

Escola de Engenharia de São Carlos  
Hidráulica e Saneamento  
SHS0103 - Máquinas Hidráulicas



**Pequenas Centrais Hidrelétricas**

Caio de Campos Ferreira	3653842
Daniel Gomes Pancieri	3691605
Luis Henrique da Silva Martins	3478840
Marcelo Montenegro de Moraes	3271579

## O funcionamento de uma usina hidrelétrica

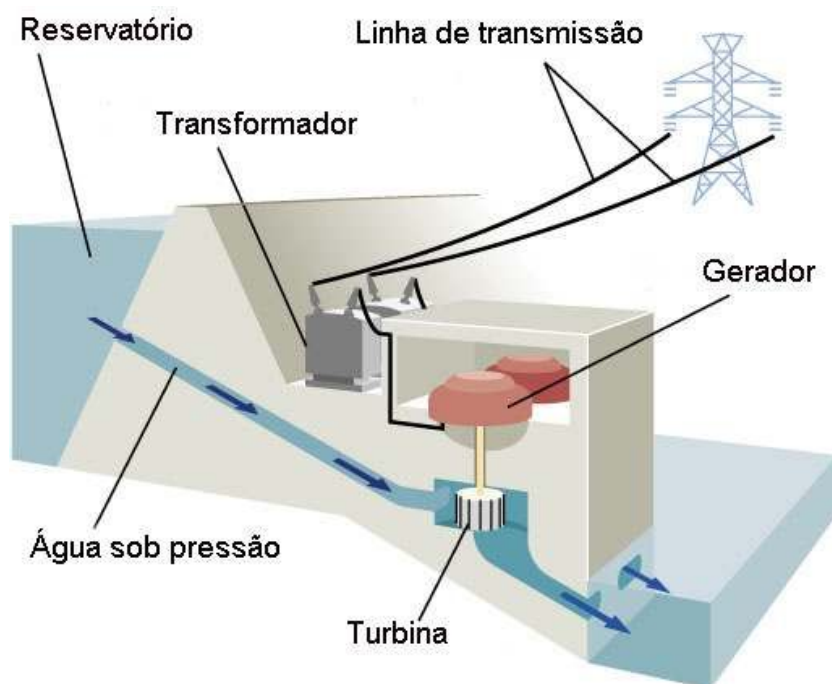
A usina hidrelétrica é uma instalação que transforma a energia hidráulica em energia elétrica. Para isso acontecer, é necessário existir um desnível hidráulico natural ou criado por uma barragem, para captação e condução da água à turbina, situada sempre em nível tão baixo quanto possível em relação a captação.

Uma usina hidrelétrica é composta de reservatório, da casa de força e da subestação elevadora. O reservatório é formado pelo represamento das águas do rio, por meio da construção de uma barragem.

Na barragem é construído o vertedor da usina, por onde sai o excesso de água do reservatório na época das chuvas. A casa de força é o local onde são instalados os equipamentos que vão produzir a energia. Na subestação elevadora são instalados os transformadores elevadores onde a energia elétrica tem suas características transformadas para melhor transportá-la através das linhas de transmissão. A produção de energia elétrica ocorre em várias etapas.

Primeiramente, capta-se água em um reservatório. Então, ela é conduzida sob pressão por tubulações forçadas até a casa de máquinas, onde estão instaladas as turbinas e os geradores. A turbina, sucessora das antigas rodas d'água, é formada por um rotor ligado a um eixo. A pressão da água sobre as pás do rotor da turbina produz um movimento giratório do eixo da turbina, transformando a energia hidráulica em um trabalho mecânico, que por sua vez aciona o gerador. O gerador é um equipamento composto por um eletroímã e por um fio bobinado. O movimento do eixo da turbina produz um campo eletromagnético dentro do

gerador, produzindo, assim, a eletricidade, levada para o consumidor por meio das linhas de transmissão.



### Capacidade de Geração do Brasil

O Brasil possui no total 1.393 empreendimentos em operação, gerando 89.605.316 kW de potência.

Está prevista para os próximos anos uma adição de 35.292.365 kW na capacidade de geração do País, proveniente dos 74 empreendimentos atualmente em construção e mais 523 outorgadas.

