



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
FACULDADE DE FÍSICA
LICENCIATURA EM FÍSICA

WENDEL LEANDRO SOUZA MOURA

A FÍSICA DA CONVERSÃO ENERGÉTICA NAS USINAS HIDRELÉTRICAS

BELÉM – PARÁ

MAIO/2021

Wendel Leandro Souza Moura

A FÍSICA DA CONVERSÃO ENERGÉTICA NAS USINAS HIDRELÉTRICAS

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Física (FACFIS), do Instituto de Ciências Exatas e Naturais (ICEN), da Universidade Federal do Pará (UFPA), como requisito final para a obtenção de grau de Licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. Rubens Silva.

BELÉM – PARÁ

MAIO/2021

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe, Larissa Souza Farias, quem sempre me incentivou a seguir o caminho dos estudos e quem foi o maior motivo para conseguir reunir as forças necessárias para terminar o curso, e aos meus irmãos, Moisés Gabriel e Emily Larissa, que foram meus dois outros pilares motivacionais nas caminhadas pessoal e profissional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente à minha família: minha mãe, dona Larissa Souza, quem sempre acreditou em mim e me ensinou que a única coisa que nunca nos poderá ser tomada são os estudos, meu irmão Moisés Gabriel, quem sempre me serviu de motivo para melhorar como pessoa e me tornar alguém quem valha a pena se espelhar, à minha irmã Emily Larissa, quem eu sempre me lembrei e usei como combustível para aguentar as noites sem dormir bem, as semanas de provas incessantes, os problemas pessoais, etc. Mesmo separados fisicamente, vocês sempre foram e sempre serão minha maior motivação para continuar.

Agradeço ao meu orientador, tutor e amigo Professor Rubens Silva por toda a parceria que construímos durante o ciclo que foi minha graduação. Agradeço pela orientação que recebi na elaboração deste trabalho. Agradeço pela excelente gestão que realizou no grupo PET-Física, do qual fiz parte. E, por fim, agradeço por cada conversa que tivemos, nas quais pude aprender muito com sua experiência, e por todos os conselhos que me deste. Obrigado, “Rubilota”!

Agradeço ao Programa de Educação Tutorial (PET) pela imensa contribuição que me deu em minha formação acadêmica e profissional.

Agradeço também à Universidade Federal do Pará por me oferecer uma maneira de, gratuitamente, me preparar para o mercado profissional e poder, através da labuta, melhorar a condição de vida daqueles que me amam e me apoiam.

Agradeço, por fim, aos meus amigos Luiz Matheus Meireles, Robson Teixeira, Eliezer Duarte e Edinilson Tavares, a *Rapaziada*, que me ajudou em momentos os quais eu não conseguia seguir sozinho e me deram todo o suporte acadêmico, moral, emocional e, certas vezes, até econômico em dias os quais eu sequer tinha dinheiro pra voltar para casa. Muito obrigado meus amigos, os senhores são o melhor grupo que eu poderia querer. Sem mancada, amo vocês.

A todos estes, meu muito obrigado!

EPÍGRAFE

“Eu sei que tu sabes muito, mas tu
não sabes o que eu sei.”

(Rubens Silva)

RESUMO

As usinas hidrelétricas produzem a grande parte da energia elétrica consumida no Brasil. Esse processo de produção garante que o Brasil esteja em uma posição de destaque dentro do cenário de produção energias renováveis e não poluentes. A produção energética em uma usina hidrelétrica nada mais é que uma aplicação direta de leis, princípios e fundamentos de física, sendo muito interessante de ser analisado a partir de uma ótica científica. Neste trabalho, buscar-se-á abordar os princípios físicos envolvidos na geração da energia elétrica em uma usina hidrelétrica, bem como seus benefícios e malefícios, abordando cada componente de uma usina e expondo o porquê de sua utilização no projeto.

Palavras-chave: Usinas Hidrelétricas. Física. Eletromagnetismo.

ABSTRACT

Hydroelectric plants produce most of the electricity consumed in Brazil. This production process ensures that Brazil is in a prominent position within the renewable and non-polluting energy production scenario. The energy production in a hydroelectric plant is nothing more than a direct application of laws, principles and fundamentals of physics, being very interesting to be analyzed from a scientific perspective. In this work, we will seek to address the physical principles involved in the generation of electrical energy in a hydroelectric plant, as well as its benefits and harms, addressing each component of a plant and explaining why it is used in the project.

Palavras-chave: Hydroelectric plants. Physics. Electromagnetism.

MINHAS ILUSTRAÇÕES

1 – ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Matriz Energética Mundial (2018).....	13
Figura 2 - Matriz Energética Brasileira (2019).....	14
Figura 3 - Comparativo entre as matrizes energéticas brasileira e mundial.....	15
Figura 4 - Matriz Elétrica Mundial (2018).....	16
Figura 5 - Matriz elétrica brasileira (2019).....	16
Figura 6 - Comparativo entre as matrizes elétricas brasileira e mundial.....	17
Figura 7 - Ilustração de um triturador hidráulico.....	18
Figura 8 - Modelo esquemático de uma turbina hidrelétrica.....	20
Figura 9 - Esquema de uma usina hidrelétrica.....	21
Figura 10 - Reservatório da hidrelétrica de Barra Grande.....	22
Figura 11 - Barragem da usina hidrelétrica de Barra Grande.....	23
Figura 12 - Modelo de contudo forçado.....	23
Figura 13 - Esquema de um Turbina Pelton.....	25
Figura 14 - Turbina Kaplan.....	26
Figura 15 - Modelo de turbina Francis.....	27
Figura 16 - Turbina Francis (azul) e gerador (vermelho) usados na Usina Hidrelétrica de Foz do Areia.....	28
Figura 17 - Tipos de turbina por faixa de operação.....	29
Figura 18 - Antiga Usina de Marmelos, atualmente museu da Usina de Marmelos.....	30
Figura 19 - Mapa contendo as usinas catalogadas pelo SNIRH.....	32
Figura 20 - Visão aérea da usina hidrelétrica de Itaipu.....	34
Figura 21 - Produção anual de energia da usina de Itaipu (2012 a 2019).....	34
Figura 22 - Parte da Usina Hidrelétrica de Tucuruí.....	35

Figura 23 - Parte da Usina Hidrelétrica de Belo Monte.....37

Figura 24 - Usina Hidrelétrica Teles Pires.....38

2 – ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - As maiores usinas hidrelétricas em solo brasileiro.....32

Tabela 2 - Futuros projetos de usinas hidrelétricas em solo paraense.....39

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	12
CAPÍTULO 1: ENERGIA.....	12
1.1 Diferentes formas energéticas e a matriz energética brasileira.....	12
1.2 Matriz elétrica brasileira.....	15
CAPÍTULO 2: O PROJETO DE UMA USINA HIDRELÉTRICA.....	17
2.1 Funcionamento de uma usina hidrelétrica.....	17
2.2 Principais componentes estruturais de uma usina hidrelétrica.....	20
2.2.1 Reservatório.....	21
2.2.2 Comportas.....	22
2.2.3 Barragem.....	22
2.2.4 Conduto forçado.....	23
2.2.5 Turbinas hidráulicas.....	24
CAPÍTULO 3: ENERGIA HIDRELÉTRICA EM SOLO BRASILEIRO: PASSADO E PRESENTE.....	29
3.1 Principais usinas hidrelétricas paraenses.....	35
3.1.1 Usina hidrelétrica de Tucuruí.....	35
3.1.2 Usina hidrelétrica de Belo Monte.....	36
3.1.3 Usina hidrelétrica Teles Pires.....	37
CAPÍTULO 4: PROJETOS FUTUROS DE HIDRELÉTRICAS PARAENSES.....	38
4.1 Usina hidrelétrica Cachoeira dos Patos.....	39
4.2 Usina hidrelétrica Cachoeira do Caí.....	40
4.3 Usina hidrelétrica Rio Jamanxim.....	40
4.4 Usina hidrelétrica Jatobá.....	40
4.5 Usina hidrelétrica São Luiz do Tapajós.....	41

CAPÍTULO 5: IMPACTOS DAS USINAS HIDRELÉTRICAS.....	41
CONCLUSÃO.....	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44

INTRODUÇÃO

Durante a história, novas técnicas científicas e tecnológicas foram desenvolvidas e, para suprir a cada vez maior necessidade energética demandada, foram sendo criadas técnicas para reaproveitamento das energias, embora até os dias atuais o conceito de energia, de fato, não seja muito bem definido.

No sentido desenvolvimentista, a indústria de produção energética recebe destaque na economia brasileira. Nesse sentido, existem diversas tecnologias implementadas em solo brasileiro que fornecem energia utilizável. Com destaque para as usinas hidrelétricas já implantadas e diversas outras em fase de planejamento, por exemplo, na região Amazônica, em virtude do potencial hidráulico das bacias hidrográficas.

Etimologicamente, a palavra energia tem sua origem no idioma grego, onde *εργος* (ergos) significa "trabalho"[1]. Embora não totalmente abrangente no que diz respeito à definição de energia, a relação entre trabalho e energia não se distancia de forma total do domínio científico, e, a priori, qualquer ente que esteja a trabalhar - por exemplo, esteja a deslocar um outro objeto, esteja a imprimir sobre este uma deformação ou a fazê-lo ser atravessado por uma corrente elétrica - está a "transformar" parte de sua energia, transferindo-a ao sistema sobre o qual realiza o trabalho.

