

UNIVERSIDADE EDUADUAR MONDLANE

FACULDADE DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

Física Aplicada

Energias Renováveis

Energia Hidrica

Docente

Dr Cuamba

Discente

Mbanze, Jamal Artur Manuel

Maputo, Novembro de 2010

1 Introdução

Todo ser vivo necessita de energia para sua existência. Ao processar alimento em seu organismo, o ser vivo na verdade está se provendo de energia. A energia é por assim dizer, uma fonte vital. Certamente, o avanço do ser humano está intimamente ligado ao aprendizado do uso de energia. Na verdade, deseja-se que a energia nos produza conforto, comodidade, serviços, enfim, qualidade de vida. A energia se manifesta de diversas formas na natureza. Exemplos mais comuns dessa manifestação são as energias solar, cinética, potencial, eólica, das marés, geotérmica, que podem ser transformadas em outras formas de energia, conservando sua quantidade no processo de transformação.

A água é o recurso natural mais abundante na Terra: com um volume estimado de 1,36 bilhão de quilômetros cúbicos (km³) recobre 2/3 da superfície do planeta sob a forma de oceanos, calotes polares, rios e lagos. A água também é uma das poucas fontes para produção de energia que não contribui para o aquecimento global ; o principal problema ambiental da actualidade. E, ainda, é renovável: pelos efeitos da energia solar e da força da gravidade, de líquido transforma-se em vapor que se condensa em nuvens, que retomam à superfície terrestre sob a forma de chuva. [7]

Da água doce restante, apenas aquela que flui por aproveitamentos com acentuados desníveis e/ou grande vazão pode ser utilizada nas centrais hidroeléctricas – características necessárias para a produção da energia mecânica que movimenta as turbinas das centrais. Além disso, embora desde a Antiguidade a energia hídrica tenha sido usada para gerar energia mecânica nas instalações de moagem de grãos, por exemplo no século XX passou a ser aplicada, quase integralmente, como matéria prima da electricidade. Os progressos entretanto verificados na transmissão da energia eléctrica permitiram que os países alta e medianamente industrializados passassem a estar cobertos por redes eléctricas densamente malhadas. [2]

Esta circunstância, aliada ao facto de as reservas de combustíveis fósseis de fácil extracção serem consideradas como praticamente esgotáveis, e serem em número apreciável os locais com condições favoráveis à instalação de grandes aproveitamentos hidroeléctricos. Como consequência da evolução registada, tanto o investimento unitário, como as despesas de operação e manutenção por unidade contribuído maior, porque beneficiava da experiência e conhecimento acumulados na área dos recursos hidroenergéticos. Por outro lado, o recurso hidrológico estava razoavelmente bem estudado, fruto de campanhas de medição, conduzidas ao longo de vários anos, nos principais cursos de água. maior parcela de energia que era possível extrair da água. [1]

No domínio da engenharia civil os esforços foram dirigidos para a concepção de sistemas compactos e simples, tanto quanto possível pré-fabricados, de modo a reduzir os trabalhos no local. A engenharia mecânica orientou-se para o projecto de turbinas normalizadas, com rendimentos aceitáveis em diversas condições de funcionamento, tendo em atenção que era no domínio das

quedas baixas que as oportunidades se afiguravam mais prometedoras. [2]

No âmbito da engenharia electrotécnica as contribuições reparitiram-se, essencialmente, em duas áreas: nos conversores mecanoeléctricos, com especial relevo para a utilização da máquina assíncrona como gerador, e na automatização total das instalações, que permite a sua exploração. Sendo o resultado das precipitações, esta forma de energia é renovável e não poluente. [1]

1.1 Objectivos

1.1.1 Objectivos Gerais

- Princípios do Funcionamento da Barragem Hidroeléctrica

1.1.2 Objectivo específicos

- Processo de Geração de Energia Hidroeléctrica
- Avaliação de Parâmetros para a Instalação de Central Hidroeléctrica

