

5. PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS NO MEIO RURAL

AUGUSTO NELSON CARVALHO VIANA¹

5.1 INTRODUÇÃO

No Brasil, as primeiras Centrais Hidrelétricas foram instaladas no início do século, devido à industrialização no interior do país, principalmente através das indústrias têxteis. Até a década de 50, o Brasil apoiou a sua eletrificação nas pequenas e médias centrais, sendo estas pertencentes à iniciativa privada ou ao município, onde foram criadas verdadeiras malhas com a interligação de pequenos sistemas municipais, visando o aumento da confiabilidade e melhor operação, como cita o trabalho de Santos e Bajay (1986).

A política tarifária da época e uma inflação significativa, passaram a desencorajar novos investimentos no setor elétrico. Tal fato, associado a outros de natureza política, fez com que o Estado começasse a ter maior participação no setor, garantindo a expansão do parque gerador, Santos e Bajay (1986). Desta forma, o Brasil construía Furnas no final da década de 50, sendo a primeira central brasileira a ter potência acima de 1000 [MW]. Toda a filosofia de suprimento de energia elétrica estava sendo mudada, com o surgimento dos grandes sistemas elétricos de natureza estatal, ao invés dos pequenos sistemas com características regionais e pertencentes à iniciativa privada ou municipal.

Outro fato que ocorreu na década de 50, foi o programa de eletrificação rural, normalmente baseado no padrão monofásico, conforme era utilizado nos EUA. Este programa, suportado por financiamento externo, era subsidiado. Aliado a isto, o fato da energia do grande sistema ter boas características técnicas, fez com que o meio rural abandonasse os suprimentos usuais de energia. Assim, o motor elétrico substituiu muitas rodas d'água e as pequenas gerações hidrelétricas foram abandonadas.

A crise do petróleo de 1973, com o aumento acelerado do preço do mesmo, fez com que se despertasse para as novas fontes de energia, principalmente às renováveis. Diante desse contexto, o governo brasileiro no início dos anos 80, estabeleceu diretrizes no sentido de acelerar o aproveitamento das fontes energéticas, com destaque para as PCHs. Desta maneira, ressurgiu a discussão sobre as PCHs, que estavam quase no esquecimento.

Este trabalho tem a finalidade de fazer um retrospecto do início dos anos 80 até os dias atuais em relação às PCHs. Ainda neste trabalho define-se a nova classificação das PCHs, são apresentados o estado da arte e as pesquisas desenvolvidas pelo Grupo de Energia da EFEI, principalmente aquelas relacionadas às Microcentrais Hidrelétricas, que estão ligadas a energização do meio rural. É apresentado o programa de avaliação e disseminação de Microcentrais Hidrelétricas no Estado de Minas Gerais, mostrando as realizações, os benefícios e as vantagens deste programa. Finalmente mostra-se um exemplo de uma avaliação de um aproveitamento hidrelétrico de uma agroindústria.

5.2 RETROSPECTO DE 1980 A 1996 ACERCA DAS PCHs

¹Professor Assistente Doutor - Grupo de Energia do Instituto de Engenharia Mecânica da Escola Federal de Engenharia de Itajubá - EFEI - Fone (035) 629 1157 Fax (035) 629 1265 - Itajubá-MG.

Com base nas diretrizes estabelecidas pelo governo federal sobre fontes energéticas, em Outubro/81, o CNPq promove em São Paulo um Encontro para se discutir sobre PCHs, com a presença de várias entidades como Ministério das Minas e Energia-MME, ELETROBRÁS, Ministério da Agricultura-MA, Secretaria de Tecnologia Industrial-STI, Escola Federal de Engenharia de Itajubá-EFEI, Centro Tecnológico de Hidráulica-CTH e outras. Em função desse Encontro, a Centrais Elétricas Brasileiras S/A-ELETROBRÁS lança no Rio de Janeiro, o Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas, realizando um ciclo de debates. Participaram dos estudos para confecção do Manual, as entidades acima citadas, representantes de concessionárias estatais e municipais de todo país, além da Financiadora de Estudos e Projeto-FINEP, com coordenações geral da ELETROBRÁS e executiva da ENGEVIX S.A Estudos e Projetos de Engenharia.

Em Novembro/82 é assinada a portaria número 109 do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica-DNAEE, onde se conceitua a PCH e refere-se ao Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas, enquanto que em Maio/83 é realizado na EFEI, o primeiro curso de PCH em um aproveitamento real, utilizando como orientação o citado manual, sob a coordenação da ELETROBRÁS.

Em Junho/85 são editados os Manuais de Micro e Minicentrais Hidrelétricas, enquanto que, em Novembro do mesmo ano, inaugura-se na EFEI os Laboratórios Hidro e Eletromecânico para Pequenas Centrais Hidrelétricas (LHPCH-LEPCH). Estes laboratórios tinham a finalidade de testar, pesquisar e desenvolver máquinas hidráulicas e elétricas como turbinas e geradores, além de componentes hidráulicos e elétricos usados em PCHs. Várias turbinas de fabricantes nacionais foram testadas de 1986 a 1990, sendo que pesquisas foram e estão sendo realizadas até os dias atuais.

No mês de Outubro/87 assina-se a portaria número 136 do DNAEE, que revoga à 109, reconceitua a PCH e reconhece os manuais de Micro, Mini e Pequenas Centrais Hidrelétricas.

De 1983 a 1988 foram realizados 8 cursos de PCHs, utilizando os manuais da ELETROBRÁS, sendo o último em Abril/88 ministrado na EFEI, para membros da Organização Latino Americana de Energia OLADE. No período de 1988 a 1993 foram realizados 5 cursos de curta duração (40 horas) de Microcentrais Hidrelétricas.

Em Novembro/94 a portaria número 776 do DNAEE, cria o Grupo de Trabalho para Avaliação da Oportunidade para Lançamento do Novo Programa para Implantação e Recuperação de PCH. O Grupo de Trabalho encaminha ao Diretor Geral do DNAEE em Fevereiro/95, o relatório final acerca do assunto. Como consequência, a lei número 9074 de Julho/95, estabelece em seu item II do artigo 7 que, como autoprodutor, a geração hidrelétrica de potências entre 1 e 10 [MW] necessitam de autorização para sua implantação e no artigo 8 que potências até 1 [MW] estão dispensadas de concessão, permissão e autorização, enquanto a lei número 9427 de 26 de Dezembro/96 estabelece que autoprodutor e produtor independente abaixo ou igual a 1 [MW] não necessitam de autorização e concessão, e de 1 a 10 [MW] necessitam apenas de autorização. Nesta mesma lei, extingue-se o DNAEE e cria-se a Agência Nacional de Energia Elétrica-ANEEL.

O II Encontro para o Desenvolvimento das Energias Solar, Eólica e Biomassa no Brasil, realizado em Brasília no mês de Junho/95, resolve incluir em seu contexto as PCHs para o próximo ano. Assim, o III Encontro para o Desenvolvimento de Energias Renováveis Solar, Eólica, Biomassa e PCH é realizado em São Paulo no mês de Junho/96, tendo uma

de suas sessões, O Seminário para Definição das Diretrizes para o Aproveitamento de PCHs, onde o plenário aprovou um documento contendo as metas, diretrizes e o plano de ação para o futuro dos Aproveitamentos Hidroenergéticos de Pequeno Porte. O trabalho de Souza (1996) mostra o documento citado e a seguir está transcrito o mesmo.

5.2.1 Metas

- Aumento da geração hidrelétrica de pequeno porte na matriz energética, atingindo 2500 [MW], no caso das PCHs até o ano 2006.
- Substituição da geração Dieselétrica dos sistemas isolados por geração de Centrais de Pequeno Porte.
- Atendimento às comunidades e/ou propriedades rurais não energizadas.

5.2.2 Diretrizes

- Criação do Centro de Referência para Aproveitamentos Hidroenergéticos de Pequeno Porte.
- Revisão do conceito de PCH, considerando os seguintes pontos:
 - ⇒ as condições de risco;
 - ⇒ compatibilização dos aspectos técnicos e ambientais, em função das características locais;
 - ⇒ flexibilização dos limites de potência.
- Revisão da regulamentação, considerando o novo ambiente legal/institucional e destacando a definição das condições de comercialização de energia.
- Compatibilização da regulamentação setorial e ambiental.
- Integração junto aos diversos agentes responsáveis pelos recursos hídricos.
- Introdução de novas tecnologias nos equipamentos e na exploração dos recursos hidroenergéticos.
- Complementação e elaboração de documentos técnicos de divulgação.
- Criação de formas específicas de financiamento, bem como benefícios fiscais para implantação das centrais e para fabricação de equipamentos.
- Introdução no currículo das instituições de ensino superior e técnico de tópicos específicos sobre aproveitamentos hidroenergéticos de pequeno porte.
- Introdução no ensino básico de noções sobre aproveitamentos.

5.2.3 Plano de Ação

- Criação de uma rede de laboratórios credenciados para ensaios e certificação.
- Divulgação dos procedimentos para implantação do Centro de Referência para as instituições envolvidas, com apresentação das candidaturas até final de setembro de 1996.
- Fixação, com nível de detalhamento, de normas e procedimentos para apresentação de projeto e obtenção de autorização ou concessão.
- Introdução da questão dos aproveitamentos hidroenergéticos de pequeno porte, no projeto de reestruturação do setor elétrico brasileiro.
- Descentralização das atribuições do poder concedente através de convênio com os estados, no caso de instrução, análise, aprovação, autorização e concessão.
- Implementação de estudos para recuperação, modernização e repotenciação de centrais.

- Desenvolvimento e disseminação de tecnologias de automação e controle.
- Implementação de uma política de controle de qualidade na fabricação de equipamentos.

Souza (1996) cita em seu trabalho, que para essas ações sejam concretizadas, seria indispensável a criação do Centro de Referência em Aproveitamentos de Pequeno Porte. Este Centro teria como objetivo inicial, dentro das diretrizes estabelecidas, detalhar e coordenar as ações para implementação do plano de ação. Como objetivo permanente, o Centro seria o pólo de um sistema radial de informações, onde os núcleos de competência em cada área alimentariam o mesmo. Tal sistema dinamizaria, a baixo custo, o processo de troca de informações, evitando a duplicação de esforços e reduzindo o tempo para transferência de novas tecnologias ao produto final. Este autor concorda com os comentários de Souza (1996) e participa junto com o Grupo de Energia da EFEI de reuniões e contatos entre Julho a Novembro de 1996, com possíveis parceiros que integrariam o Centro, para oficialização de sua candidatura junto ao Ministério de Ciência e Tecnologia. Participaram dessas reuniões e contatos representantes da ELETROBRÁS, Companhia Energética de Minas Gerais-CEMIG, Companhia Paulista de Força e Luz-CPFL, DNAEE, Ministério de Ciência e Tecnologia-MCT, Ministério do Meio Ambiente, Recursos Hídricos e da Amazônia Legal-MMARHAL, Instituto de Eletrotécnica e Energia-IEE/USP, Secretaria de Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Mecânica Pesada S.A-MEP, Federação das Indústrias do Estado do Tocantins-FIETO. Desta forma, analisando a experiência ao longo dos anos, as potencialidades da EFEI e considerando que o Estado de Minas Gerais concentra um elenco de conhecimentos e atividades acadêmicas e empresariais ligadas a produção, uso e desenvolvimento dos aproveitamentos hídricos de pequeno porte para fins energéticos, o MCT aceita a candidatura da EFEI para sediar o Centro Nacional de Referência em Aproveitamentos Hidroenergéticos de Pequeno Porte, assinando em Dezembro/96 um Protocolo de Intenções para implantação do mesmo. A partir desta data, a EFEI e seus parceiros tem 90 dias para apresentar um Plano de Trabalho, definindo as atribuições de cada partícipe.