O presente trabalho visa abordar a geração de energia através das usinas hidrelétricas presentes no estado do Pará, desde seus impactos naturais, passando pelos impactos sociais, tocando ainda nos impactos geográficos e, por fim, abordar o impacto econômico que a geração energética das usinas hidrelétricas propicia ao Estado brasileiro.

CAPÍTULO 1: ENERGIA

1.1 – Diferentes formas energéticas e a matriz energética brasileira

Energia, em grego, significa "trabalho" (do grego *enérgeia* e do latim *energia*) e, inicialmente, foi usado para se referir a muitos dos fenômenos explicados através

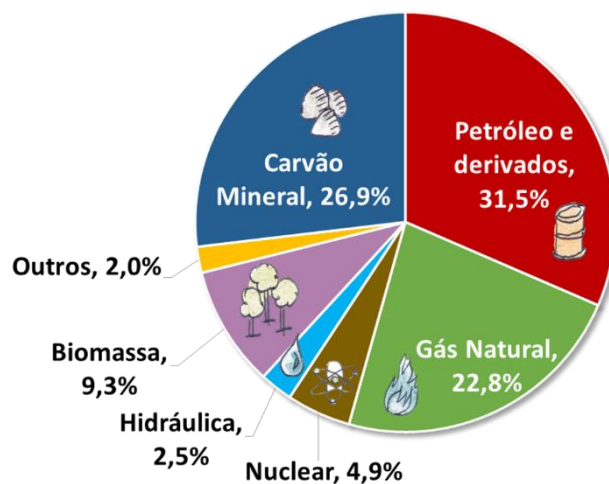
dos termos: “*vis viva*” (ou “força viva”) e “calórico”. A palavra energia apareceu pela primeira vez em 1807, sugerida pelo médico e físico inglês Thomas Young. A opção de Young pelo termo energia está diretamente relacionada com a concepção que ele tinha de que a energia informa a capacidade de um corpo realizar algum tipo de trabalho mecânico [2].

As principais fontes de energia utilizadas hoje em dia são:

- Biomassa;
- Carvão mineral;
- Gás natural;
- Hidráulica;
- Nuclear;
- Petróleo e seus derivados.

Um conceito de vital importância é o conceito de matriz energética, que pode ser entendido como uma representação quantitativa dos recursos energéticos disponíveis (em um determinado território, região, país ou continente) para serem utilizados nos diversos processos produtivos [3]. O mundo possui uma matriz energética composta, quase que em sua totalidade, por fontes não renováveis e não limpas, das quais podemos destacar:

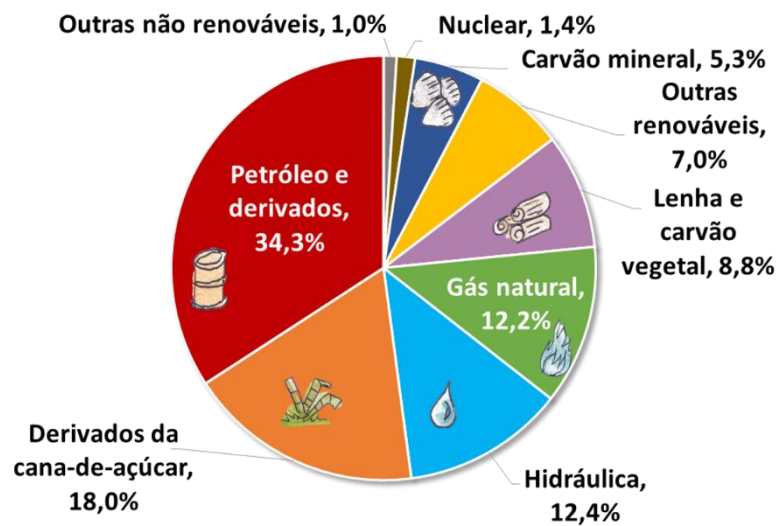
Figura 1: Matriz Energética Mundial (2018).



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (E.P.E.).

A matriz energética brasileira tem uma distribuição muito destoante da matriz energética mundial. Em território brasileiro, apesar do consumo de energia de fontes não renováveis ser superior ao consumo de renováveis, utilizamos mais fontes renováveis que no resto do mundo [3]. Somando lenha e carvão vegetal, hidráulica, derivados da cana e outras renováveis, nossas fontes renováveis totalizam 46,2%, quase metade da nossa matriz energética:

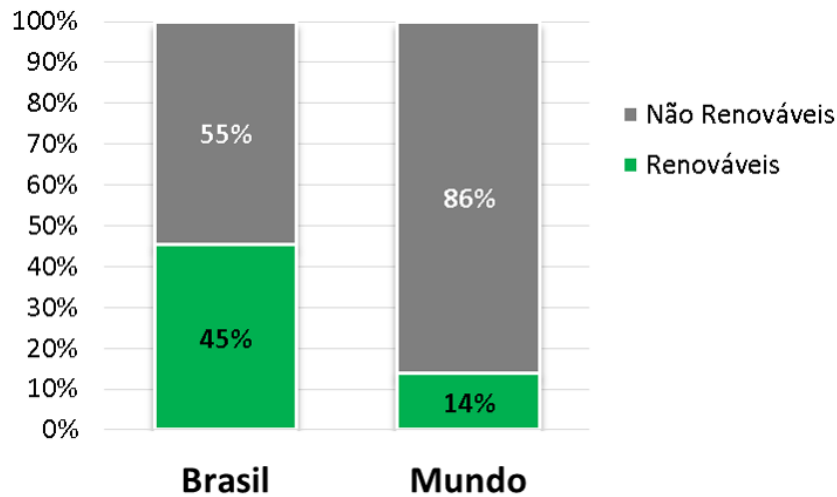
Figura 2: Matriz Energética Brasileira (2019).



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (E.P.E.).

Fazendo um comparativo entre a matriz energética brasileira e a matriz energética mundial, observa-se:

Figura 3: Comparativo entre as matrizes energéticas brasileira e mundial.



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (E.P.E.).

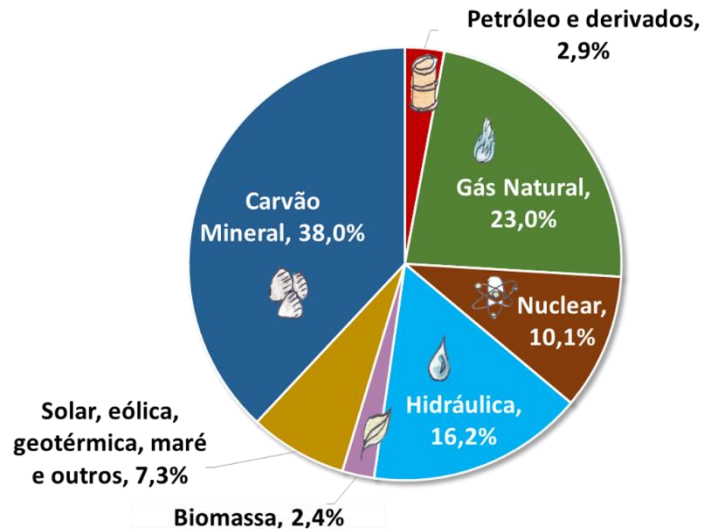
Nota-se que a matriz energética brasileira é muito mais sustentável que a matriz energética mundial. Essa característica é muito importante e representa um consumo energético mais limpo e menos poluente que no resto do planeta, haja vista que algumas das fontes não renováveis de energia são as maiores culpadas pela emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE).

1.2 – Matriz elétrica brasileira

Não se deve confundir a matriz elétrica com a matriz energética. Matriz elétrica é formada pelo conjunto de fontes disponíveis apenas para a geração de energia elétrica. Dessa forma, entende-se que a matriz elétrica é uma parcela da matriz energética.

A matriz elétrica mundial é formada, em sua grande parte, por combustíveis fósseis tais quais o carvão mineral, óleo, gás natural, petróleo, dentre outros.

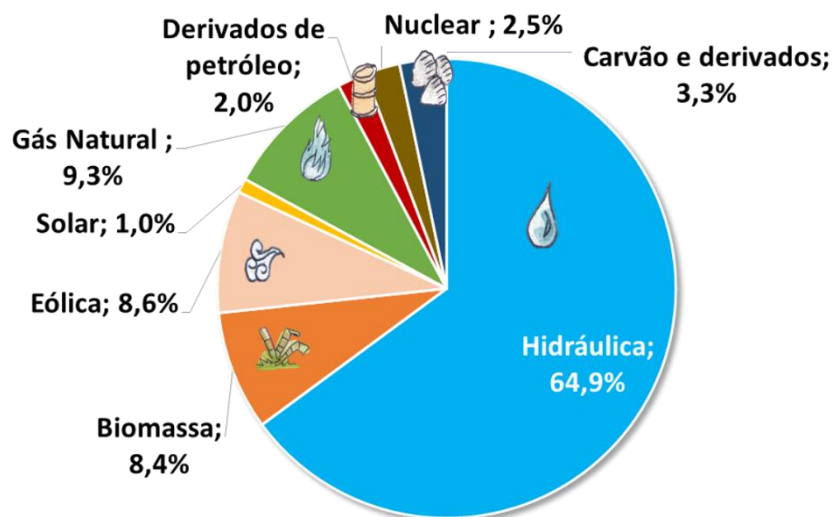
Figura 4: Matriz Elétrica Mundial (2018).



