

# Energia Hídrica

Engenharia da Energia e do Ambiente  
Ano letivo 2020/2021

Maria Manuela Portela

maria.manuela.portela@tecnico.ulisboa.pt

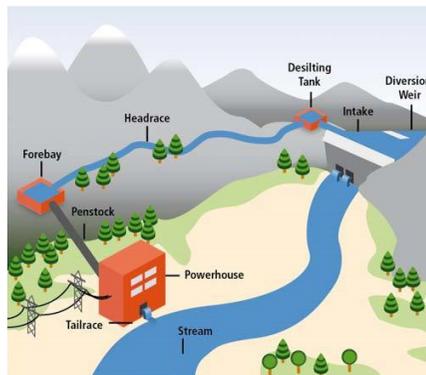
218 418 142 (Gabinete) / 218 418 148 (Secretariado)

## Introdução

Maria Manuela  
Portela

## 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**



## PROCEDIMENTO GLOBAL

- Alunos organizados em grupos de 3
- A cada grupo será dada uma localização geográfica em Portugal onde se admite vir a ser instalada um pequeno aproveitamento hidroelétrico, AHE, com exploração a fio de água (caso de estudo)
- Pretende-se proceder à conceção preliminar, mas geral do AHE, compreendendo a 1) caracterização hidrológica, 2) a avaliação de disponibilidades, 3) o pré dimensionamento das componentes do AHE, 4) o cálculo da produção anual média e a 5) análise económica da viabilidade do AHE

• **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)

• **Slides das aulas** (por regra, disponibilizados com antes das aulas na página da UC)

\* Fornecidos em formato digital na página da UC

Energia Hídrica, FC/UL, Maria Manuela Portela, set.2020

5

## Calendário escolar e avaliação

- Período de aulas: 21-09-2020 a 18-12-2020
- Férias de Natal: 21-12-2020 a 03-01-2021
- Pausa letiva: 04-01-2021 a 06-01-2021
- Exames de Época Normal: 07-01-2021 a 19-01-2021
- Pausa letiva: 21-01-2021 a 25-01-2021
- Exames de Recurso: 26-01-2021 a 06-02-2021
- Pausa entre semestres: 08-02-2021 a 21-02-2021

- ✓ **Mini teste (30%, com nota mínima de 7.00)** (no decurso do ano letivo/período de avaliação, em data a combinar)
- ✓ **Trabalho Prático (com 4 entregas parcelares) com discussão (70%)** (em data no decurso do período de avaliação a combinar)

Aula		Ano letivo 2020/2021 - ENERGIA HÍDRICA	
Data	N.º ordem	Previsão das aulas teórico-práticas	
21/set	1	Apresentação. Objetivo. Meios computacionais - <b>AULA PRESENCIAL</b>	
22/set	2	Conceitos fundamentais relacionados com pequenos aproveitamentos hidroelétricos. Identificação e caracterização geral do caso de estudo (localização do açude e da central, configuração do circuito hidráulico e respetivo comprimento. Queda topográfica)	
28/set	3		
29/set	4		
05/out	5	FERIADO	
06/out	6		
12/out	7	Delimitação de bacias hidrográficas. Caracterização fisiográfica da bacia e da rede de drenagem. Determinação do tempo de concentração, tc	
13/out	8		
19/out	9		
20/out	10	Precipitação anual média na bacia hidrográfica - recolha de dados e estimação. Cálculo da precipitação intensa com duração igual ao tempo de concentração ( <b>DIA 26/OUT - ENTREGA DA 1ª PARTE</b> )	
26/out	11		
27/out	12		
02/nov	13		
03/nov	14	Estimação do escoamento anual médio afluente (modelo de regionalização). Cálculo da cheia de projeto. Definição do regime de caudais ecológicos mensais	
09/nov	15		
10/nov	16	Cálculo da produção anual média de energia. Recolha de caudais médios diários. Simulação da exploração diária da central hidroelétrica ( <b>DIA 16/NOV - ENTREGA DA 2ª PARTE</b> )	
16/nov	17		
17/nov	18		
23/nov	19	Conceção geral e pré-dimensionamento do circuito hidráulico. Estimativa de custos. Análise económica	
24/nov	20		
30/nov	21		
01/dez	22	FERIADO	
07/dez	23	Conceção geral e pré-dimensionamento do circuito hidráulico. Estimativa de custos. Análise económica. ( <b>DIA 7/DEZ - ENTREGA DA 3ª PARTE</b> )	
08/dez	24	FERIADO	
14/dez	25	Estimativa de custos. Análise económica	
15/dez	26		

**Calendário provisional das aulas e das entregas parcelares do Trabalho Prático**  
(na página da UC na secção "Informações úteis")

Maria Manuela Portela, set.2020

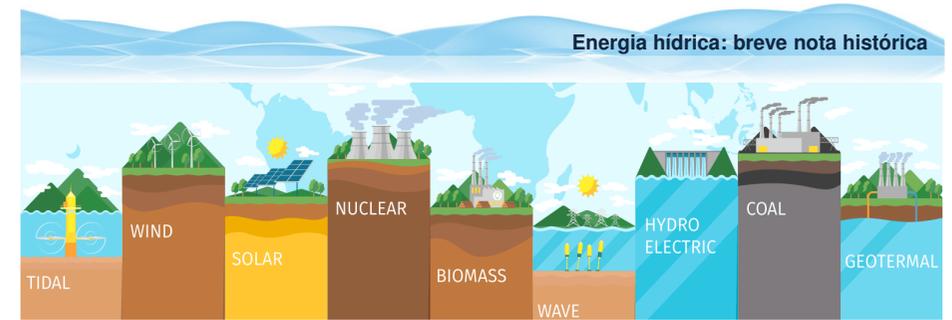
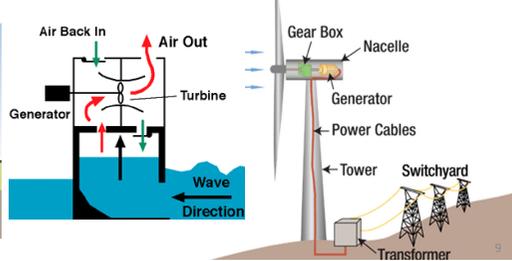
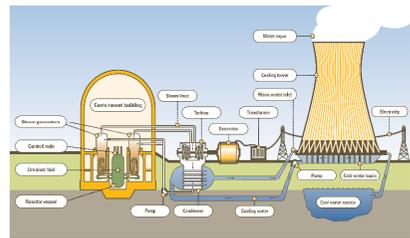
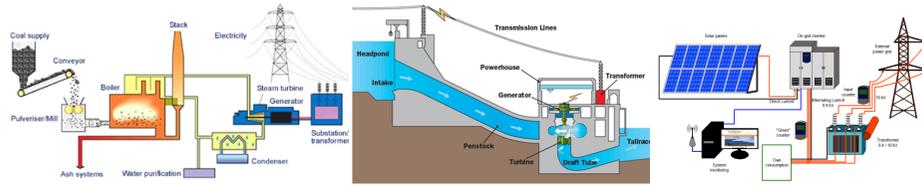
7

