantitativo e qualitativo, realizando pesquisas bibliográficas de normas técnicas, trabalhos, teses e manuais de fabricantes, serão utilizados recursos, especificações técnicas e também terão análises de dados indutivamente,

tendo o ambiente natural como fonte para coleta de dados, com visita técnica ao local, medição e análise dos dados técnicos da MCH de Roncador.

Os objetivos do trabalho são exploratórios e explicativos, pois envolvem tanto o levantamento bibliográfico quanto o estudo de caso prático da MCH de Roncador.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho será composto por 8 capítulos:

O capítulo 1, introdutório deste estudo, explica o tema central da pesquisa, os problemas encontrados, objetivos gerais e específicos, justificativa da realização do trabalho, procedimentos metodológicos, a estrutura do trabalho e o cronograma.

O capítulo 2 inicia o histórico, localização, população e a rede hidrográfica de Bocaiúva do Sul, e também a parceria da UTFPR com a prefeitura de Bocaiúva do Sul.

O capítulo 3 demonstra o histórico, localização, dados Hidroenergéticos, reservatório, barragem, tomada d'água, casa de força e conduto forçado da Micro Central Hidrelétrica de Roncador.

O capítulo 4 tem a fundamentação teórica, histórico da turbina de fluxo cruzado do tipo Michell-Banki, elementos e aplicações principais.

O capítulo 5 mostra a análise de viabilidade técnica, critérios para realização desta análise, além de um comparativo entre as turbinas tradicionais.

O capítulo 6 consiste no projeto básico da unidade geradora, isto é, turbina Michell-Banki, gerador síncrono além de todos os outros equipamentos que fazem parte deste conjunto.

O capítulo 7 tem todo o memorial de cálculo e os desenhos feitos do conduto forçado com múltiplas saídas.

Para finalizar, o capítulo 8 tem as conclusões sobre o trabalho desenvolvido assim como sugestões para futuros estudos.

1.7 CRONOGRAMA

Atividades	2011						2012					
	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
1 - Escolha do Tema / Orientador	X	X										
2 - Redação e Defesa da Proposta	X	X	X									
3 - Revisão Bibliográfica e Desenvolvimento do Referencial Teórico			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4 - Defesa Parcial do Projeto Final					X							
5 - Adequações em Função das Observações da Banca					X	X						
6 - Desenvolvimento do Projeto Final de Curso							X	X	X	X	X	
7 - Elaboração e Redação do Artigo										X	X	
8 - Elaboração e encaminhamento de documentação para Defesa Final											X	
9 - Defesa do Projeto Final de Curso												X
10 - Correções Pós-Defesa Final												X
11 - Elaboração e encaminhamento de Documentação Final												X

2 BOCAIÚVA DO SUL

2.1 HISTÓRICO

Ao serem descobertos os campos de Curitiba, já existia, no planalto curitibano, uma localidade chamada Arraial Queimado. Segundo consta, essa denominação originou-se de um incêndio que teria destruído a sua primitiva povoação, que se supõe tenha sido de mineradores. Depois do acidente, o local foi sendo abandonado e, depois de muitos anos, com o estabelecimento da família de Manoel José Cardoso, iniciou-se o repovoamento da região (IBGE, 2010).

Após a Proclamação da República, o Município de Arraial Queimado passou a denominar-se Bocaiúva, em homenagem ao Ministro das Relações Exteriores do governo provisório, Quintino Bocaiúva, ato que se concretizou pelo Decreto nº 19 de 11 de janeiro de 1890 (PREFEITURA MUNICIPAL DE BOCAIÚVA DO SUL, 2011).

Somente em março de 1938, por força do decreto lei nº 705, a sede municipal foi elevada à categoria de cidade e no ano de 1946, o Decreto Lei Estadual, o município passou a denominar-se Bocaiúva do Sul. O Prefeito Manoel Costacurta que teve o mandato durante o período de 1947 à 1951, realizou algumas obras de relevância, entre elas, a usina hidrelétrica de Roncador, atualmente desativada (PREFEITURA MUNICIPAL DE BOCAIÚVA DO SUL, 2011).

2.2 LOCALIZAÇÃO

O município de Bocaiúva do Sul possui uma área territorial de 826 km^2 , distante 41,60 km da Capital e está localizado a uma altitude média de 980 m , localizando-se com as coordenadas: Latitude 25°13'00" e Longitude 49°06'00", fazendo parte da Região Metropolitana de Curitiba desde de janeiro de 1974, conforme é mostrado na figura 1 (IBGE, 2010).

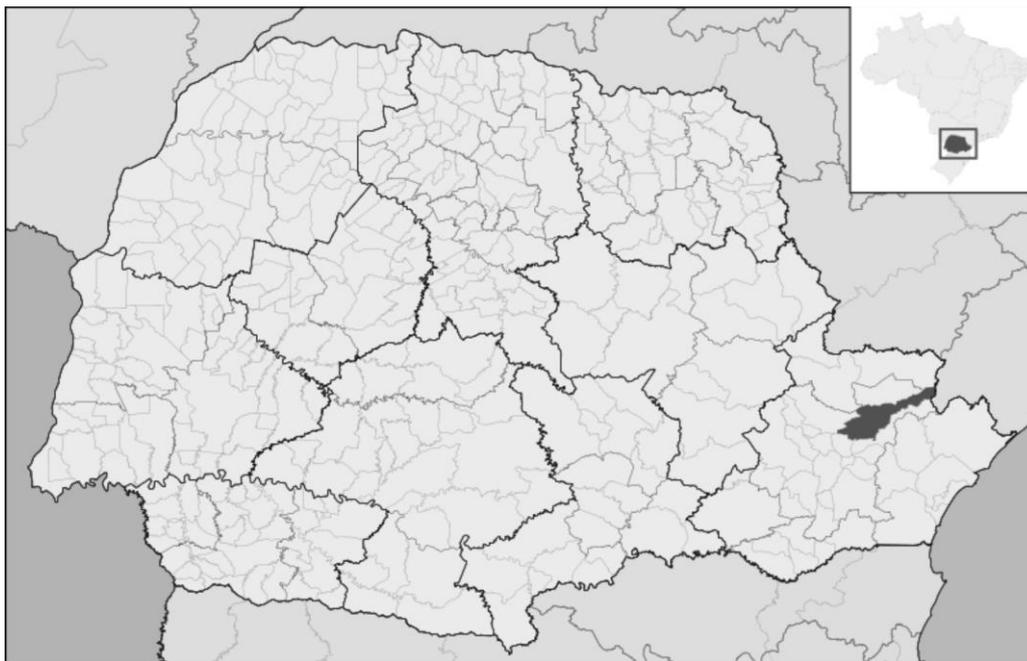


Figura 1: Localização Geográfica do Município de Bocaiúva do Sul
Fonte: Prefeitura municipal de Bocaiúva do Sul (2011)

2.3 POPULAÇÃO

De acordo com o Censo Demográfico do IBGE no ano de 2010, o município possui uma população de 10.987 habitantes, dos quais cerca de 61 % da população habitam a zona rural e apenas 39 % do total se distribuem na zona urbana (IBGE, 2010).

2.4 REDE HIDROGRÁFICA

O município possui uma rede hidrográfica bastante densa que vai em direção ao Oceano Atlântico pelo Rio Ribeira do Iguape. A área está inserida na Bacia do Ribeira, sub-bacia do Rio Capivari (PREFEITURA MUNICIPAL DE BOCAIÚVA DO SUL, 2011).

Próximos ao núcleo urbano da Região metropolitana de Curitiba estão localizados as nascentes dos principais rios, Rio Ribeira e Capivari, a outorga desses rios é exclusivamente para o abastecimento urbano e a produção de energia (PREFEITURA MUNICIPAL DE BOCAIÚVA DO SUL, 2011).

2.5 PARCERIA COM A UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

O Campus Curitiba e a prefeitura de Bocaiúva do Sul, em parceria, estão reativando a Usina Hidrelétrica Roncador, no dia 26 de novembro de 2011, representantes do Campus estiveram em Bocaiúva do Sul para participar da cerimônia de lançamento do marco fundamental na Usina Roncador, para que se iniciem as obras de reforma e reativação do local, demonstrada a seguir, na figura 2 (UTFPR, 2010).

Fechada há mais de 40 anos, após a reativação, a Usina Roncador deverá proporcionar espaços de uso conjunto pela Universidade e pela Prefeitura, que poderão ser utilizados para ações de meio ambiente, turismo e tecnológicas. A intenção desse projeto é tornar a usina um ambiente educativo, pensando-se também a questão ambiental (UTFPR, 2010).



Figura 2: Placa de Identificação da Parceria com a UTFPR
Fonte: Própria (2012)

3 MICRO CENTRAL HIDRELÉTRICA DE RONCADOR

A Usina de Roncador localiza-se no município de Bocaiúva do Sul, ao Leste do Estado do Paraná – onde a casa de força situa-se na latitude 25°11'19" S e 49°08'15" W e a barragem na latitude 25°11'13" S e 49°08'13" W, conforme é mostrado na figura 3 (GOOGLE EARTH, 2011).



Figura 3: Vista da MCH de Roncador
Fonte: Google Earth (2011)

A Usina de Roncador apresenta uma área de 101.164,42 m², distante 3 km de Bocaiúva do Sul e a 44,60 km de Curitiba.

Segundo o Instituto das Águas do Paraná o início de operação da usina de Roncador ocorreu em 1953, composto de dois geradores, um de 200 kW e outro de

30 kW, ambos com a turbina do tipo Francis e sua desativação ocorreu em 1959 (GARCIA et al., 2011).

3.1 DADOS HIDROENERGÉTICOS

A usina de Roncador faz parte da bacia hidrográfica do Ribeira. Os principais dados hidroenergéticos disponíveis da usina 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 14,8 m convalidados pelo método do vertedouro (GARCIA et al., 2011).

3.2 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 a demanda máxima prevista instalada, a figura 4 mostra como está a situação atual da represa da MCH de Roncador.



Figura 4: Represa da MCH de Roncador
Fonte: Própria (2012)

A figura 5 demonstra que a altura máxima do reservatório em relação à barragem é de 2,50 m. A imagem foi registrada em janeiro de 2012, marcando a profundidade ao lado da barragem de 2,30 m.



Figura 5: Represa/Barragem da MCH de Roncador
Fonte: Própria (2012)

3.3 BARRAGEM

A barragem é a estrutura que tem a função de represar e elevar o nível d'água do rio, possibilitando a alimentação da tomada d'água, no caso de locais de baixa queda, a barragem tem também a função de criar o desnível necessário à produção da energia desejada. Possibilita também a captação para desvio, a elevação do nível das águas, para que ocorra o desnível coerente com um aproveitamento hidrelétrico e o represamento do rio para que se formem reservatórios regularizadores de vazões (ELETROBRÁS, 2010).

A Eletrobrás (2010) destaca que para as MCH's, a altura máxima da barragem é da ordem de 3 m. Os principais tipos de estruturas de barramento utilizados em MCH's são de concreto à gravidade, de contrafortes, de enrocamento e de terra compactada (ELETROBRÁS, 2010).

A função é desviar a água para o circuito de adução, a partir deste desvio tem-se uma menor área de alagamento (GARCIA et al., 2011).

A barragem, conforme demonstrado nas figuras 6 e 7, na MCH do Roncador tem as seguintes dimensões:

- altura de 2,57 m;
- largura de 58 m;
- crista de 0,55 m.



Figura 6: Barragem da MCH de Roncador
Fonte: Própria (2012)



Figura 7: Queda d'água na Barragem da MCH de Roncador
Fonte: Própria (2012)

3.4 CASA DE FORÇA

O arranjo típico da casa de força é condicionado pelo tipo da turbina e do gerador, devem ser previstas áreas destinadas aos equipamentos elétricos e mecânicos auxiliares definidos em cada projeto. Além disso, em cada caso, deve ser analisada a necessidade de área específica para montagem dos equipamentos (ELETROBRÁS, 2010).

A Eletrobrás (2010) considera que as casas de máquina sejam do tipo exterior cobertas, sua infraestrutura é constituída pela instalação do equipamento eletromecânico e de um pequeno banheiro. A infraestrutura envolve fundações e piso com material que evite o acúmulo de sujeira e as paredes de madeira, alvenaria ou pré-moldadas, cobertura com materiais de baixa condutibilidade técnicas e dimensionamento cuja instalação típica é recomendável (ELETROBRÁS, 2010).

As instalações existentes, de aproximadamente $75 m^2$, encontram-se totalmente degradadas, de acordo com a demonstração nas figura 8 e 9, sendo necessárias a revitalização na sua totalidade para tornar a usina utilizável em um ambiente educativo.



Figura 8: MCH de Roncador
Fonte: Própria (2012)



Figura 9: Casa de Força da MCH de Roncador
Fonte: Própria (2012)

3.5 TOMADA D'ÁGUA

A tomada d'água permite que a água entre no conduto forçado e vá até a turbina, além de bloquear a entrada da água quando necessário. Possui grades de proteção para evitar a passagem de qualquer elemento estranho que possa danificar os equipamentos das PCH's. Ela é dimensionada dividindo a vazão máxima de projeto pela máxima velocidade da água na grade de proteção, da ordem de 1 m/s (GOMES, 2010).

As dimensões da tomada d'água da MCH de Roncador são 1,20 m de largura e 3,50 m de altura, demonstrado na figura 10 a seguir.



Figura 10: Tomada d'Água da MCH de Roncador
Fonte: Própria (2012)

3.6 CONDUTO FORÇADO

O conduto forçado é a tubulação que liga o sistema de baixa pressão com a máquina hidráulica, levando a água sob pressão para a turbina (BRAGA JR; SALECKER, 1999). Essa tubulação pode ser construída com qualquer material capaz de resistir à pressão que ocorra em seu interior. São conhecidas aplicações de tubos feitos em ripas de madeira, tubos de PVC, tubulação de concreto e, o mais comum utilizado, tubos de aço (BALARIM, 1996).

A tubulação forçada interliga o final do canal de adução com a casa de máquinas, ela fica apoiada sobre blocos de pedra ou concreto, chamados de blocos de sustentação, e presa a outros blocos que são chamados de blocos de ancoragem, dos quais sempre existe no mínimo dois, um no início e outro no final da tubulação (CERPCH, 2011).

A figura 11 exemplifica um conduto forçado chegando até a casa de força, construído com tubos de aço.

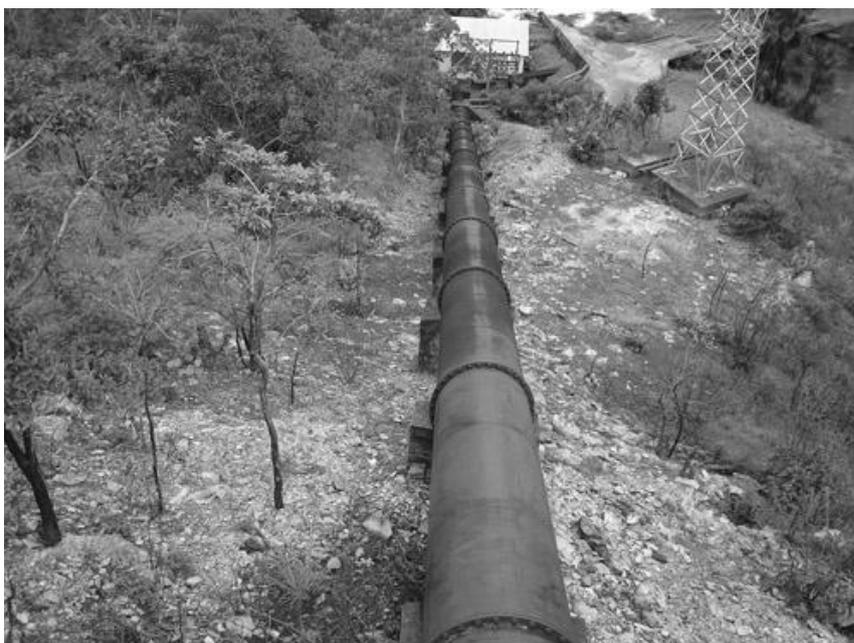


Figura 11: Exemplo de Conduto Forçado
Fonte: CERPCH (2011)

O dimensionamento do sistema do conduto forçado depende do número de turbinas, vazão turbinada e do comprimento da tubulação (BALARIM, 1996).

Poderá haver um conduto para cada turbina, ou ainda um único conduto suprir duas ou até três máquinas, bastando que seja instalada uma bifurcação ou uma trifurcação em seu conjunto.