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (E.P.E.).

Tratando-se da matriz elétrica brasileira, observa-se um cenário ainda mais renovável que a matriz energética, cenário esse devido ao fato de a grande maioria da energia elétrica gerada no Brasil é advinda das usinas hidrelétricas. A energia eólica também vem sendo tratada como um grande expoente na produção de energia elétrica em terras brasileiras.

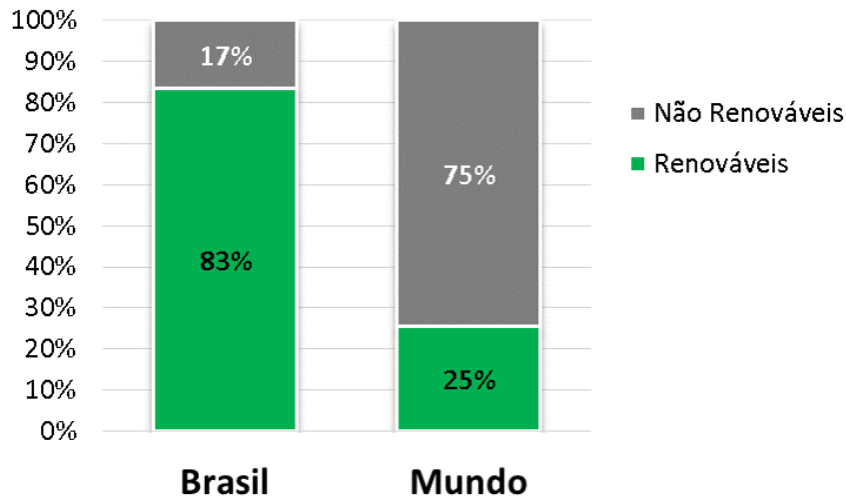
Figura 5: Matriz elétrica brasileira (2019).



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (E.P.E.).

Analogamente à comparação feita nas matrizes energéticas mundial e brasileira, pode-se, também, fazer um comparativo entre as matrizes elétricas mundial e brasileira.

Figura 6: Comparativo entre as matrizes elétricas brasileira e mundial.



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (E.P.E.).

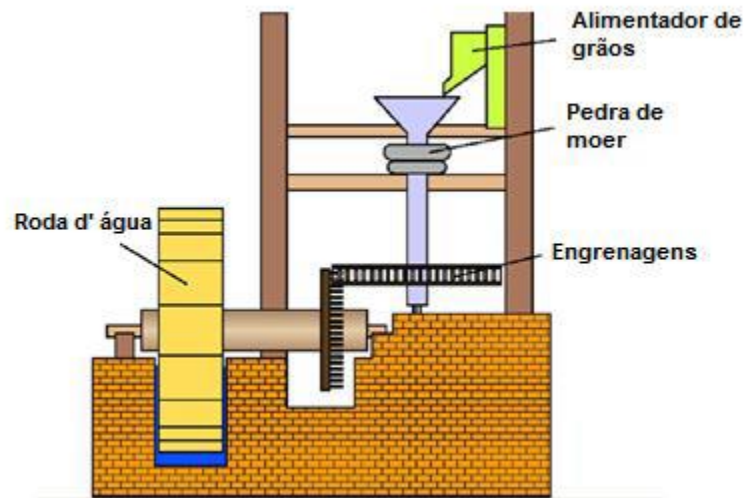
Percebe-se que, no tangente à geração de energia elétrica, o Brasil encontra-se em uma posição de grande destaque mundialmente. Isto pode-se ser associado, em parte, ao grande território geográfico brasileiro, que propicia diversos relevos favoráveis à geração de energia através de usinas hidrelétricas.

CAPÍTULO 2: O PROJETO DE UMA USINA HIDRELÉTRICA

2.1 – Funcionamento de uma usina hidrelétrica

Historicamente, o ser humano faz uso da energia advinda de correntezas de rios, lagos e oceanos em seu benefício. Como, por exemplo, quando verificou que a força natural dos cursos de água, principalmente junto a cachoeiras ou corredeiras, podia girar as pás de uma roda acoplada a um triturador hidráulico (ver figura 7).

Figura 7: Ilustração de um triturador hidráulico.



Fonte: EDUAMBIENTAL (adaptada).

Essas aplicações eram evidentemente precárias, uma vez que o uso da energia tinha que ser realizado no próprio local da queda de água e, por outro lado, suas dimensões estavam limitadas pelos processos primários de fabricação da roda e de seu acoplamento (eixos, engrenagens, correias etc.).

Essa energia advinda da correnteza dos rios é denominada de energia hidráulica ou energia hídrica e está relacionada com as energias potencial gravitacional e cinética de uma massa de água. Quando se observa uma certa quantidade de energia hídrica, oriunda de um desnível, variando dentro de um intervalo de tempo, temos a chamada potência hidráulica, que pode ser matematizada através da equação:

$$P = \frac{\tau}{\Delta t}$$

Ressalta-se que P , medida em Watts (W), é a potência hidráulica máxima que pode ser obtida de um desnível; τ , medido em Joules (J), é o trabalho realizado pela energia potencial gravitacional e Δt , medido em segundos (s) é o tempo de queda da massa de água. Definindo o trabalho realizado pela energia potencial gravitacional, temos que:

$$P = \frac{m \cdot g \cdot H}{\Delta t}$$

Observando que a massa de água em queda é igual ao produto da densidade da mesma pelo volume d'água em queda, vem que:

$$P = \frac{\rho \cdot V \cdot g \cdot H}{\Delta t}$$

Por fim, o quociente entre o volume de água em queda e o intervalo de tempo adotado pode ser substituído pela vazão d'água. Resultando na equação da potência hidráulica.

$$P = \rho \cdot Q \cdot H \cdot g$$

Equação da potência hídrica

Onde P, medida em W, é a potência hidráulica máxima que pode ser obtida de um desnível, ρ é a densidade da água em kg/m^3 , Q é a vazão em m^3/s , H é altura do desnível em m, e g é a aceleração gravitacional em m/s^2 .

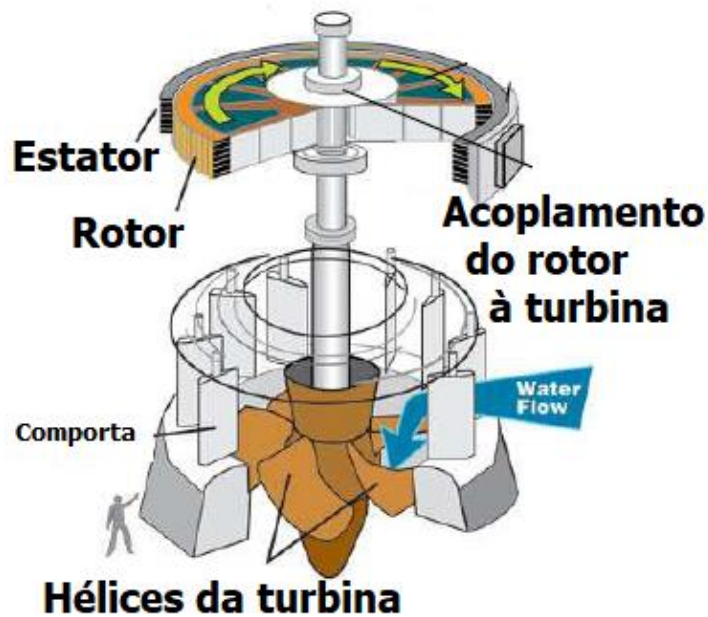
É necessário que haja um fluxo de água para que a energia seja gerada de forma contínua no tempo, por isto embora se possa usar qualquer reservatório de água, como um lago, deve haver um suprimento de água ao lago, caso contrário haverá redução do nível e com o tempo a diminuição da potência gerada.

As represas têm sua importância quando se observa que, caso a água fosse obtida diretamente de um rio, na medida em que houvesse uma redução da vazão do rio, como em períodos de estiagem, haveria redução da potência gerada. Assim com a formação de um lago (reservatório da barragem), nas épocas de estiagem pode-se usar a água armazenada, e se este for suficientemente grande poderá atender a um período de estiagem de vários meses ou mesmo plurianual, em casos mais extremos.

A energia potencial gravitacional da massa d'água é transformada, durante a queda, em energia cinética que alimenta o funcionamento das turbinas de uma usina hidrelétrica, movimentando suas hélices (figura 8). Onde a energia cinética é

convertida em energia de rotação que, por sua vez, faz com que o ímã preso ao eixo de rotação apresente uma variação do fluxo magnético e produza uma força eletromotriz, assim como prevê a lei de Faraday-Lenz, a qual, por sua vez, origina uma corrente elétrica.[4]

Figura 8: Modelo esquemático de uma turbina hidrelétrica.



