



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS - CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS ELÉTRICOS**

ALEX TONACO MILHOMEM

**ANÁLISE COMPARATIVA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DAS PEQUENAS
CENTRAIS HIDRELÉTRICAS DE ISAMU IKEDA E LAJEADO.**

**PALMAS, TO
2015**

ALEX TONACO MILHOMEM

**ANÁLISE COMPARATIVA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DAS PEQUENAS
CENTRAIS HIDRELÉTRICAS DE ISAMU IKEDA E LAJEADO.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso
de Tecnologia em Sistemas Elétricos,
do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Tocantins,
como exigência à obtenção do grau de
tecnólogo em Sistemas Elétricos –
Campus Palmas.

Orientador: Prof. Max Portuguese
Obeso.

**PALMAS, TO
2015**

ALEX TONACO MILHOMEM

**ANÁLISE COMPARATIVA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DAS PEQUENAS
CENTRAIS HIDRELÉTRICAS DE ISAMU IKEDA E LAJEADO.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso de
Tecnologia em Sistemas Elétricos do
Instituto Federal do Tocantins – Campus
Palmas, como exigência à obtenção do
grau em Tecnólogo em Sistemas
Elétricos.

Aprovado em: ____/____/____.

BANCA AVALIADORA

Profº. Dr. Fábio Lima Albuquerque
IFTO – Campus Palmas

Profº. Dr. Valci Ferreira Victor
IFTO – Campus Palmas

Profº. Especialista Max Portuguese Obeso
IFTO – Campus Palmas

Dedico este trabalho aos meus familiares
que sempre me apoiaram e incentivaram
incondicionalmente para a realização de
mais este sonho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por minha vida e por ter me ajudado até aqui, a minha mãe, Elenice, por toda dedicação, incentivo, compreensão e principalmente por ter me acompanhado por toda essa jornada, a minha esposa, e aos familiares e amigos por contribuírem, de forma direta e indiretamente, para a realização deste trabalho.

Ao Antônio Sérgio Portelinha, pelo suporte e autorização dada para as visitas às PCHs estudadas.

Aos colegas de curso pela contribuição que, por muitas vezes, compartilharam seus conhecimentos nos estudos em grupo.

Aos professores de nossa extensa graduação que nos ajudaram com seus ensinamentos, orientações bem como apoio moral.

E, principalmente, ao Professor e Orientador Max Portuguese Obeso que me honrou com grande responsabilidade sendo paciente e conselheiro.

Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.

Charles Chaplin

RESUMO

Cabe destacar que as PCHs são empreendimentos hidrelétricos que geram energia acima de 1 MW e abaixo de 30 MW. Essas pequenas centrais têm o licenciamento ambiental simplificado em relação aos empreendimentos maiores e, agredem menos o meio ambiente. Elas podem ser construídas em pequenos rios, ao contrário dos grandes empreendimentos, como as Usinas Hidrelétricas. Tendo em vista que os empreendimentos de grande portes estão encontrando dificuldades para licenciamento, destaca-se que as PCHs surgem como fontes viáveis para gerarem energia. Assim, é importante mencionar a grande relevância que essas pequenas centrais exercem no sistema energético brasileiro, pois auxiliam os outros empreendimentos na geração de energia. O presente estudo tem o intuito de abordar a respeito do tema análise comparativa da eficiência energética das Pequenas Centrais Hidrelétricas de Isamu Ikeda e Lajeado. Porém, através do estudo destas duas PCHs localizadas no Estado do Tocantins, qual delas é a mais eficiente?

Palavras-chave: Pequenas Centrais Hidrelétricas. Eficiência. Energia.

ABSTRACT

It should be noted that the power plants are hydroelectric dams that generate power above 1 MW and below 30 MW. These small plants have the environmental permits simplified compared to larger enterprises and less harm the environment. They can be built on small rivers, unlike large enterprises, such as hydroelectric plants. Considering that the projects of large sizes are finding it difficult to licensing, it is emphasized that the SHP emerge as viable sources to generate energy. It is therefore important to mention the great importance that these small plants play in the Brazilian energy system because they help other enterprises in power generation. This study aims to address the issue regarding the comparative analysis of the energy efficiency of small hydroelectric Isamu Ikeda and Lajeado. But by studying these two power plants in the state of Tocantins , which one is more efficient?

Keywords: Small Hydropower Plants. Efficiency. Energy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Usina Hidrelétrica de Marimbondo	17
Figura 2.2 – Perfil esquemático de Usina Hidrelétrica.....	19
Figura 3.1 – Esquema de uma PCH.....	22
Figura 3.2 – Primeira Usina do Brasil.....	24
Figura 3.3 – PCH a fio d'água	26
Figura 3.4 – PCH de acumulação com regularização do reservatório	27
Figura 3.5 – Barragem de uma PCH	29
Figura 3.6 – Vertedouro	30
Figura 3.7 – Tomada d'água	31
Figura 3.8 – Canal de adução	31
Figura 3.9 – Câmara de carga.....	32
Figura 3.10 – Chaminé de equilíbrio	33
Figura 3.11 – Tubulação forçada.....	33
Figura 3.12 – Casa de máquinas PCH Lajeado	34
Figura 3.13 – Canal de fuga.....	35
Gráfico 4.1 – PCHs no Estado do Tocantins.....	40
Figura 4.1 – PCH Isamu Ikeda	41
Figura 4.2 – Rio Balsas Mineiro	41
Figura 4.3 – Subestação PCH Isamu Ikeda PCH.....	42
Figura 4.4 – PCH Isamu Ikeda	43
Figura 4.5 – Turbinas PCH Isamu Ikeda	44
Figura 4.6 – Equipamentos	44
Figura 4.7 – PCH Lajeado	45
Figura 4.8 – Rio Lajeado Grande	46
Figura 4.9 – PCH Lajeado	46
Figura 4.10 – Turbina PCH Lajeado.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Geração de energia do Brasil por empreendimento	13
Tabela 4.1 – PCHs no Estado do Tocantins	40
Tabela 4.2 – Comparação PCH Isamu Ikeda e Lajeado	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	O BRASIL E O SETOR ENERGÉTICO	13
2.1	A geração de energia no Brasil	13
2.2	Fontes que geram energia elétrica no Brasil	14
2.3	A energia hidrelétrica.....	16
2.4	A geração de energia no Tocantins	19
3	PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS – PCHs.....	21
3.1	Considerações iniciais.....	21
3.2	Conceito	21
3.3	Histórico das PCHs no Brasil	23
3.4	Os tipos de PCHs	25
3.5	Componentes de uma PCH	28
3.6	Diretrizes para instalação de uma PCH	35
3.7	Licenciamento Ambiental de uma PCH	36
3.8	O Projeto de Lei nº. 4.408/2008.....	37
3.9	Vantagens e desvantagens das PCHs.....	38
4	ESTUDO DE DUAS PCHs NO ESTADO DO TOCANTINS	39
4.1	Considerações iniciais.....	39
4.2	A PCH Isamu Ikeda.....	40
4.3	A PCH Lajeado.....	45
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
	REFERÊNCIAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

A maior parte da energia elétrica gerada no Brasil é produzida nas grandes hidrelétricas, onde se aproveita dos recursos hídricos que aqui existem. Entretanto, tais empreendimentos causam grandes impactos ambientais. Assim se faz necessário recorrer a outros que o impacto não seja tão degradante. Neste sentido, existem as Pequenas Centrais Hidrelétricas. Elas não produzem energia com a mesma potência das Usinas Hidrelétricas, mas cabe relatar que essas pequenas centrais têm crescido nos últimos anos em nosso país, auxiliando as grandes usinas.

Neste sentido, o presente trabalho tem por intuito de abordar sobre as Pequenas Centrais Hidrelétricas, que também utilizam os recursos hídricos para gerar energia elétrica. Entretanto, causam um menor impacto ambiental. Assim, far-se-á um estudo de caso em duas PCHs localizadas no Estado do Tocantins.

O presente estudo tem o intuito de abordar a respeito do tema análise comparativa da eficiência energética das Pequenas Centrais Hidrelétricas de Isamu Ikeda e Lajeado. Porém, através do estudo destas duas PCHs localizadas no Estado do Tocantins, qual delas é a mais eficiente?

Os objetivos específicos se pautam em conceituar o que vem a ser uma PCH; demonstrar os componentes de uma PCH; explicar sobre o licenciamento ambiental das PCHs; caracterizar as duas PCHs que serão objeto de estudo neste trabalho.

Tal abordagem é justificada em virtude de demonstrar a relevância das PCHs para a sociedade e ainda para a natureza. Relevante para a sociedade em virtude de produzir uma energia limpa, além de contribuir com o crescimento econômico. Para a natureza a sua importância está relacionada com os impactos ambientais que esta sofre com os empreendimentos hidrelétricos, pois as PCHs geram um menor impacto ambiental em relação às usinas maiores.

Neste sentido a metodologia do presente trabalho foi por intermédio do método dedutivo. Fazendo-se ainda uma abordagem quantitativa, utilizou-se também das pesquisas exploratória e explicativa. Fez-se ainda o uso do procedimento bibliográfico onde usou-se de livros, jornais, revistas, artigos científicos, artigos publicados em internet entre outros. A pesquisa de campo também foi necessária, onde visitou-se duas PCHs localizadas no Estado do

Tocantins, sendo escolhidas pelo critério da logística a PCH Isamu Ikeda e a PCH Lajeado.

Assim, o primeiro capítulo enfatizará sobre o setor energético brasileiro, onde se abordará sobre a geração de energia no Brasil, as fontes geradoras de energia, bem como uma explanação sobre a energia hidrelétrica, que é de onde vem a maioria da energia do país. Será explicado ainda sobre a geração de energia elétrica no Estado do Tocantins.

O segundo capítulo será comentado a respeito das Pequenas Centrais Hidrelétricas, conceituando-a, abordando um pouco do histórico destes empreendimentos no Brasil, os seus tipos mais utilizados, os componentes que nelas existem e demonstrando cada um destes componentes por intermédio de imagens. Explana-se ainda sobre o licenciamento ambiental de uma PCH, tendo em vista que a preocupação com o meio ambiente tem sido palco de grandes debates nos últimos anos.

No terceiro capítulo a abordagem trata a respeito do estudo das duas PCHs no Estado do Tocantins. Neste capítulo, conterà a potência gerada de cada uma, o tipo, destino da energia, entre outros fatores importantes que serão explanados.