3. Fundamentos Teóricos

3.1 Princípios para a Exploração de Energia Hídrica

A energia hídrica é energia proveniente do movimento das águas. Ela é produzida por meio do aproveitamento do potencial hídrico existente num rio, utilizando desníveis naturais, como quedas de água, ou artificiais, produzidos pelo desvio do curso original do rio. Pode ser convertida na forma de energia mecânica por rotação de um eixo através de turbinas hidráulicas ou moinhos de água. [1]As turbinas por sua vez podem ser usadas como accionamento de um equipamento industrial, como um compressor, ou de um gerador eléctrico, com a finalidade de prover energia eléctrica para uma rede de energia. A potência hídrica máxima que pode ser obtida através de um desnível e que pode ser calculada pelo produto:

$$P = \rho Q h g \quad 1.0$$

Onde:

P é a potência em Watt, **ρ** e a densidade de agua, **Q** e a vazão volumétrica em $m^3 \cdot h$ e a altura de queda, e **g** e a aceleração de gravidade em m . Para que haja energia hídrica e necessário que haja um fluxo de água para que a energia seja gerada de forma contínua no tempo, por isto embora se

possa usar qualquer reservatório de água, como um lago, deve haver um suprimento de água ao lago, caso contrário haverá redução do nível e com o tempo a diminuição da potência gerada consoante a equação acima. As represas são nada mais que lagos artificiais, construídos num rio, permitindo a geração contínua. A energia potencial transforma-se em cinética e que esta por sua vez vai influenciar a rotação de turbinas. [1]

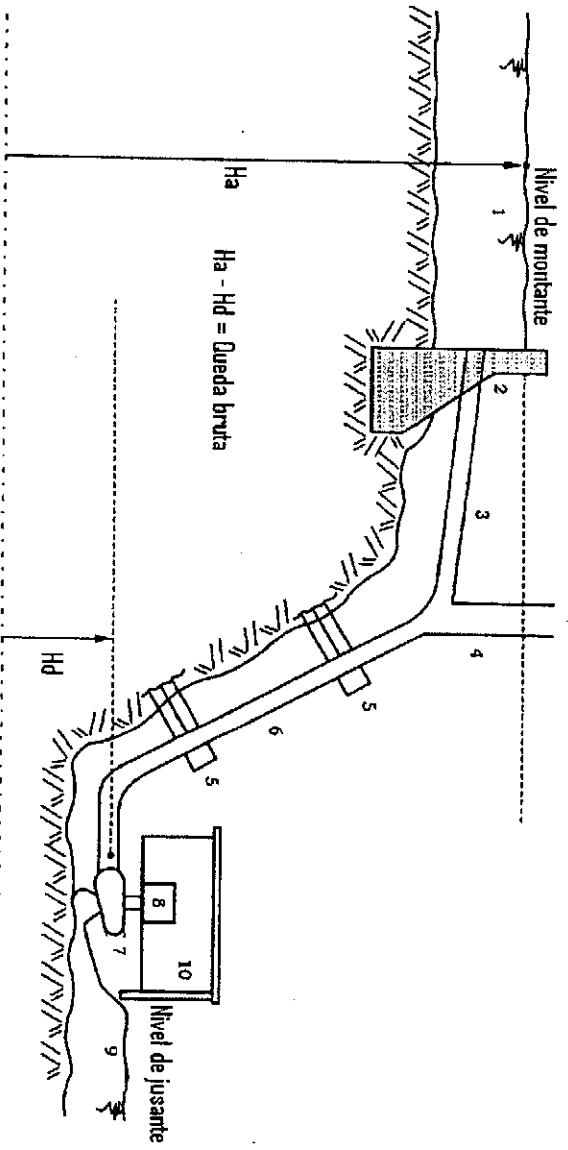
3.1.1 Medição de Altura

A medição pode ser feita com base de trigonometria ou GPS (Método topográfico), pois nota-se que a energia introduzida na turbina depende de altura estabelecida h_1 , embora a altura h_2 altura estimada. [1]

$$h_a = h_1 - h_f$$

2.0

h_f e a altura de fricção da água ou de perdas de fonte para as turbinas, h_t e a altura total e. Para uma apreciável secção de escoamento e cómodo a relação. $h_f \leq h_t/3$