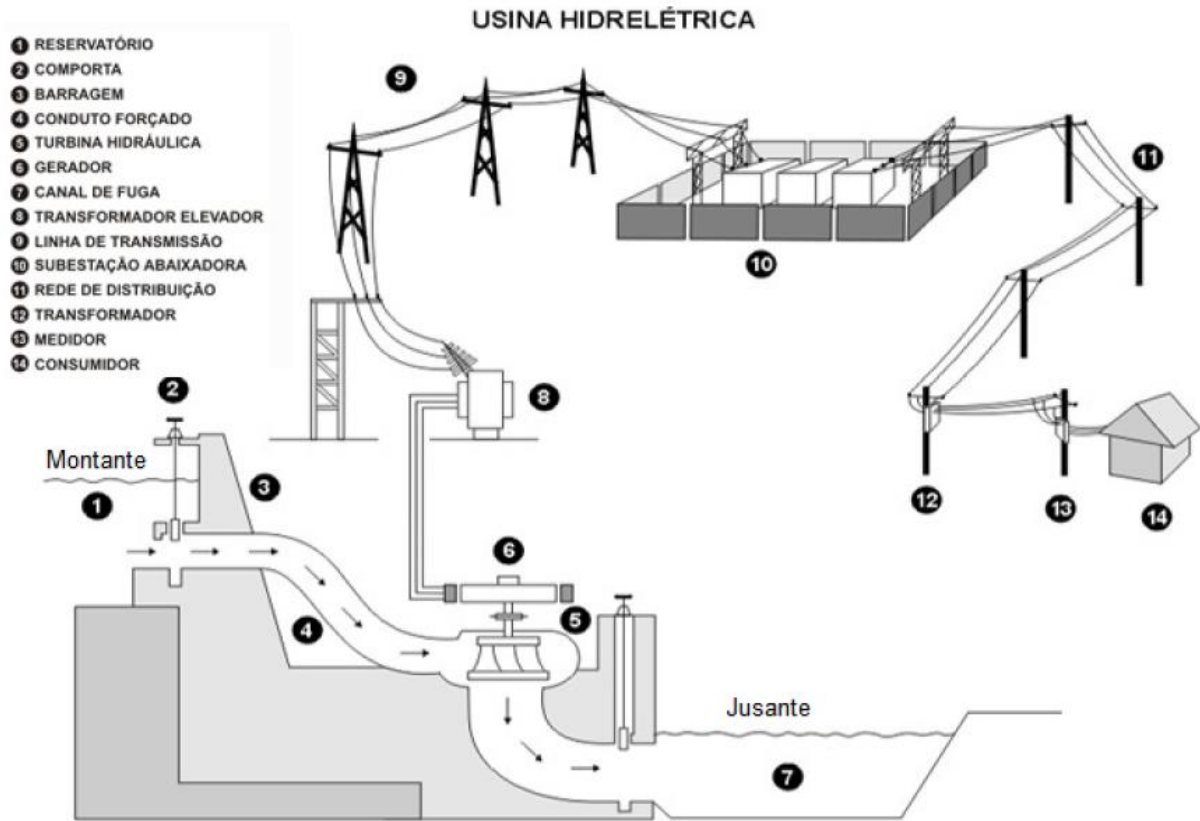
Fonte: Escola de artes, ciências e humanidades da universidade de São Paulo.

$$\epsilon = - \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

Lei de Faraday-Lenz [5].

2.2 – Principais componentes estruturais de uma usina hidrelétrica

Figura 9: Esquema de uma usina hidrelétrica.



Fonte: FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS (ADAPTADO).

Para o funcionamento ideal e o maior aproveitamento possível, todos os componentes (ver figura 9) de uma usina hidrelétrica precisam estar ajustados e alinhados de forma integrada para conseguir um bom rendimento no projeto, reduzindo as perdas devido à dissipação energética. Dentre todos os componentes de uma usina, destacam-se alguns, que serão apontados e abordados a seguir.

2.2.1 – Reservatório

O reservatório faz o papel de ponto de partida de todo o processo. Nele fica armazenada a água, a qual armazena uma quantidade de energia potencial gravitacional e tem seu fluxo de liberação controlado conforme a necessidade da geração energética.

Figura 10: Parte do reservatório da hidrelétrica de Itaipu.



Fonte: ITAIPU binacional.

2.2.2 – Comportas

As comportas têm como principal função controlar a vazão de água que será transmitida para as próximas etapas do processo de geração da energia elétrica, sendo de vital importância para que o volume de água seja mantido aproximadamente constante.

2.2.3 – Barragem

A barragem de uma usina hidrelétrica tem como objetivo aumentar a altura do reservatório no geral, fazendo com que a massa de água armazenada no seu interior acumule uma quantidade de energia potencial gravitacional cada vez maior, e melhorando a eficiência do processo de geração de energia elétrica.

Figura 11: Barragem da usina hidrelétrica de Barra Grande.

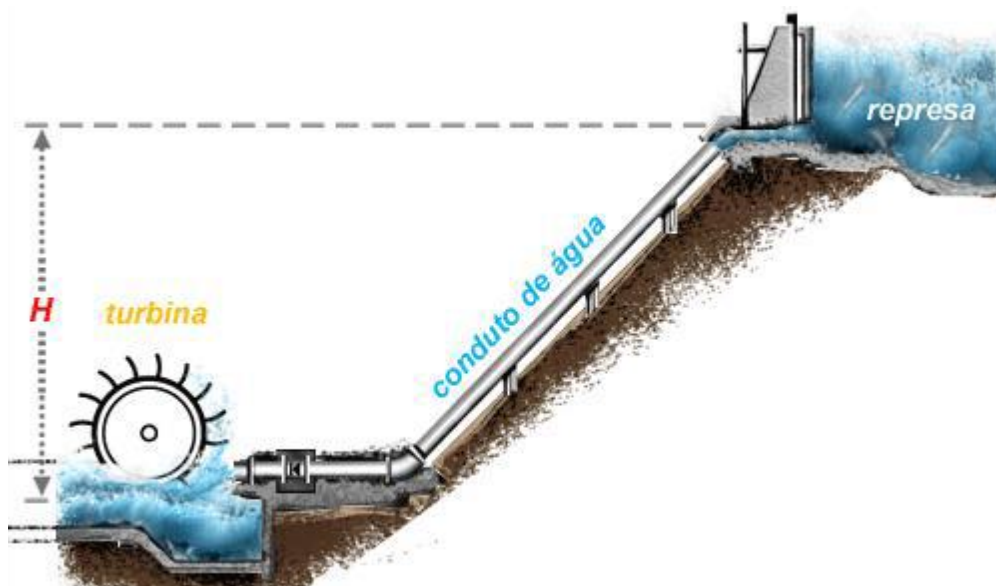


Fonte: BAESA.

2.2.4 – Conduto forçado

Os condutos forçados são partes essenciais de uma usina e têm como objetivo principal conduzir a água que vem do reservatório, sob pressão, e fazer com que ela se dirija de uma forma mais eficiente às turbinas, aumentando o rendimento total do projeto de transformação energética.

Figura 12: Modelo de contudo forçado.



Fonte: ALTERIMA.

2.2.5 – Turbinas hidráulicas

As turbinas hidráulicas se apresentam como um dos principais componentes de uma usina hidrelétrica e têm os mesmos princípios de funcionamento, independente do seu tipo. Elas têm a função de utilizar a energia cinética da água para girar suas palhetas e, através dos rotores, fazer com que aconteça o processo de indução eletromagnética. Após passar pela turbina, a água é devolvida para o rio, a priori, sem grandes impactos ambientais para o ecossistema nesse ponto.

As turbinas hidráulicas são, na atualidade, as formas mais eficazes de conversão de energia mecânica em energia elétrica, sendo catalogadas em dois tipos básicos:

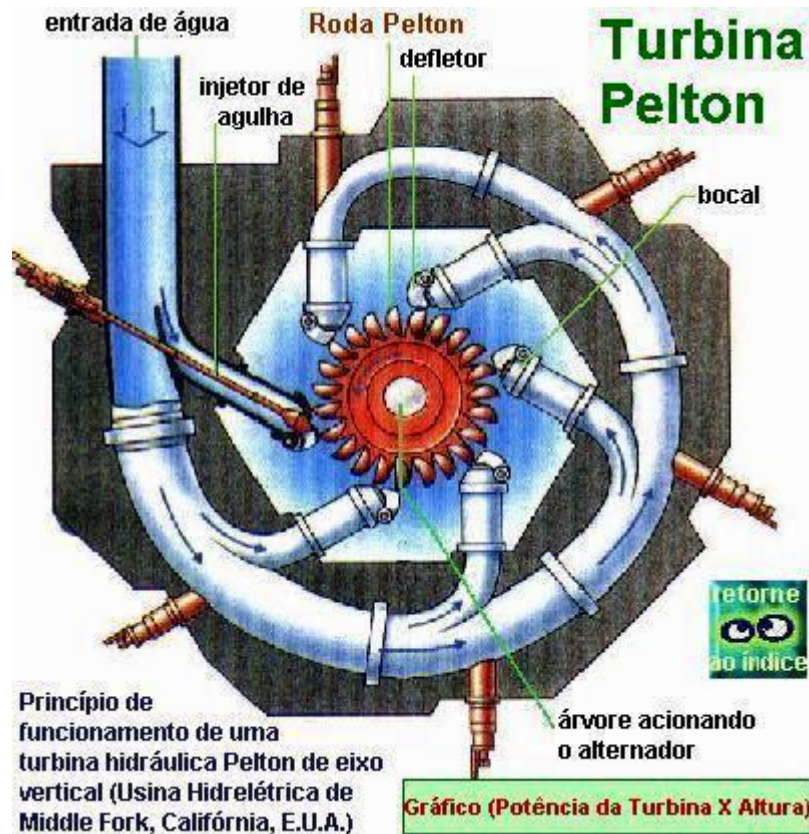
- I) Ação ou Impulso: nesse grupo de turbinas, a energia hidráulica é convertida em energia cinética, e logo após incidir nas palhetas do rotor, será convertida em energia mecânica. Esse processo ocorre em pressão atmosférica.
- II) Reação: as turbinas de reação têm o seu rotor completamente submerso na água, com o escoamento da água ocorre à diminuição da pressão e da velocidade do líquido entre a entrada e a saída do rotor.

