



Universidade Federal de Campina Grande

Centro de Engenharia Elétrica e Informática

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

ALBERTO HENRIQUE DANTAS

MÉDIAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS

Campina Grande – Paraíba

Março de 2011

ALBERTO HENRIQUE DANTAS

MÉDIAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Orientador:

Professor Karcus M. C. Dantas, M. Sc.

Campina Grande – Paraíba

Março de 2011

ALBERTO HENRIQUE DANTAS

MÉDIAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Aprovado em / /

Prof. Karcus M.C. Dantas, M.Sc, UFCG

Orientador

Professor Avaliador
Componente da Banca

Campina Grande – Paraíba

Março de 2011

Dedicatória

À minha mãe, *Lucenilda da Silva Dantas (In Memoriam)* e

Ao meu pai, *Aloisio Henrique Dantas.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me fortalecido nos momentos de fraquezas e me guiar por caminhos corretos e justos.

Aos meus pais, pelas incansáveis noites de orações e pelos momentos de afeto.

Aos meus irmãos, que sempre me apoiaram e estiveram ao meu lado nos momentos mais difíceis da minha vida.

Aos meus amigos, Bruno Soares de Sousa, Dassayev Lunguinho da Silva, Breitner Lunguinho da Silva, Ivan de Matos do Nascimento, Tiago da Silva Balbino, Luiz Carlos Queiroga Junior, Miguel Queiroga Filho, Caio Calado Fernandes, Tiago da Silva Brito, Victor de Paiva Lopes, Manoel Leoemi, Gustavo Soares dos Santos, Joale de Carvalho Pereira e José Wellington do Nascimento, pelos momentos de alegrias e superações vivenciadas em minha vida acadêmica.

A José Muniz de Moraes e Ivson Bandeira, pelas palavras de incentivo, profissionalismo e pela oportunidade de desenvolver-me profissionalmente durante o período de meu estágio.

A todos os funcionários da BM engenharia, especialmente a Devaldo, pelas lições de vida, pela compreensão e pela conduta profissional que colaboraram para meu aprendizado.

Ao engenheiro Ewton Vieira, aos técnicos Jonas Alves, Ivanilson, Márcio, Marcílo, Gislane, Abel Borba Junior que sempre trabalharam de forma profissional, contribuindo para meu crescimento.

Ao professor Karcius Marcelus Colaço Dantas que se colocou a disposição no desenvolvimento e participação da minha formação profissional, dando-me suporte no que foi necessário.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica, em especial a Adail, que sempre me orientou nos momentos mais difíceis de minha vida acadêmica.

Aos Sr. Gildo Soares dos Santos, Sra. Maria do Carmo e Sra. Maria de Fátima Cabral dos Santos que sempre me acolheram como filho em vários momentos.

A todos aqueles que não foram citados, mas que de forma direta ou indireta contribuíram substancialmente para meu aprendizado profissional.

“Com fé, nós podemos tudo.”

Resumo

Neste trabalho é apresentado um pouco da história do setor elétrico brasileiro e sua importância. São abordadas as classificações das usinas hidrelétricas e as descrições das partes constituintes das Médias Centrais Hidrelétricas. As principais condições para geração de energia elétrica também são apresentadas. Quais tipos de turbinas utilizadas e as classificações das mesmas também são abordadas. De forma sucinta, o detalhamento dos aspectos construtivos de uma usina hidrelétrica é apresentado, mostrando desde os tipos de reservatórios até a passagem das águas pelos hidrogeradores.

Palavras chaves: Setor Elétrico Brasileiro, Usinas Hidrelétricas, Aspectos Construtivos.

Abstract

In this work it is presented the history of the Brazilian Power System and its importance. It is explored the classification of hydroelectric power plants and the descriptions of the main parts of Medium Hydroelectric power plants. The main conditions for electricity generation are also presented. The types of turbines and its classification are exposed. Briefly, it is shown the details of the construction aspects of a hydroelectric power plant, from the reservoirs types to the flow of water through the hydroelectric plant.

Keywords: Brazilian Power System, Hydroelectric Power Plants, Construction Aspects.

SUMÁRIO

1. Introdução	10
2. O Setor Elétrico Brasileiro	11
3. Usinas Hidrelétricas	14
4. Aspectos Construtivos das Centrais Hidrelétricas	15
4.1. Reservatório	15
4.1.1 Usinas a Fio d`água	15
4.1.2 Usinas de Acumulação.	16
4.2 Barragem	16
4.3 Ensecadeira	18
4.4 Vertedouro	18
4.5 Tomada D`água	19
4.5 Condução da Adução da Água	20
4.6 Pórtico Rolante , Ponte Rolante e Talha Monovia	21
4.8 Casa de Força	22
4.8.1 Equipamentos Elétricos Auxiliares	24
4.8.2 Equipamentos Auxiliares Mecânicos	25
4.8.3 Turbinas Hidráulicas	26
4.8.4 Turbinas Pelton	27
4.8.5 Turbinas Francis	28
4.8.6 Turbinas Bulbo.....	29
4.8.7 Turbinas Kaplan.....	30
4.8.7 Hidrogeradores	30
4.5 Sala de Controle e Proteção	34
5. Transformador Elevador	35
6. Subestações	36
7. Conclusão	38
8. Bibliografia	39

1. Introdução

As usinas hidrelétricas representam uma fatia considerável na produção de energia elétrica em todo o mundo, sendo classificada como a maior fonte de energia renovável existente. No Brasil, os climas chuvosos, o relevo predominante de planaltos e solos favoráveis ao armazenamento de água faz desta matriz a opção economicamente mais viável. O Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas (CERPCH) sugere como classificação das hidrelétricas a partir da potência de geração, podendo se enquadrar em grandes, médias, pequenas, mini, micro e pico centrais hidrelétricas.

O processo de eletrificação de uma região compreende também várias etapas intrinsecamente acopladas de geração de eletricidade, que é feita nas usinas, também chamadas de casas de força ou de centrais elétricas.

Doravante, serão analisados os aspectos construtivos e os aspectos para operação das Médias Centrais Hidrelétricas, realizando uma descrição dos mecanismos das unidades de geração de energia elétrica.

2. O Setor Elétrico Brasileiro

O Setor Elétrico Brasileiro teve seu início no período de 1903, onde já nascera com características privadas. Em meio à crise gerada pela quebra da Bolsa de Nova Iorque, o então presidente da República Getúlio Vargas, em 1943, coloca em vigor o Código de Águas, onde o poder público passou a ter o controle rigoroso das concessionárias de eletricidade. Em 1960 foi criado o Ministério de Minas e Energia, sendo seguida pela criação da constituição das Centrais Elétricas Brasileiras S./A., passando a ser estabelecida no ano de 1964 a frequência de 60 Hz como padronização nacional.

Com a abertura do setor elétrico no governo de Fernando Henrique Cardoso através do processo de privatização criou-se um novo cenário no mercado. Neste mesmo período foram criados o Operador Nacional do Sistema (ONS), responsável pela operação do Sistema Interligado Nacional (SIN), e a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), como regulador e fiscalizador do sistema elétrico.

No ano de 2004 foi implantado o Novo Modelo do Setor Elétrico Brasileiro promovido pelo Governo Federal, mediante as leis de número 10.847/2004 e número 10.848/2004, mantendo a formulação de políticas para o setor de energia elétrica como atribuição do Poder Executivo Federal, por meio do Ministério de Minas e Energia (MME) e com assessoramento do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) e do Congresso Nacional, foram então criados novos agentes como a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), vinculada ao MME e cuja função é realizar os estudos necessários ao planejamento da expansão do sistema elétrico e criação da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), responsável pela negociação da energia no mercado livre. Manteve-se a ANEEL, agência reguladora, e o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), responsável por coordenar e supervisionar a operação centralizada do sistema interligado brasileiro. Para acompanhar e avaliar permanentemente a continuidade e a segurança do suprimento eletro-energético em todo o território nacional foi instituído o Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE), também ligado ao MME.

Desta forma o Setor Elétrico Brasileiro (SEB) tem operação através de concessão, autorização ou permissão do Estado, sendo altamente regulamentado através de direitos e deveres do Poder Concedente, Agência Reguladora, Entidades Setoriais e Agentes, tudo com

o objetivo fundamental de assegurar a gestão do compromisso da segurança do suprimento e a tarifação em curto, médio e longo prazos, provendo serviços públicos de eletricidade à população.

A flexibilidade do sistema elétrico brasileiro torna-o único no mundo, graças a grande capacidade da sua reserva hídrica compartilhada através do Sistema Interligado Nacional (SIN), onde a demanda de energia pode crescer antes da oferta. Além disso, tem um dos menores custos operacionais e ambientais do planeta. Essas particularidades foram herdadas do modelo criado pela Eletrobrás, a partir da década de 1960, tornando-o, ao longo das décadas, o sistema elétrico interligado mais confiável, barato, flexível e limpo entre as grandes nações do planeta.

Sabe-se que o maior mercado consumidor está situado no eixo Sul e Sudeste, que impulsiona a instalação de novas unidades geradoras predominantemente hidráulicas, graças a grande capacidade de aproveitamento dos rios desta região. Também, através do SIN, com mais de 90 mil km de linhas de transmissão operado por 64 concessionárias, pode-se ter um escoamento da geração de energia elétrica para as demais regiões possuidoras de grandes parques industriais. Já na região Norte, pequenas centrais elétricas e termelétricas a óleo diesel faz o suprimento de grande parte do mercado consumidor desta região.

