



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA - UFSM
EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA DA UFSM - EAD
UNIVERSIDADE ABERTA DO BRASIL - UAB**

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
APLICADA AOS PROCESSOS PRODUTIVOS**

POLO: PANAMBI

**GUIA PARA A IMPLANTAÇÃO DE PEQUENAS
CENTRAIS HIDRELÉTRICAS - PCHs**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO

LEONARDO ALBARELLO

Panambi, RS, Brasil
2014

GUIA PARA A IMPLANTAÇÃO DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS - PCHs

LEONARDO ALBARELLO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Pós Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos. Área de Engenharia, da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Roberto Cauduro

**Panambi, Rio Grande do Sul, Brasil
2014**

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
Educação a Distância da UFSM - EAD
Universidade Aberta do Brasil - UAB
Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos
Processos Produtivos

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o presente Trabalho de Conclusão de Curso de Pós-Graduação

GUIA PARA A IMPLANTAÇÃO DE PEQUENAS CENTRAIS
HIDRELÉTRICAS - PCHs

elaborado por
Leonardo Albarello

como requisito parcial para a obtenção do grau de
Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos

COMISSÃO EXAMINADORA:

Carlos Roberto Cauduro, Prof. Dr.

(Presidente/Orientador)

Geomar Machado Martins, Prof. Dr.

Ronaldo Hoffmann, Prof. Dr.

Panambi, dezembro de 2014

RESUMO

Trabalho de Conclusão de Curso
Curso de Pós Graduação em Eficiência Energética Aplicada aos
Processos Produtivos
Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
Educação a Distância – EAD
Universidade Aberta do Brasil - UAB

GUIA PARA A IMPLANTAÇÃO DE PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS - PCHs

AUTOR: LEONARDO ALBARELLO
ORIENTADOR: CARLOS ROBERTO CAUDURO
Panambi, 19 de dezembro de 2014

Com o intuito de atender ao atual crescimento da demanda energética do país e afim de alcançar maior disponibilidade de geração de energia, é imprescindível a utilização de Pequenas Centrais Hidrelétricas, como alternativa para a geração complementar de energia. Estas usinas apresentam uma importante característica, que compreende a minimização dos impactos socioambientais, bem como possuem prazo de implantação e investimentos menores, quando comparadas as Usinas Hidrelétricas. Este trabalho procura demonstrar como são consideradas as questões referentes às Pequenas Centrais Hidrelétricas, quais os materiais utilizados em sua confecção e os respectivos cuidados referentes a qualidade dos mesmos, além de apresentar os principais tipos de PCH e suas características, bem como os serviços de manutenção e operação, impactos ambientais, aspectos econômicos e eficiência energética.

Palavras chave: energia, geração, usina, PCH, Hidrelétrica.

ABSTRACT

In order to attend to the current energetic demand growth in our country and in order to obtain greater availability of power generation, is essential the utilization of small hydro-electric power plants (in Portuguese, PCH), which has as one of its objectives to complementary power generation. This plants have an important characteristic comprising minimizing environmental impacts, and have implementation period and lower investment compared the hydropower plants. This study seeks to demonstrate how are considered the issues of small hydro-electric power plants, which materials used in their manufacture and their care regarding their quality, and present the main types of PCH and its features, as well as the maintenance and operation, environmental impacts, economic aspects and energetic efficiency.

Keywords: energy, generation, plant, PCH, Hydroelectric.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 – PCH da Ilha.....	15
FIGURA 02 – PCH Cristina.....	17
FIGURA 03 – Casa de Força – PCH da Ilha.....	18
FIGURA 04 – Reservatório – PCH Canoa Quebrada.....	21
FIGURA 05 – Barragem – PCH Paranatinga II.....	21
FIGURA 06 – Vertedouro – PCH Canoa Quebrada.....	22
FIGURA 07 – Canal de Adução – PCH Buriti.....	23
FIGURA 08 – Tomada D'Água – PCH Garganta da Jararaca.....	24
FIGURA 09 – Conduto Forçado – PCH Garganta da Jararaca.....	26
FIGURA 10 – Casa de Força – PCH Garganta da Jararaca.....	26
FIGURA 11 – Subestação – PCH Canoa Quebrada.....	28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PCH	Pequena Central Hidrelétrica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
UHE	Usina Hidrelétrica de Energia
MW	Megawatt
km ²	Quilômetro Quadrado
m ³ /s	Metro Cúbico por Segundo
kW	Kilowatt
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
S/A	Sociedade Anônima
P	Potência
Hd	Queda de Projeto
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
LO	Licença de Operação
PBA	Projeto Básico Ambiental
RS	Rio Grande do Sul
MT	Mato Grosso
MS	Mato Grosso do Sul
EIA	Estudos de Impacto Ambiental
LP	Licença Provisória
PROINFA	Programa de Incentivo as Fontes Alternativas de Energia Elétrica