Nos projetos executados no Brasil, tem-se o predomínio de três categorias diferentes de turbinas: *Pelton*, que trabalha com impulso, e *Kaplan* e *Francis*, que trabalham com reação.

➤ Turbinas *Pelton*

As turbinas *Pelton*, criadas em 1878 pelo americano Allan Pelton, operam com um ou mais jatos de água direcionado(s) às palhetas do rotor e são idealmente utilizadas em projetos onde o fluxo da água faz com que o motor gire com uma frequência de rotação muito elevada (cerca de 1000RPM). O injetor de agulha da turbina de *Pelton* (Figura 13) tem como função o controle da vazão de água. [6]

Figura 13: Esquema de um Turbina Pelton



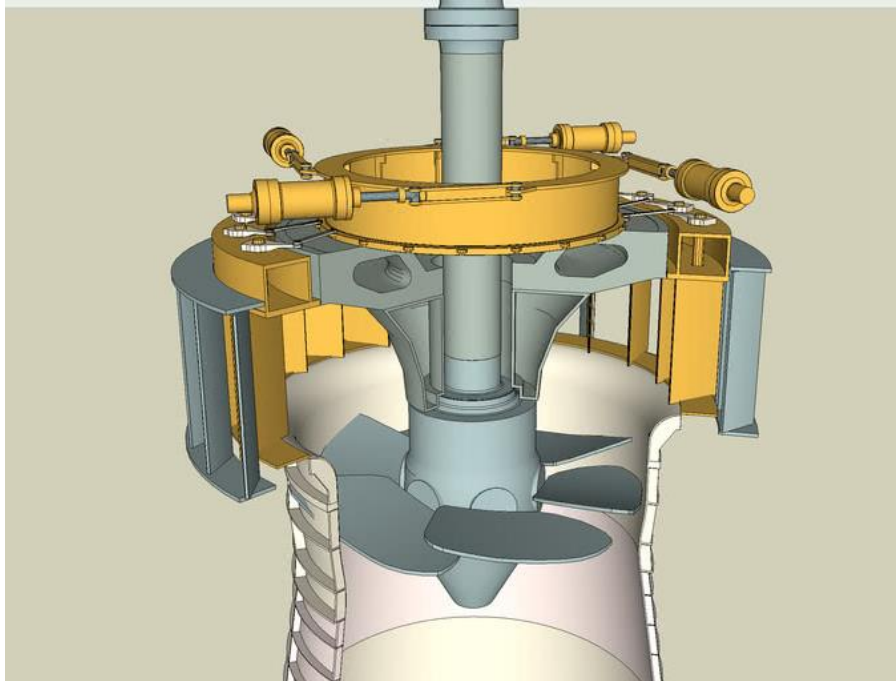
Fonte: AGRORESERVE

Os jatos d'água, ao colidirem com as palhetas do rotor, geram o impulso necessário para o seu funcionamento. É interessante ressaltar que os bocais podem ser utilizados de forma individual ou podem ser ligados em conjunto, dependendo da vazão total de água que queira-se fornecer ao projeto.

➤ Turbinas *Kaplan*

As turbinas *Kaplan* foram desenvolvidas em 1912 pelo austríaco Victor Kaplan, professor da Universidade de Técnica de Brno. Trata-se de um mecanismo com um dispositivo que regula suas palhetas, fazendo com que o ângulo de inclinação varie conforme a velocidade e a quantidade de massa de água que as atravessa, sem que haja variações bruscas de potência [7]. O mecanismo fica armazenado dentro do corpo do rotor, em um formato de uma ogiva.

Figura 14: Turbina Kaplan.



Fonte: HIDROENERGIA.

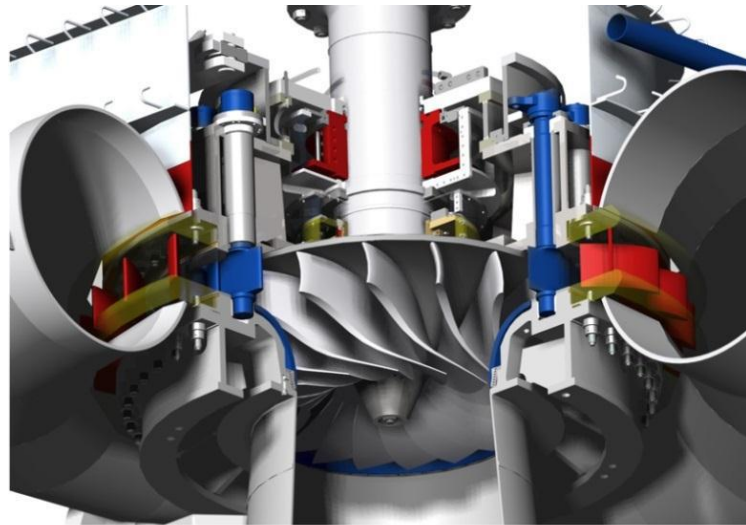
A Turbina *Kaplan* é ideal para situações onde tem-se uma pequena queda, mas um grande volume de água [7]. Ela opera com maior eficiência – com relação aos outros tipos de turbina – em quedas de até 60 metros.

➤ Turbina *Francis*

A turbina *Francis* é um tipo de turbina hidráulica com fluxo radial de fora para dentro - assim como a turbina Kaplan - que foi concebida por Jean-Victor Poncelet por volta de 1820 e aperfeiçoada pelo engenheiro norte-americano James Francis em 1849.

Neste tipo de turbina, a água sob pressão passa por um duto circular de secção transversal decrescente, onde é desviada por um conjunto de pás estáticas para um rotor central. A água atravessa a parede lateral do rotor, empurrando outro conjunto de pás fixas no mesmo, e sai pela base do rotor com pressão e velocidade muito reduzidas [8]. A potência mecânica extraída da água é transmitida pelo rotor a um eixo fixado na base oposta. As pás estáticas podem ser ajustáveis.

Figura 15: Modelo de turbina Francis.



Fonte: VOITH.

Turbinas *Francis* são as mais comuns em usinas hidrelétricas por sua eficiência e flexibilidade. O rotor pode medir entre 1 a 10 m de diâmetro. São usadas com quedas de massas de água entre 10 até 650 m. A frequência pode variar desde de 80 até 1000 rpm; sua potência individual apresenta-se entre 10 e, podendo chegar a até, 750 MW.

A Usina hidrelétrica de Itaipu assim como a Usina Hidrelétrica de Belo Monte, Usina hidrelétrica de Tucuruí, Usina Hidrelétrica de Furnas, Usina Hidrelétrica de Foz do Areia, AHE de Salto Pilão, Usina Xavantes e outras no Brasil funcionam com turbinas tipo Francis, com cerca de 100 m de queda de água.

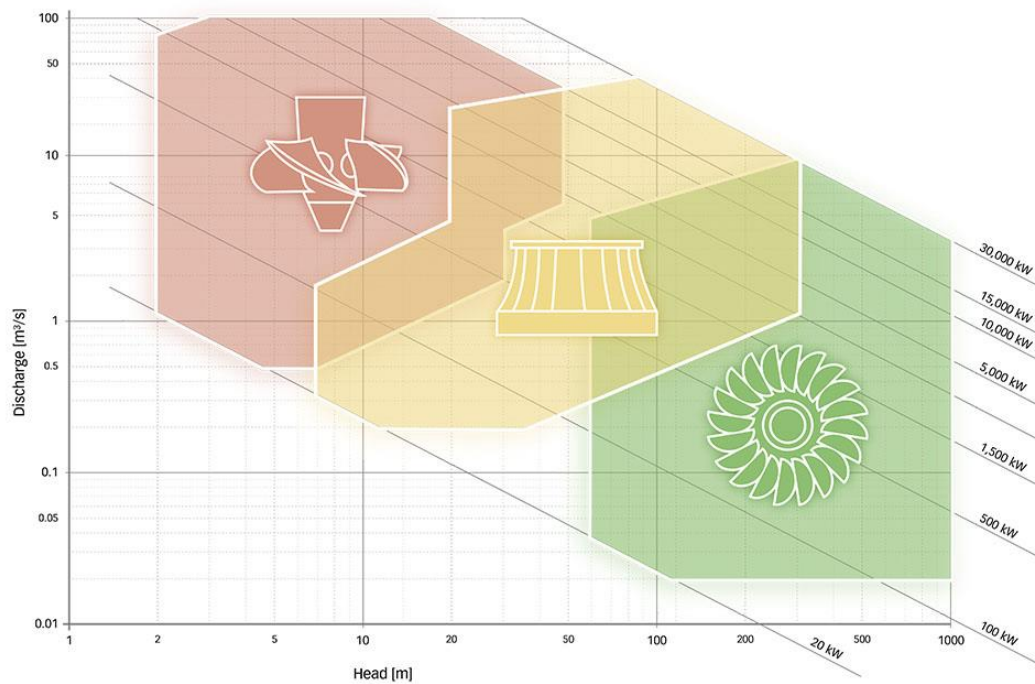
Figura 16: Turbina Francis, usada na Usina Hidrelétrica de Itaipu, em manutenção.