1. Constituição dos grupos a indicar até dia 28/set
2. Aulas essencialmente por ZOOM (endereço na página da UC, em anúncios e na secção "Informações úteis")
3. Ocasionalmente aulas presenciais para esclarecer dúvidas
4. Informação disponibilizada na página da UC (meio preferencial para disponibilizar informação)
5. Contactos:
  - maria.manuela.portela@tecnico.ulisboa.pt
  - IST: Pavilhão de Engenharia Civil, 3º Piso, gabinete 5.42; Tel.: 218 418142; 218 418148
5. Capacidade de trabalhar com o EXCEL e, muito pertinentemente, com AUTOCAD (é fundamental ter o AUTOCAD instalado nos portáteis)

Energia Hídrica, FC/UL, Maria Manuela Portela, set.2020

8

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



Apenas uma das formas ... uma mudança inadiável de paradigma

## Energia hídrica: breve nota histórica

À escala global, são seis as principais tecnologias de produção de eletricidade:

- (1) energia libertada pela cisão dos núcleos dos átomos de urânio em **centrais nucleares**;
- (2) a energia produzida por utilização da água em **centrais hidroelétricas**;
- (3) a energia libertada pela combustão de fuelóleo, carvão ou gás natural em **centrais termo-elétricas**, incluindo a cogeração (processo de produção e utilização combinada de calor e eletricidade);
- (4) a energia do vento em **parques eólicos**;
- (5) a energia libertada pela **combustão de biomassa** (subprodutos florestais e agrícolas) em centrais termoeletricas;
- (6) a energia solar em **parques fotovoltaicos**.

(<http://comofunciona.erse.pt/eletricidade/production.html>)

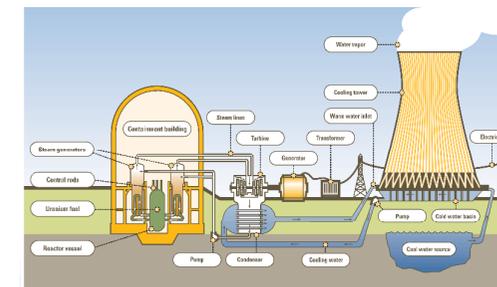
## Centrais térmicas nucleares (fissão)

### 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



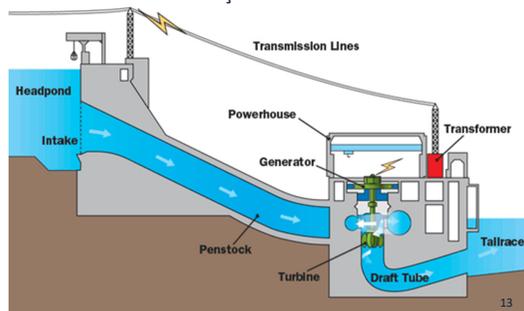
## Centrais hidroeléctricas (>10 MW ou <10 MW)

### 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



13

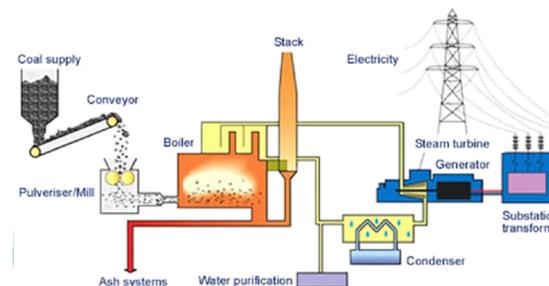
## Centrais térmicas queimando combustíveis fósseis

### 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



14

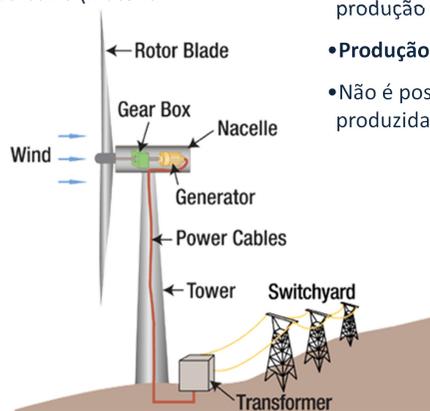
## Parques eólicos

### Vantagens

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

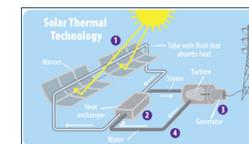
### Desvantagens

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



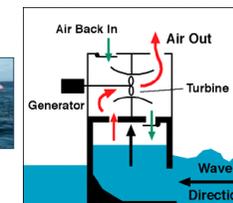
15

**Solar térmica** – promissora mas está a dar os primeiros passos. Por enquanto cara, produção sazonal, pode ter armazenamento.



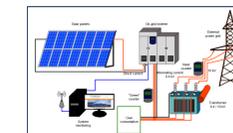
**Ondas** – promissora mas está a dar os primeiros passos (central da Ilha do Pico, nos Açores; Pelamis, no canhão da Nazaré).

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



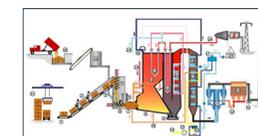
**Fotovoltaica** – promissora e está a mudar o paradigma técnico.

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



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

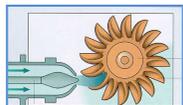
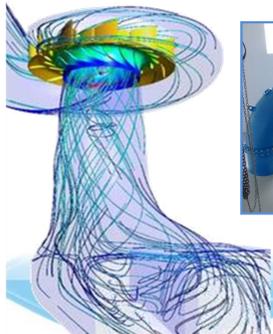
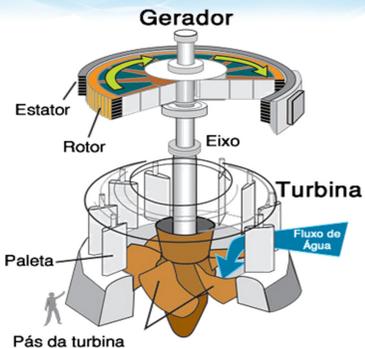
Cara devido à aquisição do combustível, produção previsível, problemas de resíduos nas grelhas (sílica), pequena dimensão em Portugal (combustível limitado), dificuldades de garantia do fornecimento de matéria prima.



16

Energia hídrica: breve nota histórica

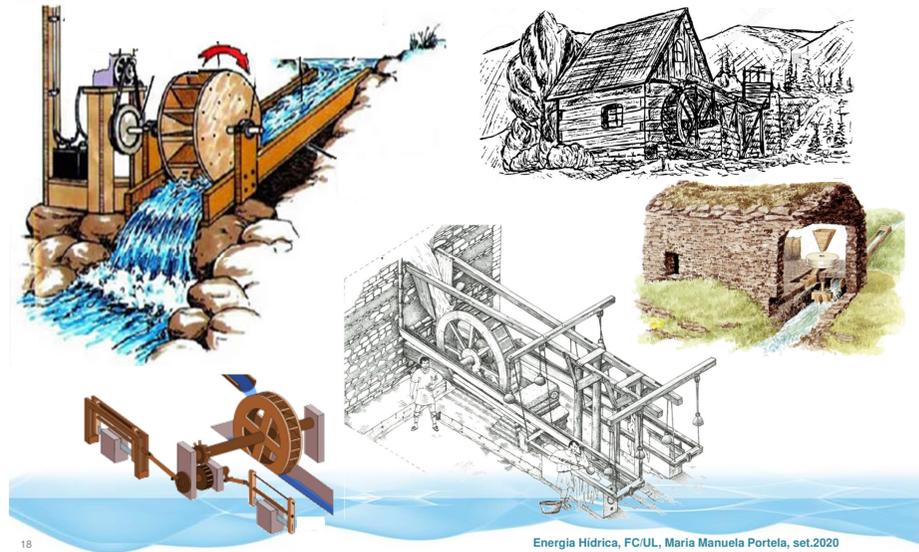
- ✓ A produção de energia hidroelétrica utiliza a água em movimento, através da transformação da sua energia potencial gravitacional em movimento que é transmitido ao veio de um gerador.
- ✓ A potência gerada é proporcional à queda e ao caudal e a energia produzida à essa mesma queda e ao volume de água mobilizado.