De acordo com os resultados preliminares do Balanço Energético Nacional (BEN) de 2009, produzido pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE, com exceção da energia hidráulica, houve expansão do consumo de todas as principais formas de energia primária, alavancados pelos programas sociais de transferência do Governo Federal (Bolsa Família) e também com aumento do poder aquisitivo da população. Com o lançamento do Plano de Aceleração do Crescimento (PAC), houve um acréscimo nos subsídios do governo para a implantação de novas unidades geradoras. Nesse projeto também contempla a criação de novas hidrelétricas de pequeno porte, assim como a construção de novas termelétricas.

Os dados apresentados pelo Banco de Informações da Geração (BIG) mostram que, em novembro de 2008, existiam em operação 227 Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH), com potência total de 120 megawatt (MW), 320 Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) com capacidade total de 2,4 mil MW e 159 Usinas Hidrelétricas de Energia (UHE) com potência total de 74,632 mil MW. Portanto em 12 Novembro de 2008, as usinas hidrelétricas, independentemente de seu porte, respondiam por 75,9% da potência instalada do país.

Em 2007, segundo os resultados preliminares do Balanço Energético Nacional (BEN), elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética, a energia de fonte hidráulica (ou hidreletricidade) respondeu por 14,7% da matriz energética brasileira, sendo superada por derivados da cana-de-açúcar (16,0%) e petróleo e derivados (36,7%). Na oferta interna de energia elétrica, que totalizou 482,6 TWh (aumento de 4,9% em relação a 2006), a energia de fonte hidráulica produzida no país representou 85,6%, constituindo-se, de longe, na maior produtora de eletricidade do país. Já na figura 1 é apresentada a oferta de energia elétrica no Brasil.

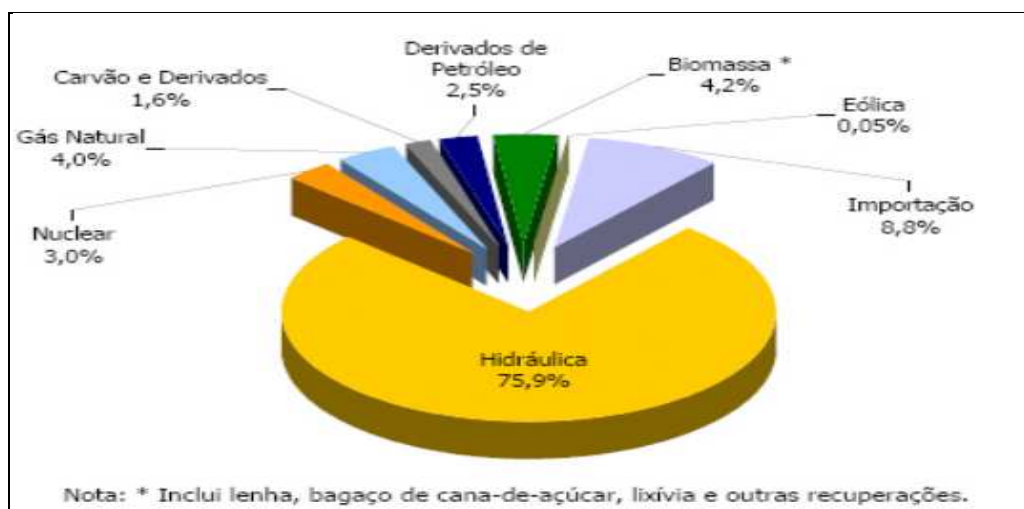


Figura 1 Matriz Energética Brasileira 2009, Sulema Mendes de Budin (2009).

Com maior potencial hidrelétrico no mundo, o Brasil possui uma capacidade de geração futura de 260 mil MW, segundo o Plano 2015 da Petrobrás, último inventário produzido em 1992. Deste mais de 30% se tornaram em usinas contruídas ou outorgadas. Já pelo Plano Nacional de 2030, o potencial a ser aproveitado estará próximo a 126 mil MW, sendo mais de 70% nas bacias do Amazonas e Tocantins/Araguaia. Onde na bacia do Amazonas, e no rio rio Madeira, estão sendo construídas as Usinas de Santo Antônio, licitada em 2007 com capacidade de 3.150 MW e a Usina de Jirau, licitada em 2008, com capacidade instalada de 3.300 MW.

Além das grandes unidades geradoras, pequenas e médias centrais hidrelétricas, conhecidas pela sigla PCHs, têm ajudado a suprir a demanda por energia elétrica no Brasil, principalmente considerando-se a previsão de diversos setores da economia que estimam o crescimento em 5% para os próximos anos. O Brasil conta hoje com cerca de 350 PCHs,

responsáveis por quase 3% da oferta de energia, com potencial de geração que pode chegar a 8% nas próximas décadas, representando uma capacidade de 25 mil MW.

3. Usinas Hidrelétricas

Uma central hidrelétrica, independentemente de seu porte, é constituída por diversos componentes cuja função principal é captar e aduzir a água para o conjunto: turbina e gerador, sendo estes componentes responsáveis pela transformação da energia hidráulica em eletricidade.

A geração hidrelétrica está associada à vazão do rio, isto é, à quantidade de água disponível em um determinado período de tempo, e altura de sua queda. Quanto maiores são os volumes de sua queda, maior é seu potencial de aproveitamento na geração de eletricidade. A vazão de um rio depende de suas condições geológicas, como largura, inclinação, tipo de solo, obstáculos e quedas e é determinada ainda pela quantidade de chuvas que o alimentam durante o ano.

As partes constituintes das centrais hidrelétricas são, basicamente, barragem, vertedouro, o sistema adutor formado pela tomada d'água, a casa de máquina onde se encontram o grupo gerador composta por: turbina e hidrogerador. Já a classificação das usinas se deve a característica de produção de energia, onde esses aspectos estão relacionados diretamente com os aproveitamentos hidrelétricos que possuem variáveis que são utilizadas na classificação das usinas hidrelétricas a exemplo da capacidade ou potência instalada, altura da queda d'água e vazão.

A potência instalada pode definir a classificação das usinas hidrelétricas em pequenas, médias e grandes. Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), através da resolução da Aneel nº 394 de 04/12/98, são empreendimentos hidrelétricos com potência superior a 1 MW e igual ou inferior a 30 MW, com área total de reservatório igual ou inferior a 3,0 km². Porém, não existe limite claro entre os aproveitamentos médios e grandes no que se refere à potência total instalada. O Centro Nacional de Referência em PCHs (CERPCH) tem como sugestão a classificação das hidrelétricas pela potência gerada, onde as Grandes Centrais Hidroelétricas (GCH) geram acima de 50 MW, sendo as Médias Centrais Hidroelétricas (UHE) de 30MW até 50 MW, as Pequenas Centrais Hidroelétricas (PCH) de 1 até 30 MW, as Mini

Centrais Hidroelétricas (mCH) de 100 até 1000 kW, as Micro Centrais Hidroelétricas (uCH) de 20 até 100 kW e as Pico Centrais (pCH) até 20 kW.

Temos ainda a classificação quanto à queda, sendo de:

- Baixíssimas quedas (menores que 10 m);
- Baixa quedas (de 10 m a 25 m);
- Média quedas (de 25 m a 50 m),
- Alta quedas (acima de 250 m).

4. Aspectos Construtivos das Centrais Hidrelétricas

Os aspectos construtivos mostram as partes integrantes na construção de uma usina hidrelétrica, assim como a importância e as características inerentes a cada uma delas. As partes que envolvem a construção de uma UHE são: reservatório, barragem, enscadeira, vertedouro, tomada d'água e condução da água.

4.1. Reservatório

A classificação mais importante das usinas hidrelétricas, no entanto, é quanto a característica de produção de energia. Sob este aspecto, as usinas podem ser classificadas em usinas a fio d'água e usinas de acumulação, conforme mostradas na figura 2.

4.1.1 Usinas a Fio d'água

Usinas a fio d'água são as que não dispõem de um reservatório com volume considerável, tendo como consequência uma produção irregular de energia, em função das oscilações de vazão do rio. O sistema de adução deverá ser projetado para conduzir a descarga necessária para fornecer a potência que atenda à demanda máxima. O aproveitamento energético local será parcial e o vertedouro funcionará na quase totalidade do tempo, extravasando o excesso de água.

4.1.2 Usinas de Acumulação

Usinas de acumulação possuem um reservatório de porte suficiente para permitir uma otimização da produção da energia em função da demanda. Geralmente localizados na cabeceira dos rios, em locais de altas quedas d'água. Dado o seu grande porte permitem o acúmulo de grande quantidade de água e funcionam como estoques a serem utilizados em períodos de estiagem. Para fazer uma regularização eficiente, o reservatório deve ter um volume que varia de 50 a 150% da vazão anual do rio naquele local, dependendo do regime da vazão do rio.



(a) UHE Igarapava (2010).

(b) UHE Balbina (2010).

Figura 2. Reservatórios (a) a fio d'água e Reservatório (b) de acumulação.