2 O BRASIL E O SETOR ENERGÉTICO

2.1 A geração de energia no Brasil

Segundo o Banco de Informações de Geração (BIG) da ANEEL, consultado no dia 25 de março de 2015, o Brasil tem de potência instalada um total de 135.340.935 kW, toda esta potência vem de 3.680 empreendimentos que estão em operação. (ANEEL, 2015). Entretanto, a potência energética do Brasil tende a aumentar nos próximos anos, conforme enfatiza o BIG da ANEEL:

Está prevista para os próximos anos uma adição de 36.870.736 kW na capacidade de geração do País, proveniente dos 198 empreendimentos atualmente em construção e mais 605 em Empreendimentos com Construção não iniciada. (ANEEL, 2015)

Somando-se os mais de 135 milhões kW de potência que o Brasil possui com os 36.870.736 dos empreendimentos que estão em construção iniciada e os que não iniciaram ainda, o país vai chegar ao número de 172.211.671 kW de potência instalada.

A maior parte da potência instalada no país provém das Usinas Hidrelétricas (UHEs), com 62,47% do total produzido, em seguida vêm as Usinas Termelétricas (UTES) com 28,08%. Para melhor compreensão, observe-se a tabela 2.1 que mostra de onde provém a energia do país:

Tabela 2.1: Geração de energia do Brasil por empreendimento.

Empreendimento em Operação				
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada	Potência Fiscalizada	%
		(kW)	(kW)	
CGH	490	314.651	316.548	0,23
EOL	260	5.790.201	5.703.089	4,21
PCH	473	4.799.478	4.770.509	3,52
UFV	317	19.179	15.179	0,01
UHE	201	87.308.965	84.544.838	62,47
UTE	1.937	39.468.058	38.000.772	28,08
UTIN	2	1.990.000	1.990.000	1,47
Total	3.680	139.690.532	135.340.935	100

Fonte: ANEEL, 2015 – Banco de Informações de Geração.

A tabela 2.1 mostra os empreendimentos do tipo Usina Hidrelétrica (UHE) são responsáveis por 62,47% da potência instalada, em segundo tem-se as Usinas Termelétricas (UTE) com 28,08% de potência, em terceiro com 4,21% a Central Geradora Eólica (EOL), logo após a Pequena Central Hidrelétrica (PCH) tema principal deste trabalho com 3,52%, depois a Usina Termonuclear (UTN) com 1,47%, em seguida Central Geradora Hidrelétrica (CGH) com 0,23% e, por fim a Central Geradora Solar Fotovoltaica (UFV) com um total de 0,01% do total de potência produzida no Brasil.

Cabe relatar, conforme se observou o Brasil não produz somente energia do uso das águas, o país utiliza ainda outras fontes como a luz solar, por intermédio das Usinas Fotovoltaicas, a Eólica que usa o vento e ainda, as Usinas Nucleares e as Termelétricas, embora o país ainda não seja um grande produtor destes tipos de energia.

Quanto à composição, são várias as instituições que estruturam o setor energético no Brasil. Dentre elas, destacam-se o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), o Ministério de Minas e Energia (MME), a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE), o Operador Nacional do Sistema Elétrico, o Sistema Interconectado Nacional (SIN), a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) e a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). (SANTOS, 2011).

A mais importante dessas instituições é a ANEEL, onde segundo Santos ela:

[...] regula e supervisiona as atividades relacionadas a geração, transmissão, distribuição e comércio de eletricidade. É responsável pelo estabelecimento de tarifas para consumidores finais, assegurando assim o equilíbrio econômico e financeiro da concessão. (SANTOS, 2011, p. 13).

Assim, a ANEEL tem, entre outras, a função de regularizar e fiscalizar a prestação de serviços das empresas de energia elétrica no Brasil, exercendo desta forma primordial função.

2.2 Fontes que geram energia elétrica no Brasil

Conforme se viu anteriormente, a maior parte da energia elétrica produzida em nosso país vem das Usinas Hidrelétricas e das Usinas Termelétricas.

Entretanto, existem outros empreendimentos que também podem ser utilizados como fonte de geração de energia, fazendo-se necessário explanar um pouco sobre cada um deles.

Neste sentido as Usinas Termelétricas, segundo BURATTINI (2008, p. 48): “[...] o vapor aciona as turbinas que farão girar o gerador. Esse vapor é conseguido através do aquecimento da água”.

A energia eólica também está em crescimento em nosso país, segundo RODRIGUES (2011, p. 24): “Neste tipo de usina, o movimento dos ventos, por meio de um conjunto de eixos e pás, é comunicado a um motor que aciona a turbina de um sistema de geração eletromagnética de energia”. Para DIONÍSIO *et al* (2013, p. 15): “O aproveitamento desta energia ocorre através do processo de conversão de energia cinética de translação, em energia cinética de rotação, através dos aerogeradores, para geração de eletricidade”.

Importante destacar que a energia eólica tem alcançado um grande sucesso na procura por alternativas renováveis de geração de energia. Assim a tendência é que esta venha a crescer muito. (ALVES FILHO, 2003).

Existem ainda as Usinas Nucleares, onde BURATTINI (2008, p. 50) assim explica: “[...] as Usinas Nucleares nada mais são do que termelétricas que usam a energia nuclear como fonte de energia térmica para o acionamento mecânico do seu gerador de energia elétrica”. Ainda na abordagem sobre a energia nuclear, BURATTINI comenta:

[...] um reator nuclear gera a energia térmica necessária para mover as turbinas. Nesse reator, o urânio (elemento químico da natureza), sofre de forma controlada, fissões nucleares: quebra do núcleo do átomo em dois núcleos menores, em geral, liberando grande quantidade de energia térmica. (BURATTINI, 2008, p. 50).

Cabe destacar ainda que, nas usinas termonucleares, a energia passa por inúmeras transformações até gerar a energia nuclear. (RODRIGUES, 2011).

Outra fonte de energia que existe no Brasil é a energia solar fotovoltaica, onde ALVES FILHO assim ensina: “A chamada conversão fotovoltaica consiste na transformação direta da energia solar em eletricidade”. Assim, por intermédio das Usinas Fotovoltaicas (UFVs) ocorre o aproveitamento da energia solar para transformá-la em energia elétrica.

2.3 A energia hidrelétrica

Sabe-se que a energia tem grande função no desenvolvimento da sociedade, estando ligada ao crescimento da economia mundial. Para GRIMONI, GALVÃO e UDAETA (2004, p. 32): “A energia é essencial para economia, para o desenvolvimento social e para a melhoria da qualidade de vida”.

Neste sentido, o Brasil é um dos grandes produtores de energia hidrelétrica em âmbito mundial, justamente pelo alto potencial dos rios que possui. Segundo KAGAN, OLIVEIRA e ROBBA (2010) o nosso país possui um dos maiores potenciais hidráulicos do mundo, sendo detentor de quatro grandes bacias: a Amazônica, do São Francisco, do Paraná e do Tocantins.

Para melhor compreensão do que vem a ser a energia hidrelétrica CHIARAVALLOTI e PÁDUA (2011, p. 145) assim a conceituam: “A energia hidrelétrica é a obtenção de energia elétrica através do aproveitamento do potencial hidráulico de um rio”.

Ainda na área conceitual, para SAMWAYS, SUCEK e QUEIROZ (2004, p. 18): “A energia hidrelétrica é uma forma de energia renovável, que aproveita as energias potencial e cinética acumuladas em rios ou lagos e as transforma em energia mecânica para movimentar uma turbina hidráulica”.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) assim considera a energia hidrelétrica:

A energia hidrelétrica é gerada pelo aproveitamento do fluxo das águas em uma usina na qual as obras civis – que envolvem tanto a construção quanto o desvio do rio e a formação do reservatório – são tão ou mais importantes que os equipamentos instalados. (ANEEL, 2008, p. 53)

BORTOLETO (2001) ensina que as usinas hidrelétricas são capazes de fazer com que a energia cinética seja transformada em energia elétrica, sendo que isso ocorre por intermédio da movimentação das águas.

Veja-se na figura 2.1 a imagem de uma Usina Hidrelétrica:

Figura 2.1: Usina Hidrelétrica de Marimbondo.



Fonte: ANEEL, 2008.

Por intermédio da figura 2.1, pode-se observar o tamanho de um empreendimento deste porte.

Sobre as hidrelétricas BORTOLETO assim comenta:

As hidrelétricas, que são empreendimentos de envergadura e fazem parte dos grandes projetos, foram consideradas no Brasil como indispensáveis e tecnicamente mais adequadas para a produção de energia elétrica, devido à riqueza de recursos hídricos do País que, por suas condições físicas, permite um amplo aproveitamento hidrelétrico. (BORTOLETO, 2001, p. 57).

Assim, observa-se que a energia proveniente do potencial hidráulico de rios é indispensável ao nosso país, onde Bortoleto (2001) afirma que são as mais adequadas no país para se produzir energia elétrica. Apesar dos comentários tecidos por Bortoleto, atualmente, o pensamento sobre construção das usinas hidrelétricas tomou outros rumos, pois a construção destes empreendimentos causam grandes mudanças no meio ambiente.

Neste sentido, QUEIROZ *et al*:

Porém, a energia hidráulica também gera graves impactos negativos. Pois influenciam diretamente no meio ambiente devido à construção das represas, que provocam inundações em imensas áreas de matas,

interferindo no fluxo de rios, destroem espécies vegetais, prejudicam a fauna, e interferem na ocupação humana. (QUEIROZ, *et al*, 2013, p. 2).

Desta forma, a construção de usinas hidrelétricas gera grandes impactos, interferindo no bioma e na sociedade que reside nas proximidades do local onde o empreendimento será erguido.