Energia Hídrica, FC/UL, Maria Manuela Portela, set.2020 17

Energia hídrica: breve nota histórica

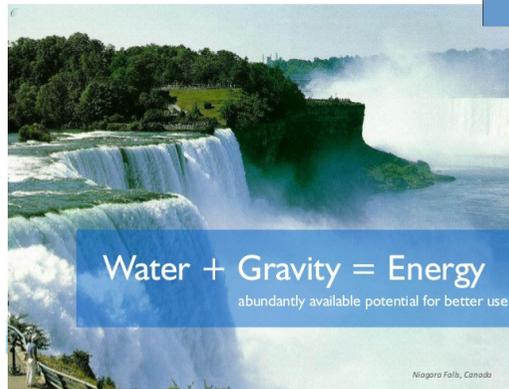
- ✓ A utilização da água em movimento é uma das mais antigas formas de produção de energia (moagem, serração, extração mineira, tecelagem, etc.).



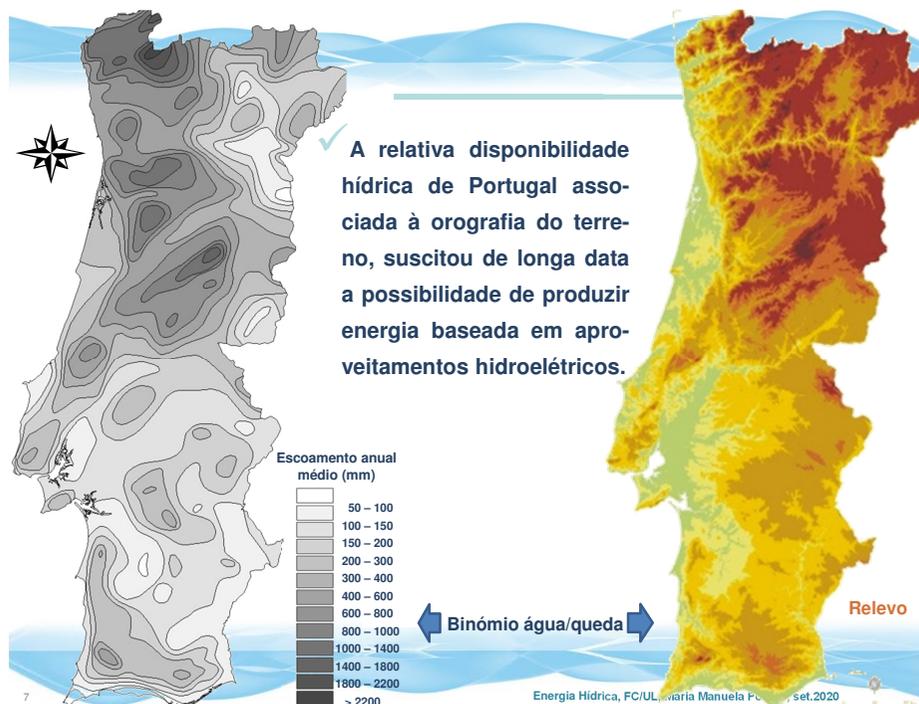
Energia Hídrica, FC/UL, Maria Manuela Portela, set.2020 18

Energia hídrica: breve nota histórica

- ✓ A partir de finais do século XIX, a força motriz da água começou a ser utilizada para produção de energia elétrica, a nível mundial, mas também em Portugal.
- ✓ A primeira central hidroelétrica comercial a nível mundial foi instalada nas quedas do Niágara em 1879 (Canadá).



Energia Hídrica, FC/UL, Maria Manuela Portela, set.2020 19



Energia Hídrica, FC/UL, Maria Manuela Portela, set.2020 7

## Energia hídrica: breve nota histórica

### Hidroelectricidade em Portugal

memória e desafio

- ✓ **As duas primeiras centrais hidroelétricas portuguesas datam de 1894 e de 1895/1896** – centrais do Agueirinho ou do Biel, no rio Corgo, e da Furada (Penide), no rio Cávado – **tendo se destinado à iluminação pública das cidades de Vila Real e de Braga, respetivamente.**

#### Primeiras centrais hidroelétricas nos Açores

Ano	Central	Potência (KVA)
1899	Central da Vila	60
1902	Salto do Cabrito	60
1904	Fábrica da Cidade	300
1908	Salto do Cabrito	+ 180
1911	Central da Praia	150

(consultável em: <http://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/publicacoes/PublicacoesGerais/Hidroelectricidade%20em%20Portugal%20-%20Mem%C3%B3ria%20e%20desafio.pdf>)

Ano de Entrada em Serviço	Serviço Público				Serviço Privado			
	Nome	Rio	Potência [kW]		Nome	Rio	Potência [kW]	
			Inicial	[Final]			Inicial	[Final]
1906	Riba Cóa	Cóa	105					
1907								
1908								
1909	Varosa	Varosa	100					
1910	Sr.º do Desterro	Alva	300	(2000)				
1911	Covas	Coura	110	(730)				
1912								
1913	Giestal	Selho	240					
1914								
1915								
1916	Corvete	Bugio	430	(2350)				
1917	Olo	Olo	68	(136)				
1918	Drizes	Vouga	35	(120)				
1919								
1920								
1921								
1922	Lindoso	Lima	7500	(60000)				
1923	Pt. Jugalís	Alva	3000	(12000)				
1924								
1925	Chocalho	Varosa	1890	(14000)				
1926	Freijil	Cabrum	225	(1020)				
1927	Terrajido	Corgo	118	(4121)				
1928	Rei de Moinhos	Alva	230	(460)				
1929	Póvoa	Niza	700					
1930	Caldeirão	Almonda	105	(155)				
1931	Pisões	Dinha	100					
1932								
1933								
1934								
1935								
1936								
1937								
1938								
1939								
1940								
1941								
1942								
1943								
1944								
1945								
1946								
1947								
1948								
1949								
1950								
1951								
1952								
1953								
1954								
1955								
1956								
1957								
1958								
1959								
1960								
1961								
1962								
1963								
1964								
1965								
1966								
1967								
1968								
1969								
1970								
1971								
1972								
1973								
1974								
1975								
1976								
1977								
1978								
1979								
1980								
1981								
1982								
1983								
1984								
1985								
1986								
1987								
1988								
1989								
1990								
1991								
1992								
1993								
1994								
1995								
1996								
1997								
1998								
1999								
2000								
2001								
2002								
2003								
2004								
2005								
2006								
2007								
2008								
2009								
2010								
2011								
2012								
2013								
2014								
2015								
2016								
2017								
2018								
2019								
2020								

**Centrais hidroelétricas com potência superior a 100 kW até 1930**  
(ca. 25 MW instalados em 39 centrais das quais 21 particulares, associadas a indústrias)

- ✓ **A antiga central de Lindoso, no rio Lima (1922) constitui o primeiro grande centro produtor hidroelétrico nacional, inicialmente com a potência instalada de 7.5 MW.**