SUMÁRIO

RESUMO.....	04
ABSTRACT.....	05
LISTA DE FIGURAS.....	06
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	07
1. INTRODUÇÃO.....	09
1.1 Objetivos.....	10
1.1.1 Objetivos Gerais.....	10
1.1.2 Objetivos Específicos.....	11
1.2 Metodologia.....	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1 Definição de PCH.....	12
2.2 Funcionamento.....	15
2.3 Tipos de PCH.....	16
2.3.1 Quanto a Capacidade de Regularização do Reservatório.....	17
2.3.1.1 PCH a Fio D'Água.....	17
2.3.1.2 PCH de Acumulação Diária, com Regularização Diária do Reservatório.....	18
2.3.1.3 PCH de Acumulação Diária, com Regularização Mensal do Reservatório.....	18
2.3.2 Quanto ao Sistema de Adução.....	18
2.3.3 Quanto à Potência Instalada e Queda de Projeto.....	19
2.4 Implantação - Constituição.....	20
2.5 Materiais Constituintes.....	20
2.6 Qualidade dos Materiais.....	21
2.7 Operação das Usinas.....	22

2.8 Manutenção das Usinas.....	24
2.9 Impactos Ambientais.....	30
2.10 Aspectos Econômicos.....	31
2.11 Eficiência Energética.....	32
3. CONCLUSÃO.....	34
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	35

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o emprego de energia corresponde ao contentamento das necessidades humanas, ou seja, seu consumo determina-se pelas demandas relacionadas ao bem estar da sociedade, tais como saúde, habitação, alimentação e transporte. Desta maneira, o país necessita dia após dia, de mais e melhor energia, a fim de sanar suas necessidades de crescimento e melhoria da qualidade de vida da de seus habitantes.

Entretanto, para que isso seja possível, deve-se melhorar o proveito relativo ao potencial hidráulico (somente cerca de 25% está sendo empregado hoje em dia), promovendo a utilização de diferentes matrizes energéticas através de fontes alternativas que atuem ao mesmo tempo otimizando recursos disponíveis e novas tecnologias, com o intuito de produzir mais energia com menor custo e respeito ao meio ambiente.

Dentre algumas possibilidades destacam-se atualmente as Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCH, que são usinas geradoras de energia, de pequeno porte, empregadas principalmente em rios ou canais de tamanho médio ou pequeno, que apresentem em seu leito desniveis capazes de conceber potência hidráulica satisfatória para acionar os rotores das turbinas e de modo consequente, gerar energia.

Estas unidades geradoras diferem das Hidrelétricas pela dimensão de seu reservatório e sua capacidade de geração, apresentando as seguintes características: potência igual ou superior a 1,0 MW e igual ou inferior a 30,0 MW; área máxima total do reservatório de 3,0 km²; e, cota d'água associada à vazão de cheia com tempo de recorrência de 100 anos, conforme descrito nos Artigos 2º e 3º da Resolução número 394/1998 da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL.

Em um comparativo simplificado, as PCHs apresentam determinadas vantagens tanto no âmbito sócio-econômico quanto ambiental, em relação as Usinas Hidrelétricas de Energia – UHEs, tais como:

- Maior adaptabilidade a pequenos cursos d’água, já que possuem características menores, o que propiciam projetos mais simples;
- Menor prazo de implantação;
- Impactos ambientais reduzidos;
- Sua construção e operação dependem somente da autorização da ANEEL;

No Brasil, o incentivo a construção de PCHs teve início a partir do ano de 1997, quando foi extinto o monopólio do Estado no setor energético. Desta época até os dias atuais, mais de R\$ 1 bilhão foram aplicados por investidores neste setor.

Versar-se-á no decorrer deste trabalho, os principais tipos de Pequenas Centrais Hidrelétricas, seus aspectos construtivos e funcionamento, bem como os impactos gerados em uma unidade, além dos aspectos econômicos e sua eficiência energética.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Com o intuito de ampliar os conhecimentos técnicos na área geração de energia através do potencial hidráulico, especificamente com o emprego de Pequenas Centrais Hidrelétricas, e também visando a preservação do meio ambiente, este estudo tem como objetivo a elaboração de um roteiro de entendimento de PCH’s, estabelecendo a diferença entre os principais tipos, bem como seus aspectos construtivos e o seu funcionamento.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar uma abordagem geral sobre o comportamento das Pequenas Centrais Hidrelétricas;
- Revisar os conceitos sobre desempenho e durabilidade, padrões de segurança e qualidade das usinas;
- Elencar, em especial, os vários tipos de PCH's;
- Avaliar quais as principais funções requeridas de acordo com a utilização da usina;
- Abordar as recomendações para a manutenção e conservação das unidades geradoras;
- Facilitar a tomada de decisão dos usuários em relação a geração de energia através do emprego de Pequenas Centrais Hidrelétricas.