Supondo que o conduto forçado possua uma queda líquida (mede-se na cota da turbina) H_m , o conduto chega até a casa de força e sofre uma bifurcação ou uma trifurcação. A partir dos cálculos de conservação das massas, sabe-se que a massa de água que entra no conduto forçado vai ser a mesma massa que passará no somatório das duas ou três ramificações respectivamente, então, utilizando da estática dos fluidos sabe-se que a pressão em cada um dos pontos de saída da bifurcação ou trifurcação será a pressão da coluna d'água (PORTAL PCH, 2011):

$$P = \rho \cdot g \cdot Hm \quad (2)$$

onde,

P = Pressão da coluna d'água

p = constante de linha

g = aceleração da gravidade

Hm = Queda líquida

É possível observar que a velocidade da água aumenta conforme diminui o diâmetro da tubulação. Mas é necessário verificar o limite da velocidade máxima da água estabelecido para o tipo do conduto, conseguindo evitar perdas hidráulicas e/ou turbulência.

A figura 12 exemplifica um tipo de trifurcação utilizada em condutos forçados antes de chegar à casa de força, enquanto a figura 13 é o demonstrativo das linhas construtivas em 3D visualizado no *software AutoCad*.

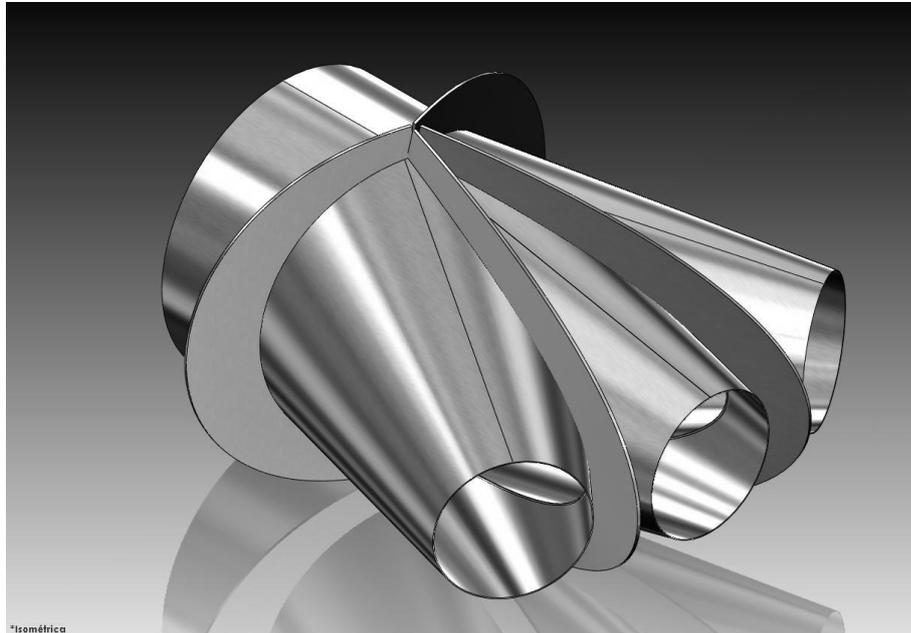


Figura 12: Trifurcação
Fonte: AutoCad (2011)

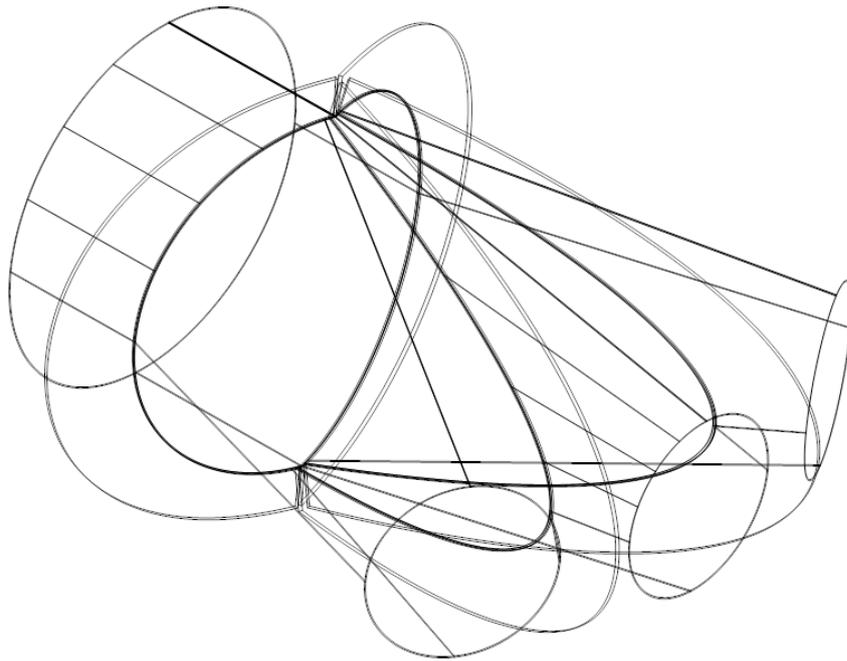


Figura 13: Vizualização 3D das Linhas da Trifurcação
Fonte: *AutoCad* (2011)

O conduto forçado da MCH de Roncador encontra-se bastante danificado, como é demonstrado na figura 14. O material é de aço, com diâmetro de 0,70 m e comprimento de 225 m.



Figura 14: Conduto Forçado da MCH de Roncador
Fonte: *Própria* (2012)

4 TURBINAS HIDRÁULICAS

As turbinas hidráulicas são classificadas em turbinas de ação e de reação. Na turbina de ação a energia hidráulica disponível é transformada em cinética e posteriormente se transforma em energia mecânica, quando incide nas pás do rotor. Na turbina de reação, o rotor é totalmente submerso na água e com o escoamento da água ocorre uma diminuição tanto da velocidade como da pressão entre a saída e a entrada do rotor (GOMES, 2010).

A escolha de uma turbina para PCH's deve sempre levar em consideração a facilidade de operação e manutenção, capacidade de atendimento, disponibilidade do fabricante em fornecer peças sobressalentes, confiabilidade e robustez do equipamento. Também é necessário considerar a escolha da velocidade de rotação da turbina e outros fatores como potência nominal, altura da queda, tipo de turbina e gerador (ELETROBRÁS, 2010).

As características de cada turbina são ajustadas junto com o tipo específico da turbina, mas o tipo de gerador não influencia na escolha da velocidade de rotação da unidade, pois enfoca diversos tipos de turbinas. A velocidade de rotação, para gerador assíncrono e síncrono sem multiplicador, é considerada a mesma para turbina e gerador, sendo que se deve procurar uma velocidade síncrona mais próxima da calculada que é encontrada pela equação 3 (ELETROBRÁS, 2010).

$$n = 120.f / p \quad (3)$$

Onde :

n = velocidade de rotação síncrona (rpm);

f = frequência da rede (Hz);

p = nº de pólos do gerador.

A velocidade de rotação corresponde ao número de pólos, geralmente utilizados na frequência de 60 Hz , conforme é mostrado na tabela 2.

Tabela 2: Velocidade de Rotação

Nº DE PÓLOS	ROTAÇÃO (rpm)
4	1.800
6	1.200
8	900
10	720
12	600
14	514,3
16	450
18	400
20	360
24	300
28	257,1
30	240
32	225
36	200

Fonte: Eletrobrás (2010)

Se a unidade possui multiplicador de velocidade, a velocidade de rotação calculada para a turbina deve ser mantida. A correção para a velocidade síncrona, a ser utilizada pelo gerador deve feita pelo multiplicador de velocidade, que aumentará seu valor, normalmente, para 900, 1200 ou 1800 *rpm* (ELETROBRÁS, 2010).

De acordo com Lauterjung (1991) e Pedroso (1982), a escolha de uma turbina deve levar em consideração também a queda (m) e a vazão da água por turbina (m^3/s).

É possível calcular a velocidade específica da turbina de duas formas, a primeira utilizando a potência nominal, conforme a equação 4, e a segunda forma, utilizando a Norma NBR 12591 a partir da vazão nominal, de acordo com a equação 5 (ELETROBRÁS, 2010).

$$n_s = \frac{nP_n^{0,5}}{H_{liq}^{1,25}} \quad (4)$$

Onde:

n_s = velocidade específica da turbina;

n = velocidade de rotação da turbina (*rpm*);

P_n = potência nominal da turbina (*kW*);

H_{liq} = queda líquida (*m*).

$$N_{qr} = \frac{nQ_r^{0,5}}{H_r^{0,75}} \quad (5)$$

Onde:

N_{qr} = velocidade específica da turbina;

n = velocidade de rotação da turbina (*rpm*);

Q_r = vazão garantida ou nominal (m^3/s);

H_r = altura de queda nominal (*m*).

A partir da equação 6 e considerando um rendimento de 85 % para o gerador e turbina, pode-se encontrar considera a potência de saída do gerador (ELETROBRÁS, 2010).

$$P_G = 9,81QH_{liq}\eta_T\eta_G \quad (6)$$

Onde:

P_g = potência na saída do gerador (*kW*);

Q = vazão da turbina (m^3/s);

H_{liq} = queda líquida (*m*);

η_T = rendimento da turbina;

η_G = rendimento do gerador.

As principais características e campo de aplicação que ajudam na escolha de turbinas para MCH's fabricadas no Brasil encontram-se na tabela 3 e no gráfico 4.

Tabela 3: Características de Turbinas Fabricadas no Brasil

NOME	ROTAÇÃO ESPECÍFICA		VAZÃO	QUEDA	POTÊNCIA	$\eta_{\text{máx}}$
	Ns		Q (m ³ /s)	H [m]	kW	
	Nº Jatos	Ns				
	1	30				
PELTON	2	30 – 50	0,05 - 50	30 – 1800	0,1–300.000	70 - 91
	4	40 – 60				
	6	50 – 70				
MICHELL- BANKI	40 – 160		0, 025 – 5	1 – 50	1 - 750	65 - 82
	Tipo	Ns	0,05 – 700	2 – 750	1 – 750.000	80 - 93
FRANCIS	Lenta	60 – 170				
	Normal	150 – 250				
	Rápida	250 – 400				
HÉLICE KAPLAN	300 – 800		0,3 – 1000	5 – 80	2 – 200.000	88 - 93

Fonte: Tiago Filho (2004)

Baseado na tabela 3, concluiu-se que a turbina Michell-Banki é a mais adequada para instalações com vazões e quedas menores, se enquadrando bem a MCH de Roncador.

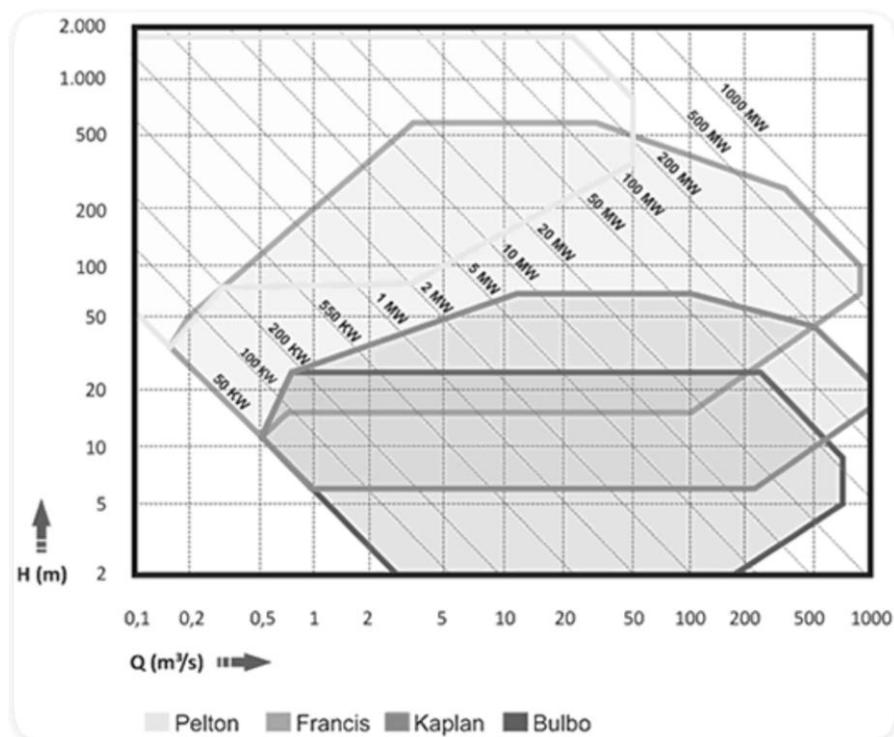


Gráfico 4: Campo Típico de Aplicação de Turbinas Hidráulicas
Fonte: Hacker (2011)

A turbina Michell-Banki não está demonstrada no gráfico 4, mas é possível identificar onde ela seria aplicada: dentro do campo da turbina Bulbo em relação às quedas (H), mas com vazões menores, variando de 0,1 até 10 m^3/s .

4.1 TURBINA MICHELL-BANKI

Inicialmente patenteada na Inglaterra, em 1903, por A. G. Michell, engenheiro australiano, mais tarde, entre os anos de 1917 e 1919, pesquisada e divulgada pelo professor húngaro Banki, esta turbina foi extensivamente comercializada pela empresa alemã Ossberger Turbinen Fabrik que associou-se a Michell por volta de 1923. Nos últimos 65 anos esta empresa foi responsável pela entrega de mais de 7.000 unidades em todo o mundo. Atualmente, o número de fabricante deste tipo de turbina supera uma centena (CERPCH, 2011).

As turbinas Michell-Banki são conhecidas como turbinas de fluxo cruzado, Michell ou Ossberger, constituídas por um rotor tipo tambor dotado de pás estampadas em forma de lâminas e um perfil hidráulico regulador de vazão. O fluxo de água controlado e direcionado pelo perfil hidráulico encontra as pás do rotor, impulsionando-o. Esse tipo de turbina é utilizado em aproveitamentos hidráulicos

com menores quedas e maiores volume de água, situação que geralmente ocorre em regiões mais planas (BETTA, 2011).

Devido às suas características específicas, estas turbinas cobrem o campo das turbinas tipo Pelton dois jatos até a Francis normal. Sendo classificada como uma máquina de ação ela apresenta características de reação na primeira passagem. O seu campo de aplicação atende quedas de 1 a 100 m, vazões de 0,02 a 7,0 (m^3/s) e potências de 1 a 1.000 kW Devido à sua facilidade de padronização pode apresentar rotações específicas entre 40 a 200 (CERPCH, 2011).

Devido à sua simplicidade construtiva e as peculiaridades quanto ao seu funcionamento, esta turbina mostra-se altamente indicada para ser usada em MCH's. De acordo com a CERPCH, destacam-se as seguintes vantagens:

- Construção simples, poucas peças móveis, facilitando a manutenção;
- Fácil instalação, diminuindo os custos de obras civis;
- Custos iniciais inferiores aos dos outros tipos de turbinas usadas em centrais de baixa queda;
- Trabalha sob condições ideais de funcionamento, mesmo se funcionando a cargas parciais;
- Pode trabalhar em várias situações de queda e vazão, permitindo a sua padronização, conseqüentemente diminuindo os custos de fabricação;
- Componentes, como o disco do rotor, a tampa e as pás podem ser fabricados a partir de uma chapa de aço carbono;
- Pás são apenas calandradas;
- Adapta-se a tubos de sucção.

A instalação do tubo de sucção numa turbina faz com que aumente a energia absorvida pelo rotor e, conseqüentemente, também aumente a potência gerada. O objetivo do tubo de sucção é gerar uma pressão negativa na saída do rotor, variando a pressão entre a entrada e a saída do rotor, que é aproveitada para se ter um aumento na potência gerada pela turbina.

A turbina Michell-Banki convencional é uma máquina de ação, portanto a altura manométrica H_{pr} , do rotor é igual a zero. Ao instalar um tubo de sucção aparece um grau de reação, isto é, a altura manométrica do rotor será diferente de zero.

A figura 15 apresentada, a seguir, é um demonstrativo do funcionamento de uma turbina de fluxo cruzado (HYDRAULIC WATER TURBINES, 2011):

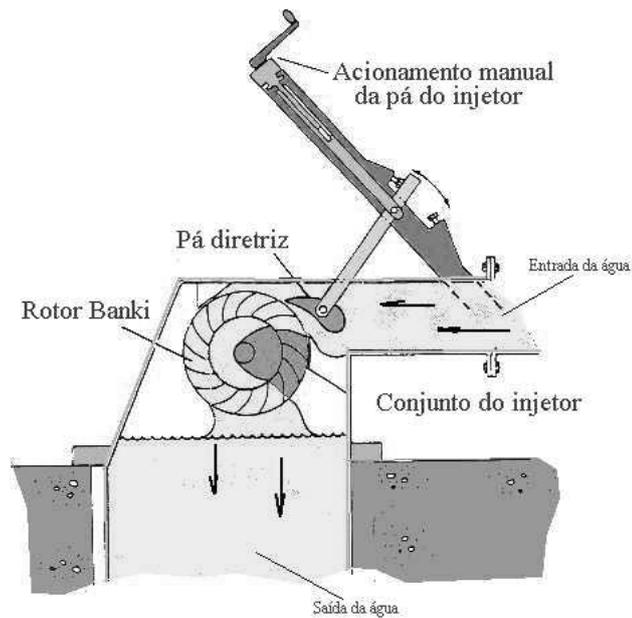


Figura 15: Turbina de Fluxo Cruzado
Fonte: Hydraulic Water Turbines (2011)

A Figura 16 apresenta os principais elementos de uma turbina Michell-Banki.