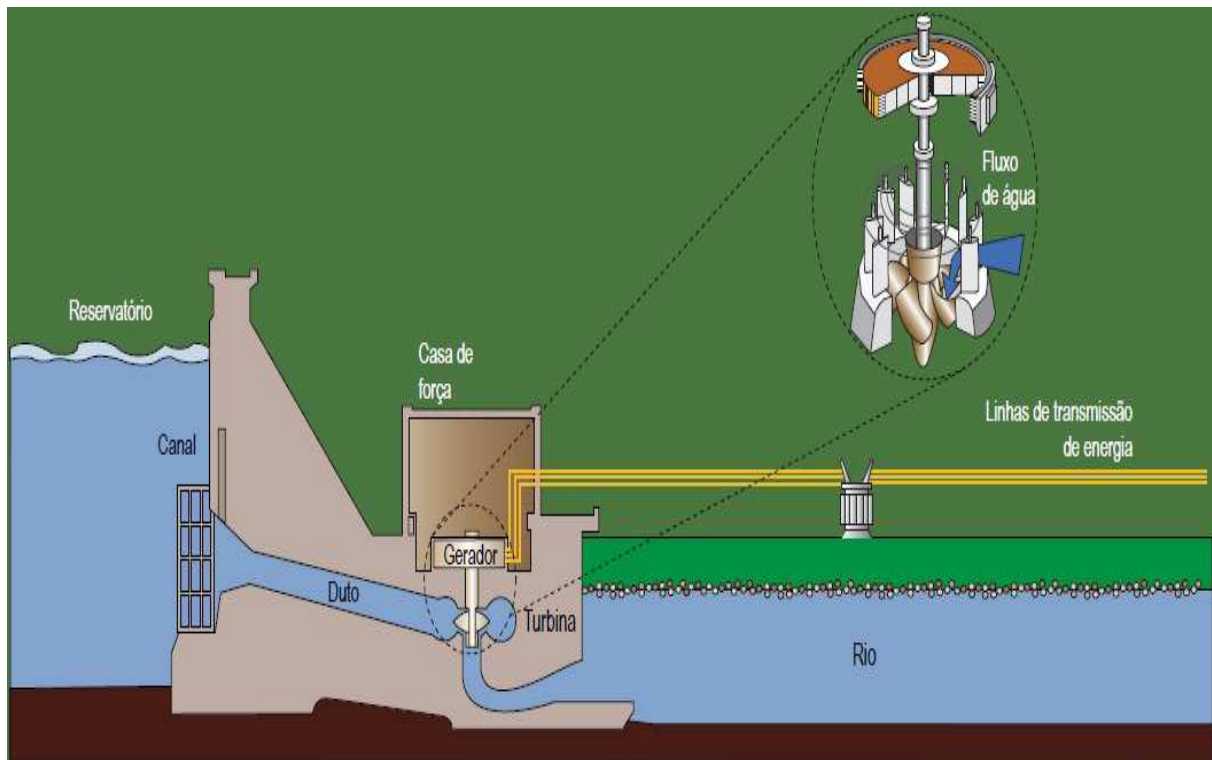
Abordando um pouco sobre a história, a primeira hidrelétrica que foi implantada no Brasil, ocorreu por volta do fim do século XIX, quando o país ainda estava sobre o reinado de Dom Pedro II. Esta Usina Hidrelétrica foi construída no município de Diamantina e, utilizava as águas de um rio chamado Ribeirão do Inferno e possuía 0,5 MW de potência. (ANEEL, 2008).

Sobre o aproveitamento:

O aproveitamento da energia hidráulica para geração de energia elétrica é feito por meio do uso de turbinas hidráulicas, devidamente acopladas a um gerador. Com eficiência que pode chegar a 90%, as turbinas hidráulicas são atualmente as formas mais eficientes de conversão de energia primária em energia secundária. (ANEEL, 2005, p. 49)

No que se refere à estrutura de uma UHE, veja-se ANEEL (2008, p. 50): “[...] a estrutura da usina é composta, basicamente, por barragem, sistema de captação e adução de água, casa de força e vertedouro, que funcionam em conjunto e de maneira integrada”. Para melhor compreensão veja-se a figura 2.2:

Figura 2.2: Perfil esquemático de Usina Hidrelétrica.



Fonte: ANEEL, 2008, p. 50.

A figura 2.2 mostra que a função da barragem é de interromper o curso normal do rio, fazendo com que se forme o reservatório. Já a função do sistema de captação e adução de água é a de fazer com que a água chegue até a casa de força, por intermédio dos canais ou condutos metálicos. Na casa de força é onde as turbinas ficam. Estas quando giram transformam a energia cinética em energia elétrica por intermédio dos geradores. O vertedouro permite a saída da água quando os níveis no reservatório estiverem acima dos limites permitidos. (ANEEL, 2008).

2.4 A geração de energia no Tocantins

O Estado do Tocantins, segundo dados do IBGE do ano de 2014, possui uma população estimada em 1.496.880 habitantes. Possui ainda uma área de 277.720,569 Km². O referido estado tem 139 municípios, entre eles a capital Palmas, que é a mais nova capital do país. (IBGE, 2014).

Segundo Gil:

Está inserido no estado do Tocantins os sistemas hidrográficos do rio Araguaia, com 104.791,8 km² (37,7% do território estadual) e do rio

Tocantins, com 172.828,2 Km² (62,3% do território estadual). (GIL, 2012, p. 26).

Quanto ao potencial energético, segundo o Banco de Informações de Geração da ANEEL, o Estado do Tocantins tem uma potência total de 1.902.549,71 KW de energia, onde isto corresponde a 1,4% em potência instalada no em nosso país. Sendo relevante destacar que a maior parte advém de UHEs. (ANEEL, 2015).

Entretanto, existe uma previsão para crescimento do potencial energético no Estado segundo dados do BIG da ANEEL:

Está prevista para os próximos anos uma adição de 14.020 kW na capacidade de geração do Estado, proveniente dos 2 empreendimentos atualmente em construção e mais 0 em construção não iniciada. (ANEEL, 2015, p. 1).

Neste sentido, os empreendimentos de geração de energia que estão em operação somam um total de 32, sendo eles 8 CGHs, 14 PCHs, 4 UFVs, 3 UHEs e, 3 UTEs. Conforme já se abordou, a maior parte vem das UHEs, sendo 86,43% da potência instalada no Estado. Em segundo, com 8,99% as PCHs, logo após estão as UTEs com 4,27%, depois as CGHs com 0,29% e, por último as UFVs com 0,01% da energia total gerada no estado. (ANEEL, 2015).

Com isto, nota-se que a fonte hidrelétrica é a mais utilizada para captação de energia com 25 empreendimentos em operação e mais dois em construção, depois se tem 4 do tipo fotovoltaica e, 3 de fonte termelétrica que estão em operação e mais uma que ainda está em construção. Destaca-se ainda que no Estado do Tocantins, não há nenhum empreendimento que gere energia eólica. (ANEEL, 2015).

3 PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS – PCHs

3.1 Considerações iniciais

As PCHs têm crescido bastante em nosso país nos últimos anos, servindo como uma boa alternativa para a geração de energia. Importante destacar que esse crescimento se deve aos incentivos que o governo brasileiro tem oferecido aos empreendimentos deste tipo.

Pode-se dizer também a respeito do crescimento das PCHs, é que os empreendimentos de grande porte causam sérios danos ao meio ambiente, transformando rios em extensos lagos. Trazem ainda transtornos à população que reside nas proximidades da construção que serão afetadas. Deve entrar ainda em consideração o alto custo de construção de um empreendimento de grande porte. Assim as PCHs se tornam uma alternativa viável para produção de energia.

3.2 Conceito

Nas palavras de BERMANN (2007, p. 92): “São usinas com potência instalada superior a 1MW ou inferior a 30MW, que atendem aos requisitos das resoluções especificadas na Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)”.

Segundo PINELI (2005, p. 18): “Uma Pequena Central Hidrelétrica não é uma usina grande em escala reduzida, mas possui características próprias pela simplicidade de construção e operação que devem ser consideradas”.

A Resolução nº 652 de 2003 da ANEEL, enquadra como sendo PCH:

Art. 3º. Será considerado com características de PCH o aproveitamento hidrelétrico com potência superior a 1.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW, destinado a produção independente, autoprodução ou produção independente autônoma, com área do reservatório inferior a 3,0 km². (RESOLUÇÃO nº 652/2003 ANEEL, art. 3º).

Cabe informar que a Resolução 652 de 2003 da ANNEEL revogou a Resolução de nº 394 de 1998, que também abordava sobre as PCHs.

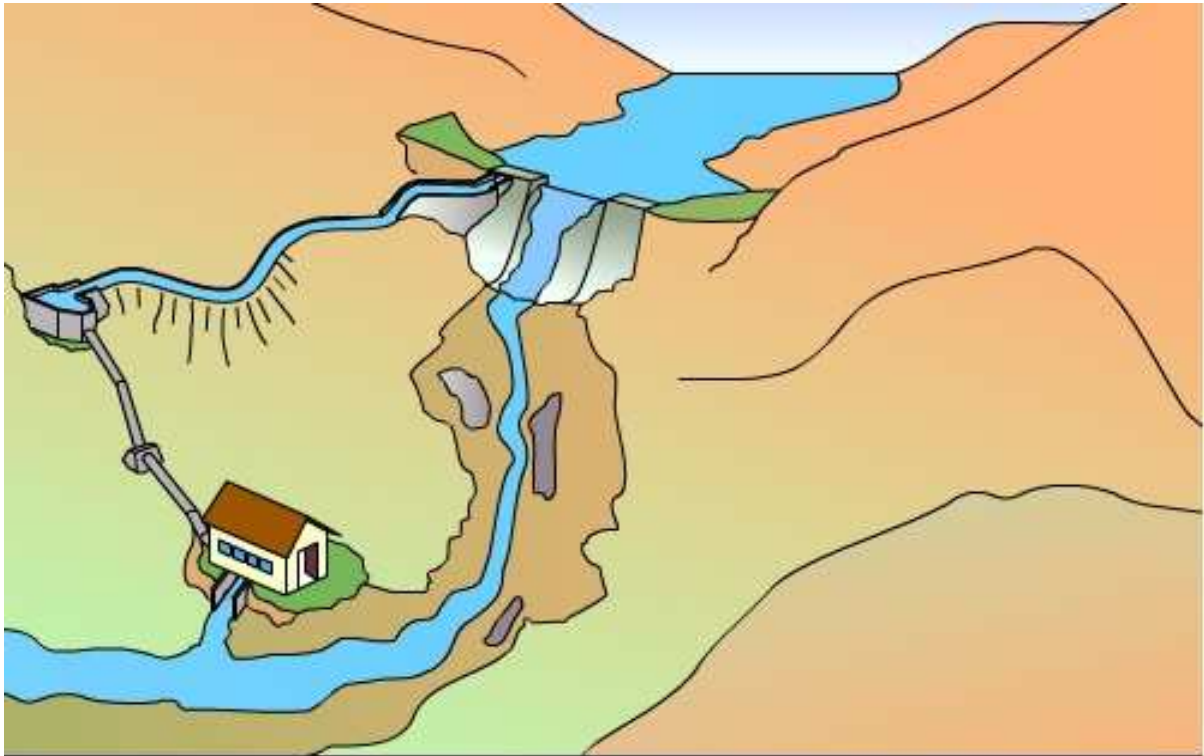
Segundo BERMANN, as PCHs:

São usinas com potência instalada superior a 1 MW e igual ou inferior a 30 MW, que atendem aos requisitos das resoluções especificadas na ANEEL.