### **Empreendimentos em Operação**

<b>Tipo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência Outorgada (kW)</b>	<b>Potência Fiscalizada (kW)</b>	<b>%</b>
<a href="#">CGH</a>	170	89.352	89.397	0,10
<a href="#">EOL</a>	11	31.075	28.625	0,03
<a href="#">PCH</a>	249	1.242.380	1.212.670	1,35
<a href="#">SOL</a>	1	20	20	0
<a href="#">UHE</a>	142	69.966.234	67.257.684	75,06

<a href="#">UTE</a>	818	23.845.356	19.009.920	21,22
<a href="#">UTN</a>	2	2.007.000	2.007.000	2,24
<a href="#">Total</a>	<b>1.393</b>	<b>97.181.417</b>	<b>89.605.316</b>	100

### **Empreendimentos em Construção**

<b>Tipo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência Outorgada (kW)</b>	<b>%</b>
<a href="#">CGH</a>	1	848	0,01
<a href="#">PCH</a>	38	452.012	6,38
<a href="#">UHE</a>	20	4.661.436	65,81
<a href="#">UTE</a>	15	1.968.514	27,79
<a href="#">Total</a>	<b>74</b>	<b>7.082.810</b>	100

### **Empreendimentos Outorgados entre 1998 e 2004**

(não iniciaram sua construção)

<b>Tipo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência Outorgada (kW)</b>	<b>%</b>
<a href="#">CGH</a>	46	30.572	0,11
<a href="#">EOL</a>	147	6.643.823	23,55
<a href="#">PCH</a>	208	3.382.915	11,99
<a href="#">UHE</a>	22	5.109.600	18,11
<a href="#">UTE</a>	100	13.042.645	46,23
<a href="#">Total</a>	<b>523</b>	<b>28.209.555</b>	100

Os valores de porcentagem são referentes a Potência Fiscalizada. A Potência Outorgada é igual a considerada no Ato de Outorga. A Potência Fiscalizada é igual a considerada a partir da operação comercial da primeira unidade geradora.

<b>Legenda</b>	
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
EOL	Central Geradora Eolielétrica
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
SOL	Central Geradora Solar Fotovoltaica
UHE	Usina Hidrelétrica de Energia
UTE	Usina Termelétrica de Energia
UTN	Usina Termonuclear

### PCH'S

A maior parte do potencial hidrelétrico brasileiro não aproveitado (100 GW) é constituído por usinas de pequeno e médio porte e por aproveitamentos localizados na Amazônia (região Norte 50%). Em relação as usinas de pequeno porte, abaixo de 10 MW, este potencial é ainda mais importante se levarmos em consideração os reduzidos impactos sócio-ambientais destes empreendimentos. Em função disso e de outros fatores relevantes, o setor elétrico vem concedendo paulatinamente maior atenção à contribuição das pequenas centrais hidrelétricas - PCH.

O desenvolvimento dos sistemas de energia elétrica de corrente alternada começou nos Estados Unidos em 1885, quando George Westinghouse comprou a patente relacionada aos sistemas de transmissão de corrente alternada desenvolvidos por L. Gaulard e J. D. Gibbs em Paris. Isso permitiu o desenvolvimento das tecnologias associadas de geração hidrelétrica. Portanto, dentre as várias opções energéticas disponíveis, a hidroeletricidade participa da matriz energética mundial há apenas 100 anos. Os recursos hídricos são mais amplamente distribuídos do que os de combustíveis fósseis. Além disso, são caracterizadas por um fluxo renovável, denominado ciclo hidrológico. Tais vantagens conferem à hidroeletricidade uma presença competitiva em um grande número de países.

As crises do petróleo das décadas de 70 e 80 associadas à crescente preocupação com questões ambientais conduziram o planejamento do setor energético mundial para uma estratégia de procura sistemática de fontes alternativas aos combustíveis fósseis. A nível nacional, o setor elétrico brasileiro sempre baseou o seu modelo de geração nos abundantes recursos hidráulicos do país. No presente, a reordenação da matriz energética nacional é orientada pela falta de recursos públicos para investimentos em grandes empreendimentos e preocupações com projetos que tenham impactos ambientais importantes. Nesse contexto, as quedas d'água de pequeno e médio porte representam uma importante opção de geração.

As Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH's) surgem como uma alternativa viável, devido ao custo acessível, ao menor prazo de implementação e maturação do investimento, às facilidades oferecidas pela legislação e à disposição das concessionárias de energia elétrica de comprarem o excedente de energia gerada por autoprodutores, além de disponibilizarem o acesso às suas linhas de transmissão a longa distância. Além disso, as PCH's tem outras vantagens intrínsecas como a atenuação dos eventuais efeitos negativos sócio-ambientais, que permitem, por exemplo, a não interferência no regime hidrológico do curso d'água.

No caso brasileiro, a tecnologia para estudos, projetos e construção de PCH's existe há muito tempo no País. Contudo, ainda não foi difundida em larga escala, sendo aplicada por um grupo restrito de técnicos, quase todos vinculados aos poucos fabricantes de equipamentos.

## **ELEMENTOS FUNDAMENTAIS PARA ESTUDOS DE IMPLANTAÇÃO DE PCH's**

Seja qual for a importância do projeto, grande ou pequena barragem, a maneira de avaliar continua a mesma. O essencial consiste em fazer um estudo de viabilidade que se traduz pela avaliação objetiva e conjugação equilibrada de três elementos fundamentais:

- Recurso Hidráulico;
- Transporte de Energia Elétrica;
- Destino da Energia.

### Recurso Hidráulico

Um recurso hidráulico é definido principalmente por uma queda e um regime de vazão (caudal). Para o aproveitamento deste recurso, os seguintes critérios essenciais devem ser considerados:

**Condições naturais:** localização, meios de acesso, geologia, relevo, tipo de instalação projetada;

**Disponibilidade:** efeitos da barragem a montante e a jusante, considerando aspectos associados à irrigação e à navegação;

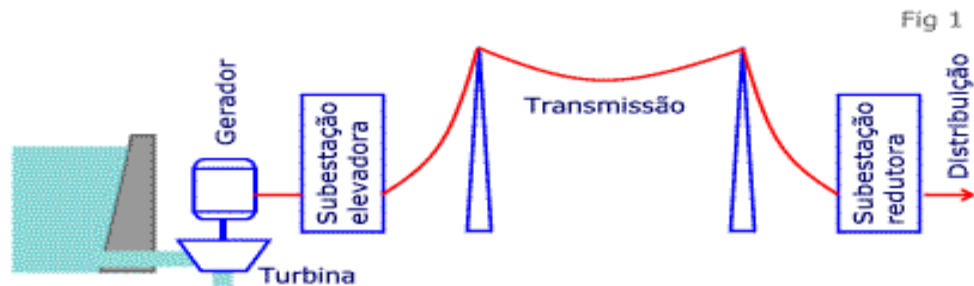
**Regularidade e flutuação:** variações periódicas ou sazonais da vazão do rio, hidrologia, climatologia, estiagem regime de enchentes anuais, etc.;

**Comportamento em casos excepcionais:** grandes enchentes, amplitude de sismo, etc.

### Transporte de Energia

Para o projeto de uma pequena central hidrelétrica, o custo do transporte da energia deve ser considerado. A localização do ponto de geração deve encontrar-se, portanto, na medida do possível, perto do ponto de consumo potencial ou de uma linha de transmissão existente, a fim de reduzir os custos de transporte de energia. A possibilidade de interligações, mesmo com uma rede de pequeno porte, deve ser

estudada, porque permite a utilização de geradores assíncronos, que são menos onerosos e mais robustos.



Um estudo prévio deve, portanto, levar em conta:

- Necessidades a serem atendidas;
- Situação energética do local;
- Conexões disponíveis e as obras existentes;
- Evoluções previsíveis do consumo de energia;
- Casos-limites de utilização;
- Rentabilidade esperada de um tal dispositivo.

