



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CCT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO
MONTAGEM ELÉTRICA DA USINA HIDRELÉTRICA DE ESPORA

JOSIEUDO PEREIRA GAIÃO

Campina Grande – PB
Agosto 2006

Josieudo Pereira Gaião
Mat - 20111221

MONTAGEM ELÉTRICA DA USINA HIDRELÉTRICA DE ESPORA
EMPRESA ATEC

Relatório apresentada ao Curso de Engenharia
Elétrica da UFCG referente à disciplina Estágio
Integrado, em cumprimento aos requisitos
necessários para conclusão de curso e obtenção do
título de Engenheiro Eletrônico pela
Universidade Federal de Campina Grande.

Orientador: Ubirajara Rocha Meira

Campina Grande – PB
Agosto de 2006



Biblioteca Setorial do CDSA. Fevereiro de 2021.

Sumé - PB

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, por influenciar diretamente em todas as minhas conquistas.

Aos meus pais que tanto me ajudaram nessa longa jornada.

Aos demais professores e funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica por colaborarem direto e indiretamente na minha formação.

Em fim, a todos que contribuíram para minha formação acadêmica e pessoal.

Resumo

O consumo de energia elétrica vem aumentando a cada ano em todo Brasil. Em parte, isso acontece porque o país está crescendo, o que significa mais indústrias, serviços, empregos etc. Uma das alternativas para suprir essa demanda é a construção de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH'S) já que o Brasil tem um rico potencial hidráulico. A região central do Brasil é a que mais se destaca na construção dessas Centrais. Este trabalho tem como objetivo mostrar os princípios destas PCH's, bem como a tecnologia envolvida na sua construção.

Sumário

1. Introdução.....	6
2. Classificação para as pequenas centrais hidrelétricas.....	8
2.2 Características técnicas das PCH's: vantagens e desvantagens.....	8
3. Componentes básicos de uma central de pequeno porte.....	9
3.1. Barragem.....	9
3.1.2. Barragem de enrocamento.....	9
3.1.3. Barragem de alvenaria de pedra argamassa.....	10
3.1.4. Barragem de concreto.....	10
3.1.5. Barragem de madeira.....	10
3.1.6. Barragem Ambursen.....	10
3.2 Tomada d'água.....	11
3.3. Canal de fuga.....	12
3.4. Válvulas.....	12
3.5. Comportas.....	13
3.6. Grades.....	13
3.7. Turbinas Hidráulicas.....	13
3.7.1 Turbinas Pelton.....	14
3.7.2. Turbinas Francis.....	15
3.7.3. Turbina Michell-Banki.....	17
3.7.4. Turbina Hélice.....	17
3.8. Casa de Máquinas.....	18
3.9. Geradores Elétricos.....	19
4. Instalações elétricas.....	20
4.1. Quadros de comando.....	20
4.1.2. Dispositivos de proteção.....	20
4.2. Subestação.....	21
4.2.1. Ligação do gerador à subestação.....	23
4.3. Linha de Distribuição.....	24
5. Atividades realizadas na PCH de ESPORA.....	25
6. Conclusão.....	27
7. Bibliografia.....	28

1. INTRODUÇÃO

A energia produzida pela água tem sido utilizada desde os primórdios da civilização em processos relacionados à agricultura, como o acionamento de rodas d'água para moagem de grãos (Figura 1), corte de madeira, acionamento de bombas d'água e mais recentemente na produção de energia elétrica através de turbinas hidráulicas (Figura 2).

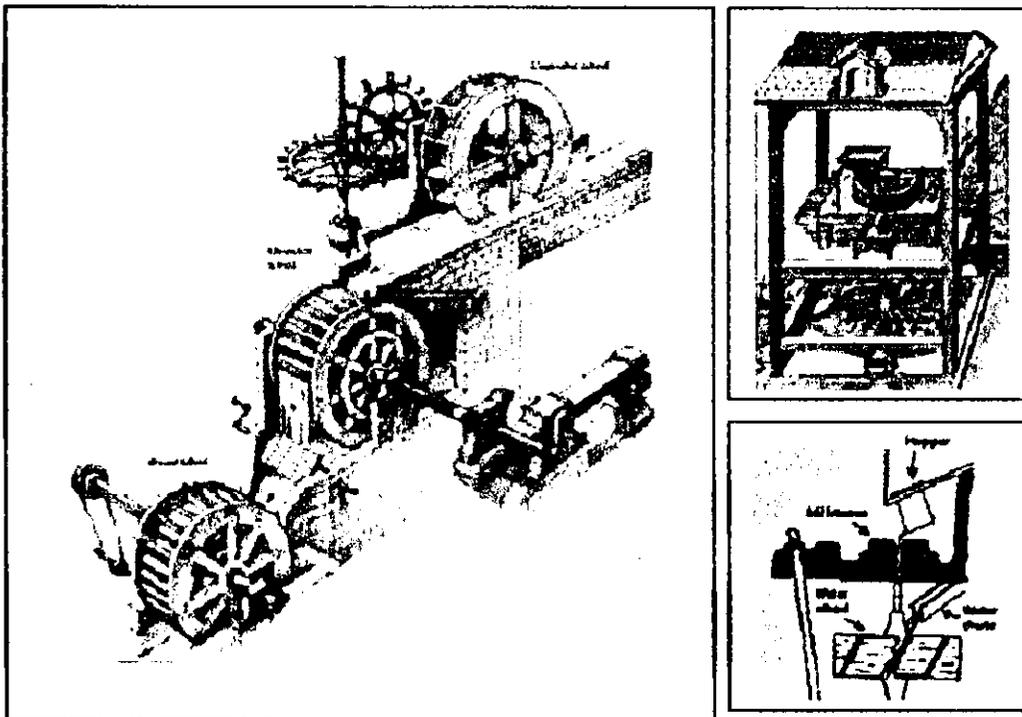


Figura 1- Máquinas Hidráulicas



Figura 2- Turbinas Hidráulicas

No Brasil, o uso da energia produzida pela água para geração de energia elétrica data do início do século, devido à industrialização no interior do país, com destaque para as indústrias têxteis. Até a década de 50, o Brasil apoiou a sua eletrificação em pequenas e médias centrais hidroelétricas, que pertenciam, normalmente aos municípios ou à iniciativa privada. Com a maior participação do Estado no esforço de desenvolvimento da segunda metade do século, foram priorizados os grandes projetos de geração, que permitem a redução dos custos pela escala dos empreendimentos, e o transporte a longas distâncias. Com a mudança de filosofia de geração de pequena escala regional para grandes sistemas elétricos estatais ficaram em segundo plano os aproveitamentos hidroelétricos de pequena escala. O Brasil é o país que possui uma das maiores reservas mundiais de hidroenergia, dada à imensa quantidade de rios que cortam seu território apresentando desta forma um grande potencial de aplicação para pequenas e micros centrais hidroelétricas (PCH's) no atendimento a pequenos grupos populacionais dispersos em áreas rurais, principalmente se forem viabilizados aproveitamentos de baixa queda e vazão em sistemas modulares de baixo custo com grande flexibilidade de carga.

O País possui particularidades importantes que favorecem os pequenos e micro aproveitamentos hidráulicos tais como:

- * Características hidrológicas, topográficas e geológicas altamente favoráveis.
- * Domínio tecnológico, por parte de empresas brasileiras, no estudo, projeto e construção.
- * Fabricação e operação a baixos custos, permitindo a geração hidroelétrica de alta rentabilidade.
- * Existência de milhares de pequenos núcleos populacionais e pequenos empreendimentos rurais, onde PCH promoveria desenvolvimento e criaria futuros mercados para o sistema interligado.
- * Existência de programas sociais dos governos Federal, Estadual e Municipal, de finalidades de usos múltiplos, nos quais as PCH's se encerem de maneira integrada.