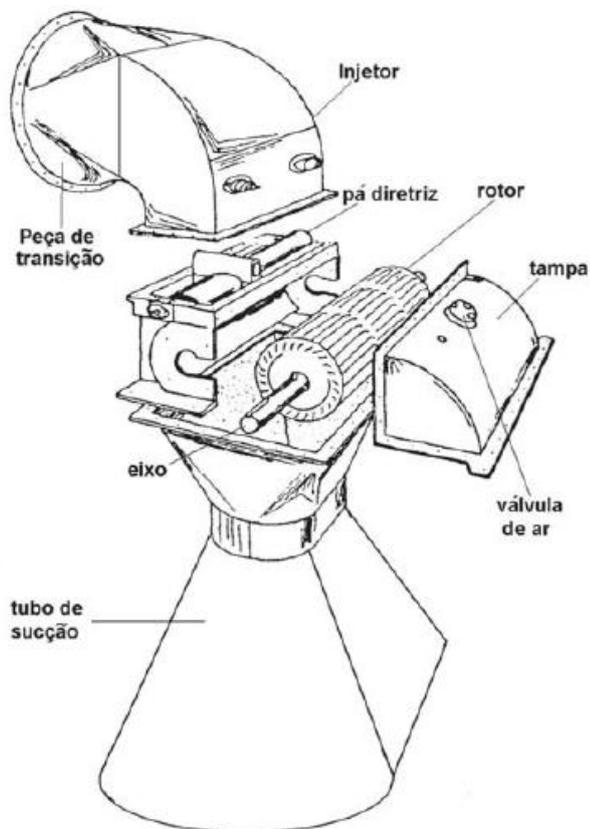


Figura 16: Elementos Principais da Turbina Michel-Banki
Fonte: Hydraulic Water Turbines (2011)

A principal característica da turbina de fluxo cruzado é que o jato d'água que passa pelo rotor, chega em cada pá duas vezes, uma a cada fluxo de água. Primeiro a água flui de fora para dentro e, em seguida, de dentro para fora, sendo assim, uma turbina com dois estágios de velocidade, enchendo apenas uma parte do rotor em cada estágio.

A figura 17 demonstra os padrões de fluxo, utilizados na turbina Michell-Banki de fluxo cruzado.

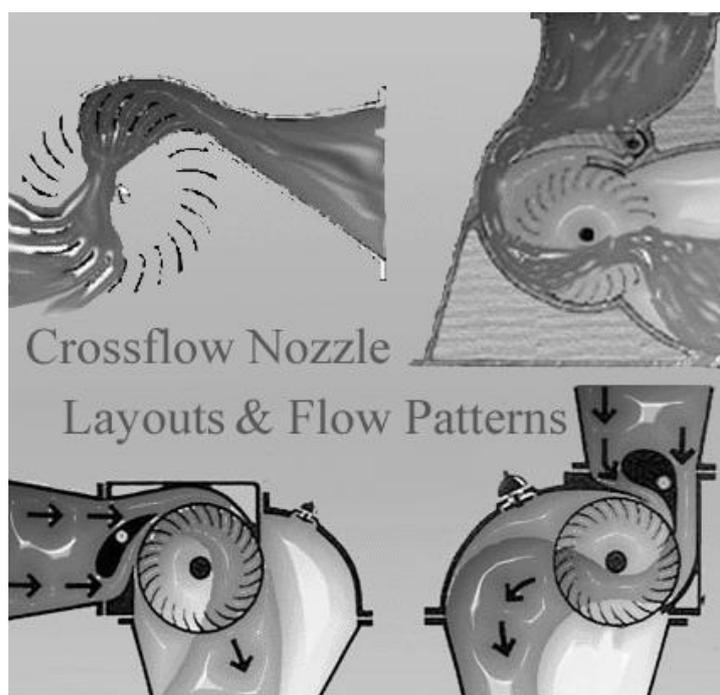


Figura 17: Fluxo Cruzado e Padrões de Fluxo
Fonte: Hydraulic Water Turbines (2011)

De acordo com Camus e Eusébio (2006), as turbinas de fluxo cruzado apresentam depósitos horizontais e uma velocidade de rotação pequena, sendo normal a necessidade de utilização de multiplicadores de velocidade entre elas e os geradores. Em máquinas mais sofisticadas é possível alcançar eficiências na ordem de 85 % e nas máquinas mais simples, na ordem dos 60-75 % (CAMUS E EUSÉBIO, 2006).

A figura 18 mostra duas turbinas Michell-Banki operando em paralelo e isoladamente em uma MCH:



Figura 18: Duas Turbinas Michell-Banki em Paralelo
Fonte: Betta Hidroturbinas (2012)

5 ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA

5.1 CRITÉRIOS PARA ANÁLISE DE VIABILIDADE

De acordo com Beluco (1994), a decisão sobre a viabilidade de um projeto de MCH, depende do conhecimento de dados técnicos, análise econômica e análise financeira. Estes processos de análise devem também considerar dados específicos do projeto, como disponibilidade de recursos, equipamentos e materiais de construção, demanda de consumo e estrutura social (BELUCO, 1994).

Na parte técnica, o projeto deve oferecer confiabilidade no fornecimento de energia, tendo menos cuidado possível com a operação e a manutenção de toda a estrutura. Devido ao perfil de funcionamento isolado de uma MCH, deve se dar valor, especialmente à robustez das máquinas selecionadas.

Na análise econômica, a determinação dos custos e benefícios envolvidos na construção de uma MCH, devem ser considerados os pontos de vista do empreendedor e da sociedade como um todo. Devem ser identificados tanto os

custos e benefícios tangíveis quanto os intangíveis, sendo os primeiros contabilizados mais facilmente. Um projeto será economicamente viável quando os benefícios com ele obtidos forem vantajosos em relação aos custos exigidos (BELUCO, 1994).

Segundo Beluco (1994), para análise, de forma geral, devem ser conhecidos os seguintes parâmetros de projeto:

- capacidade instalada;
- montante inicial de investimento;
- condições de financiamento;
- período estimado para construção;
- custos de operação e manutenção;
- valor da energia utilizada ou vendida;
- benefícios sociais;
- custos ambientais.

Esta análise basicamente compara todos os custos e benefícios ligados a um projeto durante sua vida útil. Os custos incluem os gastos iniciais e os gastos necessários para operação e manutenção de equipamentos e os benefícios envolvem todo o ganho com a utilização ou venda de energia.

A análise financeira é baseada no balanço contábil entre os benefícios quantificáveis obtidos e o capital necessário para a efetivação do projeto. Este capital necessário engloba o pagamento do investimento total exigido pelo empreendimento e de custos anuais de operação e manutenção. Um projeto será financeiramente viável quando, em qualquer fase do empreendimento, o valor dos benefícios obtidos for suficiente para cobrir o valor dos custos exigidos (BELUCO, 1994).

5.2 CUSTOS DE TURBINAS HIDRÁULICAS

As turbinas Michell-Banki são produzidas no Brasil por poucas empresas, geralmente pequenas metalúrgicas. Elas podem ser facilmente produzidas por estabelecimentos não especializados, o que dificulta a atribuição de custos.

O gráfico 5 compara custos entre algumas opções consideradas. As turbinas tradicionais apresentam altos valores de rendimento e custos, estes custos são

resultado da maior complexidade e por serem produzidas individualmente para cada projeto hidrelétrico. É possível observar também no gráfico 5, como a altura de queda influencia nos custos específicos, esta variação de custos reflete a modificação nas dimensões das turbinas. As curvas referentes às turbinas hidráulicas incluem modelos do tipo Francis e Pelton, e mostram que elas apresentam custos próximos.

As bombas centrífugas são produzidas com economia de escala, apresentando rendimentos, quando utilizadas em modo reverso, pouco inferiores aos das turbinas hidráulicas mas com custos bastante inferiores. Já as turbinas Michell-Banki tipicamente apresentam rendimentos da ordem de 65 % em um amplo intervalo de valores de vazão, com custos semelhantes aos das bombas centrífugas (BELUCO, 1994).

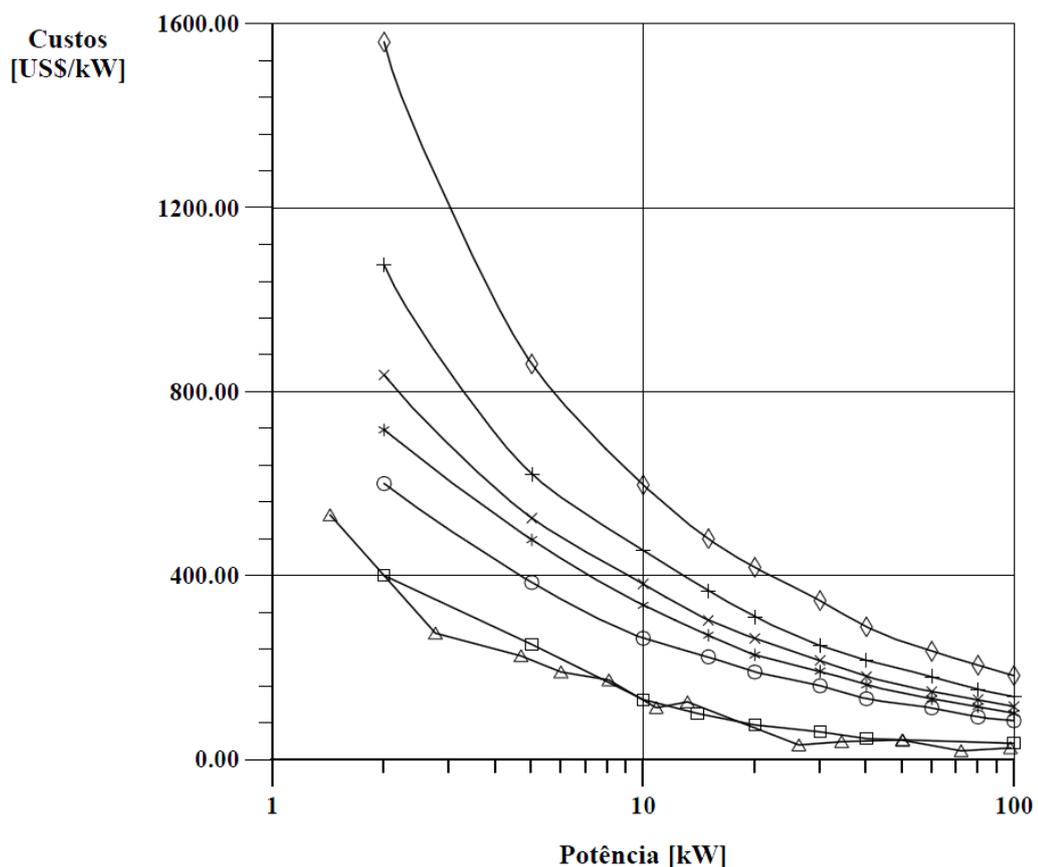


Gráfico 5: Custos para turbinas hidráulicas, quedas de (◇) 5 m, (+) 10 m, (x) 15 m, (*) 20 m e (O) 30 m, para (Δ) bombas centrífugas e para (□) turbinas Michell-Banki
Fonte: Beluco, 1994

As curvas correspondentes às bombas centrífugas e as turbinas Michell-Banki foram construídas com dados referentes aos seus pontos de melhor rendimento. Vê-

se que seus custos específicos equivalem, em média, a menos da metade dos custos das turbinas tradicionais mais baratas, empregadas para alturas de 30 m. Esta comparação é ainda maior, se forem consideradas as turbinas tradicionais empregadas para alturas de queda menores (BELUCO, 1994).

A decisão pela utilização de turbinas hidráulicas tradicionais, bombas centrífugas ou turbinas Michell-Banki depende, de fatores técnicos, financeiros e econômicos. Sempre que os custos constituírem o aspecto dominante a melhor opção são as bombas centrífugas ou as turbinas Michell-Banki, enquanto que, se levar em conta os aspectos de rendimento, a preferência são as turbinas hidráulicas.

6 PROJETO BÁSICO DA UNIDADE GERADORA

6.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

As características técnicas do projeto foram determinadas a partir das instalações da MCH de Roncador.

- Potência máxima prevista: 185 KW (231KVA)
- Queda d'água bruta considerada: 14,8 m
- Tubulação de adução para cada uma das turbinas:
 - diâmetro considerado para cálculo: 1.000 mm
 - comprimento informado: 225 m
 - material adotado para cálculo: METÁLICO
 - diâmetro na entrada da turbina: 900 mm

6.2 TURBINA MICHELL-BANKI

A turbina hidráulica Michell-Banki escolhida para o projeto foi a modelo Betta 6090, fornecida pela fabricante BETTA HIDROTURBINAS que está no ramo de projetos, fabricação e comercialização de MCHs desde 1984. A empresa tem capital e tecnologia

totalmente brasileira, dirigida por um corpo técnico com experiência no setor, firmou-se no mercado nacional e estrangeiro.

6.2.1 Especificações Técnicas do Modelo Betta 6090

- Queda líquida no eixo do rotor da turbina: 13,9 m
- Vazão máxima turbinada: 2.060 l/s
- Potência no eixo da turbina hidráulica: 282 cv
- Rotação nominal eixo turbina: 238 rpm
- Rendimento considerado para a turbina: 82,0%
- Rendimento do gerador WEG: 93,0% ($\cos \phi = 0,8$ com 100% da carga)
- Rendimento da caixa de engrenagens: 96,0%

6.2.2 Características do Equipamento

6.2.2.1 Caixa e Peça de Transição

O funcionamento delas ocorre da seguinte maneira, a água procedente das tubulações, passa pela peça de transição, que muda a secção transversal de circular para retangular e depois entra no injetor (CERPCH, 2011).

A caixa e a peça de transição são metálicas de construção e soldadas em chapa de aço carbono ASTM A36, processo de soldagem MIG e tratamento térmico após a solda para alívio de tensões. O acabamento superficial realizado por processo mecânico e decapagem química das superfícies internas e externas, para receber a base em epóxi-betuminoso e o acabamento em esmalte sintético na cor vermelha.

6.2.2.2 Rotor da Turbina

O rotor é a parte girante da turbina e responsável pela transmissão do torque ao acoplamento, é onde ocorre a conversão da potência hidráulica em potência mecânica (PORTAL PCH, 2012).

Ele é constituído por pás metálicas em aço laminado ASTM A36, soldadas por processo MIG, há dois discos laterais, solidários a um eixo de aço trefilado SAE 1045 apoiado em mancais de rolamentos autocompensadores de rolos cônicos, lubrificados à graxa. Tratamento térmico do rotor completo após o processo de solda e antes da usinagem, para alívio de tensões e acabamento superficial por processo mecânico e decapagem química para receber pintura base em epóxi-betuminoso.

6.2.2.3 Mancais da Turbina

Os mancais servem de suporte para o rotor, normalmente pelas extremidades. Eles podem ser de guia, que suportam o peso do eixo e o carregamento radial e permitem que o rotor tenha movimento giratório livre de atrito ou podem ser de escora, que suportam a carga axial e são montados no sentido horizontal (CERPCH, 2011).

Os mancais fornecidos são fundidos em ferro fundido nodular GGG 40 fixados por parafusos à caixa da turbina. Pintura de base com epóxi-betuminoso e de acabamento com esmalte sintético na cor vermelha.

6.2.2.4 Perfil Hidráulico do Regulador de Vazão

O controle de vazão na turbina é feito por um perfil hidráulico acionado através de um moto-reductor, comandado pelo regulador. Assim a turbina consegue controlar com exatidão a vazão de água necessária para a quantidade de energia que está sendo solicitada no momento (BETTA, 2012).

O perfil hidráulico é formado por chapas em aço carbono ASTM A36, construção soldada, utilizando processo de soldagem MIG, com tratamento térmico após solda, para alívio de tensões. Acabamento superficial por processo mecânico e decapagem química para receber pintura base em epóxi betuminoso. Dois eixos em aço trefilado SAE 1045 fixados lateralmente ao perfil por chavetas, apoiados sobre buchas em bronze ASTM B427, lubrificadas à graxa, permitem a articulação do perfil hidráulico.

6.2.2.5 Acionamento do Perfil Hidráulico

O acionamento é feito em ambos os lados por uma estrutura articulada basicamente composta por um eixo apoiado em mancais de rolamentos, braços e pinos para articulações e dois tirantes ajustáveis que interligam aos braços de acionamento

solidários aos eixos do perfil hidráulico. O conjunto é movimentado por um pistão hidráulico.