4.2 Barragem

A barragem trata-se de um elemento estrutural, construído transversalmente ao escoamento do curso da água, elevando o nível do rio para acumulação de água e formação de potencial energético (queda) e criar um reservatório para regularização da vazão. A decisão sobre o tipo de barragem deverá se fundamentar primeiro numa análise técnica e posteriormente numa análise econômica. Sendo desta forma a barragem pode ser classificada pelo tipo de material (Barragem de Terra, Barragem de Enrocamento, Barragem de Concreto, Barragem Mista) e pela sua geometria (Barragem por gravidade, Barragem tipo Arco, Barragem tipo Arco-Gravidade), que estão representadas pela figura 3.

Barragem de Terra: Tem sua construção de forma compactada com terra, com seções transversais, recoberta por revestimento protetor em pedra ou grama.

Barragem de Enrocamento: Construída com blocos de rocha soltas de tamanho variável e uma membrana impermeável na face de montante.

Barragem de Concreto: Barragem de concreto compactado a rolo conhecida como CCR.

Barragem Mista: Composta de um núcleo de terra compactada, revestido com placas de concreto.

Barragem por Gravidade: São aquelas cujo o equilíbrio estático da construção, sob a ação das forças externas realizado pelo próprio peso da estrutura, com o auxílio eventual da componente vertical do empuxo que atua sobre suas paredes. A resultante de todas as forças atuantes é transmitida através de sua base, ao solo do leito do rio sobre o qual se apoia. Os vazamentos são evitados por um núcleo de argila à prova de água ou ainda por concreto.

Barragem tipo Arco: As estruturas em arco resistem com facilidade a cargas uniformemente distribuídas sobre seu dorso, transmitindo-as para as suas ombreiras intrínscico a sua geometria. Sua estrutura é um arco de concreto.

Barragem tipo Arco-Gravidade: São barragens em forma de arco, mas que funcionam num misto de barragens em arco e por gravidade. As suas secções transversais apresentam-se bem mais espessas que as das barragens em arco, porém mais estreitas que as das barragens de gravidade.



Figura 3. (a) UHE São José(2009) Barragem tipo Concreto Compactado a Rolo. (b) Barragem de Enrocamento com núcleo em argila e (c) Barragem tipo Arco-Gravidade, GE imagination at work (2006).

4.3 Ensecadeira

Para se ter o início da construção de uma barragem definitiva, faz-se necessário o uso de uma ensecadeira para fazer o desvio do curso natural do rio, permitindo a construção da barragem permanente da usina, sendo aquela destruída ou ficando submersa após conclusão. Na figura 4 tem-se a ilustração da ensecadeira da UHE São José - RS.



Figura 4. Ensecadeira da UHE São José (2010).

4.4 Vertedouro

São chamados de descarregadores ou vertedouros, estrutura capaz de escoar o excesso de água do reservatório. Deve ser dimensionado para que em nenhuma hipótese, mesmo durante a cheia máxima provável, o nível de água do reservatório atinja a crista da barragem.

Em usinas de baixas descargas, o vertedouro consiste numa soleira com crista arredondada situada numa determinada elevação. Toda vez que o nível da represa exceder o nível da soleira, o excedente de água escoar para jusante. Este tipo de vertedouro no entanto tem capacidade limitada de escoamento. As comportas normalmente utilizadas são do tipo segmento, também chamadas de comportas de setor. Segue na figura 5 a ilustração do vertedouro da Usina Hidrelétrica São José - RS e suas comportas.



Figura 5. Vetedouro da UHE São José-RS com seis comportas (2010).

4.5 Tomada D'água

Tem a finalidade de iniciar a condução da água para as turbinas, podendo também ser incorporado a barragem ou constituir uma estrutura independente. Na tomada d'água estão localizadas as grades de proteção, as comportas e as vigas de vedação (stop-logs).

Grades de proteção: Têm a função de impedir a entrada de troncos ou outros corpos que possam danificar as turbinas, conforme ilustrado na figura 6.

Comportas: São utilizadas nas tomadas d'água e tem a função de bloquear o fluxo de água das turbinas em caso de paradas para manutenção. Possui também um sistema de fechamento rápido em caso de emergência. Para fechamento das comportas da tomada d'água para manutenção quando o reservatório está cheio faz o uso de vigas pescadeiras ou de vedação (stop-logs).



Figura 6. Grades de Proteção da Tomada d'água da UHE São José-RS (2010).

4.4 Condução da Adução da Água

Dependendo da construção da usina, a adução pode ser feita através de canais de adução, normalmente de formato trapezoidal, utilizados em usinas de pequeno porte com a função de levar a água do reservatório até um ponto próximo da casa de força, para que a água seja levada através do conduto forçado até a turbina.

Conduitos Forçados são tubulações que ligam a tomada d'água às turbinas, podendo ser embutidos ou expostos. Nas turbinas de baixa queda, normalmente a casa de força faz parte da barragem de modo que a entrada da turbina fica ligada diretamente à tomada

d'água, não necessitando de um conduto forçado. Segue na figura 7 a condução da adução com e sem conduto forçado respectivamente.

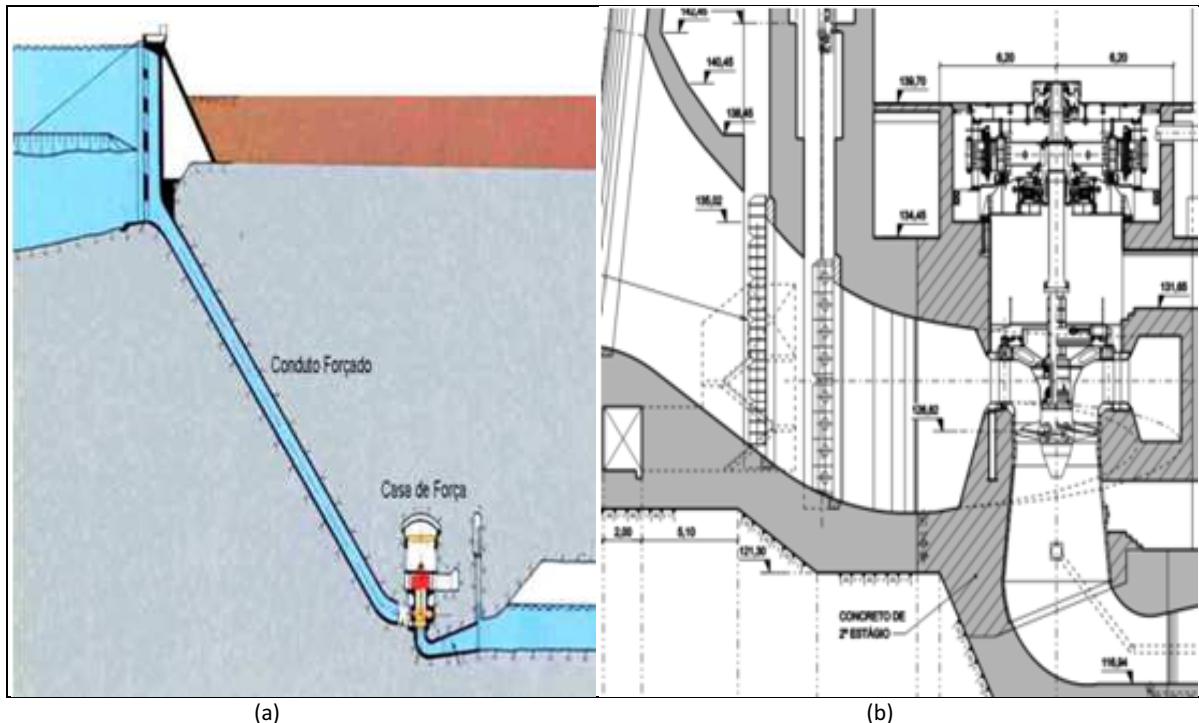


Figura 7. Adução da Água (a) com conduto forçado, GE imagination at work (2006) e (b) arranjo geral da Tomada d'água da UHE São José, sem conduto forçado, ENGEVIX (2009).

Para quedas acima de 30 metros, no entanto, as pressões da água sobre o concreto são mais elevadas e requerem caixas espirais e condutos revestidos em aço, mostrado no arranjo geral da figura 7 (b).

4.5 Pórtico Rolante , Ponte Rolante e Talha Monovia

São equipamentos utilizados na montagem e na manutenção dos equipamentos da Usina. São dimensionados para manusear as peças de peso elevado e auxiliar na limpeza das grades da montante e jusante, assim como transporte materiais para dentro da casa de força, sendo representadas na figura 8 e descritas as funções logo a seguir:

Pórtico Rolante: Situado na montante da Casa de Força, tem a função de levantar as comportas da tomada d'água em situações de emergência, fazendo seu fechamento ou abertura conforme necessidade. Tem também, a finalidade de içar as grades para coleta de madeira e resíduos que descem através do rio.

Ponte Rolante: Localizada na parte interna da Usina. É dimensionada para manusear as peças mais pesadas, como turbinas, rotores e painéis elétricos para montagem da Usina. Com movimentos longitudinais e transversais cobre quase por completo a área interna da Casa de Força. O uso deste equipamento é constante na montagem da Usina, pois é através da ponte rolante que materiais pesados como rotores e turbinas, caixas espirais, painéis e de limpeza do local são movimentados até os locais a serem instalados.

Talha Monovia: Situada na jusante da Casa de Força, também tem a função de levantar cargas com pesos elevados. Ela tem como função principal levantar comportas da Usina através das vigas pescadeiras.



Figura 8. (a) Pórtico Rolante, (b) Ponte Rolante e (c) Talha Monovia em atividade na UHE São José (2011).