A utilização da geração descentralizada com base em pequenas e micro centrais hidroelétricas tem mostrado grande potencial na eletrificação rural, devido aos baixos custos se comparados com a extensão de uma rede ou utilização de um sistema de geração diesel. A geração elétrica a partir deste tipo de tecnologia permite suprir pequenos grupos populacionais isolados e cria as condições para o desenvolvimento de micro redes e das condições básicas para formação de uma infra-estrutura local. As PCH's são projetos com pequeno prazo de maturação, o que possibilita uma melhor distribuição no tempo dos investimentos e sua rápida absorção.

2. CLASSIFICAÇÃO PARA AS PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS

As Pequenas Centrais Hidrelétricas são opções de baixo custo, bastante viáveis, para o atendimento a comunidades isoladas ou cuja conexão à rede apresenta ainda custos proibitivos. Atualmente, a classificação para as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH's) está subdividida em Micro, Mini e Midicentrais como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação das PCH's

Características	Micro	Mini	Midi
Potência máxima (kw)	100	1000	30000
Altura máxima da barragem (m)	3	5	10
Vazão máxima da central (m ³ /s)	2	15	20
Nº mínimo de grupos geradores para vazão máxima	1	2	2
Período máximo para implantação (meses)	36	12 a 24	18 a 36

2.2 – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DAS PCH'S: VANTAGENS E DESVANTAGENS.

As principais vantagens das PCH's são:

- * Sua construção e operação só dependem de autorização da Aneel (nos demais casos, há exigência de leilão para a concessão da exploração da queda d'água);
- * Poderão comercializar energia elétrica livremente com consumidores de carga igual ou maior que 500KW. Os demais agentes só podem comercializar livremente com clientes cujo consumo seja igual ou superior a 3.000KW;
- * As PCH's de propriedade de empresas distribuidoras, que operarem até 2003, estará fora do limite máximo de 30% de comercialização de energia de geração própria a clientes cativos;
- * As PCH's têm desconto de 50% nas tarifas de uso dos sistemas de transmissão distribuição, podendo chegar a 100%, se entrarem em operação até 2003. O desconto é definido na autorização da Aneel.

- * As PCH's não pagam a compensação financeira pela utilização de recursos hídricos;
- * As PCH's têm prazo de implantação menor que as hidrelétricas de maior porte, e o impacto ambiental que provocam é bastante reduzido;
- * As PCH's têm livre acesso às redes de transmissão, desde que respeitem as características técnicas do sistema.

A principal desvantagem das PCH's é:

Sua produção não é controlada pela ONS, ficando expostas aos riscos hidrológicos, e - em caso de necessidade - devem comprar energia no mercado para suprir eventuais faltas de geração em relação aos seus contratos. Entretanto, essa limitação pode ser suprimida se for solicitado adesão ao MRE. Após análise técnica, a Aneel pode fixar resolução específica com o volume incorporado da PCH ao MRE, conforme resolução nº. 169 de 03/05/01.

3. COMPONENTES BÁSICOS DE UMA CENTRAL DE PEQUENO PORTE

A estrutura básica de centrais de pequeno porte é formada por elementos que têm 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.

3.1. Barragem

Utiliza-se a barragem quando o curso do rio sofre variações constantes do nível. A sua função é de armazenar a água já que as centrais de pequeno porte são dimensionadas para trabalharem a fio d'água, isto é, trabalharem com a vazão firme do rio. A barragem pode ser construída de madeira, terra, pedra ou concreto tendo cada tipo de construção tem características próprias, que devem ser levadas em consideração na fase de projeto da central. Os tipos mais comuns de barragem são descritos a seguir:

3.1.1. Barragem de terra

Este tipo de barragem é apropriado para locais onde haja bastante solo argiloso ou arenoso e facilidade de situar o vertedoro em uma das margens, utilizando a terra escavada nos canais de adução e no vertedoro para construção da barragem evitando o desperdício.

3.1.2. Barragem de enrocamento

A barragem de enrocamento é aquela na qual as partes são constituídas de pedras de maior tamanho e o elemento vedante de material mais fino (brita, areia, solo argiloso, solo arenoso) é lançado na parte central do corpo da barragem.

3.1.3. Barragem de alvenaria de pedra argamassa

As barragens de alvenaria de pedra argamassada são recomendáveis para vales relativamente estreitos onde o represamento requer pouca altura, com boas fundações e onde a construção de um canal extravasor lateral é problemática. Em outras palavras, a largura do vale deve situar-se em torno dos 100 m, com altura da barragem de 5 m a 6 m, fundações em rocha e encostas íngremes e rochosas. A decisão de construir, ainda nesses casos, uma barragem de alvenaria de pedra argamassa da ou de concreto, deve ser tomada após comparação com base em:

- condições locais
- dimensões
- tempo de construção

3.1.4. Barragem de concreto

A barragem de concreto é a do tipo gravidade e consiste de um muro, cuja seção transversal se aproxima à de um triângulo retângulo, e que resiste à pressão da água do reservatório e à sub-pressão das águas que se infiltram pelas fundações através do seu peso próprio. Possui um trecho central rebaixado, o vertedoro, de preferência coincidente com a parte central do vale, onde corre o rio, destinado a permitir a extra vasão das águas excedentes. Este tipo de barragem é recomendável para vales relativamente estreitos, com aproximadamente 100m de largura, onde o represamento requer alturas superiores a 6 m, com boas fundações, em rocha pouco fraturada, e onde a construção de um vertedoro lateral é problemática devido a encostas íngremes e rochosas. A decisão de construir uma barragem de concreto deve ser tomada após uma análise conscienciosa das condições da fundação, disponibilidade de materiais e equipamentos apropriados para construção.

3.1.5. Barragem de madeira

Barragens de madeira são aquelas onde as cargas principais são suportadas por estruturas de madeira e a estabilidade contra o deslizamento é conseguida através da cravação de parte dos elementos na fundação e/ou lastreamento das mesmas com terra ou pedras. As barragens de madeira são geralmente vertedoras, funcionando submersas pois como barragens insubmersíveis, mesmo nos locais em que a madeira é abundante, revelam-se mais caras do que as barragens de terra, homogêneas ou mistas. Assim sendo, normalmente essas barragens são construídas em forma de vertedouro, conectando-se lateralmente com barragens de terra.

3.1.6. Barragem Ambursen

A barragem tipo Ambursen consiste de uma estrutura aliviada, em que a estabilidade é assegurada pelo peso d'água sobre o paramento inclinado, de madeira ou eventualmente de peças pré-moldadas de concreto armado, que transmite os esforços à fundação através dos contrafortes de concreto ou alvenaria de pedra argamassada. As pranchas de madeira são encaixadas em ranhuras existentes nas faces laterais dos contrafortes. A barragem possui um trecho central rebaixado, o vertedouro, geralmente coincidente com a parte central da calha do rio, destinado a permitir a passagem das águas

excedentes do reservatório. Este tipo de barragem é recomendável para vales relativamente estreitos, de aproximadamente 100 m, onde o represamento requer alturas entre 5 m e 10 m, com boas fundações em rocha pouco fraturada entre 5 m e 10 m, e onde a construção de um canal extravasor lateral é problemática devido a encostas íngremes e rochosas.

3.2 Tomada d'água

A captação da descarga necessária para a alimentação das turbinas de uma central hidroelétrica é feita por uma estrutura denominada Estrutura de Captação, que no caso mais geral é constituída de:

- a) dispositivo de proteção (desarenador e grades);
- b) tomada d'água propriamente dita;

A implantação da estrutura de captação deve ser feita, sempre que possível, junto à margem do reservatório formado pela barragem e que normalmente se apresenta como local favorável também para expurgo dos sedimentos que se depositam no desarenador. Tal expurgo pode ser feito pelo próprio escoamento, através de dispositivos de limpeza convenientemente instalados.