6.2.2.6 *Multiplicação de rotação*

Conforme foi explicado no capítulo 4, a velocidade de rotação corresponde ao número de pólos do gerador, se a unidade possui multiplicador de velocidade, a velocidade de rotação calculada para a turbina deve ser mantida. O multiplicador de rotação faz a correção para a velocidade síncrona a ser utilizada pelo gerador, que aumentará seu valor, normalmente, para 900, 1200 ou 1800 rpm (ELETROBRÁS, 2010).

A multiplicação é realizada por engrenagens montadas em caixa com lubrificação à óleo, tem as seguintes características técnicas:

- relação de multiplicação 4:1 (duas multiplicações);
- potência mecânica de 1020 cv;
- potência nominal 805 cv (serviço contínuo);
- refrigeração e lubrificação forçada.

6.2.2.7 *Volante de Inércia*

De acordo com Lima (2009), em unidades geradoras de pequeno porte podem ocorrer que os efeitos da inércia das massas girantes sejam insuficientes para garantir uma regulação de velocidade estável. Nesse caso, o regulador não terá capacidade para controlar as variações bruscas de carga na unidade geradora, dentro das condições de regulação estabelecidas. Torna-se, assim, necessário o acréscimo de material, que resulte em aumento do efeito de inércia. Então, são previstos discos de aço ou de ferro fundido, ligados diretamente ao eixo do gerador e denominados volantes de inércia. Em caso de rejeição de carga total ou parcial, o volante de inércia servirá para manter a sobrevelocidade da unidade e a sobrepressão no conduto a montante do distribuidor da turbina, dentro de limites preestabelecidos no projeto da usina (LIMA, 2009).

O volante tem tempo de inércia de 6 segundos, fabricado com disco metálico de aço carbono ASTM A36, pesando 592 kg, montado em eixo trefilado SAE 1045, apoiado em mancais de rolamentos autocompensadores de rolos cônicos.

6.2.2.8 *Válvula borboleta*

A válvula borboleta assume as funções da comporta de emergência da tomada d'água, interrompendo o fluxo de água e protegendo a unidade, em caso de falha do mecanismo de controle da turbina. Além disso, em caso de manutenção, o fechamento da válvula permite o esvaziamento da caixa espiral e do tubo de sucção. Em geral, são abertas por meio de cilindro hidráulico com pressão do próprio regulador de velocidade e o fechamento, por razões de segurança, é efetuado por contrapeso ligado diretamente ao eixo do disco da válvula, após a abertura de uma válvula solenoide, liberando o óleo da parte inferior do cilindro hidráulico (LIMA, 2009).

A válvula borboleta é do tipo *Waffer*, diâmetro nominal 650 mm, acionamento por redutor.

6.2.2.9 *Acoplamentos Flexíveis*

Os acoplamentos flexíveis de engrenagens são encontrados entre o eixo da turbina e o eixo de entrada do multiplicador de rotação, entre o eixo de saída do multiplicador de rotação e o eixo do volante de inércia e entre o eixo do volante de inércia e o eixo do gerador.

A figura 19 seguir demonstra o modelo Betta 6090 produzido pela BETTA HIDROTURBINAS.

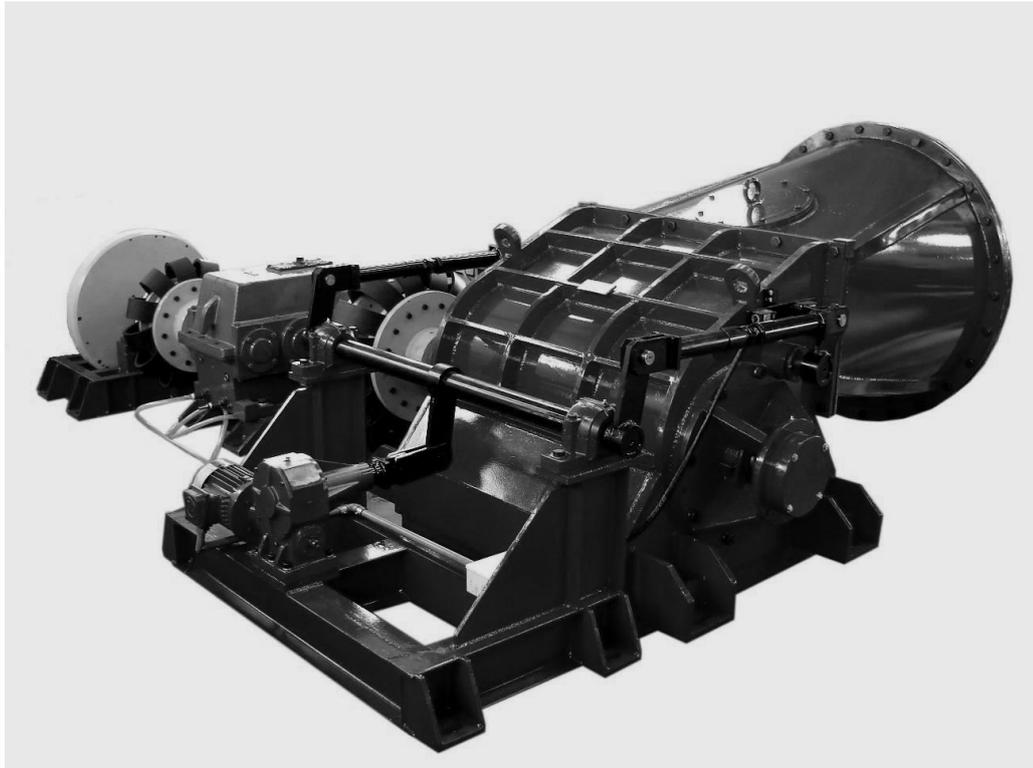


Figura 19: Modelo Turbina Michell-Banki Beta Hidroturbinas
Fonte: Beta Hidroturbinas (2012)

6.3 GERADOR

Segundo Lima (2009), o gerador é a máquina capaz de converter energia mecânica em elétrica, e é um dos itens mais importantes de qualquer usina elétrica. Os geradores utilizados em PCH's podem ser tanto síncronos quanto assíncronos (indução), sendo os síncronos mais utilizados. Geradores síncronos são máquinas que operam na mesma velocidade do campo girante, quando um gerador síncrono fornece potência elétrica a uma carga, a corrente de armadura cria uma onda componente do fluxo que gira à velocidade de sincronismo. Este fluxo reage com o fluxo criado pela corrente de excitação e obtém-se um binário eletromagnético devido à tendência que os campos magnéticos têm de se alinhar. Num gerador este binário opõe-se à rotação e a máquina primária tem de produzir um binário mecânico para manter a rotação (LIMA, 2009).

6.3.1 Partes Constituintes de um Gerador Síncrono

- Rotor (campo): é a parte girante da máquina constituída de um material ferromagnético envolto no enrolamento de campo, que tem como função

produzir um campo magnético constante para interagir com o campo produzido pelo enrolamento do estator. A tensão aplicada nesse enrolamento é contínua e a intensidade da corrente suportada por esse enrolamento é muito menor que o enrolamento do estator, além disso, o rotor pode conter dois ou mais enrolamentos, sempre em número par e todos conectados em série sendo que cada enrolamento será responsável pela produção de um dos pólos do eletroímã (LIMA, 2009).

- Estator (armadura): parte fixa da máquina, montada em volta do rotor de forma que o mesmo possa girar em seu interior, também constituído de um material ferromagnético envolto em um conjunto de enrolamentos distribuídos ao longo de sua circunferência. Pelo estator circula toda a energia elétrica gerada, sendo que tanto a tensão quanto a corrente elétrica que circulam são bastante elevadas em relação ao campo, que tem como função apenas produzir um campo magnético para "excitar" a máquina de forma que seja possível a indução de tensões nos terminais dos enrolamentos do estator (LIMA, 2009).

Na figura 20 é possível verificar o esquema de um gerador síncrono:

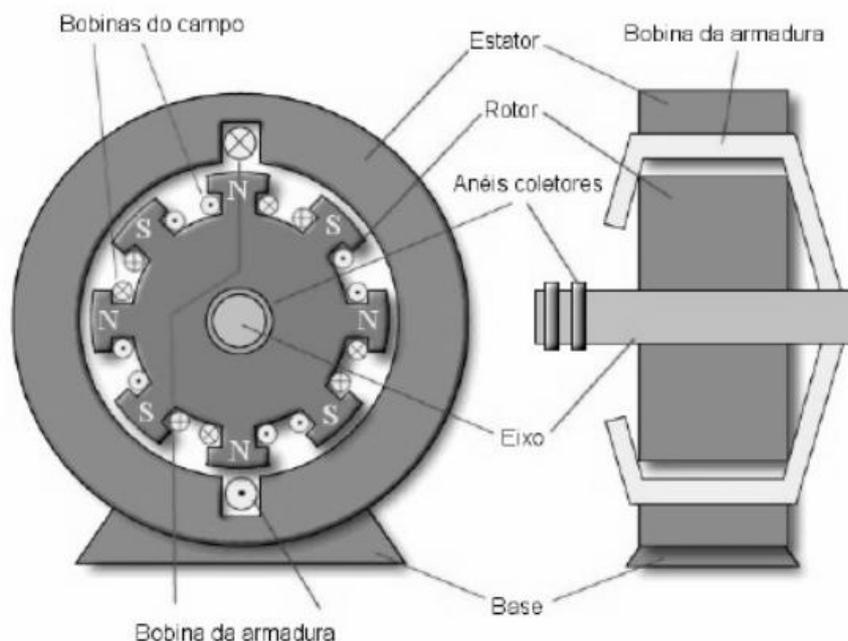


Figura 20: Esquema do Gerador Síncrono
Fonte: Lima (2009)

O gerador escolhido para fazer parte da unidade geradora em conjunto com a turbina Michell-Banki, foi o gerador síncrono WEG, modelo GTA252AIII, do tipo industrial com sistema de excitação brushless (sem escovas), regulador eletrônico do tipo U/F (constante) e de eixo horizontal.

6.3.2 Regimes de Serviço

A seguir, a tabela 4 demonstra os diferentes regimes de serviços do modelo GTA252AIII, Contínuo, Prime e Stand-by:

- Contínuo: regime definido como sendo uma potência em que o gerador pode operar 24 horas por dia com carga constante;
- Prime: regime contínuo que é estabelecido sobre a potência efetiva contínua não limitada;
- Standy-by: definido como regime de emergência e é estabelecido sobre a potência efetiva contínua limitada.

Tabela 4: Regimes de Serviço do Gerador Síncrono GTA252AIII

REGIME DE SERVIÇO	GTA252AIII		
	CONTINUO	PRIME	STAND-BY
ELEVAÇÃO TEMPERATURA	125 °C	150 °C	163 °C
TEMPERATURA AMBIENTE	40 °C	40 °C	27 °C
TENSAO 440 V	292	313	325

Fonte: Betta Hidroturbinas (2012)

6.3.3 Características do Equipamento

A tabela 5, apresentada a seguir, demonstra as características do gerador síncrono GTA252AIII:

Tabela 5: Características do Gerador Síncrono GTA252AIII

CARACTERÍSTICAS	GTA252AIII
FREQUÊNCIA (Hz)	60
POLARIDADE	04
CLASSE ISOLAÇÃO	H
REFRIGERAÇÃO	AUTOVENTILADO
ALTITUDE (A.N.M.)	1000 m
NORMA	IEC
SENTIDO DE ROTACAO	AMBOS
TIPO EXCITAÇÃO	BRUSHLESS
ALIMENTAÇÃO A.V.R.	BOBINA AUXILIAR
A.V.R.	GRT7-TH4E
GRAU DE PROTEÇÃO	IP21
FORMA CONSTRUTIVA	B3T
FLANGE	N/A
DISCO	N/A
APLICACAO PRODUTO	INDUSTRIAL
CLASSIFICACAO AREA	SEGURA
TIPO DE MANCAL	MANCAL DUPLO
MAQUINA ACIONANTE	HIDRO
PINTURA	PRETO FOSCO
SOBREVELOCIDADE	1,25 X Vn / 120 seg.

Fonte: Betta Hidroturbinas (2012)

6.4 UNIDADE HIDRÁULICA

A unidade hidráulica para acionamento do perfil regulador de vazão na turbina é composta por:

- reservatório com capacidade de 40 litros de óleo;
- bomba de engrenagens, acionada por motor elétrico de 1,5 cv;
- válvula direcional elétrica;
- válvula reguladora de pressão;
- válvula de retenção;
- acumulador de pressão metálico, capacidade 5 litros;
- válvula direcional proporcional;
- válvula direcional elétrica (duas unidades);
- válvula reguladora de vazão;
- cilindro hidráulico diâmetro 3 1/4", comprimento 150 mm.

Na figura 21, é possível verificar as características da unidade hidráulica, com o acumulador na parte superior e a parte da motobomba na parte inferior.

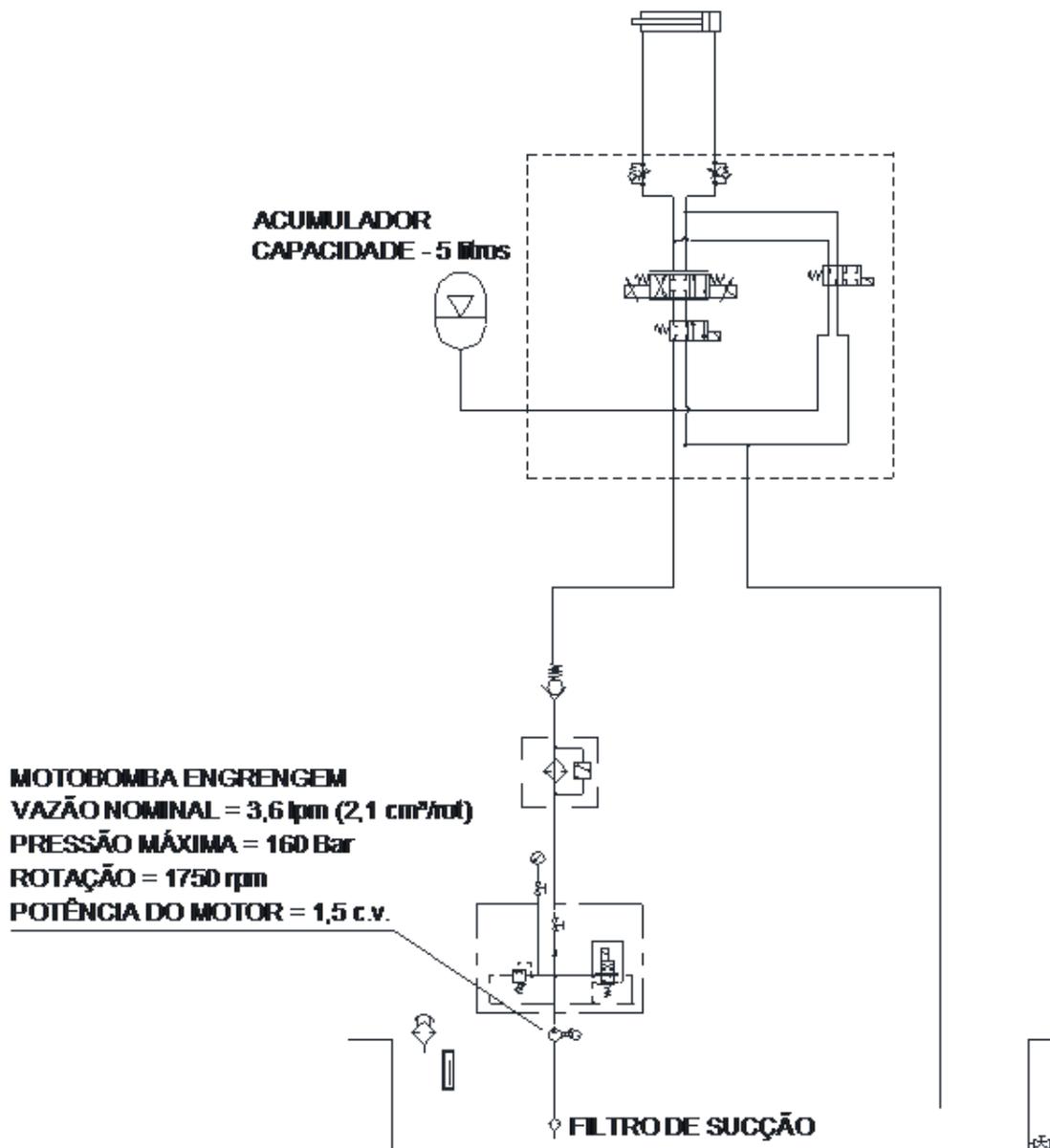


Figura 21: Central Óleo Hidráulica
Fonte: Betta Hidroturbinas (2012)

6.5 UNIDADE ELETRÔNICA DO REGULADOR DE VELOCIDADE

A função do regulador de velocidade é manter a unidade geradora (turbina e gerador) em rotação constante, a fim de que a frequência da tensão gerada seja mantida em seu valor nominal, atuando sobre a vazão da turbina. Como a potência

gerada é função direta da vazão turbinada, o regulador desempenha também o papel de controlador da potência ativa gerada (CERPCH, 2011).