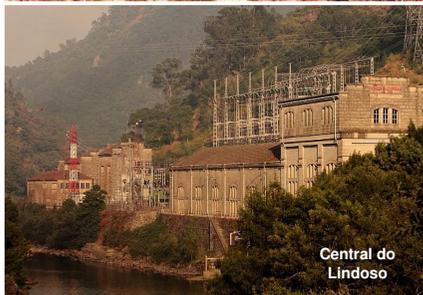
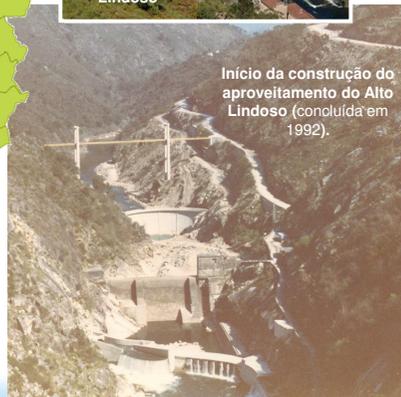
## Energia hídrica: breve nota histórica

Aproveitamento do Lindoso (1922)



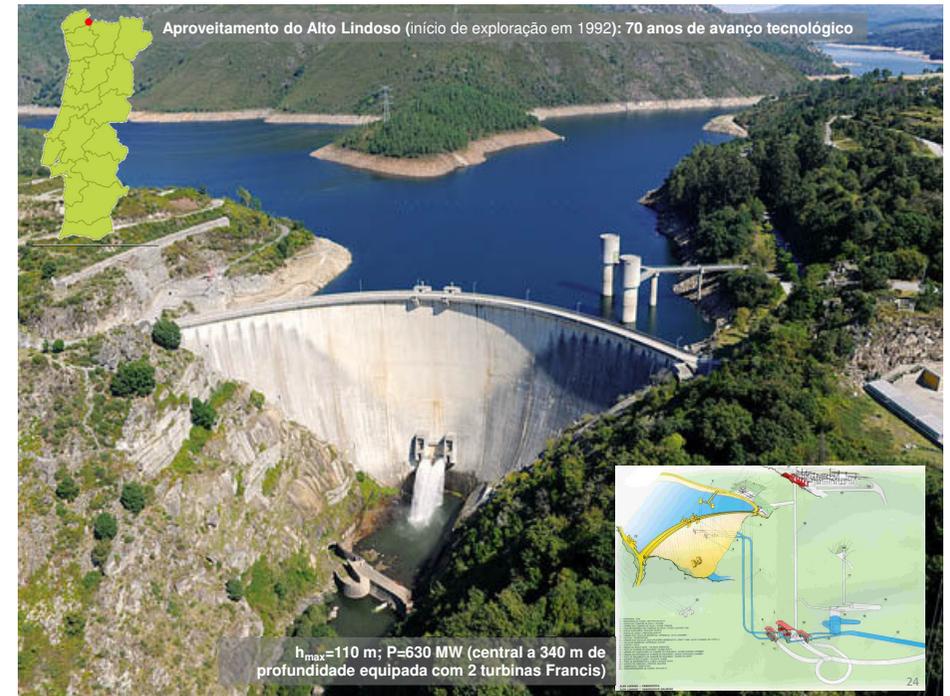
Central do Lindoso

Início da construção do aproveitamento do Alto Lindoso (concluída em 1992).



Central do Lindoso

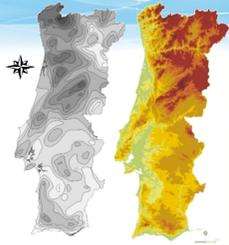
Aproveitamento do Alto Lindoso (início de exploração em 1992): 70 anos de avanço tecnológico



$h_{max}=110$  m;  $P=630$  MW (central a 340 m de profundidade equipada com 2 turbinas Francis)



### Energia hídrica: breve nota histórica



✓ Nos finais das décadas de 1920 e de 1930, a potência instalada em centrais hidroelétricas públicas e privadas, com  $\geq 100$  kW, era de apenas 17 e 25 MW, respetivamente.

✓ ... 1920 ... 1940 ... avulta-se a ideia da necessidade de aproveitar a força motriz da água dos rios para produzir eletricidade, através de sistemas regionais e de centrais hidroelétricas de média dimensão.

hidroelétricas de média dimensão.

✓ ... 1940 ... 1950 ... face à pobreza de Portugal em combustíveis sólidos e líquidos e à convicção de que o aumento da produção de energia hidroelétrica era indispensável enquanto fator de desenvolvimento económico e social... elaboração de numerosos estudos.

✓ ... a partir de 1950 ... construção dos grandes aproveitamentos hidroelétricos alguns dotados de albufeiras com significativas capacidades de regularização. No decurso dessa década, a potência instalada em centrais hidroelétricas subiu de cerca de 150 para 1193 MW; a contribuição de tais centrais para o consumo total de energia de 95%.

### Cascata do Cávado-Rabagão (de montante para jusante)



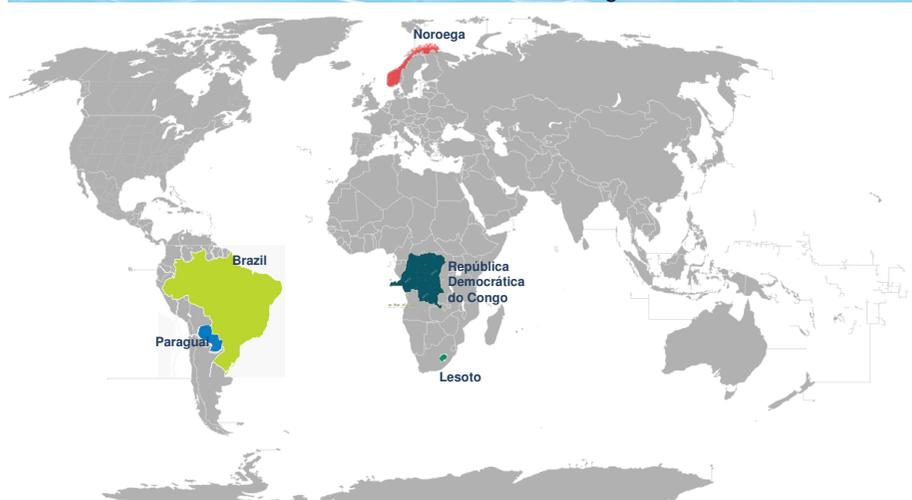
### Cascata do Douro Internacional (de montante para jusante)



### Cascata do Zêzere (de montante para jusante)



### Energia hídrica: breve nota histórica



✓ Nalguns países (...Noruega, o Brasil, Paraguai, República Democrática do Congo, Lesoto, ...) a hidroeletricidade representa a quase totalidade da produção de energia elétrica!