### Destino da Energia

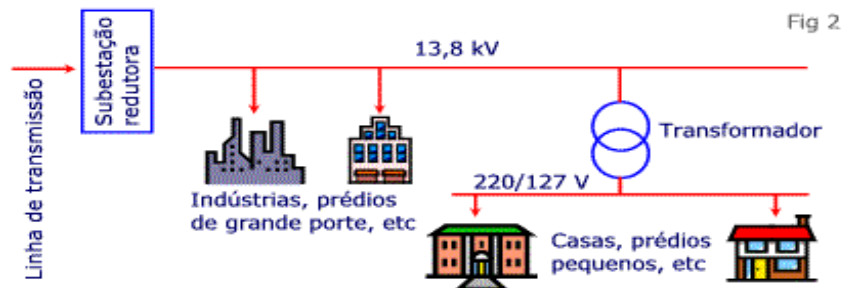
A utilização prevista para a instalação, em termos de consumo, constitui um elemento determinante na escolha desta instalação e do investimento correspondente. Nesse contexto, uma pequena central pode:

- *Atender as necessidades de uma condição existente*: cidade ou grupo de aldeias e povoados.
- *Servir, em locais pré-determinados, de pólo de desenvolvimento da demanda*: pequenas fábricas e indústrias. Como exemplo, apresenta-se a seguir um balanço de potências, geralmente utilizadas.

<b>Potência (kW)</b>	<b>Uso Final da Energia</b>
<b>50 kW</b>	Iluminação e força motriz para uma pequena fábrica
<b>500 kW</b>	Iluminação e força motriz para uma vila com 200 famílias
<b>5.000 kW</b>	Alimentação de uma rede local



Nesses casos, o estudo das necessidades, projetado a longo prazo, permite determinar os limites-objetivos de uma instalação.



## EQUIPAMENTOS HIDROMECÂNICOS

Os dados hidráulicos (queda e caudal) combinados determinam a potência total a ser gerada. A queda permite especialmente a escolha de um tipo de turbina e de instalação.

### Queda > 150 m (instalação de alta queda)

Os locais favoráveis encontram-se, na maioria dos casos, nas ribeiras de grande declives, com rápidos ou cascatas. As obras de tomada de água e de prevenção de enchentes são, em geral, de dimensões limitadas e, portanto, de custos reduzidos. A maior parte dos investimentos de construção civil é constituída pelo conduto hidráulico.

A turbina utilizada, neste caso, será do tipo **Pelton**, com a utilização de geradores de velocidade de rotação elevada (superior a 1.000 rpm), cujas dimensões e, conseqüentemente, o preço por kVA instalado são sensivelmente mais baixos do que para as máquinas mais lentas.



**Turbina Pelton**

### 15 m < queda <150 m (instalação de queda média)

Os investimentos de construção civil são distribuídos entre a tomada d'água, as obras de proteção contra as enchentes e o conduto hidráulico.

As turbinas serão do tipo **Francis**, com velocidades de rotação na faixa de 750 a 500 rpm; por isso, no caso de velocidades mais baixas, a utilização de um multiplicador, diminuindo o custo dos geradores, pode constituir uma solução vantajosa.



**Rotor da Turbina Francis**



**Turbina Francis**

### Queda < 15 m (instalação de baixa queda)

A casa de força será integrada nas obras de tomada d'água ou localizada a uma pequena distância.

As turbinas serão do tipo **Kaplan** ou **Hélice**, com velocidades de rotação baixas (de 70 a 350 rpm), correlativas de diâmetros importantes. O volume das obras civis pode ser reduzido mediante o uso de grupos axiais do tipo **Bulbo**. O

custo dos geradores é também reduzido mediante a utilização de multiplicadores de velocidade.



**Turbina Kaplan**

O equipamento inclui um conjunto de comportas, grades e máquinas limpagrades, de dimensões adaptadores para a tomada d'água e proteção de jusante.

### **EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS**

A parte das pequenas centrais elétricas pode-se dividir em duas grandes categorias, conforme a natureza do funcionamento: interligadas a uma rede ou em sistemas isolados.

#### **PCH's interligadas à rede elétrica**

Na medida em que uma rede pode garantir a regulação de frequência e a absorção permanente da potência total, os grupos serão equipados com geradores que não requerem controle comando sofisticados. Neste caso, o material instalado é o seguinte:

- Gerador síncrono ou assíncrono;
- Transformador;
- Pannel de distribuição MT e/ou BT;
- Cabos, corrente contínua;
- Controle comando;
- Iluminação, proteção elétrica , etc.

### PCH ligada a sistemas isolados

Se ligadas a um sistema isolado as PCH's devem atender a demanda dos consumidores sob o ponto de vista da tensão e da frequência. Os geradores são do tipo síncrono, equipados com uma regulação de tensão. O ajuste permanente da potência fornecida pelos grupos à carga solicitada pela rede é feito por intermédio de um regulador carga/velocidade que atua na turbina ou por meio de um dispositivo de absorção de energia.