1.2 Metodologia

O presente estudo tem como estrutura fundamental um referencial teórico atual das Pequenas Centrais Hidrelétricas, abordando de forma sucinta os principais componentes que o constituem, além das formas adequadas para manutenção e inspeção das pequenas unidades geradoras.

Através deste estudo, pretende-se realizar a confecção de um guia rápido a respeito das pequenas centrais hidrelétricas, abordando suas características principais e seus diferentes tipos, com o intento de facilitar o entendimento dos leitores em relação a esta forma de geração de energia.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta etapa do trabalho tem como objetivo fundamentar teoricamente o tema proposto, mencionando conceitos obtidos de diversos autores no que diz respeito a pequenas centrais hidrelétricas, quais os principais tipos, as características construtivas e o funcionamento das mesmas.

Inicialmente será feito uma apresentação das características das unidades geradoras, seguido pelos conceitos e abordagens específicas referentes as centrais hidrelétricas.

2.1 Definição de PCH

De acordo com a primeira edição do Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas (ELETROBRÁS, 1982), uma Usina Hidrelétrica poderia ser considerada como uma Pequena Central Hidrelétrica quando:

- Apresentar potência instalada total entre a faixa de 1,0 MW e 10,0 MW;
- A capacidade do conjunto turbina-gerador estivesse envolvida entre 1,0 MW e 5,0 MW;
- Não necessitar de obras em túneis, tais como, conduto adutor, desvio de rio, conduto forçado, entre outros;
- Possuir altura máxima de estruturas de barramento de rio não superior a 10 metros;
- Dispor de vazão de dimensionamento da tomada d'água igual ou inferior a 20 m³/s.

Porém, em virtude das mudanças institucionais e da legislação vigente no Brasil atualmente, também da experiência acumulada com o passar de aproximadamente 30 anos, torna-se importante atualizar estes critérios.

Conforme o Guia do Empreendedor de Pequenas Centrais Hidrelétricas (ANEEL, 2003, p.21), são consideradas Pequenas Centrais Hidrelétricas ou PCH “os empreendimentos hidrelétricos com potência superior a 1.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW e com área total de reservatório igual ou inferior a 3,0 km²”. O sistema de reservação é definido através da cota d’água associada à vazão de cheia, devendo apresentar tempo de recorrência de 100 anos.

Mediante estas características, quando comparadas às UHE, as PCHs são projetos com menor complexidade técnica e acarretam menores impactos ambientais, sendo eles mais fáceis de abrandar quando comparados aos impactos gerados pelas grandes usinas, bem como seu prazo de implantação, o qual normalmente não ultrapassa 24 meses e os volumes de recursos necessários ao investimento, os quais não superam a média de R\$ 150 milhões, também são menores.

Além disso, a implantação de PCH apresenta uma série de outros benefícios. De acordo com Friedrich (2010), podemos citar: domínio tecnológico a nível de empresas nacionais na fabricação de equipamentos; tecnologia de construção e operação com baixos custos; atendimento de energia elétrica a pequenos núcleos populacionais. Conforme o Ministério de Minas e Energia (2010), a implantação destas usinas em maior escala estimulará ainda mais a indústria nacional, na “fabricação de equipamentos específicos, com consideráveis benefícios técnicos, econômicos e sociais”. Segundo Castro et al (2009, p.11):

A geração de energia elétrica das PCH apresenta vantagens típicas de empreendimentos híbridos: energia limpa gerada a preços competitivos. Uma vantagem adicional destes projetos em comparação com projetos hídricos de grande porte é o menor tempo necessário para a construção, o que permite uma expansão rápida da capacidade de geração. Além dessas vantagens, é importante ressaltar que a indústria nacional de bens de capital é capaz de fornecer os equipamentos necessários para a construção de uma PCH. E que há um padrão de financiamento bem definido e estruturado, apoiado

nas linhas de financiamento do BNDES, capaz de atender toda a demanda deste segmento produtivo.

Desta maneira, estes empreendimentos estão situados, principalmente, em rios de pequeno e médio porte, que apresentem desníveis ao longo de seu leito capazes de produzir potência hidráulica suficiente para movimentar turbinas e se prestam à geração descentralizada.

Atualmente, são visualizadas como uma maneira rápida e eficiente de expansão de oferta de energia elétrica. Possibilitam melhor atendimento às necessidades de carga de regiões rurais e centros urbanos de pequeno porte, dado que, na maioria dos casos, complementam o fornecimento concedido pelo sistema interligado.



Figura 01 – PCH da Ilha – 26,00 MW – Rio da Prata – Veranópolis/RS

Fonte: Hidrotérmica S/A (2014)

2.2 Funcionamento

O princípio de funcionamento de uma PCH é semelhante ao de uma grande usina hidrelétrica. Apresenta composição básica de quatro partes: barragem, sistema de adução e captação de água, casa de força e sistema de restituição de água ao leito do rio.