Entretanto, antes da assinatura do Protocolo de Intenções, ou melhor em Setembro/96, assinou-se um importante decreto número 2003 de 10/09/96 que regulamenta a produção de energia elétrica por Produtor Independente ou Autoprodutor. Este decreto define como:

- Produtor Independente de Energia Elétrica - a pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio, que recebam concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia produzida por sua conta e risco;
- Autoprodutor de Energia Elétrica - a pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão e autorização para produzir energia elétrica destinada ao seu próprio uso.

5.3 CLASSIFICAÇÃO DAS PCHs

A portaria número 136 de 06/10/87 do DNAEE, estabelece e define a PCH como segue:

- Estabelece que, para fins de análise pelo DNAEE do projeto relativo a PCH, serão observados os Manuais elaborados pela ELETROBRÁS;

- Define que, para efeito do disposto no item anterior, será considerada PCH o aproveitamento que tenha potência instalada total de no máximo 10 [MW] e potência máxima por gerador de 5 [MW];
- Permite a aceitação de soluções de engenharia e planejamento não contempladas nos referidos manuais, desde que tornem mais convenientes o projeto e conduzam a um custo final da energia gerada inferior a qualquer outra alternativa de suprimento, para o mercado a ser atendido.

Os manuais referidos nesta portaria são três:

- ⇒ Manual de Microcentrais Hidrelétricas;
- ⇒ Manual de Minicentrais Hidrelétricas;
- ⇒ Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas.

A Tabela 1 fornece as características e os limites das Micro, Mini e Pequena centrais hidrelétricas contidos nos referidos manuais.

Tabela 1 - Características e Limites das PCHs

CARACTERÍSTICA	MICRO	MINI	MIDI
Potência Máxima [KW]	100	1000	10000
Altura Máxima da Barragem [m]	3	5	10
Vazão Máxima da Central (m ³ /s)	2	15	20
Número Mínimo de Grupos Geradores para a Vazão Máxima	1	2	2
Potência Máxima do Grupo Gerador [KW]	100	1000	5000
Período de Recorrência para Obras de Desvio - Vazão de Cheias (anos)	-	5 a 10	10
Período de Recorrência para Obras Permanentes - Extravadores - Cheia Máxima (anos)	-	500 - 1000	500 - 1000
Período Máximo para Implantação (meses)	6	12 a 24	18 a 36
Regularização	Q ₉₅ ou no máximo regularização diária		

No caso das microcentrais, cuja limitação de potência é de 100 [KW], pode-se considerar como limite superior para centrais hidrelétricas no meio rural. Obviamente existem exceções a este limite, principalmente em propriedades agroindustriais.

5.4 ESTADO DA ARTE

5.5.1 Tecnologia sobre Estudos, Projetos e Construção das PCHs

No aspecto da tecnologia sobre estudos, projetos e construções de PCHs, o Brasil tem domínio consolidado, conforme ficou demonstrado nos 8 Cursos de Especialização em Pequenas Centrais Hidrelétricas (CEPCH) realizados pela ELETROBRÁS/EFEL, onde foram capacitados mais de 160 profissionais, realizando 21 estudos de implantação, alguns dos quais resultaram construções e se encontram em operação como a Minicentral

Hidrelétrica Ubirajara de Morais do Departamento Municipal de Eletricidade (DME) em Poços de Caldas-MG, cujos dados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela2 - Dados da PCH Ubirajara de Morais

Q	H	n	P _{el}
[m ³ /s]	[m]	[rpm]	[KW]
3,5	30,26	720	800
Número de Máquinas - 1		Diâmetro Interno(adução) - 1,55[m]	
Turbina - tipo Francis dupla - Fabricante - LINDNER			
Gerador - Síncrono - Fabricante - Toshiba			

A Minicentral Hidrelétrica Ubirajara de Morais foi projetada e construída por técnicos brasileiros, seus grupos geradores e equipamentos hidromecânicos são nacionais.

5.5.2 Equipamentos para PCHs

Os equipamentos para PCHs são principalmente compostos de:

- ⇒ grades;
- ⇒ comportas de vários tipos com seus sistemas de movimentação e sustentação;
- ⇒ válvulas com sistemas de abertura e fechamento;
- ⇒ tubulações, juntas de dilatação, acessórios de tubulações, portas de inspeção e aeradores;
- ⇒ cavaletes, talhas, pontes rolantes mecânicas e automatizadas;
- ⇒ turbinas, volantes e reguladores;
- ⇒ alternadores, quadro de comando e proteção;
- ⇒ transformadores, subestações, linhas de transmissão e seus componentes;
- ⇒ sistemas de comunicação.

Nas microcentrais, os fabricantes nacionais de pequeno porte vem atendendo satisfatoriamente o mercado. Entretanto, principalmente no caso das turbinas e geradores de alguns fabricantes, os rendimentos tem se mostrado muito baixos. No caso específico deste tipo de central, o grupo gerador representa em determinados casos até 50 (%) do custo global. Isto mostra a importância de se melhorar a eficiência do maquinário, mesmo se tratando de potências inferiores a 100 [KW]. Souza (1994), comenta em seu trabalho, caso ocorra uma expansão desse tipo de fabricante, haverá naturalmente uma regionalização do mesmo, de modo a satisfazer as necessidades, o que implicará no estabelecimento de um sistema de supervisão a níveis municipal e estadual, dos quais ainda inexitem, apesar de serem imprescindíveis.

No caso de microcentrais com potências inferiores a 50 [KW], reguladores eletrônicos de carga vem sendo desenvolvidos pelo Grupo de Energia da EFEI e fabricantes nacionais vem comercializando este produto a um baixo custo.

Para as mini e midicentrais, a fabricação no Brasil, tanto para os componentes mecânicos, elétricos e eletrônicos é completa, seja por multinacionais e/ou indústrias genuinamente brasileiras. No que se refere aos componentes do grupo gerador (turbinas, geradores e reguladores de velocidades) em princípio as multinacionais importam o projeto e alguns componentes, enquanto que as nacionais realizam todo o ciclo com seus próprios

recursos, exceto no caso de turbinas com rendimentos garantidos acima de 90 (%), quando o projeto e/ou o rotor são importados. Neste caso, apesar dos esforços do governo, instalar laboratórios como os do Centro Tecnológico de Hidráulica-CTH-USP-SP e Laboratório Hidromecânico para Pequenas Centrais Hidrelétricas-LHPCH-EFEI-MG, ainda não foi possível estabelecer um mecanismo adequado para a utilização desses laboratórios pelos fabricantes, de modo a certificar seus produtos e realizar um trabalho conjunto das equipes, onde possam ser desenvolvidas famílias de turbinas de alto rendimento.

No que se refere as turbinas de baixa queda de escoamento axial, a indústria nacional oferece as máquinas tipo Hélice de simples regulagem. No caso das turbinas Kaplan, Bulbo e tipo S, que são de dupla regulagem, são fornecidas somente pelas indústrias multinacionais.

5.5 PESQUISAS DO GRUPO DE ENERGIA DA EFEI

O Laboratório Hidromecânico para Pequenas Centrais Hidrelétricas do Instituto de engenharia Mecânica da Escola Federal de Engenharia de Itajubá (LHPCH-IEM-EFEI) foi inaugurado em Fevereiro/85 e desde então vem testando turbinas de fabricação nacional, desenvolvendo pesquisas em turbinas e bombas hidráulicas, equipamentos hidromecânicos, hidráulica, transientes hidráulicos e reguladores de carga. Desde Setembro/93, o LHPCH está sob a responsabilidade do Grupo de Energia (GEN-EFEI). Em seguida serão relatadas as pesquisas relativas às PCHs, desenvolvidas pelo GEN-EFEI.

5.5.1 Turbinas Não Convencionais

As turbinas não convencionais que vem sendo pesquisadas pelo GEN-EFEI são:

- ⇒ turbinas tipo Michell-Banki;
- ⇒ bombas funcionando como turbinas (BFTs);
- ⇒ turbina de reação com pás de simples curvatura;
- ⇒ turbinas Turgo.

5.5.1.1 Turbinas Michell-Banki

A turbina Michell-Banki foi inicialmente patenteada na Inglaterra em 1903, por A.G. Michell, engenheiro australiano. Mais tarde, entre 1917 e 1919, esta máquina foi pesquisada e divulgada pelo professor húngaro Danot Banki, Tiago Filho (1989). O fabricante mais antigo e respeitado no mundo inteiro, para este tipo de turbina, é a empresa alemã Ossberger Turbinenfabrik, que desde 1923 associou-se a Michell e já fabricou mais de 7000 unidades com bons rendimentos.

No Brasil, na década de 60, havia dois fabricantes, a Mescli e a Fundação Brasil. Atualmente existem dois fabricantes, a Betta Hidroturbinas de Franca-SP e a Epic de Varginha-MG, que tem suprido o mercado para potências abaixo de 30 [KW].

O campo de aplicação das turbinas Michell-Banki atende quedas de 3 a 100 [m], vazões de 0,02 a 2,0 (m³/s) e potências de 1 a 100 [KW].

Devido a sua simplicidade construtiva, esse tipo de turbina apresenta um custo menor em relação as turbinas convencionais. A turbina Michell Banki mostra-se indicada para ser usada em Microcentrais Hidrelétricas, mesmo sendo seu rendimento um pouco abaixo das turbinas Francis.

No trabalho de Tiago Filho (1987), projetou-se, construiu-se e testou-se um modelo de turbina Michell-Banki genuinamente nacional. O rendimento total máximo obtido foi de 61 (%), pois houve problemas de fugas laterais da água e a pá do distribuidor apresentou descolamentos. Em um trabalho subsequente, Tiago Filho (1991), fez algumas correções na pá do distribuidor e obteve um rendimento de 73 (%).

A Figura 1 mostra a turbina Michell-Banki da Ossberger, enquanto a Figura 2 apresenta a turbina desenvolvida por Tiago Filho (1987) e suas partes principais.