Como são empreendimentos que, em geral, procuram atender demandas próximas aos centros de carga, em áreas periféricas ao sistema de transmissão, as PCHs têm papel cada vez mais relevante na promoção do desenvolvimento da geração distribuída no país. (BERMANN, 2008, p. 1).

A figura 3.1 mostra a imagem de uma PCH:

Figura 3.1: Esquema de uma PCH



Fonte: ELETROBRÁS, 2000.

Para que outros empreendimentos fossem enquadrados como PCH, a Resolução 652, o artigo 4º assim explicita:

Art. 4º - O aproveitamento hidrelétrico que não atender a condição para a área do reservatório de que trata o artigo anterior, respeitados os limites de potência e modalidade de exploração, será considerado com características de PCH, caso se verifique pelo menos uma das seguintes condições:

I - atendimento à inequação:

$$A \leq \frac{14,3 \times P}{H_b}$$

Sendo:

P = potência elétrica instalada em (MW);

A = área do reservatório em (km²);

H_b = queda bruta em (m), definida pela diferença entre os níveis d'água máximo normal de montante e normal de jusante;

II - reservatório cujo dimensionamento, comprovadamente, foi baseado em outros objetivos que não o de geração de energia elétrica. (RESOLUÇÃO nº 652/2003 ANEEL, art. 4º).

Neste sentido, observa-se que a referida Resolução ampliou os horizontes para que alguns empreendimentos fossem considerados como sendo PCH.

Assim salientam Tiago Filho e Nogueira a respeito da Resolução 652 da ANEEL:

O objetivo da abertura dada pela Resolução ANEEL 652/2003 é incentivar novos empreendimentos hidrelétricos e facilitar a aprovação de projetos que em análise junto à ANEEL e demais órgãos de gestão de recursos hídricos e meio ambiente. Visto que vários projetos não podiam ser implementados em função do antigo enquadramento e necessitavam se não fossem beneficiados pela nova resolução. (TIAGO FILHO; NOGUEIRA, 2005, p. 16).

Ademais, a criação desta Resolução teve o intuito de incentivar os empreendimentos do tipo PCH, segundo os autores citados anteriormente.

Para PERAZZOLI, COUTINHO e SILVA:

As pequenas Centrais Hidrelétricas geralmente funcionam com pequenos reservatórios ou com derivações de cursos d'água permanentes. Normalmente têm se destinado a suprir demandas locais ou também quando as restrições a uma grande barragem predominarem, uma alternativa poderá ser a construção de uma sucessão de PCHs. (PERAZZOLI; COUTINHO; SILVA, 2010, p. 28)

Pela citação anterior, pode-se afirmar que as PCHs servem como um amparo para locais que não podem haver uma grande usina ou outro empecilho que exista.

Importante mencionar ainda que as PCHs são geralmente instaladas nos rios de porte pequenos e também de porte médio. Entretanto, estes rios devem ter desníveis para fazer gerar potência para que as turbinas se movimentem. (BERMANN, 2007).

3.3 Histórico das PCHs no Brasil

Segundo BARBOSA e SOUZA (2009, p. 1): “As PCHs foram às primeiras fontes de energia elétrica no Brasil”.

Noticia-se que a primeira vez que se usou energia elétrica gerada por uma pequena usina em nosso país foi no ano de 1883, no estado de Minas Gerais, na cidade de Diamantina. Esta tinha o intuito de ser usada para a exploração dos

minérios. Alguns anos depois, também no estado mineiro, na cidade de Nova Lima, outra pequena usina foi criada e tinha os mesmos objetivos da primeira e, ainda ser usada pela indústria. Assim, muitas outras unidades foram surgindo pelo resto do país, com intuito de alavancar os setores da mineração, agroindústria, serrarias, indústria têxtil. (ROSSI, 2010).

Figura 3.2: Primeira Usina do Brasil



Fonte: ROSSI, 2010.

Neste sentido, a energia gerada destas pequenas usinas era apenas para indústrias ela não era usufruída pela sociedade. Com isto, no ano de 1889 entrou em funcionamento a primeira usina hidrelétrica que teve a energia gerada para uso de serviço de utilidade público na América do Sul. Denominada de Marmelos Zero, localizada no município de Juiz de Fora, Minas Gerais, ela possuía dois geradores monofásicos de 125 kW cada um, tensão de 1000 VOLTS e uma frequência de 60 hertz. (VIANA, 2000).

Entretanto, a usina Marmelos Zero possuía equipamentos bem arcaicos, sendo assim, no ano de 1915 passou a funcionar a PCH Marmelos, localizada no rio Paraibuna, também no município de Juiz de Fora e, operava com potência de 3997 kW. (VIANA, 2000).

Entre os anos de 1890 e 1940 diversas PCHs foram construídas para o fornecimento de serviços públicos de iluminação e para atividades econômicas de mineração, beneficiamento de produtos agrícolas, fábricas têxteis e serrarias, tendo uma rápida expansão no período entre 1920-1930, permanecendo com forte crescimento até 1940, sendo que 1941 existiam centenas de pequenas plantas. (CARVALHO, 2014, p. 22).

O ápice das PCHs durou no Brasil até meados da década de 40, onde a partir desta data começaram a construção de grande porte no setor elétrico fazendo com que os empreendimentos do tipo PCHs deixassem de ser atrativos. (BARBOSA; SOUZA, 2009).

Mais adiante, no período dos anos 80, com intuito de reestruturar o setor energético, o governo brasileiro criou o Programa Nacional de Pequenas Centrais Hidrelétricas, onde este tinha vários objetivos. Entretanto, não se obteve êxito devido uma crise econômica que ocorreu na época. Na década de 90 houve um novo incentivo para as PCHs, onde se criou o Centro Nacional de Referência de Pequenas Centrais Hidrelétricas, onde um foco maior foi dado aos impactos ambientais causados pelas grandes hidrelétricas. (BARBOSA; SOUZA, 2009).

Desta forma, por intermédio de incentivos fiscais oferecidos pelo governo brasileiro, o número de PCHs passou a crescer no setor energético do país. Segundo os autores BARBOSA e SOUZA (2009, p.4), dentre as vantagens estavam: “[...] facilidade para liberação de outorga dos empreendimentos, isenção do pagamento de taxas de compensação financeira, isenção do pagamento por uso da rede de transmissão e distribuição e, etc”.

Assim, por intermédio de incentivos, o número de PCHs alavancou chegando atualmente, segundo dados da ANEEL, a 474 empreendimentos do tipo PCH, com potência outorgada de 4.801.110 kW e 4.772.141 de potência fiscalizada, onde tem-se 3,52% do total de energia gerada no Brasil. Cabe relatar que existem ainda 38 PCHs em estado de construção e 133 com construção não iniciada. (ANEEL, 2015).

3.4 Os tipos de PCHs

Quanto aos tipos as PCHs podem ser: PCHs a fio d’água, PCH de acumulação com regularização do reservatório, cujo esta regularização pode ser diária ou mensal. Importante mencionar que a opção pelo tipo de PCH depende das

condições geológicas e topográficas do local do aproveitamento. (ELETROBRÁS, 2000).

Neste sentido, GALHARDO (2007, p. 29): “As PCHs a fio d’água são adotadas quando a vazão mínima do rio for maior do que a descarga necessária para atender à demanda de geração elétrica”.

Segundo o Portal PCH:

Uma PCH típica normalmente opera a fio d’água, isto é, o reservatório não permite a regularização do fluxo d’água. Com isso, em ocasiões de estiagem a vazão disponível pode ser menor que a capacidade das turbinas, causando ociosidade. (PORTAL PCH, 2014, p. 1).

A figura 3.3 mostra a imagem de uma PCH a fio d’água:

Figura 3.3: PCH a fio d’água



Fonte: Grupo Energisa. Disponível em: <<http://geracao.grupoenergisa.com.br/paginas/nossos-negocios/pchs.aspx>>

Nas PCHs que operam a fio d’água, a vazão dos rios é aproveitada de forma natural. Assim não há a necessidade de se estocar água em grandes quantidades. (GALHARDO, 2007).

Esse tipo de PCH apresenta, dentre outras, as seguintes simplificações:

- 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. (ELETROBRÁS, 2000, p. 17).

Ademais, neste tipo de PCH, as barragens são de porte pequeno, tendo em vista que ela tem apenas a função de fazer com que a água desvie para o circuito de adução, pois a área que está inundada tem um pequeno volume e extensão. (MAGALHÃES, 2009).

Necessário relatar ainda, que na PCH a fio d'água, o volume que existe no reservatório, criado pela barragem, será desprezado. (DEMANBORO; PERECIN; FERRÃO, 2007).

Outro tipo de PCH é a de acumulação com regularização do reservatório, onde esta regularização pode ser mensal ou diária.

Figura 3.4: PCH de acumulação com regularização do reservatório



Fonte: Grupo Energisa. Disponível em: <<http://geracao.grupoenergisa.com.br/paginas/nossos-negocios/pchs.aspx>>

A PCH de acumulação com regularização diária, segundo a Eletrobrás:

Esse tipo de PCH é empregado quando as vazões de estiagem do rio são inferiores à necessária para fornecer a potência para suprir a demanda máxima do mercado consumidor e ocorrem com risco superior ao adotado no projeto. (ELETROBRÁS, 2000, p. 18).

Já para DEMANBORO, PERECIN, FERRÃO:

Uma PCH de acumulação com regularização diária é aquela que as vazões de estiagem do rio são inferiores à necessidade da usina para atender a demanda máxima, sendo então o reservatório que regularizará diariamente a vazão mínima requerida para que se atenda a demanda máxima. (DEMANBORO; PERECIN; FERRÃO, 2007, p. 957).

Desta forma, neste tipo de PCH, o reservatório existente fornece o complemento necessário para a vazão ser regularizada. (GALHARDO, 2007).