A água existente no lago constituído pela barragem é conduzida através de dutos, canais, túneis ou condutos metálicos até a casa de força. Após deslocar-se pela turbina, existente na casa de força, a água retorna ao leito natural do rio, através do canal de fuga. Consequentemente, a potência hidráulica é convertida em potência mecânica quando a água passa através da turbina, fazendo com que a mesma rotacione e no gerador a potência mecânica transformasse em potência elétrica. Por conseguinte, a energia originada é conduzida através de cabos ou barras condutoras dos terminais geradores até os transformadores de elevação, onde sua tensão é elevada para adequada condução, por intermédio das linhas de transmissão, até os centros de consumo. Por fim, através de transformadores abaixadores, a energia tem sua tensão aferida a níveis adequados para posterior utilização pelos consumidores.

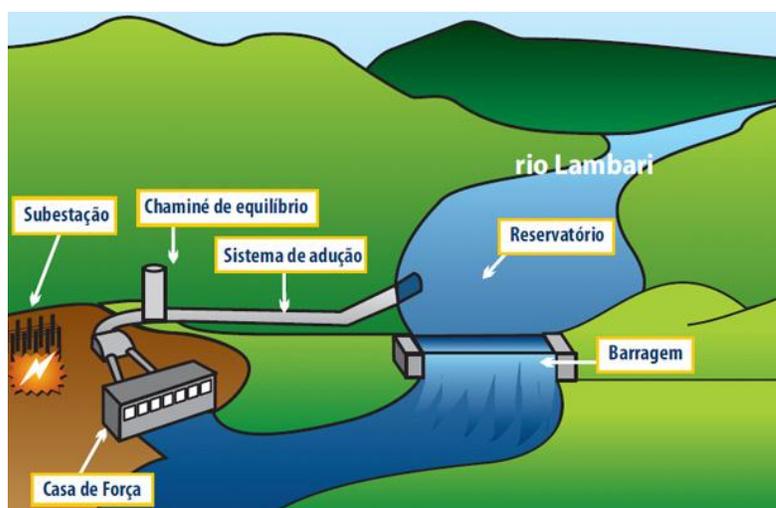


Figura 02 – PCH Cristina – Rio Lambari – Cristina/MG

Fonte: Grupo Energisa S/A (2014)



Figura 03 – Casa de Força – PCH da Ilha – Rio da Prata – Veranópolis/RS
Fonte: Hidrotérmica S/A (2014)

Para que iniciem as atividades de funcionamento de uma unidade geradora é necessária que seja homologada uma autorização expedida pela ANEEL.

2.3 Tipos de PCH

No Brasil as Pequenas Centrais Hidrelétricas classificam-se da seguinte maneira:

De acordo com a capacidade de regularização:

- A fio d'água;
- Acumulação diária com regularização diária do reservatório;
- Acumulação diária com regularização mensal do reservatório.

Quanto ao sistema de adução:

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

Quanto à potência instalada e altura de projeto:

Tabela 01 – Classificação das Pequenas Centrais Hidrelétricas

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

Fonte: ELETROBRÁS (2010)

2.3.1 Quanto à Capacidade de Regularização do Reservatório

2.3.1.1 PCH a Fio D'Água

Conforme o Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas (ELETROBRÁS, 2000), são as unidades empregadas quando as vazões de estiagem do rio são iguais ou superiores que a descarga necessária à potência a ser instalada para suprir a demanda máxima estimada.

Neste caso, o volume do reservatório criado pela barragem não é considerado. O sistema adutor deve ser projetado para conduzir a descarga exigida para fornecer determinada potência que atenda à demanda máxima. O aproveitamento energético local deverá ser parcial e o vertedouro estará em funcionamento na maior parte do tempo, extravasando o excesso de água.

Esta modalidade de PCH apresenta algumas simplificações quando comparadas às outras, são elas:

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

2.3.1.2 PCH de Acumulação Diária, com Regularização Diária do Reservatório

De acordo com o Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas (ELETROBRÁS, 2000), este tipo de PCH é aplicado quando as vazões de estiagem do canal são menores que a necessária para fornecer a potência para atender à demanda máxima do mercado consumidor e acontecem com risco superior ao adotado no momento de projeto.

Desta forma, o reservatório oferecerá o adicional exigido de vazão regularizada.

2.3.1.3 PCH de Acumulação Diária, com Regularização Mensal do Reservatório

À medida que considerado somente dados de vazões médias mensais no dimensionamento energético, priorizando análise de vazões de estiagem médias mensais, admite-se que o projeto apresente uma regularização mensal das vazões médias diárias, propiciada pela utilização do reservatório.

2.3.2 Quanto ao Sistema de Adução

Conforme o Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas (ELETROBRÁS, 2000), em relação ao sistema de adução, existem dois tipos de PCH:

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

Os critérios que definem a escolha de um ou outro tipo dependem das condições geológicas e topográficas existentes no local do aproveitamento, do mesmo modo que o estudo econômico comparativo.

Considerando sistemas de adução longos, ou seja, quando a inclinação da encosta e as condições das fundações forem favoráveis à construção de um canal, recomenda-se a utilização deste tipo, em função de ser a alternativa mais econômica.