- 1: Reservatório Superior
- 2: Barragem
- 3: Tubulação de Pressão
- 4: Chamimé de Equilíbrio
- 5: Gerador
- 6: Turbulência Forçada
- 7: Tubulação de Pressão
- 8: Gerador
- 9: Canal de Fuga
- 10: Reservatório Inferior

5: Blocos de Ancoragem 10: Casa das Máquinas

Fonte: SIMONE (2000, p. 39).

Figura mostra o circuito Hidrico co esquema de variacao de altura

3.1.2Medição de Vazão

Para se monitorar e controlar a geração de energia, bem como para se realizarem ensaios de determinação de rendimento das turbinas, é fundamental a medição da vazão. Essa medição deve ocorrer no sistema de adopção da central, seja no seu trecho de baixa ou de alta pressão. No caso dos ensaios de turbinas, a normalização se dá pela, que prevê uma série de métodos para sua medição.[5]

A corrente de água que passa pela turbina produz uma energia menor que da corrente da água, toda via a corrente da água varia com o tempo pois, a corrente no tempo seco diferencia-se com o do tempo de cheia. Na geração de potência sempre precisamos de saber a mínima potência gerada no período de seca desde que a turbina aplicada para produção de energia elétrica possa produzir uma potência para todo o ano.



A descarga de fundo é constituída por um descarregador, com a capacidade de vazão de 160 m³/s, por meio da acção da comporta de serviço, também do tipo segmento, e destinada a obter o respectivo canal blindado com a secção corrente circular de 3 metros de diâmetro e 228 metros de comprimento.

Desta informação é cómoda a avaliação do impacto ambiental para manter a corrente dos seres aquáticos não perturbando e precisa-se que se saiba a situação da potência máxima, na qual pode

causar inundações nos seres vivos e aonde a instalação poderá fornecer prejuízo. A medição da vazão é possível por meio de seguntes métodos nomeadamente método básico para correntes de agua com pequenas velocidade e sofisticado quando possuir maiores velocidades de agua.[5]

Método básico

A agua estagnada na barragem pressupõem se que já é uma grandeza de vazão volumétrica. Este método faz com que a ocorrência do fluxo como daquelas de pequenas quedas de agua, Assim mede se por meio de um reservatório a quantidade de agua pelo determinado período, onde é valida a seguinte formula:

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad 3.0$$

Onde Q é a vazão volumétrica V em m^3 é o volume da agua do reservatório
 t é o tempo necessário para encher o reservatório

- **Método sofisticado**

É o método que ocorre na medição de escoamento de grandes velocidades. Essencialmente a velocidade u e medida por pequenas porções de agua em pontos de duas dimensões e esta por sua vez o integral da equação e valida a expressão

$$Q = \int u dV \quad 4.0$$

3.1.4 Barragem Hidroeléctrica

A barragem hidroeléctrica e uma represa construída sob efeito de um projecto com fins de produção de electricidade . Por isso existência envolve uma composição de barragem, albufeira, conduta forçada, e uma central hidroeléctrica, como mostra a figura abaixo.[8]

