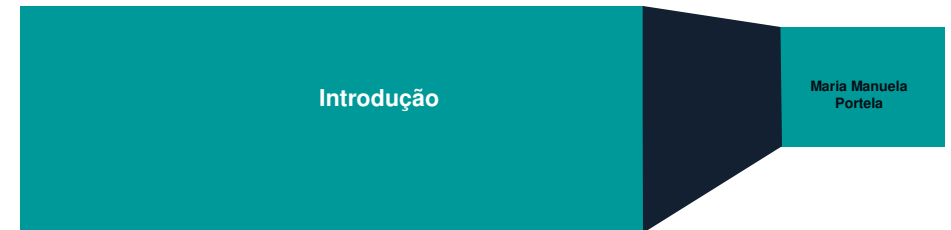


Energia Hídrica – 2017/2018

Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia
Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

maria.manuela.portela@tecnico.ulisboa.pt
(sadacosta@apren.pt)

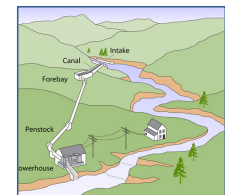
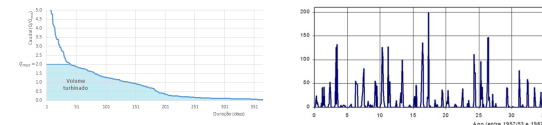


Objetivo

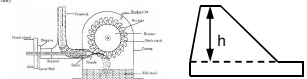
Providenciar conceitos básicos relacionados com a hidrologia, com o dimensionamento hidráulico e com a análise económica que permitam proceder ao pré-dimensionamento hidrológico e energético de um pequeno aproveitamento hidroelétrico com exploração a fio-de-água.

1. Seleção do caso de estudo e conceção geral do circuito hidráulico

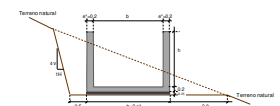
2. Caracterização hidrológica (avaliação de disponibilidades e caracterização de cheias) e energética



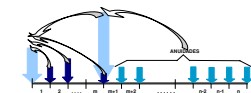
3. Dimensionamento preliminar de algumas componentes do circuito hidráulico



4. Estimativa de custo



5. Análise da viabilidade económica



• **Hidrologia e Recursos Hídricos, 2011**, João Reis Hipólito, Álvaro Carmo Vaz, IST Press.

• **Guidelines for the design of small hydropower plants, 2000**, RAMOS, H. (ed.), WREAN/DED, Western Regional Energy Agency and Network, Department of Economic Development, ISBN 972 96346 4 5, Belfast, North Ireland.

• **Layman's Handbook on how to develop a Small Hydro site, 1998**, Commission of the European Communities, Directorate-General for Energy by European Small Hydropower Association (ESHA)*

* Fornecido em formato digital

Calendário escolar e avaliação

Período de aulas: 18-09-2017 a 20-12-2017

Férias de Natal: 21-12-2017 a 03-01-2018

Exames de Época Normal: 04-01-2018 a 16-01-2018

Pausa letiva: 17-01-2018 a 22-01-2018

Exames de Recurso: 23-01-2018 a 03-02-2018

- ✓ **Mini teste - 30% e nota mínima de 7.00 valores (no decurso do ano letivo)**
- ✓ **Trabalho Prático (entrega até 05-01-2018) com discussão (70%) (data no decurso do período de avaliação a combinar)**

Aula		Previsão (2017)
Data	N.º	
18-set	1	Introdução. Conceitos antecedentes fundamentais Identificação e conceção geral do caso de estudo Conferência Professor Sá da Costa - 25 set
19-set	2	
25-set	3	
26-set	4	
02-out	5	Caraterização fisiográfica da bacia e da rede de drenagem. Determinação do tempo de concentração (teoria e prática)
03-out	6	
09-out	7	
10-out	8	
16-out	9	
17-out	10	
23-out	11	Estimação de precipitações e de escoamento Cheia de projeto Energia produzida (teoria e prática)
24-out	12	
30-out	13	
31-out	14	
06-nov	15	
07-nov	16	Mini teste
13-nov	17	
14-nov	18	
20-nov	19	Conceção geral e pré-dimensionamento do circuito hidráulico (teoria e prática)
21-nov	20	
27-nov	21	
28-nov	22	
04-dez	23	Estimativa de custos. Análise económica (teoria e prática)
05-dez	24	
11-dez	25	
12-dez	26	
18-dez	27	
19-dez	28	

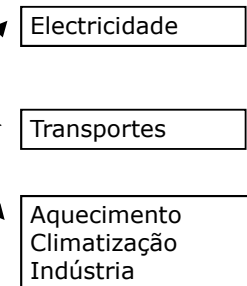
Energia

Não se produz, transforma-se

O que se produz são formas de energia como:

- Calor
- Eletricidade
- Luz
- etc.