Admitindo sistemas de adução curtos, isto é, a alternativa por tubulação única, para trechos de baixa e alta pressão, deve ser considerada.

2.3.3 Quanto à Potência Instalada e Queda de Projeto

Segundo o Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas (ELETROBRÁS, 2000), é possível classificar as PCHs quanto à potência instalada e quanto à queda de projeto, como apresentado na tabela 01 acima.

Desta forma, as centrais que apresentam alta e média queda d'água, onde existe um desnível natural considerável, a casa de forças deverá ser situada, geralmente, afastada da estrutura do barramento. Assim sendo, a concepção do circuito hidráulico de adução envolve, normalmente, canal ou conduto de baixa pressão com extensão longa.

Entretanto, para as centrais que apresentam baixa queda, a casa de força localiza-se rotineiramente, junto da barragem, devendo a adução ser produzida através de uma tomada d'água incorporada ao barramento.

2.4 Implantação - Constituição

Para implantação de uma PCH, o primeiro procedimento a ser realizado é o inventário hidrelétrico. Esta etapa compreende os estudos de engenharia em que se define o potencial hidrelétrico de uma determinada bacia hidrográfica. As análises são feitas com ênfase no aproveitamento ótimo, isto é, o local que propicia o aproveitamento máximo do potencial hidrelétrico com o menor custo de instalação possível, sempre respeitando ao meio ambiente.

Faz-se necessário a validação do inventário hidrelétrico, a qual é concedida pela ANEEL.

Importante ressaltar que a ANEEL deverá também conceder a autorização para realização de levantamento de campo, a qual irá propiciar o acesso ao local em estudo.

Por fim, após a seleção e escolha do inventário, é realizado o projeto básico, o qual consiste no detalhamento de estudos de engenharia da área de intervenção, visando à otimização ambiental, técnica e econômica.

2.5 Materiais Constituintes

Da maneira como orienta a boa técnica, em princípio, qualquer que seja a obra deve constituir-se com os materiais disponíveis no local, ou seja, o projeto necessita ser adaptado aos mesmos. A fim de que se obtenham materiais de qualidade e em quantidade necessária é importante que sejam pesquisadas as seguintes ocorrências (ELETROBRÁS, 2000):

- Tipo de solo, para utilização nas obras de terra;
- Areia, empregada na confecção de filtros e concretos;
- Cascalho e/ou seixo rolado, para confecção de concretos; e,

- Rocha, para utilização em enrocamentos, transições e agregados graúdos (pedra britada) para os concretos.

2.6 Qualidade dos materiais

Para determinação da qualidade dos materiais, deverão ser seguidos os padrões estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, de acordo com as seguintes normativas:

- NBR 7250: Identificação e Descrição de Amostras de Solos Obtidas em Sondagens de Simples Reconhecimento dos Solos;
- NBR 6490: Reconhecimento e Amostragem para Fins de Caracterização de Ocorrência de Rochas.

Os materiais provenientes da terra, utilizados durante a construção, devem ser classificados por meio de análise táctil-visual e ensaios de caracterização. Quando necessário pode-se realizar ensaios especiais, para determinação da deformação, permeabilidade e parâmetros de resistência, ficando condicionada à detecção de solos especiais nos ensaios de caracterização.

No que se refere à trabalhabilidade de materiais finos, nota-se que a mesma diverge em função da quantidade de argila presente no material. A existência deste mineral, dependendo de suas características, concede ao solo menor ou maior plasticidade. Geralmente, os materiais de baixa e média plasticidade são os mais apropriados.

Não são indicados solos muito úmidos ou saturados, pois não são suscetíveis à compactação para a obtenção de resistência e densidade frequentemente especificadas, sendo assim, nas áreas correspondentes à empréstimo, o volume útil a ser empregado nas obras de terra, necessita ser adquirido do horizonte acima do lençol freático.

Com o intuito de garantir a adequabilidade para utilização em filtros e na transição das barragens de terra e terra-enrocamento, bem como no emprego em concretos, recomenda-se que os materiais granulares, cascalhos e areais sejam classificados também através de ensaios de caracterização e análises táctil-visuais.

Importante ressaltar, que estes materiais devem apresentar-se totalmente livres de impurezas e limpos, ou seja, sem a presença de matéria orgânica e materiais finos, como por exemplo, silte e argila. Desta forma, quando apresentarem contaminação, faz-se necessário que passem por processos de lavagem e peneiramento, antes do emprego em obras de barramento.

Em relação aos agregados graúdos, cascalhos e britas, os mesmos devem apresentar dureza suficiente para garantir resistência ao impacto de golpes de martelo e não desagregar quando em contato a ciclos diários de molhagem e secagem em função do tempo; Enrocamentos devem possuir as mesmas características.