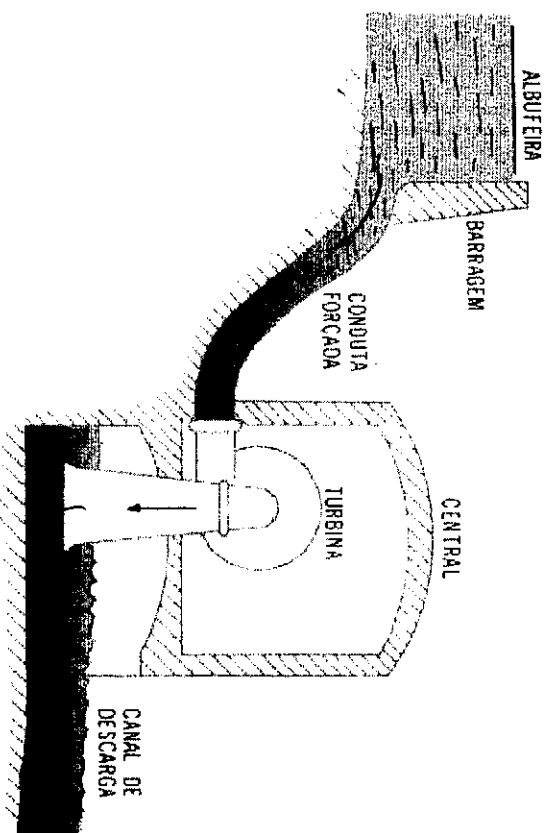


Fig 1, mostra o esquema do aproveitamento hídrico na instalação de uma central hidroelétrica.

3.1.4.1 Central Hidroelétrica

3.1.4.2 Classificação das centrais

Em primeiro as centrais classificam se segundo o aproveitamento hídrico mediante três parâmetros que são potencia, caudal, e altura de queda.

Tabela 1: Classificação das centrais hídricas quanto à potência.

Classificação Quanto à Potência

Designação	Pinst (MW)
Central Hidroelétrica	> 10
Pequena Central Hidroelétrica	< 10
Mini Central Hidroelétrica	< 2
Micro Central Hidroelétrica	< 0,5

Tabela 2: Classificação das centrais hídricas quanto à altura de queda

Classificação Quanto à Queda

Designação	h (m)
Alta Queda	$h > 250$
Média Queda	$50 \leq h \leq 250$
Baixa Queda	$h < 50$ m

Classificação Quanto ao Caudal

Designação	Q (m ³ /s)
Grande Caudal	$Q > 100$
Médio Caudal	$10 \leq Q \leq 100$
Pequeno Caudal	$Q < 10$

Em seguida outra classificação diz respeito à existência ou não de capacidade de armazenamento. As centrais a fio de água não têm capacidade de regularizar o caudal, pelo que o caudal utilizável é o caudal instantâneo do rio. Ao contrário, as centrais com regularização possuem uma albufeira que lhes permite adaptar o caudal afluente.

3.1.5 Potência a Instalar

A potência a instalar num determinado aproveitamento depende do valor da queda, ou desnível topográfico conseguido na implantação da obra, e do caudal, o qual, como é óbvio varia com o tempo. Deve-se assim estudar com adequado rigor a conjugação destas duas variáveis, de forma a garantir que a sua combinação proporcione valores de potência e de energia úteis que justifiquem, do ponto de vista económico a construção de um determinado aproveitamento hidroeléctrico.[8] A

energia potencial de uma massa de água m com centro de gravidade à altura h , é dada pela seguinte expressão:

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

2.0

Onde g é a aceleração da gravidade ($g \approx 9,81 \text{ m/s}^2$)

Se considerarmos que durante tempo t ocorre o esvaziamento e que toda a energia potencial se converte em energia eléctrica, então a potência a teórica associada será:

$$P_t = g \cdot h \cdot r \cdot Q \cdot \eta \quad (\text{kW}) \quad 3.0$$

Onde P_t é a potência teórica a instalar, V o volume de água, r a massa volumica da água e $dV/dt = Q$ é o caudal. Se considerarmos o rendimento da transformação, η tem Se Q representar o caudal afluente em ano médio, a potência anterior representa a potência eléctrica média anual. Se admitirmos que a massa volumica da água é de 1000 Kg/m^3 , que a aceleração da gravidade é de 10 m/s^2 e que o rendimento global do sistema é de 80%, temos que:

$$P_u = 8000 \cdot Q \cdot h \quad (\text{W}) = 8 \cdot Q \cdot h \quad (\text{kWh}) \quad \text{onde } P_u \text{ é a potencia útil.}$$