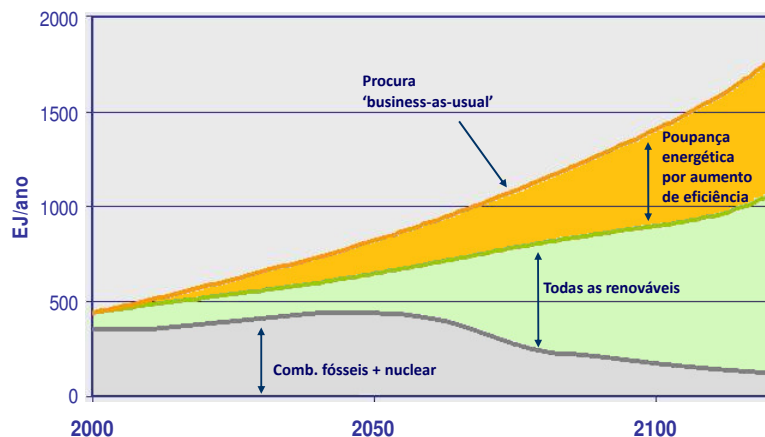
Energia



A eletricidade não é um produto final, estando hoje em dia incorporado em tudo o que se faz. Representa cerca de 20 a 25 % da energia consumida no mundo. Em Portugal é um pouco mais. Não é suscetível de armazenamento em quantidades apreciáveis

Energia – novo paradigma

Eficiência energética: a 'outra' forma de energia



António Sá da Costa

Fonte: Agência Internacional de Energia, AIE; International Energy Agency, IEA
Sugestão de consulta: <http://www.iea.org/statistics/ieaenergyatlas/>

Energia capacidade de fornecer trabalho

Potência capacidade de fornecer energia

$$\text{Energia} = \text{Potência} \times \text{tempo}$$

Energia renovável – energia obtida a partir de uma fonte que não é eliminada pelo facto de ser transformada

Potência

$$1000 \text{ W} = 1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W} \text{ (kilo Watt)}$$

$$1000 \text{ kW} = 1 \text{ MW} = 10^6 \text{ W} \text{ (Mega Watt)}$$

$$1000 \text{ MW} = 1 \text{ GW} = 10^9 \text{ W} \text{ (Giga Watt)}$$

$$1000 \text{ GW} = 1 \text{ TW} = 10^{12} \text{ W} \text{ (Tera Watt)}$$

Energia

$$1 \text{ kWh} = 10^3 \text{ Wh} \text{ (kilo Watt hora)}$$

$$1 \text{ MWh} = 10^6 \text{ Wh} \text{ (Mega Watt hora)}$$

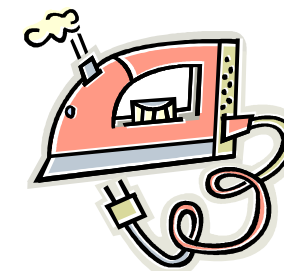
$$1 \text{ GWh} = 10^9 \text{ Wh} \text{ (Giga Watt hora)}$$

$$1 \text{ TWh} = 10^{12} \text{ Wh} \text{ (Tera Watt hora)}$$

Uma central hidroelétrica de 10 MW a trabalhar 2000 h produz:

$$10 \text{ MW} \times 2000 \text{ horas} = 20\,000 \text{ MWh} = 20 \text{ GWh}$$

Um ferro de engomar de 1000 W = 1 kW



Desligado não consome energia eléctrica

Ligado durante uma hora consome:
1 kW x 1 hora = 1 kWh (quilowatt hora)

António Sá da Costa

• Porquê precisamos de energia renovável?

- Não é por ser moda
- Precisamos das energias renováveis para continuar o nosso desenvolvimento de uma forma sustentada.
- As alterações climáticas não são um filme de ficção, são uma realidade e existem muito poucas dúvidas que a maior razão para estas alterações são a emissão maciça de gases com efeito de estufa devido à queima de combustíveis fósseis.

• A questão é:

Ainda estaremos a tempo de inverter a situação ?

Como a eletricidade não é suscetível de ser armazenada em grandes quantidades, em cada instante a oferta desejavelmente deveria igualar a procura. Em Portugal quem gere o sistema oferta procura é a REN – Redes Energéticas Nacionais, SA

- Horas de vazio e super vazio (10h)
- Horas cheias (10h)
- Horas de ponta (4h)

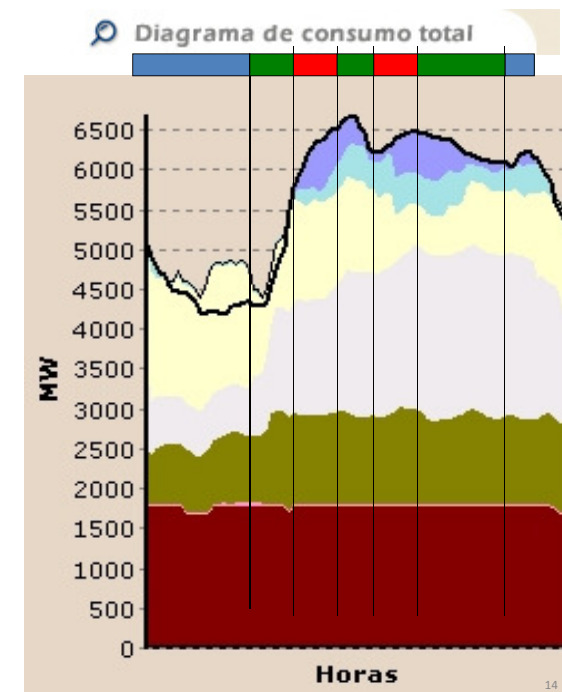


Diagrama de consumo total (MW)