A estrutura de captação deve ser implantada ao longo de trechos retos ou do lado côncavo dos trechos sem curvatura, pois os sedimentos transportados pelo escoamento são, na sua maior parte, carregados para a parte convexa, onde se depositam. Além disso, na parte côncava as profundidades são maiores e a captação das águas superficiais é feita livre de sedimentos trazidos por arrasto.

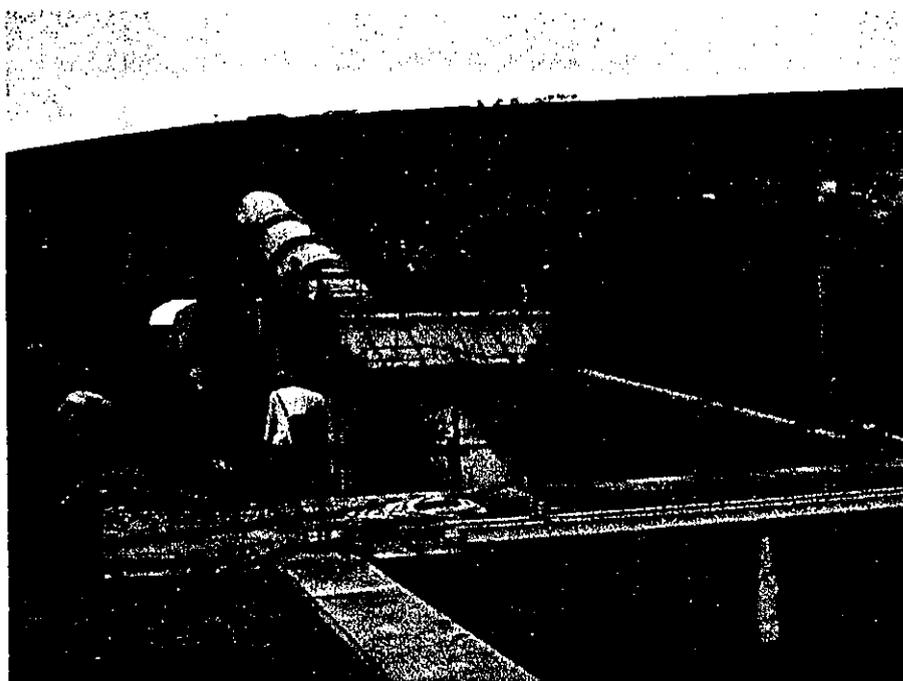


Figura 3 – Tomada d'água

3.3. Canal de fuga

Canal de fuga é a estrutura que faz a restituição ou recondução da água ao rio, após a passagem pela turbina. Um canal de fuga apresenta-se com as mesmas particularidades e características de um canal de adução e o seu comprimento dependem do posicionamento da casa de máquinas em relação ao rio.

3.4. Válvulas

Em toda tubulação de centrais hidrelétricas, faz-se necessário à instalação de uma válvula próxima à turbina. A ela cabe o papel de proteger a turbina no caso de uma rejeição de carga bem como interromper o fluxo na tubulação por ocasião de reparos e manutenção da turbina. Em alguns casos especiais, em instalações de pequenas potências, inferiores a 5 kw, a própria válvula poderá fazer o papel de regulação da vazão, suprimindo o sistema de regulação da turbina, barateando os custos da central, já que um regulador de velocidade é um equipamento de custo considerável na implantação de uma central de pequeno porte. A válvula do tipo borboleta é a mais indicada para as centrais de pequeno porte.

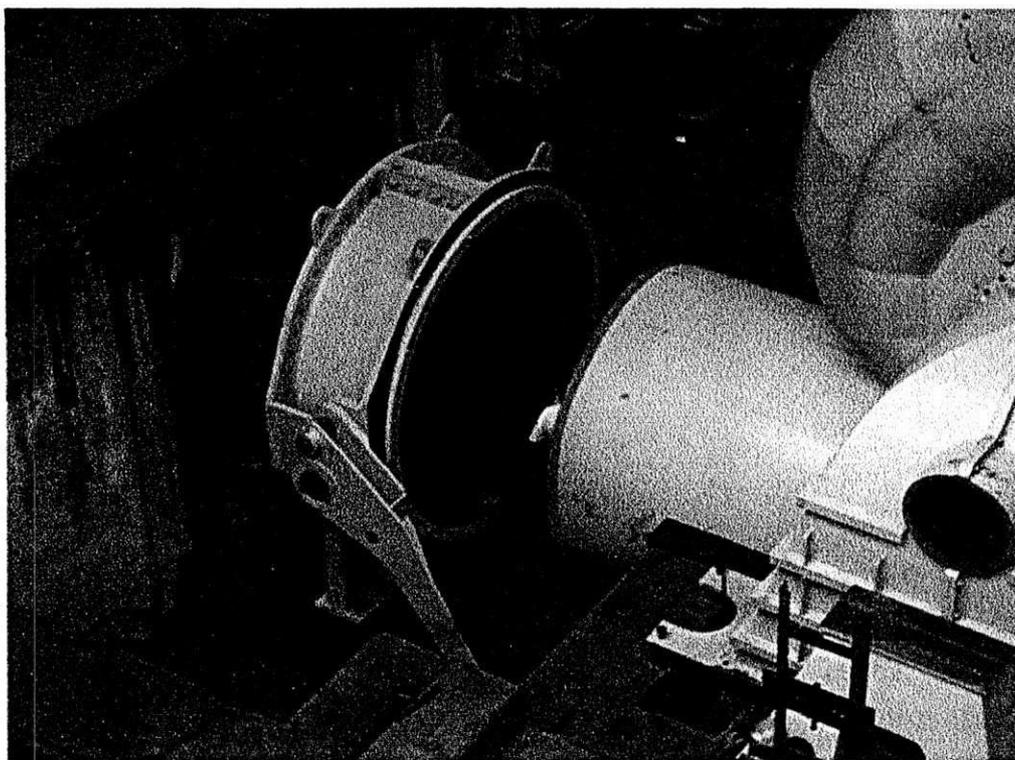


Figura 4 –Válvula Borboleta

3.5. Comportas

As comportas são órgãos de uma central cuja função é:

- * estancar a água que vai para o sistema condutor, permitindo a sua manutenção;
- * abrir o fundo da tomada d'água, de maneira a retirar a areia que, com o tempo, é depositada;
- * fechar os tubos de desvio do rio, durante a condução da barragem, para encher o reservatório;

No primeiro caso as comportas são chamadas de “manutenção”, no segundo de “desaeração” e no terceiro de “fundo”. Para as centrais de pequeno porte as comportas são construídas em forma de gaveta, capazes de serem operadas sob fluxo hidráulico. Estas comportas podem ser feitas de chapa de aço, ferro fundido ou madeiras.

3.6. Grades

As grades têm a função de barrar a passagem de detritos (folhas, galhos, etc.), carregados pelo fluxo da água ao longo do canal de adução. A câmara de carga deve ser equipada com um ou mais painéis de grades, visto que é necessário impedir a entrada de corpos sólidos junto com o fluxo d'água de acionamento da turbina, porque as suas dimensões e rigidez podem prejudicar o rendimento ou até mesmo danificar a turbina e/ou equipamento associados. Assim, o dimensionamento do escapamento entre as barras de grade não deve ser maior que a menor dimensão da seção de passagem do fluxo d'água de acionamento da turbina. Para isto, sugere-se comparar as seguintes seções:

- distância entre palhetas do distribuidor;
- distância mínima entre as pás do rotor da turbina Francis ou hélice;
- válvula agulha do injetor da turbina Pelton;
- válvula ou registro do fluxo de água de acionamento da turbina.