3.1.6 Turbina

As turbinas, são motores rotativos que converte em energia mecânica a energia de uma corrente de água, vapor da água ou gás. O elemento básico da turbina é a roda ou rotor, que conta com paletas, hélices, lâminas ou cubos colocados ao redor de sua circunferência, de forma que o fluido em movimento produza uma força tangencial que impulsiona a roda, fazendo-a girar. Essa energia mecânica é transferida através de um eixo para movimentar uma máquina, um compressor, um gerador eléctrico ou uma hélice. As turbinas se classificam como hídricas ou de água, a vapor ou de combustão.[1]

As turbinas hídricas dividem-se diversos tipos, sendo quatro tipos principais: Pelton, Francis, Kaplan, Bolbo. Cada um destes tipos é adaptado para funcionar em centrais com uma determinada faixa de altura de queda e vazão. As vazões volumétricas podem ser igualmente grandes em qualquer uma delas mas a potência será proporcional ao produto da queda(h) e da vazão volumétrica (Q).

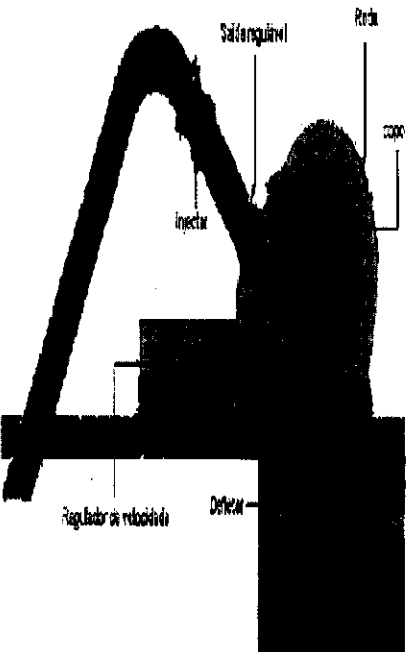
Turbina Pelton

São turbinas de impulsão, onde são adequadas para operar entre quedas de 300 m até 1100 m,

sendo por isto muito mais comuns em países montanhosos. Este modelo de turbina opera com velocidades de rotação maiores que os outros, e tem o rotor de característica bastante distintas. Os jactos de água ao se chocarem com as "conchas" do rotor geram o impulso. Dependendo da potência que se queira gerar podem ser accionados os 6 bocais (injectores em Portugal) simultaneamente; ou apenas cinco, quatro, etc... O número normal de bocais varia de dois a seis, igualmente espaçados angularmente para garantir um balanceamento dinâmico do rotor.[8]

Nota-se que quanto maior o número de injectores, mais facilmente gira a turbina, mas por outro lado, o numero de injectores (que teoricamente é infinito, por haver infinitas tangentes a um circulo, se considerarmos cada recta tangente um eixo de um jacto, e o circulo a roda da turbina.), está limitado fisicamente ao número de 6, porque cada jacto de água tem espessura, e em número maior colidiriam com os jactos adjacentes.[8]

Um dos maiores problemas destas turbinas, devido à alta velocidade com que a água se choca com o rotor, é a erosão provocada pelo efeito abrasivo da areia misturada com a água, comum em rios de montanhas. As turbinas pelton, devido a possibilidade de accionamento independente nos diferentes bocais, tem uma curva geral de eficiência plana, que lhe garante boa performance em diversas condições de operação.[8]



Francis

Turbina Francis de 100 metros são adequadas para operar entre quedas de 30 m até 300 m. A central hidroelétrica de Itaipu assim como central hidroelétrica de Cahora Bassa, e outras funcionam com turbinas tipo Francis com cerca de 100 m de queda d' água, como a figura 6 apresentada esquematizado. São turbinas de reação porque o escoamento na zona de roda , se processa a uma pressão inferior a pressão atmosférica. A turbina de Francis relativamente a do Pelton , tem um rendimento máximo mais elevado , velocidades maiores e menores dimensões



A figura ao lado representa uma imagem real de turbina de Francis

Kaplan

São adequadas para operar entre quedas até 30 m. A única diferença entre as turbinas Kaplan e Francis é o rotor. Este assemelha-se a um propulsor de navio (similar a uma hélice). Um servomotor montado normalmente dentro do cubo do rotor, é responsável pela variação do ângulo de inclinação das pás. O óleo é injectado por um sistema de bombeamento localizado fora da turbina, e conduzido até o rotor por um conjunto de tubulações rotativas que passam por dentro do eixo.