4.8 Casa de Força

Neste local estão alojados os equipamentos auxiliares elétricos e mecânicos, o gerador, os sistemas de drenagem e esgotamento e sala de controle. Nela também está localizada a ponte rolante já comentada anteriormente. Logo a casa de força tem a finalidade de alojar e proteger os equipamentos de geração. Por motivos construtivos, nela também pode estar situado na sua parte externa o transformador elevador de tensão, onde estes transformadores deverão ser protegidos pelas paredes corta fogo, como mostrado no arranjo geral da Casa de Força da figura 9.

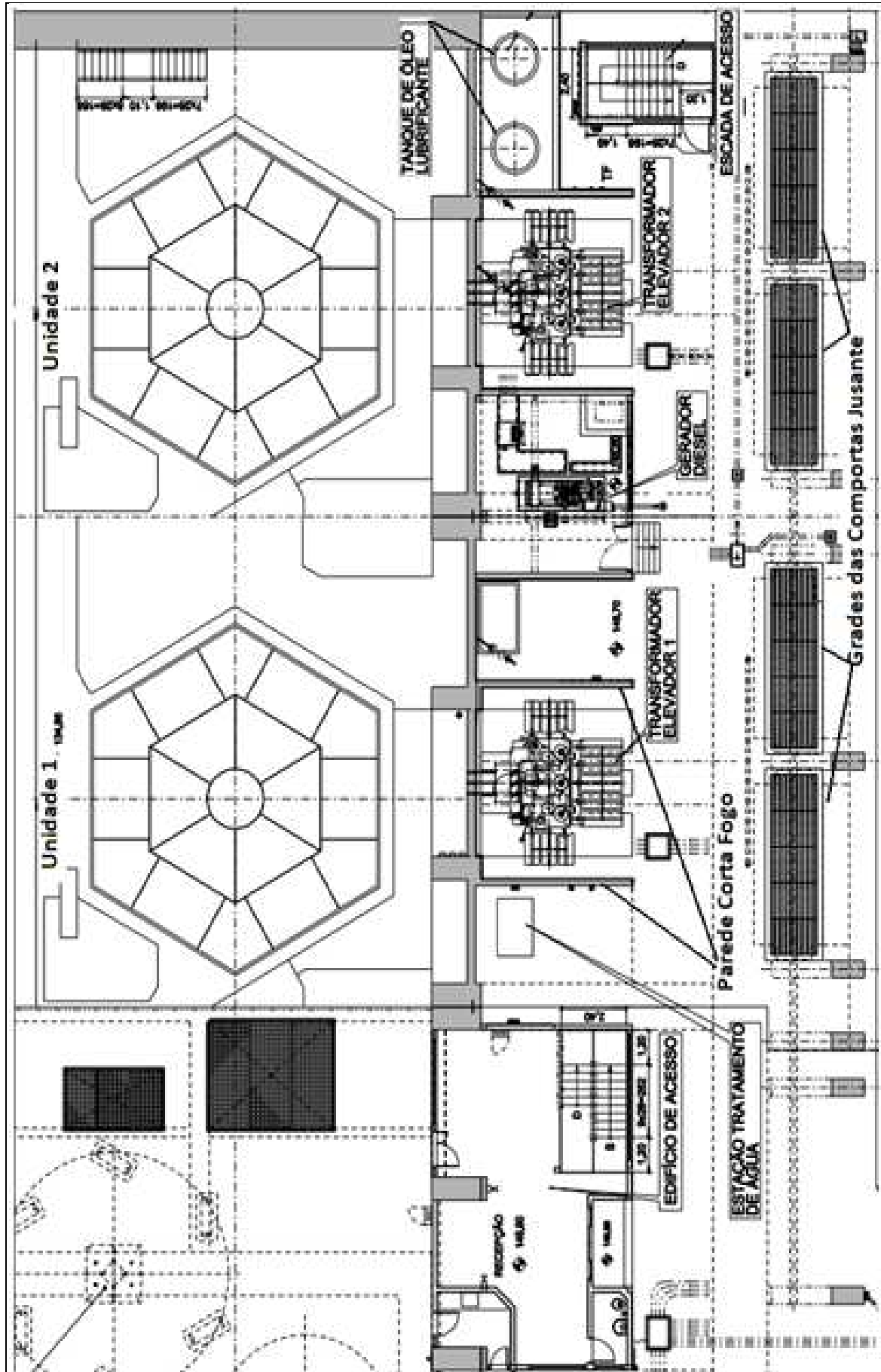


Figura 9. Arranjo geral da Casa de Força da UHE São José-RS, ENGEVIX (2010).

4.8.1 Equipamentos Elétricos Auxiliares

São equipamentos que requerem uma demanda baixa de potência com relação a geração divididos em Serviços de Corrente Alternada (CA) e Serviços Auxiliares de Corrente Contínua (CC), mostrados na figura 10.

Serviços Auxiliares de CA: São supridos pelos geradores da usina por meio de derivações dos cabos de fases isoladas que interligam os geradores aos transformadores elevadores, havendo derivação para dois transformadores de serviços auxiliares que transformam a tensão de geração 13.8 kV/69 kV/ 138 kV a uma tensão de 380 V.

Os equipamentos dos serviços auxiliares de CA também são alimentados através de Grupo Gerador Diesel, que são ligados em paralelo ao barramento do Quadro Geral de Distribuição de Serviços Auxiliares CA, que passa a atuar na falta da alimentação pelo transformador auxiliar.

O Quadro Geral de Distribuição de Serviços Auxiliares alimentam painéis dentro da casa de força, assim como painéis localizados no vertedouro, que por sua vez derivam para quadros, bombas e painéis da barragem, que passam alimentar compressores, bombas de drenagem e esgotamento, unidades hidráulicas de abertura e fechamento das comportas da tomada d'água e vertedouro, bombas de vedação da tampa da turbina, bombas de óleo e resfriamento das unidades geradoras, assim como suprimento dos quadros de iluminação da mesma.

Serviços Auxiliares de CC: O sistema de corrente contínua é constituído por retificadores e por bancos de baterias, operando em regime de flutuação, com capacidade de suprir todas as cargas ligadas ao Quadro de Distribuição de Corrente Contínua de 125 Vcc.

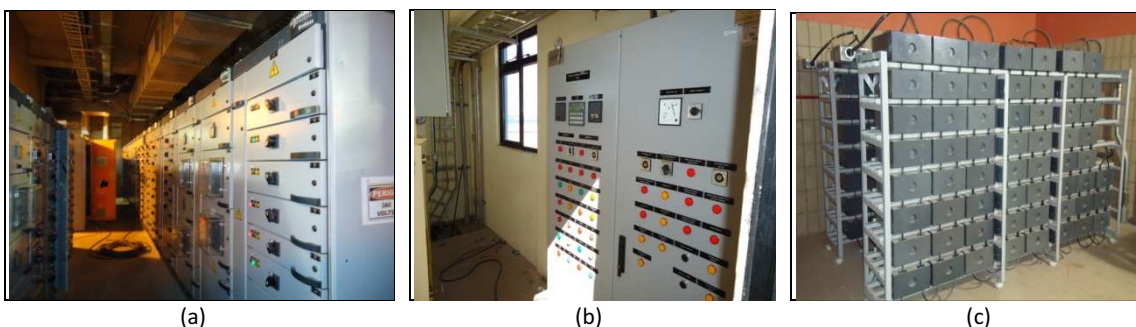


Figura 10. (a) Quadro Geral de Distribuição de Serviços Auxiliares, (b) painel das Unidades Hidráulicas de abertura e fechamento das comportas do vertedouro e (c) Banco de Baterias, fornecimento de Corrente Contínua de 125 Vcc aos Quadros de Distribuição, UHE São José-RS (2011).

4.8.2 Equipamentos Auxiliares Mecânicos

São estes equipamentos que operam para o funcionamento adequado e seguro das unidades de geração. Na figura 11 são mostradas algumas ilustrações de alguns equipamentos auxiliares mecânicos. Os principais auxiliares mecânicos são:

Sistema de Esvaziamento e Enchimento: Tem a finalidade de permitir o esvaziamento total do circuito hidráulico, desde a comporta vagão da tomada d'água até a comporta ensecadeira compreendendo o conduto forçado e turbinas. Este esvaziamento é feito por meio de bombas que drenam a água para jusante ou montante do rio, logo após o fechamento da comporta da tomada d'água.

Sistema de Drenagem e Esgotamento: Tem a função de drenar e bombear para jusante do rio todas as águas que adentram a casa de força e as galerias das barragens devido as infiltrações e vazamentos internos. Uma atenção especial deve ser dada a estes sistemas, pois parte daqui a eminência de alagamento da Casa de Força e Galerias.

Sistema de Resfriamento das Unidades: Fornece água filtrada para os trocadores de calor das unidades hidráulicas de lubrificação (UHL) e regulação (UHR), monitorados por Válvulas motorizadas que abrem e fecham o sistema.

Sistema de Ar Comprimido de Serviço: Este sistema tem a função de fornecer ar sob pressão para toda a Usina, como sistema de frenagem dos geradores, operação de equipamentos a ar comprimido e limpeza de tubulações, superfícies, etc.