Já a PCH do tipo de acumulação com regularização mensal do reservatório nas palavras de DEMANBORO, PERECIN e FERRÃO (2007, p. 957): “[...] é aquela em que pressupõe-se uma regularização mensal das vazões médias diárias”.

Para a ELETROBRÁS, as PCHs de acumulação com regularização mensal do reservatório:

[...] consistem em um projeto que considera dados de vazões médias mensais no seu dimensionamento energético, analisando as vazões de estiagem médias mensais. Pressupõe-se uma regularização mensal das vazões médias diárias, promovida pelo reservatório. (ELETROBRÁS, 2000, p. 1).

As PCHs de acumulação devem ser preteridas quando não existe suficiência da vazão do curso d’água para suprir a descarga necessária do sistema gerador.

Segundo as diretrizes para estudos e projetos de PCHs da ELETROBRÁS, ainda existem outros tipos de PCHs. Desta forma, quanto ao sistema de adução elas podem ser de duas formas adução em baixa pressão com escoamento livre em canal e adução em baixa pressão por meio de tubulação. (ELETROBRÁS, 2000).

3.5 Componentes de uma PCH

As PCHs possuem componentes que são relevantes e indispensáveis para o correto funcionamento. Os principais componentes são: barragem,

vertedouro, tomada de água, canal de adução, câmara de carga, chaminé de equilíbrio, tubulação forçada, casa de máquinas e equipamentos e, canal de fuga.

Nas palavras de PINELI a barragem:

Tem como finalidade o armazenamento de água para abastecimento, irrigação, controle de cheias, navegação, recreação, ou geração de energia. Destina-se a criar um desnível hidráulico localizado, a fim de elevar o nível das águas, permitindo o afogamento da tomada de água. Pode ter ou não o objetivo de regularização da vazão. (PINELI, 2005, p. 24).

Importante destacar que as barragens podem ser dos seguintes tipos: concreto, pedra, madeira ou ainda de terra. (BURATTINI, 2008).

A figura 3.5 mostra como é uma barragem de uma PCH:

Figura 3.5: Barragem de uma PCH



Fonte: CERPCH. Disponível em: <<http://www.cerpch.unifei.edu.br/equipamentos.html>>.

O vertedouro é outro componente de uma PCH, ele serve para manter o controle do nível do reservatório, servindo para impedir que, em épocas de cheias, a água venha a danificar a estrutura da barragem. (PINELI, 2005). Veja-se o que é um vertedouro na figura 3.6:

Figura 3.6: Vertedouro



Fonte: CERPCH: Disponível em: <<http://www.cerpch.unifei.edu.br/equipamentos.html>>.

Quanto a tomada d'água:

[...] tem a finalidade de captar e conduzir a água aos órgãos adutores ou fechar a captação d'água, quando necessário, agregado à função de impedir a passagem de grandes corpos flutuantes que danificam as turbinas e seus associados, através de grades instaladas perto das superfícies d'água ou de grandes profundidades, dependendo do tipo de concepção. (SIQUEIRA, 2006, p. 36).

Para melhor compreensão, veja-se o que PINELI (2005, p.26) comenta: “A tomada de água tem como função a captação e condução da água aos elementos adutores e daí às turbinas”.

A figura 3.7 mostra a imagem de uma tomada d'água:

Figura 3.7: Tomada d'água.



Fonte: CERPCH. Disponível em: <<http://www.cerpch.unifei.edu.br/equipamentos.html>>.

O canal de adução tem como finalidade a de fazer com que a água que fica no reservatório seja conduzida até a câmara de carga. (BURATTINI, 2008). Na figura 3.8 pode-se observar como é o canal de adução:

Figura 3.8: Canal de adução



Fonte: CERPCH. Disponível em: <<http://www.cerpch.unifei.edu.br/canal-de-aducao-e-conduto-forcado.html>>.

A câmara de carga nas palavras de PINELI:

É a estrutura destinada a fazer a ligação entre o canal de adução e a tubulação forçada. Possui comporta destinada ao controle da vazão para absorver variações no escoamento da água, bem como grade protetora a fim de eliminar impurezas existentes tais como folhas, animais mortos e areia. (PINELI, 2005, p. 27).

Por intermédio da figura 3.9 é possível observar visualmente como é uma câmara de carga:

Figura 3.9: Câmara de carga



Fonte: CERPCH. Disponível em: <<http://www.cerpch.unifei.edu.br/pch-apresentacao-componentes.html>>.

A chaminé de equilíbrio nada mais é do que um reservatório que fica na posição vertical localizado no final do conduto de baixa pressão amontado do conduto de alta pressão. Ela tem a função de fazer com que os efeitos da tubulação diminuam e, ainda de fornecer o volume de água para as turbinas para que a massa de água no conduto adutor acelere de forma suficiente. (MAGALHÃES, 2009).

A figura 3.10 mostra uma chaminé de equilíbrio, veja-se:

Figura 3.10: Chaminé de equilíbrio.



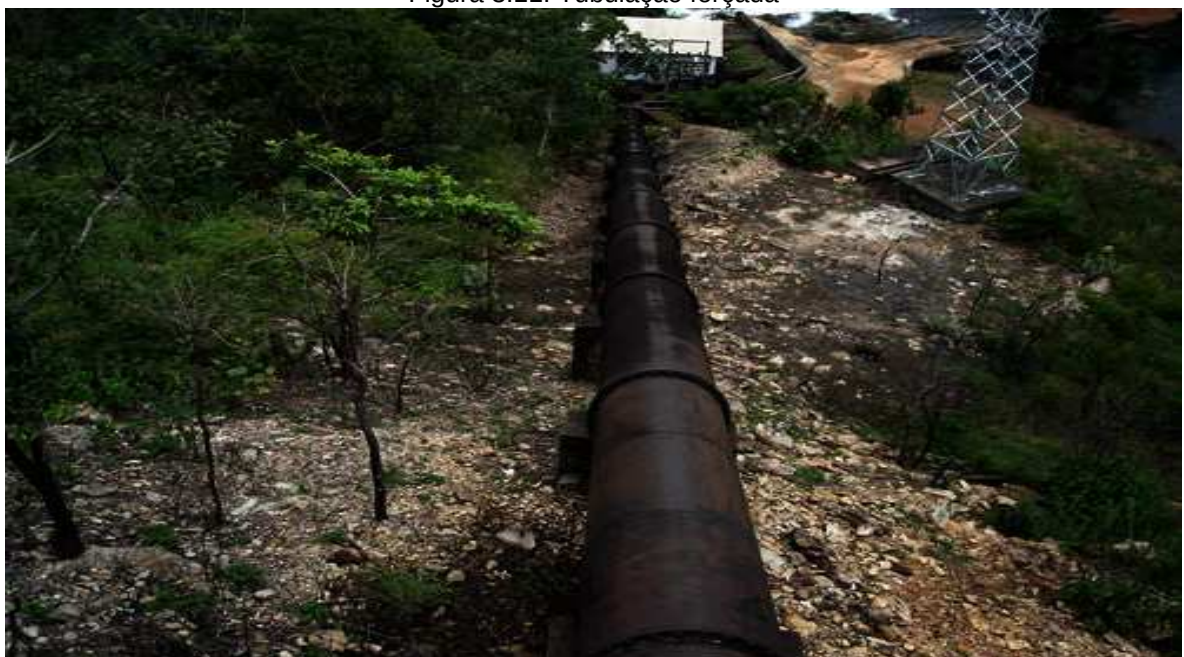
Fonte: ELETROBRÁS, 2000.

PINELI assim afirma sobre a tubulação forçada:

É o elemento que faz a ligação entre a câmara de carga e a turbina por meio de um sistema de alta pressão, que pode ser constituído de uma ou mais tubulações. O material mais comumente utilizado é o aço, podendo, no entanto, ser construída até de madeira, dependendo do tipo de pressão. (PINELI, 2005, p. 28).

Por intermédio da figura 3.11 pode-se visualizar uma tubulação forçada:

Figura 3.11: Tubulação forçada



Fonte: Portal CERPCH.

A casa de máquinas e equipamentos serve de abrigo para os equipamentos, dentre eles, o gerador, a turbina, comando da central e o painel de controle. É neste componente que a energia hidráulica é transformada em energia elétrica. Deve haver um espaço suficiente para armazenar as máquinas, sendo necessário mais espaço para movimentação de técnicos para realizar manutenção, instalação e reparos. (BURATTINI, 2008).

Veja-se na figura 3.12 como é uma casa de máquinas:

Figura 3.12: Casa de máquinas PCH Lajeado.



Fonte: O próprio autor.

O último componente a ser abordado é o canal de fuga, onde segundo PINELI:

Após sua passagem pela turbina, a água é reconduzida ao leito do rio em um local escolhido de maneira conveniente. O canal de fuga é a estrutura que realiza esse trabalho. Seu comprimento depende da posição da casa de máquinas em relação ao rio. (PINELI, 2005, p. 29).

Segundo as diretrizes da ELETROBRÁS (2000, p. 156) o canal de fuga: “é o canal através do qual a vazão turbinada é restituída ao rio”.

Na figura 3.13 pode-se verificar o canal de fuga de uma PCH:

Figura 3.13: Canal de fuga.



Fonte: ELETROBRÁS, 2000.

Importante relatar que cada um destes componentes abordados tem a sua relevância para o bom e correto funcionamento de uma PCH para fazer com que a energia elétrica seja produzida.

3.6 Diretrizes para instalação de uma PCH

Conforme as diretrizes para estudos e projetos de uma PCH da ELETROBRÁS, a implantação de uma PCH ocorre em três etapas. A primeira delas é o levantamento de informações sobre o local onde será instalada a PCH. Logo após vem o estudo de viabilidade e por fim o registro na ANEEL e elaboração de um projeto. (ELETROBRÁS, 2000).

Segundo WISSMANN e GRANDO a primeira etapa dessas diretrizes:

[...] está relacionada com o levantamento das informações do local da instalação, dados topográficos, geográficos e ambientais que respaldem a elaboração do projeto, com foco principal nas características do curso d'água e na bacia hidrográfica. (WISSMANN; GRANDO, 2012, p. 17).

As diretrizes da ELETROBRÁS (2000) informam que o entendimento global de um aproveitamento hidrelétrico é definido quando se iniciam os estudos de viabilidade.