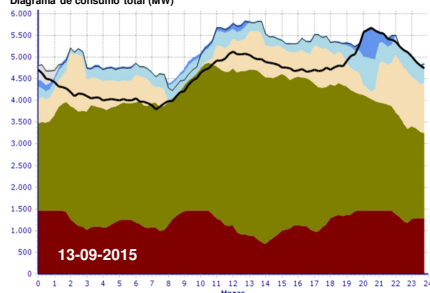


Diagrama de consumo total (MW)

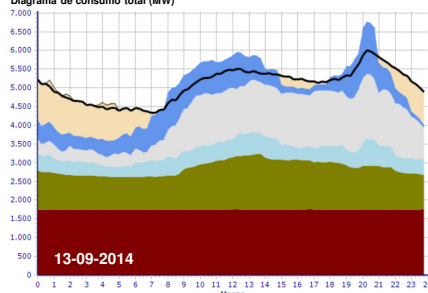
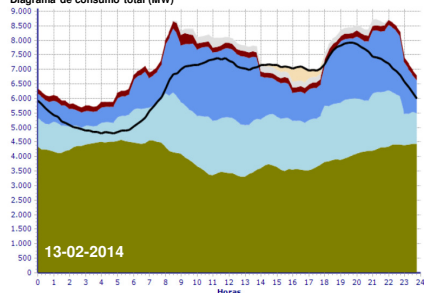


Diagrama de consumo total (MW)

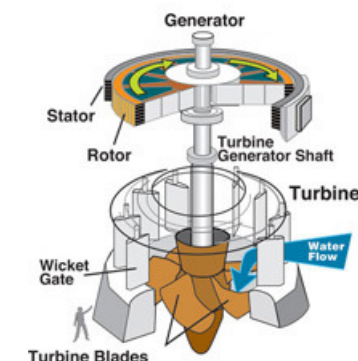


- Cons+Bombagem
- Consumo
- Fuel
- Import
- Gás Nat.
- Carvão
- Albuf.
- F. Água
- PRE's

(A produção de eletricidade está aberta à concorrência e tem dois regimes legais: (i) produção em regime ordinário (PRO), relativa à produção de eletricidade com base em fontes tradicionais não renováveis e em grandes centros electroprodutores hídricos, e (ii) produção em regime especial (PRE), relativa à cogeração e à produção elétrica a partir da utilização de fontes de energia renováveis).

Como se gera a eletricidade?

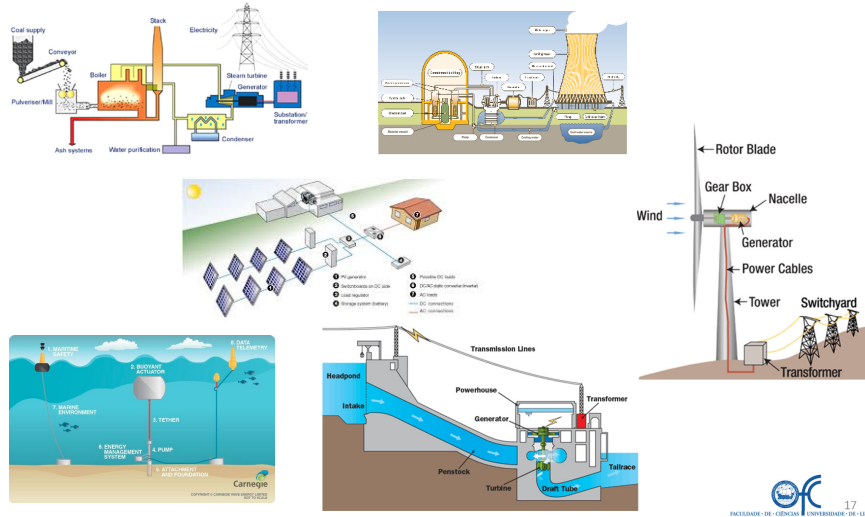
Através de um gerador elétrico.



Um gerador elétrico é uma máquina onde se entrega energia mecânica que põe um veio a rodar (acoplado a um enrolamento – o rotor) e pela criação de campos eletro-magnéticos (no stator) se produz eletricidade.

Uma das vantagens destas máquinas elétricas é o processo ser reversível, isto é se lhe “entregar” eletricidade os campos electro-magnéticos gerados fazem rodar o rotor, podendo ser usada a energia mecânica de rotação. Isto é um motor elétrico.

A produção de eletricidade é classificada de acordo com a fonte de energia usada para transformar essa energia em energia elétrica.



Eletricidade gerada em centrais térmicas

Queima de combustível para gerar vapor de água que faz rodar uma turbina (carvão, petróleo, gás natural, biomassa, biogás, RSU, etc.)

Nuclear

Motores de combustão (diesel, turbinas a jacto)

Geotermia

Solar térmica

Eletricidade gerada sem produção de calor

Hídricas

Eólicas

Marés e ondas

Química (baterias)

Fotovoltaica

Hidrogénio não é uma forma de gerar energia mas sim um "transportador" (combustível)