Fonte: ITAIPU Binacional.

Abaixo, tem-se um gráfico afim de facilitar o entendimento do tipo de turbina ideal para cada caso: a parte em vermelho diz respeito às turbinas Kaplan, a parte em amarelo refere-se às turbinas Francis e a parte em verde apresenta sobre as turbinas Pelton.

Figura 17: Tipos de turbina por faixa de operação.



Fonte: HIDROENERGIA.

CAPÍTULO 3: ENERGIA HIDRELÉTRICA EM SOLO BRASILEIRO: PASSADO, PRESENTE E FUTURO

3 – Hidrelétricas no Brasil

Os primeiros modestos 4 megawatts (MW) de energia hidrelétrica gerados na América Latina foram possíveis graças às águas do Rio Paraíba, que atravessa a Zona da Mata mineira e deságua no litoral fluminense. No ano de 1889, mais de um século atrás, quando as turbinas importadas dos Estados Unidos giravam pela primeira vez na Usina de Marmelos, em Juiz de Fora, ocorreu de forma inédita no país a transformação de energia hídrica em elétrica. Foi o primeiro passo para que o Brasil se tornasse um dos maiores produtores de energia hidrelétrica do planeta. Cinco anos antes, as águas do Ribeirão do Inferno, em Diamantina, já tinham sido usadas para gerar energia, mas ela ficou restrita ao uso de mineração de diamantes, sem grandes registros. A usina levantada às margens do Paraíba acelerou o processo de desenvolvimento da técnica no Brasil, que passou a olhar para seus rios como fonte de uma riqueza que iria além de transporte e alimento.

O empreendimento fora idealizado por Bernardo Mascarenhas, expoente industrial de Juiz de Fora, fundador da Companhia Mineira de Eletricidade em 1888. A Usina de Marmelos foi projetada para atender não apenas as indústrias de tecidos do empresário, o que foi seu grande diferencial em relação à sua antecessora, mas também para fornecer eletricidade à iluminação pública da cidade, antes alimentada a gás.

Figura 18: Antiga Usina de Marmelos, atualmente museu da Usina de Marmelos.



Fonte: Fundação Cultural Alfredo Ferreira Lage.

Atualmente, A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), órgão do governo federal do Brasil, classifica as centrais geradoras de energia elétrica como:

- Central geradora eolielétrica (EOL);
- Central geradora hidrelétrica (CGH);
- Central geradora solar fotovoltaica (SOL);
- Central geradora undi-elétrica (CGU);
- Pequena central hidrelétrica (PCH);
- Usina hidrelétrica de energia (UHE);
- Usina termelétrica (UTE);
- Usina termoestática;

- Usina termonuclear (UTN).

A diferença básica entre as PCHs e as UHEs é que a PCH trata-se de usina hidrelétrica que apresenta um pequeno porte e possui uma capacidade instalada superior a 5 megawatts e menor ou equivalente a 30 megawatts. Outro limite da PCH são as dimensões de seu reservatório, que para que a usina seja classificada desta forma, não pode exceder os 13 quilômetros quadrados, excluindo-se a calha do leito regular do rio [9].

Comparadas com as Usinas Hidrelétricas de Energia (UHE), as PCH têm prejuízos e benefícios. Por terem dimensões menores, são menos custosas de serem construídas, causam prejuízos ambientais menores, podem ser construídas em rios com vazão menor e contribuem para a desconcentração territorial da geração de energia elétrica. Entretanto, elas geram uma energia com menor custo x benefício, pois existirão momentos onde o fluxo d'água será insuficiente para fazer girar as turbinas, devido à seca em certas épocas do ano, o que não ocorre nas usinas maiores, onde sempre haverá um volume de água suficiente no seu reservatório.

Atualmente existem, catalogadas, mais de duzentas usinas hidrelétricas, divididas entre PCHs e UHEs. É interessante observar um mapa, retirado do site Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), que indica as usinas hidrelétricas ainda em operação.

Figura 19: Mapa contendo as usinas catalogadas pelo SNIRH.



Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos

Onde:

- : Usinas Hidrelétricas de Energia;
- ▲ : Pequenas Centrais Hidrelétricas;
- : Centrais Geradoras Hidrelétricas.

Há ainda uma tabela com as maiores Usinas Hidrelétricas, organizadas em ordem decrescente, por sua potência, dada em MW[10]:

Tabela 1: As maiores usinas hidrelétricas em solo brasileiro.

Usina	Rio	Bacia	Sub-bacia	Estado	Potência Instalada
Itaipu – Binacional	Rio Paraná	Paraná	Paraná	Paraná (BR) /Alto Paraná (PY)	14.000MW
Belo Monte	Rio Xingú	Amazônica	Xingú	Pará	11.220MW

Tucuruí	Rio Xingú	Amazônica	Xingú	Pará	8535MW
Jirau	Rio Madeira	Amazônica	Madeira	Roraima	3750MW
Santo Antônio	Rio Madeira	Amazônica	Madeira	Roraima	3570MW
Ilha Solteira	Rio Paraná	Paraná	Paraná	São Paulo / Mato Grosso do Sul	3445MW
Xingó	Rio São Francisco	São Francisco	São Francisco	Alagoas / Sergipe	3160MW
Paulo Afonso IV	Rio São Francisco	São Francisco	São Francisco	Bahia	2460MW
Itumbiara	Rio Paranaíba	Paraná	Paranaíba	Minas Gerais / Goiânia	2080MW
Teles Pires	Rio Teles Pires	Amazônica	Tapajós	Pará / Mato Grosso	1820MW

Fonte: Sistema Interligado Nacional (SIN).

Pode-se observar que a maior usina hidrelétrica em solo brasileiro é a usina de Itaipu, que apresenta um caráter binacional, ou seja, tem sua administração e geração energética dividida entre os países Brasil e Paraguai. Os países possuem igualdade no controle da entidade: a Eletrobras detém 50% e a Administração Nacional de Eletricidade (*Administración Nacional de Eletricidad, ANDE*) os outros 50%, representando o Brasil e o Paraguai, respectivamente. Ambos indicam paritariamente os doze membros do Conselho de Administração. Dos seis membros de indicação brasileira, um é da Eletrobrás e outro do Ministério das Relações Exteriores. O Conselho elege a Diretoria Executiva também de forma paritária.

Figura 20: Visão aérea da usina hidrelétrica de Itaipu.

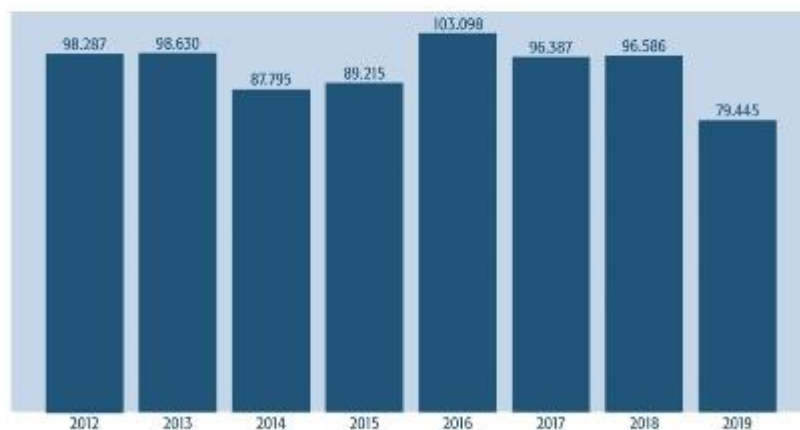


Fonte: Itaipu Binacional.

A usina fornece cerca de 11% da energia consumida no Brasil e aproximadamente 88% da energia consumida no Paraguai. Estima-se que, desde sua inauguração, em 1984, a usina já tenha produzido uma quantia aproximada de 2,6 bilhões de Megawatts-hora [11]. Anualmente, tem-se:

Figura 21: Produção anual de energia da usina de Itaipu (2012 a 2019).

PRODUÇÃO ANUAL DE ENERGIA - GWh



Fonte: Itaipu Binacional.

3.1 – Principais usinas hidrelétricas paraenses

O estado do Pará tem um potencial gigantesco no que tange à energia elétrica gerada em usinas hidrelétricas por conta de estar na região amazônica que, por sua vez, é repleta de rios com correntezas fortes e constantes. Outrossim, o índice pluviométrico da região contribui de forma considerável para o mantimento de um constante e contínuo fluxo d'água na região, tornando-o, portanto, um forte candidato à geração de energia elétrica através de usinas hidrelétricas.