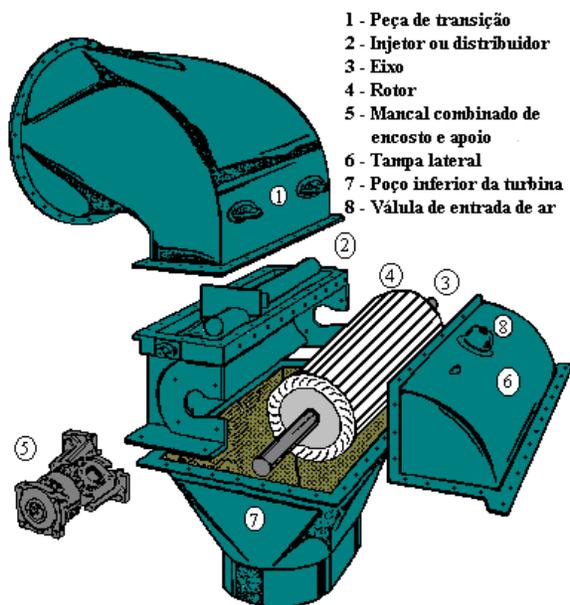
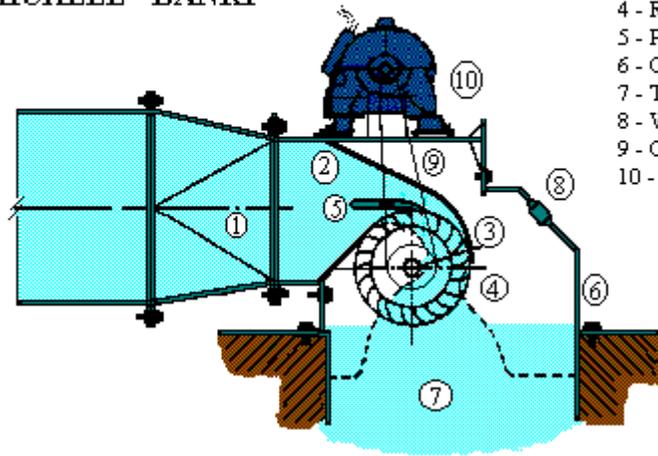


Figura 1 - Turbina Michell-Banki da Ossberger

DESENHO
ESQUEMÁTICO
DA TURBINA
MICHELL - BANKI



LEGENDA

- 1 - Canal adutor e peça de transição;
- 2 - Injetor ou distribuidor;
- 3 - Eixo do rotor e polia de transmissão;
- 4 - Rotor da turbina;
- 5 - Pá diretriz;
- 6 - Carenagem ou carcaça da turbina;
- 7 - Tubo de sucção;
- 8 - Válvula de entrada de ar;
- 9 - Correias de transmissão;
- 10 - Alternador

Figura 2 - Turbina Michell-Banki desenvolvida por Tiago Filho(1987)

5.5.1.2 Bombas Funcionando como Turbinas (BFTs)

As BFTs tem sido uma solução simples e de baixo custo em aproveitamentos com potências inferiores a 200 [KW] em países desenvolvidos como França, EUA, Alemanha. No Brasil, esta solução tem sido pouco utilizada, apesar de resultados de pesquisas com bombas nacionais estarem à disposição dos interessados.

As bombas utilizadas para operarem em reverso como turbinas, são as bombas de fluxo, ou sejam, bombas centrífugas, mistas e axiais. Desta forma, este tipo de solução, substituiria as turbinas convencionais Pelton, Francis e Hélices. Entretanto, no Brasil, as pesquisas tem sido realizadas em bombas centrífugas, como mostra o trabalho de Viana (1987). Neste trabalho, adquiriu-se uma bomba centrífuga de fabricação nacional, com potência de 2,65 [KW], testando-a como bomba e como turbina em várias condições de funcionamento. Através dos resultados experimentais obtidos, Viana (1987) mostra a viabilidade de se utilizar as BFTs, mas recomenda utilizá-las com potências abaixo de 50 [KW], visto que no Brasil até esta faixa de potências, encontra-se facilmente no mercado, tendo como consequência um baixo custo, se comparado com as turbinas convencionais.

A Figura 3 mostra o funcionamento de uma bomba centrífuga como bomba e como turbina, enquanto a Tabela 3 mostra os valores obtidos por Viana (1987), Viana e Nogueira (1990) de duas bombas centrífugas funcionando como bomba (BFB) e como turbina (BFT), operando na mesma rotação.

Note na Tabela 3, que para manter o mesmo rendimento como turbina, há necessidade de se aumentar a queda e vazão. Este aumento varia de bomba para bomba, ou seja, depende da rotação específica da mesma, como mostra a Tabela 3.

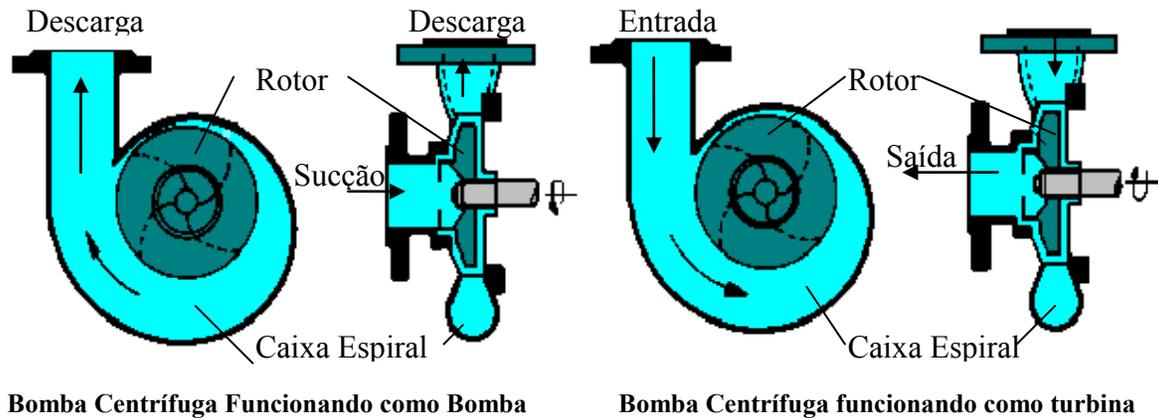


Figura 3 - Bomba centrífuga funcionando como bomba e como turbina

A solução de se utilizar as BFTs é uma das mais viáveis e atrativas, pois além do comportamento favorável da bomba como turbina, o mercado brasileiro é bastante rico neste tipo de equipamento, que favorece o baixo custo, a facilidade de manutenção e reposição de peças. Infelizmente, no Brasil não se tem notícias de pelo menos uma utilização de BFT. Entretanto a CEMIG, através do programa de avaliação e disseminação de microcentrais, procura no momento, um aproveitamento em uma propriedade rural, que seja favorável a utilização da BFT. Este programa será descrito com mais detalhes no item 6, onde serão dados exemplos de microcentrais em operação, desenvolvidas e construídas através do programa citado.

Tabela 3 - Comparação dos resultados entre BFB e BFT, obtido por Viana (1987), Viana e Nogueira (1990), para $n = \text{constante}$.

Fabricante Nacional 1					Fabricante Nacional 2				
Bomba Funcionando como Bomba					Bomba funcionando como Bomba				
H [m]	Q (m ³ /s)	P _e [KW]	n [rpm]	η _t (%)	H [m]	Q (m ³ /s)	P _e [KW]	n [rpm]	η _t (%)
5,6	0,0146	1,052	1740	76	8,8	0,020	2,650	1650	65
Bomba Funcionando como Turbina					Bomba Funcionando como Turbina				
H [m]	Q (m ³ /s)	P _e [KW]	n [rpm]	η _t (%)	H [m]	Q (m ³ /s)	P _e [KW]	n [rpm]	η _t (%)
9,3	0,0250	1,720	1740	75,6	16,7	0,0245	2,600	1650	65
Relações					Relações				
H _T /H _B	Q _T /Q _B	P _{eT} /P _{eB}	n _T /n _B	η _{tT} /η _{tB}	H _T /H _B	Q _T /Q _B	P _{eT} /P _{eB}	n _T /n _B	η _{tT} /η _{tB}
1,661	1,712	1,633	1	0,995	1,9	1,225	0,98	1	1
Obs.: T - Turbina B - Bomba t - total									

Baseado nos resultados obtidos por Viana (1987), Viana e Nogueira (1990) e também resultados de outros autores, Viana (1991) propõe uma metodologia para selecionar uma bomba para operar como turbina, partindo-se dos valores de altura e vazão disponíveis em uma propriedade rural.

5.5.1.3 Turbina de Reação com Pás de Simples Curvatura

Mauad (1995) desenvolveu uma turbina de reação com pás de simples curvatura, para atender microaproveitamentos, com o propósito de se ter o rotor de construção simples e conseqüentemente um baixo custo. Entretanto, um primeiro modelo construído e testado, apresentou um rendimento baixo, ou seja, seu máximo rendimento atingiu o valor de 50 (%).

Para se ter um aumento de rendimento, Mauad (1995), propõe a construção de um novo modelo com modificações sugeridas nos ângulos das pás. Até o momento, não houve continuação deste trabalho.

5.5.1.4 Turbina Turgo

A turbina Turgo é uma máquina de ação, diferenciando da Pelton quanto ao ângulo de incidência do jato d'água. Quando na turbina Pelton o jato é tangencial, na Turgo é lateral. A Figura 4 mostra os jatos de incidência das turbinas Pelton e Turgo.

A turbina Turgo atende quedas de 5 a 100[m], vazões de 0,01 a 0,180 (m³/s), com potências de 0,08 a 100[KW], competindo com as turbinas Pelton até as Francis normal.

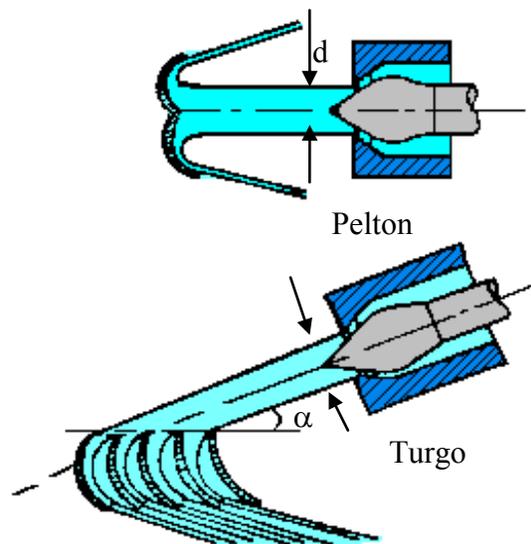


Figura 4 - Posições do jato d'água nas turbinas Pelton e Turgo.