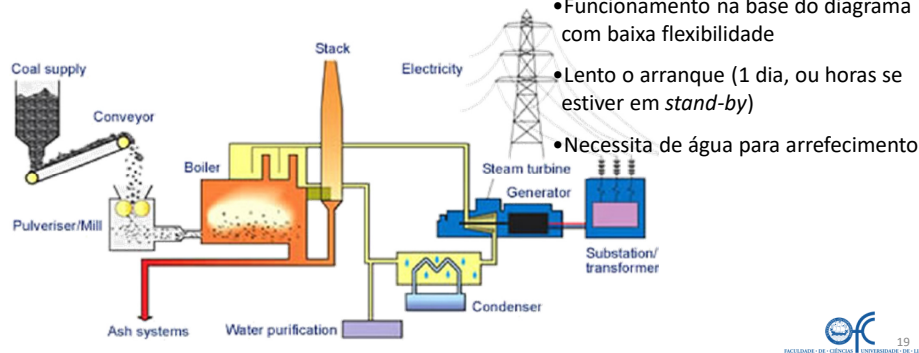
Centrais térmicas queimando combustíveis

Vantagens

- Fácil de licenciar (+/-2 anos)
- Fácil de construir (2 a 3 anos)
- Previsível a sua produção (armazenamento do combustível)

Desvantagens

- Importação de combustíveis
- Volatilidade e incerteza no preço
- Emissão de GEE
- Baixo rendimento (+/-50%)
- Funcionamento na base do diagrama com baixa flexibilidade
- Lento o arranque (1 dia, ou horas se estiver em *stand-by*)
- Necessita de água para arrefecimento



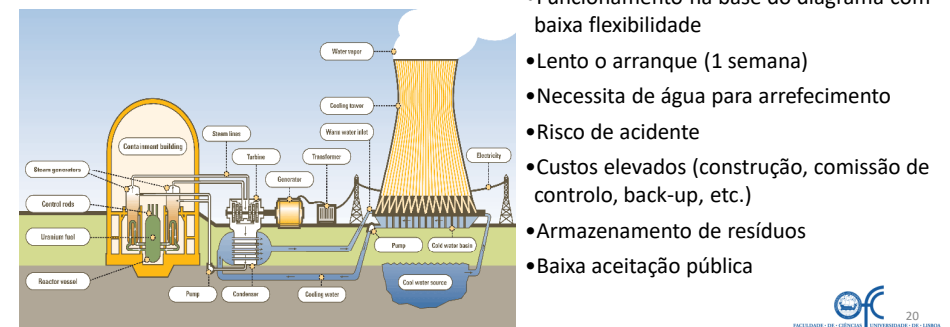
Centrais térmicas nucleares (fissão)

Vantagens

- Previsível a sua produção (armazenamento do combustível)
- Não emite gases com efeito de estufa, GEE
- Custos baixos de exploração

Desvantagens

- Importação de combustíveis e tecnologia
- Licenciamento e construção longos (5+6 anos)
- Não existe tecnologia nacional
- Baixo rendimento (+/-50%)
- Funcionamento na base do diagrama com baixa flexibilidade
- Lento o arranque (1 semana)
- Necessita de água para arrefecimento
- Risco de acidente
- Custos elevados (construção, comissão de controlo, back-up, etc.)
- Armazenamento de resíduos
- Baixa aceitação pública



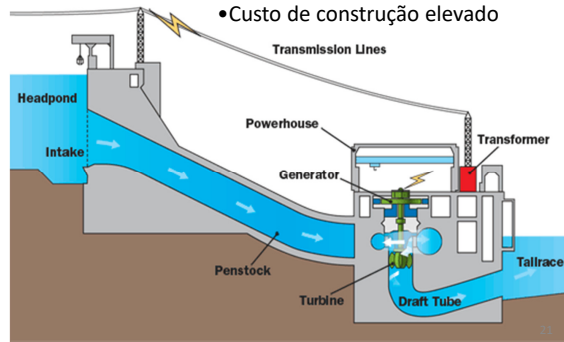
Centrais hidroelétricas (>10 MW ou <10 MW)

Vantagens

- Não emite GEE
- Arranque rápido (< 2 min.)
- Rendimento elevado (>90%)
- Outras utilizações da albufeira
- Capacidade de armazenamento
- Previsível a sua produção (quando existe armazenamento)
- Custo de exploração baixo (matéria prima praticamente gratuita)
- Existe tecnologia em Portugal

Desvantagens

- Licenciamento lento (+/-10 anos)
- Construção longa (6 anos)
- Impactes ambientais da albufeira
- Dependência da “hidraulicidade”
- Produção sazonal
- Custo de construção elevado



António Sá da Costa

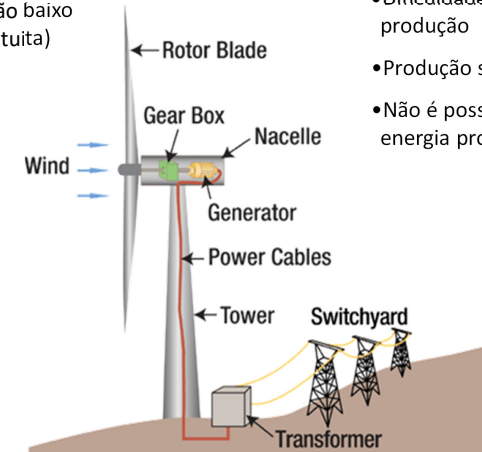
Parques eólicos

Vantagens

- Fácil de construir (8 a 12 meses)
- Não emite GEE
- Custo de construção baixo (matéria prima gratuita)

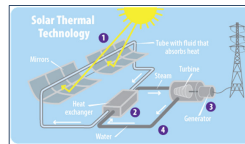
Desvantagens

- Licenciamento lento (+/-5 anos)
- Impactes ambientais VISUAL
- Dificuldade na previsibilidade da produção
- Produção sazonal
- Não é possível armazenar a energia produzida a não ser ...