A unidade eletrônica do regulador automático de velocidade possui estrutura de controle programável PID (Proporcional, Integrativa e Derivativa), permitindo compatibilizar a atuação do regulador conforme as condições hidráulicas específicas do aproveitamento, também possui duas baterias de 12 V_{cc} cada, que alimentam a unidade eletrônica do regulador de velocidade, permitindo operar independente do gerador e um circuito eletrônico que converte a corrente alternada em contínua alimentando constantemente as baterias (BETTA, 2012).

A rotação do gerador é continuamente monitorada pela unidade eletrônica, ocorrendo variação de rotação e conseqüentemente de frequência, o sistema lógico do regulador eletrônico atua sobre a unidade hidráulica, promovendo o movimento do perfil regulador, controlando a vazão de água na turbina, de forma a manter a rotação do conjunto turbina / gerador constante. Os parâmetros PID da unidade eletrônica do regulador possibilitam atuações diferentes do controle de vazão na turbina para cada situação de carga do conjunto, exercendo o controle de velocidade com qualidade e precisão (BETTA, 2012).

A unidade eletrônica do regulador e o sistema de comando são montados em gabinete metálico com porta frontal, provido de proteção contra pó e respingos d'água, próprio para instalação abrigada, basicamente composta por:

- 01 (um) multimedidor;
- 03 (três) TC's para alentar o multimedidor com informações de corrente;
- barramento de cobre para instalação dos três TC's;
- chave liga / desliga do painel;
- chave liga / desliga do motor elétrico;
- 02 (dois) contatores para inversão do sentido de rotação do motor elétrico trifásico CA;
- 02 (dois) contatores para acionar o motor CC de fechamento de emergência;
- regulador de velocidade tipo PLC;
- placa eletrônica transdutora da frequência do gerador para 0–5 V_{dc} que fornece informações ao PLC;
- placa eletrônica operando como retificador/carregador automático de baterias tipo *flyback*;

- 02 (duas) baterias de lítio 12 V e 25 Ah;
- disjuntor termomagnético para desligar a excitação do gerador na partida da turbina;
- disjuntor termomagnético de linha.

A seguir, na figura 22, é possível verificar o painel do regular de velocidade com os equipamentos instalados:

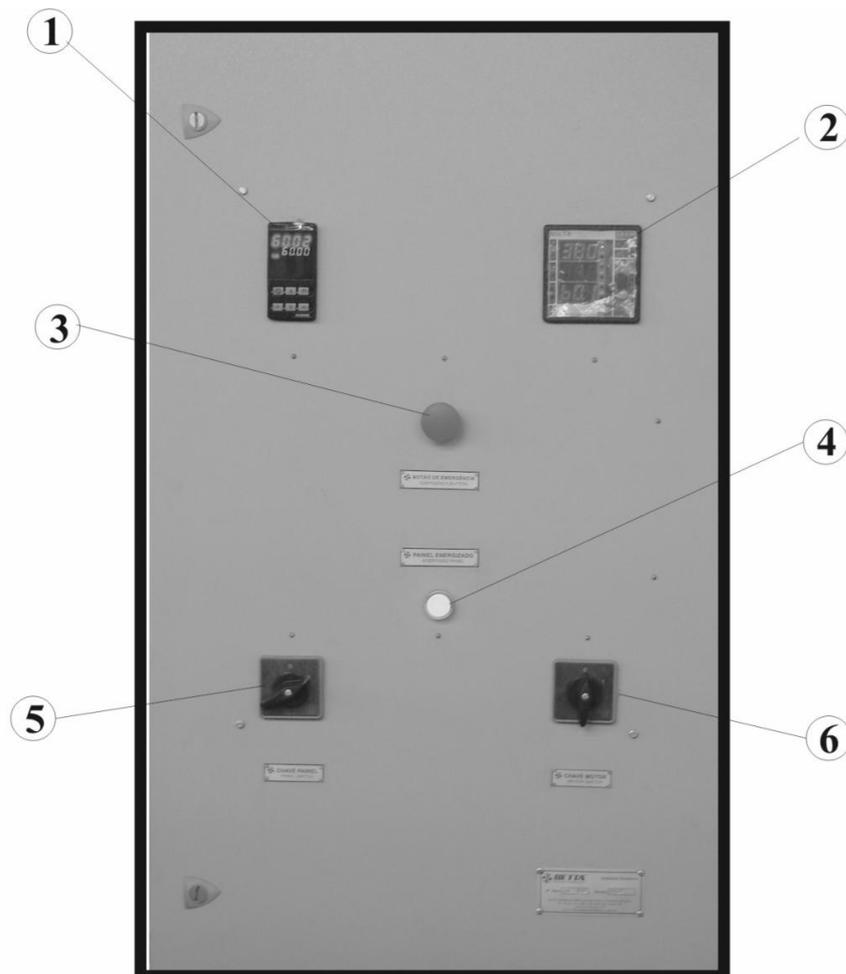


Figura 22: Painel do Regulador Automático de Velocidade
Fonte: Beta Hidroturbinas (2012)

- 1 – CLP (Controlador Lógico Programável);
- 2 – Multímetro;
- 3 – Botão de emergência;
- 4 – Luz de aviso;
- 5 – Chave painel;

6 – Chave motor.

6.6 UNIDADE GERADORA

A Betta Hidroturbinas realizou a cotação em março de 2012, de todos os equipamentos para o funcionamento da unidade geradora:

- conjunto turbina hidráulica modelo Betta 6090 – potência eixo turbina 282 *cv* e potência saída do gerador 231 *kVA* – 185 *kW*;
- gerador trifásico *brushless* – potência nominal 292 *kVA* – 440 *V* – 60 *Hz* – 04 (quatro) *pólos* – 1800 *rpm*;
- multiplicador de rotação por caixa de engrenagens;
- volante de inércia;
- regulador de velocidade eletroeletrônico tipo CLP;
- unidade hidráulica com pistão hidráulico para acionamento do perfil regulador de vazão;
- válvula borboleta de diâmetro 900 *mm* (acionada por redutor).

O valor total da unidade geradora informado pelo fabricante foi de R\$ 343.830,00 (frete não incluso no valor cotado).

Como a potência prevista de geração é de 185 *kW*, é possível verificar o custo dos equipamentos da unidade geradora pela potência gerada:

$$C_{UG} = \frac{\text{Custo}}{\text{Geração}} \quad (7)$$

$$C_{UG} = \frac{343.830,00}{185}$$

$$C_{UG} = 1858,54 \text{ R\$/kW}$$

É possível fazer uma análise de quanto tempo é necessário para recuperar o investimento feito na unidade geradora, vendendo a energia gerada pela MCH de Roncador.

Atualmente, o valor unitário do consumo de energia elétrica residencial B1 convencional da COPEL é de 0,29626 *R\\$/kWh*, sem impostos (ICMS e

PIS/COFINS), de acordo com a resolução ANEEL n° 1296 de 19 de junho de 2012.

Multiplicando o valor de geração de 185 *kWh* pelo valor unitário de 0,29626 *R\$/kWh*, encontra-se o valor de 54,8081 *R\$/h*.

Utilizando o valor fornecido pelo fabricante de R\$ 343.830,00 e dividindo pelo valor de 54,8081 *R\$/h*, estima-se que para recuperar o investimento da unidade geradora seja de 6274 horas aproximadamente, o que resultaria em 262 dias.

É interessante acrescentar alguns dados importantes sobre o fornecimento da turbina (BETTA, 2012):

- Todos os equipamentos são financiáveis pelo BNDES (Finame);
- Serão fornecidos juntamente com os equipamentos propostos a documentação técnica de projeto e manuais de operação e manutenção do conjunto;
- O prazo de entrega da fábrica é de 70 (setenta) dias, a partir da confirmação do pedido;
- A garantia dos equipamentos é 12 meses, a partir da entrega fábrica;
- O custo de serviço de um técnico da BETTA de supervisão de montagem, entrega técnica e treinamento para o conjunto turbina hidráulica / gerador e unidade hidráulica é de R\$ 8.000,00, além das demais despesas: transportes, hospedagem e alimentação.

A tabela 6 mostra o resultado dos principais parâmetros para análise de viabilidade técnica na instalação da unidade geradora na MCH de Roncador.

Tabela 6: Parâmetros de Instalação da Unidade Geradora na MCH de Roncador

Parâmetros	Unidade Geradora para MCH de Roncador
Capacidade Instalada	185 kW
Montante Inicial de Investimento	R\$ 343.830,00
Condições de Financiamento	BNDES (Finame)
Período Estimado para Construção	70 dias + Período de Montagem
Custos de Operação e Manutenção	R\$ 8.000,00 + Despesas do Técnico
Valor da Energia Utilizada ou Vendida	0,29626 R\$/kWh (sem impostos)
Benefícios Sociais	Atender as necessidades da UTFPR e do município como MCH didática de forma sustentável e fonte para ampliar e melhorar o ensino da universidade.
Custos Ambientais	Com o aproveitamento do local e das estruturas atuais, o impacto ambiental é minimizado e as reformas necessárias para reativar a usina não causarão danos para o local.

Fonte: Própria (2012)

7 MEMORIAL DE CÁLCULO DO CONDUTO FORÇADO

A seguir serão demonstrados os cálculos realizados para o dimensionamento do conduto forçado com múltiplas saídas, a realização dos cálculos foi de acordo com a norma da ABNT NBR 10132 – CÁLCULOS DE CONDUTOS FORÇADOS, e os livros de resistências dos materiais de Beer, Johnston Jr., DeWolf e Hibbeler.

7.1 DADOS TÉCNICOS

- Diâmetro interno $\rightarrow D_i = 1000 \text{ mm}$;
- Espessura de corrosão (reto) $\rightarrow 1,5 \text{ mm}$;
- Espessura de corrosão (curvo) $\rightarrow 2,0 \text{ mm}$;
- Material do conduto \rightarrow Aço ASTM A-36:
 - Tensão de escoamento $\rightarrow \sigma_e = 2530 \text{ kgf/cm}^2$;

- Tensão de ruptura $\rightarrow \sigma_r = 3600 \text{ kgf/cm}^2$;
- Coeficiente de segurança para conduto livre $\rightarrow S_g = 1,7$;
- Densidade da água $\rightarrow \rho_a = 1000 \text{ kgf/m}^3$;
- Vazão nominal $\rightarrow Q = 2,08 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Queda bruta $\rightarrow \Delta h = 14,8 \text{ m}$;
- Comprimento do conduto $\rightarrow c = 225 \text{ m}$;
 - comprimento do trecho 1 $\rightarrow c_1 = 10 \text{ m}$;
 - comprimento do trecho 2 $\rightarrow c_2 = 190 \text{ m}$;
 - comprimento do trecho 3 $\rightarrow c_3 = 25 \text{ m}$;
- Espessura mínima do conduto $\rightarrow e_{min} = 6 \text{ mm}$;
- Aceleração da gravidade $\rightarrow g = 9,812 \text{ m/s}^2$;
- Altura da tomada d'água $\rightarrow h = 2,5 \text{ m}$;
- Velocidade de escoamento da água $\rightarrow V$;
- Área da secção do conduto $\rightarrow A$;
- Peso específico da água $\rightarrow \gamma$;
- Pressão da água na tomada d'água $\rightarrow Z$;
- Tensão devido à pressão $\rightarrow \sigma$;

7.2 CÁLCULOS DO CONDUTO NO TRECHO 1

As figuras 23 e 24 demonstram os desenhos projetados pela ferramenta ProEngineer para o trecho 1, a unidade de medida utilizada nos desenhos foi milímetro:

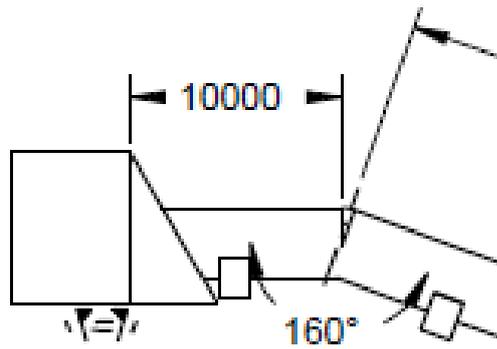


Figura 23: Trecho 1 do Conduto Forçado
 Fonte: ProEngineer (2012)

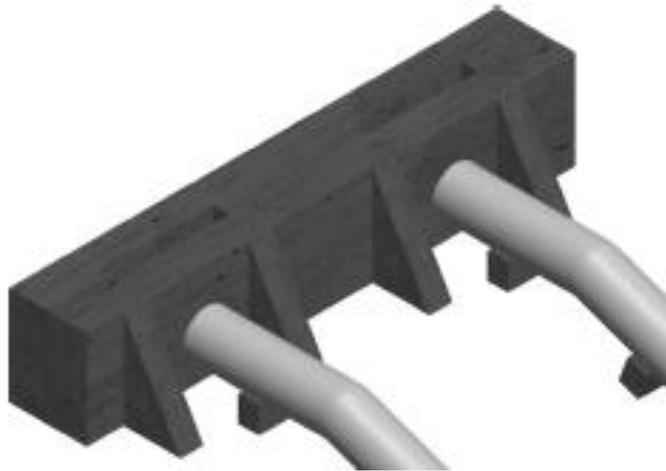


Figura 24: Trecho 1 do Conduto Forçado em 3D
 Fonte: ProEngineer (2012)

7.2.1 Pressão Estática Máxima

A partir da expressão 8, é possível encontrar a pressão estática máxima que o conduto suporta:

$$P = \rho_a \cdot g \cdot h \quad (8)$$

$$P = 1000 \cdot 9,812 \cdot 2,5$$

$$P = 24530 \text{ Pa}$$

Como 1 *mca* (metros de coluna d'água) equivale a 10000 *Pa*, a pressão estática pode ser expressa desta maneira:

$$P = 2,453 \text{ mca}$$

7.2.2 Pressão Dinâmica Máxima

Para encontrar a pressão dinâmica máxima, expressa na fórmula 11, é necessário encontrar a área da secção do conduto e a velocidade de escoamento da água com as expressões 9 e 10.

$$A = \pi \cdot r^2 \quad (9)$$

$$A = 3,1416 \cdot (0,5)^2 = 0,7854 \text{ m}^2$$

$$Q = V \cdot A \quad (10)$$

$$V = \frac{2,08}{0,7854} = 2,6483 \text{ m/s}$$

$$\Delta p = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot V^2 \quad (11)$$

$$\Delta p = \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 2,6483^2 = 0,0357 \text{ kgf/cm}^2$$

7.2.3 Pressão Total

Para encontrar a pressão total, expressa na fórmula 12, deve-se somar a pressão dinâmica máxima com a pressão exercida na tomada d'água.

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot V^2 + \gamma \cdot Z \quad (12)$$

$$P = 0,0357 + 1000 \cdot 9,812 \cdot 2,5 = 0,2857 \text{ kgf/cm}^2$$

7.2.4 Tensão Devido à Pressão

Para encontrar a tensão total ou combinada (expressão 15), é preciso calcular a tensão circunferencial (expressão 13) e a tensão longitudinal (expressão 14),

encontrando as tensões é possível calcular o coeficiente de segurança para os condutos forçados (expressões 16, 17 e 18).

Para calcular as tensões devido a pressão circunferencial e longitudinal é preciso multiplicar a pressão total pelo raio do conduto, divididos pela espessura do material do conduto.

→ Tensão Devido à Pressão Circunferencial

$$\sigma_{circ} = \frac{P \cdot r}{t} \quad (13)$$

$$\sigma_{circ} = \frac{0,2857 \cdot 50}{0,6} = 23,80 \text{ kgf/cm}^2$$

→ Tensão Devido à Pressão Longitudinal

$$\sigma_{long} = \frac{P \cdot r}{2t} \quad (14)$$

$$\sigma_{long} = \frac{0,2857 \cdot 50}{1,2} = 11,90 \text{ kgf/cm}^2$$

→ Tensão Devido à Pressão Combinada

$$\sigma_{comb} = \sqrt{\sigma_{long}^2 + \sigma_{circ}^2 - (\sigma_{long} \cdot \sigma_{circ})} \quad (15)$$

$$\sigma_{comb} = \sqrt{11,90^2 + 23,80^2 - (11,90 \cdot 23,80)} = 20,61 \text{ kgf/cm}^2$$

→ Coeficiente de Segurança

$$S_g = \frac{\sigma_e}{\sigma_{circ}} \quad (16)$$

$$S_g = \frac{2530}{23,80} = 106,30$$

De acordo com a norma da ABNT NBR 10132, o coeficiente de segurança para o material aço ASTM A-36, deve ser maior que 1,7. Sendo que todas as pressões exercidas sobre o conduto estão acima deste valor.