## Etapas do trabalho da UC de Energia Hídrica

1. Atribuição do caso de estudo – **pequeno aproveitamento hidroelétrico, AHE, com exploração a fio-de-água** (curso de água; cotas do açude e da central; carta topográfica à escala 1/25000)
2. Conceção geral/implantação do circuito hidráulico e especificação das principais características físicas (implantação do canal sensivelmente de nível, 10 m acima da cota do talvegue na secção do açude; comprimento do canal; localização da câmara de carga; implantação da conduta e respetivo comprimento; localização da central hidroelétrica, queda bruta)
3. Delimitação da bacia hidrográfica relativa à secção do açude e sua caracterização fisiográfica (área e curva hipsométrica)
4. Caracterização da rede de drenagem a montante da secção do açude (comprimento e perfis longitudinais característicos)
5. Cálculo do tempo de concentração

**PARTE 1 (entrega 26 out)**

## Etapas do trabalho da UC de Energia Hídrica (continuação)

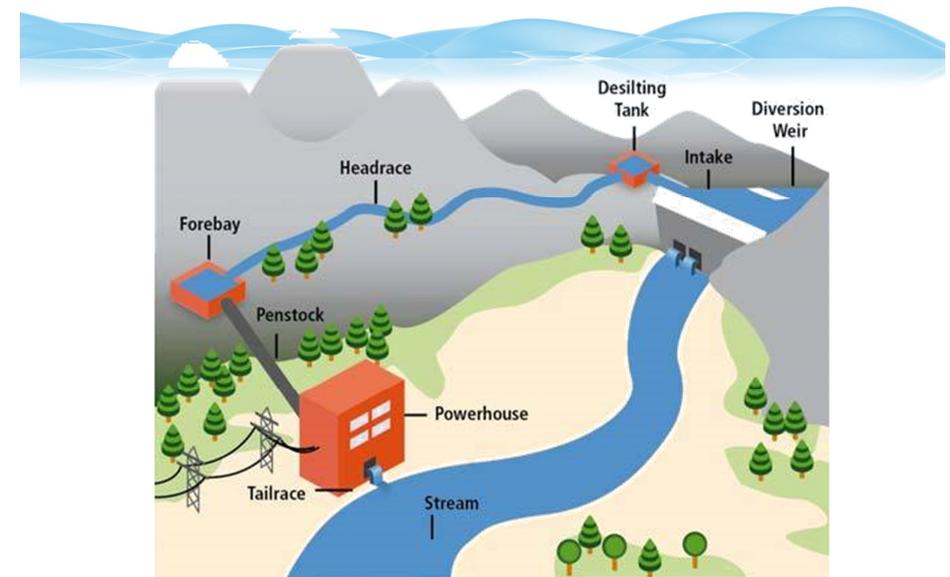
6. Caracterização das precipitações na bacia hidrográfica do açude (identificação de postos udométricos e cálculo das precipitações anuais médias nos mesmos; ponderação espacial da precipitação na bacia hidrográfica do açude por aplicação do método de Thiessen)
7. Caracterização das precipitações intensas causadoras de cheias na bacia hidrográfica da secção do açude mediante identificação e adoção de uma curva Intensidade-duração-frequência
8. Estimativa do escoamento anual médio (expresso em volume e pelo respetivo caudal modular) afluente à secção do açude (consulta de mapas, aplicação da fórmula de Turc e de relações regionais)
9. Seleção de uma estação hidrométrica e recolha de uma séries de caudais médios diários aí registados e cálculo do correspondente volume anual médio e módulo
10. Obtenção dos caudais médios diários afluentes à secção do açude por transposição da série registada na estação hidrométrica para aquela secção

**PARTE 2 (entrega 14 nov)**

## Etapas do trabalho da UC de Energia Hídrica(continuação)

11. Estimativa do caudal de ponta da cheia centenária na secção do açude
12. Definição do regime de caudais ecológicos mensais a reservar no trecho interferido do curso de água
13. Fixação do caudal de dimensionamento e cálculo de energia anual média produzida por simulação da exploração diária do pequeno aproveitamento hidroelétrico
14. Cálculo da potência instalada e escolha do tipo de turbina
15. Dimensionamento preliminar do açude: nível de retenção normal; comprimento da soleira descarregadora e nível de máxima cheia
16. Dimensionamento do canal de adoção (definição da secção transversal)
17. Dimensionamento da conduta forçada (definição do diâmetro)
18. Determinação de custos com base nos principais volumes de obra e componentes
19. Análise da viabilidade económica do pequeno aproveitamento hidroelétrico

**PARTE 3 (entrega 7 dez)**



<https://www.youtube.com/watch?v=q8HmRLCgDAI>

RENEWABLES 2020  
GLOBAL STATUS REPORT

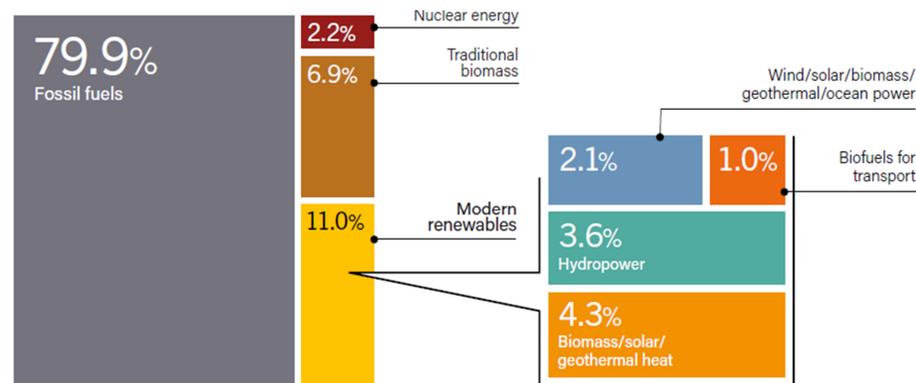


Breve panorama global

Renewables 2020 Global Status Report (Paris: REN21 Secretariat).

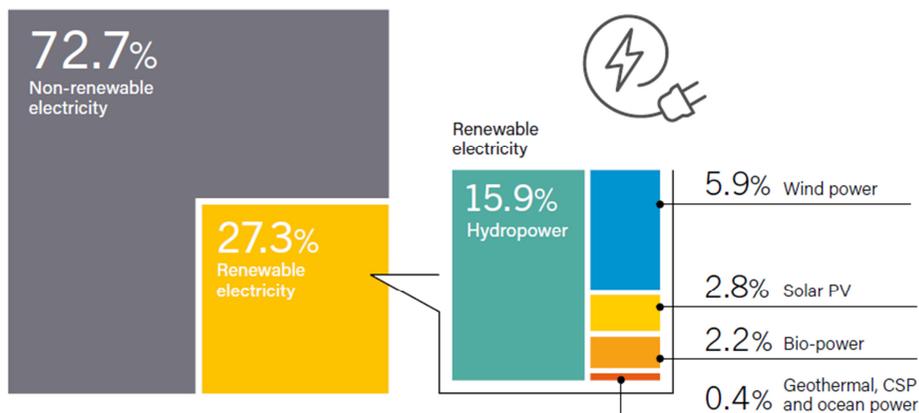
Contribuição estimada (%) das energias renováveis em termos de consumo final global de energia (... e não de eletricidade ... aquecimento, arrefecimento, transportes ...)