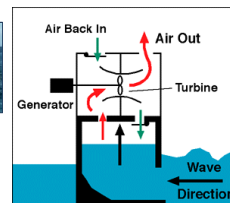
Solar térmica: promissora mas está a dar os primeiros passos.

Por enquanto cara, produção sazonal, pode ter armazenamento.



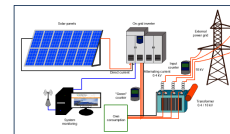
Ondas: promissora mas está a dar os primeiros passos (central da Ilha do Pico, nos Açores; Pelamis, no canhão da Nazaré).

Por enquanto cara, produção mais previsível que a eólica, sazonal, sem armazenamento.



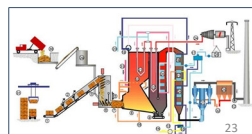
Fotovoltaica (conversão direta da energia solar em eletricidade): promissora e está a mudar o paradigma técnico.

Por enquanto cara, mas custos diminuindo muito rapidamente, produção previsível, sazonal, sem armazenamento.



Biomassa: vantagens das térmicas, sem emissão de GEE, nem precisa de água para arrefecimento.

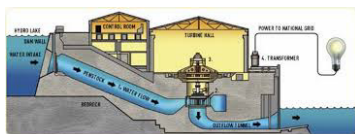
Cara devido à aquisição do combustível, produção previsível, problemas de resíduos nas grelhas (sílica), pequena dimensão em Portugal (combustível limitado), dificuldades de garantia do fornecimento de matéria prima.



Hidroelectricidade

O que é um aproveitamento hidroelétrico?

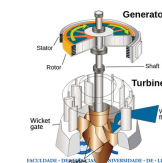
É um sistema que usa água para produzir eletricidade



O que é um aproveitamento hidroelétrico?

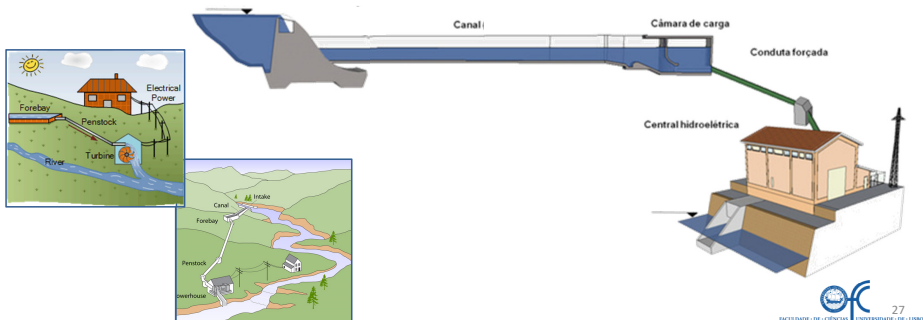
Para tal é preciso:

- Água
- Desnível topográfico
- Um sistema que, a partir da energia de posição (energia gravítica) da água e a velocidade da água (transportada por canais e/ou condutas), faça rodar uma turbina
- Que por sua vez faz rodar a roda de um gerador que gera a eletricidade



Um aproveitamento hidroelétrico tem as seguintes componentes principais:

- ✓ Sistema de tomada de água / de captação de caudais (barragem/açude + tomada de água)
- ✓ Sistema de adução dos caudais captados ou circuito hidráulico (canal/túnel/conduta + conduta forçada)
- ✓ Central onde se localizam :
 - grupos turbina-gerador
 - sala de controle
 - instalações elétricas (transformadores e afins)



Barragem/açude é a estrutura que “barra” o caminho à água, criando condições para a captar e, eventualmente, para a armazenar, caso crie uma albufeira.

- ✓ O tipo de barragem depende das condições geomorfológicas (topografia e geologia) e da altura da mesma, entre outras.

As barragens podem ser de:

- Betão (gravidade, arco, arco-gravidade, abóbadas múltiplas, contrafortes)
- Material incoerente (terra, enrocamento)

As albufeiras podem ser:

Fio-de-água (sem regularização dos volumes afluentes ou com uma regularização muito pequena)

Com regularização dos volumes afluentes e visando a sua transferência no tempo (semanal, mensal, anual, inter anual)



Bacias Hidrográficas de Portugal Continental



Identificação	Área (km ²)		
	Portugal	Espanha	Total
Minho	850	16230	17080
Lima	1180	1300	2480
Cávado	1600	--	--
Ave/Leça	1575	--	--
Douro	18600	79000	97600
Vouga	3635	--	--
Mondego	6645	--	--
Lis	945	--	--
Ribeiras do Oeste	1660	--	--
Tejo	24800	55800	80600
Sado	7690	--	--
Mira	1540	--	--
Guadiana	11500	55300	66800
Ribeiras do Algarve	1690	--	--

Cerca de 64% da área de Portugal Continental localiza-se em bacias hidrográficas internacionais



Cabril (1954; Zêzere na bh Tejo – mais alta barragem de Portugal: 132 m)