Sistemas de Medições Hidráulicas: Constituído por diversos instrumentos destinados à indicação dos níveis de montante e jusante e pressão efetiva em pontos selecionados do circuito hidráulico, onde sensores de níveis, fluxostato e pressostatos monitoram a operação.

Sistema de Combate a Incêndio: Tem a finalidade de detecção e proteção dos equipamentos eletromecânicos e ambientes da usina. O abastecimento é feito por motores acoplados a bombas que recalcarão a água captada no canal de fuga alimentando a rede de hidrantes garantindo a pressão necessária para o sistema de incêndio, assim como nebulizadores. Nas proximidades das unidades geradoras, cilindros de CO₂ também garantem a proteção contra incêndios iniciados por natureza elétrica.

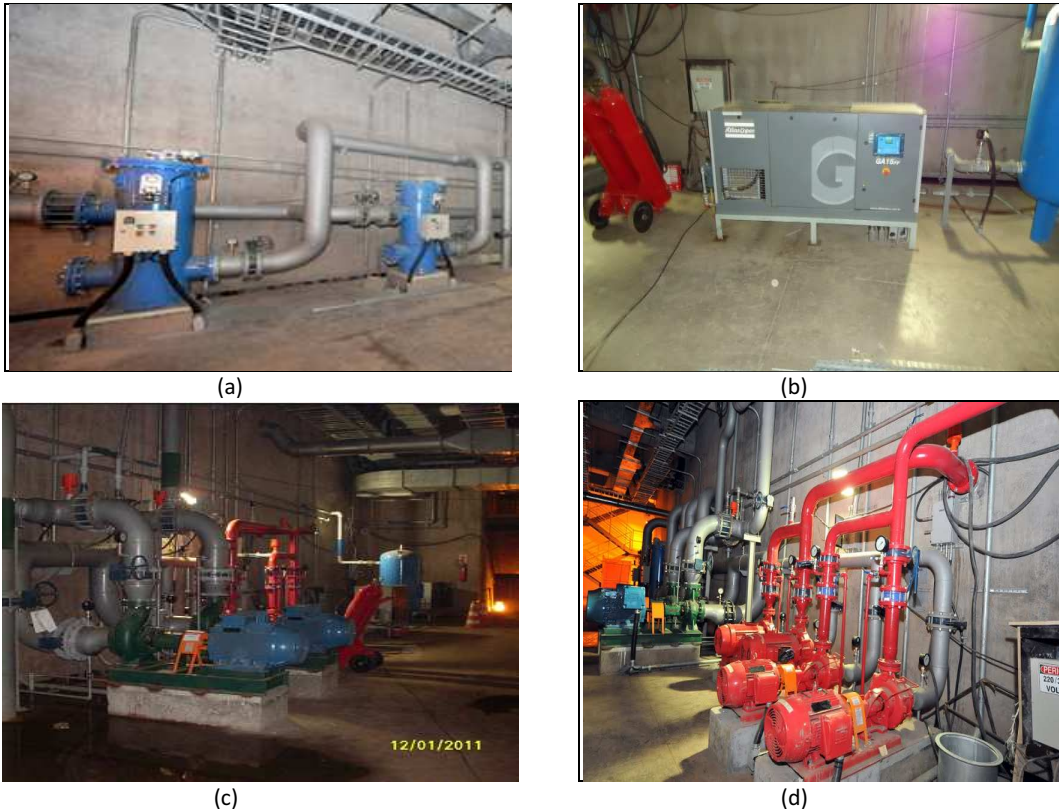


Figura 11. (a) e (c) Sistema de Resfriamento das Unidades, (b) Sistema de Ar Comprimido de Serviço e (c) Sistema de Combate a Incêndio, hidrantes e nebulizadores. Auxiliares mecânicos da UHE São José-RS (2011).

4.8.3 Turbinas Hidráulicas

As turbinas hidráulicas são máquinas motrizes que transformam a energia hidráulica em energia mecânica, a qual gera um torque no eixo da máquina, fazendo o giro de suas pás. O tipo de turbina depende de uma faixa determinada pela altura de queda e vazão. As vazões volumétricas podem ser igualmente grandes em qualquer uma delas, mas a potência será proporcional ao produto da altura de queda da água (H) e da vazão volumétrica (Q), podendo ser montadas com o eixo no sentido vertical ou horizontal.

As principais Turbinas são: Pelton, Francis, Bulbo e Kaplan. O funcionamento destas turbinas tem o mesmo princípio, diferindo apenas para Pelton. Com a água na montante, num nível mais elevado, da Casa de Força, após a abertura das comportas da tomada d'água, a água é levada até a entrada da turbina, onde um sistema de palhetas guia e móveis, conhecida como distribuidor ajustam a potência pela abertura ou fechamento das mesmas.

A potência em (W) de uma turbina pode ser representada pela expressão:

$$P = \rho Q H g \eta \quad (1)$$

Em que:

ρ – densidade da água em (kg/m³);

Q – vazão extravasada pela turbina em (m³/s);

H – queda d'água em (m);

η – eficiência total da turbina em (p.u.).

A eficiência é a fração da energia total da fonte de energia primária (no caso a água) que é convertida em energia útil (no caso potência de eixo).

4.8.4 Turbinas Pelton

As turbinas Pelton, representadas na figura 12, possuem uma operação diferente das demais, onde a pressão primeiramente é transformada em energia cinética, em um bocal, onde o fluxo de água é acelerado até uma alta velocidade, e em seguida choca-se com as pás da turbina imprimindo-lhe rotação e torque. Opera com velocidades de rotação maiores que os outros tipos.

São indicadas em quedas de 350 m até 1100 m, sendo por mais comuns em países montanhosos. É uma turbina do tipo de ação, constituída por um rotor onde são fixadas conchas duplas com aresta diametral sobre a qual incide o jato d'água. Os jatos de água ao se chocarem com as "conchas" do rotor geram o impulso. As turbinas Pelton de grande potência, normalmente utilizam eixo vertical o que simplifica o projeto da unidade geradora. Dependendo da potência que se queira gerar podem ser acionados os 6 bocais simultaneamente, ou apenas cinco ou quatro. O número normal de bocais varia de dois a seis, igualmente espaçados angularmente para garantir um balanceamento dinâmico do rotor.

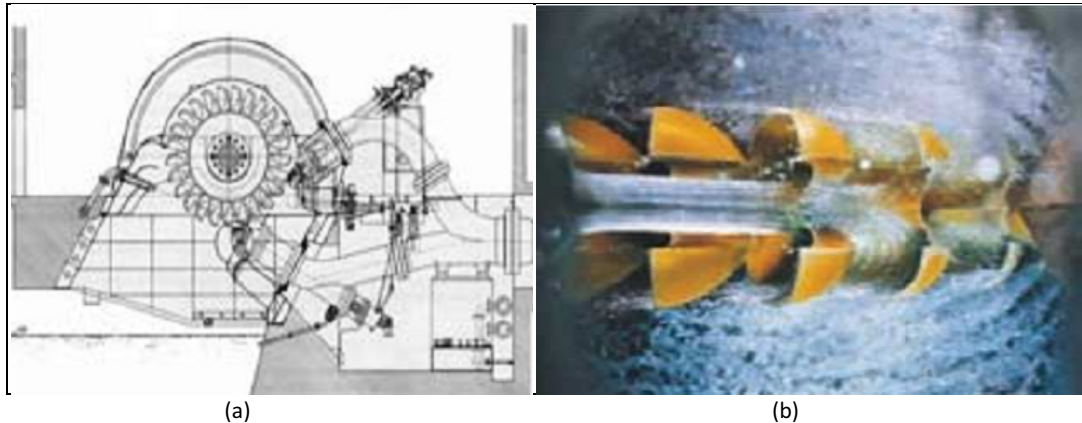


Figura 12. Vista (a) Turbina Pelton de 2 jatos e (b) incidência de um jato d'água em um Rotor Pelton, Soluções Energética para Amazônia (2008).

Estas turbinas apresentam problemas pela alta velocidade com que a água colide sobre o rotor, dando início a um processo erosivo devido aos abrasivos da areia misturada à água, comum nas regiões onde são utilizadas.

4.8.5 Turbinas Francis

Estas turbinas são utilizadas em quedas de 40 a 400m, representadas pela figura 13. Tem a capacidade de variar a potência da turbina pela variação da abertura ou fechamento das palhetas diretrizes situadas na periferia interna do pré-distribuidor em um conjunto chamado distribuidor.

