

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

ANDRÉ NARDINI QUEIROZ PERGHER

**Pequena Central Hidrelétrica: procedimentos práticos para sua
implantação utilizando instrumentos públicos.**

**São Carlos
2011**

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

Pergher, André Nardini Queiroz.

P439p Pequena central hidrelétrica : procedimentos práticos para sua implantação utilizando instrumentos públicos. / André Nardini Queiroz Pergher ; orientador Frederico Fábio Mauad -- São Carlos, 2011.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2011.

1. Energia. 2. PCH. 3. Proinfa. 4. Prospecção. 5. Viabilidade. I. Título.

ANDRÉ NARDINI QUEIROZ PERGHER

**PEQUENA CENTRAL
HIDRELÉTRICA: PROCEDIMENTOS
PRÁTICOS PARA SUA
IMPLANTAÇÃO UTILIZANDO
INSTRUMENTOS PÚBLICOS.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Escola de Engenharia de São
Carlos, da Universidade de São Paulo

Curso de Engenharia Elétrica com ênfase
em Sistemas de Energia e Automação

ORIENTADOR: Frederico Fábio Mauad

São Carlos
2011

SUMÁRIO

RESUMO	I
ABSTRACT	III
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. A geração de energia.....	1
1.2. A importância da energia renovável.....	1
1.3. A energia hídrica e a hidrelétrica.....	2
1.4. A pequena central hidrelétrica.....	3
1.5. Vantagens e desvantagens de uma PCH.....	3
1.6. O Proinfa.....	4
1.7. Motivação.....	4
2. OBJETIVOS DO TRABALHO	5
2.1. Cálculo do potencial para o inventariado.....	5
2.2. Estudo do caso – Ribeirão da Onça	6
2.3. Importância da PCH no panorama atual.....	6
3. PCH – ASPECTOS TÉCNICOS E AVALIAÇÕES.....	7
3.1. Introdução.....	7
3.2. O desafio da energia renovável e o papel no âmbito nacional	8
2.1 A implantação da usina.....	9
3.3. A pequena central hidrelétrica.....	11
3.3.1. Definição.....	11
3.3.2. Incentivos.....	11
3.3.3. Legislação e normas.....	12
3.3.4. Inventariado	13
3.4. PROINFA.....	14
3.4.1. O programa	14
3.4.2. Processo de seleção.....	17

3.5.	Outros programas de incentivo	19
4.	ESTUDO DO CASO – RIBEIRÃO DA ONÇA	20
4.1.	Motivação da escolha	20
4.2.	Localização.....	21
4.3.	Vazão histórica	22
5.	MÉTODOS PARA OS CÁLCULOS.....	24
5.1.	Introdução aos métodos	24
5.2.	Tipo de Pequenas Centrais Hidrelétricas.....	24
5.2.1.	Pequena Central de Baixa queda.....	24
5.2.2.	Pequena Central Afastada da Queda.....	25
5.2.3.	Pequena Central Afastada da Queda sem Canal	26
5.2.4.	Pequena Central Com Alta Queda e Próxima da Barragem.....	26
5.3.	Tipos e calculo do vertedouro.....	27
5.4.	Dimensionamento Hidráulico.....	28
5.5.	Dimensionamento do Canal.....	30
5.6.	Tubulação de alta pressão.....	32
5.7.	Determinação da Espessura da Parede da Tubulação	33
5.8.	Chaminé de Equilíbrio	35
5.9.	Determinação da Queda Líquida	37
5.10.	Principais Alturas de Queda.....	38
5.11.	Outros fatores para cálculo.....	39
6.	CÁLCULOS PARA DIMENSIONAMENTO DO RIO DA ONÇA	40
6.1.	Tipo de PCH	40
6.2.	Cálculo dos parâmetros de projeto	40
6.2.1.	Cálculo do Vertedouro.....	40
6.2.2.	Capacidade de Descarga	40
6.2.3.	Canal de Adução	41
6.2.4.	Tubulação de Alta Pressão (Forçada)	41
6.2.5.	Espessura da Parede da Tubulação	41
6.2.6.	Cálculo da Necessidade da Chaminé de Equilíbrio	41
6.3.		42
6.4.	Determinação da queda líquida e potência instalada.....	42
6.4.1.	Considerações iniciais.....	42
6.4.2.	Cálculo das Perdas de Carga no Sistema Adutor	43
6.4.3.	Cálculo da Potência Instalada	45

6.5.	Determinação da Turbina.....	46
6.6.	Dimensionamento da casa de máquinas	49
6.7.	Detalhamento da barragem e represa	52
7.	CONCLUSÕES.....	57
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59

Resumo

Este trabalho apresenta um breve levantamento sobre quais são as etapas necessárias para a realização de um novo empreendimento de uma pequena central hidrelétrica. Aborda-se a legislação que vigora este empreendimento, assim como as normas e métodos para sua concretização. Além disso, o trabalho aborda os programas de incentivo para as fontes renováveis, principalmente a pequena central hidrelétrica. Como tema, propõe-se um estudo de potencial energético de um curso d'água a partir de dados disponíveis para qualquer empreendedor, independente de sua classificação, e também utilizando instrumentos de licença pública. E por fim, como ilustração do trabalho, realizou-se um estudo de caso para viabilizar os métodos propostos no trabalho.

Palavras-chave: pch, proinfa, prospecção, viabilidade, energia.

Abstract

This work presents a brief of what steps are required to perform a new development of a small hydroelectric plant. Deals with the legislation that prevails in these endeavors, as well as the standards needed and math methods to achieve it. In addition, the work discuss about Brazilian incentive programs for renewable energy sources, mainly small hydro plants. About the work theme, it's about a potential energy study of a water course, when the data available is open to the public and even the instruments used to measure the parameters are public licensed. And finally, a case study to show that the math method proposed can be fitted to some water courses that have public data.

Keywords: small hydroelectric station, proinfa, mining, feasibility, energy.

Capítulo 1

1. Introdução

1.1. A geração de energia

A geração é caracterizada como o primeiro processo na entrega da eletricidade aos consumidores. Atualmente, a nova ordem mundial é a busca pela auto-suficiência em geração de energia, aliada a uma diversificação da matriz energética, ou seja, a procura por diferentes fontes de energias alternativas que supram a demanda interna dos países, no caso de uma escassez de combustíveis fósseis. Para tanto, os países têm que ter sob controle fontes primárias de geração de energia elétrica, térmica e veicular e em um mundo globalizado é necessário que haja uma interdependência entre os países e uma auto-suficiência em alguma fonte de energia.(IGNATIOS, 2006)

Desde sua ampliação, as fontes de energia são divididas em dois grupos bem definidos: renováveis e não-renováveis. O conceito de renovabilidade é caracterizado absolutamente pela energia ser proveniente do Sol, direta ou indiretamente. Entretanto, algumas definições procuram ponderar este conceito, já que devido ao fornecimento estar extremamente ligado ao consumo, a escala temporal de fornecimento deve ser comparada ao método de utilização. Um exemplo desta ponderação está em classificar o combustível fóssil como uma fonte de energia não-renovável, uma vez que mesmo sendo proveniente indiretamente do Sol, a sua exploração não acompanha o seu surgimento.

1.2. A importância da energia renovável

O conceito de renovabilidade é muito importante para assegurar o desenvolvimento de um país tanto economicamente como socialmente. Desde o início do século XX, o mundo tem sofrido com a exploração de seus recursos naturais, com a poluição da atmosfera e com a degradação do solo. A busca por inovação em diversas tecnologias para melhoria de vida sempre teve interligada a quantidade de energia gasta no processo. O petróleo, por exemplo, considerado uma fonte tradicional

de energia, foi tão continuamente extraído que seus poços já começam a se esgotar, praticamente a 100 anos após o início de sua utilização efetiva. O carvão, um recurso ainda mais antigo, também é considerado esgotável devido à mesma definição já descartada, sobre a origem contra a exploração. A energia nuclear além de não renovável nos lembra dos perigos de seu processo e de sua instabilidade, vista por exemplo nos acidentes naturais que acabam por trazer perigo para as instalações nucleares. Seriam essas as fontes tradicionais que acompanharam o processo de muitas nações.

As fontes alternativas então acabam por ser, como o próprio nome enuncia, alternativa para essa escassez de possibilidades. Essas fontes alternativas, além de ter um papel protetor diante dos desgastes ambientais, são renováveis, e por isso intermitentes. Exemplos de fontes renováveis incluem a energia solar (painel solar, célula fotovoltaica), a energia eólica (turbina eólica, cata-vento), a energia hídrica (roda d'água, turbina aquática) e a biomassa (matéria de origem vegetal).

Nesta busca por fontes alternativas o Brasil apresenta grande diferencial em relação a outros países, pois a sua imensa biodiversidade, permite a geração de energia por vários meios, incluindo as fontes de energia renováveis como a hidrelétrica e também a busca pelo desenvolvimento de fontes alternativas como a utilização da biomassa, para produção de combustíveis renováveis, como o álcool, o biodiesel, e, mais recentemente, o H-bio (AGRONEGÓCIOS..., 2006)

1.3. A energia hídrica e a hidrelétrica

A energia hídrica é proveniente da energia potencial de uma certa massa de água, relacionada ao meio de obtenção. A principal forma de aproveitamento energético da água é a construção de uma hidrelétrica, ou seja, de uma usina, seja ela de pequeno, médio ou grande porte, que ira controlar e aproveitar um desnível da água para o surgimento desta energia potencial.

Antes de se tornar energia elétrica, a energia primária deve ser convertida em energia cinética de rotação. O dispositivo que realiza essa transformação é a turbina. Ela consiste basicamente em uma roda dotada de pás, que é posta em rápida rotação ao receber a massa de água. O último elemento dessa cadeia de transformações é o gerador, que converte o movimento rotatório da turbina em energia elétrica.(SAO FRANCISCO).

1.4. A pequena central hidrelétrica

A pequena central hidrelétrica (PCH) é o empreendimento mais visado como solução de fornecimento energético para regiões em que sua construção torna-se relativamente facilitada pelos aspectos geográficos e econômicos. De baixo custo e pouco complexa, as PCHs se tornaram uma ótima escolha para conglomerados de diversas atividades econômicas distantes do Sistema Interligado Nacional (SIN), sejam agrícolas ou industriais.

O conceito atual de Pequena Central Hidrelétrica é definido pela Resolução nº. 652 da ANEEL, de 9 de dezembro de 2003 . De acordo com esta norma, é enquadrado como PCH o aproveitamento hidrelétrico com potência superior a 1.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW, destinado à produção independente, autoprodução ou produção independente autônoma, com área do reservatório inferior a 3,0 km².(ANEEL, 2003).

1.5. Vantagens e desvantagens de uma PCH

As PCH representam um mecanismo extremamente eficiente quando se diz no suprimento da demanda que diz respeito ao mercado nacional brasileiro. Diversas medidas foram tomadas pelo governo desde 1995 e sendo aprimoradas e adequadas até recentemente. Dentre elas, pode-se citar a comercialização das energias geradas pelas Pequenas Centrais Hidrelétricas com concessionárias de serviço público tendo como teto tarifário o valor normativo estabelecido conforme a **Resolução ANEEL nº 248**, de 06 de maio de 2002.(ANEEL,2002). Também a participação no rateio da Conta de Consumo de Combustível(CCC), quando substituir geração térmica a óleo diesel, nos sistemas isolados.(Lei n 10.438, de 26 de abril de 2002).

Por já ser apontada como uma das principais energias alternativas a se expandirem no Brasil, as PCHs são alvos de estudos avançados em diversas áreas de pesquisa no Brasil, contando hoje com uma área técnica bem específica para este tipo de empreendimento e também indústrias de base para a conclusão dos projetos. Portanto o país que obtém uma grande parte da sua energia elétrica a partir da força das águas, pode aproveitar ainda mais esse potencial com o uso de PCH's.

1.6. O Proinfa

O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) basicamente cria incentivos para que novos empreendimentos das principais fontes de energias alternativas disponíveis no Brasil (eólica, biomassa e pequena central hidrelétrica) sejam promovidos e conseqüentemente representem uma participação maior no SIN. Uma divisão foi feita diante da necessidade de controle deste incentivo: Coube ao Ministério de Minas e Energia (MME), definir as diretrizes, elaborar o planejamento do Programa e definir o valor econômico de cada fonte e à Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobrás), o papel de agente executora, com a celebração de contratos de compra e venda de energia (CCVE). (MME,SITE)

O Proinfa também proporciona a redução da emissão de gases de efeitos estufa da ordem de 2,8 milhões de toneladas de CO₂/ano ao incluir as fontes limpas na produção de energia elétrica do país. O programa permite ainda a distribuição da produção de energia pelo Brasil, o que resulta em maior distribuição de empregos e renda entre os estados, além de propiciar a capacitação de técnicos e indústrias em novas tecnologias de geração de energia elétrica.(ELETROBRAS,SITE)

Portanto, o Proinfa foi um grande pilar para que as PCHs abrissem uma luz para os grandes investidores do país, sendo um projeto que ao mesmo tempo aliou a idéia de redução de tempo de construção das usinas como também criou diretrizes que facilitaram a concretização dos projetos. Em conjunto a todos esses fatores, esta também a vantagem da criação de muitos projetos, reduzindo os custos de equipamentos em comum às usinas.

1.7. Motivação

Este trabalho tem como finalidade levantar quais são as vantagens da PCH tanto como fonte de energia, levantando a facilidade de se obter os dados necessários para o início do empreendimento e suas vantagens, como economicamente, fazendo-se um estudo do caso utilizando-se métodos de simples cálculo e fácil obtenção e também utilizando um estudo de viabilidade para o negócio.

Mesmo com muitos estudos já realizados sobre essa fonte de energia, fica registrado no trabalho o custo zero, ou seja, a utilização de apenas instrumentos disponíveis publicamente, e também atingindo o início da primeira parte de um projeto novo: o cálculo do potencial.

Capítulo 2

2. Objetivos do trabalho

2.1. Calculo do potencial para o inventariado

Uma vez que a energia gerada na PCH é integrada ao sistema interligado nacional, compondo uma grande rede de energia, então, em tese, ela pode ser consumida em qualquer lugar do país. Na prática, há um aumento da confiabilidade de fornecimento e qualidade da energia junto ao sistema na qual a usina está conectada. A eletricidade gerada por meio das PCHs pode servir ainda para o abastecimento de comunidades isoladas, as quais, por diversas particularidades, não são supridas por linhas do sistema interligado.

O objetivo principal do trabalho é conseguir levantar os dados iniciais para que um empreendedor decida iniciar o projeto de uma PCH. De acordo com o “Manual de Inventário Hidrelétrico de Bacias Hidrográficas” da Eletrobrás (MME, 2007), as etapas de estudos e projetos de um aproveitamento hidrelétrico são: Estimativa do Potencial Hidrelétrico, Inventário Hidrelétrico, Viabilidade, Projeto Básico e Projeto Executivo.

Como a idéia é utilizar métodos disponíveis publicamente assim como instrumentos de medição também públicos ficam a disposição apenas os dados necessários para se estimar o potencial hidrelétrico, não tomando partido sobre a outra parte da etapa e nem das próximas etapas.

Com a finalidade de elaborar este projeto para uma PCH, levou-se em consideração características hidrológicas da área de estudo e critérios hidráulicos. Escolheu-se a melhor localização da unidade geradora – a partir da carta topográfica representativa do interior do estado de São Paulo adquirida do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) – a qual foi dimensionada. Desta maneira foi assegurado a minimalização de recursos para se obter os dados necessários para os cálculos.