3.1.1 – Usina hidrelétrica de Tucuruí

A Usina Hidrelétrica de Tucuruí é uma central hidroelétrica localizada no Rio Tocantins, na região sudoeste do estado do Pará, no município de Tucuruí (a cerca de 300 km ao sul de Belém), com uma capacidade geradora instalada de aproximadamente 8.500 MW. Foi a primeira usina hidrelétrica construída em território paraense, operante no Rio Tocantins, tendo sua construção iniciada em novembro de 1974 e sendo inaugurada cerca de 10 anos depois, em novembro de 1984.

Figura 22: Parte da Usina Hidrelétrica de Tucuruí.



Fonte: Agência Brasil.

Inaugurada com uma potência inicial de 4000 MW. Atualmente conta com uma potência instalada de 8535 MW. Seu vertedouro, conta com uma vazão aproximada de 110.000 m³/s, ou 110.000.000 L/s.

A UHE Tucuruí é a principal usina integrante do Subsistema Norte do Sistema Interligado Nacional (SIN), sendo responsável pelo abastecimento de grande parte das redes: da Equatorial Pará (no Pará), da Cemar (no Maranhão) e da Celtins (no Tocantins). Em períodos de cheia no rio Tocantins, a Usina de Tucuruí também complementa a demanda do restante do país através do SIN.

A barragem de Tucuruí tem 11 quilômetros de comprimento e 78 metros de altura, com uma área total de 792 mil metros quadrados. O desnível da água varia com o índice pluviométrico e com a estação, localizando-se, normalmente, entre 58 e 72 metros. O reservatório tem 200 quilômetros de comprimento e 2.850 quilômetros quadrados de área quando cheio. Quando o nível é mínimo (62 metros), a área alagada diminui em cerca de 560 quilômetros quadrados. A vazão média do rio ao longo do ano nesse ponto é aproximadamente 11.000 metros cúbicos por segundo. A máxima observada (março de 1980) foi 68.400 metros cúbicos por segundo. O reservatório tem volume total de 45,5 quilômetros cúbicos (para cota de 72 metros) e volume útil de 32,0 quilômetros cúbicos [12].

3.1.2 – Usina hidrelétrica de Belo Monte

A Usina Hidrelétrica de Belo Monte é uma usina hidrelétrica brasileira da bacia do Rio Xingu, próximo ao município de Altamira, na região norte do estado Pará.

A usina, situada a 1,5 mil quilômetros a sudoeste de Belém, pode suprir de energia 60 milhões de brasileiros, distribuídos por 17 Estados, por uma linha dupla de transmissão de 2,5 mil quilômetros até Minas Gerais e o Rio de Janeiro, também a maior do mundo. Orçada inicialmente em 19 bilhões de reais, o custo de Belo Monte já alcançou R\$ 40 bilhões. É uma das maiores obras públicas da história do país.

Sua potência total instalada é de 11.233 MW mas, atualmente opera com capacidade reduzida, fornecendo cerca de 6.500 MW, menos de 50% da sua potência total. Em potência total instalada, a usina hidrelétrica de Belo Monte é a quarta maior do mundo, atrás apenas da chinesa Três Gargantas, com potência total instalada de

20.300 MW, da também chinesa Xiluodu, com potência total instalada de 13.800 MW e da binacional brasileira/paraguaia Itaipu, com um total de potência instalada de 14.000 MW, configurando-se como a maior usina hidrelétrica totalmente brasileira.

Figura 23: Parte da Usina Hidrelétrica de Belo Monte.



Fonte: Revista *O Empreiteiro*.

A barragem da Usina Hidrelétrica de Belo Monte tem uma altura total de 88 metros. O reservatório da usina tem uma área de 478 mil metros quadrados. Em 27 novembro de 2019, foi acionada a última turbina da usina, dando início à plena operação do empreendimento, tendo como capacidade total de geração 11.233 megawatts (MW) e 4.571 MW de energia assegurada, quantidade que pode ser comercializada pela empresa, que poderá atender 60 milhões de consumidores de 17 estados.

3.1.3 – Usina hidrelétrica Teles Pires

A Usina Hidrelétrica Teles Pires é uma usina hidrelétrica localizada no Rio Teles Pires, afluente do rio Tapajós, na fronteira dos estados Mato Grosso e Pará, a 945 quilômetros da capital mato-grossense, Cuiabá. Tem uma potência instalada de aproximadamente 1820 MW, sendo a maior usina do Complexo Teles Pires, que é um complexo hidrelétrico no Rio Teles Pires, no Mato Grosso e no Pará, composto por 6

usinas: UHE São Manoel, com capacidade instalada de 700 MW, UHE Teles Pires, com a capacidade supracitada, UHE de Colíder, com uma capacidade instalada de 300 MW, UHE Sinop, com a capacidade instalada de 401 MW, UHE Magessi, com capacidade instalada de 53 MW, ainda em fase de planejamento e UHE Foz do Apicás, no rio Apicás, principal afluente do rio Teles Pires com capacidade de funcionamento, ainda em fase de planejamento, de 275 MW.

Figura 24: Usina Hidrelétrica Teles Pires.



Fonte: Revista *O Empreiteiro*.

A usina hidrelétrica Teles Pires conta com uma potência garantia de aproximadamente 915 MW, possui uma barragem de 1.650 metros de comprimento e 80 metros de altura, ocupando uma área total de 132 mil metros quadrados. Seu reservatório conta com uma área de 150 quilômetros quadrados e uma queda brusca de 59 metros de altura.

CAPÍTULO 4: PROJETOS FUTUROS DE HIDRELÉTRICAS PARAENSES

No período de escrita deste trabalho (primeiro semestre de 2021), estão em fase de planejamento, construção e/ou encerrados um total de 5 projetos de usinas hidrelétricas: Cachoeira dos patos, Cachoeira do Caí, Jamanxim, Jatobá e São Luiz do Tapajós. As 5 usinas, junto com outras duas usinas hidrelétricas (UHE Jardim de Ouro e UHE Chacorão), compõem o chamado Complexo Hidrelétrico do Tapajós.

Tabela 2: Futuros projetos de usinas hidrelétricas em solo paraense.

Usina	Rio	Bacia	Sub-bacia	Potência instalada
São Luiz do Tapajós	Rio Tapajós	Amazônica	Tapajós	6350MW
Jatobá	Rio Tapajós	Amazônica	Tapajós	2335MW
Rio Jamanxim	Rio Jamanxim	Amazônica	Tapajós	880MW
Cachoeira do Caí	Rio Jamanxim	Amazônica	Tapajós	802MW
Cachoeira dos Patos	Rio Jamanxim	Amazônica	Tapajós	528MW

Fonte: Sistema Interligado Nacional (SIN).

4.1 – Usina hidrelétrica Cachoeira dos Patos

A hidrelétrica Cachoeira dos Patos foi prevista pelo governo no Plano Decenal de Energia – PDE 2020 e consta no PAC – Programa de Aceleração de Crescimento. Porém, em função de seus elevados impactos ambientais, o projeto encontra-se fora do planejamento energético do Estado e não aparece no último Plano Decenal de Energia – PDE 2023.

O reservatório teria uma área de 116,5 quilômetros quadrados. Caso construída, a hidrelétrica afetaria o Parque Nacional do Jamanxim, a Área de Proteção Ambiental do Tapajós e o corredor Ecótonos Sul-Amazônicos, área de alta riqueza biológica entre os biomas do Cerrado e da Amazônia. Porém, o prazo de estudo de viabilidade da usina foi prorrogado e, atualmente, a viabilidade técnica e econômica da usina encontra-se em debate, com prazo de resposta definitiva estabelecida para até o fim do ano de 2021.

4.2 – Usina hidrelétrica Cachoeira do Caí

A Usina Hidrelétrica Cachoeira do Caí é uma usina hidrelétrica em projeto no Rio Tapajós, no Pará. Foi projetada para ter uma potência instalada de 802 MW, quando concluída, sendo a segunda menor do Complexo do Tapajós. A licitação está em andamento, haja vista que os projetos de viabilidade econômica e, principalmente, ambiental encontram-se em processo de levantamento.

O reservatório teria uma área de 420 quilômetros quadrados. A queda projetada foi de 34,6 metros, gerando 802 MW através de 5 turbinas Kaplan de 163,37 MW cada, produzindo cerca de 3.864 GW por ano.

4.3 – Usina hidrelétrica Rio Jamanxim

A Usina Hidrelétrica Jamanxim é uma usina hidrelétrica em projeto no Rio Jamanxim. Projetada para fornecer uma instalada de 881 MW, quando concluída, é a irmã do meio no Complexo do Tapajós. A licitação foi inicialmente programada para ser realizada no ano de 2019 e a primeira unidade de geração entraria em funcionamento em 2022, porém, com a reavaliação do projeto do complexo como um todo, essas datas encontram-se defasadas da realidade.

O reservatório teria uma área de 74,45 quilômetros quadrados com uma queda d'água a qual teria cerca de 57,6 metros, gerando cerca de 880 MW através de 3 turbinas Francis de 293,7 MW cada. Entregando cerca de 4.245 GW por ano.

4.4 – Usina hidrelétrica Jatobá

A Usina Hidrelétrica Jatobá é outra das usinas hidrelétricas em projeto no Rio Tapajós. Possuindo uma potência planejada aproximadamente de 2.335 MW, quando concluída, sendo a segunda maior do Complexo do Tapajós. A licitação foi prevista para ser realizada no ano de 2011 e a primeira unidade de geração entraria em

funcionamento em 2017, porém, como o resto das usinas do Complexo, encontra-se em processo de estudo de viabilidade, tendo ambas as datas postergadas.