É importante salientar que a posição e inclinação, bem como o dimensionamento e detalhamento de fabricação da grade, devem ser definidos ou submetidos à apreciação do fabricante da turbina.

3.7. Turbinas Hidráulicas

As turbinas hidráulicas utilizadas nas centrais hidrelétricas de pequeno porte devem ser selecionadas de modo a se obter facilidade de operação e manutenção, dando-se grande importância à sua robustez. Para selecionar o tipo de turbina, deve-se analisar a queda líquida em metros e a vazão em metros cúbicos por segundo (m³/s) levando em consideração todas as perdas envolvidas. Através destes dois parâmetros é possível, através do catálogo do fabricante, identificar qual a que melhor se adapta ao projeto. Basicamente existem dois tipos de turbinas hidráulicas: as de ação e as de reação. Tradicionalmente, o uso de turbinas hidráulicas em centrais de pequeno porte, tem-se concentrado na roda Pelton, com um ou mais jatos, no caso das máquinas de ação. Francis, Hélice e Kaplan, no

caso do tipo de reação. Para micros centrais, as turbinas de fluxo cruzado, tipo Michell Banki, têm sido bastante utilizadas devido à sua simplicidade e baixo custo.

3.7.1 Turbinas Pelton

São classificadas como turbinas de ação por possuírem a característica de transformar a energia cinética no jato injetor (Figura 4.3). O uso é adequado para locais onde haja altas quedas e pequenas vazões. Apresenta bons rendimentos onde há grande variação de carga, podendo ser operadas entre 10 e 100% de sua potência máxima.

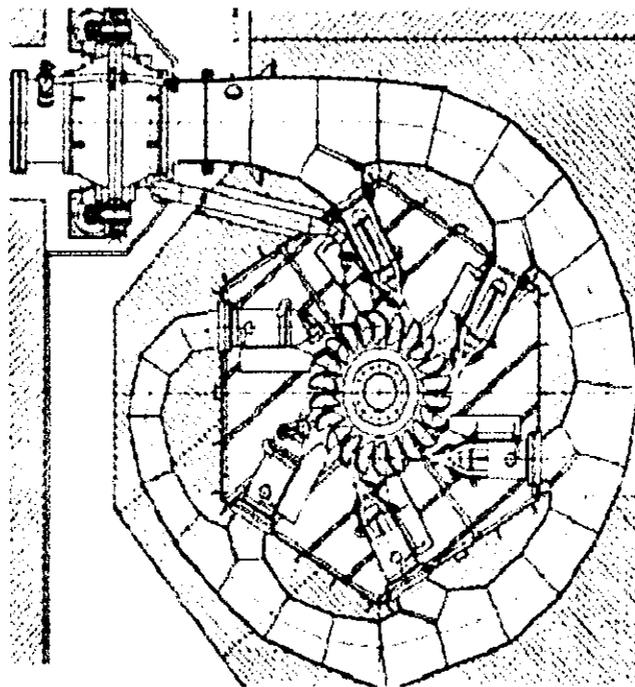


Figura 5 - Turbina Pelton

3.7.2. Turbinas Francis

Máquinas de reação do tipo misto, podendo ser utilizadas em desníveis de 20m até 600m e médias vazões. O controle de vazão é realizado no distribuidor ou sistemas de pás móveis. É a turbina de maior uso em quedas e vazões médias (Figura 4.4). Apresentam um alto rendimento, tanto mais alto quanto maior for a potência. Para baixa potência o rendimento situa-se em torno de 77%. Grandes máquinas apresentam valores superiores a 90%. Esta turbina pode ser instalada em caixa espiral (média quedas – acima de 10 m), ou em caixa aberta (baixa queda – abaixo de 10 m). Pode-se lançar mão do uso de turbina Francis de rotor duplo ou gêmeo com o objetivo de substituir o rotor Hélice ou Kaplan que são de construção delicada e de alto custo.