2.2. Estudo do caso – Ribeirão da Onça

Para o dimensionamento da PCH foi escolhido um curso d'água para o qual havia dados históricos de vazões registrados no site do Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (www.sigrh.sp.gov.br). Assim, o curso d'água escolhido foi o Ribeirão da Onça, que se localiza no município de São Carlos, localizado no centro do estado de São Paulo. Os dados de vazões foram medidos Fazenda Santa Terezinha (latitude 22°12'04" e longitude 48°02'35"), e possuem registro de vazões diários do ano de 1969 a 2004.

A necessidade de um estudo do caso parte de que os métodos apresentados no trabalho necessitam de uma aplicação para que futuramente possa ser dimensionado toda a parte civil, elétrica e mecânica da obra. Desta maneira, é possível também cotar qual é o melhor tipo de instalação necessária, e dependendo desta instalação, o método adequado. Assim garante-se um possível inventariado e também já inicia-se o processo de estimar o potencial hidráulico do curso d'água.

2.3. Importância da PCH no panorama atual

A escolha de dimensionar uma PCH provém principalmente da importância desta fonte de energia no panorama atual. Segundo a ANEEL, o mercado de energia elétrica experimenta um crescimento da ordem de 4,5% ao ano, ultrapassando a casa dos 100 mil MW em 2008. O planejamento governamental de médio prazo previa a necessidade de investimentos da ordem de R\$ 6 a 7 bilhões/ano para expansão da matriz energética brasileira, em atendimento à demanda do mercado consumidor.

Deste modo, sendo a PCH um artifício interessante para pequenas regiões onde acredita-se em um promissor investimento de empresas, o trabalho focou-se em buscar uma região que este levantamento de potencial possa ser interessante para o mercado local. Isto porque o estudo abrange muito mais a localidade do que a globalidade.

A região de São Carlos foi escolhida pela facilidade dos dados, a possibilidade de visita do local e atendendo também a demanda de ser um pólo tecnológico com possíveis idealizações de novos empreendimentos próximos a fonte energética. Deste modo fica garantida uma possível viabilidade econômica do projeto.

Capítulo 3

3. PCH – Aspectos técnicos e avaliações

3.1. Introdução

A energia elétrica é um insumo essencial para o desenvolvimento econômico e social. A demanda de eletricidade no Brasil tem se apresentado crescente, exigindo elevados investimentos no setor, a fim de garantir a expansão do parque industrial e da capacidade de desenvolvimento do nosso país.

A geração de energia elétrica no Brasil provém, em sua maioria, de recursos hídricos. Entretanto, a construção de grandes usinas hidrelétricas demanda altos investimentos bem como impactos ambientais e sócio-econômicos. Assim, tornam-se necessárias as alternativas sustentáveis e de baixo investimento para a ampliação da matriz energética nacional.. Neste contexto, as pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) constituem alternativas bastante vantajosas, permitindo a inclusão de vários tipos de investidores, com destaque para a iniciativa privada, além do uso múltiplo dos reservatórios.

Ao contrário das grandes usinas hidrelétricas, as PCHs funcionam com a vazão fornecida pelo curso d'água, a fio d'água, não havendo, assim, a necessidade de alteração do curso natural da água e do regime hidrológico da região ou de grandes áreas de alagamento. Portanto, não provocam grandes danos ambientais, econômicos e sociais às populações da região onde é instalada. A energia elétrica oriunda de PCH é considerada renovável, limpa e de baixo impacto ambiental, estando em sintonia com as orientações e disposições do Protocolo de Kyoto, que busca minimizar as emissões de gases do efeito estufa na atmosfera.

Uma vez que a energia gerada na PCH é integrada ao sistema interligado nacional, compondo uma grande rede de energia, então, em tese, ela pode ser consumida em qualquer lugar do país. Na prática, há um aumento da confiabilidade de fornecimento e qualidade da energia junto ao sistema na qual a usina está conectada.

A eletricidade gerada por meio das PCHs pode servir ainda para o abastecimento de comunidades isoladas, as quais, por diversas particularidades, não são supridas por linhas do sistema interligado.

3.2. O desafio da energia renovável e o papel no âmbito nacional

O Brasil é um país privilegiado quando esta em questão o potencial de energia renovável disponível em sua região. Entretanto, não há dúvida de que ela ainda é pouco aproveitada em termos de exploração e também na área de pesquisa tecnológica.

Visto este cenário, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) lançou recentemente um plano intitulado Plano Decenal de Expansão de Energia de 2020. Este plano surgiu diante de um aspecto importantíssimo quando se quer calcular a necessidade energética de uma nação: o crescimento populacional. De acordo com o EPE, existe uma estimativa que diz que o número de habitantes do Brasil pode chegar de 195 milhões para 205 milhões em 10 anos, enquanto o número de residências pode quadruplicar.

Sendo assim, a energia alternativa surge como um alvo focado para estudos, afim de melhorar o seu aproveitamento. Visto isso, o Brasil optou por destinar uma verba para investimentos na área de energia renovável, em um valor em torno de R\$ 45 bilhões. Esta verba será destinada para projetos ainda não contratados de biomassa, energia eólica e pequena centrais hidrelétrica.

A tabela a seguir, retirada do atlas de energia renovável, ilustra a situação do Banco de Informações de Geração(BIG) da ANEEL, em novembro de 2008.

Tabela 1 – BIG ANEEL

Tipo	Quantidade	Potência outorgada (kW)	Potência fiscalizada (KW)	%
CGH	227	120.009	146.922	0,11
EOL	17	272.650	289.150	0,26
PCH	320	2.399.598	2.381.419	2,29
SOL	1	20	20	0

UHE	159	74.632.627	74.851.831	71,20
UTE	1.042	25.383.920	22.585.522	24,22
UTN	2	2.007.000	2.007.000	1,92

Estes dados confirmam a pouca participação da PCH ainda na matriz energética se comparada aos grandes fornecedores como a térmica e a grande central hidrelétrica. Entretanto o papel da PCH não se destaca como já mencionado, na matriz global e sim na perspectiva local. Fica mais evidente se forem analisadas as regiões onde a PCH tem maior influencia que a própria linha geral de transmissão. Infelizmente este é um dado não preciso pois só é possível perceber que a PCH está como a energia renovável de maior potência outorgada e fiscalizada, porém não direcionando para que tipo de uso esta sendo utilizada.

2.1 A implantação da usina

A implantação de uma usina hidrelétrica é uma atividade complexa, pois envolve uma série de estudos e projetos interdisciplinares que visam avaliar a viabilidade técnica, econômica e ambiental de um local para o aproveitamento do potencial hidroenergético. No fluxograma , é possível observar as atividades que são típicas para o desenvolvimento de estudos de PCHs .(ELETROBRAS, 2000)

Analisando o fluxograma da figura 1, é possível notar as diferentes engenharias presentes em um projeto completo de uma usina hidrelétrica de acordo com as diretrizes estabelecidas.

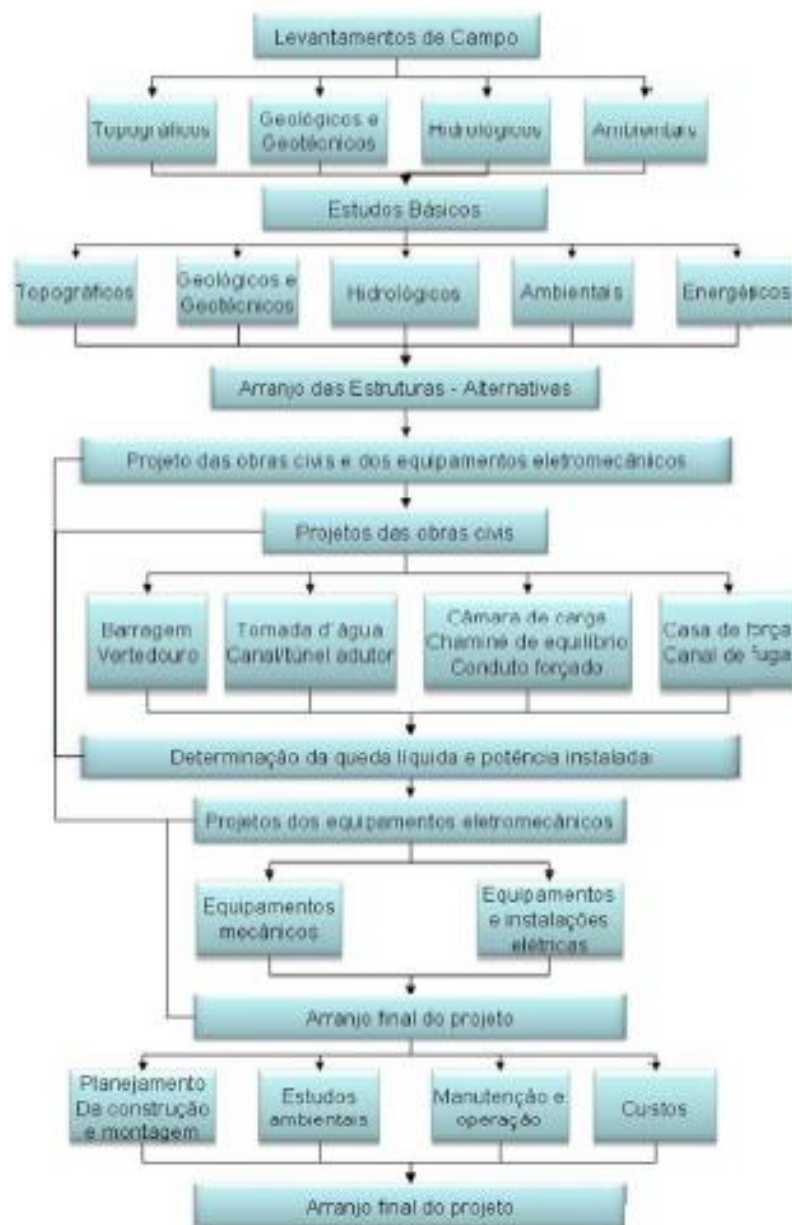


Figura 1 – Fluxograma (ELETROBRAS, 2000)

Para efeito do projeto, nele será analisado apenas o lado da viabilidade técnica. Sendo assim, toda a parte da Engenharia Civil, Mecânica e Elétrica, que envolva a parte técnica do projeto, será levada em conta, de certa forma considerando o valor econômico e ambiental. Além disso, apenas o levantamento do potencial de instalação será analisado, de forma que também é o início para a prospecção de um novo empreendimento.

3.3. A pequena central hidrelétrica

3.3.1. Definição

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. A área do reservatório é delimitada pela cota d'água associada à vazão de cheia com tempo de recorrência de 100 anos.(ANEEL,2003)

A ANEEL também classifica algumas obras de centrais hidrelétricas como PCHs mesmo que não atendam a condição de área máxima inundada, desde que com parecer técnico da própria agência classifique necessário, considerado alguns aspectos econômicos e socioambientais.

3.3.2. Incentivos

Sendo um empreendimento ligado ao setor privado, mas extremamente dependente de um órgão regulatório (ANEEL), o surgimento de novas obras está relacionado a incentivos outorgados pela agência. Da mesma forma que os incentivos colaboram com a iniciativa do empreendedor de escolher realizar a PCH, ele colabora com a necessidade de expansão energética do País.

Segue uma lista de incentivos, feitos por leis e decretos, que abrangem as áreas ao redor das linhas de transmissão e em pontos distantes, caracterizados por uma expansão agrícola:

- Autorização não-onerosa para explorar o potencial hidráulico (**Lei nº 9.074**, de 7 de julho de 1995, e **Lei nº 9.427**, de 26 de dezembro de 1996);
- Descontos não inferiores a 50% nos encargos de uso dos sistemas de transmissão e distribuição (**Lei nº 10.438**, de 26 de abril de 2002; **Resolução ANEEL nº 281**, de 10 de outubro de 1999; e **Resolução ANEEL nº 219**, de 23 de abril de 2003);
- Livre comercialização de energia com consumidores ou conjunto de consumidores reunidos por comunhão de interesses de fato ou de direito, cuja carga seja igual ou superior a 500kW (**Lei nº 9.648**, 27 de maio de 1998, e **Lei nº 10.438**, de 26 de abril de 2002);

- Livre comercialização de energia com consumidores ou conjunto de consumidores reunidos por comunhão de interesses de fato ou de direito, situados em um sistema elétrico isolado, cuja carga seja igual ou superior a 50kW (**Lei nº 10.438**, de 26 de abril de 2002);
- Isenção relativa à compensação financeira pela utilização de recursos hídricos (**Lei nº 7.990**, de 28 de dezembro de 1989, e **Lei nº 9.427**, de 26 de dezembro de 1996);
- Participação no rateio da Conta de Consumo de Combustível – CCC, quando substituir geração térmica a óleo diesel, nos sistemas isolados (**Lei nº 10.438**, de 26 de abril de 2002);
- Isenção de aplicação, anualmente, de no mínimo um por cento da receita operacional líquida em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico – P&D (**Lei nº 9.991**, de 24 de julho de 2000);
- Comercialização das energias geradas pelas Pequenas Centrais Hidrelétricas com concessionárias de serviço público tendo como teto tarifário o valor normativo estabelecido conforme a **Resolução Aneel nº 248**, de 06 de maio de 2002;
- MRE – Mecanismo de Relocação de Energia para centrais hidrelétricas conectadas ao sistema interligado e não despachadas centralizadamente pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS (**Decreto nº 2.665**, de 2 de janeiro de 1998, com a redação dada pelo **Decreto nº 3.653**, de 7 de novembro de 2000, e **Resolução ANEEL nº 169**, de 3 de maio de 2001).
- PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica instituído com objetivo de aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos de produtores independentes autônomos, concebidos com base em PCH, e fontes eólicas e biomassa, mediante procedimentos estabelecidos nas **Leis 10.438**, de 26 de abril de 2002, **Lei 10.762**, de 11 de novembro de 2003, e **Decreto 4.541**, de 23 de dezembro de 2002.

3.3.3. Legislação e normas

O curso d'água é um bem que merece total regulamentação para o seu melhor aproveitamento e também para evitar abusos e exploração exacerbada apenas para finalidade lucrativa. Sendo assim, a utilização deste bem merece uma atenção

maior dos administradores públicos e da legislação brasileira. Toda esta regulamentação, a base de legislação e normas, abrange desde a própria Constituição Brasileira, como também a regras que impõe limite a qualquer atividade relacionada ao aproveitamento enérgico destes potenciais hidráulicos.

O trabalho não procura explorar estas leis, pois aquilo que vige regulamentar a prospecção, ou seja, o levantamento do inventariado e também do potencial da região, não compete com a maneira de que foram levantados os dados, visto que os métodos serão mais direcionados ao efeito do calculo para a região do estudo do caso e também regiões de aspectos socioambientais parecidos.

3.3.4. Inventariado

Análise inicial de um potencial hídrico, o inventariado é a etapa onde ‘se faz levantamento de características de uma unidade hidrográfica, estas relacionadas ao potencial energético do curso d’água. O princípio básico de um inventariado é conseguir minimizar todos os fatores que levam “custos” no empreendimento, com a finalidade de achar um ponto ótimo. Um exemplo: quando levado em impactos ambientais, achar a melhor forma de encarar o empreendimento reduzindo os impactos ambientais mas mantendo a melhor média de aproveitamento energético.