(final de 2018) – pág. 32



Final energy consumption

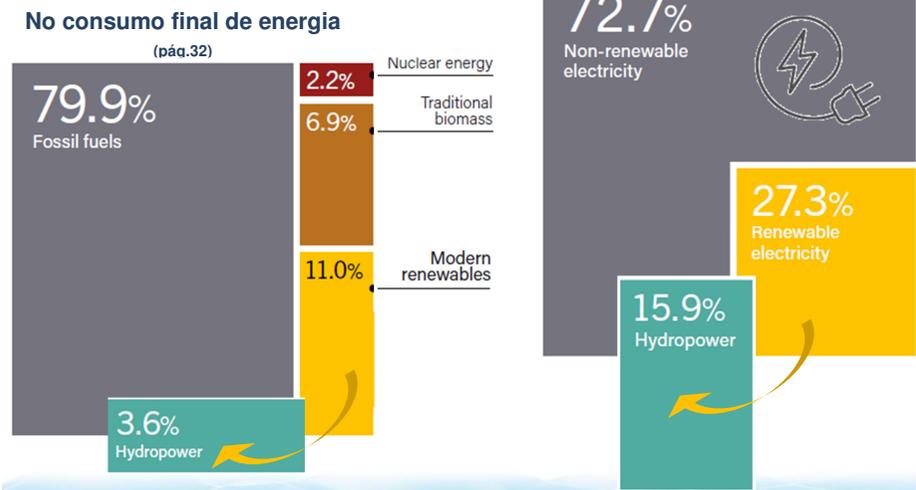
Contribuição estimada (%) das energias renováveis em termos de produção global de energia elétrica (final de 2018) – pág. 48



Total electricity production

Contribuição estimada (%) das energias renováveis (final de 2018)

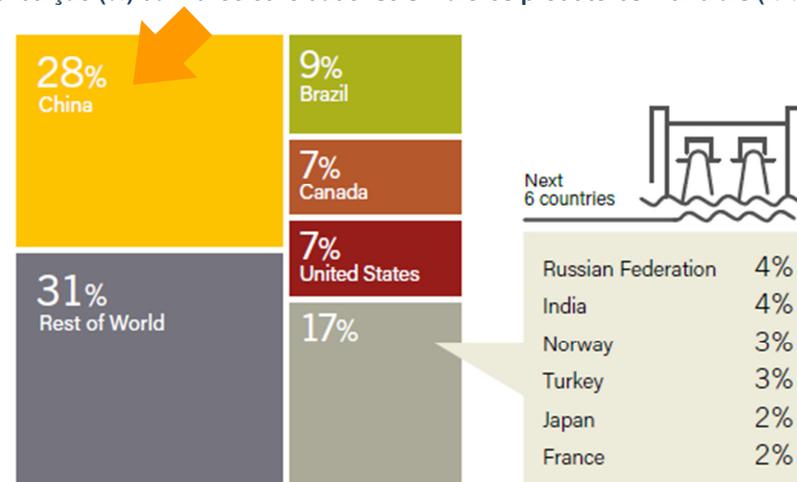
Na produção global de eletricidade (pág.48)





Áreas com consumos de eletricidade mais elevados, utilizados como indicador de maior densidade populacional (Conselho Nacional da Água, CNA, <https://conselhonacionaldaagua.weebly.com/aacutegua-no-planeta-terra.html>)

Distribuição (%) da hidroeletricidade: seis maiores produtores mundiais (2019, pág 98)



Barragem de *Three Gorges*, no rio Yangtze, China – maior potência instalada do mundo: 22 500 MW (bacia hidrográfica de 1 000 000 km<sup>2</sup>, escoamento anual médio de 14 300 m<sup>3</sup>/s; altura da barragem de 181 m; 32 turbinas instaladas cada turbinando entre 600 e 950 m<sup>3</sup>/s, consoante a queda; produção anual média de 88.8 TWh = 88.8 x 10<sup>9</sup> kWh)



Barragem de Itaipu (Brasil/Paraguai, rio Paraná, P = 14 000 MW (bacia hidrográfica de 1 350 000 km<sup>2</sup>; altura da barragem de 196 m; 20 turbinas instaladas; produção anual média de 89.5 TWh = 89.5 x 10<sup>9</sup> kWh)

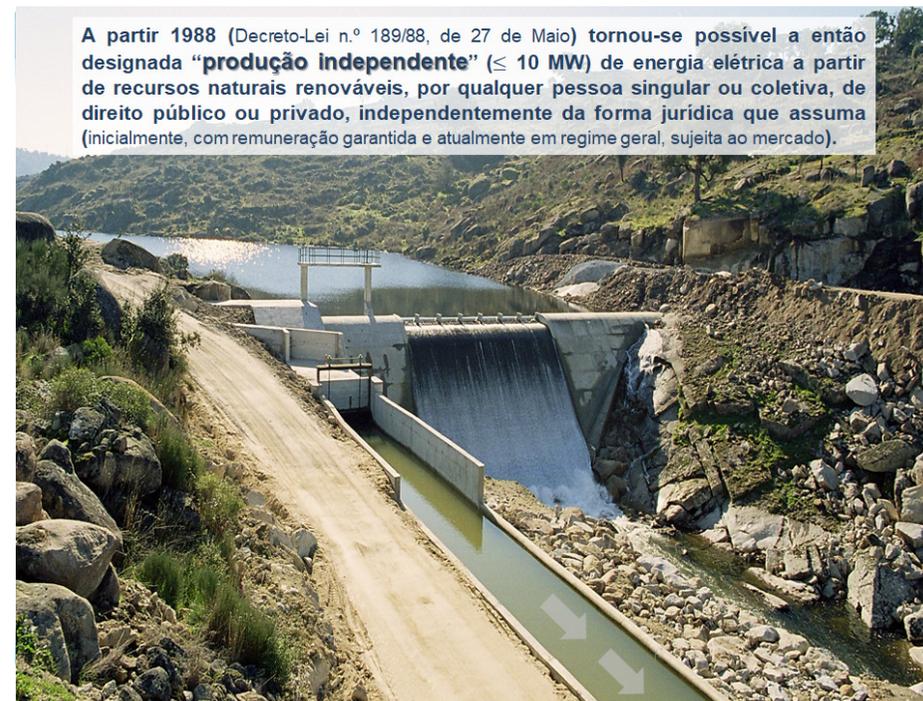


Identificação	Bacia hidrográfica	Potência (MW)
Venda Nova III	Rabagão	736
Alto-Lindoso	Lima	630
Miranda do Douro	Douro	369
Agueira	Mondego	336
Foz do Tua	Douro	270
Alauva	Guadiana	260
Picote	Douro	246
Fridão	Douro	237
Carrapicho	Douro	201
Baixão	Douro	191
Bemposta	Douro	191
Pocinho	Douro	186
Régua	Douro	186
Castelo do Bode	Tejo	159
Torrão	Douro	140
Fratel	Tejo	132
Vilarinho das Furnas	Cávado	125
Crestuma-Lever	Douro	117
Cabril	Tejo	108
Venda Nova	Rabagão	90
Ribeiradio - Ermida	Vouga	82
Belver	Tejo	81
Alto Rabagão	Cávado	68

Identificação	Bacia hidrográfica	Potência (MW)
Vilar-Tabuaço	Távora	64
Canieada	Cávado	62
Vilar Tabuaço	Távora	58
Paradela	Cávado	54
Bouçã	Tejo	44
Lindoso	Lima	44
Salamonde	Cávado	42
Caldeirão	Mondego	40
Santa Luzia	Tejo	26
Raiva	Mondego	24
Vila Cova	Alva	23
Fontes de Juncal	Alva	20
Desterro	Alva	13
Ermal	Ave	11
Pedrógão	Guadiana	10
Sabugueiro II	Cávado	10
Senhora de Monforte	Côa	10
Bouçais-Sonim	Rabaçal	10
Sordo	Sordo	10