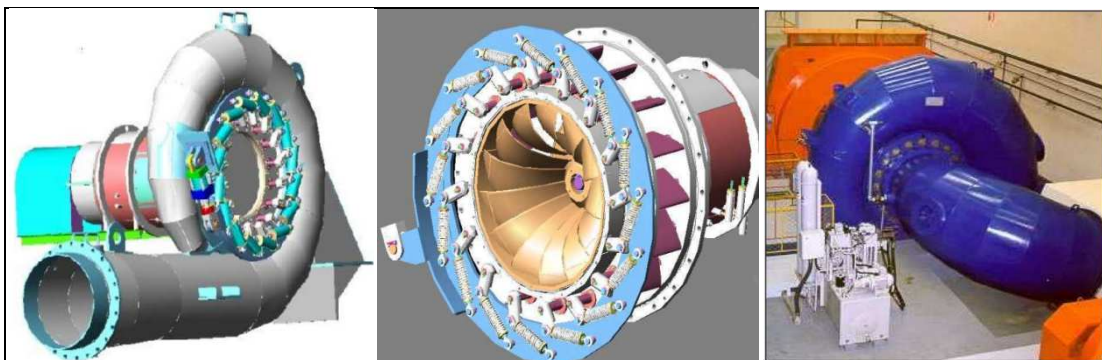
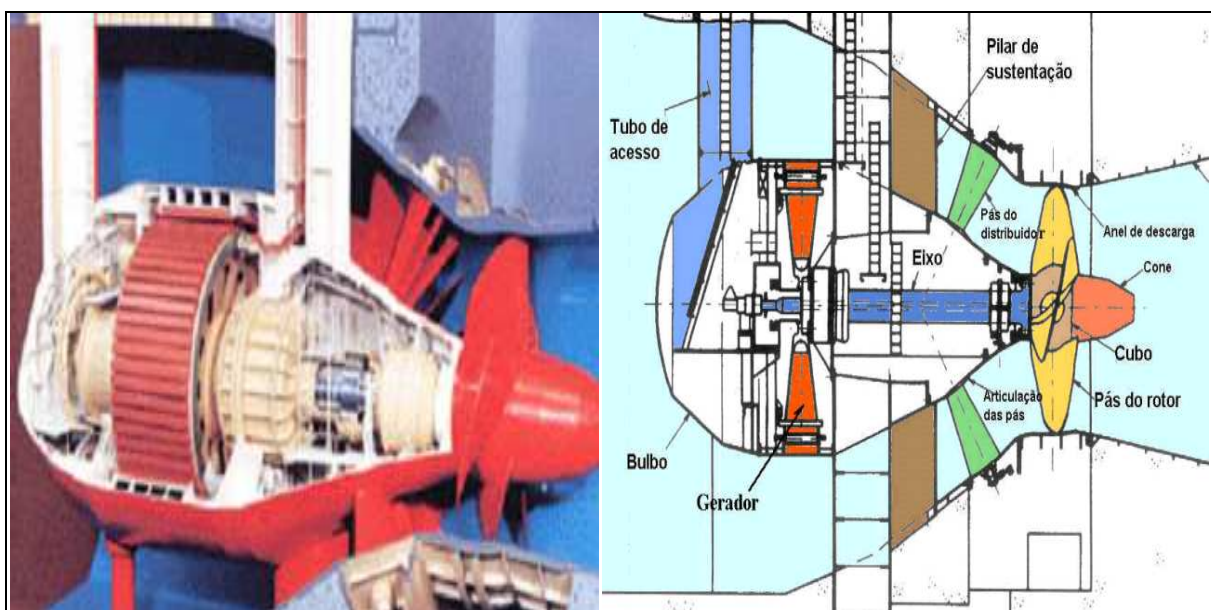


Figura 13. Companhia Força e Luz Cataguazes. Turbinas Tipo Francis, Alston (2007).

4.8.6 Turbinas Bulbo

Foram inventadas na década de 30 e aplicadas na década de 1960, na França, para instalação de usinas maremotrizes de La Rance, sendo estendidas para uso em UHEs. Operam em quedas abaixo de 20 m. Possuem similaridade a uma turbina Kaplan horizontal, porém devido à baixa queda, o gerador hidráulico encontra-se em um bulbo por onde a água flui ao seu redor antes de chegar às pás da turbina, como mostrado na figura 14.

O uso dessas turbinas, no Brasil, está nas Usinas de Santo Antônio e Jirau, construídas no rio Madeira, localizado no estado de Rondônia. Constam em seus projetos a instalação de 44 turbinas do tipo Bulbo com potência unitária igual a 73 MW e 75 MW, respectivamente, sendo as maiores já construídas no país.



(a) (b)



(c)

Figura 14. (a) e (b) Turbinas tipo Bulbo e descrição de seus componente e (c) Montagem do tubo de sucção das unidades geradoras, Usina de Santo Antonio (2011).

4.8.7 Turbinas Kaplan

Essas turbinas, ilustrada na figura 15, tem suas pás móveis associadas a um sistema de controle que as ajustam, onde o conjugado das palhetas do distribuidor.

Devido a abertura ou fechamento das palhetas do distribuidor, ocorre a variação da inclinação das pás do rotor, capaz de aproveitar a energia cinética do jato d'água incidido sobre suas pás.

A transformação das energias potencial e mecânica se dá à pressão mecânica constante, que é o torque com o qual o eixo da máquina gira. Essas turbinas são indicadas para operar entre quedas até 60 m.

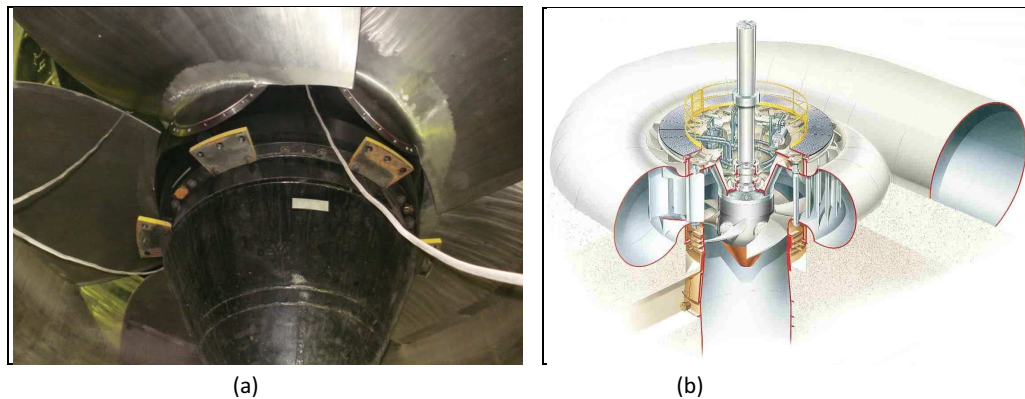


Figura 15. (a) Turbina tipo Kaplan, UHE São José (2010) e (b) Distribuidor da Turbina Kaplan, GE imagination at work (2006).

4.8.7 Hidrogeradores

O gerador é o equipamento responsável pela segunda conversão de energia que ocorre em uma central hidrelétrica, que é a conversão da energia mecânica fornecida pela turbina em energia elétrica. O gerador é constituído por uma parte girante (rotor), acionado pela turbina acoplada a um eixo que está sustentado sobre mancais, e de uma parte fixa (estator), é mostrada na figura 16 a máquina síncrona da UHE São José, de velocidade constante e frequência sincronizada com a tensão de seus terminais.

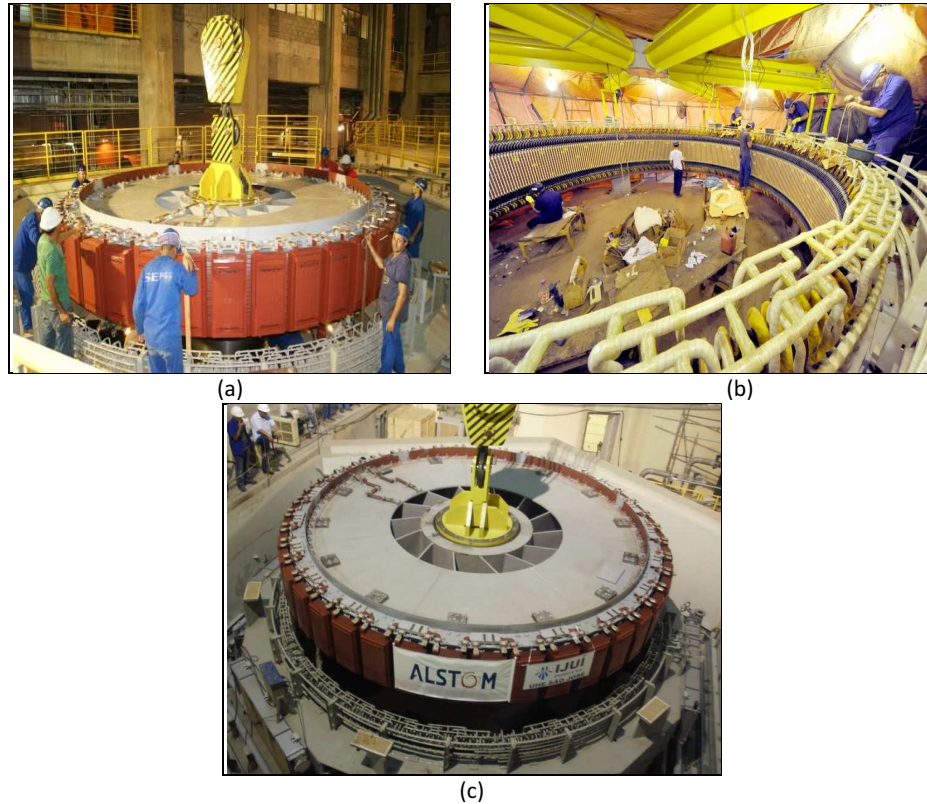
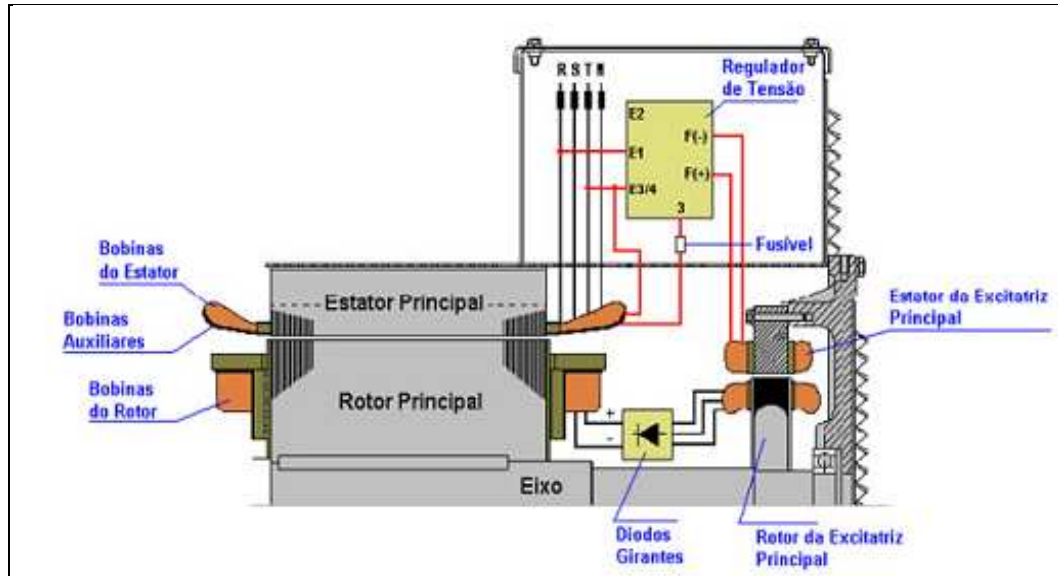