Por fim, em referência ao material rochoso para utilização em concretos, é importante que os mesmos apresentem composição mineralógica, antes do seu emprego, determinada através da realização de, ao menos, uma lâmina petrográfica. Este ensaio tem como finalidade determinar a possível ocorrência de minerais que possam reagir com os álcalis do cimento, o que não é desejável.

2.7 Operação das Usinas

No que concerne a operação, independente do tipo de usina hidrelétrica, deve-se obedecer, impreterivelmente, às regras operativas apresentadas em manuais elaborados exclusivamente para este fim, com o intuito de garantir o funcionamento adequado e um desempenho satisfatório dos equipamentos e estrutura existentes.

Ademais, é necessário que seja realizado acompanhamento ambiental das condições do reservatório, com o propósito de renovar a Licença de Operação (LO) a cada 5 a 10 anos.

Em relação às obras civis, de maneira geral, evidencia-se a necessidade de que se respeitem as regras de operação do vertedouro, caso o mesmo possua comportas. Vale lembrar que, especificamente em PCH, uma vez que o reservatório é, na maioria dos casos, pequeno, e, portanto, a fio d'água, o vertedouro, normalmente, não possui comportas.

Referindo-se aos equipamentos, é importante estar atento as regras de operação e manutenção, devido às garantias, constantes nos manuais cedidos pelos fabricantes.

Vale lembra que, quando os reservatórios localizam-se em regiões onde o solo era utilizado inadequadamente ou com pontos de poluição industrial, mineração ou ainda, utilização intensiva de agrotóxicos na agricultura, poderão os mesmos apresentar processo de eutrofização, ou seja, desenvolvimento consequente de plantas aquáticas, relacionando-se aos aspectos ambientais.

Nos casos em que ocorre surgimento excessivo destes organismos, podem surgir problemas que com o tempo afetarão o funcionamento da usina, prejudicando a qualidade da água, o que reflete diretamente os usuários da água do rio.

Finalmente, é fundamental que aconteça monitoramento ambiental periódico, a fim de resguardar o investidor, o qual normalmente é o responsável pelo empreendimento. Este monitoramento deve ocorrer desde as fases iniciais da obra e avançar durante a operação da PCH, em pontos pré-selecionados e com definida periodicidade, conforme deverá constar no Projeto Básico Ambiental – PBA.

2.8 Manutenção das Usinas

Inicialmente, é fundamental que sejam realizadas manutenções programadas dos equipamentos e obras de qualquer usina, com vistas a garantir, a qualquer tempo, além de segurança ao empreendimento o seu perfeito desempenho.

Existem atualmente, “check-lists” padronizados para que sejam realizados os serviços de manutenção e inspeção, periodicamente.

Tal periodicidade varia, de acordo com o equipamento e a obra em questão, também em função da idade e dos critérios e normas específicas, as quais podem variar de acordo com o proprietário da PCH.

A seguir, serão apresentados, alguns tópicos que são rotineiramente incluídos nos “check-lists” de manutenção e inspeção das principais obras (ELETROBRAS, 2000):

- **Reservatório**

- Estado geral do reservatório e encostas;
- Verificação do processo de assoreamento;
- Remoção de plantas aquáticas;
- Verificação da qualidade da água do reservatório e de jusante.



Figura 04 – Reservatório – PCH Canoa Quebrada – Rio Verde – MT
Fonte: Atiaia Energia S/A (2014)

- **Barragem de Terra e Enrocamento**

- Instrumentação, se existir;
- Sistema de drenagem;
- Surgimento de água e jusante;
- Trincas, erosão, recalques e solapamentos;
- Vegetação indesejável.



Figura 05 – Barragem – PCH Paranatinga II – Rio Culuene – MT
Fonte: Atiaia Energia S/A (2014)

- **Barragem de Concreto e Vertedouro**

- Instrumentação, se existir;
- Sistema de drenagem;
- Surgimento de água e jusante;
- Estado geral do concreto (trincas e erosão).



Figura 06 – Vertedouro – PCH Canoa Quebrada – Rio Verde – MT

Fonte: Atiaia Energia S/A (2014)

- **Canal Adutor**

- Estado geral da grade – limpeza e reparos;
- Estado geral da estrutura do canal – limpeza e reparos;



Figura 07 – Canal de Adução – PCH Buriti – Rio Sucuriú – MS
Fonte: Atiaia Energia S/A (2014)

- **Tomada D'Água**

- Estado geral do concreto (trincas e erosão);
- Estado geral da grade – limpeza e reparos;
- Estado geral das comportas – reparos.