O GEN-EFEI, vem desenvolvendo um grupo gerador de 80 (W) com turbina Turgo simplificada com pás semi-esféricas, baseada no modelo desenvolvido na China, Tiago Filho (1989). Este grupo gerador tem a função de atender populações carentes de Minas

Gerais, onde haja condições mínimas de água e queda, para acender lâmpadas e quando muito uma televisão. Neste caso, o grupo concorrerá com os painéis fotovoltaicos. A Figura 5 apresenta o modelo de turbina Turgo chinesa, enquanto a Figura 6 mostra um croqui do conjunto gerador desenvolvido pelo GEN-EFEI.

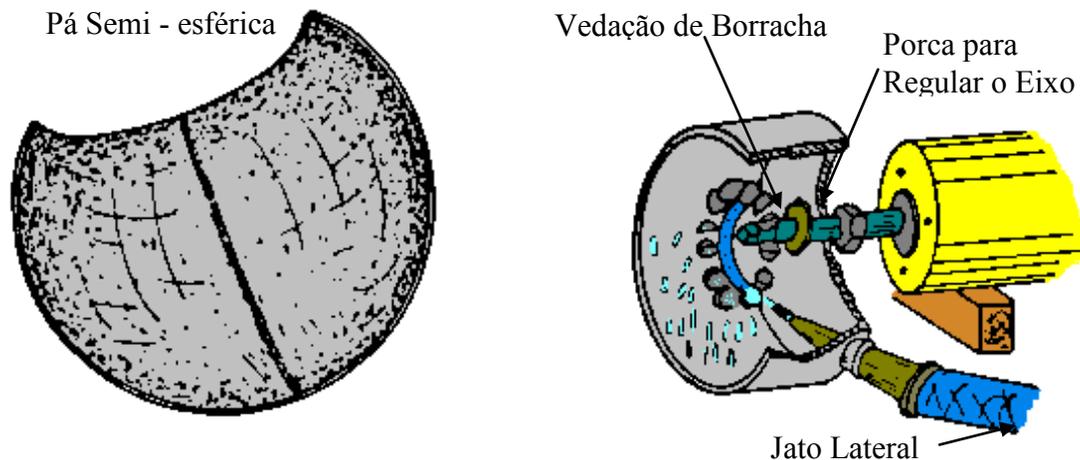


Figura 5 - Modelo chinês de turbina Turgo.

No momento, o primeiro modelo do grupo gerador de 80 (W) com turbina Turgo, se encontra na fase inicial de testes, estando os mesmos sendo realizados no LHPCH-EFEI. Espera-se um resultado de rendimento aceitável, para que este grupo possa ser utilizado não só nas comunidades carentes de Minas Gerais, mas em todo o território brasileiro, onde haja um mínimo de vazão e quedas disponíveis.

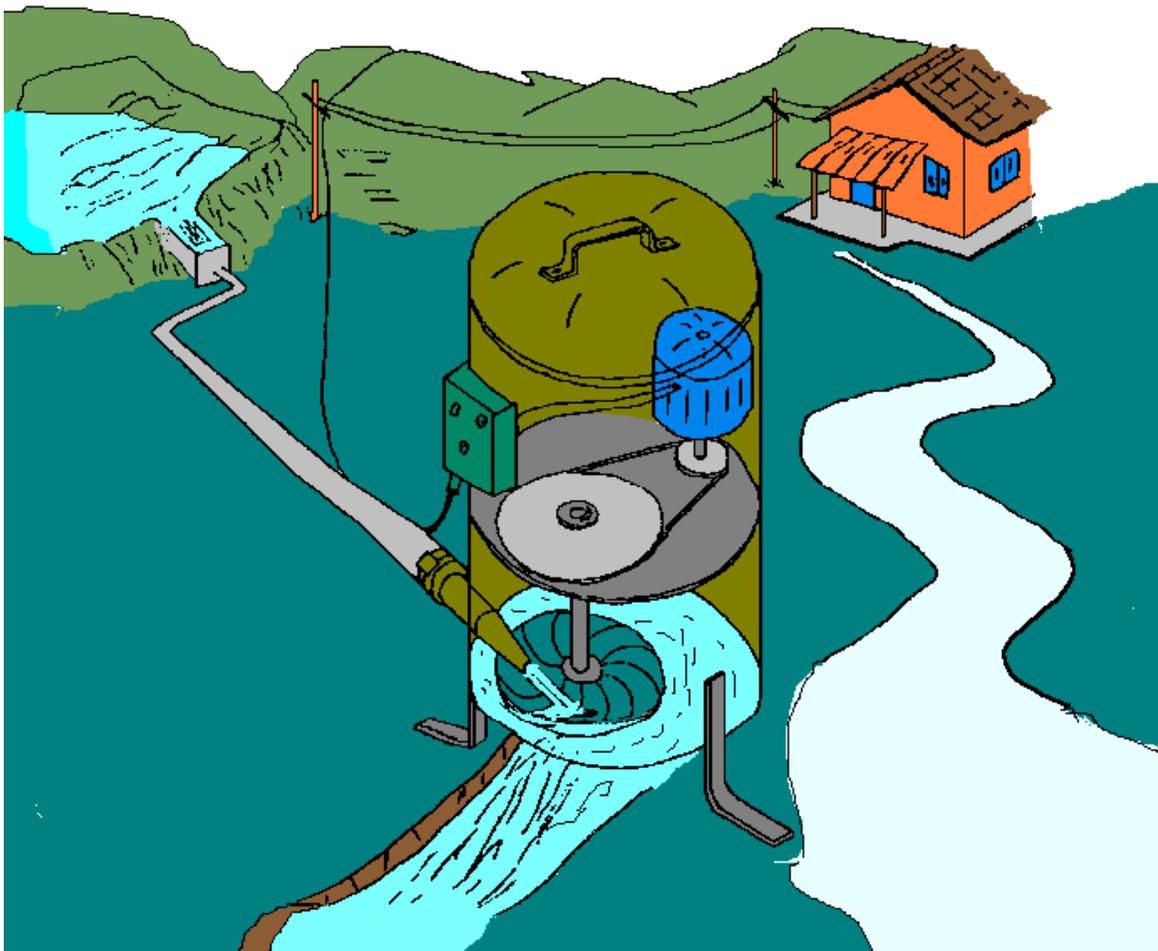


Figura 6 - Grupo gerador de 80 (W), desenvolvido pelo GEN-EFEI.

5.5.2 Turbinas de Baixa Queda

O GEN-EFEI, através de seu Laboratório LHPCH, desenvolveu junto com a iniciativa privada dois modelos de turbina Hélice, com distribuidor de pás fixas e também rotor de pás fixas. O primeiro modelo de três pás e o segundo de quatro pás, apresentaram rendimentos acima de 80 (%).

A Figura 7 mostra a turbina Hélice com rotor e distribuidor de pás, enquanto a foto 1 mostra a montagem da turbina com distribuidor e rotor de três pás, sendo nos detalhes o distribuidor e o rotor de quatro pás.

Os modelos desenvolvidos, com mínimos acertos construtivos, poderão se tornar em breve um protótipo, que poderá ser comercializado, para atender locais onde existam baixa altura de queda e muita vazão.

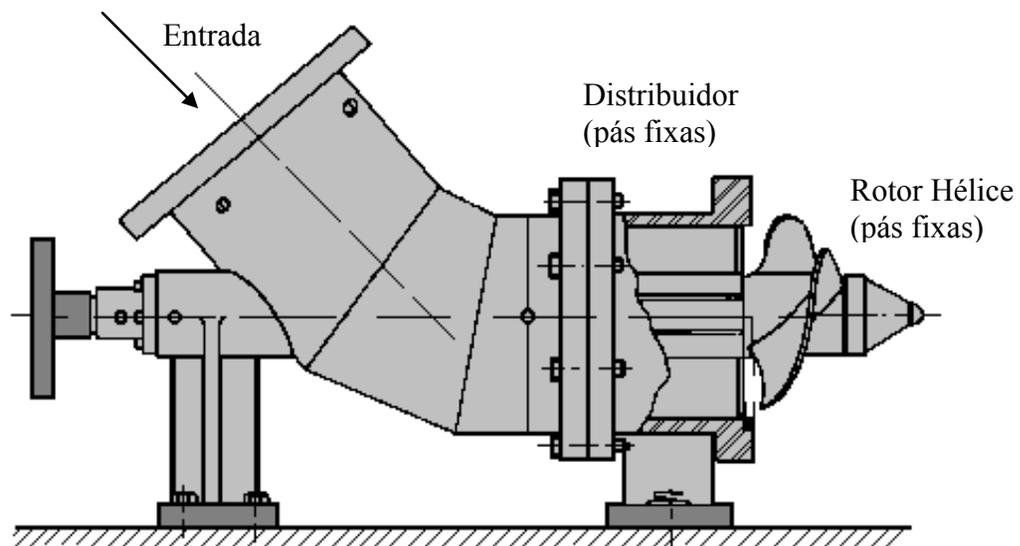


Figura 7 - Turbina Hélice com aletas do distribuidor e pás do rotor fixas.

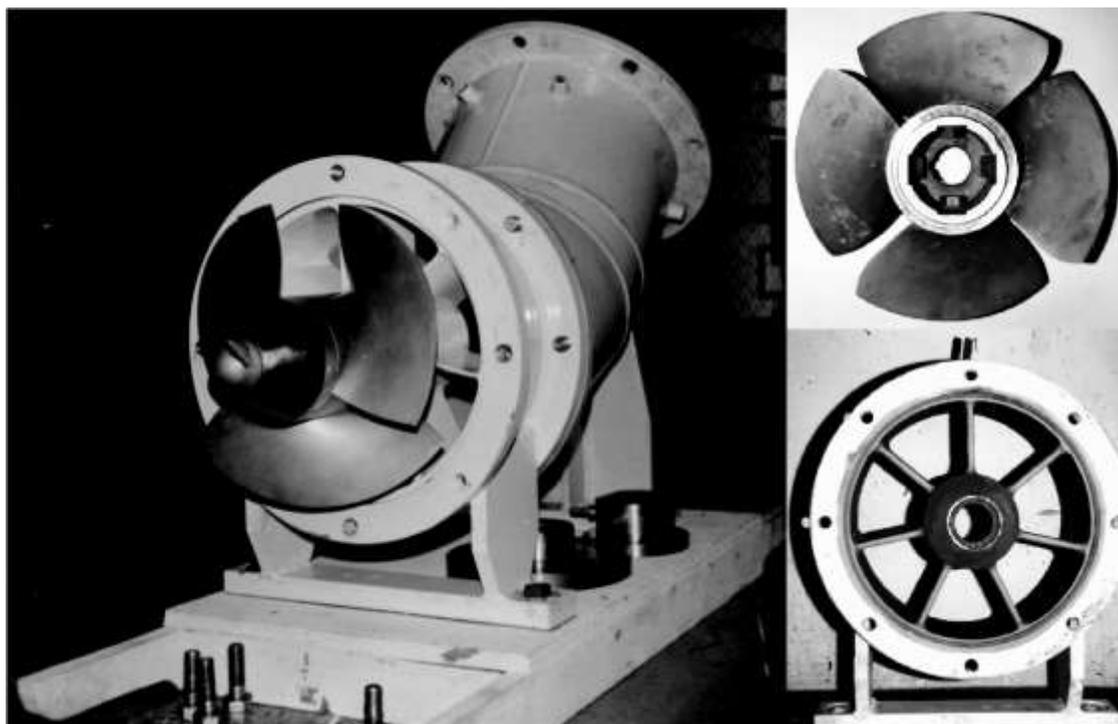


Foto 1 - Detalhes do distribuidor, dos rotores de três e quatro pás.