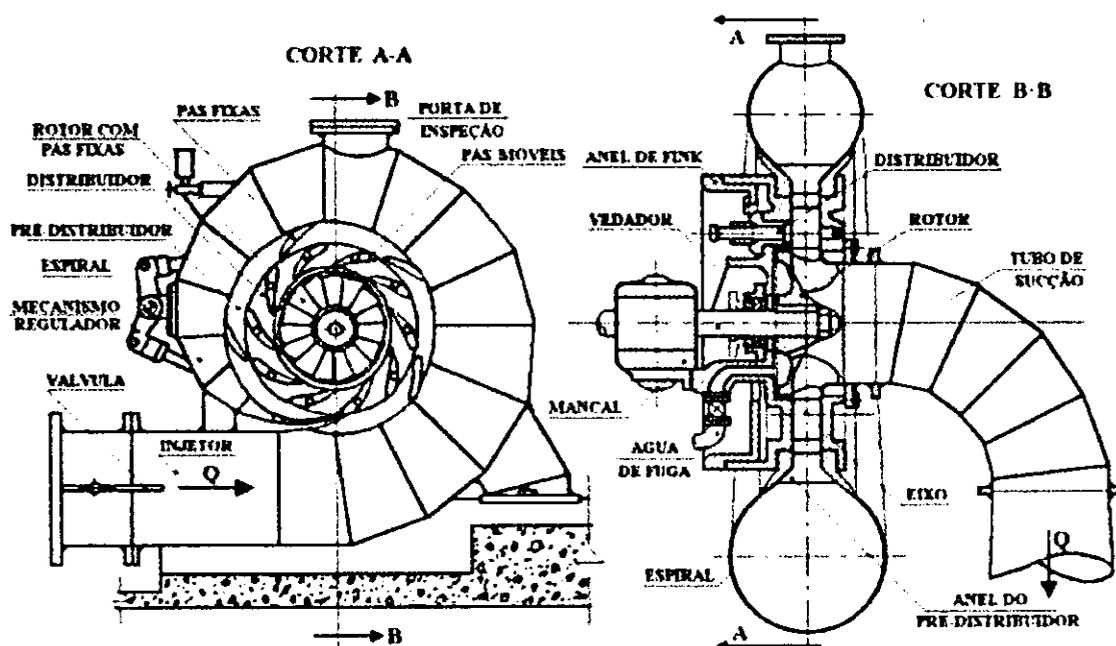


Figura 6- Turbina Francis

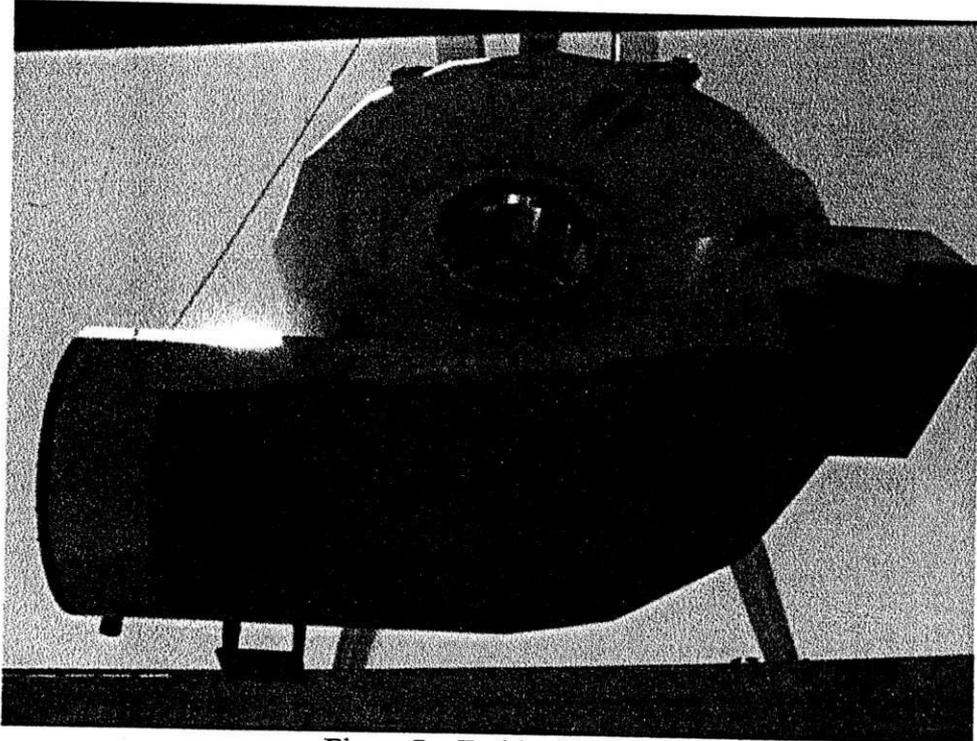


Figura 7 – Turbina Francis

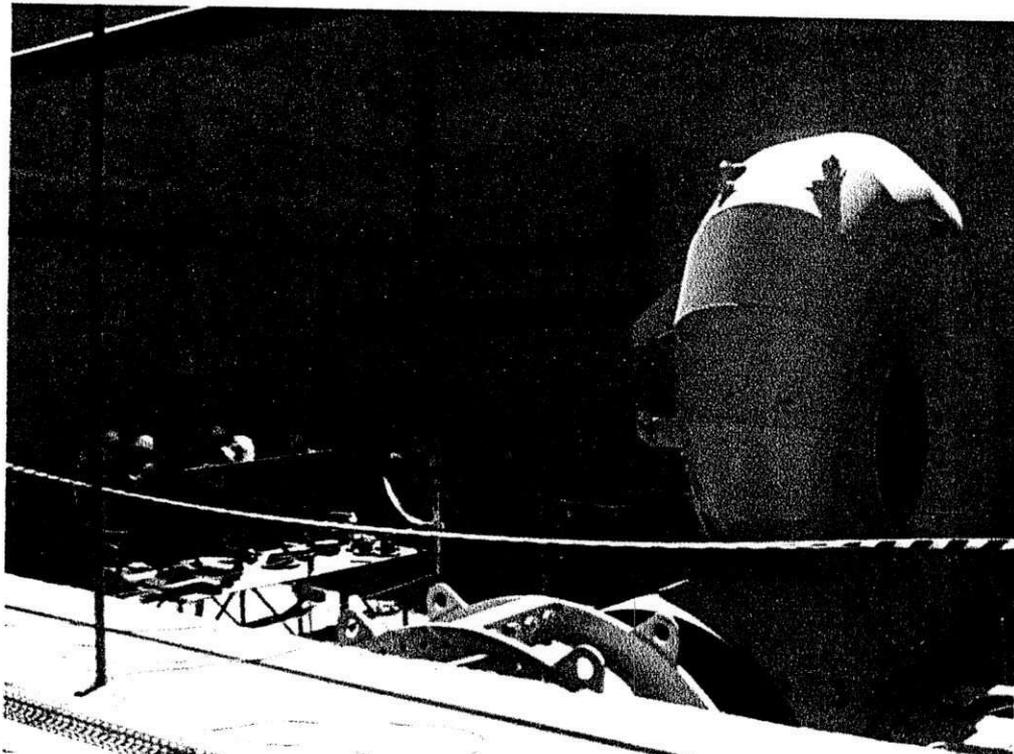


Figura 8 – Turbina Francis

3.7.3. Turbina Michell-Banki

Tipo de turbina largamente utilizada no mundo (Figura 4.5), mostra-se altamente indicada para uso em áreas rurais, particularmente em centrais de pequeno porte. De tecnologia bastante simples requer poucos equipamentos para a sua fabricação e manutenção, permitindo sua construção em oficinas pouco sofisticadas. O seu campo de aplicação atende quedas de 3 a 100 metros, vazões de 0,02 a 2,0 m³/s e potência de 1 a 100 kw. Devido à sua facilidade de padronização pode apresentar rotações específicas entre 40 e 200 rpm.

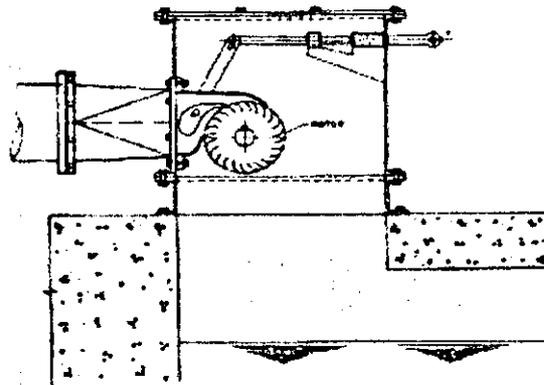


Figura 7 - Turbina Michell-Banki

3.7.4. Turbina Hélice

Também chamadas propulsoras, são fabricadas com as pás do rotor fixas e são indicadas para centrais de pequeno porte com grandes vazões e baixas quedas (Figura 4.6). Podem vir montadas dentro de uma caixa espiral ou tubular. Em ambos os casos, a vazão só é controlada pelo distribuidor. Devido às suas características hidrodinâmicas, este tipo de turbina é indicado somente para trabalhar a toda carga, permitindo pouca variação na vazão. Não são indicadas para uso em meio rural devido a sua dificuldade de dimensionamento e fabricação de alto custo.

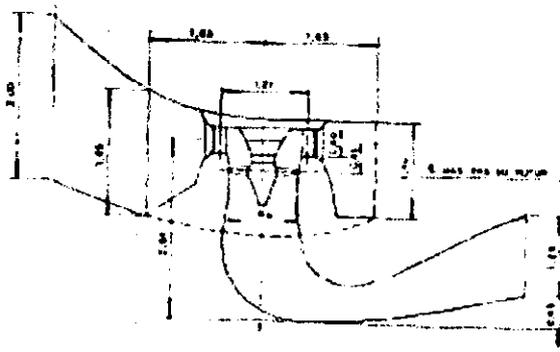


Figura 8 - Turbina Hélice

3.8. Casa de Máquinas

A casa de máquinas é o local onde são instalados as máquinas motrizes e os geradores. Geralmente abriga uma área destinada aos serviços de manutenção e instalação dos quadros de medição e de comando e dos circuitos de proteção. A casa de máquinas é uma construção para abrigo do sistema gerador de energia elétrica e deve ser compatível com as máquinas ali instaladas. Os materiais de construção podem ser quaisquer, dependendo das disponibilidades locais. Usualmente são utilizados madeira ou alvenaria de tijolo, materiais bastante difundidos e de custo baixo. As dimensões da casa de máquinas são determinadas em função das medidas do conjunto gerador. É usual providenciar-se uma folga equivalente a 70% dos maiores tamanhos horizontais do grupo gerador, e uma folga de 50% com relação à maior dimensão vertical. Se a rede de distribuição da energia exigir níveis de média tensão deverá existir uma estação transformadora. Neste caso o transformador deve ser montado fora da casa de máquinas para que dissipe calor devido a maior ventilação. Ele deve ser devidamente cercado por alambrados, por razões de segurança.