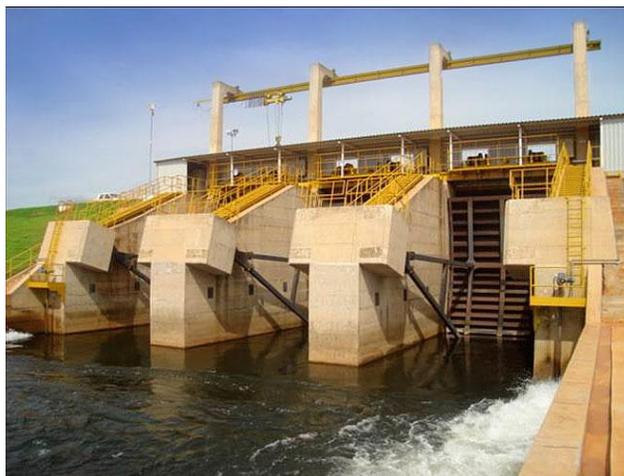


Figura 08 – Tomada D'Água – PCH Garganta da Jararaca – Rio do Sangue – MT
Fonte: Atiaia Energia S/A (2014)

- **Conduto Forçado**

- Estado geral do conduto, apoios e flanges das juntas de dilatação – reparos/pintura;
- Estado geral do leito e das canaletas de drenagem – reparos/limpeza;



Figura 09 – Conduto Forçado – PCH Garganta da Jararaca – Rio do Sangue – MT

Fonte: Atiaia Energia S/A (2014)

- **Casa de Força**

- Estado geral do concreto (trincas e erosão);
- Verificação da instrumentação, se existir;
- Sistema de drenagem (poço) – limpeza;
- Instalações.



Figura 10 – Casa de Força – PCH Garganta da Jararaca – Rio do Sangue – MT

Fonte: Atiaia Energia S/A (2014)

- **Subestação**

- Estado geral da área da plataforma e do sistema de drenagem (trincas e erosão).



Figura 11 – Subestação – PCH Canoa Quebrada – Rio Verde – MT

Fonte: Atiaia Energia S/A (2014)

2.9 Impactos Ambientais

Primeiramente, é necessário realizar determinados estudos no local de implantação da usina, os quais apresentam como base resultados analíticos confiáveis e com respaldos em métodos pré-definidos.

Para tais determinações criou-se os Estudos de Impactos Ambientais – EIA, que deverá atender, ao menos, às exigências do IBAMA e da ELETROBRÁS.

O EIA possui os seguintes objetivos principais (ELETROBRÁS, 2000):

- Conceder subsídios para a licença prévia (LP) junto ao órgão ambiental competente, além de avaliar a viabilidade ambiental do empreendimento;
- Fornecer base de dados temáticos da região onde serão inseridas as obras propostas;
- Possibilitar, por meio de técnicas e métodos de avaliação e identificação de impactos, o conhecimento e o grau de transformação que a região sofrerá com a edificação das obras;
- Instaurar programas visando a prevenção e/ou compensação dos impactos negativos e o reforço dos positivos;
- Caracterizar a qualidade ambiental atual e futura da Área de Influência;
- Determinar os programas de acompanhamento e monitoramento que deverão ser iniciados e continuados durante e/ou após a implantação do empreendimento.

Desta forma, após a obtenção dos resultados, procede-se a avaliação dos mesmos com o objetivo final de determinar o potencial energético do local em questão, juntamente com a viabilidade da implantação do empreendimento.

2.10 Aspectos Econômicos

Para que seja possível viabilizar o empreendimento, existem instituições financeiras que oferecem linhas de créditos com financiamentos de até 70% do valor do investimento, como é o caso do BNDES, conforme citado anteriormente.

Como principal financiamento está o *Project Finance*, que possui estruturação de empréstimo baseado na capacidade de pagamento de projeto, apresentando diferentes garantias durante as fases de implantação e operação, as quais no caso de PCHs são contratos de compra e venda.

Vale lembrar que, no ano de 2004, de acordo com o Decreto nº: 5.025, foi instituído o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), o qual apresentava o objetivo de aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos concebidos com base em fontes alternativas de geração de energia.

O principal intuito do programa foi promover a diversificação da Matriz Energética Brasileira, através da implantação de 144 usinas, totalizando 3.299,40 MW de capacidade instalada. Destes, 1.191,24 MW seria provenientes de 63 PCHs.

Atualmente, existem 50 usinas provenientes deste incentivo, 35 em operação comercial e 15 ainda em construção. Assim sendo, após o término da construção e a plena operação das unidades contratadas, originar-se-á 992,20 MW de potencia instalada.

O Proinfa destacou-se como um dos maiores programas de incentivo a inserção de fontes renováveis, em virtude do montante de potência contratada e a sua diversidade de fontes.

2.11 Eficiência Energética

Os estudos energéticos de uma PCH são analisados e obtidos durante a etapa do Projeto Básico, através de análises de factibilidade e atratividade, contemplando também análise de viabilidade, de acordo com a legislação vigente.

É importante ressaltar que um fator determinante para a implantação e posterior eficiência de uma usina é o grupo a qual pertence. Pode-se dividir os empreendimentos em dois grupos: o que atenderá ao mercado isolado e o que operará integrado ao Sistema Interligado brasileiro.