5.5.3 Reguladores de Carga

Para complementar as pesquisas relativas as turbinas não convencionais, houve necessidade de desenvolver um regulador não convencional, para substituir o regulador de velocidades mecânico-hidráulico, que além de ter um custo alto, consome parte da energia.

O GEN através do Laboratório de Eletrotécnica da EFEI, desenvolveu um regulador eletro-eletrônico de carga, para ser utilizado em Microcentrais Hidrelétricas, com potências menores que 50 [KW]. Esse equipamento opera dentro de uma pequena faixa de frequência, de tal modo que não prejudique a turbina, o gerador e os aparelhos eletrodomésticos alimentados. A Figura 8 apresenta o diagrama de blocos, onde estão os equipamentos elétricos. O regulador foi desenvolvido de modo a apresentar uma característica construtiva e operacional bastante simples. Possui um circuito eletrônico que monitora continuamente a frequência que o sistema opera. Este sensor, que está representado no bloco 2 da Figura 8, alimenta o circuito de controle, bloco 3, com a informação correspondente à frequência atual. O circuito de controle compara esta informação com os valores máximo e mínimo definidos previamente através de ajustes. Caso haja uma tendência do valor atual de frequência em ultrapassar os valores limites, o circuito de controle atua nos contatores, bloco 4, que insere ou retira do sistema os resistores de dissipação, bloco 5. A energia dissipada por esses resistores poderá ser utilizada em diversas aplicações no meio rural como por exemplo aquecimento de água, secagem de grãos, controle de umidade em locais de armazenagem de grãos.

A simplicidade e conseqüente baixo custo deste regulador, possibilita a segmentação do controle. Assim fica viável a implementação de unidades de controle nos próprios locais onde será aproveitada a energia excedente, como mostra a Figura 9, onde parte da energia excedente está sendo utilizada no aquecimento de água e parte na secagem de grãos.

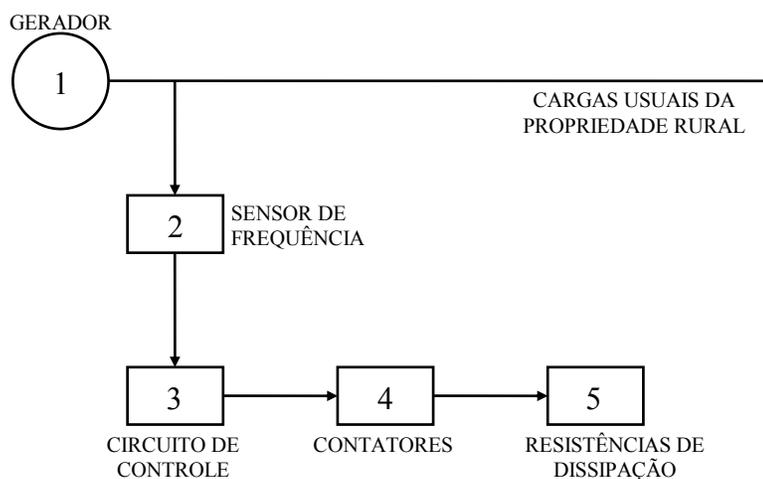


Figura 8 - Diagrama de blocos

Viana e Outros (1991), mostraram esse regulador de carga atuando em um conjunto gerador, utilizando uma BFT, Figura 10.

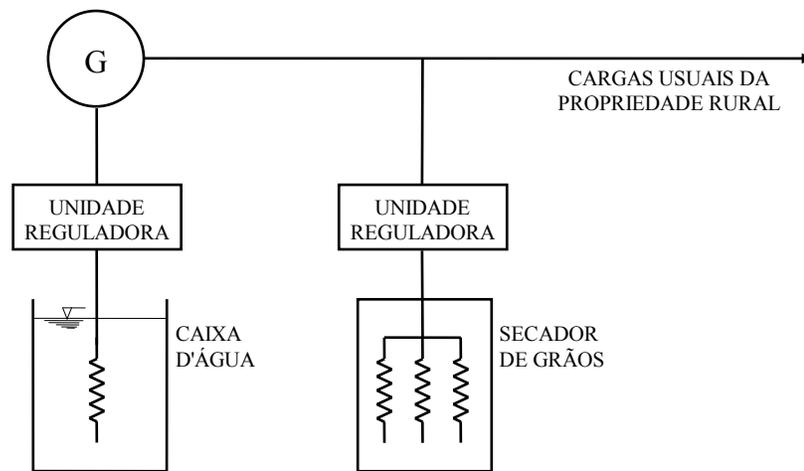


Figura 9 - Exemplos de cargas utilizadas em uma propriedade rural.

	CARGAS	UNIDADES REGULADORAS
BFT - Bomba Funcionando como Turbina		
G - Gerador		
RG - Regulador de Carga		
VB - Válvula Borboleta		
TS - Tubo de Sucção		
	(A) - Lâmpadas	(1) - Resistência na Caixa d'água
	(B) - Geladeira	(2) - Resistência no Ar
	(C) - Televisor	

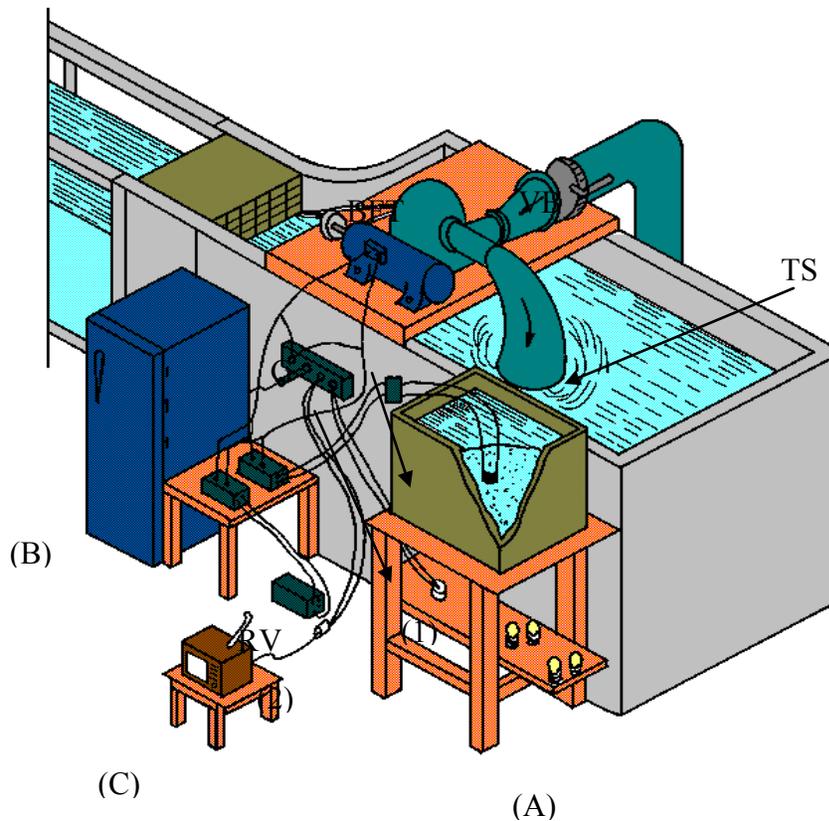


Figura 10 - Croqui do banco de testes do LHPCH-EFEI, utilizando regulador de carga.

Os resultados experimentais foram obtidos em uma bancada de testes do LHPCH. Foram colocados como unidades reguladoras resistências para aquecimento de água e para aquecimento no ar, lâmpadas, uma geladeira e um televisor. É importante salientar que o regulador não apresentou problemas com relação aos aparelhos eletrodomésticos, mantendo a frequência bem próxima de 60 (Hz).

5.6 PROGRAMA DE AVALIAÇÃO E DISSEMINAÇÃO DE MICROCENTRAIS HIDRELÉTRICAS NO ESTADO DE MINAS GERAIS

Das 550.000 propriedades rurais cadastradas pelo censo de 1985 no estado de Minas Gerais, cerca de 68 (%) não se encontram eletrificadas devido as distâncias da rede convencional, bem como da falta de condições financeiras por parte dos proprietários, para a eletrificação. Dentro dos 60 (%) das propriedades não eletrificadas, 76 (%) necessitam de 10 [KW] de potência para as suas necessidades básicas.

Dentro do quadro apresentado acima, a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) em complementaridade à forma convencional de eletrificação rural, vem estudando e desenvolvendo fontes alternativas para a energização das propriedades rurais, dentre as quais, as Microcentrais Hidrelétricas podem vir a ser uma das alternativas para a geração de eletricidade, desde que as propriedades tenham uma queda e um volume de água compatível para essa energização.

5.6.1 O Programa

O programa implantado pela CEMIG de avaliação e disseminação de MCH's no estado de Minas Gerais visa:

- incentivar o uso da auto-geração pelos proprietários rurais, onde os atendimentos solicitados ocasionam elevados investimentos na rede elétrica convencional, tanto para a CEMIG quanto para o produtor rural, ou em regiões onde a capacidade de fornecimento da energia pela CEMIG esteja limitada;
- o desenvolvimento de atividades primárias utilizando energia alternativa, refletindo na criação de um mercado secundário e terciário consumidor de energia da CEMIG;
- a melhoria das condições sócio-econômicas das áreas rurais do estado.

Para que esse programa pudesse ter andamento, a CEMIG celebrou convênios com vários fabricantes de turbinas existentes no país, com proprietários rurais no estado e com o Grupo de Energia da EFEI.

Nesses convênios, o fabricante se responsabiliza pela doação do equipamento de sua fabricação, ou seja, a turbina. A CEMIG se responsabiliza pela identificação da propriedade rural, avaliando sua energia disponível e carga prevista, pelo projeto da MCH, pela compra do gerador e pelos custos dos ensaios realizados do grupo gerador em laboratório e/ou no local da instalação. Ao GEN-EFEI compete os testes da turbina, gerador e regulador de velocidade ou de carga do grupo, no LHPCH e/ou na instalação da microcentral. Com apoio da CEMIG, o proprietário rural se encarrega das obras civis de infra-estrutura e da instalação elétrica a partir do gerador.

Com os testes realizados pelo GEN, os equipamentos são avaliados e caso sejam aprovados, a CEMIG os recomenda aos interessados em adquiri-los.