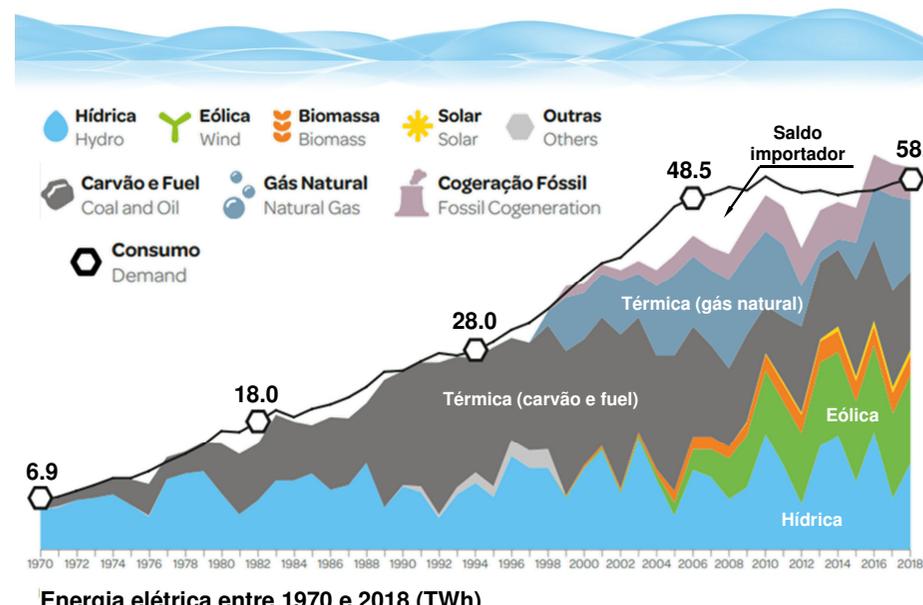
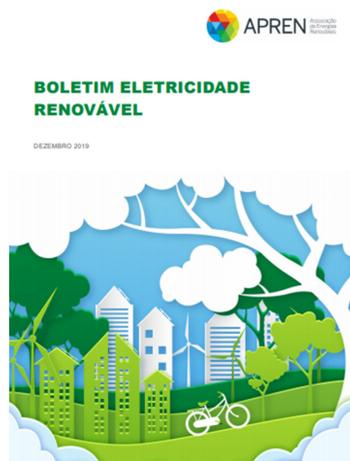
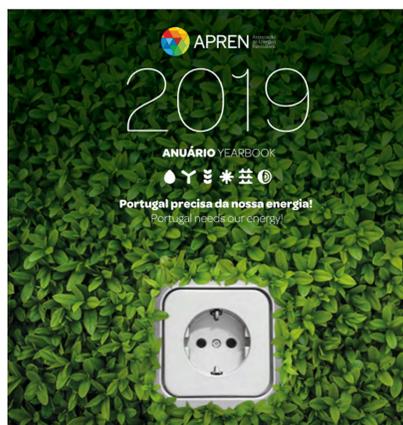
17 MW final de década de 1920 → 25 MW final da década de 1930 → 1193 MW fim da década de 1950 → atualmente, cerca de 6 800 MW

46 centrais hidroelétricas com  $P \geq 10$  MW: aprox. 6040 MW (... 22 500 ou 14 000 MW!!!) 41



## As energia renováveis. O papel da hídrica

APREN - Associação Portuguesa de Energias Renováveis



Energia elétrica entre 1970 e 2018 (TWh)

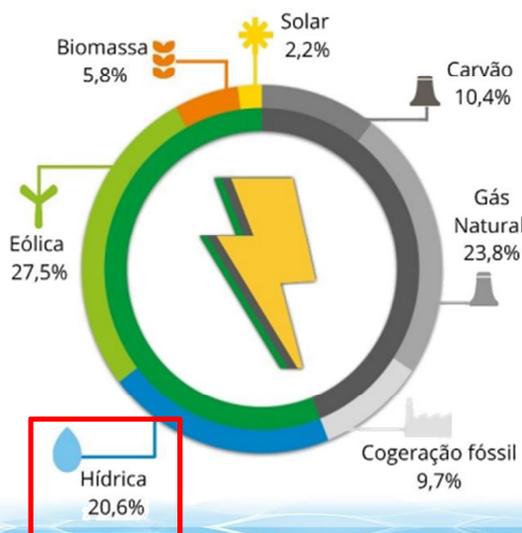
## Valores acumulados de janeiro a dezembro 2019

27,3 TWh Renovável - 56,0%  
20,2 TWh Fóssil - 44,0%

10,4 Mt de emissões  
Valor das licenças de CO<sub>2</sub>:  
24,8 €/t

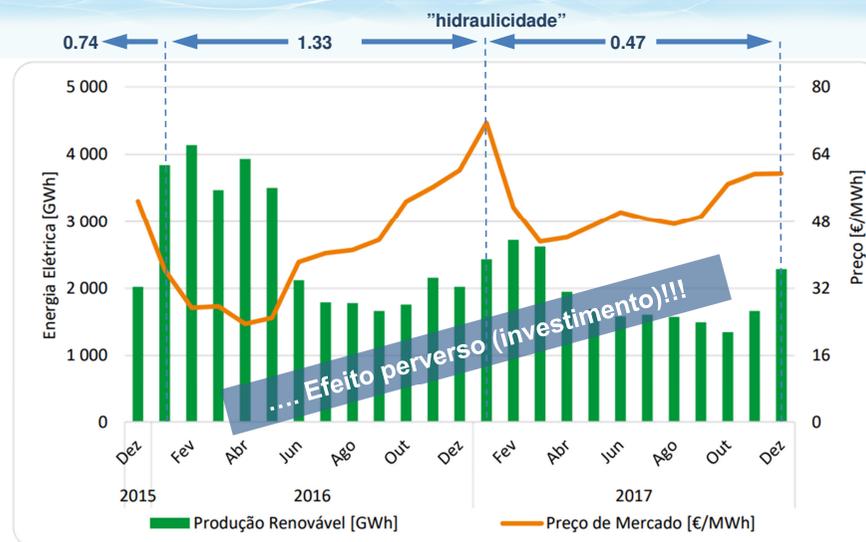
Preço MIBEL  
47,9 €/MWh

3 640 GWh exportados  
7 035 GWh importados



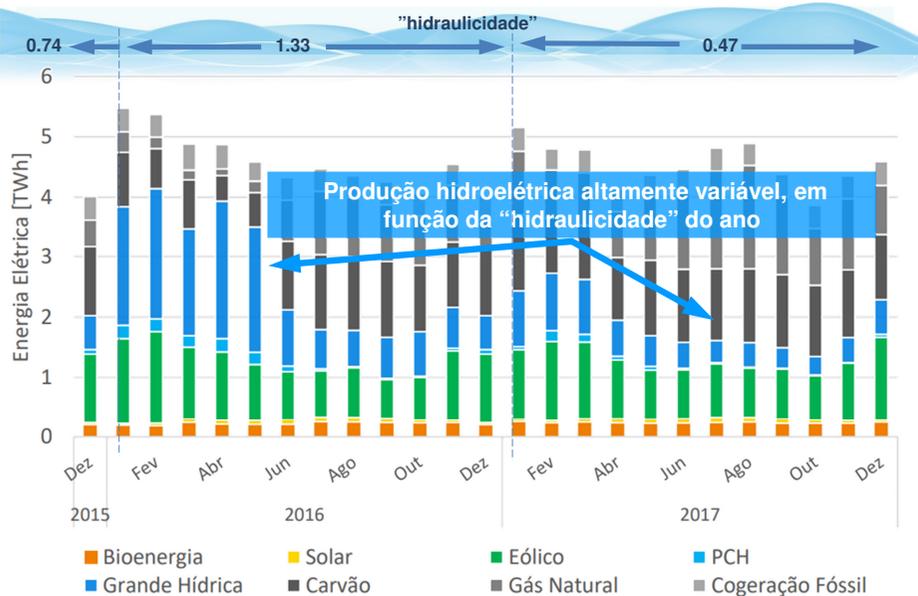
Energia Hídrica, FC/UL, Maria Manuela Portela, set.2020