Figura 16. (a) Rotor (b) enrolamentos do estator e (c) acoplamento da máquina, UHE São José (2010).

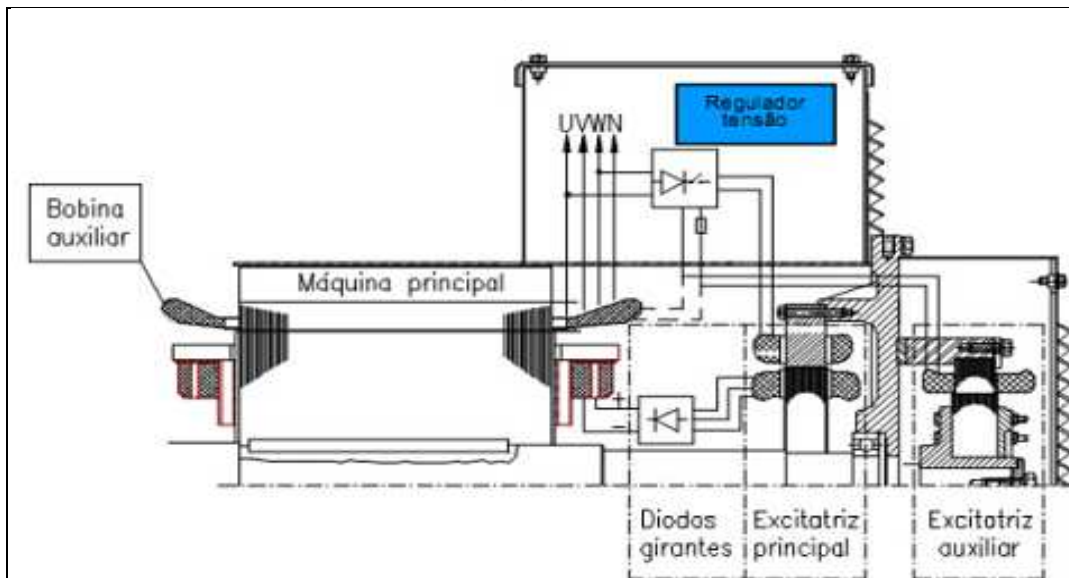
A excitação do rotor é feita através de corrente contínua (CC), onde é estabelecida uma tensão interna no gerador, funcionando como partida do gerador para geração de tensão alternada (CA). A função do sistema de excitação é estabelecer a tensão interna do gerador síncrono. Em consequência, o sistema de excitação é responsável não somente pela tensão de saída da máquina, mas também pelo fator de potência e pela magnitude da corrente gerada. Os sistemas de excitação mais comuns atualmente são: o de excitação rotativa, sem escovas e o de excitação estática, representados na figura 17.

Existe também a excitação sem escovas, chamadas de “brushless”, onde a corrente contínua para alimentação do campo é obtida sem a utilização de escovas e anéis coletores, utilizando somente indução magnética. Para isso o gerador possui um componente chamado excitatriz principal, com armadura girante e campo fixo. A armadura desta excitatriz é montada no próprio eixo do gerador. Possui também um conjunto de diodos girantes (circuito retificador), também montado no eixo do gerador, para alimentação do campo principal em corrente contínua. Este conjunto de diodos recebe tensão alternada do rotor da excitatriz principal (armadura da excitatriz), tensão esta induzida pelo estator da excitatriz principal (campo da excitatriz), que é alimentado em corrente contínua proveniente do

regulador de tensão. O regulador de tensão monitora constantemente a tensão de saída do gerador e atua no estator da excitatriz, mantendo a tensão de saída do gerador constante.



(a)



(b)

Figura 17. (a) Sistema de excitação sem escovas, com bobina auxiliar. e (b) Sistema de excitação sem escovas, com ímã permanente.

Durante a partida da máquina, para os casos em que o magnetismo residual da máquina não é suficiente para o auto escovamento, torna-se necessária a utilização de uma fonte externa para a excitação inicial. Para as máquinas de menor porte, utiliza-se, para esta finalidade, o sistema auxiliar de corrente contínua da usina. Para as máquinas maiores, quando o tamanho requerido para a bateria tornar-se exageradamente grande e houver

disponível uma fonte externa de alimentação em corrente alternada, utiliza-se uma fonte retificada incorporada no equipamento de excitação.

Na figura 18 é mostrada a representação de um diagrama de excitação, partida e sincronização de uma unidade geradora de energia elétrica, onde o circuito de potência é composto de transformadores, gerador síncrono, gerador amplificador de pulsos, supervisor de condução e controle crow bar, que fornecem a corrente contínua de excitação necessária a partir de um circuito intermediário para o núcleo da máquina.

Também é necessário a desexcitação do gerador síncrono em processos de parada programada ou atuação de alguma proteção do gerador ou transformador da unidade. Com isso, é feito o bloqueio do circuito de eletrônico através de uma informação enviada através da sala de controle. A energia magnética acumulada no enrolamento de campo é forçada a retornar ao nível através de diodos no estágio tiritorizado, assegurando uma desexcitação muito rápida do gerador. Com o gerador desexcitado a parada do dispositivo pode ser realizada de maneira segura e eficiente sem comprometer o equipamento e o operador.

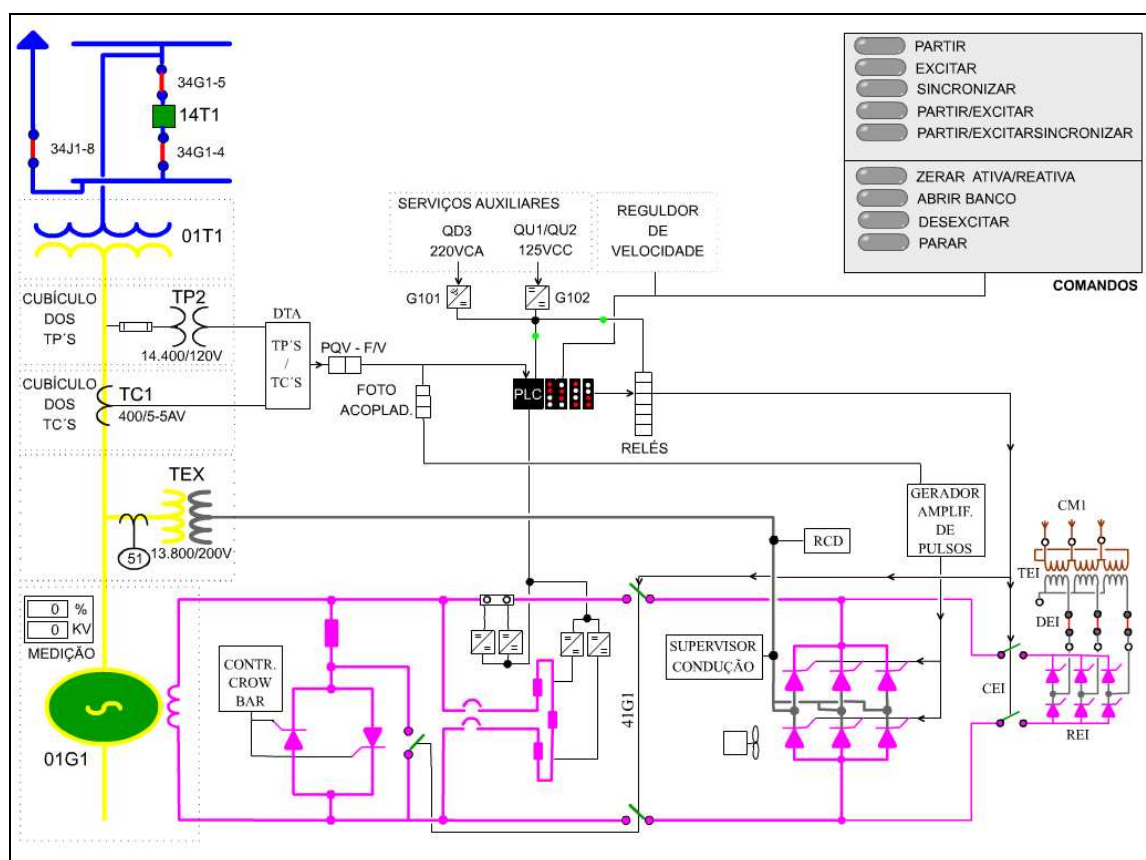


Figura 18. Representação de um circuito de excitação, partida e sincronismo de uma unidade geradora de Paulo Afonso I.