→ Peso do conduto e Peso da Água

Para determinação das cargas atuantes sobre o conduto, é necessário calcular o peso do conduto e o peso da água. Para encontra o peso do conduto se multiplica o diâmetro externo do conduto D_e , pela densidade do aço utilizado e pela espessura do material.

$$P_c = \pi \cdot D_e \cdot d_c \cdot e_{min} \quad (19)$$

$$P_a = 3,1416 \cdot (1,019) \cdot 7850 \cdot 0,006 \cdot 1,0 = 149,74 \text{ kgf/m}$$

$$P_a = A_{int} \cdot \rho_a \quad (20)$$

$$P_a = 0,785 \cdot 1000 \cdot 1 = 785,39 \text{ kgf/m}$$

$$P_t = P_c + P_a \quad (21)$$

$$P_t = 149,74 + 785,39 = 935,13 \text{ kgf/m}$$

7.2.5 Cálculo das Tensões Devido aos Pesos do Conduto e da Água

Calculado os pesos do conduto e da água, é possível encontrar as cargas atuantes sobre o conduto através da ferramenta *Ftool*, que fornece os esforços cortantes e os momentos fletores.

Na figura 25 são demonstradas as cargas atuantes sobre o conduto depois de distribuídos os blocos de apoio no trecho 1, foram colocados 5 apoios, um a cada 2,5 m, sendo o último apoio fixo. Nas figuras 26 e 27, é possível a verificação dos esforços cortantes e os momentos fletores calculados pela ferramenta *Ftool*.

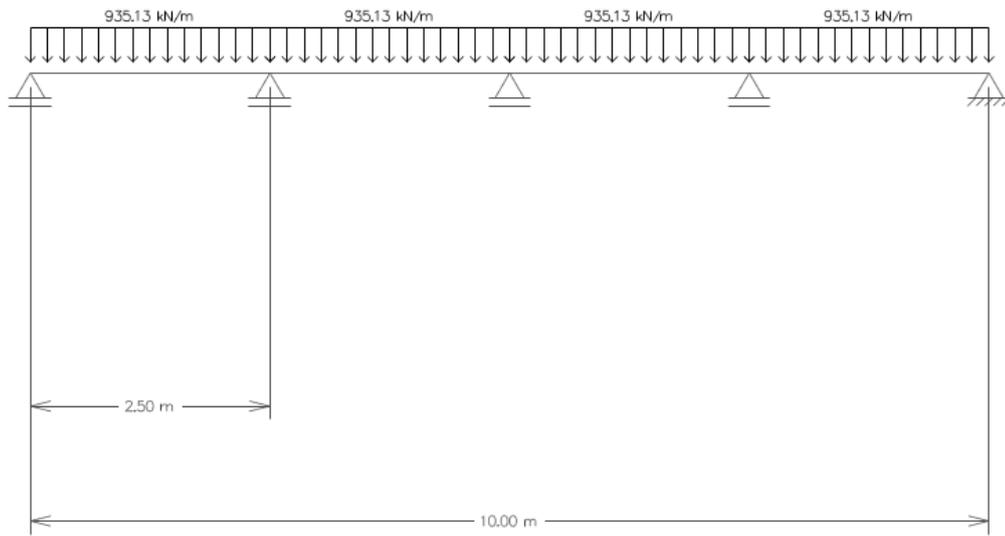


Figura 25: Cargas Atuantes no Trecho 1
Fonte: Ftool (2012)

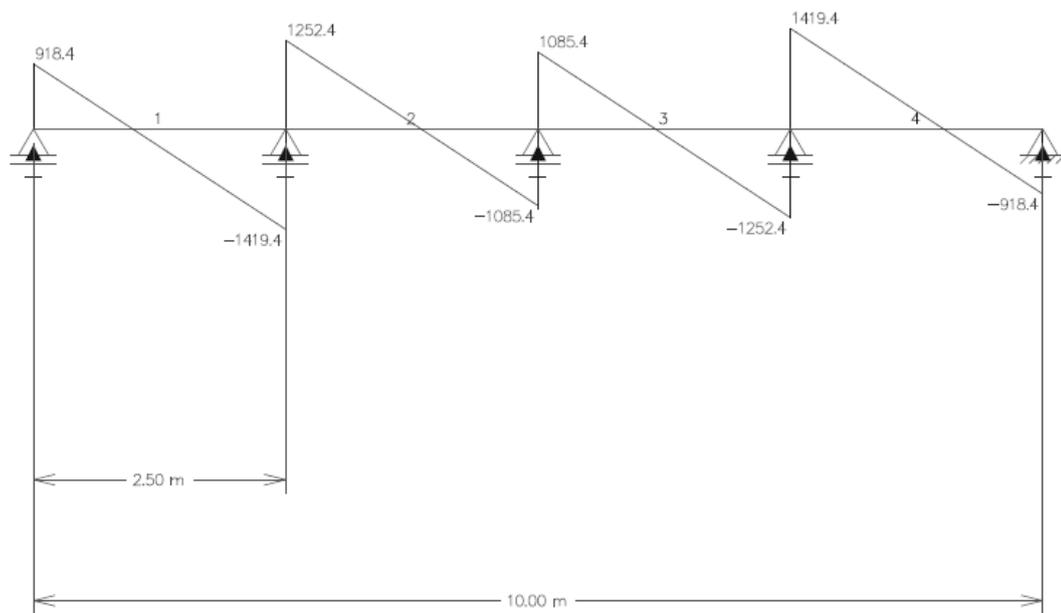


Figura 26: Esforços Cortantes no Trecho 1
Fonte: Ftool (2012)

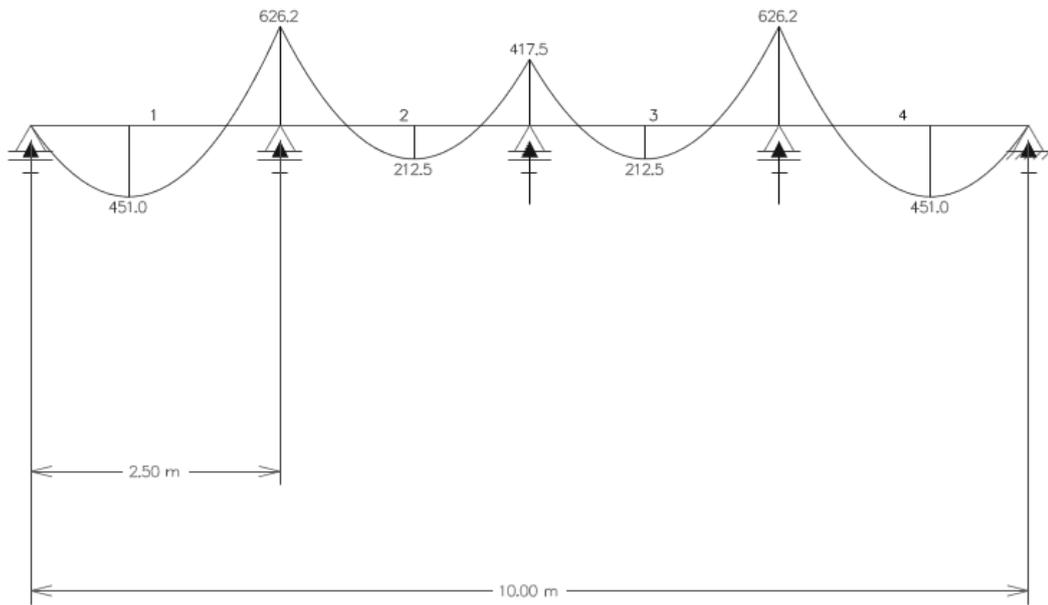


Figura 27: Momentos Fletores no Trecho 1
Fonte: Ftool (2012)

- Esforço cortante máximo → $Q_{máx}$: 1,419 MPa;
- Momento fletor máximo → $M_{f máx}$: 0,626 MPa;
- Momento de inércia:

$$I = \frac{\pi \cdot (R^4 + r^4)}{4} \quad (22)$$

$$I = \frac{3,1416 \cdot (500^4 + 494^4)}{4} = 2,314 \cdot 10^{-3}$$

$$W = \frac{I (\text{momento de inércia})}{C (\text{seção circular})} \quad (23)$$

$$W = \frac{2,314 \cdot 10^{-3}}{0,5} = 4,628 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$A (\text{área}) = (\pi \cdot r_1^2) - (\pi \cdot r_2^2) \quad (24)$$

$$A = (3,1416 \cdot 500^2) - (3,1416 \cdot 494^2) = 0,0187 \text{ m}^2$$

→ Tensão Flexão:

$$\sigma_p = \frac{M_{f\text{máx}}}{W} \quad (25)$$

$$\sigma_p = \frac{0,626}{4,628 \cdot 10^{-3}} = 135,26 \text{ MPa ou } 1379,27 \text{ kgf/cm}^2$$

→ Tensão de Cisalhamento:

$$\tau = \frac{Q_{\text{máx}}}{A} \quad (26)$$

$$\tau = \frac{1,419}{0,0187} = 75,93 \text{ MPa ou } 774,27 \text{ kgf/cm}^2$$

→ Coeficiente de Segurança:

$$S_g = \frac{\sigma_e}{\sigma_p} \quad (28)$$

$$S_g = \frac{2530}{1379,27} = 1,83$$

7.3 CÁLCULOS DO CONDUTO NO TRECHO 3

Os cálculos do trecho 2 não foram demonstrados devido a quantidade de cálculos necessários quando o trecho é inclinado, sendo que o trecho 3 é o que sofre maior pressão e tensão sob o conduto forçado, não inviabilizando o projeto.

As figuras 28 e 29 demonstram os desenhos projetados pela ferramenta ProEngineer para o trecho 3:

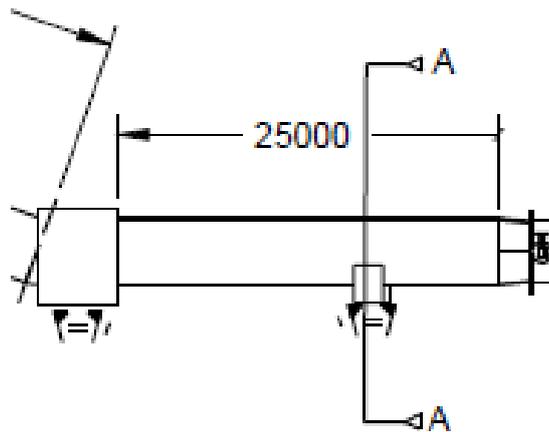


Figura 28: Trecho 3 do Conduto Forçado
Fonte: ProEngineer (2012)

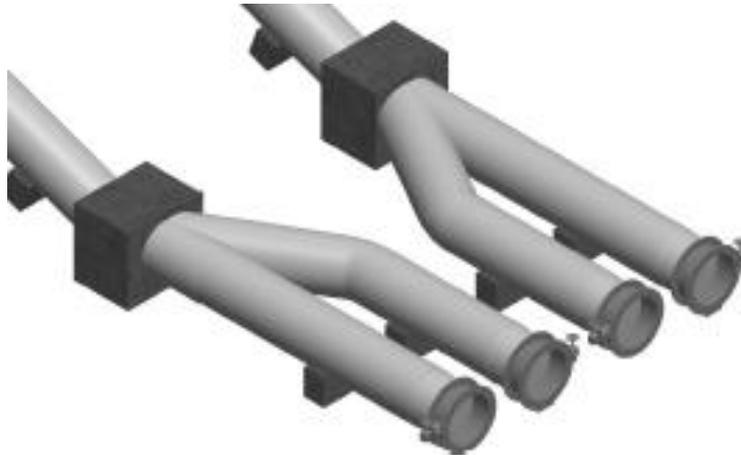


Figura 29: Trecho 3 do Conduto Forçado em 3D
Fonte: ProEngineer (2012)

7.3.1 Pressão Estática Máxima

$$P = \rho_a \cdot g \cdot h \quad (8)$$

$$P = 1000 \cdot 9,812 \cdot 17,3$$

$$P = 169,74 \text{ kPa ou } 16,97 \text{ mca ou } 1,697 \text{ kgf/cm}^2$$

7.3.2 Pressão Dinâmica Máxima

$$\Delta p = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot V^2 \quad (11)$$

$$\Delta p = 0,0357 \text{ kgf/cm}^2$$

7.3.3 Pressão Total

$$P_t = P + \Delta p \quad (29)$$

$$P = 1,697 + 0,0357 = 1,7327 \text{ kgf/cm}^2$$

→ Tensão Devido à Pressão Circuferencial

$$\sigma_{circ} = \frac{P \cdot M}{t} \quad (13)$$

$$\sigma_{circ} = \frac{1,7327 \cdot 50}{0,6} = 144,39 \text{ kgf/cm}^2$$

→ Tensão Devido à Pressão Longitudinal

$$\sigma_{long} = \frac{P \cdot M}{2t} \quad (14)$$

$$\sigma_{long} = \frac{1,7327 \cdot 50}{1,2} = 72,195 \text{ kgf/cm}^2$$

→ Tensão Devido à Pressão Combinada

$$\sigma_{comb} = \sqrt{\sigma_{long}^2 + \sigma_{circ}^2 - (\sigma_{long} \cdot \sigma_{circ})} \quad (15)$$

$$\sigma_{comb} = \sqrt{72,195^2 + 144,39^2 - (72,195 \cdot 144,39)} = 125,04 \text{ kgf/cm}^2$$

→ Coeficiente de Segurança

$$S_g = \frac{\sigma_e}{\sigma_{circ}} \quad (16)$$

$$S_g = \frac{2530}{144,39} = 17,52$$

→ Peso do conduto e Peso da Água

Para determinação das cargas atuantes sobre o conduto, é necessário calcular o peso do conduto e o peso da água. Para encontra o peso do conduto se multiplica o diâmetro externo do conduto D_e , pela densidade do aço utilizado e pela espessura do material.

$$P_c = \pi \cdot D_e \cdot d_c \cdot e_{min} \quad (19)$$

$$P_a = 3,1416 \cdot (1,019) \cdot 7850 \cdot 0,006 \cdot 1,0 = 149,74 \text{ kgf/m}$$

$$P_a = A_{int} \cdot \rho_a \quad (20)$$

$$P_a = 0,785 \cdot 1000 \cdot 1 = 785,39 \text{ kgf/m}$$

$$P_t = P_c + P_a \quad (21)$$

$$P_t = 149,74 + 785,39 = 935,13 \text{ kgf/m}$$

7.3.4 Cálculo das Tensões Devido aos Pesos do Conduto e da Água

Da mesma maneira que foi encontrado as cargas atuantes no trecho 1, foi possível encontrar as cargas atuantes sobre o conduto através da ferramenta *Ftool*, para poder encontrar os esforços cortantes e os momentos fletores.

Na figura 30 são demonstradas as cargas atuantes sobre o conduto depois de distribuídos os blocos de apoio no trecho 3, foram colocados 11 apoios, um a cada 2,5 m, sendo o apoio central fixo. Nas figuras 31 e 32, é possível a verificação dos esforços cortantes e os momentos fletores calculados pela ferramenta *Ftool*.