Os estudos do inventário hoje são divididos em duas categorias. Isto pelo fato de que a regulamentação permitiu esta divisão, em função da disponibilidade de dados das bacias.

Simplificado: Consiste em um estudo voltado para unidade hidrográfica de menor porte, típica para a implantação de Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCHs, na qual o número de alternativas de divisões de quedas depende de características geomorfológicas da região. O escopo do trabalho a ser desenvolvido, em função da pequena dimensão da bacia, guarda indicações de objetividade na abordagem dos temas e, caso as condições topográficas da bacia configurem a formalização de várias alternativas de divisão de quedas, para cada uma deverão ser determinados dados referentes a potência, energia, custo, arranjos, de modo que se tenha elemento para selecionar qual a proposição mais atrativa de divisão de quedas. Nesses estudos, são considerados os custos ambientais e as restrições do uso do recurso hídrico. Esta modalidade de estudo aplica-se a bacias hidrográficas com possibilidade de implantação de aproveitamentos com potência superior a 1 MW e igual ou inferior a 50 MW. Porém, a critério da ANEEL, para bacias hidrográficas que agreguem um potencial localizado superior 30 MW e igual ou inferior a 50 MW, poderá ser solicitada

a elaboração de Estudos de Inventário Pleno.

Pleno: Consiste em um estudo com maior grau de complexidade, voltado para unidade hidrográfica de maior porte, típica para a implantação de Usinas Hidrelétricas – UHEs. Esta modalidade de estudo aplica-se a bacias hidrográficas, segmentadas ou integrais, com vocação hidroenergética para aproveitamento(s) com potência(s) superior(es) a 50 MW. Para fins práticos, a diferença básica entre os estudo de inventário SIMPLIFICADO e PLENO é que o Entende-se que o “aproveitamento ótimo” integrante de uma divisão de quedas é aquele que propicia o máximo aproveitamento do potencial hidráulico ao menor custo de implantação, respeitadas as condicionantes socioambientais e os outros usos da água. (ANEEL, GUIA DO EMPREENDEDOR)

3.4. PROINFA

3.4.1. O programa

O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), conforme descrito no Decreto nº 5.025, de 2004, foi instituído com o objetivo de aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos concebidos com base em fontes eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCH) no Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN). De acordo com a Lei n.º 11.943, de 28 de maio de 2009, o prazo para o início de funcionamento desses empreendimentos encerra em 30 de dezembro de

2010.(MME,SITE)

Fonte		Operação comercial pelo PAC		Em construção		Não Iniciada construção						TOTAL contratado
						Com EPC		Sem EPC		Total		
PCH	Qde	35	70,0%	15	30,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	50
	MW	735,20	74,1%	257,00	25,9%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	992,20
BIOMASSA	Qde	4	100,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	4
	MW	110,90	100,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	0,00	0,0%	110,90
EÓLICA	Qde	18	39,1%	10	21,7%	16	34,8%	2	4,3%	18	39,1%	46
	MW	253,55	22,3%	405,00	35,6%	443,75	39,0%	34,30	3,0%	478,05	42,1%	1.136,60
TOTAL	Qde	57	57,0%	25	25,0%	16	16,0%	2	2,0%	18	18,0%	100
INSTALADO	MW	1.099,65	49,1%	662,00	29,6%	443,75	19,8%	34,30	1,5%	478,05	21,3%	2.239,70
Sub total PCH	Qde	50			100,0%							50
	MW	992,20			100,0%							992,20
Sub total BIO	Qde	4			100,0%							4
	MW	110,90			100,0%							110,90
Sub total EOL	Qde	28			60,9%							46
	MW	658,55			57,9%							1.136,60
Sub total Geral	Qde	82			82,0%							100
	MW	1.761,65			78,7%							2.239,70

* No âmbito do PAC é considerada a potência instalada

Figura 2 – Tabela de distribuição do PROINFA

REGIÃO	Fonte	Operação comercial		Concluídas aguardando regularização pelo Proinfa	Em construção	Não Iniciada construção			Sub judice/ em rescisão contratual	TOTAL contratado
						Com EPC	Sem EPC	Total		
 NORTE	PCH	3	50,0%		3					6
		46,80	45,8%		55,40					102,20
	BIOMASSA									
	EÓLICA									
 NORDESTE	PCH	3	100,0%							3
		41,80	100,0%							41,80
	BIOMASSA	5	83,3%						1	6
		89,20	74,8%						30,00	119,20
 CENTRO-OESTE	EÓLICA	7	19,4%	12	12	4	1	5		36
		152,95	19,0%	73,43	413,50	160,30	5,40	165,70		805,58
	TOTAL	15	33,3%	12	12	4	1	5	1	45
		283,95	29,4%	73,43	413,50	160,30	5,40	165,70	30,00	966,58
 SUDESTE	PCH	13	52,0%	2	10					25
		280,44	56,2%	47,10	171,40					498,94
	BIOMASSA	2	33,3%						4	6
		54,52	42,3%						74,40	128,92
 SUL	EÓLICA									
	TOTAL	15	48,4%	2	10	0	0	0	4	31
		334,96	53,3%	47,10	171,40	0,00	0,00	0,00	74,40	627,86
 SUDESTE	PCH	8	53,3%	4	2				1	15
		161,00	56,5%	92,00	22,20				10,00	285,20
	BIOMASSA	9	81,8%		1	1		1		11
		265,52	80,0%		36,00	30,50		30,50		332,02
 SUL	EÓLICA				1		1	1		2
					28,05		135,00	135,00		163,05
	TOTAL	17	60,7%	4	4	1	1	2	1	28
		426,52	54,7%	92,00	86,25	30,50	135,00	165,50	10,00	780,27
 SUL	PCH	12	85,7%	1			1	1		14
		236,90	90,0%	19,50			6,70	6,70		263,10
	BIOMASSA	3	75,0%	1						4
		95,10	90,5%	10,00						105,10
 SUL	EÓLICA	4	25,0%			11	1	12		16
		159,00	35,0%			225,29	70,00	295,29		454,29
	TOTAL	19	55,9%	2	0	11	2	13	0	34
		491,00	59,7%	29,50	0,00	225,29	76,70	301,99	0,00	822,49

Figura 3 - Tabela PROINFA por estados

O PROINFA é um programa pioneiro no Brasil, e impulsionou uma fonte energética que precisava de mais foco e ênfase no âmbito nacional: a energia eólica. Outros empreendimentos também foram beneficiados também, sendo um programa com êxito se for levado em conta apenas o lado da iniciativa.

Em relação ao abastecimento de energia elétrica do país, o PROINFA é também um instrumento de complementaridade energética sazonal à energia

hidráulica, responsável por mais de 75% da geração do país. Na região Nordeste, a energia eólica serve como complemento ao abastecimento hidráulico, já que o período de chuvas é inverso ao de ventos. O mesmo ocorre com a biomassa nas regiões Sul e Sudeste, onde a colheita de safras propícias à geração de energia elétrica (cana-de-açúcar e arroz, por exemplo) ocorre em período diferente do chuvoso.

Dessa forma, pequenas centrais hidrelétricas voltam a ser consideradas como uma opção de geração de energia, e sua contribuição à matriz energética brasileira vêm aumentando ano a ano. Desde a implantação do PROINFA até o final de 2008, 63 novos empreendimentos foram contratados, totalizando 1.191,40 MW, sendo que destes, 43 (848,44MW) já estão em operação e 18 (326,10 MW) em construção, de acordo com dados da Eletrobrás em março/09.

3.4.2. Processo de seleção

O processo de seleção de projetos a ser contemplados pelo PROINFA, no caso das PCHs, é detalhado a seguir, retirado do Guia de Habilitação PCH (MME, 2004):

- 1) Com base nas cartas-resposta manifestando a intenção do empreendedor de participar do PROINFA e analisando a documentação entregue, a ELETROBRÁS definirá uma lista de empreendedores habilitados, ordenada pelo critério de antigüidade da LI (data de emissão da primeira LI), começando pelo empreendimento que tem a LI mais antiga até aquele que teve a LI emitida mais recentemente. Esta lista deverá contemplar apenas Produtores Independentes Autônomos;
- 2) Neste momento é realizado o somatório das potências dos empreendimentos dos produtores Autônomos habilitados, verificando se este é superior aos 1.100 MW destinados à fonte. Caso este valor seja superior à meta do PROINFA (1.100 MW), não ocorrerá a contratação de produtores Não-Autônomos. Caso ele venha a ser menor que os 1.100 MW destinados à fonte, será elaborada uma segunda lista, ordenada também segundo o critério de antigüidade de LI, para os empreendimentos de Não Autônomos;
- 3) Inicia-se a seleção dos projetos na ordem da lista de Autônomos, separando aqueles selecionados em novas listas por estado, sendo que, no momento em que um estado atingir 165 MW, não mais serão

selecionados projetos daquela unidade da federação, até que todos os estados contemplados nesta lista sejam atendidos ou que se atinja a meta de 1.100 MW;

- 4) Os empreendimentos implantados na divisa de duas ou mais unidades da federação ficarão alocados, para o processo de regionalização, no estado onde estiver implantado o edifício de geração da central (casa de força);
- 5) Durante a seleção dos empreendimentos, considerado o limite de 165 MW por estado, caso a contratação de um empreendimento supere este limite, será considerado, nesta etapa, apenas o montante em “MW” que complete os 165 MW;
- 6) Após a seleção definida nos itens (1), (2), (3) e (4), existindo saldo remanescente (diferença entre os 1.100 MW e o total da potência dos empreendimentos já selecionados), verificar-se-á em quais estados ainda existem projetos com LI não selecionados e qual a participação percentual de cada estado no montante total de potência dos projetos restantes. Calculada a participação, esta é aplicada ao saldo remanescente de potência, encontrando-se o montante adicional a ser contratado em cada estado
- 7) Novamente se inicia a seleção, considerando os projetos não-contemplados em ordem de LI mais antiga, até o limite do montante adicional definido no item (6), contemplando, obrigatoriamente, os empreendimentos que foram os últimos elegíveis no item (5) e tiveram sua capacidade contratada apenas parcialmente;
- 8) Após as duas rodadas de seleção, podem existir empreendimentos que foram selecionados para contratação parcial. Nesses casos, o empreendedor afetado será convocado pela ELETROBRÁS para decidir se aceita ter seu empreendimento contratado parcialmente. Caso o empreendedor não aceite, seu projeto será removido e substituído pelo imediatamente seguinte, segundo a ordem de antiguidade de LI;
- 9) Não existindo mais projetos de Autônomos nem tendo sido contratados os 1.100MW, adotar-se-á o mesmo procedimento definido nos itens (1), (2), (3), (4), (5), (6) e (7) para a seleção de projetos de Não Autônomos, seguindo a ordem da segunda lista. Para este caso, será respeitado o

limite de contratação de 275 MW, destinado por lei a este tipo de empreendedor;

- 10) Depois de definida a lista final de projetos selecionados, a ELETROBRÁS divulgará o resultado, dando prazo legal para que os interessados selecionados apresentem a documentação necessária à assinatura do CCVE.

Mesmo sendo um projeto com a finalidade de acelerar o processo de ascensão e destaque das fontes alternativas de energia, o PROINFA sofre diversas críticas sobre sua execução, dentre elas algumas projetos isentos no programa, com destaque para as fontes eólicas, que tiveram sua entrada de operação postergada de 2006 para 2010.

3.5. Outros programas de incentivo

Além do PROINFA, cita-se outros programas de incentivo que encorajam o empreendedor a iniciar um projeto de inventariado de uma PCH:

- Isenção de pagamento de Uso de Bem Público;
- Isenção da obrigação de aplicar, anualmente, o montante de, no mínimo, 1% (um por cento) de sua receita operacional líquida em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico;
- Isenção relativa à compensação financeira, paga aos Estados e Municípios, pela utilização de recursos hídricos;
- A possibilidade de comercializar de imediato a energia elétrica produzida com consumidores cuja carga seja maior ou igual a 500KW. (REN ANEEL 24/07/2006)
- A possibilidade de sub-rogação da CCC (Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis) para empreendimentos instalados nos sistemas isolados. (REN ANEEL 24/05/1999)
- A redução de, no mínimo, 50% no pagamento dos encargos por usos das redes de transmissão e distribuição (REN ANEEL 77/2004).

Fonte: (EPE, 2008a, p. 20)

Capítulo 4

4. Estudo do caso – Ribeirão da Onça

4.1. Motivação da escolha

Para o dimensionamento da PCH foi escolhido um curso d'água para o qual havia dados históricos de vazões registrados no site do Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (www.sigrh.sp.gov.br). Assim, o curso d'água escolhido foi o Ribeirão da Onça, que se localiza no município de São Carlos, localizado no centro do estado de São Paulo. Os dados de vazões foram medidos Fazenda Santa Terezinha (latitude 22°12'04" e longitude 48°02'35"), e possuem registro de vazões diários do ano de 1969 a 2004.

São Carlos, com 213 000 habitantes, é hoje um dos maiores centros de inovação do Brasil. Das 700 indústrias lá estabelecidas, 200 vendem produtos e serviços baseados no conhecimento de profissionais altamente qualificados. Com isso e com sua grande concentração de centros de formação universitária e pesquisadores, a cidade reivindica o título de capital da tecnologia para atrair investimentos. Recentemente, São Carlos foi escolhida como uma das cinco cidades que terão apoio do governo estadual para a construção de parques tecnológicos, projetos de fomento a empresas inovadoras.(ABNEXO,SITE)

Visto isto, a localização da Fazenda Santa Terezinha é relativamente interessante pelo fato de que empresas podem se instalar próximos a região, e os custos de transmissão e distribuição seriam reduzidos devido a esta facilidade. O objeto de estudo também é perto do centro do trabalho de conclusão de curso, facilitando a visita ao local para efeito de algumas conclusões. A disponibilização dos dados necessários para o cálculo também favorece a escolha, já que o estudo do trabalho é necessariamente de cursos d'água que oferecem esses dados com facilidade para qualquer empreendedor, sem qualquer qualificação.