O accionamento das pás é conjugado ao das palhetas do distribuidor, de modo que para uma determinada abertura do distribuidor, corresponde um determinado valor de inclinação das pás do rotor. As Kaplans também apresentam uma curva de rendimento "plana" garantindo bom rendimento em uma ampla faixa de operação. 2

Bolbo

Basicamente trata-se de uma unidade geradora composta de uma turbina Kaplan e um gerador envolto por uma cápsula. A cápsula por sua vez fica imersa no fluxo de água, isto acarreta em um equipamento que exige uma vedação mais precisa o que impacta em um espaço menor para acesso de manutenção. Operam em quedas abaixo de 20 m. Foram inventadas na década 30. As primeiras foram construídas em 1936. Possui a turbina similar a uma turbina Kaplan horizontal, porém devido a baixa queda, o gerador hidráulico encontra-se em um bolbo por onde a água flui ao seu redor antes de chegar as pás da

3.1.6.1 Critérios da Escolha da Turbina

A turbina hídrica corresponde a uma parcela muito significativa do custo de uma Central Hidrica pode chegar até 90%, pelo que a sua seleção criteriosa se reveste de particular interesse. a escolha da turbina é crucial para o bom rendimento da central devendo ser feita de acordo com a altura útil da queda, o caudal e a velocidade específica da turbina. as turbinas necessiam de uma grande manutenção periódica uma vez que sofrem um grande desgaste devido à acção da água,

deixando em alguns anos de funcionar de forma rentável.[12]

A escolha da turbina resulta da interacção de três parâmetros - queda, caudal e potência.

ENERGIA T-SO		ENERGIA MÉDIA	
Q M D A S		Turbina Pelton 800 a 3000 rpm	Alternador Eixo vertical ou horizontal
Q M D A S		Turbina Francis 100 a 800 rpm	Alternador Eixo vertical ou horizontal
Q M D A S		Turbina Kaplan 75 a 120 rpm	Alternador Montagem sobre Eixo vertical ou horizontal

Figura 2, representa um quadro que mostra a interacção de três parâmetros , caudal, potencia e queda

As turbinas hélice são não reguláveis e por isso de constituição mais simples e robusta, são mais baratas, e têm menor manutenção. Em contrapartida, não têm a flexibilidade proporcionada pelas turbinas Kaplan, que são reguláveis. Esta regulação pode ser dupla mobilidade das pás da roda e do distribuidor – ou simples – apenas uma possibilidade de regulação. Neste último caso, é usual a opção pela regulação das pás da roda, por esta proporcionar uma curva de rendimentos mais plana. Outro factor a ter em conta é a variação da queda, que é particularmente significativa nos aproveitamentos de baixa e média queda. As turbinas Francis e Kaplan são, também sob este ponto de vista, melhores do que as turbinas hélice. As primeiras suportam variações de queda entre 65% e 125% da queda nominal, enquanto a gama de variação da última é de apenas 90% a 110%.

Outro factor a ter em conta é a variação da queda, que é particularmente significativa nos aproveitamentos de baixa e média queda. As turbinas Francis e Kaplan são, também sob este ponto de vista, melhores do que as turbinas hélice: as primeiras suportam variações de queda entre 65% e 125% da queda nominal, enquanto a gama de variação da última é de apenas 90% a 110%. Em aproveitamentos de muito pequena potência – micro centrais tem sido proposta a utilização de bombas funcionando em sentido inverso, como turbinas. Apesar de uma redução de

rendimento e da impossibilidade de adaptação ao caudal, esta solução apresenta vantagens interessantes, tais como baixo preço, disponibilidade no mercado, fácil montagem e manutenção reduzida [6]