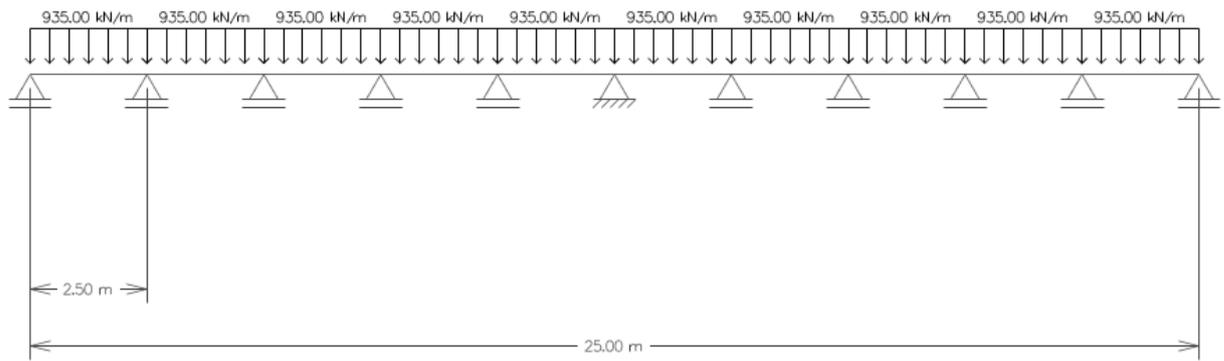


Figura 30: Cargas Atuantes no Trecho 3
Fonte: Ftool (2012)

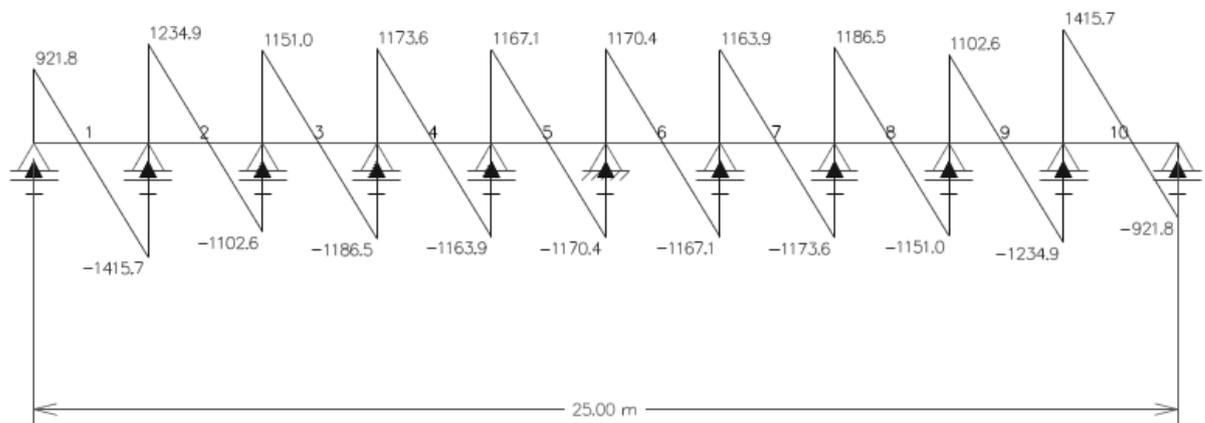


Figura 31: Esforços Cortantes no Trecho 3
Fonte: Ftool (2012)

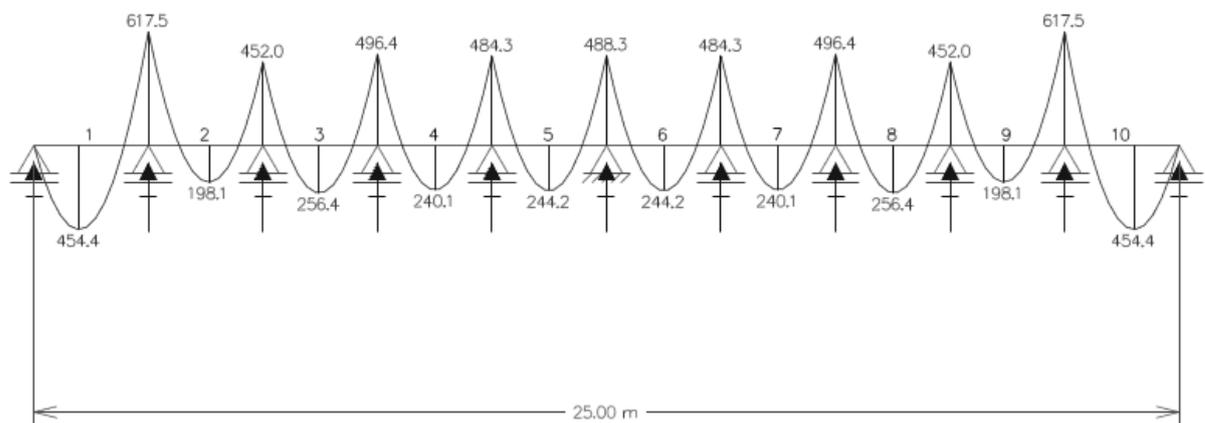


Figura 32: Momentos Fletores no Trecho 3
Fonte: Ftool (2012)

- Esforço cortante máximo → $Q_{m\acute{a}x}$: 1,4157 MPa;
- Momento fletor máximo → $M_{f\acute{m}a\acute{x}}$: 0,6175 MPa;
- Momento de inércia:

$$I = \frac{\pi \cdot (R^4 + r^4)}{4} \quad (22)$$

$$I = \frac{3,1416 \cdot (500^4 + 494^4)}{4} = 2,314 \cdot 10^{-3}$$

$$W = \frac{I \text{ (momento de inércia)}}{C \text{ (seção circular)}} \quad (23)$$

$$W = \frac{2,314 \cdot 10^{-3}}{0,5} = 4,628 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$A \text{ (área)} = (\pi \cdot r_1^2) - (\pi \cdot r_2^2) \quad (24)$$

$$A = (3,1416 \cdot 500^2) - (3,1416 \cdot 494^2) = 0,0187 \text{ m}^2$$

→ Tensão Flexão:

$$\sigma_p = \frac{M_{f\text{máx}}}{W} \quad (25)$$

$$\sigma_p = \frac{0,6175}{4,628 \cdot 10^{-3}} = 133,41 \text{ MPa ou } 1360,4 \text{ kgf/cm}^2$$

→ Tensão de Cisalhamento:

$$\tau = \frac{Q_{\text{máx}}}{A} \quad (26)$$

$$\tau = \frac{1,4157}{0,0187} = 75,706 \text{ MPa ou } 771,99 \text{ kgf/cm}^2$$

→ Coeficiente de Segurança:

$$S_g = \frac{\sigma_e}{\sigma_p} \quad (28)$$

$$S_g = \frac{2530}{1360,4} = 1,86$$

7.4 DESENHOS DO CONDUTO FORÇADO

Nas figuras 33, 34 e 35 é demonstrado o resultado final dos desenhos projetados depois de realizado todo o memorial de cálculo e as especificações técnicas do fornecedor da turbina tipo Michell-Banki, a Beta Hidroturbinas.

Todos os desenhos foram realizados com o auxílio da ferramenta ProEngineer, a escolha deste *software* foi devida sua melhor condição de trabalhar com desenhos em 3D.

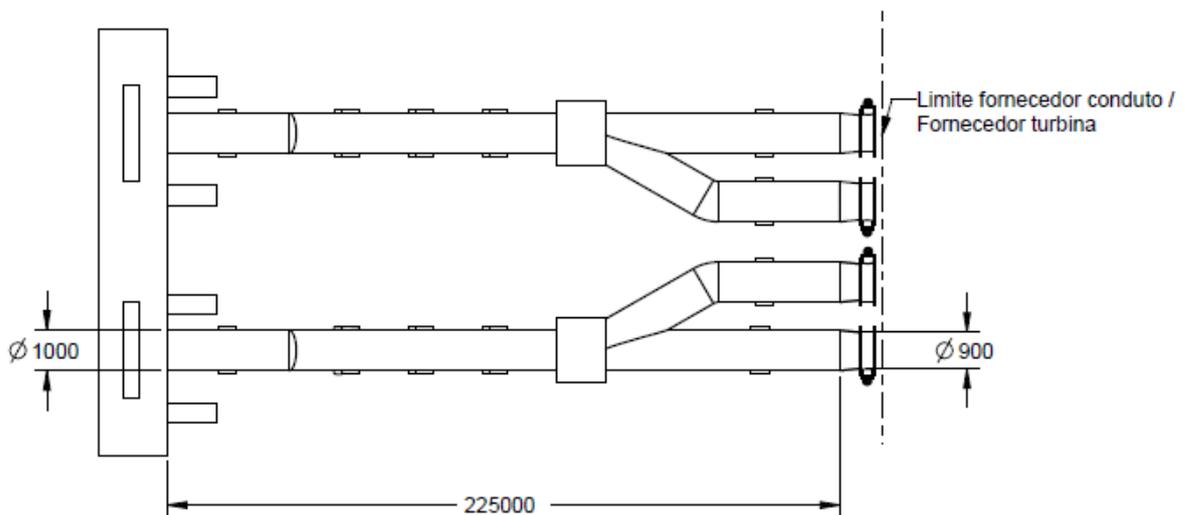


Figura 33: Desenho do Conduto Forçado
Fonte: ProEngineer (2012)

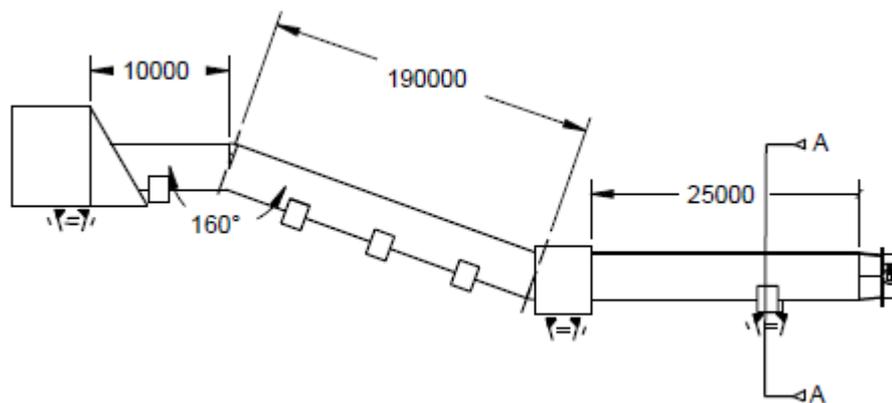


Figura 34: Corte A-A do Conduto Forçado
Fonte: ProEngineer (2012)

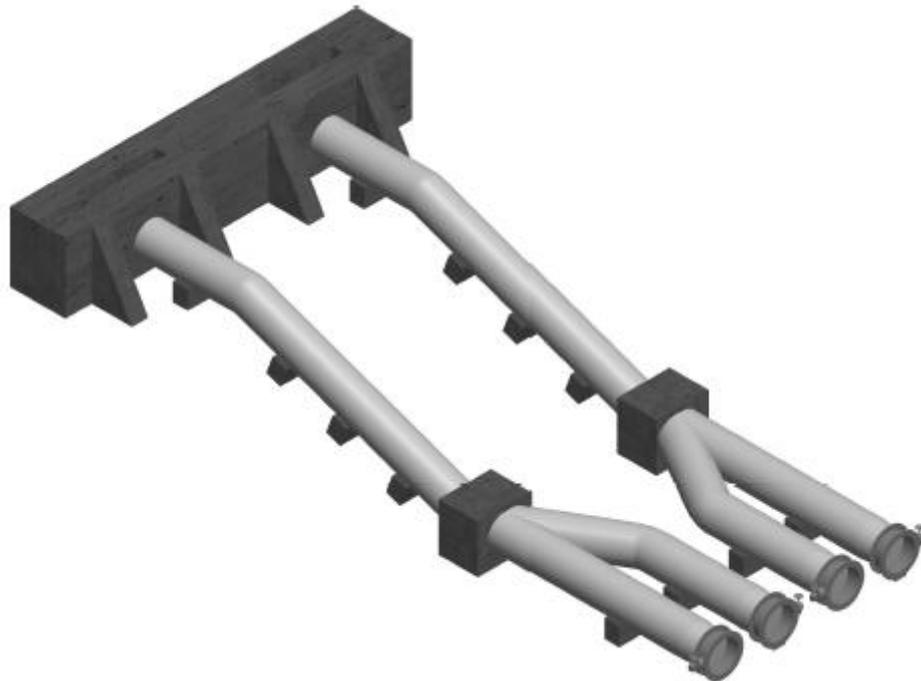


Figura 35: Desenho 3D do Conduto Forçado
Fonte: ProEngineer (2012)

A realização do projeto básico do conduto forçado com saídas múltiplas para o estudo de diferentes turbinas tem uma importância grande no desenvolvimento do trabalho.

As escolhas da saída de dois condutos da tomada d'água e depois da bifurcação de ambas foram feitas devido ao comprimento e diâmetro do conduto serem consideradas pequenas para instalações de trifurcação ou quadrifurcação.

8 CONCLUSÃO

Este trabalho demonstra que é possível realizar o projeto da unidade geradora da MCH de Roncador na cidade de Bocaiúva do Sul – PR com a turbina Michell-Banki, pois a idéia principal do trabalho foi de auxiliar na restauração de uma parte deste novo laboratório que faz parte da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR.

Os objetivos foram alcançados com sucesso dentro das perspectivas iniciais. Foram analisados os aspectos técnicos e financeiros da turbina de fluxo cruzado, tipo Michell-Banki.

A turbina Michell-Banki, da fabricante Betta Hidroturbinas, especificada neste trabalho, para geração de 185 *kW* foi a alternativa escolhida disponível no mercado nacional para a geração de energia elétrica. A partir da análise feita para venda de energia elétrica gerada pela MCH, foi verificado que é possível recuperar os gastos investidos na unidade geradora em menos de um ano. Para ser instalada na MCH de Roncador, foram realizados os cálculos para instalação de um conduto com múltiplas saídas, de acordo com as características técnicas das instalações atuais e também com as características dos equipamentos da turbina Michell-Banki, considerando possíveis instalações de outras turbinas nas demais saídas do conduto futuramente. A partir dos dados levantados, a unidade geradora é tecnicamente e financeiramente viável para ser instalada na MCH didática de Roncador.

Para trabalhos futuros é possível realizar o comparativo de custos de outras turbinas tradicionais com a turbina Michell-Banki, realizar o dimensionamento da casa de força e o levantamento de custos para realização do projeto do conduto forçado com múltiplas saídas.

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 Agrônomicas, Botucatu, 2007.

ANEEL – **Agência Nacional de Energia Elétrica** – Acompanhamento de Autorizações das PCH's. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/autorizacoes/default_aplicacao_acompanhamento.cfm?IDACOMPANHAMENTOTIPO=4. Acesso em: 05/11/2011.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10132: Cálculos de Condutos Forçados - Procedimento**. Rio de Janeiro, 1987.

BALARIM, C. R. Tese de Mestrado. **Avaliação expedida do custo de implantação de micro centrais hidrelétricas**. 1996. 162 f. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 1996.

BEER, F. P., JOHNSTON JR., E. R., DEWOLF, J. T. **Resistência dos Materiais**. 4 ed. Porto Alegre - RS: AMGH Editora Ltda, 2010.

BELUCO, A. Tese de Mestrado. **Viabilidade de Microcentrais Hidrelétricas Baseadas no Emprego de Equipamentos de Mercado**. UTFRG – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Porto Alegre – RS, Brasil – 1994.

BEN – **Balanço Energético Nacional, 2011**. Ministério de Minas e Energia. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2011.pdf. Acesso em: 29/08/2011.

BETTA HIDROTURBINAS INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA. Disponível em: <http://www.bettahidroturbinas.com.br/>. Acesso em: 10/01/2012.

BETTA HIDROTURBINAS INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA. **Micro Central Hidrelétrica Betta: Um Destino Inteligente para a Água que Corre em sua Propriedade**. Catálogo de equipamentos. Franca, 2005.

CAMUS, C., EUSÉBIO, E. **GESTÃO DE ENERGIA - Energia Mini-Hídrica**. ISEL – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. DEEA – Secção de Economia e Gestão, 2006. Disponível em: <http://pwp.net.ipl.pt/deea.isel/ccamus/Doc/ENERGIAS3.pdf>. Acesso em: 31/08/2011.

CERPCH – CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS. **Pequena Central Hidrelétrica**. Disponível em: <http://www.cerpch.unifei.edu.br/oque.php>. Acesso em: 30/08/2011.

COSTA, Antônio Simões. **Turbinas Hidráulicas e Condutos**. Disponível em: <http://www.labspot.ufsc.br/~simoies/dincont/turb-hidr-2003.pdf>. Acesso em: 08/11/2011.

ELETROBRÁS. **Diretrizes para projetos de PCH**. Disponível em <http://www.portalpch.com.br>. Acesso em 11/11/2011.

FTOOL - Versão Educacional 2.12 para Windows. **Engenharia e Construção**, 2012.

GARCIA, A. B.; REBELATTO, J. A.; POMPERMAIER, V. Trabalho de Conclusão de Curso, **Estudo para Revitalização da Micro Central Hidrelétrica de Roncador**. UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Engenharia Industrial Elétrica – Eletrotécnica. Curitiba – PR, Brasil – 2011.

GERADOR HIDROELÉTRICO. **Vivendo Eletricidade**. Disponível em: <http://vivendoeletricidade.blogspot.com/2010/06/esta-e-uma-turbina-tipo-franacis.html>. Acesso em: 09/11/2011.

GOOGLE. **Programa GOOGLE EARTH**. Versão 6.1.0.5001, 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.

HACKER INDUSTRIAL. **Turbinas Hidráulicas**. Disponível em: <http://www.hacker.ind.br>. Acesso em: 12/11/2011.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos Materiais**. 5 ed. Pearson – Prentice Hall, 2006.

HYDRAULIC WATER TURBINES. **Banki Michell Turbines**. Disponível em: http://members.tripod.com/hydrodocs_1/turbines.html. Acesso em: 31/08/2011.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. **Censo Cidades - 2010**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=410310#>. Acesso em 05/11/2011.

LAUTERJUNG, Helmut. **Selección de la Turbina**. Montevidéo – Uruguai, GTZ, 1991.