4.2. Localização

A localização da PCH, cujo dimensionamento é o objetivo deste trabalho, é apresentada na figura 4:

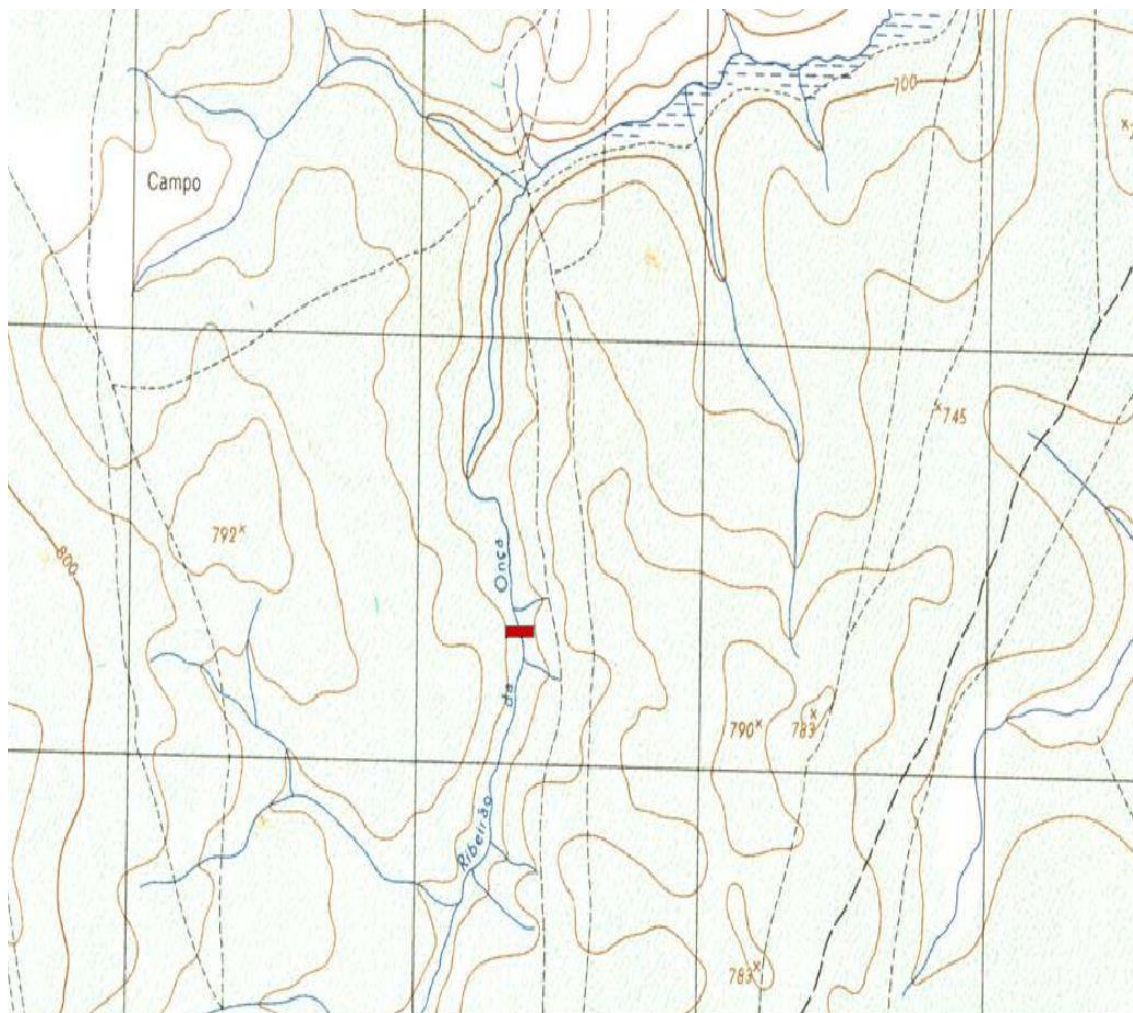


Figura 4 – Localização do Ribeirão da Onça

A escolha deste local para a barragem foi feita considerando a distância entre as extremidades da cota de 720m, e a existência de uma cota menor, 700m próximo ao local, na qual será instalada a casa de máquinas. O reservatório irá alagar a área interna da cota 720m.

4.3. Vazão histórica

Baseado nos dados tabelados, pode-se determinar a média das vazões mensais no período aferido e, assim, tornando possível a elaboração do gráfico da figura 5.

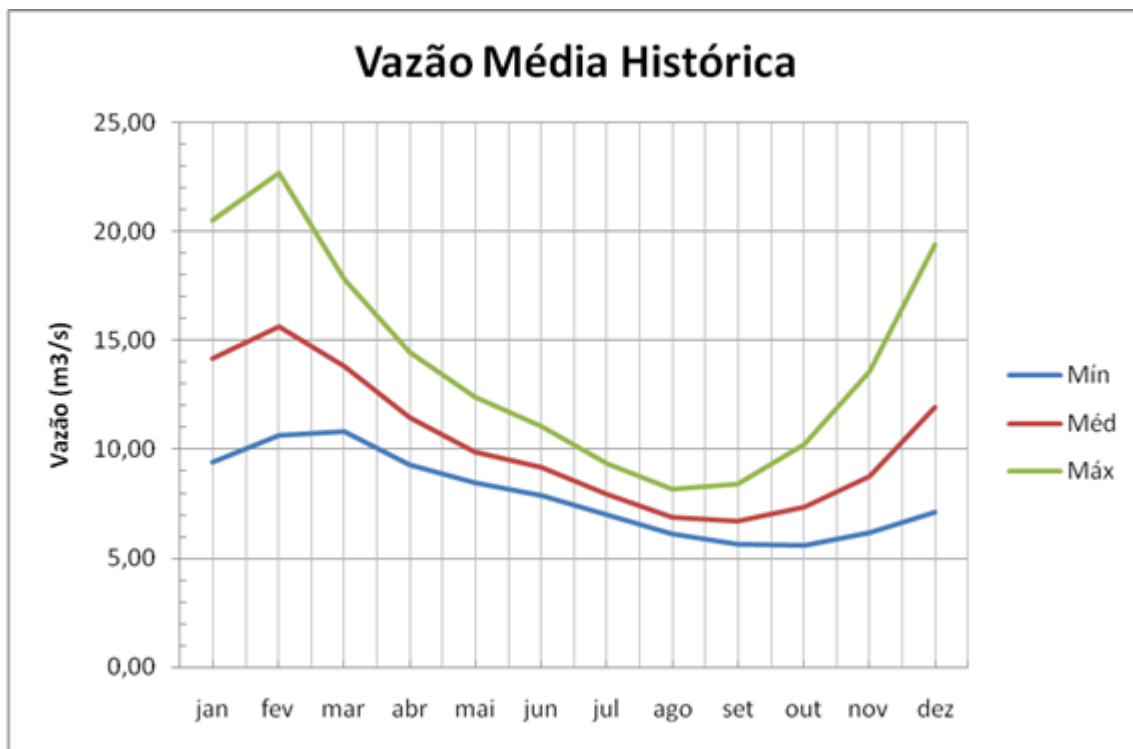


Figura 5 – Gráfico das vazões médias.

Na figura 5 pode-se verificar o ciclo hidrológico do curso d'água, aferindo os meses em que há maior vazão, janeiro e fevereiro, e os meses com menor potencial, agosto e setembro. A variação do valor de vazão é caracterizada principalmente pelo regime pluviométrico local, no qual o verão é mais chuvoso e o inverno mais seco.

A partir dos valores médios mensais, pode-se determinar a MMLT fazendo a média dos valores médios, fornecendo o valor de $MMLT = 10,08 \text{ m}^3/\text{s}$. Este dado será utilizado posteriormente para o dimensionamento dos componentes do projeto.

Considerando todas as medições mensais ao longo do período e organizando-as em um gráfico de área em ordem decrescente, pode-se caracterizar a parcela de tempo relativo em que determinado nível de vazão passa pelo ribeirão. O gráfico da figura 6 demonstra essa relação vazão pelo tempo.

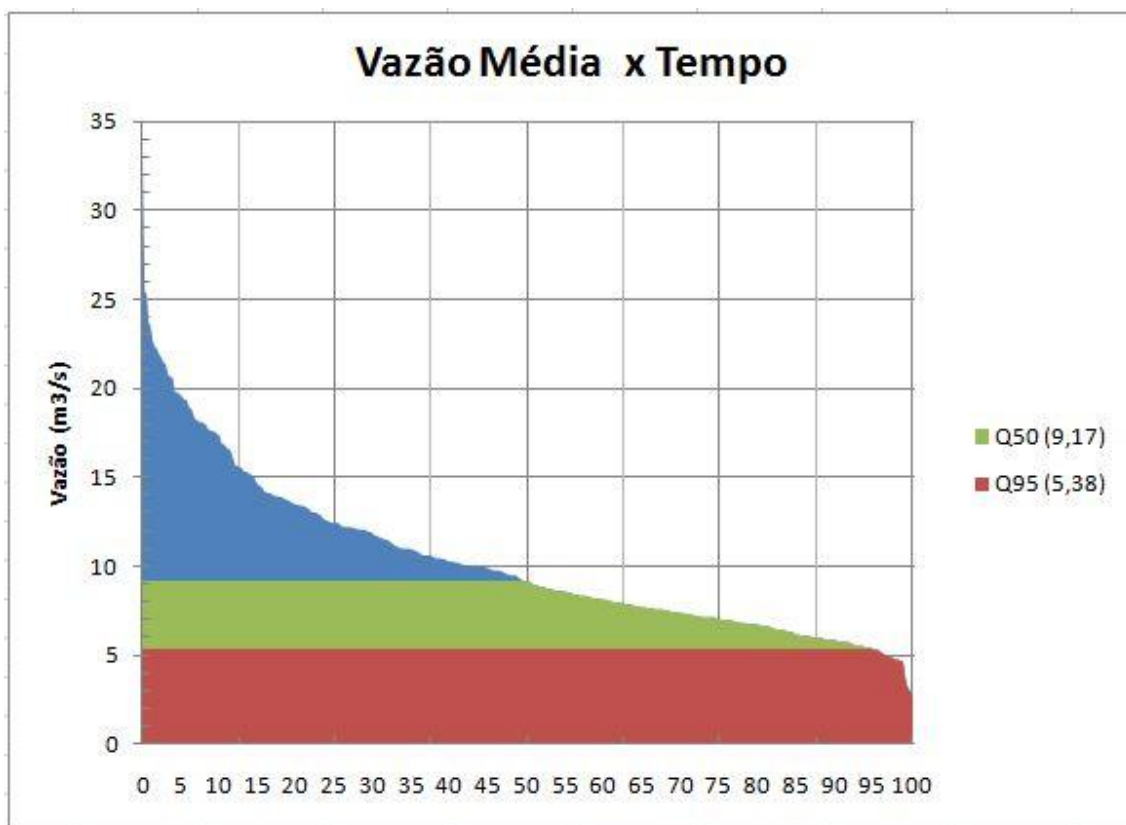


Figura 6 – Gráfico das vazões médias

Analisando a figura 6, pode-se visualizar a distribuição da vazão média no tempo, possibilitando aferir alguns números importantes tais como a vazão Q95, que representa o nível de vazão que passa no curso d'água por 95% do tempo. Esta vazão tem módulo inferior a vazão média e fornece uma estatística para o cálculo da potencia firme. Neste caso afere-se que $Q95 = 5,38 \text{ m}^3/\text{s}$.

A vazão Q50 também pode ser aferida da figura 5, representando a vazão presente no curso d'água durante 50% do período aferido. Neste caso obteve-se o valor de $Q50 = 9,17 \text{ m}^3/\text{s}$.

CAPÍTULO 5

5. Métodos para os cálculos

5.1. Introdução aos métodos

Neste capítulo são citados os métodos presentes no livro SHS – 115 Aproveitamentos Hidrelétricos redigido por Prof. Dr. Frederico Fábio Mauad com os métodos necessários para o cálculo do potencial hidrelétrico da região do estudo do caso. Vale ressaltar que apenas foram citados os métodos necessários para o estudo do caso em questão, e dependendo da necessidade cita-se outros tipos de PCHs para análise da diferença entre as escolhas.

5.2. Tipo de Pequenas Centrais Hidrelétricas

A estrutura básica das pequenas centrais hidrelétricas é formada por elementos que tem a função de captar e conduzir a água para uma casa de máquinas, onde se processará a transformação da energia hidráulica em elétrica, e um canal que restituirá a água ao rio.

5.2.1. Pequena Central de Baixa queda

Pode ser um canal de adução, dotado de uma câmara de carga que leva a água diretamente para a turbina na casa de máquinas. Este é um arranjo típico para baixas quedas, até 3 m. A Figura 7 ilustra um arranjo típico para pequenas centrais de baixa queda.

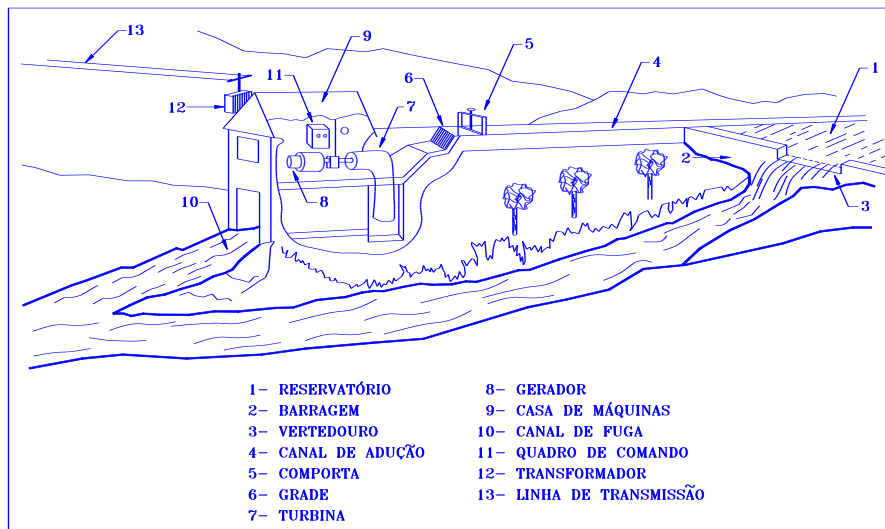


Figura 7 - Arranjo Típico para Pequenas Centrais de Baixa Queda.

5.2.2. Pequena Central Afastada da Queda

Pode ser um canal de adução, dotado de uma câmara de carga que, por sua vez, é ligada à casa de máquinas por uma tubulação. Este é um arranjo típico para pequenas centrais onde a casa de máquinas é instalada longe da cachoeira, de maneira a aproveitar mais a queda. A Figura 8 ilustra um arranjo típico de uma pequena central afastada da queda.

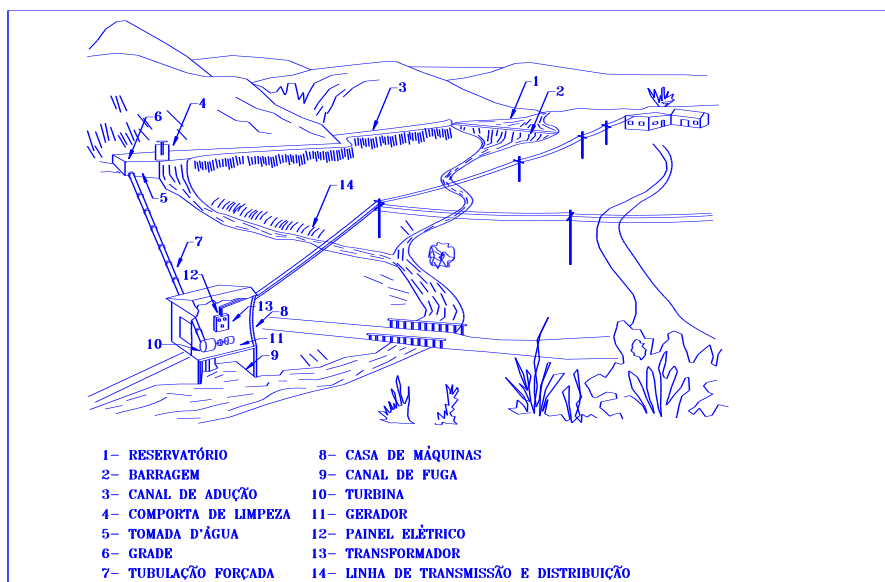


Figura 8 - Arranjo Típico de uma Pequena Central Afastada da Queda.

5.2.3. Pequena Central Afastada da Queda sem Canal

Pode ser uma tubulação de adução ligada a uma chaminé de equilíbrio e esta ligada à casa de máquinas através de um outro tubo. Este é um arranjo típico utilizado quando a barragem está a uma distância considerável da casa de máquinas e não é possível construir um canal ao longo da encosta. A Figura 9 ilustra um arranjo típico de uma pequena central afastada da queda, não sendo possível adotar canal.