O reservatório teria uma área de 646,3 quilômetros quadrados com uma queda de 16 metros, gerando cerca de 2.335 MW através de 40 turbinas do tipo bulbo, de 59,7 MW cada, produzindo um total aproximado de 11.265 GW por ano.

4.5 – Usina hidrelétrica São Luiz do Tapajós

A Usina Hidrelétrica São Luiz do Tapajós foi uma usina hidrelétrica planejada no Rio Tapajós. Foi licitada em 2015 e foi arquivada em 2016. A previsão foi de que a potência instalada na usina, quando concluída, seria de 6.356,4 MW, constituindo-se como a maior do Complexo do Tapajós.

O licenciamento da usina de São Luiz do Tapajós, que teria 6,1 gigawatts e seria uma das maiores hidrelétricas do mundo, foi suspenso em 2016 pelo Ibama, após estudos da Fundação Nacional do Índio (Funai) apontarem que o empreendimento seria inviável do ponto de vista dos impactos para os indígenas, por conta do fato de a Constituição não permitir a remoção de áreas indígenas reconhecidas e demarcadas.

CAPÍTULO 5: IMPACTOS DAS USINAS HIDRELÉTRICAS

Embora seja uma energia elétrica limpa - por não liberar gases intensificadores do efeito estufa - e renovável - por ser alimentada por um recurso, em tese, infinito, a energia gerada por meio de uma usina hidrelétrica tem seus impactos visivelmente observados na vida dos residentes nos entornos do projeto de uma usina hidrelétrica que são atingidos direta e indiretamente através do alagamento de suas propriedades, casas, áreas produtivas e até cidades; e na fauna e flora da região próxima ao rio que será modificado no processo de construção do projeto.

A instalação de um projeto de uma usina hidrelétrica pode gerar diversas modificações no clima provocando mudanças na temperatura, na umidade relativa e na evaporação (criação de microclima, prejudicando certas espécies animais e favorecendo outras), pode acarretar ainda na erosão das margens do rio com perda do solo e árvores gerando o assoreamento que afeta a vida de toda a fauna e flora que depende, direta ou indiretamente, daquele rio. Na hidrologia, altera o fluxo das águas e a vazão do rio causando mudanças perceptíveis ao longo do seu curso; provoca aumento de profundidade e elevação do nível do lençol freático criando pântanos. Sem contar com a perda significativa de biodiversidade em relação à fauna e à flora, devido ao alagamento de grandes áreas [13].

O impacto mais imediato que se percebe durante a instalação de uma hidrelétrica é a emigração da população residente do perímetro diretamente afetado pela mudança do curso do rio e/ou inundação do reservatório da usina, como pontua Maria de Fátima Ribeiro:

Mais do que a terra como instrumento de trabalho, a mudança representava a perda da 'condição de ser', da identidade com o lugar, dos laços de vizinhança, do cheiro da terra, das cores dos frutos da terra, da memória de uma vida que o lago encobriu [14].

Os impactos da construção de hidrelétricas na Amazônia decorreram principalmente do efeito da decomposição de vegetação terrestre inundada, a grande área inundada, a deterioração da qualidade da água e a perda de serviços dos ecossistemas terrestres e aquáticos, incluindo a biodiversidade e a alteração dos processos, o que teve como uma das consequências um êxodo de comunidades ribeirinhas e que moravam nos entornos da área inundada e de suas adjacências [15].

Ademais, outro grupo muito presente que pode sofrer consequências prejudiciais em um projeto de construção e instalação de uma usina hidrelétrica são os indígenas. Haja vista que Constituição impede que terras indígenas reconhecidas e demarcadas sejam removidas ou alteradas por quaisquer projetos, sejam de natureza pública ou privada. Um evento relativamente conhecido é a intervenção de comunidades indígenas na construção da Usina Hidrelétrica de Belo Monte, no estado do Pará. Embora o projeto tenha sido descontinuado na época, empresários, políticos e pessoas influentes na construção do projeto permaneceram tentando realizá-lo, de modo que o projeto de construção da Usina Hidrelétrica de Belo Monte voltou a ser

cogitado recentemente, porém agora não invadindo terras indígenas, porém, ainda causando impacto nos rios que banham essas terras, trazendo impactos tão ruins quanto a invasão territorial propriamente dita [16].

CONCLUSÃO

Os recursos hídricos têm sido utilizados não apenas de forma a fornecer abastecimento sanitário, mas também como fonte de energia, pois a grande maioria da energia elétrica gerada em solo brasileiro é proveniente das usinas hidrelétricas. A boa utilização da energia hidrelétrica exige, além dos levantamentos econômicos ligados à comparação do custo de energia gerada, uma minuciosa avaliação de suas intenções como meio físico e socioeconômico, que possibilite um levantamento aprofundado de seus custos e benefícios diretos e indiretos.

Outrossim, existe ainda o risco de escassez dos recursos hídricos como fonte de energia e como abastecimento. Observa-se que o potencial hidrelétrico gerado analisado depende da abundância desses recursos, a diminuição de sua disponibilidade provoca o uso cada vez mais constante de usinas termoelétricas, gerando uma série de transtorno à população, tanto na esfera ambiental, como na social, bem como na esfera econômica, haja vista que os custos que elas gerarão com seus impactos serão elevados.

Portanto, pode-se concluir que, embora a utilização da energia gerada nas usinas hidrelétricas seja real e muito benéfica para o Estado brasileiro, deve-se atentar à crescente demanda e, por conta desta, a cada vez maior necessidade de novas usinas hidrelétricas. As usinas hidrelétricas têm diversos benefícios a serem utilizados, porém carregam consigo impactos que não podem ser desprezados, portanto a otimização dos espaços, amenização de formas práticas e eficientes destes impactos e a constante melhoria tecnológica para fornecer um suporte às mesmas é essencial no momento que o Brasil vive e irá viver nos próximos anos, durante a construção de novas usinas hidrelétricas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ROMIZI, Renato. **Greco antico. Vocabolario Greco Italiano Etimologico e Ragionato**. Bologna: Zanichelli, 2006. ISBN 88-08-08915-0
- [2] BUCUSSI, A. A. **Introdução ao conceito de energia**. Porto Alegre, UFRGS, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2007.
- [3] TOLMASQUIM, Mauricio T.; GUERREIRO, Amilcar; GORINI, Ricardo. **Matriz energética brasileira: uma prospectiva. Novos estudos** CEBRAP, n. 79, p. 47-69, 2007.
- [4] RAMOS, Dorel Soares; GRIMONI, José Aquiles Baesso. **Produção de Energia Elétrica**. Ed. 2012. São Paulo, 2012.
- [5] NUSSENZVEIG, Herch M. **Curso de Física Básica - Vol. 3: Eletromagnetismo**. 2. ed., 2015. ISBN 978-8521208013
- [6] QUINTELA, Antônio de C. **Hidráulica**. 6. ed. [S. l.]: Fundação Calouste Goulbenkian, 1998. 542 p. ISBN 9723107759.
- [7] ROCHA, Gislaíne Barbosa. **Construção de uma Bancada de Teste de Turbina Kaplan no laboratório de Termociências da FGA**. Brasília, Brasil, 2015.
- [8] GOMES, Handerson Corrêa et al. **MODELAGEM E ANÁLISE DE UMA BANCADA DIDÁTICA DE TURBINA FRANCIS**. 2017.
- [9] ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. **Introdução à Química Ambiental**. 12 2ª edição. Porto Alegre: Bookman, 2009.
- [10] «Serviço Público de Transmissão de Energia Elétrica». Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). 24 de novembro de 2015. Consultado em 15 de fevereiro de 2021.
- [11] ITAIPU Binacional. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://www.itaipu.gov.br/energia/geracao#:~:text=A%20Itaipu%20Binacional%20é%20líder,88%2C1%25%20no%20Paraguai>. Acesso em: 21 fev. 2021.

- [12] V.M. Ferreira, A. Barbosa, I. R. Costalonga. **Controle hidráulico do reservatório da UHE Tucuruí.** Disponível em: <http://www.geocities.ws/singreh/Web/S81/52.pdf>. Acesso em: 08 mar. 2021.
- [13] INATOMI, T. A. H.; UDAETA, M. E. M. 2005. Disponível em: http://www.espacosustentavel.com/pdf/INATOMI_TAHI_IMPACTOS_AMBIENTAIS.pdf>. Acesso em: 28 Mar. 2021.
- [14] RIBEIRO, Maria de Fátima B.b46
- [15] TUNDISI, José Galizia. Exploração do potencial hidrelétrico da Amazônia. **Estudos avançados**, v. 21, n. 59, p. 109-117, 2007.
- [16] MELLO, Cecilia Campello do Amaral. Se houvesse equidade: a percepção dos grupos indígenas e ribeirinhos da região da Altamira sobre o projeto da Usina Hidrelétrica de Belo Monte. **Novos Cadernos NAEA**, [S.l.], v. 16, n. 1, set. 2013. ISSN 2179-7536. Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/ncn/article/view/1066>>. Acesso em: 26 abr. 2021. doi:<http://dx.doi.org/10.5801/ncn.v16i1.1066>.