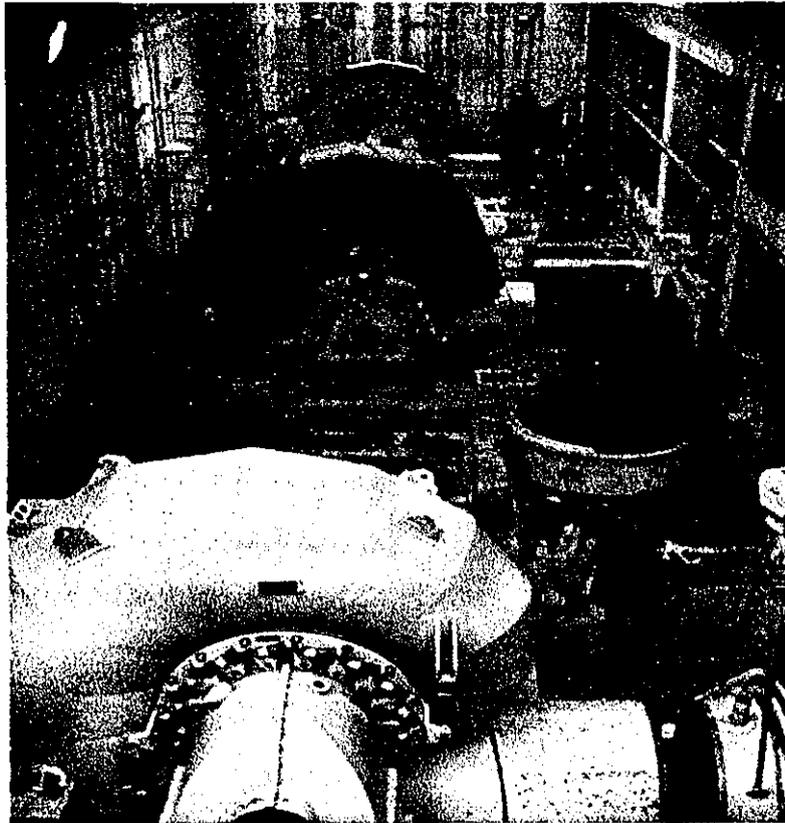


Figura 9 – Casa de Máquinas

3.9. Geradores Elétricos

Os geradores elétricos utilizados em centrais produtoras de eletricidade são máquinas que produzem energia elétrica de corrente alternada com a frequência definida pela rotação a que são submetidas. A energia elétrica no Brasil adota a frequência de 60 Hz. Os geradores mais utilizados são do tipo monofásico para baixa potência e trifásico para motorização de hidrelétricas. Máquinas síncronas são conversores rotativos que transformam energia mecânica de rotação em energia elétrica, ou, no sentido inverso, energia elétrica em energia mecânica de rotação. No primeiro caso constituem os geradores elétricos e no segundo os motores. Como funcionam com base nos princípios da indução magnética os motores e geradores são similares em sua forma construtiva diferindo apenas quanto ao emprego.

A rotação da máquina depende de sua forma construtiva principalmente do número de pólos magnéticos de que é adotada. Como os pólos magnéticos só existem em pares, o gerador mais simples tem 2 pólos e sua rotação síncrona é de 3600 rpm. A relação entre o número de pólos e a rotação do gerador, para uma frequência de 60 Hz, é dada pela equação abaixo, na qual verifica-se que a rotação N , em rpm conhecida como rotação síncrona, é inversamente proporcional ao número de pólos.

$$N=(120 \times f)/p \quad [1].$$

O gerador é especificado de forma simples, com base na especificação da turbina, feita anteriormente. Como já mencionado, o grupo turbina-gerador deve girar em uma rotação síncrona definida pela frequência da tensão elétrica a ser gerada. O procedimento de cálculo seguido no anteprojeto da turbina hidráulica define a rotação da turbina e o número de pólos do gerador, faltando apenas determinar a sua potência, calculada em função da potência útil disponível no eixo da turbina. Para definição do gerador toma-se a potência no eixo como sendo a potência ativa do gerador.

$$Pot.ativa = Pot.útil (kw) \quad [2].$$

As potências desenvolvidas em centrais de pequeno porte são bastante reduzidas e não comportam a especificação de um gerador especial fabricado sob encomenda. Nas centrais de pequeno porte utilizam-se geradores de linha comercial, também conhecidos como "geradores de prateleira" que são fabricados em potência pré-determinadas.

A escolha do gerador é geralmente feita pela potência imediatamente superior à potência calculada, precavendo-se contra possíveis sobrecargas. Normalmente são escolhidos geradores trifásicos, em detrimento dos monofásicos, devido ao seu melhor rendimento e maior disponibilidade no comércio.

4. INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

4.1. Quadros de comando

Os instrumentos de medição e os dispositivos de controle necessários para operação do gerador devem ser montados nos cubículos de manobra do gerador ou em quadro de comando independente.



Figura 10 - Painel de Proteção do Gerador

4.1.2. Dispositivos de proteção

- * é recomendável o uso de proteção diferencial para gerador com potência igual ou superior a 500 kVA e com tensão igual ou superior a 2200 V.
- * em sistemas unitários, no qual cada gerador está ligado a um transformador elevador, o grupo gerador e transformador deverão ser incluídos na mesma proteção diferencial.
- * o relé de sobre-tensão 59 é usualmente empregado na proteção de geradores acionados por turbinas hidráulicas. A sua utilização, entretanto, ficará a critério de acertos entre usuários e o fabricante do gerador, para potências até 1000 kVA.
- * para geradores de potência até 300 kVA, pode-se dispensar os auxiliares de corrente contínua.
- * para geradores de potência maior que 300 kVA, são recomendáveis à utilização de

baterias e carregador de baterias, alimentado através do próprio gerador.

Para proteção do gerador contra sobre-tensões de origem atmosférica, deve-se considerar os seguintes casos:

- 1) Conexão direta do gerador à linha de transmissão.
- 2) Conexão do gerador à linha de transmissão através de cabos isolados.
- 3) Conexão do gerador à linha de transmissão através de transformador.

No primeiro caso, recomenda-se a instalação de pára-raios e capacitores juntos aos terminais do gerador. No segundo caso, recomenda-se a instalação de pára-raios do tipo distribuição na linha, junto aos terminais do cabo isolado e pára-raios do tipo especial e capacitores nos terminais do gerador. No terceiro caso, recomenda-se a instalação de pára-raios do tipo especial e capacitores nos terminais do gerador.

4.2. Subestação

As subestações para pequenas centrais hidrelétricas podem ser instaladas na casa de força ou no tempo. As subestações para instalação abrigada podem ser do tipo blindada e para instalação ao tempo podem ser do tipo blindada ou convencional.

Deve-se dar preferência às subestações do tipo blindada, abrigadas, pela facilidade de instalação. Entretanto, para se ter um melhor julgamento, deve-se fazer uma comparação técnica e econômica entre os tipos de subestações possíveis de serem construídas.

Para dimensionamento do transformador recomenda-se a escolha da potência do transformador igual à potência máxima do gerador em kVA. A tensão nominal do primário deve ser igual à tensão de geração, e a tensão nominal do secundário igual à tensão adotada para a linha de transmissão. O transformador deverá utilizar fluido isolante que seja não tóxico ou poluente.

Para dimensionamento dos equipamentos de manobra é necessário que sejam calculadas as correntes de curto-circuito e as correntes de carga e estabelecido o nível de isolamento, para a classe de tensão nominal da subestação.