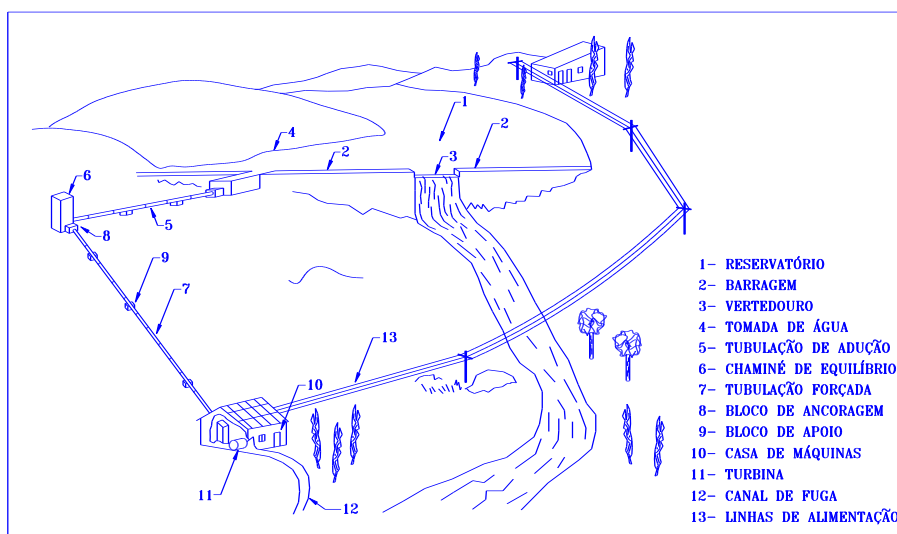


Figura 9 – Arranjo Típico para uma Pequena central Afastada da Queda e Quando não é Possível Adotar Canal.

5.2.4. Pequena Central Com Alta Queda e Próxima da Barragem

Pode ser uma tubulação ligada diretamente da barragem à casa de máquinas. Este é um arranjo típico quando a distância entre a barragem ou a tomada d'água e a casa de máquinas é pequena e a queda é superior a 3 m. A Figura 10 ilustra um arranjo típico de uma pequena central com alta queda e próxima à barragem.

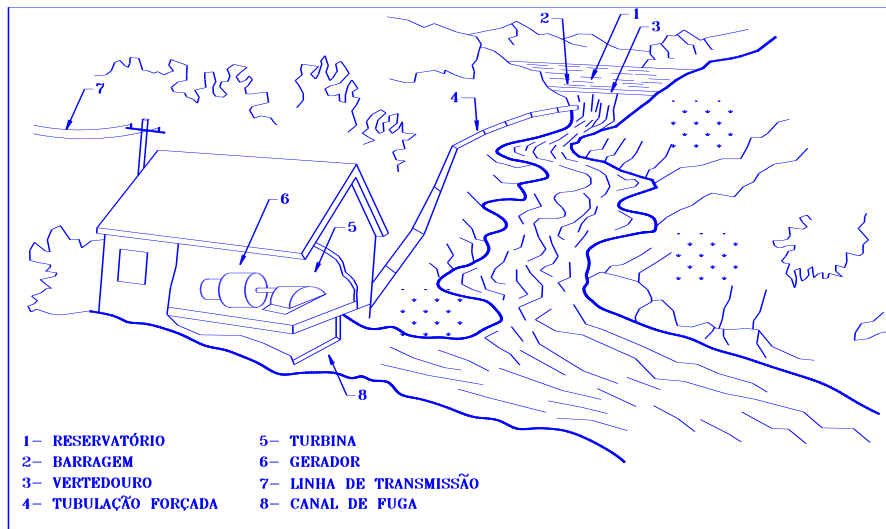


Figura 10 - Arranjo Típico para Pequena Central com Alta Queda e Próxima da Barragem.

5.3. Tipos e calculo do vertedouro

Em muitos casos os vertedores apresentam a secção vertente em formas geométricas singulares como: triangular, semicircular, circular, trapezoidal, exponencial, etc. Os quais são utilizados para medições de descarga ou estudos de hidrologia. No estudo, tratara-se de vertedores aplicados às barragens de represas.

Três tipos de solução comumente se apresentam:

- Barragem em alvenaria ou pedra argamassada;
- Barragem de entroncamento com talude de jusante suave (1V:8H) com extravasamento das descargas por sobre toda a extensão da crista;
- Barragem em concreto.

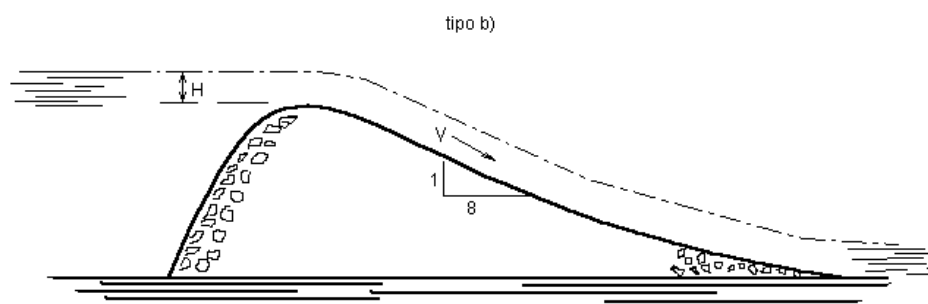


Figura 11 – esboço de uma barragem de concreto.

A altura da lâmina d'água sobre a crista pode ser calculada por:

$$H = \left(\frac{Q_{máx}}{1,7 \cdot b} \right)^{\frac{2}{3}}$$

onde:

H : altura da lâmina [m];

$Q_{máx}$: descarga [m³/s];

b : extensão da crista da barragem [m].

5.4. Dimensionamento Hidráulico

a) Vertedor de superfície:

i) calcula-se a capacidade de descarga por comporta, considerando:

$$Q_e = c \cdot L \cdot H^{\frac{3}{2}}$$

onde:

Q_e : descarga por comporta [m³/s];

c : coeficiente de descarga;

L : largura da comporta [m];

H : altura da comporta [m].

ii) adota-se o menor número possível de comportas, observando: n° min.=2 unid., tamanho máximo para comporta = 20x20 metros $1,0 < H/L < 1,4$.

b) Vertedor de fundo e outros:

Calcula-se a capacidade de descarga por comporta como orifício afogado, dado por:

$$Q_e = c \cdot L \cdot H \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_1 - h_2)}$$

onde:

Q_e : descarga por comporta [m^3/s];

c : coeficiente de descarga (igual a 0,6);

L : largura da comporta [m];

H : altura da comporta [m];

h_1 : difer. cota entre NA_{max} nominal do reservatório e a soleira da comporta [m];

h_2 : difer. Cota entre NA_{max} nominal de jusante e a soleira da comporta [m].

Nota: nos grandes aproveitamentos, represas de grande área onde uma pequena alteração no nível implica num grande volume, é de uso instalar comportas sobre o vertedor. O mesmo acontece quando descargas de enchente atingem vazão acima de $1000\text{m}^3/\text{s}$

Basicamente, para o dimensionamento hidráulico de um vertedor, deve-se conhecer de imediato a vazão do rio. A máxima descarga a ser prevista é aquela calculada para uma descarga catastrófica ou num extremo limite a descarga máxima-maximorum.

Em função dessa descarga, são estabelecidas as convenientemente as dimensões geométricas do vertedor, considerando que a sua capacidade é calculada pela fórmula:

$$Q = L' \cdot c \cdot H^{\frac{3}{2}}$$

onde:

L' : largura efetiva do vertedor;

c : coeficiente de descarga (função de forma da soleira);

H : altura da linha de energia acima da crista da soleira.

Nota: L' = largura total L do vertedouro, que pode compor-se de n vãos separados entre si por pilares, diminuída pela largura da contração central. Essa contração é ligada ao coeficiente k que depende da forma dos pilares. Avaliado para pilares com frente de montante redonda ou com ponta em $k=0,01$.

Assim:

$$Q = (L - 2nHk) \cdot c \cdot H^{\frac{3}{2}} \quad \text{ou} \quad Q = (L - 0,02nH) \cdot c \cdot H^{\frac{3}{2}}$$

Nessa fórmula o coeficiente c depende:

- Da forma da soleira;
- De sua altura sobre o fundo da adução;
- Da inclinação de sua frente a montante;
- Do nível de água a jusante;
- Da velocidade da água a jusante.

A superfície da soleira deve ter a forma da superfície inferior do jato que passa sobre uma soleira com crista linear:

- soleira mais alta $\rightarrow c$ é menor;
- soleira mais baixa $\rightarrow c$ é menor mas será atacada por erosões provocadas por sub-pressões. Por isso a soleira é desenhada com base na altura do nível da energia.

5.5. Dimensionamento do Canal

Deve ser o mais simples possível. Por motivo de economia, deve-se preferir executá-los sem revestimento. Para isso, faz-se necessário um estudo, mesmo que superficial, do terreno de maneira a avaliar se as condições geológicas permitem a construção do canal. Escavações em rocha devem ser evitadas visto o seu alto custo.

O canal de adução pode ser dimensionado e construído da mesma forma dos canais de irrigação. Todo canal deve ser construído com uma declividade constante de 0,5m a cada 10m e o seu traçado deve acompanhar a curva de nível do terreno.

Uma vez feito o estudo para se determinar o tipo de solo por onde irá passar o canal, define-se a inclinação “ m ” do talude de maneira que o mesmo não venha a desmoronar.

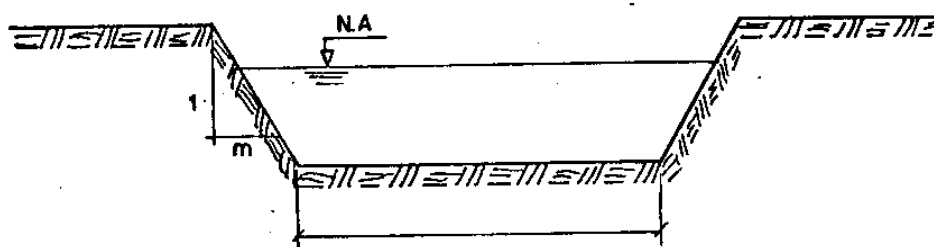


Figura 12 – Canal sem revestimento

A Tabela 2 mostra a inclinação “m” para os diversos tipos de terrenos.

Tabela 2 - Inclinação “m” para os diversos tipos de terrenos.

NATUREZA DO SOLO	INCLINAÇÃO “m”
Argila dura	0,75
Aluvião compacto	1,00
Cascalho grosso	1,50
Entroncamento, terra, areia grossa	2,00
Terra mexida	3,00

Determinadas as dimensões do canal, deve-se verificar se a velocidade de escoamento da água está compatível com a máxima admitida, que é dada pela tabela 3.

Tabela 3 – Velocidade máxima admissível.

NATUREZA DO SOLO	VELOCIDADE MÁXIMA ADMISSÍVEL (m/s)
Argila dura	1,70
Aluvião compacto	1,20
Cascalho grosso	1,80
Entroncamento, terra,	0,65

areia grossa	
Terra mexida	0,30

A velocidade média é calculada pela expressão:

$$V = \frac{Q}{h \cdot (b + m \cdot h)}$$

onde:

V - velocidade d'água no canal, m/s

Q - vazão no canal, m³/s

h - altura da lâmina do canal, m

b - base do canal, m

m - inclinação "m" do talude do canal.

5.6. Tubulação de alta pressão

Também chamada de tubulação forçada, tem a função de conduzir a água do castelo d'água (câmara de carga ou chaminé de equilíbrio) até a turbina. Normalmente são feitas de aço, mas também pode ser feita por tubos de PVC. As Figuras 13 e 14 mostram a tubulação forçada de aço e seus detalhes.

O diâmetro da tubulação é calculado pela formula de Bondshu:

$$D = 127 \times (Q^3 \times Ht)^{1/7}$$

onde:

D - diâmetro econômico, em cm

Q - vazão d'água na tubulação, em m³/s

$Ht = 1,2 \times H$ - carga hidráulica, em m

H - queda bruta, em m

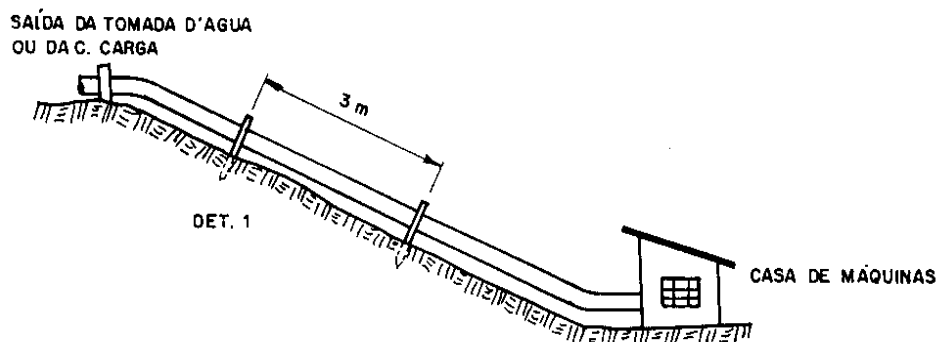


Figura 13 - Vista geral da Tubulação Forçada de Aço

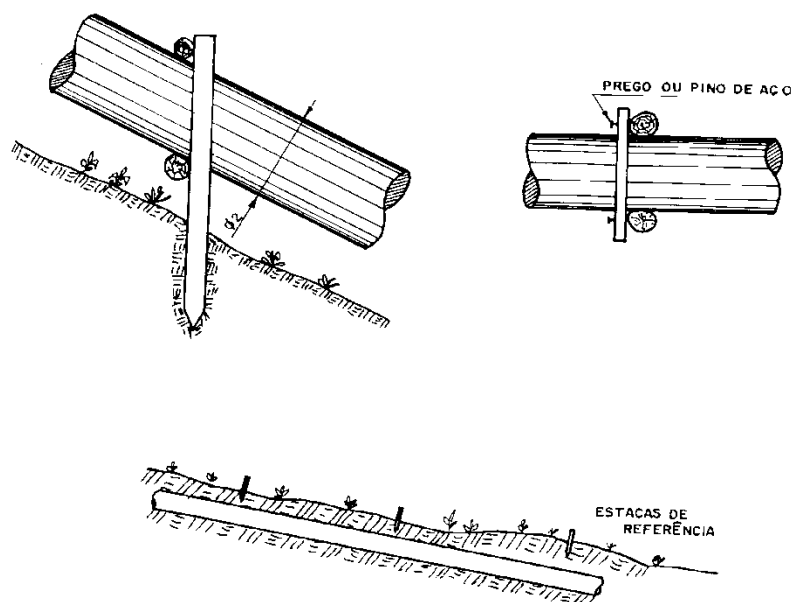


Figura 14 - Detalhes da Tubulação Forçada de Aço e da Tubulação Forçada de PVC Enterrada no Solo

5.7. Determinação da Espessura da Parede da Tubulação

Quando um tubo com um determinado diâmetro nominal é fabricado com o diâmetro externo constante, fazendo variar somente o diâmetro interno, diz-se que este tubo é padronizado. Tal característica deve-se ao fato de que a espessura do tubo é determinada de acordo com a pressão que irá suportar. Desse modo, pode-se

classificá-los em classes, para o tubo de aço varia de “Sch” 40 a 160, já o PVC possui as classes 12, 15 e 20, e o tubo de cimento amianto possui as classes A e B.