5.6.2 Trabalhos Realizados

Alguns trabalhos dentro desse programa foram realizados, equipamentos foram aprovados, outros reprovados.

A seguir são apresentados três trabalhos, sendo dois realizados. O primeiro, em uma propriedade rural no município de Muzambinho-MG e o segundo pertencente a Itambé do Mato Dentro-MG. O terceiro, no município de Delfim Moreira-MG, estando na fase de testes.

5.6.2.1 Microcentral Hidrelétrica Engenho da Serra - Muzambinho

A propriedade rural se encontra a 5 (km) da linha de transmissão, pertence ao município de Muzambinho-MG e tem como atividades, os cultivos da cana de açúcar e da mandioca, criação de porcos e um pequeno rebanho de gado leiteiro, além da produção de cachaça.

No caso específico dessa propriedade, existia uma antiga microcentral de 2 [KW] de potência, operando precariamente, cuja turbina era do tipo Francis. Nessa ocasião, além da geração elétrica, o proprietário mantinha vários arranjos de aproveitamentos hidroenergéticos, como a utilização alternada da serraria ou da máquina de beneficiar arroz, ambas com potências de 3 [KW], através de acoplamento polias e correias no eixo da turbina sem passar pela energia elétrica. Outro aproveitamento, era o uso de uma roda d'água para acionar um equipamento para lavagem de mandioca.

Os levantamentos hidrológicos e altimétricos do aproveitamento foram realizados pelo GEN-EFEI, bem como as adaptações necessárias ao novo arranjo da microcentral e seus dados principais se encontram na Tabela 5.

Tabela 4 - Dados principais do aproveitamento - Rio Muzambo

Vazão do Rio(m ³ /s)	Altura de Queda Bruta[m]	CANAL DE ADUÇÃO		TUBULAÇÃO FORÇADA
		Comprim. [m]	Largura [m]	Diâmetro Ø 16
0,548	6,820	80	1,20	20

A Figura 11 mostra uma vista geral do aproveitamento, onde a barragem de pedras no rio já existente, com tomada d'água lateral (I) ligada a um canal de terra de adução (II) também existente, alimentando a câmara de carga (III), construída e adaptada para o novo arranjo, que está ligada a tubulação forçada. A tubulação alimenta a turbina, que acoplada indiretamente ao gerador, fornece energia a linha de transmissão. A água passa pela turbina, entra no canal de fuga (IV) e retorna ao rio.

Os ensaios do grupo gerador foram realizados na própria microcentral, enquanto o regulador de carga foi testado em laboratório e também no local da instalação.

O trabalho de Bernardes e outros (1993) apresenta os resultados dos ensaios realizados na microcentral. A Tabela 5 transcreve os dados dos equipamentos e os principais resultados obtidos.

Na Tabela 5, o rendimento total apresentou um valor muito bom, visto que esse tipo de turbina possui uma faixa de 60 (%) a 80 (%).

O regulador de carga se mostrou bem estável, mantendo a frequência bem próxima a 60 (Hz), mesmo com partida e utilização de motor de picadeira, moto-bomba, motor da serraria, etc.

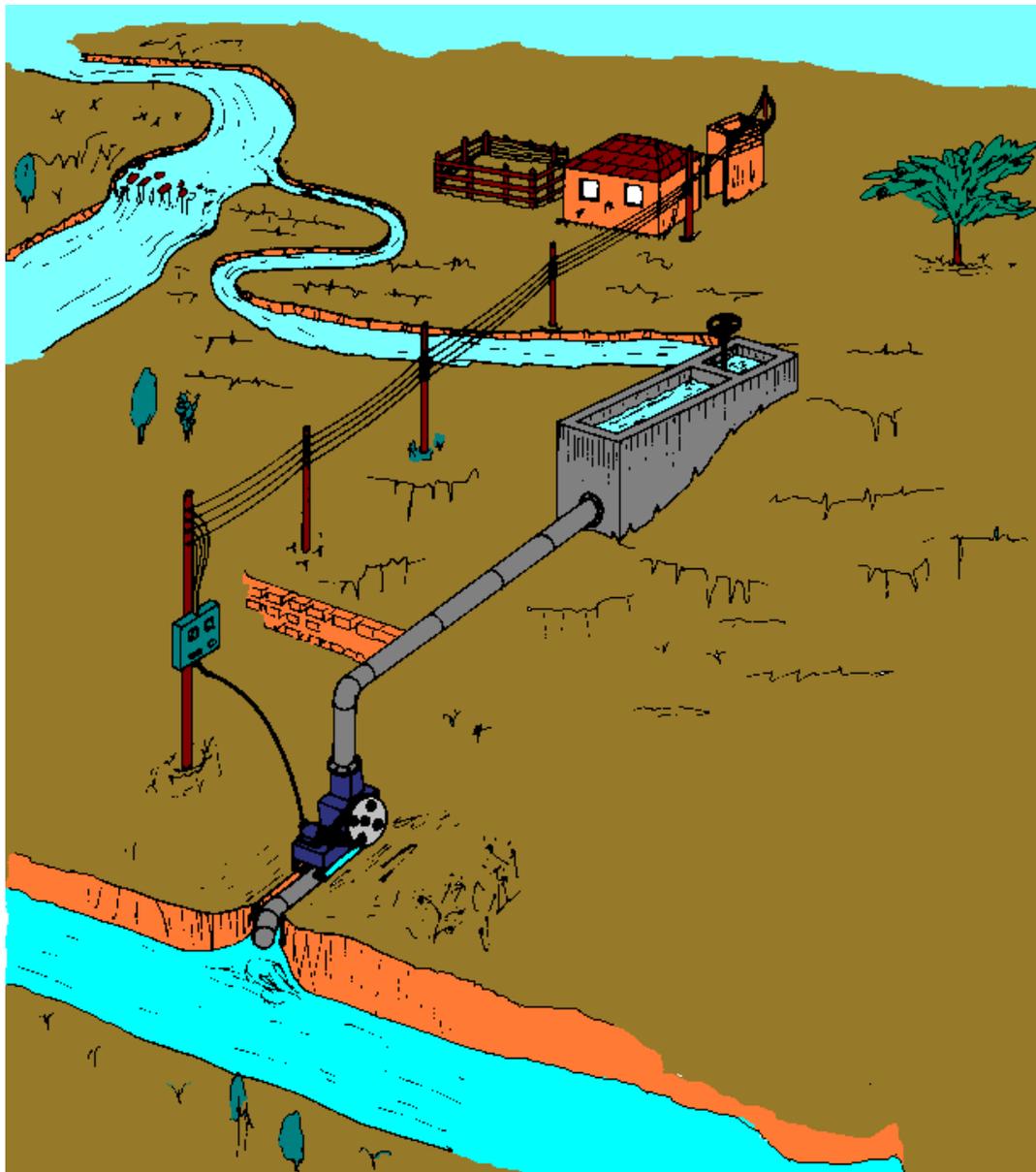


Figura 11 - Vista geral do aproveitamento - Microcentral Engenho da Serra

É importante salientar que com a repotenciação da microcentral, o proprietário passou a utilizar todo o maquinário agrícola, bem como as cargas de duas residências, através da geração elétrica, sem desfazer das antigas instalações. Além disso através de sua serraria, presta serviços a outros proprietários, aumentando assim seu faturamento. Isto mostra mais um benefício da autogeração.

5.6.2.2 Microcentral Hidrelétrica do Sobrado - Itambé do Mato Dentro

A propriedade rural se encontra a 10 (km) da linha de transmissão e tem como atividade, a pecuária na produção de leite, para fabricar queijos.

Os levantamentos hidrológicos, topográficos e o projeto da microcentral foram realizados pela CEMIG e seus dados principais se encontram na Tabela 6.

Tabela 5 - Dados dos equipamentos e resultados obtidos - MCH Engenho da Serra

DADOS DOS EQUIPAMENTOS								
TURBINA			GERADOR			REGULADOR		
Tipo Michell-Banki			Tipo Síncrono, trifásico, 220(V)			Tipo Eletrônico de carga microp.		
Fabricante CBC Indústrias Pesadas			Fabricante WEG			Fabricante CBC Indústrias Pesadas		
n_G	n_T	Q	H	P_h	P_{el}	η_{GG}	P_e	η_t
[rpm]	[rpm]	(m^3/s)	[m]	[KW]	[KW]	(%)	[KW]	(%)
1800	250	0,321	5,3	16,7	10,5	63	12,01	76
OBS.: rendimento do gerador - $\eta_{el} = 86(\%)$ (adotado)								
rendimento do acoplamento por correias e polias - $\eta_{ac} = 96(\%)$ (adotado)								
G - gerador; GG - grupo gerador; T - turbina; t - total (da turbina)								
• Atualmente a CBC transferiu a fabricação de turbinas e reguladores para à EPIC								



Figura 12 - Vista geral do aproveitamento - Microcentral do Sobrado

Os ensaios do grupo gerador foram realizados no local da instalação da microcentral, enquanto que o regulador de carga foi testado em laboratório e também na instalação.

O trabalho de Costa e outros (1995) apresenta os resultados dos ensaios realizados no local da instalação. A Tabela 7 mostra esses resultados, bem como os dados do grupo gerador.

Tabela 6 - Dados principais do aproveitamento

Vazão do Rio(m ³ /s)	Altura de Queda Bruta [m]	CANAL DE ADUÇÃO		TUBULAÇÃO FORÇADA	
		Comprim. [m]	Largura [m]	Ø8"Comp. [m]	Ø4"Comp. [m]
0,039	26,85	465	1,0	54	4

A Figura 12 mostra uma vista geral do aproveitamento, onde foi construída uma barragem de concreto no rio, com uma tomada lateral (I), ligada a um canal de adução de terra (II), alimentando a câmara de carga (III), que está ligada a uma tubulação forçada (IV), que alimenta a turbina acoplada indiretamente ao gerador, fornecendo energia a linha de transmissão. A água passa pela turbina, entra no canal de fuga (VI) e retorna ao rio.

Tabela 7 - Dados dos equipamentos e do ensaio do grupo gerador

DADOS DOS EQUIPAMENTOS								
TURBINA			GERADOR			REGULADOR		
Tipo Pelton, 1 jato, com setia			Tipo Síncrono, trifásico, 220(V)			Tipo Eletrônico de carga, microp.		
Fabricante BETTA			Fabricante KOLBACK			Fabricante GEN-EFEI		
RESULTADOS DOS ENSAIOS NA INSTALAÇÃO								
n _G [rpm]	n _T [rpm]	Q (m ³ /s)	H [m]	P _h [KW]	P _{el} [KW]	η _{GG} (%)	P _e [KW]	η _t (%)
1800	510	0,0257	25,62	6,459	2,680	41,5	3,722	57,6
OBS.: η _{el} = 75(%) (adotado); η _{ac} = 96(%) (adotado) (polias e correias)								

O rendimento do grupo gerador está abaixo do normal, como mostra a Tabela 7. Conseqüentemente o rendimento total da turbina η_t = 57,6 (%) se encontra aquém das expectativas, visto que para essa potência e para esse tipo de máquina, o rendimento está na faixa de 65 (%) a 75 (%). Esse baixo rendimento se justifica, pois a turbina foi especificada para operar com uma vazão de 0,035 (m³/s), mas está trabalhando com 0,0257 (m³/s). essa diminuição de vazão em relação a avaliada anteriormente ocorreu devido a vazamentos detectados na barragem, que foi de responsabilidade do proprietário da fazenda.