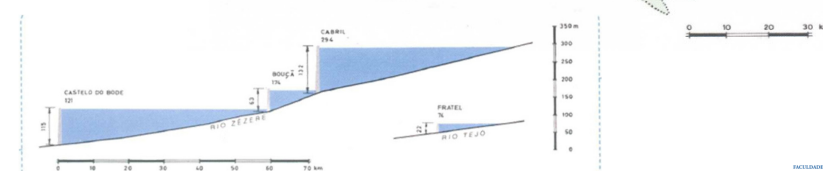
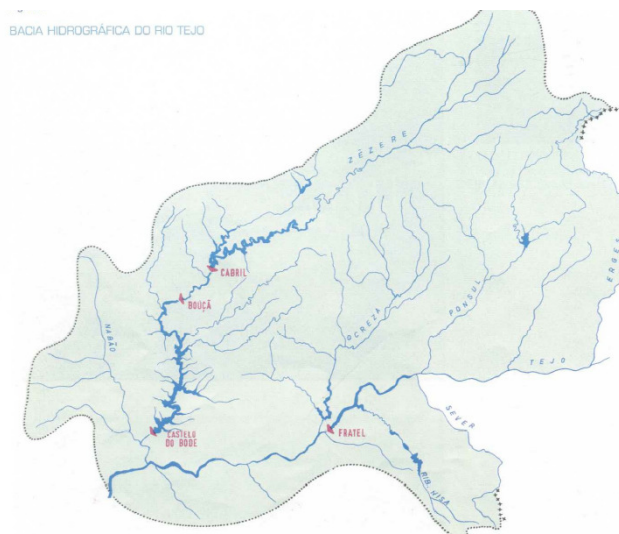


Barragem do Cabril



Castelo do Bode (1951; Zêzere na bh Tejo)

BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TEJO



Pracana (1959; Ocreza na bh Tejo)



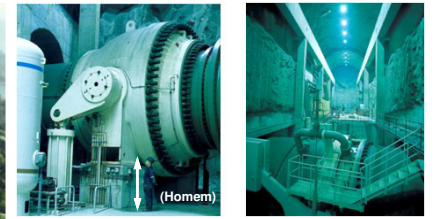
Venda Nova, (1951; Rabagão na bh Cávado)



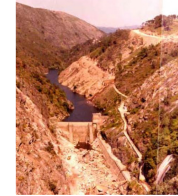
Agúleira (1981; Mondego)



Alto Lindoso (1992; Lima)



Válvulas esférica (montante; $\phi_{int}=3400$ mm; $\phi_{ext}=5910$ mm, 290 ton) e de borboleta (jusante) de protecção da turbina)



Lindoso velho ("ideia" de 1905; início de exploração em 1922)



(Alto Rabagão (1964; Rabagão, bh Cávado; primeira central reversível – falso reversível – em Portugal)

Alqueva (2002; Guadiana; o maior lago artificial da Europa; $C_t=4150$ hm³; $C=3150$ hm³)



Nova central hidroelétrica



Paradela (1956; Cávado; na época, a maior barragem de enrocamento do mundo; $h=112$ m)

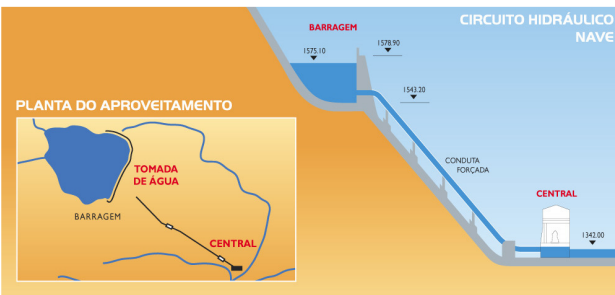


Paradela (1956; Cávado; na época, a maior barragem de enrocamento do mundo; h=112 m)

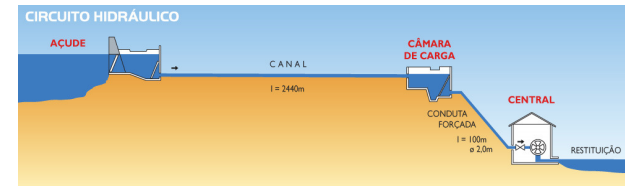
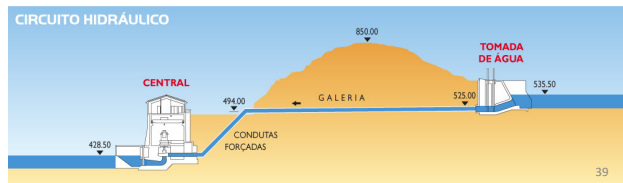
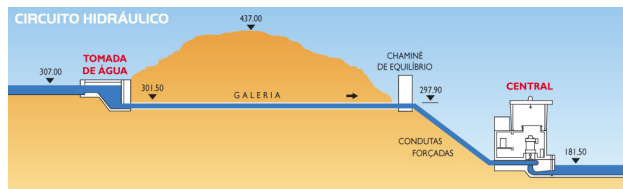
António Sá da Costa



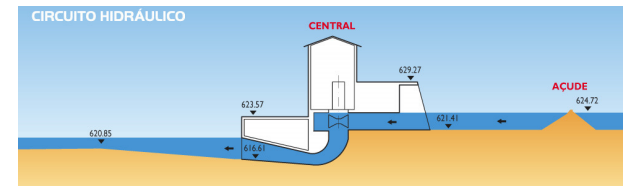
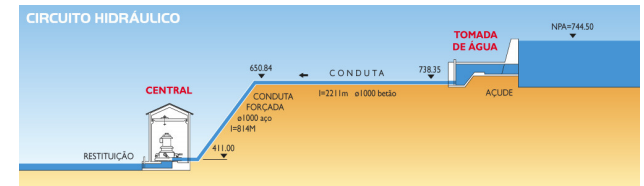
... o objectivo da disciplina
... pequenos aproveitamentos hidroeléctricos com exploração a fio-de-água ...