4.5 Sala de Controle e Proteção

Na sala de controle, conforme mostrada na figura 19, o operador tem uma visão geral do que ocorre na operação da usina, em caso de falhas na comunicação de painéis da casa de força e subestação, visualizam-se sinais luminosos ou sonoros apresentados na tela do computador ou painéis. Desta sala os operadores tem a possibilidade de alterar as condições de funcionamento, parar ou partir as unidades, registrar os parâmetros de controle e acionar os dispositivos de proteção.

Esta comunicação só é possível graças a um Controlador Lógico Programável (PLC) que monitora o funcionamento dos painéis da casa de força, subestação, tomada d'água e vertedouro, feitos através de cabos dielétricos. Através de sensores colocados em poços de drenagem e esgotamento, sensores de níveis da montante e jusante, medidores hidráulicos, compressores e fluxostato, informações constantemente são enviadas aos painéis que possuem os controladores programáveis lógicos (PLCs), que possuem programas inteligentes capazes de entenderem e tomarem decisões em situações adversas, como abertura de válvulas, de chaves seccionadoras e comportas.



Figura 19. Sala de Controle da UHE São José-RS (2010).

A proteção dos equipamentos consiste de dispositivos preventivos que impedem a formação de falhas, e de dispositivos de proteção que limitam os danos quando ocorrer uma falha. Estes equipamentos são instalados de forma que o funcionamento das unidades geradoras e dos auxiliares mecânicos ocorram de maneira segura.

Na figura 20 está representada a proteção dos painéis por meio de disjuntores extraíveis. Entre os tipos de proteção temos:

Proteção preventiva contra danos nos isolamentos: Gerados por sobretensões de origem atmosférica ou em serviço, sobrecarga;

Proteção preventiva contra danos de origem mecânica: Gerados pela elevação excessiva da temperatura dos mancais, vibrações excessivas da máquina e o conjunto que a compõe;

Proteção contra danos internos ao isolamento: Acarretados por curto-circuito entre fases, defeitos no terra do estator ou rotor, sobrecarga no sistema,

Proteção contra danos de origem externas: Proteção das unidades pelo disparo do sistema anti-incêndio, hidrantes, nebulizadores e cilindros de CO₂.



Figura 20. (a) Centro de Controle dos Motores e Quadro Geral dos Serviços Auxiliares, com proteção de disjuntores extraíveis, UHE São José-RS (2011).

5. Transformador Elevador

O transformador Elevador é responsável por elevar a tensão de saída do estator da máquina para um nível mais eficaz para transmissão, ou seja, eleva-se a tensão e diminui-se a corrente da geração, resultando em menos perdas por aquecimento para transmissão.

Devido aos aspectos construtivos os transformadores podem estar localizados dentro ou fora das subestações, sendo de menores custos quando alojados próximo à casa de força. Quando utilizados nas proximidades da casa de força, são construídas paredes corta-fogo e também montados sistemas anti-incêndio para prevenção contra acidentes dos operadores, como mostrado na figura 21. Na UHE São José-RS, o



Figura 21. Transformador Elevador 13,8 kV/69 kV, UHE São José-RS (2011).

6. Subestações

O arranjo de uma subestação deve ser feita da forma que se tenha uma conexão entre as linhas, transformadores e as cargas, aliados a capacidade de se ter uma flexibilidade, continuidade, confiabilidade operacional, manutenções e baixos custos.

As subestações podem estar equipadas com Transformadores Elevadores ou não, sendo este colocado junto à Casa de Força, dependendo dos aspectos construtivos. Na subestação encontram-se equipamentos de medição e proteção, como pára-raios, transformadores de potencial (TP's), transformadores de Corrente (TC's), chaves Seccionadoras e disjuntores como mostrado na figura 22.



Figura 22. Subestação 69 kV, Usina Hidrelétrica São José-RS (2011).

7. Conclusão

Durante o estudo realizado, notou-se que o setor elétrico brasileiro vem sendo aproveitado de forma acelerada graças à diversidade hídrica, fator importante para suprimento e crescimento de uma nação, sendo a hidroeletricidade a principal fonte de energia consumida no país.

Aspectos de funcionamento e construtivos também foram abordados, trazendo uma visão generalizada, não somente de seu reservatório, mas também da geração de energia, assim como as interconexões harmoniosas dos equipamentos a um denominador comum para um bom funcionamento de uma usina hidrelétrica.

Sendo esta forma de geração de energia uma tendência no mercado, devida as condições hidrográficas do país, a realização de estudos e investimentos tem como fundamental importância a otimização destes recursos, cabendo não somente os investimentos nesta área de construção de novas usinas, mas também a necessidade da capacitação de profissionais que propulsionarão este mercado tão promissor.

8. Bibliografia

Atlas de Energia Elétrica do Brasil. Agência Nacional de Energia Elétrica, 2008. 3ª Edição.

ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE, ABG . Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno e das Águas do Reservatório Usina Hidrelétrica São José. Volume I. Porto Alegre, Agosto, 2010.

Camargo, Luiz Gustavo Barduco Cugler. Monografia, Setor Elétrico Brasileiro e sua Normatização Contemporânea, Santos - SP 2005, pgs9-12.

BARRETO, Eduardo José Fagundes. Tecnologias de Energias Renováveis Soluções Energéticas para a Amazônia. Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2008. 1ª Edição.

FILHO, Geraldo Lúcio Tiago. JÚNIOR, Ângelo Stano . JÚNIOR, Antônio Brasil. FERRARI, Jason Tibiriçá. LEMOS, Helmo. NUNES, Camila Fernandes. ALVES, Luis Henrique de Faria. NUNES, Caroline Fernandes .MOURA, Juliana Sales. RAMOS, Rodrigo. ELS, Rudi Van. LEITE, Frederico. Pequenos Aproveitamentos Hidroelétricos Soluções Energéticas para a Amazônia. Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2008. 1ª Edição.

SOUZA, Zulcy de. Centrais Hidro e Termelétricas. Colaboração de Rubens Dario Fuchs; Afonso Henriques Moreira Santos. São Paulo: Edgard Blucher, 1983.

ELETROBRAS. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. Potencial hidrelétrico da região amazônica. Rio de Janeiro: ELETROBRAS, 1979.

ELETROBRAS. Diretrizes para estudos e projetos de Pequenas Centrais Hidrelétrica, 2000.

FERREIRA, Fernanda Borges. UMADA, Murilo Keith. História das Hidrelétricas no Brasil. Trabalho Acadêmico, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Engenharia Ambiental. Campo Mourão, 2009, pgs 8 e 9.

SANTOS, Gustavo Antônio Galvão dos. BARBOSA, Eduardo Kaplan. SILVA, José Francisco Sanches da. ABREU, Ronaldo Da Silva e. Por que as Tarifas foram para os Céus? Propostas para o Setor Elétrico Brasileiro. Revista do BNDES, Rio De Janeiro, JUN. 2008. V. 14, N. 29, P. 435-474.

AT WORK, Generation Imagination. Conhecimento do Produto, Usinas Hidrelétricas. Novembro, 2006.

APOSTILA. Centrais Hidrelétricas. Departamento de Engenharia Elétrica. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. 2000.

ENGEVIX. ALUSA. Manual Descritivo da UHE São José. Projeto Básico. Outubro, 2006.

IJUÍ. ENGEVIX. Manual Descritivo de UHE São José. Projeto Executivo. Agosto, 2010.

Diretrizes das PCHs, 2010. Disponível em:

<<http://www.scribd.com/doc/16820401/Diretrizes-PCH>>. Acesso em: 13 set. 2010, 10:20:15.

Livros CERPCH . Disponível em :

<<http://www.cerpch.unifei.edu.br/livros.php>> . Acesso em: 09 de set. 2010, 22:13:20.

PORTAL PCH, 2010 . Disponível em:

<http://www.portalpch.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=96&Itemid=187>. Acesso em 12 set. 2010.

ONS. Disponível em:

<http://www.ons.org.br/institucional/modelo_setorial.aspx>. Acesso em 04 de Março, 2011.

ELETOBRÁS, 2010. Disponível em:

<<http://www.eletobras.gov.br/elb/procel/main.asp?ViewID={D81425AF-257E-44E9-8B0F-1F885CD35D6D}>>. Acesso em 09 de Março, 2010, 15:39:45.

ANEEL, 2011. Disponível em:

<<http://www.aneel.gov.br/39.htm>>. Acesso em 29 de Fevereiro, 2011, 22:35:09.

ECO-DEBATE, 2011. Disponível em:

<<http://www.ecodebate.com.br/2009/11/23/a-matriz-energetica-brasileira-mitos-e-realidade-artigo-de-sulema-mendes-de-budin/>>. Acesso em 06 de Março, 2011, 11:54:11.