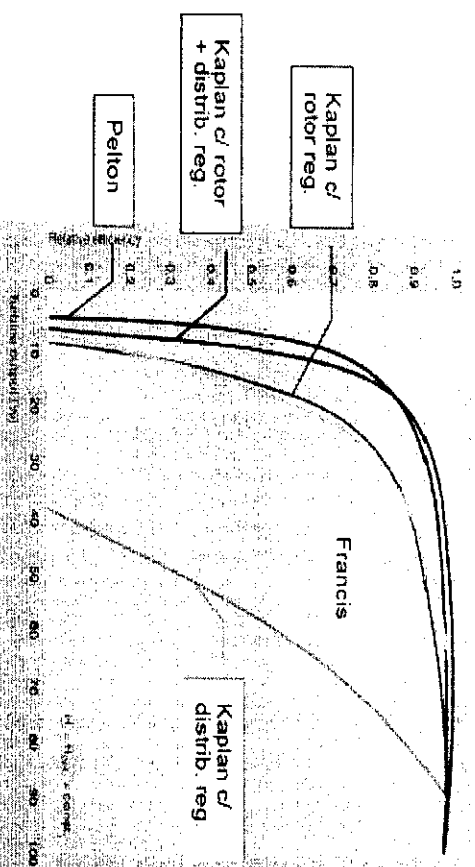


Figura 3: Curvas típicas de rendimento das turbinas[Rui Castro]

3.1.7 Gerador

Gerador é um dispositivo utilizado para a conversão da energia mecânica, química ou outra forma de energia em energia elétrica. Tipos de geradores que convertem energia mecânica em elétrica:

Gerador Síncrono Gerador de indução ou Gerador Assíncrono Gerador de Corrente contínua, depende da indução eletromagnética para converter energia mecânica em energia elétrica, a lei básica de indução eletromagnética é baseada na Lei de Faraday de indução combinada com a Lei de Ampère que são matematicamente expressas pela 3ª e 4ª equações de Maxwell respectivamente. O dínamo funciona convertendo a energia mecânica contida na rotação do eixo do mesmo que faz com que a intensidade de um campo magnético produzido por um ímã permanente que atravessa um conjunto de enrolamentos varie no tempo, o que pela Lei da indução de Faraday leva a indução de tensões nos terminais dos mesmos.

A energia mecânica muitas vezes proveniente de uma turbina hidrica, à gás ou a vapor é utilizada para fazer girar o rotor, o qual induz uma tensão nos terminais dos enrolamentos que ao serem conectados a cargas levam a circulação de correntes elétricas pelos enrolamentos e pela carga. Os grandes geradores das centrais hidricas geradoras de energia eléctrica fornecem corrente alternada e utilizam turbinas hidricas e Geradores Síncronos. 1

Há muitos outros tipos de geradores eléctricos. Geradores electrostáticos como a máquina de Wimshurst, e em uma escala maior, os geradores de van de Graaff, são principalmente utilizados em

trabalhos especializados que exigem tensões muito altas, mas com uma baixa corrente e potências não muito elevadas. Isso se deve pelo fato de nesses tipos de gerador, a densidade volumétrica de energia não é pequena, ou seja, para que se tenha uma grande quantidade de energia sendo convertida é necessário um grande volume por parte da estrutura do gerador. O mesmo não ocorre nos geradores que operam baseados em princípios eletromagnéticos pois os mesmos permitem uma concentração volumétrica de energia bem maior.

A parte superior da figura 3 mostra nos um gerador hidroeletrico ligado a turbina por meio de um eixo vertical.