A estabilidade da frequência pode ser melhorada mediante instalação de volantes de inércia (aumento da inércia das partes rotativas). O material instalado, além do que é descrito acima, é o mesmo que o de uma PCH interligada à rede.

### FATORES ECONÔMICOS

Uma central é considerada PCH em função de sua pequena potência instalada (até 10 MW) sem que isso implique em que ela seja de pequeno porte (obras civis e equipamentos) ou de pequeno custo. Todavia, é de se esperar que os custos por KW instalado sejam mais baixos do que os grandes empreendimentos.

O custo cumulado das obras civis, dos equipamentos elétricos e mecânicos e despesas de funcionamento nas PCH's e nas Centrais Diesel são diretamente comparáveis. Como a potência instalada é, por definição, limitada, o custo por kW instalado será maior para grupos mais importantes, mas uma instalação de baixa queda em pequeno rio, numa região isolada, pode justificar-se em relação ao grupo diesel, quando se tem em consideração o preço do combustível e do seu transporte, e o custo da manutenção. Levando-se em conta certos fatores capazes de reduzir os custos, o nível de rentabilidade de uma PCH poderá aumentar. Trata-se particularmente de:

- Padronização dos equipamentos;
- Agrupamento de projetos.

Por outro lado, o custo das obras civis é sempre um fator preponderante no estudo econômico do projeto. Finalmente, o custo operacional deve também ser objeto de uma análise precisa.

### **Padronização**

A fim de reduzir os custos de concepção e de fabricação, as características dos pequenos grupos de baixas quedas devem ser estandardizados.

As turbinas podem, em certos casos, funcionar abaixo do seu rendimento nominal. Todavia, este inconveniente se torna insignificativo, quando se sabe que um equipamento standard proporciona:

- Treinamento de pessoal muito simples;
- Manutenção imediata;
- Disponibilidade de peças sobressalentes;
- Concepção de projetos visando a facilitar o transporte e a montagem dos equipamentos.

### **Agrupamento de Projetos**

O agrupamento de projetos, num mesmo programa, conduz à redução dos custos de estudo, de fabricação e, muitas vezes, de infra-estrutura das obras civis e de montagem.

Este agrupamento permite também ao comprador a obtenção de financiamentos mais interessantes sob o ponto de vista da duração e das taxas de juros.

### Outros Aspectos Relevantes

A parte mais importante do investimento global cabe à obra civil. Seu custo depende das técnicas utilizadas e dos meios empregados, e deve ser mantido a um nível compatível com a dimensão dos projetos. Em consequência, a configuração da instalação, a existência de obras de irrigação, de barragens ou obras intermediárias são fatores essenciais para a implementação de pequenas centrais hidrelétricas.

A operação a menor custo de um recurso hidráulico é outra parte significativa da avaliação econômica do projeto. Os grupos devem ter um fator operacional elevado e funcionar o mais freqüentemente possível em plena carga. No entanto, o custo operacional pode ainda ser reduzido em função de outros fatores, tais como:

- Utilização de geradores assíncronos;
- Utilização de automação combinada ou não, com um sistema de telecomando;
- Operação agrupada de várias usinas.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

A PCH é uma importante alternativa para sistemas isolados, auto-produção de energia e para complementação de sistemas de grande porte em função do menor risco de investimento (incertezas quanto a evolução do mercado de energia elétrica e aos aumentos de custos devido aos longos períodos de construção das grandes usinas).

O potencial hidráulico passível de exploração no País, associado às pequenas centrais hidrelétricas é relativamente elevado (4 % da potência instalável total). Segundo o Plano 2.015 da Eletrobras, centrais de até 30 MW de potência instalada representam um potencial de 9.456 MW. Este valor é possivelmente mais alto do que o estimado se levarmos em conta a carência de informações sobre PCH's e a pequena difusão de informação sobre as tecnologias, dominadas quase que

exclusivamente por um grupo restrito de técnicos, quase todos vinculados aos poucos fabricantes de equipamentos.

Além disso, cabe ressaltar que investimentos para o aproveitamento dos recursos hídricos de quedas de pequeno e médio porte são desejáveis, em função das características econômicas intrínsecas.