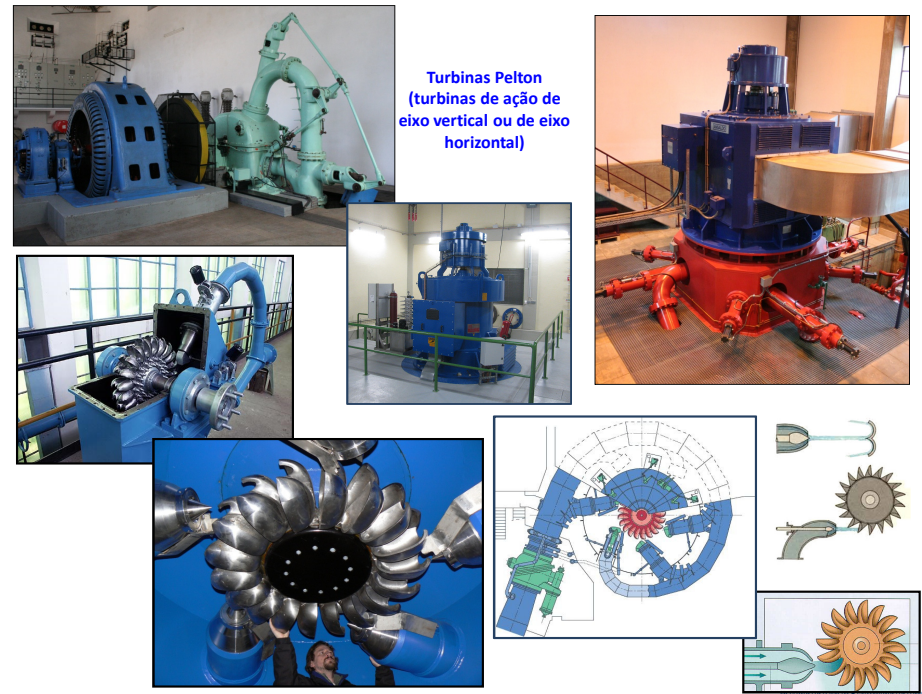
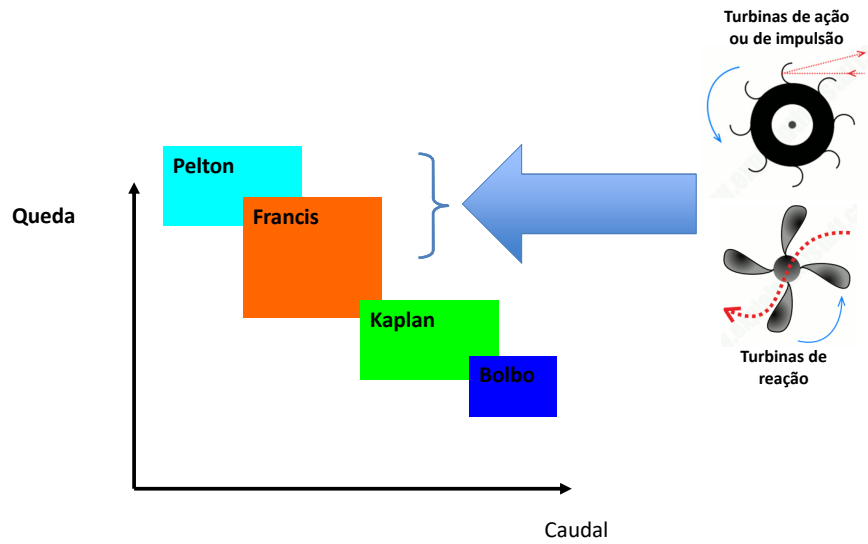
Circuitos hidráulicos



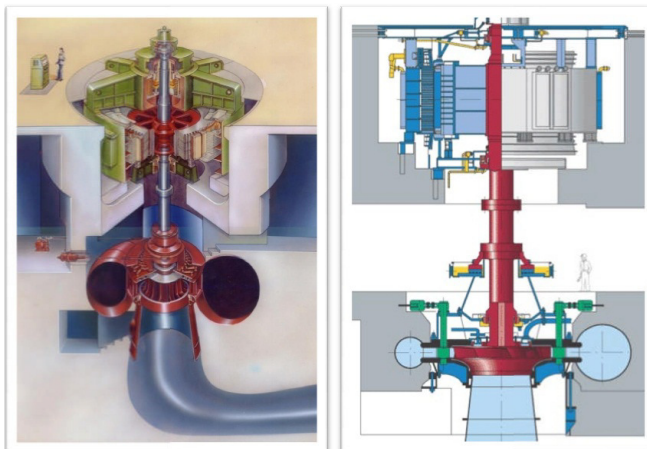
Circuitos hidráulicos



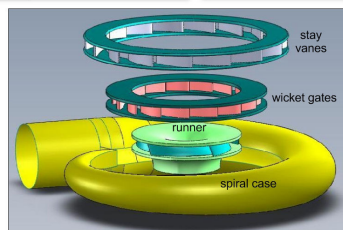
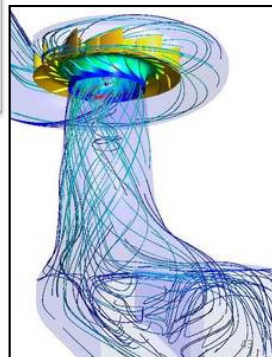
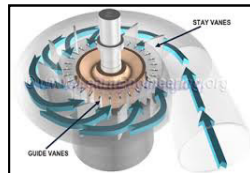
Os tipos de grupos turbina-gerador dependem do binómio caudal / queda