O último procedimento a ser tomado para a instalação de uma PCH é a elaboração de um projeto, onde nas palavras de WISSMANN e GRANDO:

O projeto básico de uma PCH consiste no detalhamento dos estudos de engenharia do eixo do aproveitamento integrante da alternativa de divisão de quedas selecionadas nos estudos de inventário hidrelétrico aprovados pela ANEEL. (WISSMANN; GRANDO, 2012, p. 19).

Segundo a ELETROBRÁS a elaboração do projeto deve ocorrer de acordo com as normas impostas pela ANEEL e as diretrizes da própria ELETROBRÁS. Assim, o projeto deve ainda passar pela aprovação da ANEEL, pois é esta que irá autorizar ou conceder o uso da exploração hídrica. (ELETROBRÁS, 2000).

3.7 Licenciamento Ambiental de uma PCH

O licenciamento ambiental tem uma grande relevância, pois é por intermédio deste que se poderá saber quais os danos serão causados ao meio ambiente com a implantação de um empreendimento. Assim, para a implantação de uma PCH o licenciamento ambiental deverá ser feito.

A instalação de estabelecimento de atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras, bem assim os empreendimentos capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dentre eles obras hidráulicas para exploração de recursos, dependem de prévio licenciamento, mediante estudo de impacto ambiental. (NOGUEIRA; SOLER; MASCARIN, 2010, p. 23).

Deve ser feito ainda o Estudo de Impacto Ambiental (EIA), onde nas palavras de GALHARDO:

O Estudo de Impacto Ambiental (EIA) é um instrumento de planejamento que avalia os efeitos sócio-econômicos e ambientais de determinado projeto. É utilizado na tomada de decisão para a realização de projeto/empreendimento. (GALHARDO, 2007, p. 57).

Existe ainda o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), onde segundo GALHARDO deve conter:

[...] objetivos e justificativas do empreendimento; descrição do projeto e suas alternativas; síntese dos resultados de diagnóstico ambiental da área de influência do projeto; descrição dos impactos ambientais do projeto ao longo do horizonte de tempo de sua incidência; caracterização da qualidade ambiental futura da área de influência; descrição do efeito esperado das medidas mitigadoras; programa de monitoramento; recomendação quanto à alternativa mais favorável, com conclusões e comentários de ordem geral. (GALHARDO, 2007, p. 58).

Cabe relatar que o licenciamento ambiental é dividido em três etapas básicas que devem ser seguidas, conforme o que reza o Decreto Federal nº. 99.274/90:

Art. 19. O Poder Público, no exercício de sua competência de controle, expedirá as seguintes licenças:

I - Licença Prévia (LP), na fase preliminar do planejamento de atividade, contendo requisitos básicos a serem atendidos nas fases de localização, instalação e operação, observados os planos municipais, estaduais ou federais de uso do solo;

II - Licença de Instalação (LI), autorizando o início da implantação, de acordo com as especificações constantes do Projeto Executivo aprovado; e

III - Licença de Operação (LO), autorizando, após as verificações necessárias, o início da atividade licenciada e o funcionamento de seus equipamentos de controle de poluição, de acordo com o previsto nas Licenças Prévia e de Instalação. (BRASIL, Decreto nº 99.274/90, art. 19, inc. I a III).

As leis e dispositivos que abordam sobre o licenciamento ambiental são vários, cabendo destacar a Resolução de nº 06 de setembro de 1987 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Tal resolução enfatiza sobre o licenciamento ambiental de grandes obras, entre elas as que geram energia elétrica. (ELETROBRÁS, 2000).

Importante mencionar ainda que quem tem competência para proceder o licenciamento ambiental, conforme reza a Constituição Federal, é comum à União, aos Estados e aos municípios. (GALHARDO, 2007).

3.8 O Projeto de Lei nº. 4.408/2008

Existe um Projeto de Lei (PL) que tramita na casa de leis brasileira desde o ano de 2008, onde o intuito deste, entre outros, é o de alterar a potência das

PCHs. Assim, tal Projeto de Lei é o de nº 4.404 de 26 de novembro de 2008, onde este altera dispositivos da Lei nº 9.427/1996. Neste sentido:

Art. 1º O art. 26 da Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, passa a vigorar com a seguinte redação:

Art. 26 [...].

I - O aproveitamento de potencial hidráulico de potência superior a um mil kW e igual ou inferior a 50.000 (cinquenta mil) kW, destinado a produção independente ou autoprodução, mantidas as características de pequena central hidrelétrica; (BRASIL, PL 4.404/2008).

Neste sentido, passariam a ser consideradas também como PCHs os empreendimentos que tenham potência de até 50 MW. Importante destacar que este Projeto de Lei tem ainda o intuito de reduzir em percentual não inferior a 50% das tarifas dos sistemas elétricos de transmissão e distribuição. Menciona-se ainda que este PL visa ainda a ampliação e incentivos para investimentos na geração de energia elétrica para fontes alternativas. Ademais, o referido Projeto de Lei ainda se encontra em apreciação no Congresso Nacional. (BRASIL, PL 4.404/2008).

3.9 Vantagens e desvantagens das PCHs

Segundo o Portal PCH (2008), as vantagens para implantação de uma PCH são várias, dentre elas está o custo operacional que é competitivo em relação aos outros meios de geração de energia. Destaca-se ainda como vantagem o baixo impacto ambiental causado.

Para ROSSI existe ainda outras vantagens:

Dentre as vantagens que os pequenos empreendimentos podem ter, comparados com os grandes empreendimentos de usinas hidrelétricas, a não necessidade de formação de grandes lagos ou reservatórios. (ROSSI, 2010, p. 19).

GALHARDO (2007) informa que a redução das tarifas por uso do sistema elétrico e distribuição em no mínimo 50%, o fato de ser isento o pagamento pelo uso dos recursos hídricos, são vantagens relevantes para as PCHs.

Na seara das desvantagens está o alto valor do custo do kW que é produzido pelas PCHs, bem como, a liberação das licenças ambientais que causam atrasos, embora sejam mais simples que as dos grandes empreendimentos como as UHEs. (GALHARDO, 2007).

4 ESTUDO DAS PCHs LAJEADO E ISAMU IKEDA

4.1 Considerações iniciais

Conforme se viu anteriormente, no tópico 2.4, o Estado do Tocantins possui 14 empreendimentos do tipo PCH que unidos geram um total de 171.003 kW de potência. A tabela 4.1 mostra as 14 PCHs que existem no Estado e a potência outorgada que cada uma pode produzir.

Tabela 4.1: PCHs no Estado do Tocantins.

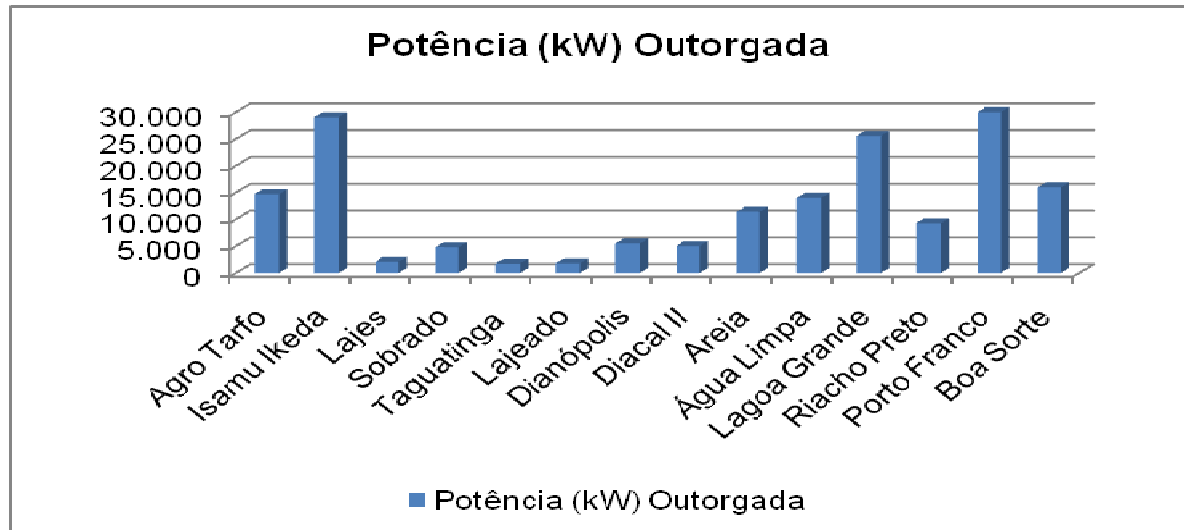
Usinas do tipo PCH em operação no Tocantins			
Usina	Potência (kW) Outorgada	Município	Rio
Agro Tarfo	14.683	Dianópolis	Palmeiras
Isamu Ikeda	29.064	Monte do Carmo/Ponte Alta do Tocantins	Balsas Mineiro
Lajes	2.070	Wanderlândia	Lajes
Sobrado	4.820	Taguatinga	Sobrado
Taguatinga	1.750	Taguatinga	Abreu
Lajeado	1.776	Lajeado	Lajeado Grande
Dianópolis	5.500	Dianópolis	Manoel Alvinho
Diacal II	5.040	Dianópolis	Palmeiras
Areia	11.400	Dianópolis/Novo Jardim	Palmeiras
Água Limpa	14.000	Dianópolis/Novo Jardim	Palmeiras
Lagoa Grande	25.600	Dianópolis/Novo Jardim/Ponte Alta do Bom Jesus	Palmeiras
Riacho Preto	9.300	Dianópolis/Novo Jardim	Palmeiras
Porto Franco	30.000	Dianópolis/Novo Jardim	Palmeiras
Boa Sorte	16.000	Dianópolis/Novo Jardim	Palmeiras
Total	171.003		

Fonte: ANEEL, 2015.

Assim, as que têm as maiores potência são as PCHs Porto Franco que tem 30.000 kW de potência outorgada seguido por Isamu Ikeda com 29.064 kW e Lagoa Grande com 25.600 kW, dentre as que têm as menores potências outorgadas estão as PCHs de Taguatinga com 1.750 kW, Lajeado com 1.776 kW e Lajes com 2.070 kW. Entretanto, este não foi o critério utilizado para a escolha das duas PCHs que foram visitadas e, conseqüentemente estudadas. O critério escolhido foi o da

logística, por se encontrar mais próximo a cidade de Palmas, sendo assim, optou-se pelas PCHs Lajeado em Lajeado e Isamu Ikeda em Ponte Alta do Tocantins, onde ambas serão analisadas nos tópicos seguintes.