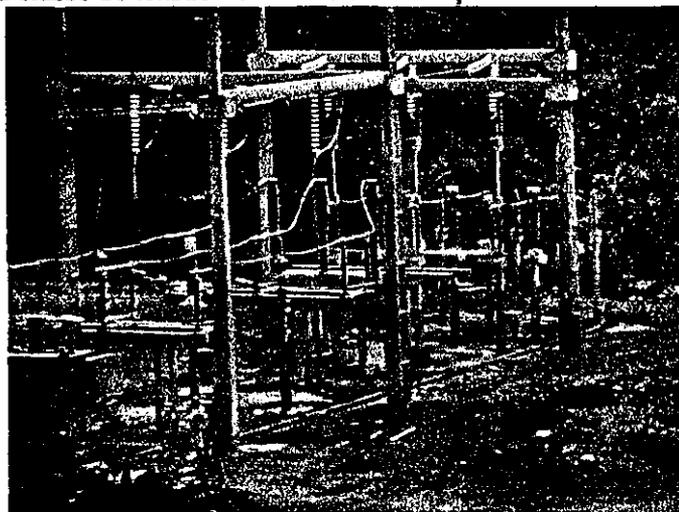


Figura 11 – Subestação de ESPORA

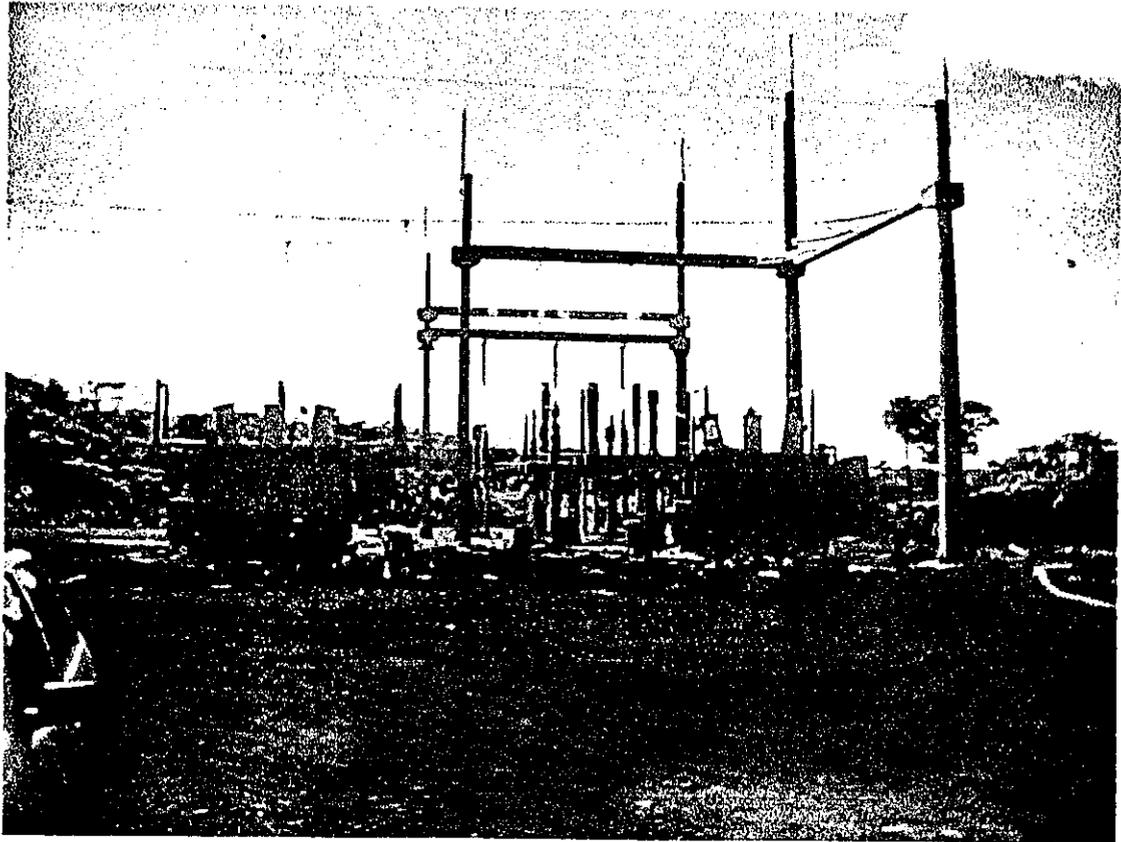


Figura 12 – Subestação ESPORA

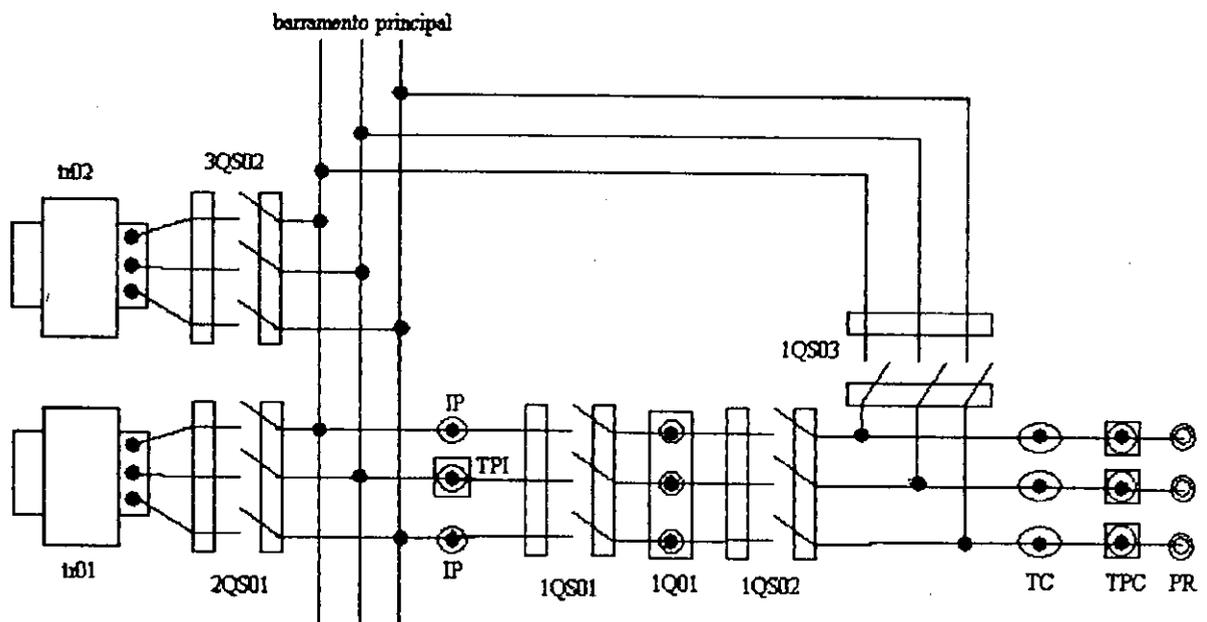


Figura 13 – Esquema elétrico da subestação de ESPORA

5. ATIVIDADES REALIZADAS NA HIDRELÉTRICA DE ESPORA

A PCH de ESPORA é composta de três geradores de 11,68MVA acoplados a três turbinas Francis, painéis de controle e proteção, e uma subestação de 138KV. Ela pode ser operada tanto manualmente através de comandos instalados nos painéis ou remotamente através do supervísório (RSVIEW32). A sincronização de tempo é feita através do sistema GPS.