Turbinas Pelton (turbinas de ação de eixo vertical ou de eixo horizontal)



Turbinas Francis (turbinas de reação de eixo vertical ou de eixo horizontal)



“Lâminas fixas”
“Lâminas móveis”
Roda
Evoluta

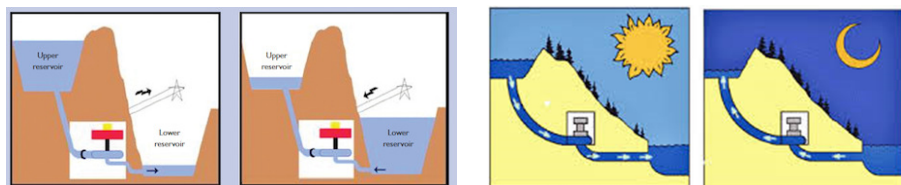


Turbinas Francis



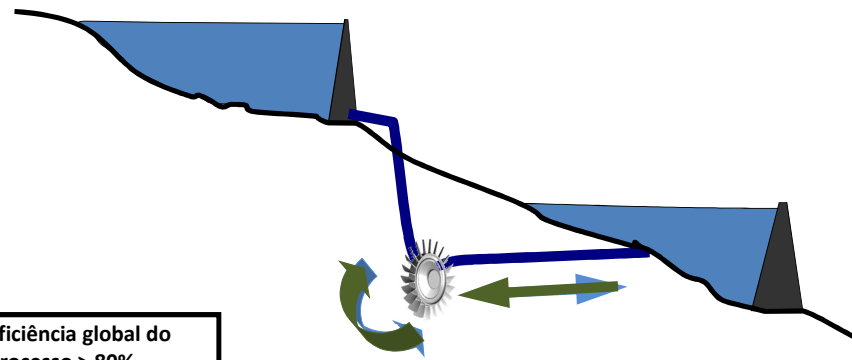
Centrais reversíveis

Estas centrais necessitam de duas albufeiras, e podem turbinar água da albufeira de montante para a de jusante (quando há necessidade de energia – horas de ponta) e inverter o funcionamento bombeando água da albufeira de jusante para a de montante (quando há excesso de produção – horas de vazio).



Funcionamento como turbina, utilizando a água armazenada no reservatório superior para produzir eletricidade ↔ horas de ponta e cheias)

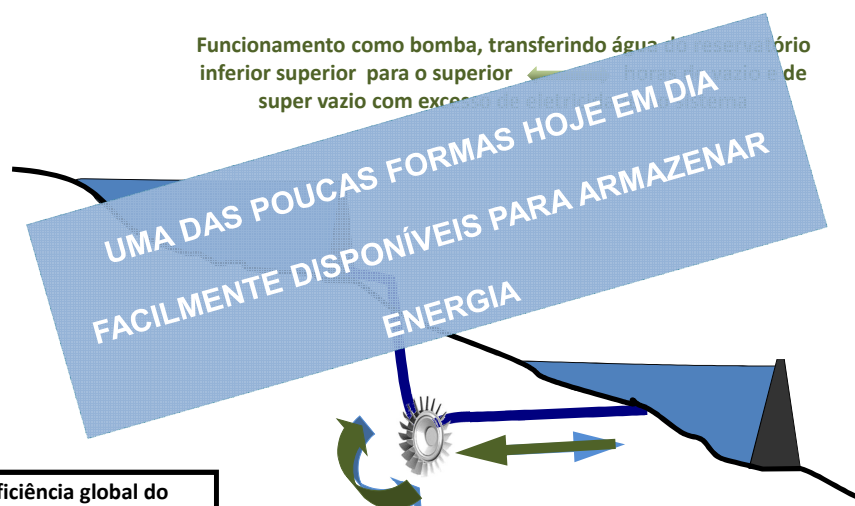
Funcionamento como bomba, transferindo água do reservatório inferior superior para o superior ↔ horas de vazio e de super vazio com excesso de eletricidade no sistema



Eficiência global do processo > 80%

Funcionamento como turbina, utilizando a água armazenada no reservatório superior para produzir eletricidade ↔ horas de ponta e cheias)

Funcionamento como bomba, transferindo água do reservatório inferior superior para o superior ↔ horas de vazio e de super vazio com excesso de eletricidade no sistema



Eficiência global do processo > 80%

✓ Principais características dos aproveitamentos hidroelétricos:

- Tecnologia amplamente testada e segura
- Capacidade de regularização do recurso (dispondo de albufeira)
- Capacidade de armazenamento de energia em grandes quantidades (dispondo de albufeira)
- Facilidade e brevidade no arranque
- Permite múltiplas utilizações, dispondo de uma albufeira com fins múltiplos
- Altera a paisagem (albufeira e circuito hidráulico)
- Altera o regime fluvial natural do rio
- Compartimenta o rio induzindo alteração nos ecossistemas aquáticos e ribeirinhos
- Morosidade no licenciamento e construção