Gráfico 4.1: PCHs no Estado do Tocantins.



Fonte: O próprio autor.

O gráfico 4.1 mostra as 14 PCHs que existem no Estado e a potência outorgada que cada uma pode produzir.

4.2 A PCH Isamu Ikeda

A primeira PCH a ser estudada é a Isamu Ikeda que se localiza nos municípios de Monte do Carmo e Ponte Alta do Tocantins. A figura 4.1 mostra a imagem da PCH Isamu Ikeda vista de cima:

Figura 4.1: PCH Isamu Ikeda



Fonte: Google Earth

O rio que abastece esta PCH é o Balsas Mineiro, onde o mesmo pode ser visualizado na figura 4.2:

Figura 4.2: Rio Balsas Mineiro.



Fonte: O próprio autor

Importante relatar que a PCH Isamu Ikeda foi construída ainda quando o território, onde hoje está o Estado do Tocantins, era pertencente ao Estado de Goiás. A visita na PCH Isamu Ikeda ocorreu no dia 01 de abril de 2015. Assim, a Isamu Ikeda foi inaugurada em 04 de novembro de 1982. Entretanto, nem sempre ela possuiu este nome, que por sinal foi uma homenagem ao engenheiro que a projetou, conforme se viu durante a visita a esta PCH. Importante relatar que anteriormente ela era conhecida pelo nome de UHE do Balsas Mineiro.

Algumas indagações foram feitas a respeito desta PCH. Entre elas perguntou-se o destino da energia gerada em Isamu Ikeda. Em resposta o responsável afirmou que toda energia gerada no Estado do Tocantins está interligada, portanto, toda energia vai para a rede de distribuição da concessionária responsável que é a Energisa. Desta forma, não há como saber o destino exato do número de habitantes que recebem energia de uma determinada usina.

A figura 4.3 mostra a imagem da subestação da PCH Isamu Ikeda, onde a energia é transformada e distribuída.

Figura 4.3: Subestação PCH Isamu Ikeda



Fonte: O próprio autor.

A PCH Isamu Ikeda é do tipo a fio d'água, onde abordou-se sobre este tipo no tópico 3.4 deste trabalho. Cabe relatar ainda que em visita a esta PCH, observou-se que a geração de fluxo é de 190 metros cúbicos por segundo. Quando começou a funcionar, a Isamu Ikeda não tinha a mesma potência que possui atualmente, antes era de 16.000 kW.

A figura 4.4 mostra a Isamu Ikeda vista do rio Balsas Mineiro:

Figura 4.4: PCH Isamu Ikeda.



Fonte: O próprio autor.

Dentre os equipamentos utilizados para o funcionamento da Isamu Ikeda estão as turbinas, onde observou-se que elas são do tipo Kaplan, conforme pode-se observar na imagem 4.5.

Segundo GALHARDO (2007), as turbinas do tipo Kaplan são adaptadas para quedas mais brandas, sendo utilizadas para quedas abaixo dos trinta metros de altura. O mesmo autor comenta ainda que elas possuem uma câmara de entrada, um distribuidor e uma roda. Cabe relatar que nem sempre a PCH Isamu Ikeda funcionou com as seis turbinas que operam hoje, antigamente operava com apenas quatro turbinas, mas os tempos foram passando e a necessidade de se aumentar o número de turbinas chegou.

Figura 4.5: Turbinas PCH Isamu Ikeda



Fonte: O próprio autor

Os equipamentos da Isamu Ikeda são de tecnologia avançada, conforme mostra a figura 4.6:

Figura 4.6: Equipamentos



Fonte: O próprio autor.

4.3 A PCH Lajeado

A PCH Lajeado começou a funcionar em 11 de março de 1971, sendo mais antiga que a Isamu Ikeda. Ela se localiza no município de Lajeado e possui de potência outorgada 1.776 kW. A visita ocorreu no dia 27 de março do ano de 2015. A figura 4.7 mostra a PCH de Lajeado:

Figura 4.7: PCH Lajeado



Fonte: Google Earth

O rio que a PCH Lajeado utiliza é o Lajeado Grande, onde pode ser visualizado na figura 4.8:

Figura 4.8: Rio Lajeado Grande.



Fonte: O próprio autor.

É necessário e importante informar que a PCH Lajeado funciona a fio d'água, onde estudou-se sobre este tipo no tópico 3.4, assim como a Isamu Ikeda.

Figura 4.9: PCH Lajeado.



Fonte: O próprio autor.

O destino da energia que é produzida em Lajeado é o mesmo da PCH Isamu Ikeda, ou seja, para a rede de distribuição da concessionária Energisa, onde não é possível saber a população total do destino da energia.

Diferentemente da PCH Isamu Ikeda, a PCH Lajeado tem somente uma turbina tipo Francis. As turbinas Francis operam com quedas que vão de 40 metros até os 400 metros. (GALHARDO, 2007).

Para melhor entendimento, observe-se na figura da imagem 4.10 que mostra a turbina usada na PCH Lajeado:

Figura 4.10: Turbina PCH Lajeado.



Fonte: O próprio autor.

Ademais, a respeito de ambas as PCHs, Isamu Ikeda e Lajeado, indagou-se a respeito do custo operacional de cada uma, entretanto, não se obteve êxito na resposta, pois durante as visitas feitas em ambas, os responsáveis não sabiam informar alguns dados, tentou-se ainda obter mais respostas a respeito, entretanto, resultaram infrutíferas.

Após abordagens a respeito das PCHs Isamu Ikeda e a de Lajeado, cabe agora fazer uma análise comparativa entre as duas para se demonstrar a eficiência energética de cada uma delas. Para tanto elaborou-se uma tabela, veja-se:

Tabela 4.2: Comparação PCH Isamu Ikeda e Lajeado

	ISAMU IKEDA	LAJEADO
Potência elétrica (kW)	29.064	1.776
Número de turbinas	6	1
Tipo da turbina	Kaplan (vertical)	Francis (horizontal)
Tipo da PCH	Fio d'água	Fio d'água
Rio	Balsas Mineiro	Lajeado Grande
Tipo de barragem	Mista (terra e concreto armado)	Mista (terra e concreto ciclópico)
Vazão (m³)	190	3
Altura de queda (m)	17,5	92
Reservatório (km²)	10	0,13
Sistema automatizado	Matriz	Filial
Potência Mecânica (kW)	32.585	2.704,80
Rendimento	0,89	0,66

Fonte: O próprio autor

Importante mencionar que como ambas as PCHs funcionam a fio d'água, necessitam da queda d'água para obter um resultado melhor das máquinas, assim quanto maior for nível de água melhor será o rendimento. Desta forma, em tempos de estiagem ambas as PCHs funcionam com a potência reduzida.

Para obter o resultado do rendimento das PCHs, conforme mostrado na tabela 4.2, utilizou-se a fórmula: $P_{mec} = Q \times H \times g$, onde **P_{mec}** é Potencia Mecânica (kW), **Q** é vazão de água(m³/s), **H** é altura de queda (m), **Pe** é a Potência elétrica, e **g** é a aceleração da gravidade (9,8 m/s²). Assim, fez-se o seguinte cálculo:

PCH Lajeado: $P_{mec} = Q \times H \times g \Rightarrow P_{mec} = 3 \times 92 \times 9,8 = 2704,8 \text{ kW} \Rightarrow \eta = P_{mec} / P_{ele} \Rightarrow \eta = 1776 / 2704,8 = 0,66$.

PCH Isamu Ikeda: $P_{mec} = Q \times H \times g \Rightarrow P_{mec} = 190 \times 17,5 \times 9,8 = 32585 \text{ kW} \Rightarrow \eta = P_{mec} / P_{ele} \Rightarrow \eta = 29064 / 32585 = 0,89$.

Importante mencionar que os dados de vazão e altura de queda das PCHs Isamu Ikeda e Lajeado foram encontrados no endereço eletrônico da empresa Enel Green Power.

Neste sentido, observa-se, diante do resultado dos cálculos, que a PCH Isamu Ikeda é mais eficiente por ter um rendimento melhor em relação à PCH Lajeado, conforme ficou muito bem evidenciado nos resultados obtidos com os cálculos, onde o rendimento da PCH Isamu Ikeda foi de 0,89 e a PCH Lajeado foi de 0,66, sendo menor e menos eficiente.

Cabe relatar que não se pode fazer uso da energia hídrica por muito tempo, pois seu maior recurso, água, está ficando escasso. Assim, neste momento as PCHs são importantes, porém, deve-se recorrer a outros meios de geração de energia elétrica, pois cabe a seguinte indagação: até quando teremos volume suficiente de água para abastecer as PCHs e outros empreendimentos que dependem deste recurso natural? Neste sentido, o Brasil precisa avançar e buscar outros mecanismos para utilizar como fonte de energia elétrica.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No Brasil, conforme se viu no decorrer do trabalho, a maior parte da energia elétrica vem dos recursos hídricos que possui. O país ainda caminha a passos lentos na busca por outras fontes de geração de energia, que não sejam as hídricas. Um dos maiores recursos que o país possui não é muito bem utilizado para captação de energia, é o sol, no qual crê-se que isto ainda não deslanchou devido ao alto custo.

Entretanto, como este não é o foco do trabalho, não convém comentar muito acerca disto. Assim, enquanto não há outros meios mais viáveis, continua-se captando energia das águas. As PCHs, apesar de não produzirem grandes potências de energia, surgem como empreendimentos atrativos.

Por intermédio do presente trabalho observou-se que as Pequenas Centrais Hidrelétricas não necessitam da formação de grandes lagos para produzirem energia elétrica. Obviamente que elas não geram a mesma potência energética que os empreendimentos maiores. Entretanto, o número de PCHs no Brasil tem crescido bastante nos últimos anos.

Através das visitas as duas PCHs, Isamu Ikeda e Lajeado, pode-se observar que estes empreendimentos não necessitam de muita estrutura nem de um rio vasto ou ainda formar um lago, o que causaria um maior dano ambiental. Importante mencionar ainda que as PCHs contribuem bastante na produção energética do país, possuindo 3,52% do total da potência elétrica instalada, sendo a terceira maior fonte.

A visita às PCHs Lajeado e a Isamu Ikeda serviram ainda para verificar os equipamentos de que necessita um empreendimento deste porte, ficando constatado que na PCH Lajeado apenas uma turbina do tipo Francis é suficiente para gerar 1.776 kW de energia. Assim, os gastos com equipamentos de uma PCH são evidentemente menores em relação aos de uma UHE, apesar das PCHs gerarem bem menos energia que as UHEs.