Com relação aos testes de campo do regulador de carga, o mesmo se manteve bem estável com a entrada e saída de cargas, com a frequência variando entre 55 (Hz) a 65 (Hz), mostrado no trabalho de Viana e outros (1995).

O custo da microcentral ficou em US\$ 6445,00, tendo um valor por kW gerado de US\$ 1342,00, representando estar acima da média, que é de US\$ 1200,00. Isto ocorreu devido a vazão não ser a esperada. Entretanto, como a propriedade está distante 10 (km) da linha de transmissão mais próxima, o custo necessário para instalação de uma linha monofásica e de um transformador de 5 (kVA), segundo a CEMIG, seria de US\$ 26.176,00, ou seja, US\$ 6.544,00 o kW transmitido.

Tendo em vista que para o caso em estudo, o custo de transmissão é bastante superior ao custo do kW instalado e o custo de manutenção dessa extensa linha seja desvantajoso para a concessionária, uma vez que os suprimentos de pequenas cargas da ordem de 5 (kVA) a 10 (kVA), dificilmente serão remunerados pelo faturamento energia consumida pela propriedade, o que torna a eletrificação rural nesses casos altamente deficitária. O caso em estudo, mostrou-se bastante viável para CEMIG e para o produtor rural.

Antes da operação da microcentral, a fazenda produzia o leite e a massa de queijo. Essa de produção era vendida a um determinado laticínio. A partir da geração de energia, com o funcionamento de uma geladeira, um freezer e tendo água quente produzida pela energia excedente comandada pelo regulador e dissipada na resistência dentro de uma caixa d'água, a fazenda passou a produzir seu próprio queijo, tendo como consequência uma duplicação no faturamento.

5.6.2.3 Microcentral Hidrelétrica Fazenda Boa Esperança

Esta microcentral, localizada no alto da Serra da Mantiqueira no município de Delfim Moreira, sul de Minas Gerais, recém construída, estando previstos os testes de campo para Fevereiro/97.

A Fazenda Boa Esperança, está a 6 (km) da linha de transmissão, trabalha com reflorestamento de pinus.

Os levantamentos hidrológicos, altimétricos e o projeto da microcentral foram realizados pelo GEN-EFEI.

A Tabela 8 apresenta os dados principais do aproveitamento, dos equipamentos e os de projeto da microcentral.

Nesta microcentral, a CEMIG contribuiu com a tubulação forçada, com os cabos para a linha de transmissão e deu apoio na execução do projeto juntamente com o GEN-EFEI. O proprietário se responsabilizou pela construção civil, utilizando mão de obra local, que é uma recomendação do Manual de Micro, pelo grupo gerador (turbina, gerador e regulador), pela posteação e pela execução da linha de transmissão.

A foto 2 mostra a cachoeira do aproveitamento, com detalhes da tubulação forçada, casa de máquinas e do canal de fuga. Note que a cachoeira e a natureza não foram agredidas pela instalação da microcentral. Em compensação, os benefícios que a energia elétrica trará para esse proprietário, serão muitos. Inicialmente, será instalada na fazenda uma serraria de 15 [KW], suficiente para beneficiar a madeira bruta em pranchões, tendo como consequência os aumentos da produtividade e do faturamento.

A região desta parte da Serra da Mantiqueira tem uma beleza fantástica, com várias cachoeiras com lindas paisagens. No caso do rio São Francisco dos Campos do Jordão, no aproveitamento da microssina sua nascente se encontra praticamente dentro da fazenda, proporcionando uma excelente qualidade da água. Desta forma, o proprietário pretende criar peixes da espécie truta, que se dá bem em água limpa e corrente. Além disso, por estar a fazenda a 7 (km) do asfalto, unido a beleza e clima do local, pretende-se instalar chalés para alugar, não esquecendo da filosofia de se manter o equilíbrio homem e natureza, como afirmou o proprietário.

Tabela 8 -Dados principais do aproveitamento, dos equipamentos, do projeto da Microcentral Fazenda Boa Esperança

DADOS PRINCIPAIS DO APROVEITAMENTO				
Vazão do Rio(m ³ /s)	Altura de Queda Bruta[m]	CANAL DE ADUÇÃO		TUBULAÇÃO FORÇADA Ø 14"
MEDIDA NA ÉPOCA DAS CHEIAS		Comprim. [m]	Largura [m]	Comprimento [m]
1,2	22	38	1	43
DADOS DOS EQUIPAMENTOOS				
TURBINA		GERADOR		REGULADOR
Tipo Michell-Banki		Tipo Síncrono, trifásico, 220(V)		Tipo Eletrônico de carga microp.
Fabricante BETTA		Fabricante BAMBOZZI		Fabricante GEN-EFEI
DADOS DO PROJETO				
n _G	n _T	Q	H	P _{el}
[rpm]	[rpm]	(m ³ /s)	[m]	[KW]
1800	600	0,185	21,5	25



Foto 2 - Detalhes da MCH Fazenda Boa Esperança

5.7 EXEMPLO DE AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE UM APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO DE UMA AGROINDÚSTRIA

A agroindústria denominada Fazenda Alegria está localizada no km 17,5 da rodovia Delfim Moreira - Barreira, no município de Delfim Moreira-MG . A fazenda pertence ao grupo canadense BRASCAN tendo 1700 (ha) de terra, sendo 1000 (ha) para reflorestamento de pinus. Na produção de madeira inteira serrada para cercas em geral, 70 (%) é exportada e 30 (%) vendida no Brasil. Além disso a agroindústria, produz móveis, caixas para sementes de batatas, batatas e as frutas framboesa e kiwi,

GEN-EFEI realizou uma avaliação do potencial hidrelétrico, em um local do Ribeirão Machado a 300 [m] do asfalto.

A Figura 13 ilustra uma vista geral do aproveitamento e um possível arranjo da minicentral, enquanto a foto 3 mostra o curso Ribeirão Machado no local a montante da cachoeira, onde foi realizado o levantamento.

O detalhe da foto 3b ilustra a realização da batimetria e as medidas das velocidades do rio, através de um molinete, para obtenção da vazão. A foto 3a , no detalhe, uma pequena barragem vertedora de uma antiga central desativada.

Como resultados da avaliação, a Tabela 9 relaciona os dados principais obtidos.

Note na Tabela 9, a potência gerada é de 415,17 [KW], o suficiente para suprir o consumo da Fazenda, que na hora de pico, atinge o valor de 236 [KW] de potência. Na pior situação, sobrariam 180 [KW], que poderiam ser repassados à concessionária, juntamente com a potência excedente fora do patamar máximo de consumo.

É importante salientar que este trabalho foi solicitado pela Fazenda Alegria, tendo como base, a possibilidade de venda da energia excedente.

Tabela 9 - Dados principais do aproveitamento do Ribeirão Machado - Fazenda Alegria.

ALTURA DE QUEDA BRUTA H_b [KW]	VAZÃO DO RIO Q (m ³ /s)	POTÊNCIA HIDRÁULICA P_h [KW]	POTÊNCIA DE EIXO P_e [KW]	POTÊNCIA GERADA P_{el} [KW]
48	1,348	601,52	481,21	415,17
OBS.: Foram utilizados para os cálculos				
<ul style="list-style-type: none"> • Rendimento do sistema de adução $\eta_{sa} = 95$ (%) • Rendimento do acoplamento $\eta_{ac} = 96$ (%) • Rendimento total da turbina $\eta_t = 80$ (%) • Rendimento do gerador $\eta_{el} = 90$ (%) 				