LIMA, B. W. F. Trabalho de Conclusão de Curso. **Centrais Hidrelétricas de Pequeno Porte e o Programa Brasileiro de PCHs**. UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas. Engenharia de Controle e Automação. Campinas – SP, Brasil, 2009.

PEDROSO, Hermínio Braga. **Roteiro para projeto de pequenas e médias usinas hidrelétricas**. Goiânia: UFG, 1982.

PÉREZ, E. P., CARROCCI, L. R., MAGALHÃES FILHO, P., DE CARVALHO JR. J. A. **Projeto Hidráulico e Mecânico de uma Micro Turbina para Zonas Rurais** – In: III International Congress University – Industry Cooperation, 2010. Ubatuba – Brasil - 2010.

PORTAL BRASILEIRO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS. **Energia Hidrelétrica**. Disponível em: http://www.energiarenovavel.org/index.php?option=com_content&task=view&id=50&Itemid=142. Acesso em: 30/08/2011.

PORTAL PCH. **Pequena Central Hidrelétrica**. Disponível em: http://www.portalpch.com.br/index.php?option=com_content&task=view&id=702. Acesso em: 30/08/2011.

PORTAL PCH. **Turbinas Hidráulicas**. Disponível em: http://www.portalpch.com.br/index.php?option=com_content&task=view&id=218. Acesso em: 25/02/2012.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BOCAIÚVA DO SUL. **O Município**. Disponível em: <http://www.bocaiuvadossul.pr.gov.br>. Acesso em 05/11/2011.
PUC-RS – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - Departamento de Engenharia Mecânica e Mecatrônica. **Turbinas**. Disponível em: http://www.feng.pucrs.br/lsvm/alunos/luc_gab/turbinas.html. Acesso em: 08/11/2011.

PRO/ENGINEER WILDFIRE 5.0. PTC - Parametric Technology Corp. 2010.

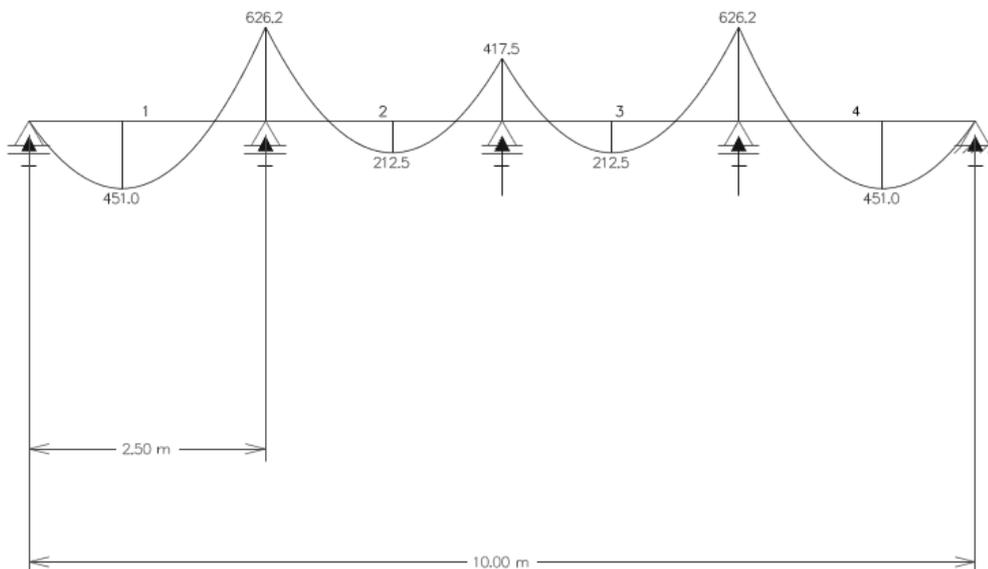
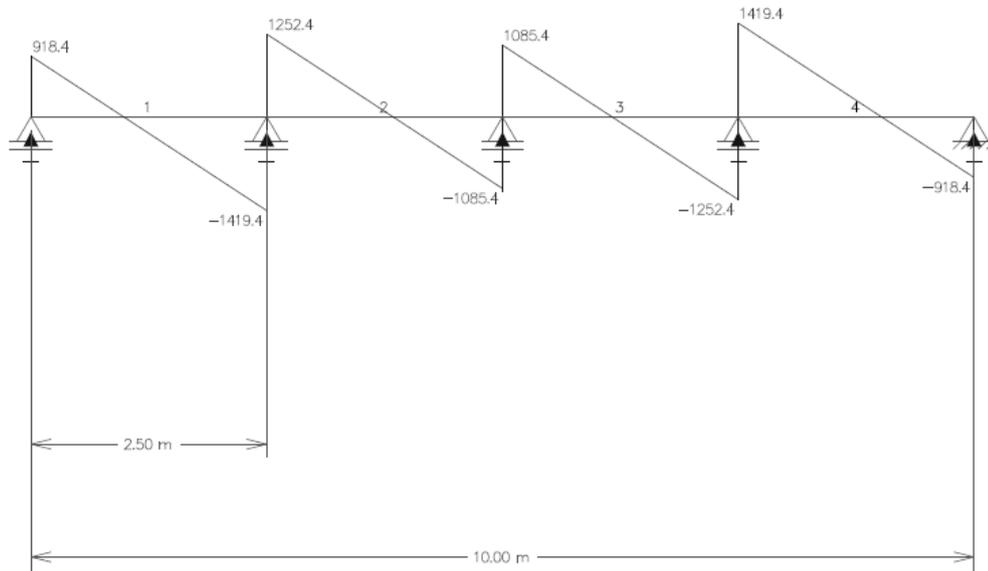
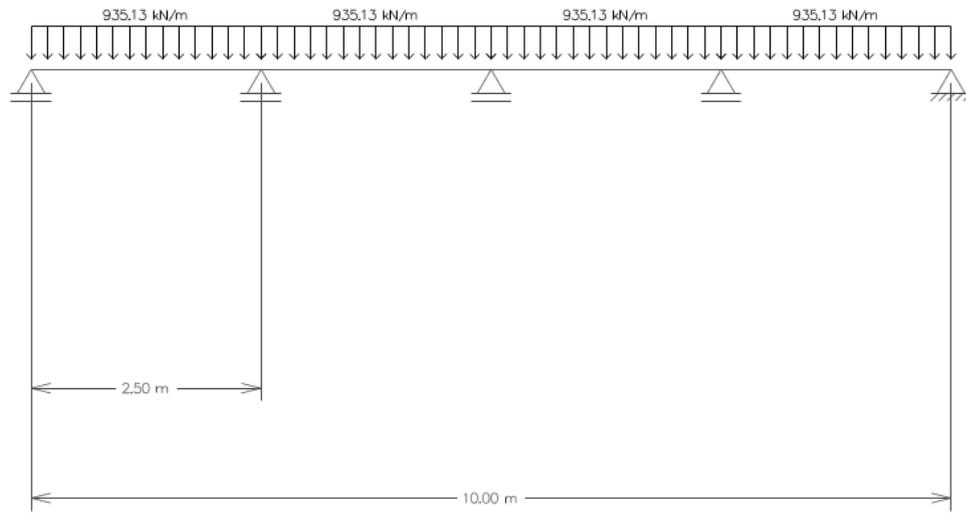
STRAUHS, F. D. R. Tese de Doutorado, “**Gestão do Conhecimento em Laboratório Acadêmico: Proposição de Metodologia**”. UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis - SC, Brasil – 2003.

TIAGO FILHO, L. G. **Eficiência dos equipamentos de PCH's no Brasil**. Itajubá-MG: EFEI, 2004.

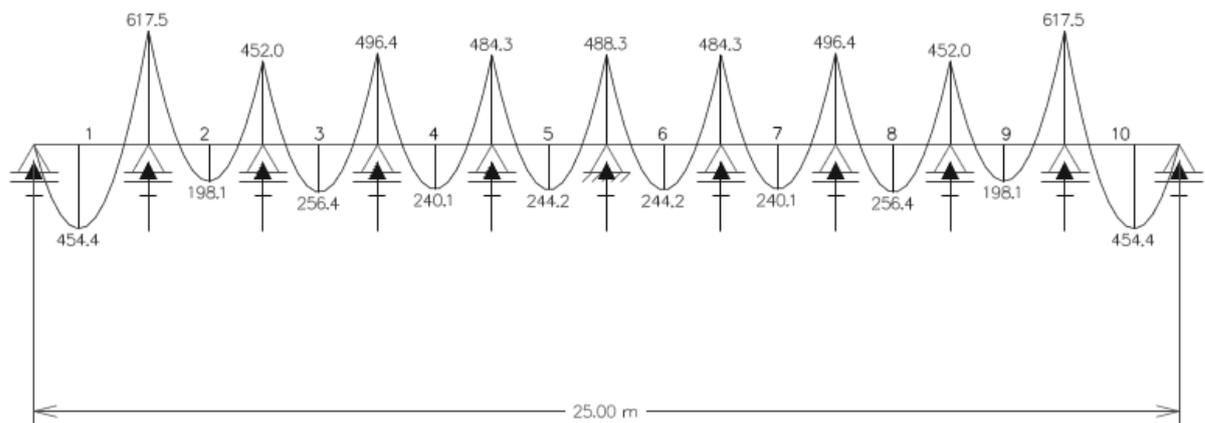
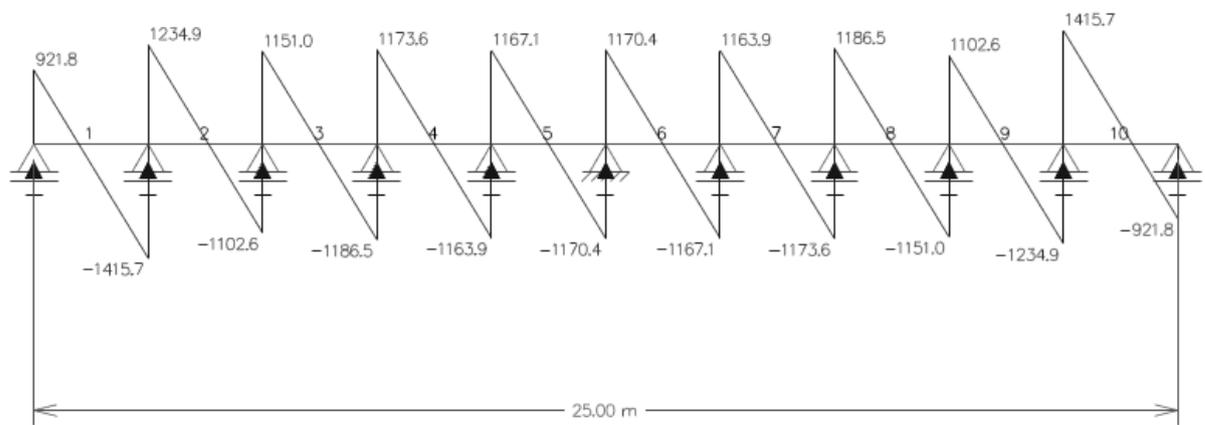
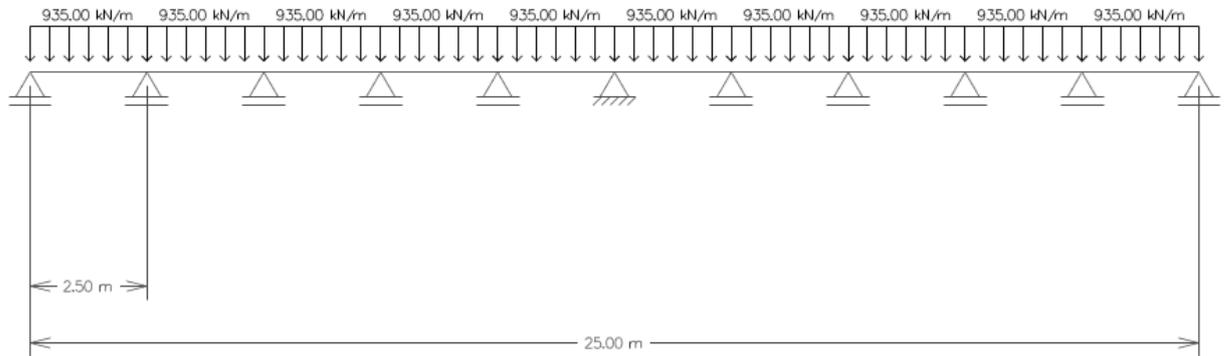
Universidade Tecnológica Federal do Paraná. **Acervos de Notícias – 2010**. Disponível em: <http://www.utfpr.edu.br/estrutura-universitaria/diretorias-de-gestao/dircom/noticias/noticias/2010/dezembro/campus-curitiba-e-prefeitura-de-bocaiuva-do-sul-lancam-marco-fundamental-da-usina-roncador>. Acesso em: 06/11/2011.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. **Normas para Apresentação de Documentos Científicos**. Curitiba: Editora da UFPR, 2001.

APÊNDICE B – Cargas Atuantes sobre o Conduto Forçado no Trecho 1



APÊNDICE C – Cargas Atuantes sobre o Conduto Forçado no Trecho 3



ANEXO A – Cotação da Turbina Hidráulica Michell-Banki na Betta Hidroturbinas



1

Franca (SP), 01 de Março de 2012

À

SENERGY – Curitiba / PR
Engº Victor Hugo Uno

Ref.: CGH Roncador – Bocaiúva do Sul - PR
Orçamento nº: 1203068

Prezado Senhor;

Temos a satisfação em lhe apresentar nosso orçamento técnico e comercial, para o fornecimento dos equipamentos Eletro-Mecânicos, destinados à Central Geradora Hidrelétrica Roncador, localizada na Bocaiúva do Sul – PR.

Características Técnicas do Aproveitamento

- Potência máxima prevista	185 KW (231KVA)
- Queda d'água Bruta considerada	14,8 m
- Tubulação de adução para cada uma das Turbinas:	
. diâmetro considerado para cálculo	1.000 mm
. comprimento informado	225 m
. material adotado para cálculo	metálico
. diâmetro na entrada da Turbina	900 mm

1 Equipamentos Eletromecânicos – Especificações Técnicas

1.1 Turbina Hidráulica :

- Turbina Hidráulica tipo Michell Banki, modelo	Betta 6090
- Queda líquida no eixo do rotor da Turbina	19,9 m
- Vazão máxima turbinada	2.060 litros/segundo
- Potência no eixo da Turbina Hidráulica	282 c.v.
- Rotação nominal eixo Turbina	238 rpm
- Rendimento considerado para a Turbina	82,0%
- Rendimento do gerador informado pela WEG	93,0% (cos $\phi=0,8$ – 100% da carga)
- Rendimento da caixa de engrenagens	96,0%

BETTA Hidroturbinas Industria e Comércio Ltda.
Rua Alfredo Tosi, 1600 – Núcleo Agrícola Alpha – Cx. Postal 278
14400-970 FRANCA SP Fone 16 3702-5522 – Fax 16 3702 6891
site: www.bettahidroturbinas.com.br

ANEXO B – NBR 10132 – Cálculos de Condutos Forçados - Procedimento

28896

	CÁLCULOS DE CONDUTOS FORÇADOS	04.025
	Procedimento	NBR 10132
		NOV/1987

SUMÁRIO

1 Objetivo
2 Normas complementares
3 Definições
4 Condições gerais
5 Elementos de cálculo dos condutos forçados
ANEXO – Relação de dados básicos para o projeto de um conduto forçado

GOPEL / DPDM
Divisão de Biblioteca

1 OBJETIVO

1.1 Esta Norma fixa as condições exigíveis para o cálculo dos condutos forçados metálicos, de construção soldada, destinados à condução de água sob pressão à temperatura ambiente, para utilização em aproveitamentos hidrelétricos.

1.2 Esta Norma não se aplica a redes de distribuição, e aos órgãos de fechamento e regulação de fluxo intercalados nos condutos ou dispostos em suas extremidades.

2 NORMAS COMPLEMENTARES

Na aplicação desta Norma é necessário consultar:

NBR 6112 - Condutos forçados - Terminologia

3 DEFINIÇÕES

Os termos técnicos utilizados nesta Norma estão definidos de 3.1 a 3.5 e na NBR 6112.

3.1 *Pressão máxima normal de funcionamento*

Soma da pressão estática máxima com a sobrepressão decorrente do golpe de ariete causado pela variação brusca da vazão, devida ao fechamento e abertura normais

Origem: ABNT – 4: 07.04-002/86 (NB-1034)
CB-4 – Comitê Brasileiro de Mecânica
CE-4: 07.04 – Comissão de Estudos de Condutos Forçados

SISTEMA NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL	ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ©
--	---

Palavras-chave: conduto forçado.	NBR 3 NORMA BRASILEIRA REGISTRADA
---	--

CDU: 621.643.03 Todos os direitos reservados 19 páginas