Tive a participação em toda a montagem dos equipamentos da subestação da subestação:

- dois transformadores 13.8/138KV;
- dois isoladores de pedestal;
- um transformador de potencial indutivo;
- cinco seccionadoras;
- três transformadores de potencial capacitivo;
- três transformadores de corrente;
- três para raios;
- um disjuntor;

Participei diretamente dos projetos de:

- iluminação e tomadas da subestação;
- aterramento de todos os equipamentos;
- montagem do cabo guarda dos para raios da subestação;
- interligação dos equipamentos da subestação;
- comissionamento dos transformadores de força;
- comissionamento do disjuntor ;
- ligação dos motores das seccionadoras;
- ligação dos motores de ventilação forçada dos transformadores de força;
- dimensionamento e interligação de toda a cablagem dos equipamentos da subestação com o painel de comando e controle da subestação;
- correção dos esquemas elétricos dos painéis das seccionadoras;
- refazer todas as planilhas de interligação de cabos dos painéis da casa de força;
- correção dos esquemas elétricos dos painéis da casa de força;
- iluminação e tomadas da casa de força;
- modificação elétrica dos painéis;
- ligação dos sensores do gerador; e turbina;
- ligação dos sensores da turbina
- ligação dos sensores de nível da montante e jusante;
- ligação dos compressores, e filtros auto limpantes;
- ligação das unidades hidráulicas de lubrificação;
- ligação das unidades hidráulicas de regulagem;
- aterramento dos painéis;
- comissionamento de todos os painéis da casa de força;

Fui responsável por:

- todo o material de montagem da subestação (tubulação, parafusos, tecnoflex, conduletes, conectores, buchas de aterramento, unidutos, cabos de média e baixa tensão entre outros);
- reparo de equipamentos defeituosos;
- recebimento de materiais;
- conferência de materiais;
- cobrança de materiais;
- compra de materiais;
- supervisionar toda a equipe de montagem da subestação;
- supervisionar toda a equipe de montagem da casa de força;
- relatórios diários da obra;
- organização diária do canteiro de obras;

6. CONCLUSÃO

Atualmente o engenheiro elétrico não pode apenas ter apenas um tipo de especialidade, eletrônica ou eletrotécnica ou telecomunicações ou automação, ele deve possuir noções de todas as especialidades, pois a cada dia os projetos elétricos estão englobando todas as áreas de conhecimento. Tive a oportunidade de aplicar vários conceitos aprendidos em sala de aula, como a leitura de esquemas elétricos dos circuitos de comando e força dos motores, regras e normas de instalações elétricas relacionadas a iluminação, circuitos trifásicos, máquinas elétricas, automação, telecomunicações entre outros.

As atividades foram realizadas com a maior clareza e os objetivos alcançados, apesar das dificuldades normais do dia-a-dia as quais foram sendo eliminadas gradativamente graças aos conhecimentos teóricos e práticos que nos foram passados durante o decorrer do curso e do estágio.

- TR01- transformador 1
- TR02- transformador 2
- 2QS01- seccionadora do transformador 1
- 3QS01- seccionadora do transformador 2
- IP- isolador de pedestal
- PR - para raio
- TPI - transformador de potencial indutivo
- IQS01- seccionadora do disjuntor
- IQ01- disjuntor
- IQS02 - seccionadora do disjuntor
- IQS03 - seccionadora by pass
- TC - transformador de corrente
- TPC- transformador de potencial

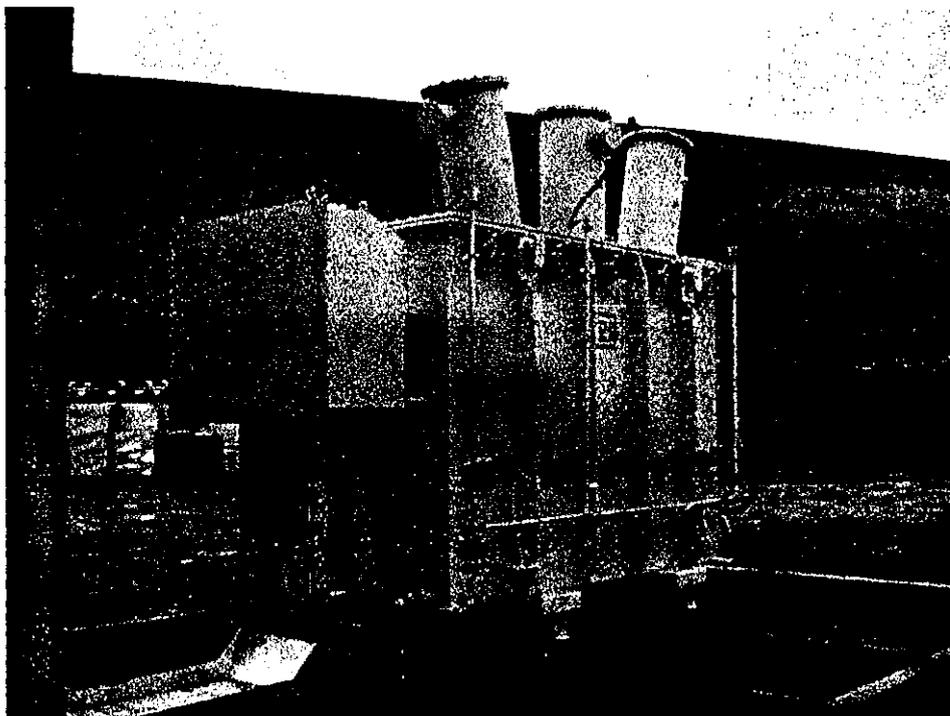


Figura 14 – Transformador da subestação de ESPORA

4.2.1. Ligação do gerador à subestação

A ligação do gerador à subestação poderá ser por meio de cabos isolados, cabos, barras e tubos sobre isoladores. Deve-se dar preferência a cabos isolados devido à simplicidade de instalação, a não ser que a energia a transportar resulte em corrente muito alta ou a distância a transportar seja muito grande. Devem ser consideradas previamente as alternativas de instalação mais adequadas de execução no local da obra. O projeto da instalação deve obedecer aos requisitos da Norma 5.410 da ABNT, particularmente na parte 5 e anexo J. Os cabos podem ser de cobre ou de alumínio, com 4 tipos básicos de isolamento. A capacidade decorrente de um cabo depende da temperatura suportada pelo isolamento. Consequentemente a seleção do cabo mais adequado envolve uma análise técnico-econômica dos parâmetros envolvidos. O dimensionamento de barramento nu (sem isolamento) assentado sobre isoladores é determinado por critérios técnicos, mecânicos, elétricos e por este motivo as normas não apresentam tabelas de capacidade de condução de

corrente em tubos e barras, uma vez que isto poderia induzir as aplicações inadequadas tratando-se apenas de fatores envolvidos. Neste caso recomenda-se consultar catálogos atualizados dos fabricantes.

4.3. Linha de Distribuição

Os passos a serem seguidos para a escolha dos elementos a serem utilizados no projeto da linha de transmissão são apresentados a seguir:

1) Tensão de distribuição:

A tensão de distribuição será definida em função da potência a transmitir e do comprimento da linha de transmissão. Sempre que possível, a tensão de transmissão deve ser igual à de geração. Entretanto, quando não for possível, devido a limites de perdas de potência, será utilizado um transformador elevador na subestação.

2) Escolha do condutor

A escolha do condutor a ser utilizado na linha de distribuição será feita a partir dos seguintes dados já conhecidos:

- tensão entre fases, em V;
- potência a transmitir, em kW;
- comprimento da linha, em m

3) Estruturas

Após a escolha do cabo condutor com capacidade para distribuição da potência gerada, escolhem-se as estruturas a serem utilizadas. Para a escolha adequada dos componentes das estruturas a serem utilizadas, devem ser levadas em consideração a bitola do condutor e as características de projeto definidas de acordo com a região, para dimensionamento mecânico das estruturas e do condutor. Esse trabalho poderá ser feito de acordo com os padrões adotados pela concessionária de energia elétrica da região ou por consultor especializado em projetos de redes elétricas de distribuição. Os postes poderão ser de madeira tratada (aroeira, preferencialmente), metálicos (tubular ou trilho) ou concreto (armado, centrifugado ou protendido) de seção circular ou duplo T. As cruzetas poderão ser de madeira de lei, ferro ou concreto.

7. BIBLIOGRAFIA

FILHO, João Mamede. Manual de Equipamentos Elétricos

**VIEIRA, Leonardo dos S. Reis; NASCIMENTO, Marcos Vinícius. Relatório técnico
CEPEL**

Site do Ministério de Minas e Energia: <http://www.mme.gov.br>

Site da ANEEL: www.aneel.gov.br/68.htm