Esta classificação procura indicar se um tubo suporta mais ou menos pressão em função da temperatura do fluido, que no caso de pequenas centrais considera-se serviço leve.

Para verificar se um determinado tubo suportará ou não a pressão, que corresponde a altura de queda da pequena central adicionada de 20% correspondente a sobre pressão oriunda de golpes de aríete, procede-se da seguinte maneira:

Para tubos de aço:

$$e = \frac{p_i \cdot D}{2 \cdot \sigma_f \cdot K_f} + e_s$$

onde:

e [mm] - espessura da parede do tubo necessária para suportar a pressão oriunda da coluna d'água p_i

p_i [Kg/cm²] - pressão hidrostática máxima interna, correspondente à coluna d'água, que no caso de tubulação de adução corresponde a altura da soleira da barragem até a geratriz inferior do tubo. Já para a tubulação forçada corresponde a altura da queda total acrescida de 20% devido esforços oriundos do golpe de aríete

D [mm] - diâmetro interno do tubo

σ_f [Kg/cm²] - tensão admissível de resistência a tração, que no caso do aço ABNT EB-255G30 (ASTM A-283 Grau C) vale aproximadamente 1400 [Kgf/cm²]

K_f - eficiência de junta, para tubos padronizados e de fabricação normal, temos: $K_f = 0,80$ costura com solda por fusão elétrica e $K_f = 1,0$ costura com solda por resistência elétrica, relativa ao aço ABNT EB 225 CG 30 – (ASTM – A 283, GRAU C).

e_s - sobre espessura para corrosão $\cong 1$ mm

Considerando a tensão admissível acima citada, que em caso extremo, o tubo será fabricado no local sem nenhum controle da solda e a sobre pressão oriunda de golpes de aríete não exceda a 35% da altura total, a fórmula para o cálculo da espessura da parede pode ser apresentada da seguinte forma:

$$e = 0,00006 \cdot H \cdot D + 1$$

onde:

$e [mm]$ - espessura da parede

$H [m]$ - altura da coluna d'água correspondente

$D [m]$ - diâmetro interno da tubulação

O valor obtido pela expressão anterior deverá ser superior à espessura mínima da parede do tubo em aço, que é fornecido pela expressão:

$$e_{min} = \frac{D + 508}{400}$$

cujo valor mínimo admissível é 4,76 mm (3/16").

5.8. Chaminé de Equilíbrio

A chaminé de equilíbrio é uma estrutura, em concreto ou aço, constituída de um reservatório cilíndrico, de eixo vertical, implantada entre o trecho de adução de baixa declividade, constituído por uma tubulação em baixa pressão e o trecho de adução de grande declividade, constituído por uma tubulação forçada. O desenho esquemático é mostrado na Figura 15.

A chaminé de equilíbrio tem como finalidade amortecer os efeitos dos aumentos de pressão e velocidade da água no interior da tubulação forçada causados pelo golpe de aríete durante um acionamento rápido do dispositivo de fechamento da turbina. Tem também a função de armazenar a água que penetra no seu interior durante o refluxo resultante do aumento de pressão, liberando-a para a turbina quando o dispositivo de fechamento abrir novamente.

Quando necessária a sua instalação, a chaminé de equilíbrio deve ficar o mais próximo possível da casa de máquinas, a fim de reduzir o comprimento da tubulação forçada e, com isso, diminuir os efeitos do golpe de aríete.

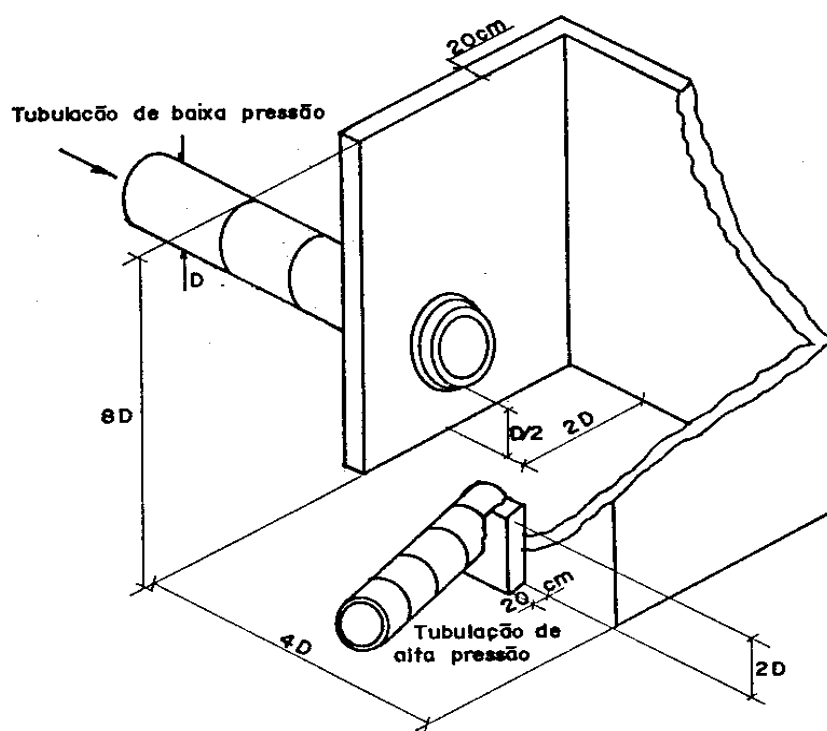


Figura 15 - Chaminé de Equilíbrio.

Deve verificar a necessidade da instalação da chaminé de equilíbrio. Para isso, utiliza-se a relação:

$$\frac{L_a}{H} \leq 5$$

onde:

L_a - comprimento total do sistema de adução

H - queda bruta

Obs: Ambos os parâmetros devem estar na mesma unidade de dimensão linear.

Assim, se o comprimento da tubulação forçada ultrapassar a cinco vezes a queda bruta, há necessidade de prever-se uma chaminé de equilíbrio.

Recomenda-se fazer também a verificação da necessidade, ou não, da instalação da chaminé de equilíbrio pelo critério da constante de aceleração da água na tubulação:

$$t_h = \frac{v \cdot L_a}{g \cdot H}$$

sendo:

t_h - tempo de aceleração da água na tubulação, em segundos

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

g - aceleração da gravidade, 9,81 m/s²

Se t_h for inferior a 3s, não há necessidade da chaminé de equilíbrio. Há casos de não se instalar chaminé de equilíbrio mesmo para valores de t_h até 6s mas, acima desse valor, essa instalação é obrigatória.

Um meio de se tentar evitar a instalação de uma chaminé de equilíbrio é o emprego de válvulas de alívio nas entradas das turbinas, quase sempre também dentro de certas limitações, geralmente caras e exigindo consultas diretas ao fabricante.

5.9. Determinação da Queda Líquida

Determina-se por:

$$H_L = H - h_t$$

onde:

H_L : queda líquida ou de projeto [m];

H : queda bruta [m];

h_t : perda de carga total no sistema de adução [m].

Na determinação da queda líquida de um aproveitamento, duas situações se apresentam:

1. Não se conhece ainda os arranjos físicos, ou seja, não se tem o sistema de adução idealizado.
2. Neste caso a determinação da queda líquida é estimada por cálculos aproximativos, levando-se em conta somente a queda bruta.

Assim considera-se:

$$H_L = H - 0,03 \cdot H \Rightarrow H_L = 0,97 \cdot H \quad [I]$$

$$H_L = H - 0,04 \cdot H \Rightarrow H_L = 0,96 \cdot H \quad [II]$$

$$H_L = H - 0,05 \cdot H \Rightarrow H_L = 0,95 \cdot H \quad [III]$$

[I]: usado quando a casa de máquinas situa-se distante em planta até 80 metros da tomada d'água;

[II]: quando dista de 80 a 320 metros;

[III]: quando dista de 320 a 800 metros.

No caso de turbinas Francis, e hélices a altura bruta é o desnível entre o nível de montante e jusante da usina.

No caso de turbinas Pelton e Michell-Banki, refere-se ao desnível entre montante e o centro da turbina.

5.10. Principais Alturas de Queda

As principais alturas de queda que devem ser consideradas em instalações de turbinas num aproveitamento devem possuir:

- Um desnível topográfico, isto é, diferença de cota entre dois pontos;

- Uma diferença de energia hidráulica entre os dois pontos considerados.

Trata-se de uma queda dinâmica ou energética

Essa diferença ou essa queda é calculada por *Bernoulli* e representa a energia cedida pela unidade de peso de água entre esses pontos.

Assim:

$$H = \left(h_o + \frac{P_o}{\gamma} + \frac{V_o^2}{2g} \right) - \left(h_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} \right)$$

onde:

H: queda hidráulica;

h: altura potencial, carga de posição;

P/γ : altura piezométrica (ou pressão estática);

$V^2/2g$: altura dinâmica ou carga devido a velocidade.

Assim, a altura total ou carga total em uma dada cota h é a soma:

$$h_t = h + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g}$$

5.11. Outros fatores para cálculo

Para efeito dos outros cálculos, o próximo capítulo já abordara a parte teórica, devido à especificidade de cada tipo de central hidrelétrica.

CAPÍTULO 6

6. Cálculos para Dimensionamento do Rio da Onça

6.1. Tipo de PCH

A PCH escolhida foi a afastada da queda sem canal, devido a situação do terreno em questão. O arranjo foi escolhido, pois a barragem está a uma distância considerável da casa de máquinas e não é possível construir um canal ao longo da costa. Adota-se então uma chaminé de equilíbrio para resolução.

6.2. Cálculo dos parâmetros de projeto

6.2.1. Cálculo do Vertedouro

$$H=(Q_{\max}/(1,7*b))^3/2$$

Onde h = altura do vertedouro

B =extensão da crista da barragem

$$Q_{\max}=47,78$$

Adotando b=12m, temos:

$$H=(47.78/(1.7*12))^3/2 = 3.59 \text{ m}$$

6.2.2. Capacidade de Descarga

$$Q_e=c*L*(H)^3/2$$

C=0.6 => constante

$$H = 3.59$$

Como a capacidade de descarga deve ser quando a vazão máxima ocorre, adotando $Q_e = 48$, já com uma margem de segurança

$$L=Q_e/(c*(H)^3/2)=48/(0.6*(3.59)^1.5) = 11.76 \text{ m}$$

6.2.3. Canal de Adução

Verificando o solo, $m = 1.5$

E adotando a velocidade no canal de 1.5 m/s, 0.3 a menos que o máximo.

E adotando a altura do canal de 1.5 a vazão no canal é de 10,08 m³/s, temos:

$$b = Q/(V \cdot h) - m \cdot h = 2.19 \text{ m}$$

b = base do canal

6.2.4. Tubulação de Alta Pressão (Forçada)

$$D = 127 \cdot (Q^3 / H_t)^{1/7}, \quad H_t = 1,2 \cdot H_{\text{bruta}}$$

A vazão na tubulação forçada é igual ao canal de adução, portanto vale 10,08 m³/s

$$D = 127 \cdot (10^3 \cdot 1,2 \cdot 14)^{1/7} = 228.56 \text{ cm de diâmetro}$$

6.2.5. Espessura da Parede da Tubulação

$$EXP_{\text{min}} = 0.00006 \cdot H \cdot D + 1 = 1 \text{ m}$$

6.2.6. Cálculo da Necessidade da Chaminé de Equilíbrio

Se L_a/H for menor que 5 não há necessidade da chaminé

Onde L_a = comprimento total do sistema de adução

E H = Queda bruta = 14

E $(V \cdot L_a)/(g \cdot H)$ deve ser menor que 3.

Onde V = vel. No interior da tubulação forçada = 10,08 m³/s

L_a = comprimento total do sistema de adução

g = gravidade = 9.81

H = queda bruta = 14m

6.3.

6.4. Determinação da queda líquida e potência instalada

6.4.1. Considerações iniciais

Para os cálculos da queda útil e da potência instalada foi utilizada a queda bruta de 14m e uma descarga de projeto de 10,08 m³/s, sabendo que a unidade turbo - geradora é alimentada por um sistema adutor constituída por um canal entre a barragem e a câmara de carga e de uma tubulação forçada em aço alimentando uma única unidade geradora, entre a câmara de carga e a casa de máquina, apresentando as seguintes dimensões:

- Tomada d'água no canal

Grade constituída com barras de ferro redondas, 1,5" de diâmetro, espaçadas de 100 mm, inclinadas de 60° em relação ao piso da tomada d'água, cobrindo uma área bruta de 2,20 m de altura por 2 m de largura.

Canal de adução com declividade de 5m/km.

- Tomada d'água na tubulação forçada

Boca da tubulação na entrada em forma de campânula.

- Tubulação forçada

Construída em chapa de aço soldada, diâmetro interno de 510 mm e espessura da parede de 1m, comprimento total de 100 m

- Turbina e Gerador

Adotar rendimento total de 80% para a turbina e 95% para o gerador.

6.4.2. Cálculo das Perdas de Carga no Sistema Adutor

Perda de Carga na tomada d'água do canal

- Perda de carga inicial

Adotando-se a velocidade de escoamento no canal como sendo $V=1,5$ m/s, como previsto anteriormente:

$$h_i = k_i \cdot \frac{V^2}{2g} = 0,0147m$$

Onde, k_i é o coeficiente de forma, igual à 0,1.

- Perda de carga na grade

$$h_g = k_g \cdot \left(\frac{e_1}{e_2} \right)^{4/3} \cdot \sin(\theta_1) \cdot \frac{V^2}{2g} = 0,014m$$

Onde, k_g é o coeficiente de escoamento igual a 1,79; e_1 é a espessura das barras e e_2 o espaçamento entre as barras; θ_1 é a inclinação da grade.

- Perda de carga na comporta

$$h_c = k_c \cdot \frac{V^2}{2g} = 0,0147m$$

Onde, K_c é igual a 0,1 para comporta totalmente aberta.

Perda de carga no canal de adução

A perda de carga no canal de adução é dado pelo seu comprimento e sua declividade de acordo com a equação:

$$h_c = J \cdot l = 0,00275m$$

Onde J é a declividade 5m/km e l o comprimento do canal 0,55km.

Perda de carga na tubulação forçada

- Perda de carga inicial

$$h_i = k_i \cdot \frac{V^2}{2g} = 0,031m$$

Onde, k_i é o coeficiente de forma igual a 0,1.

- Perda de carga na entrada da tubulação

$$h_e = k_e \cdot \frac{V^2}{2g} = 0,123m$$

Onde K_e é igual a 0,4.

- *Perda de carga por atrito*

Utilizando a fórmula de Scobey:

$$J = 410 \cdot k_a \cdot \frac{V^{1,9}}{D^{1,1}} = 0,03605 \quad h_a = J \cdot l = 0,185m$$

Onde l é o comprimento da tubulação forçada igual a 100m, e $k_a = 0,32$.

Perda de Carga Total e Queda Útil

A perda de carga total é a somatória de todas as anteriores perdas de carga. Com isso a queda líquida pode ser determinada a partir da queda bruta de 19m.

$$H_u = H_b - H_p = 19m - 0,339m = 18,62m$$

6.4.3. Cálculo da Potência Instalada

Com a queda líquida podemos determinar a potência instalada prevista para o aproveitamento.