A PCH Lajeado produz apenas 1.776 kW de potência, entretanto a Isamu Ikeda gera quase 30.000 kW de potência. Todavia, ambas são relevantes para a geração de energia tanto para o Estado do Tocantins quanto para o país.

Assim, conclui-se que, por intermédio de visitas as duas PCHs, Isamu Ikeda e Lajeado, pode-se observar que ambas são relevantes para o setor

energético brasileiro, evitando crises no abastecimento do setor elétrico. Neste sentido, na busca por alternativas, as PCHs aparecem como fontes viáveis, tendo em vista que, apesar de a potência máxima ser de 30.000 kW, estas podem auxiliar os grandes empreendimentos que geram energia elétrica.

A PCH Isamu Ikeda é mais eficiente por ter um rendimento melhor em relação à PCH Lajeado.

Por fim, cabe relatar que, as PCHs e outras fontes de energias hídricas podem se tornar obsoletas devido à falta do maior recurso natural utilizado para gerar energia, a água. Por conveniência, aponta-se o estado de São Paulo, onde a escassez de água tem gerado graves transtornos ao referido estado. É importante também relatar que o Tocantins não é diferente de São Paulo, logo, devem-se procurar outros meios mais viáveis, entre eles o uso da energia solar, visto que, no momento, as PCHs é de grande importância no atendimento da demanda de energia elétrica, no entanto, futuramente, devido à falta de água podem não atender com a mesma eficácia que se vê atualmente.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). 2005. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 2ª Edição. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 05 abr. 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). 2015. **Capacidade de Geração do Brasil**. Banco de Informações de Geração. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 25 mar. 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 2008. 3ª ed. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap3.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução nº 652, de 9 de dezembro de 2003. **Estabelece os critérios para o enquadramento de aproveitamento hidrelétrico na condição de Pequena Central Hidrelétrica (PCH)**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2003652.pdf>>. Acesso em: 08 abr. 2015.

ALVES FILHO, José. **Matriz energética brasileira**: da crise à grande esperança. Rio de Janeiro: Mauad Editora, 2003.

BARBOSA, Admilson Clayton; SOUZA, Marina Moura de. **Incentivos às Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) proinfa e MDL**. Curitiba, 2009. Disponível em: <[http://www.renenergyobservatory.org/alfresco/d/a/workspace/SpacesStore/8c4d5e25-d7b8-4450-ba8f-ccac253cf9ff/Incentivos%20%C3%A0s%20Pequenas%20Centrais%20Hidrel%C3%A9tricas%20\(PCHS\)%20PROINFA%20e%20MDL.PDF?guest=true](http://www.renenergyobservatory.org/alfresco/d/a/workspace/SpacesStore/8c4d5e25-d7b8-4450-ba8f-ccac253cf9ff/Incentivos%20%C3%A0s%20Pequenas%20Centrais%20Hidrel%C3%A9tricas%20(PCHS)%20PROINFA%20e%20MDL.PDF?guest=true)>. Acesso em: 12 abr. 2015.

BERMANN, Célio. **As novas energias do Brasil**: dilemas da inclusão social e programas de governo. Rio de Janeiro: FASES, 2007.

BERMANN, Célio. **Crise ambiental e as energias renováveis**. Revista Ciência e Cultura, vol. 60 nº 3. São Paulo, 2008.

BORTOLETO, Elaine Mundim. **A Implantação de Grandes Hidrelétricas**: Desenvolvimento, Discurso e Impactos. São Paulo: UNESP, 2001. Disponível em: <http://www.maternatura.org.br/hidreletricas/biblioteca_docs/grandes%20hidrelétrica.s.pdf>. Acesso em: 31mar. 2015.

BRASIL. **Decreto nº. 99.274/90**. Regulamenta a Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981, e a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõem, respectivamente sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a

Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências. Brasília, 1990. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/antigos/d99274.htm>. Acesso em: 23 abr. 2015

BRASIL. **Projeto de Lei nº 4.404/2008**. Altera a Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996. Brasília: Senado Federal, 2008. Disponível em: <<http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=418096>>. Acesso em: 28 abr. 2015.

BURATTINI, M. P. T. de Castro. **Energia: uma abordagem multidisciplinar**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2008.

CARVALHO, Natália B. de. **Avaliação dos impactos sinérgicos e cumulativos de Pequenas Centrais Hidrelétricas construídas em sequência**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2014. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/carvalho_natalia.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2015.

CHIARAVALLOTI, Rafael Moraes; PÁDUA, Cláudio Valadares. **Escolhas sustentáveis: discutindo biodiversidade, uso da terra, água e aquecimento global**. São Paulo: Editora Urbana, 2011.

DEMANBORO, A. C.; PERECIN, A. L.; FERRÃO, A. M. A. **Pequenas Centrais Hidrelétricas: desafios para a conservação ambiental**. Campinas: IV Encontro Nacional e II Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, 2007.

DIONÍSIO, Felipe C.; *et al.* **Geração de energia elétrica a partir da energia eólica**. Piracicaba: Anhanguera Educacional, 2013.

ELETROBRÁS. **Diretrizes para estudos e projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas**. Diretoria de Engenharia, 2000.

ENEL GREEN POWER. **Isamu Ikeda Hydroelectric complex**. 2015. Disponível em: <http://www.enelgreenpower.com/pt-PT/brazil/power_plants/plants/isamu_ikeda/>. Acesso em: 05 jul. 2015.

ENEL GREEN POWER. **Lajeado Hydroelectric plant**. 2015. Disponível em: <http://www.enelgreenpower.com/pt-PT/brazil/power_plants/plants/lajeado/>. Acesso em: 05 jul. 2015.

GALHARDO, Camila Rocha. **O Licenciamento Ambiental de PCH e a Comunicação Social: Análise dos estudos de caso de Funil e Carangola**. Itajubá: Universidade Federal de Itajubá, 2007.

GIL, Renan da Silva. **Empreendimentos hidrelétricos no estado do Tocantins e a qualidade dos estudos de licenciamento ambiental**. Dissertação de Mestrado. Palmas: UFT, 2012.

GRIMONI, José A. Baesso; GALVÃO, Luiz C. Ribeiro; UDAETA, Miguel E. Morales. **Iniciação a conceitos de sistemas energéticos para o desenvolvimento limpo**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Estados:** Tocantins. 2014. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=to>>. Acesso em: 21 abr. 2105.

KAGAN, Nelson; OLIVEIRA, Carlos C. B. de; ROBBA, Ernesto João. **Introdução aos Sistemas de distribuição de Energia Elétrica**. 2ª Edição. São Paulo: Blucher, 2010.

MAGALHÃES, Ricardo Nogueira. **Estimação de custos para projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas**. Itajubá: Universidade Federal de Itajubá, 2009.
NOGUEIRA, S. P.; SOLER, F. D.; MASCARIN, A. F. **Entraves do procedimento de licenciamento ambiental do setor elétrico**. Revista PCH notícias e PCH News. Ano 10, nº. 39, p. 22-26.

PERAZZOLI, Maurício; COUTINHO, Solange da V.; SILVA, J. C. M. da. **Sugestão de critérios ambientais para avaliação de impacto ambiental de Pequenas Centrais Hidrelétricas na bacia hidrográfica do rio do Peixe – SC**. Revista PCH notícias e SHP News. Ano 12, nº 46. Itajubá, 2010.

PINELI, Geraldo. **Análise de viabilidade econômica e financeira de uma Pequena Central Hidrelétrica**. Botucatu: Universidade Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2005.

PORTAL PCH. **O que é uma PCH?** 2014. Disponível em: <<http://www.portalpch.com.br/saiba-mais.html>>. Acesso em: 14 abr. 2015.

QUEIROZ, Rosemar; *et al.* **Geração de energia elétrica através da energia hidráulica e seus impactos ambientais**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental - REGET n. 2236 - v. 13 n. 13. Santa Maria: UFSM, 2013. Disponível em: <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/reget/article/view/9124>>. Acesso em: 31 mar. 2015.

RODRIGUES, Eustáquio José. **Setor elétrico brasileiro: estrutura, funcionamento, instituições e perspectivas para o controle**. São Paulo: Biblioteca 24 horas, 2011.

ROSSI, Ricardo Theophilo. **Uso do crédito de carbono gerado em Pequenas Centrais Hidrelétricas**. Rio de Janeiro: Universidade Cândido Mendes, 2010.

SAMWAYS, C. A.; SUCEK, E. M.; QUEIROZ, M. H. B. **Estudo de implantação de uma Central Hidrelétrica de Pequeno Porte na área urbana de Ponta Grossa/PR**. Curitiba: Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, 2004. Disponível em: <http://www.daelt.ct.utfpr.edu.br/engenharia/tcc/monografia_estudo_usina_ponta_grossa_2004.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2015.

SANTOS, Fernanda K. Cavaletti. **Os impactos econômicos e socioambientais do aproveitamento hidrelétrico da bacia do rio Xingu: estudo de caso da Usina Hidrelétrica de Belo Monte**. São Paulo: UNICAMP, 2011. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?down=000795630>>. Acesso em: 01 abr. 2015.

SIQUEIRA, Ricardo B. P. **Construção de diagramas de custos para PCH incorporando turbinas de mercado**. Guaratinguetá: UNIP, 2006. Disponível em: <http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/99328/siqueira_rbp_me_guara.pdf?sequence=1>. Acesso em: 17 abr. 2015.

TIAGO FILHO, G. Lúcio; NOGUEIRA, F. J. Horta. **As novas diretrizes da ANEEL para o enquadramento das pequenas centrais hidrelétricas**. CERPCH, 2005. Disponível em: <<http://www.cerpch.unifei.edu.br/arquivos/artigos/pch-shp-20-pag16a18.pdf>>. Acesso em: 08 abr. 2015.

VIANA, Fabiana Gama. **Primeira PCH da América do Sul vai ser restaurada**. Revista PCH notícias e SHP News. Ano 2, nº. 6. Itajubá, 2000.

WISSMANN, Leandro; GRANDO, M. Nelson. **Estudo prévio da instalação de uma Pequena Central Hidrelétrica no manancial do Rio Pato Branco no Estado do Paraná**. Pato Branco: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/442/1/PB_COECI_2012_1_03.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2015.