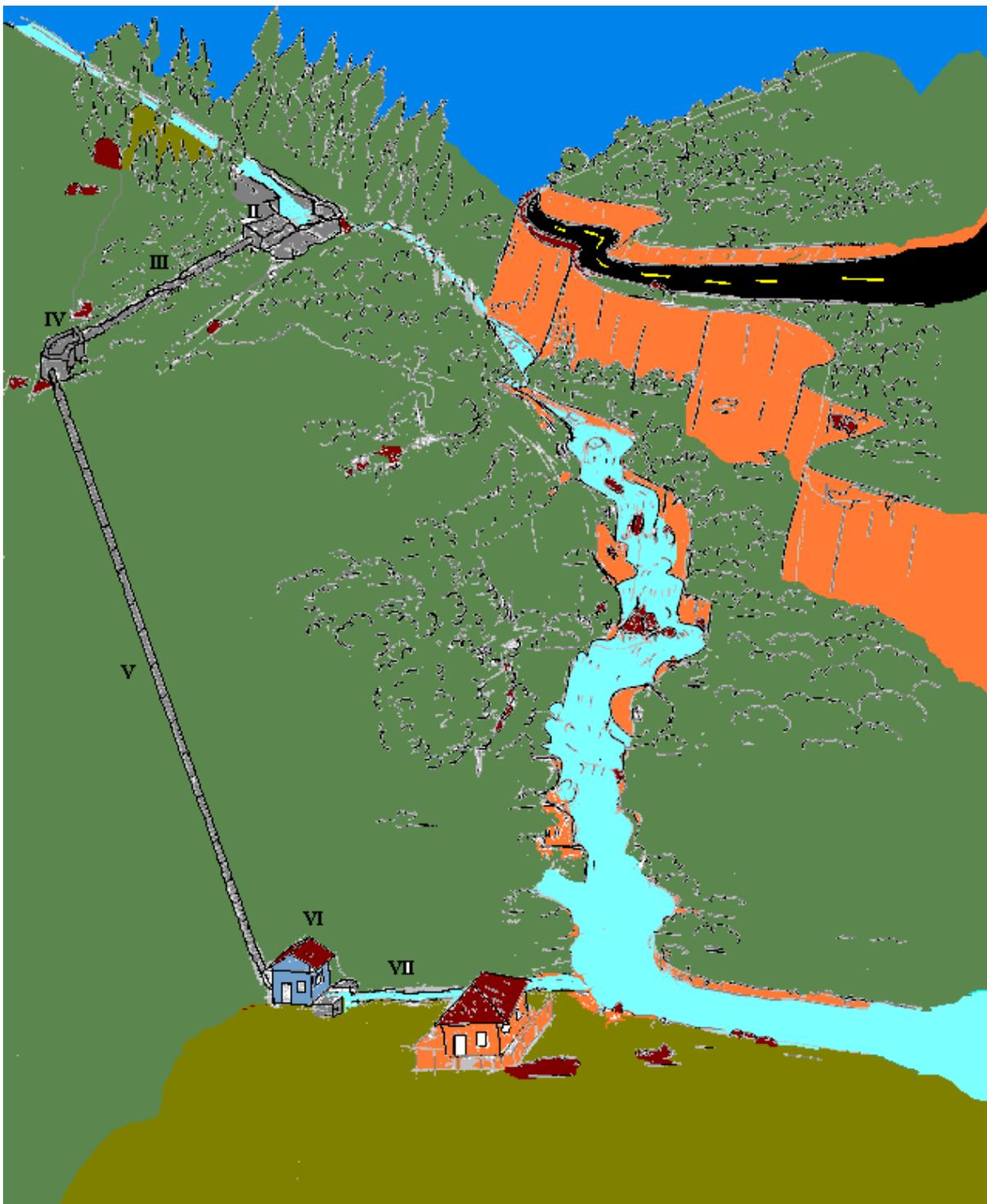


Figura 13 - Vista geral do aproveitamento - Ribeirão Machado - Fazenda Alegria

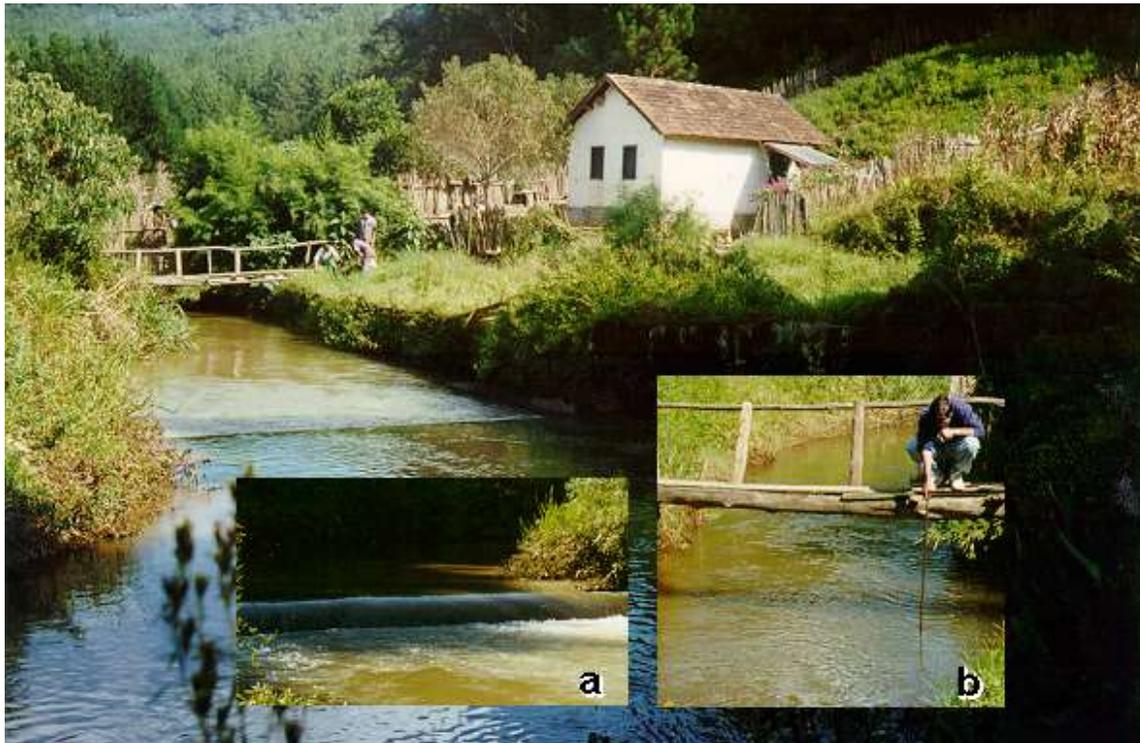


Foto 3 - Rio Machado, batimetria e medidas de vazão(b), barragem vertedoura (a).

5.8 CONSIDERAÇÕES

Esse trabalho mostrou que por várias razões, sendo uma delas a crise do petróleo em 1973, fez ressurgir a discussão sobre PCHs, que estavam esquecidas desde a década de 50. Nos anos oitenta, o governo federal através de vários órgãos realizou várias ações para o ressurgimento das PCHs, criando manuais e reconceituando as PCHs, construindo laboratórios, realizando cursos de treinamento, que através dos mesmos, de uma forma tímida difundiram dentro do país a concepção da PCH.

Entretanto, nos últimos 15 anos, mesmo com as essas ações do governo, muito pouco efetivamente foi feito, no que se refere a implantação de PCHs em comparação com outros países. O setor mais carente é o meio rural, que apesar de se ter um imenso potencial hidráulico de pequeno porte, pouco tem sido aproveitado. O censo de 1985 detectou que das 5,2 milhões de propriedades rurais, apenas 900 mil estão eletrificadas. Nos dias atuais, esse quadro praticamente não mudou, apesar do país pretender amenizar seus problemas sociais ligados a terra, saúde e educação.

Na opinião de Souza (1996), vários fatores tem inibido a difusibilidade das PCHs. São elas:

- a cultura das grandes centrais hidrelétricas-GCH;os mitos comparativos de investimento e de retorno entre as GCHs e PCHs, sem uma análise globalizada que inclua também, melhoria da qualidade da energia local, retorno social e questões do meio ambiente;
- a falta de uma coordenação unificada e dinâmica para implementação de um Programa Nacional de Pequenas Centrais Hidrelétricas-PNPCH;
- divulgação ampla do PNPCH entre os empresários e os usuários, particularmente no meio rural, onde a carência de energia é total, particularmente em regiões distantes do sistema interligado, com necessidade de MCHs;
- confiança da iniciativa privada na continuidade de uma política geral, ainda inexistente para PCH, que inclua o financiamento desburocratizado;
- a existência de uma legislação adequada, inclusive na área das tarifas , que venha permitir a implantação das PCHs de maneira menos burocratizada, de modo a tornar possível o retorno do investimento de prazos nos padrões internacionais.

Um passo importante, foi dado através das novas leis 9074, 9427 e decreto 2003, que regulamenta o produtor independente e autoprodutor de energia elétrica. Discute-se no momento, qual valor que a concessionária comprará a energia e qual será o valor da energia transportada. Sendo resolvido esse impasse, espera-se que os investimentos em PCHs sejam mais atrativos. Pelo menos, essas leis vem despertando interesse de empresas privadas, como é o caso da Fazenda Alegria, citada anteriormente.

É importante que as concessionárias continuem apostando nos planos de recuperação e de repotenciação das PCHs,, abrindo mais um mercado para desenvolvimento, fabricação e recuperação de equipamentos para PCHs, diminuindo a crise que os fabricantes vem passando. Além disso, a exemplo da CEMIG, outras concessionárias, poderão apoiar na construção de MCHs destinadas a pequenos produtores rurais.

Grupos de pesquisas deverão continuar desenvolvendo equipamentos para PCHs, procurando aqueles simples e de baixo custo, mas que tenham eficiências aceitáveis. Essa seria uma contribuição significativa, desde que a iniciativa privada produzisse esses equipamentos para o mercado.

Dentro do que foi citado, muito ainda tem que se fazer para que as PCHs sejam difundidas em larga escala em um país que os recursos hídricos são abundantes, mas pouco aproveitados.

5.9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNARDES, D. F., RODRIGUES, J. C. G., VIANA, A. N. C., TIAFO FILHO, G. L., **Turbina Michell - Banki e Seu regulador de Carga para Microcentrais Hidroelétricas**. 2ª. Reunião do Grupo de Trabalho em Hidromecânica , Divisão Latino Americana da AIPH, Ilha Solteira - SP, pp 271 - 285, 15 a 17/09/93.
- COSTA, D., MENDONÇA, M. S. C. C., TIAGO FILHO, G. L., RODRIGUES, J. C. G., **Programa de Avaliação e Disseminação de Microcentrais Hidrelétricas no Estado de Minas Gerais - Brasil**. 3er Workshop - Turbinas Hidráulicas e Hidromecânica, División Latinoamericana de la AIIH, Mendoza - Argentina, 23 a 26/10/95,

- MAUAD, F. F., **Estudo de uma Turbina de Reação com Pá de Simples Curvatura para Utilização no Meio Rural**. Dissertação de Mestrado EFEI, Itajubá, p 83, Setembro/1995.
- SANTOS, A.H.M. ; BAJAY, S.V., **O desenvolvimento Nacional e as Pequenas Centrais Hidrelétricas - uma Visão Histórica**. Seminário sobre a História da Energia, São Paulo - SP, 1986.
- SOUZA, Z., **Estágio Atual das PCHs no Brasil**. A Questão Ambiental e o Planejamento Energético das Pequenas Centrais Hidrelétricas, IEE-USP, São Paulo, 28 a 29 /11/95.
- SOUZA, Z. PCH, **Estágio Atual e Futuro**. II Fórum de Energia e Meio Ambiente (II FOREMA), Santa Maria - RS, 4 a 7/96.
- TIAGO FILHO, G. L., **Desenvolvimento Teórico e Experimental para Dimensionamento de Turbina Hidráulica Michell - Banki**. Dissertação de Mestrado, EFEI - Itajubá, p. 206, Outubro/1987.
- TIAGO FILHO, G. L., **Turbinas não Convencionais para Pequenas Centrais Hidrelétricas**. II Simpósio Nacional Sobre Fontes Novas e Renováveis de Energia - II SINERGE, Curitiba, 07 a 11/08/89.
- TIAGO FILHO, G. L., **Turbina de Fluxo Cruçado - Considerações Sobre o Número de Pás**. IV Encuentro Latinoamericano de Pequeños Aprovechamientos Hidroenergéticos, Cusco - Peru, 24 a 29/04/91.
- VIANA, A.N.C.; BERNARDES, D.F. , RODRIGUES, J. C., **Reguladores de Velocidade para Microturbinas Hidráulicas**. V Seminário de Pesquisa da EFEI, Itajubá - MG, pp 1166-168, 22 a 26/10/1990.
- VIANA, A.N.C.; NOGUEIRA, F. H., BFT, **Uma Alternativa Simples e de Baixo Custo para Gerar Energia**. V Seminário de Pesquisas da EFEI, Itajubá - MG, pp 161-165, 22 a 26/10/1990.
- VIANA, A.N.C., **Uma Proposta de Seleção da Bomba para Funcionar como Turbina**. IV Encuentro Latinoamericano de Pequeños Aprovechamientos Hidroenergéticos, Cusco - Peru, 24 a 29/04/91.
- VIANA, A.N.C., BERNARDES, D.F., RODRIGUES, J.C , **A utilização de Reguladores de Velocidades para Microcentrais Hidrelétricas**, Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica - COBEM, EPUSP, São Paulo - SP, pp 489-491, 11 a 13/12/91.