A potência no eixo da turbina:

$$P_t = 9,81.Q.H_u.\eta_t = 1069,88kW$$

A potência instalada será de:

$$P_i = 9,81.Q.H_u.\eta_t.\eta_G = 1016,39kW$$

Utilizando a queda útil pode-se encontrar as energia firme, carga de base, secundária e de pico, utilizando o gráfico de vazões por tempo em % anterior. Obtêm - se uma energia firme para o aproveitamento de 415,9kW (Q95) e 745,6 kW para (Q50).

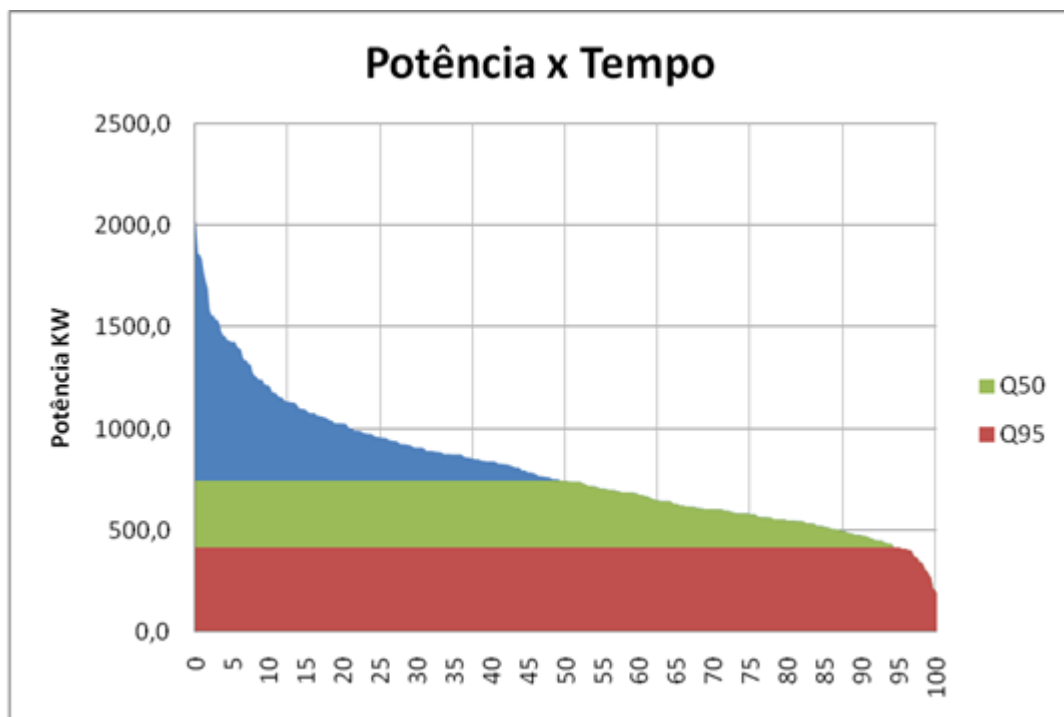


Figura 16: Suprimento de carga x tempo

2.2

6.5. Determinação da Turbina

Dados:

- Altura útil (H_u): 13,774m;

- $V (Q_{50})$: $9,17\text{m}^3/\text{s}$

- Potência útil (P_u): 1016,39 kW;

Por meio da altura útil pode-se previamente selecionar as tipologias de turbina cabíveis de serem empregadas no pré-dimensionamento. Assim a turbina que contempla este valor de altura, igual a 13,774m, é a Axial. No gráfico da turbina Francis não é possível encontrar um valor de n_s máximo para o H_u do projeto.

Por meio dos gráficos a seguir, é possível determinar $n_{s\text{máx}}$ para este tipo de turbina:

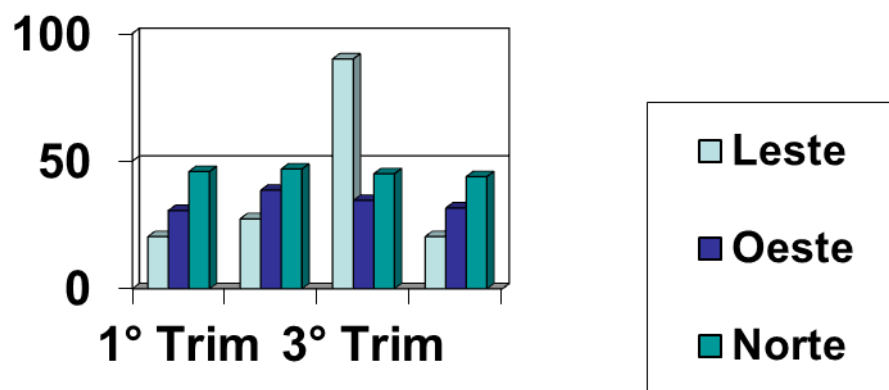


Gráfico 1 : Dados Técnicos Para Anteprojeto de Turbinas Axiais

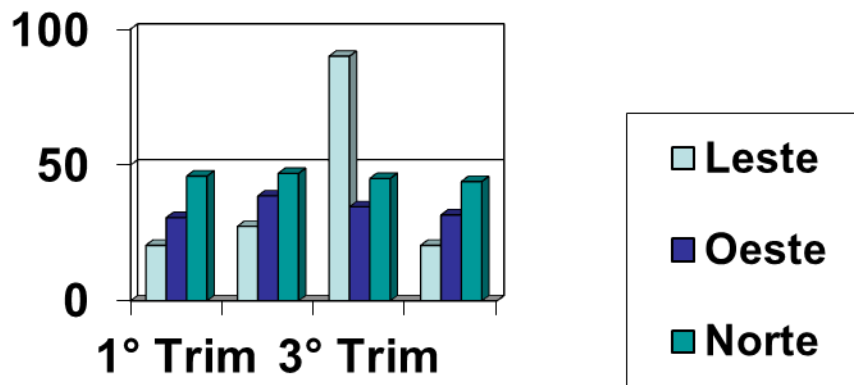


Gráfico 2 : Dados Técnicos Para Anteprojeto de Turbinas Francis

$n_{\text{máx}} (\text{axial}) = 800$

Através da seguinte expressão pode-se determinar $N_{\text{máx}}$:

$$n_s = \frac{N_{\text{máx}} \sqrt{P_{\text{util}}}}{H_u^{5/4}}$$

$N_{\text{máx}} (\text{axial}) = 665,86 \text{ r.p.m.}$

- O número de pólos na turbina é dado por:

$$p = \frac{7200}{N_{\text{máx}}}$$

$P (\text{axial}) = 12 \text{ polos}$

- Rotação Síncrona (N_{sinc}):

$$N_{\text{sin}} = 7200 / p$$

$N_{\text{sinc}} (\text{axial}) = 600 \text{ r.p.m.}$

- Finalmente tem-se nsp:

$$n_{sp} = \frac{N_{sinc} \sqrt{P_{util}}}{H_u^{5/4}}$$

$$n_{sp} \text{ (axial)} = 720,87$$

Como pode ser observado na figura 1, para a turbina axial esta situada dentro do limite econômico de instalação. Desse modo, pode-se confirmar a utilização desse tipo de turbina para o projeto.

- Diâmetro do rotor da turbina:

O diâmetro do rotor da turbina axial pôde ser calculado a partir da equação de Berejnoy:

$$D = \frac{7,1}{\sqrt[3]{n_s + 100}} \frac{\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{\Delta H}}$$

Dessa forma, temos que D é igual a 1,47m.

- Cálculo de NPSH:

$$h_{sg} < \frac{P_{atm} - P_v}{\gamma} - \sigma_T \Delta H$$

$$P_{atm} - P_v / \gamma = 9,6 \text{ m.c.a}$$

Por meio do gráfico a seguir e com os valores de nsp determinados anteriormente, é possível determinar o coeficiente de cavitação (σ) para condição de projeto.

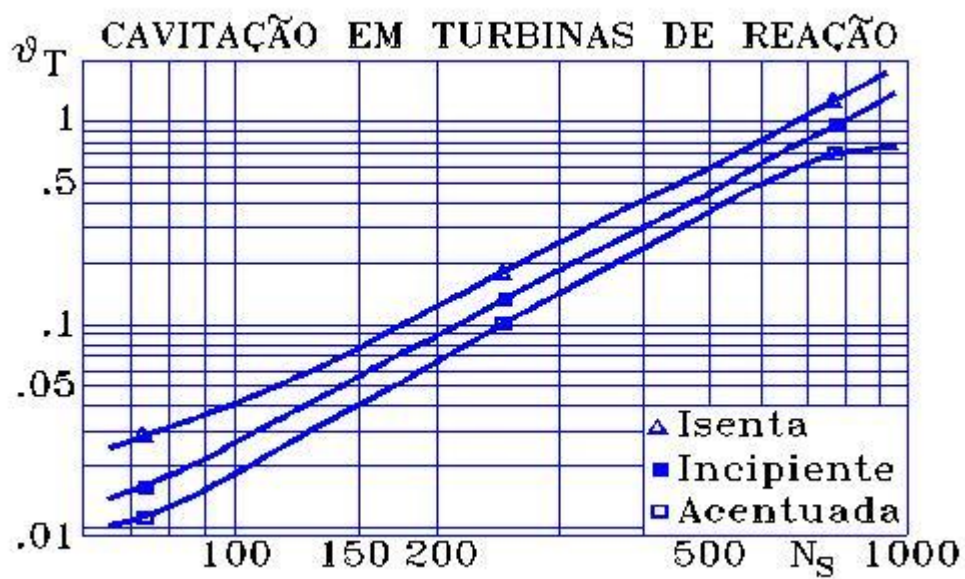


Gráfico 3 : Gráfico Cavitação em Turbinas de Reação

σ_t (axial) = 0,8

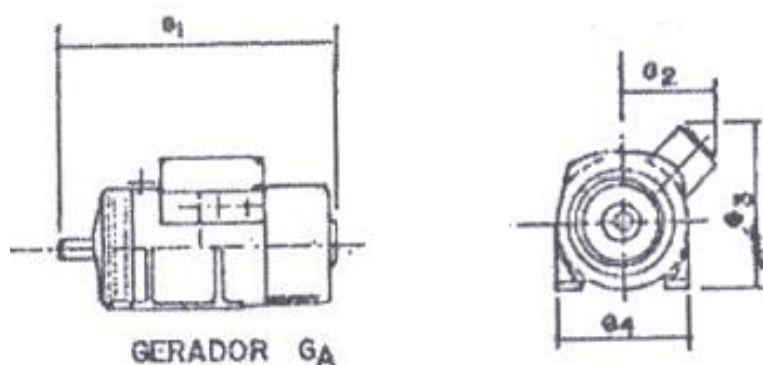
Logo, h_{sg} (axial) = -3m

6.6. Dimensionamento da casa de máquinas

Dimensões Básicas do Gerador de 1020 kW.

G_1 (m)	G_2 (m)	G_3 (m)	G_4 (m)
1,45	0,55	0,80	0,75

Sendo G_1 , G_2 , G_3 e G_4 especificados de acordo com as figuras abaixo:



Figuras 17 e 18: gerador e vista frontal

Para o modelo de turbina axial, temos a seguinte tabela de dimensionamento médio da turbina a partir do valor de D_n , sendo D_n o diâmetro do rotor da turbina.

Tabela 4 - Dimensionamento Médio da Turbina

D_n	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7
1,0	2,3	4,1	1,3	2,1	2,7	1,5	2,1

Foi realizada a análise com a construtora de turbinas Hunan Lingling Hengyuan Generation Equipment, construtora chinesa de turbinas, e o valor específico de D_n para a turbina de 1020 kW é de 0,75m. Portanto temos:

Tabela 5 – Dimensionamto em Hunan Lingling

D_n	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7
0,75	1,7	3,0	1,0	1,5	2,0	1,1	1,6

Finalmente, pela figura 18 e com o auxílio da planta padrão (figura 19) apresentados abaixo podemos dimensionar a casa de máquinas, obtendo os seguintes valores mínimos de construção da casa de máquinas, aproximando para inteiro superior mais próximo obtemos o comprimento de 10m e a largura de 9m, pela tabela, fica a cargo do construtor escolher o valor do pé direito da construção, sendo assim, especificado de 5m.

Tabela 27 – Dimensões dos Componentes da Casa de Máquinas

Designação	Referência	Dimensões (m)	Observações
Comprimento	M	$0,5 + T_5 + T_4 + G_4 + 2,50$	Dimensão mínima
Largura	N	$1,50 + T_1 + T_2 + 2,80$	Dimensão mínima
Pé direito	H	4,50 a 5,50	-
Gerador (G_A)	G_1	-	Consultar fabricante
Sucção	S	2,50 D N	Consultar fabricante
Canal de fuga	C	-	-
Subestação	ST	-	Consultar fabricante
Banheiro	B	1,50 X 2,00	-

Figura 18 – Tabela Dimensões Casa de Máquinas

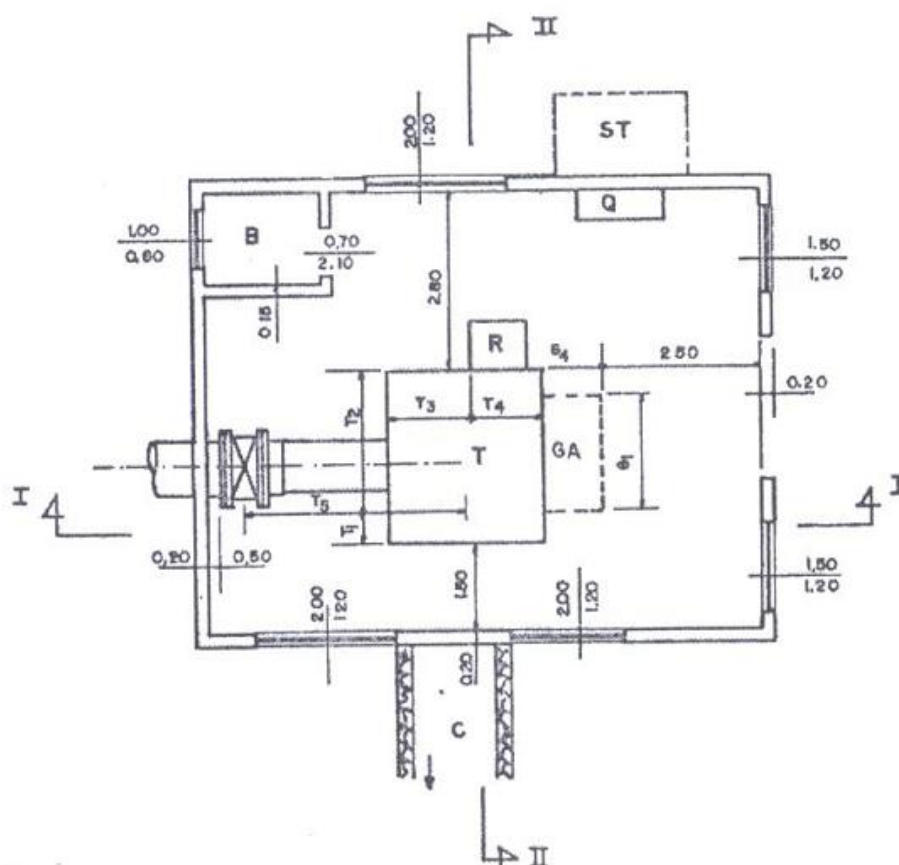


Figura 19 – Planta Casa de Máquinas

6.7. Detalhamento da barragem e represa

Como não se deve construir a barragem em cima nas nascentes pois a construção ficaria instável, opta-se por construir a barragem entre as duas nascentes:

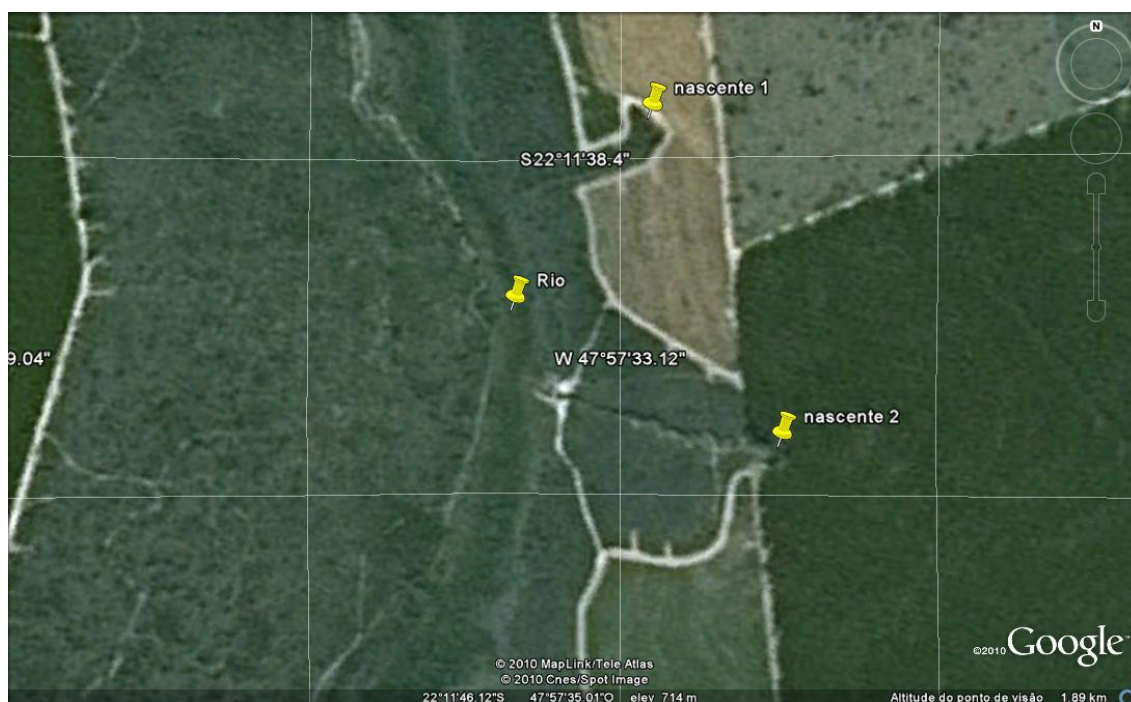


Figura 20 – Vista superior das nascentes

Sendo assim , será traçado um polígono entre as duas nascentes com o intuito de maximizar o local onde a barragem será construída.

Portanto, temos que a barragem terá uma distancia de 224m.



Figura 22 – Trapezio traçado

Após isso, toda área da cota 720 é alagada, desse modo é obtido uma represa de área 530 m² de área alagada.



Figura 23 – Previsão da Represa

Nome:

Descrição	Estilo/Cor	Visualizar	Altitude	Medidas
Perímetro:	3 465	Metros		
Área:	530 884	Metros quadrados		

Figura 24 – Termos no Google Earth

Agora é determinado o local onde o canal de adução irá passar. Como do lado de direito há duas nascentes, então não é apropriado para a construção do canal de adução, sendo assim iremos construí-lo do lado esquerdo do rio.

Primeiramente a borda da esquerda relativa a cota de 720 é alagada.

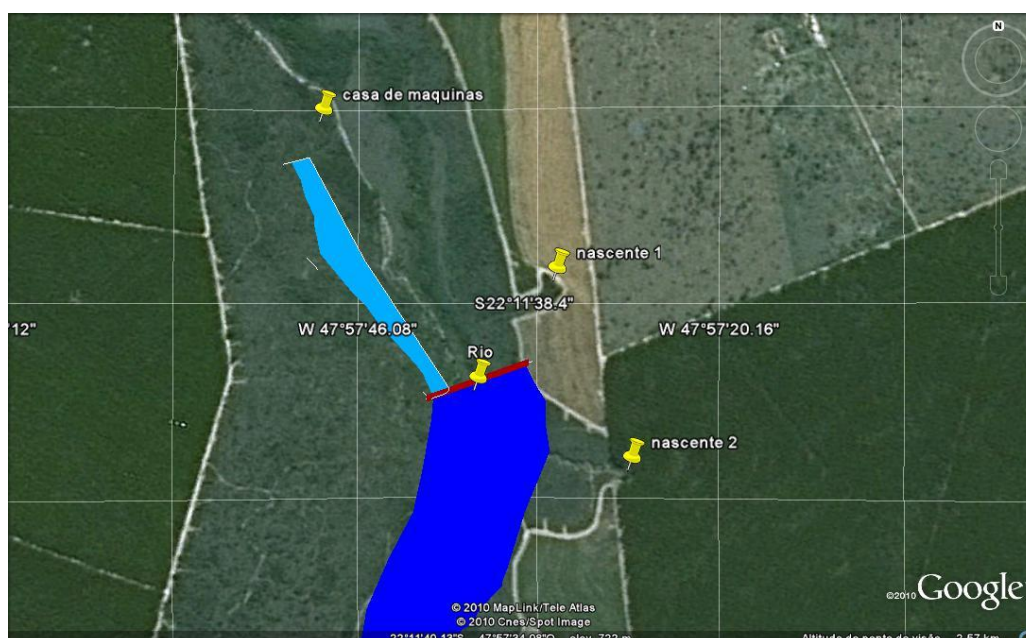


Figura 25 – Local do canal de adução

Logo contorna-se a cota da borda que foi alagada.

Como pode ser visto, o perímetro total do canal de adução é de 1109m, que corresponde a :

$$1109m = 2 \times 550m + 2 \times 4,85m$$

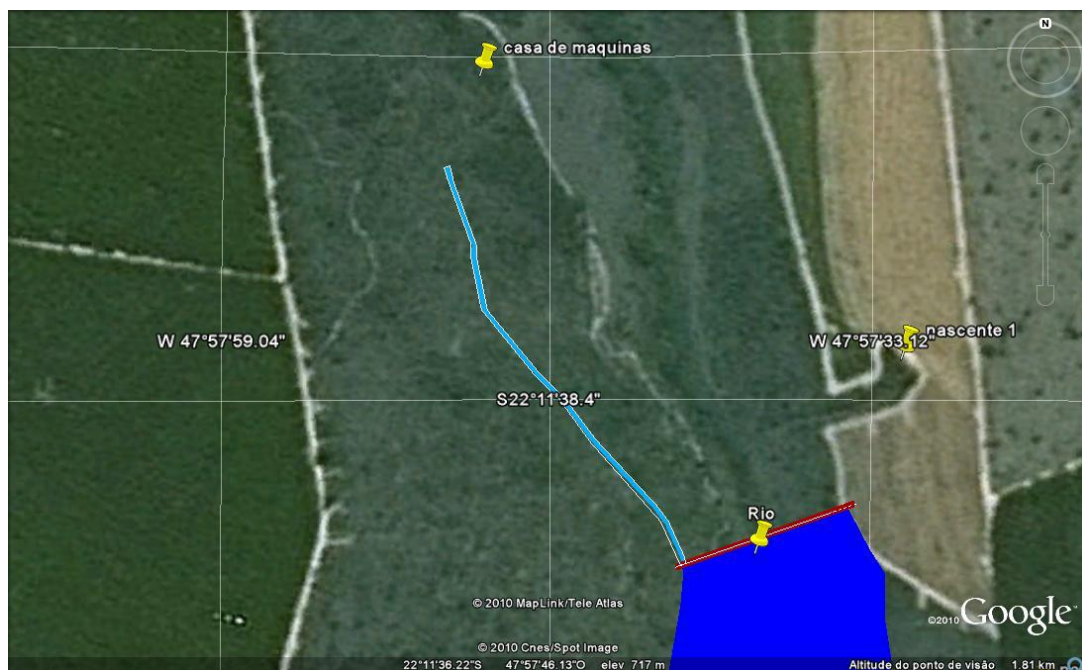


Figura 26 – Canal de adução com borda

Nome:

Descrição	Estilo/Cor	Visualizar	Altitude	Medidas
Perímetro:			1 109	Metros
Área:			3 611	Metros quadrados

Figura 27 – Canal de adução no Google Earth

Posteriormente é dimensionado o duto forçado de modo que esse chegue até a cota de 710m, onde será construída a casa de máquinas.

Nome:

Descrição	Estilo/Cor	Visualizar	Altitude	Medidas
Comprimento:			100	Metros

Figura 28 – Dimensionamento do conduto forçado



Figura 29 – Detalhe do conduto forçado

E por fim uma previsão de como ficaria a barragem.

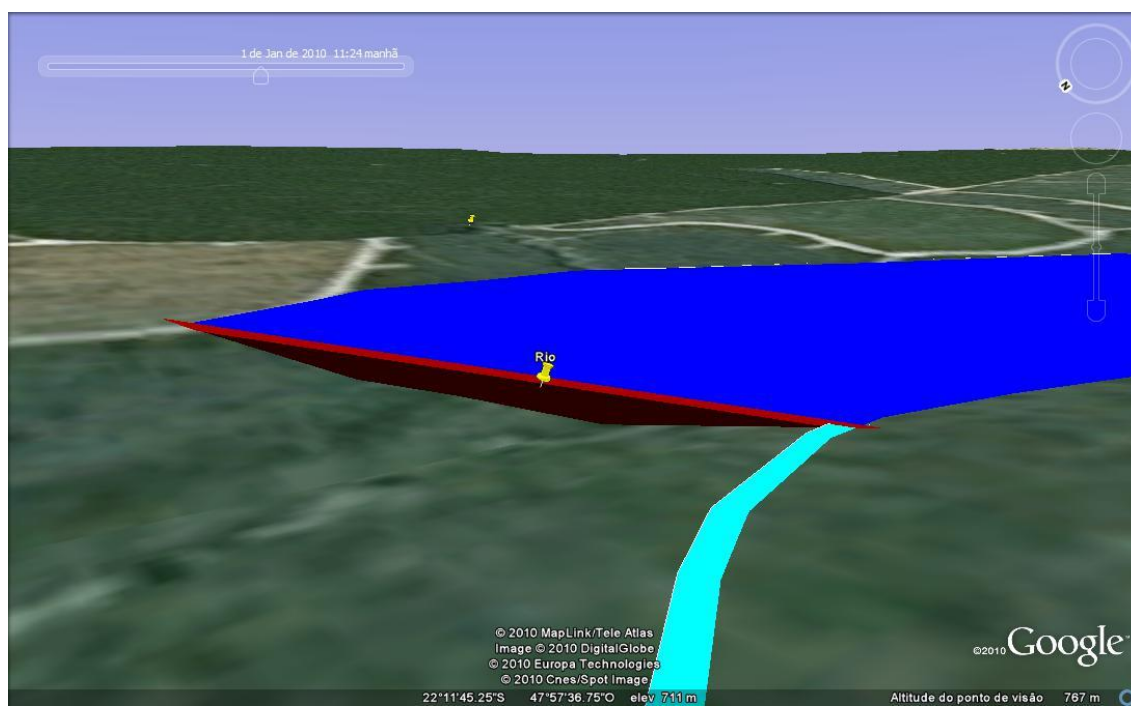


Figura 30 – Previsão da barragem

CAPÍTULO 7

7. Conclusões

O intuito do trabalho é procurar esclarecer quais são as etapas necessárias para a criação de uma nova PCH e também as leis vigentes para esta realização, assim como as normas e diretrizes a serem seguidas. Também foi levantado o panorama atual sobre as energias renováveis, quais são as perspectivas para daqui 10 anos e os desafios dos incentivos criados pelo Governo.

Junto a isso, foi analisado também a possibilidade de, a partir de métodos matemáticos conseguir, começar o inventariado de uma nova pequena central hidrelétrica, afim de julgar sua viabilidade técnica. Visto que os dados utilizados foram os públicos do IBGE e a instrumentação o próprio programa gratuito da empresa Google, o Google Earth, não se pode ir muito a frente das etapas de um inventariado completo, mas apenas começar a análise de potencial energético do fio d'água escolhido.

O resultado é que se pode dimensionar, a partir destes dados públicos, uma boa parte do inventariado necessário para a concessão de uma PCH. Utilizando um livro didático, a instrumentação pública e os dados fornecidos são possíveis chegar próximo a viabilidade técnica, ou até mesmo a inviabilidade, visto que é mais pertinente ter certeza da inviabilidade com os dados obtidos do que a própria viabilidade.

O estudo do caso foi contundente quanto à proposta do trabalho, pois se conseguiu dimensionar praticamente tudo o que os dados oferecidos poderiam colaborar: a potência instalada, as turbinas, o esquemático (vertedouro, canal, tubulação) e também uma possível construção da barragem em questão. Tudo foi ilustrado com o Google Earth e condiz com o que seria na realidade, pois os instrumentos licenciados para a prospecção partem do princípio do uso de satélites para mapear a região.

O trabalho também analisou o PROINFA, que após a sua criação provou que incentivos conseguem alavancar novos empreendimentos, mas merecem melhor execução visto a quantidade de obras adiadas devido a falta de inscrição no programa.

Dois impactos não foram tratados no trabalho, o ambiental e o econômico. O ambiental foi levado em conta para o alagamento proposto na criação de uma PCH, mas o econômico não foi dimensionado, devido à falta de informações necessárias para cotar todos os gastos necessários para a realização da obra, além de que a viabilidade econômica não estava em questão.

Referências Bibliográficas

IGNATIOS, Miguel. Um governo auto-suficiente. Gazeta Mercantil, 11 maio 2006, p. A-3

AGRONEGÓCIOS e tecnologias. Gazeta Mercantil, 24 maio 2006, p. A-3

PORTAL São Francisco. Disponível em <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/meio-ambiente-energia-hidrica/index.php>>. Acesso em 30/10/11

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Resolução Nº 652. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2003652.pdf>> Acesso em 23/10/2011.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Resolução Nº 248. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2002248.pdf>>. Acesso em 23/10/2011.

GUIA DO EMPREENDEDOR. ANEEL, 2004.

PROINFA. <http://www.mme.gov.br/programas/proinfa/>. Acesso em 25/10/2011.

ELETROBRAS

PROINFA

<http://www.eletrobras.com/elb/Proinfa/data/Pages/LUMISABB61D26PTBRIE.htm>.

Acesso em 25/10/2011.

CENTRAIS ELÉTRICAS DO BRASIL (ELETROBRÁS). Diretrizes de estudos e projetos de pequenas centrais hidrelétricas. Rio de Janeiro. 2000.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Plano Decenal de Expansão de Energia 2008/2017– Capítulo III-1 65. EPE, Rio de Janeiro, 2008a.

NUMEROS de São Carlos. http://www.abnexo.com.br/numeros_de_sao_carlos.php. Acesso em 25/10/2011

SHS 115 – APROVEITAMENTOS HIDRELÉTRICOS – Prof. Dr. Frederico Fábio Mauad, 2004.

Guia de habilitação PCH. MME . 2004