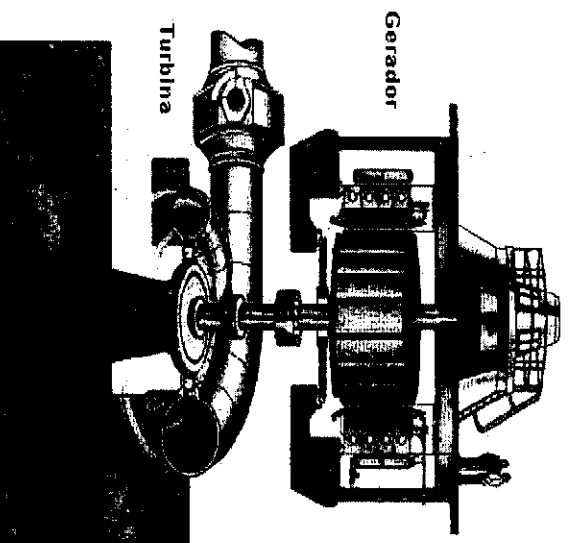


Fig. 3 mostra nos um grupo gerador na parte superior

3.1.7.1 Critérios da Escolha do Gerador

A escolha do conversor mecanoelétrico para equipar uma central hídrica depende das especificações impostas à turbina, no que diz respeito a rendimento, velocidade nominal e de embalamento, constante de inércia, tipo de regulação, etc. Uma opção fundamental coloca-se entre o gerador síncrono (alternador) e o gerador assíncrono (ou de indução).

O gerador assíncrono constitui, em geral, a solução técnica e economicamente preferível, devido às suas conhecidas características de robustez, fiabilidade e economia. Nas centrais de potência mais elevada são exigidas soluções técnicas mais elaboradas e os aspectos económicos são menos críticos, pelo que o gerador síncrono é normalmente o conversor eleito.[2]

4 Observações e Recomendações

4.1 Observações

É de salientar que a energia hídrica é um recurso útil pois para além de usar energia nas actividades moageiras, podemos usar a energia hídrica na produção de electricidade com potencias bastantes estimaveis. A energia hídrica é tecnicamente mais vantajosa, com menos poluição no meio ambiente A metodologia usada para este trabalho , foi de detalhar e mostrar com pormenores a os principios de funcionamento de Barragem Hidroelectrica por meio de informaçoes obtidas na analise bibliografica. Segundo informaçao obtida na revisao literaria, a geracao electrica, torna se vai de acordo com as literaturas recomendadas, segundo dados encontrados na internet como no caso de altura ,potencia , turbina e gerador.

4.2 Recomendações

São recomendadas que as próximas investigações em estudos iguais a estes, sejam feitas, considerando áreas específicas de modo haver interaçao de troca com uma instituicao, em que por sua vez esta relacionado coma respectiva investigacao para a obtencao de resultados em devido a evolucao do sistema, uma vez que o trabalho só se baseou na revisao bibliografico.

5. Bibliografia

- 1-Renoweble energy source second edicion J.Twidl e T.weir
 - 2-Introducao a energia mini-hidrica-Rui M.G.Castro-Dezembro de 2002(edicao 1)
 - 3-Generacao de energia a partir de fonte eolica com gerador assincrono
 - 4-Conectando a conversor estatico duplo barragem de Cahora Bassa-Breve Historial
 - 5- Termo de referencia para a elaboracao de estudos sobre a vazao ecologica na bacia do rio são Francisco produto 3 Junho de 2007
- 5-Referencia: edital n. 05 do ano de 2006, projecto 704bra2041 da organizacao das nacoes unidas para a educacao, a ciencia e a cultura – Unesco.

- 6-Gestão hidrológica da albufeira de cahora Bassa em períodos críticos (cheias e secas) Gustavo Jessen^(*) e Henrique Silva Hidroelétrica de Cahora Bassa, S.A, HCB – Songo, Moçambique 5º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia 2º Congresso de Engenharia de Moçambique Maputo, 2-4 Setembro 2008
- 7-Energia Hidráulica Key World Energy Statistics, da Internacional Energy Agency (IEA), publicado em 2008
- 8-Universidade da Coimbra Faculdade de ciências e tecnologia Professor Anibal Traça Almeida Desenvolvimento Sustentável Hidroelectricidade .