A obtenção dos potenciais energéticos dar-se-á através da simulação de operação da usina, considerando o histórico de vazões definido para o local de aproveitamento. No sistema brasileiro, considera-se em um aproveitamento hidrelétrico, três benefícios energéticos (ELETROBRÁS, 2000):

- Energia Firme;
- Energia Secundária;
- Capacidade de Ponta Garantida.

O dimensionamento do potencial hidroenergético de um determinado local é em função da queda bruta e da disponibilidade hídrica, de acordo com a seguinte fórmula:

$$P_{ef} = 9,81 * \eta * Q * H_{liq} \text{ (em kW)} \quad \text{(Equação 01)}$$

Onde:

P_{ef} = Potência Efetiva (kW)

η = Rendimento do conjunto turbina e gerador

$Q = \text{Descarga (m}^3/\text{s)}$

$H_{liq} = \text{Queda líquida}$

Ressaltamos que, como as pequenas centrais hidrelétricas são usualmente projetadas a fio d'água, conforme apresentado no ítem 2.3.1.1 acima, a produção de energia depende do regime hidrológico e conseqüentemente poderá ser variável.

Vale lembrar que estas usinas não necessitam fazer uso de compensação financeira pela utilização dos recursos hídricos, além de possuírem livre acesso às redes de transmissão, desde que respeitem as características técnicas do sistema.

Em suma, as PCHs apresentam um dos melhores fatores de capacidade, quando comparadas as outras fontes de energia renovável.

3. CONCLUSÃO

Este estudo proporcionou a reunião de informações a respeito do setor energético, enfatizando a geração de energia através do emprego de Pequenas Centrais Hidrelétricas, seus principais tipos, materiais empregados e seus parâmetros de qualidade, além da operação e manutenção.

Definições e conceitos técnicos envolvendo a usina e seus componentes foram abordados destacando, além dos itens acima, os procedimentos necessários para constituição e implantação das unidades, seu princípio de funcionamento, seus aspectos ambientais, econômicos, bem como a eficiência de geração de energia.

Verificou-se que as Pequenas Centrais Hidrelétricas são elementos fundamentais para a geração complementar de energia, uma vez que, na maioria dos casos, complementam o funcionamento concedido pelo sistema interligado.

Desta forma, pode-se visualizar como estas unidades são construídas e os impactos originados pela sua implantação e funcionamento, o que costuma ser reduzido quando comparado aos impactos oriundos da instalação de grandes usinas hidrelétricas.

Elencou-se quais os tipos de PCH e as principais características que os distinguem, além dos procedimentos necessários para sua implantação e como proceder em referência aos materiais de construção empregados na obra, enfatizando a qualidade dos produtos, além dos cuidados requeridos para manutenção e conservação das unidades.

Por fim, foram abordados assuntos referentes aos impactos ambientais e aspectos econômicos, destacando as variadas formas de incentivo aos empreendedores do setor, bem como os quesitos relativos a eficiência energética das pequenas centrais hidrelétricas.

4. BIBLIOGRAFIA

CASTRO, N. J.; MARTINI, S.; BRANDÃO, R.; DANTAS, G.; TIMPONI, R. **A Importância das fontes alternativas e renováveis na evolução da matriz elétrica brasileira.** Rio de Janeiro: UFRJ, 2009.

ELETROBRÁS. **Diretrizes para estudos e projetos de pequenas centrais hidrelétricas.** 2000. Disponível em:

<http://www.eletronbras.com/elb/data/Pages/LUMIS4AB3DA57PTBRIE.htm>.

Acessado em novembro de 2014.

FRIEDRICH, P. G. **Benefícios Econômicos e Sociais das Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs).** 2010, 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

KRUMMENAUER, L. **Fontes Alternativas e Renováveis para Geração de Energia Elétrica.** 2009, 76 f. Projeto de Diplomação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

FARIA, F. A. M. D. **Metodologia de Prospecção de Pequenas Centrais Hidrelétricas.** 2011, 212 f. Dissertação. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

ANEEL. **Guia do Empreendedor de Pequenas Centrais Hidrelétricas.** 2003. Disponível em:

http://www.aneel.gov.br/biblioteca/downloads/livros/Guia_empreendedor.pdf

Acessado em: novembro de 2014.

JUNGES, F. C. **O uso de Pequenas Centrais Hidrelétricas como Sustentabilidade em Grandes Barragens.** 2004, 14 f. Artigo. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2004.

HIDROTÉRMICA S/A. Disponível em: www.ht-hidrotermica.com.br
Acessado em novembro de 2014.

ATIAIA ENERGIA S/A. Disponível em: www.atiaiaenergia.com.br Acessado em novembro de 2014.

GRUPO ENERGISA S/A. Disponível em:
www.geracao.grupoenergisa.com.br Acessado em novembro de 2014.

PROINFA – **Programa de Incentivo as Fontes Alternativas de Energia Elétrica.** Disponível em: <http://www.mme.gov.br/programas/proinfa> Acessado em dezembro de 2014.