## As energia renováveis. O papel da hídrica



Dependência entre o preço de mercado e a produção renovável entre dezembro de 2015 e dezembro de 2017

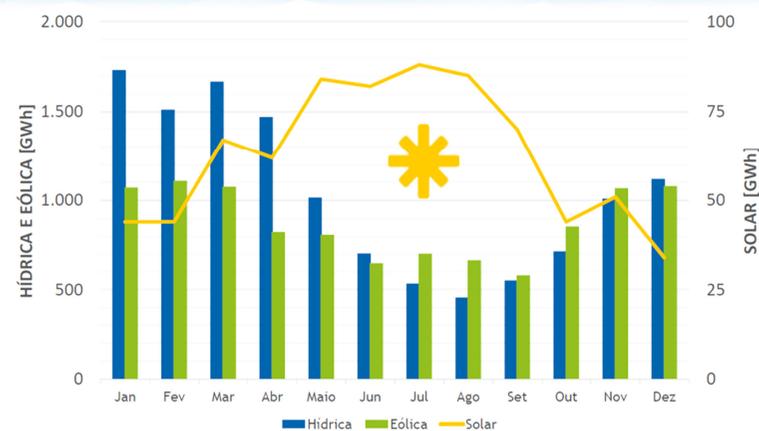
Energia Hídrica, FC/UL, Maria Manuela Portela, set.2020



Evolução, entre dezembro de 2015 e dezembro de 2017, da produção de eletricidade por fonte

Energia Hídrica, FC/UL, Maria Manuela Portela, set.2020

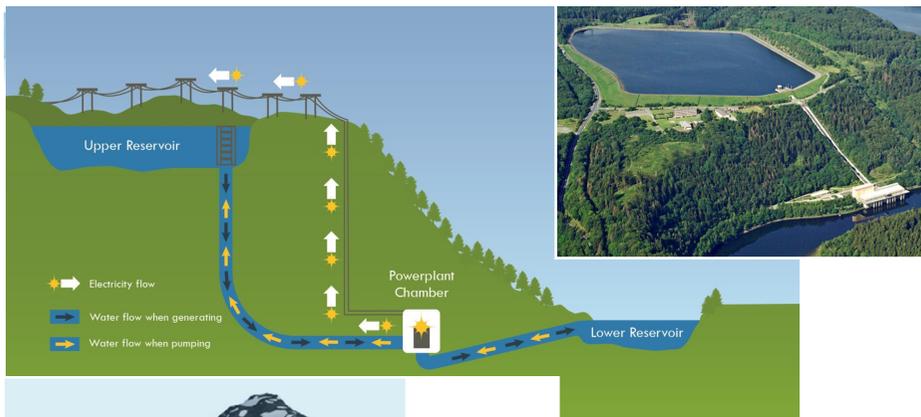
## As energia renováveis. O papel da hídrica



Fonte: REN, Análise APREN

Complementaridade de geração de energia elétrica em centrais hidroelétricas e eólicas (média 2010-2015), por um lado, e parques solares (valores reais 2015), por outro (adaptado de entre, entre dezembro de 2015 e dezembro de 2017, APREN, Associação Portuguesa das Energias Renováveis)

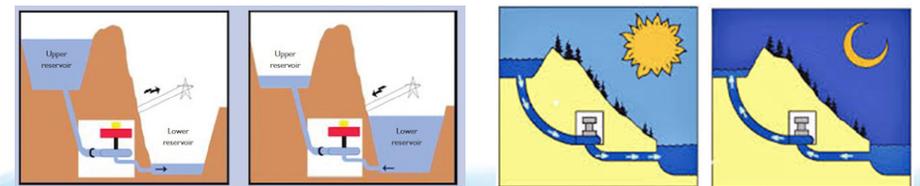
Energia Hídrica, FC/UL, Maria Manuela Portela, set.2020



**Centrais reversíveis (turbino - bombas/pumped storage systems) tirando partido de energia remanescente e/ou de condições do mercado.**  
**Para além das albufeiras, uma forma de armazenar energia elétrica**

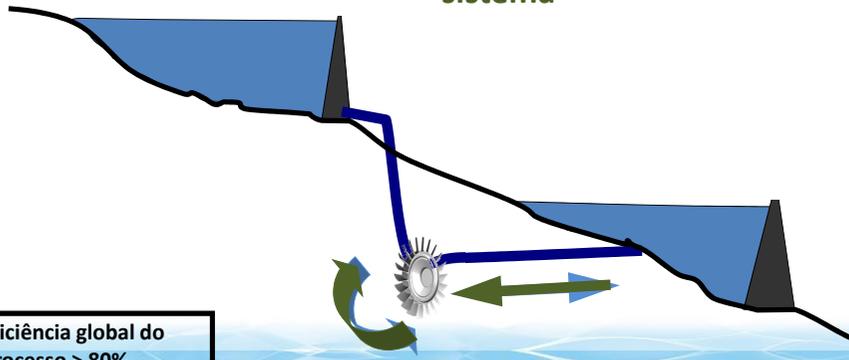
## Centrais reversíveis/Pumped storage systems

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).

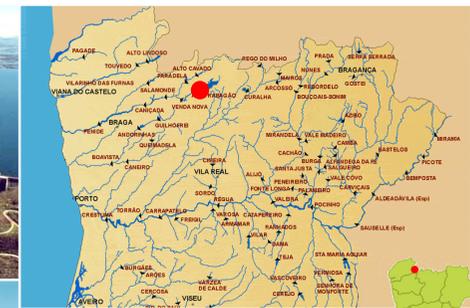


**Funcionamento como turbina, utilizando a água armazenada no reservatório superior para produzir electricidade** (horas de ponta e cheias)

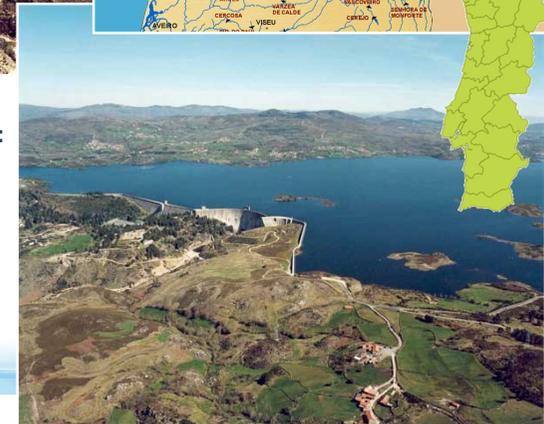
**Funcionamento como bomba, transferindo água do reservatório inferior superior para o superior** (horas de vazio e de super vazio **com excesso de electricidade no sistema**)

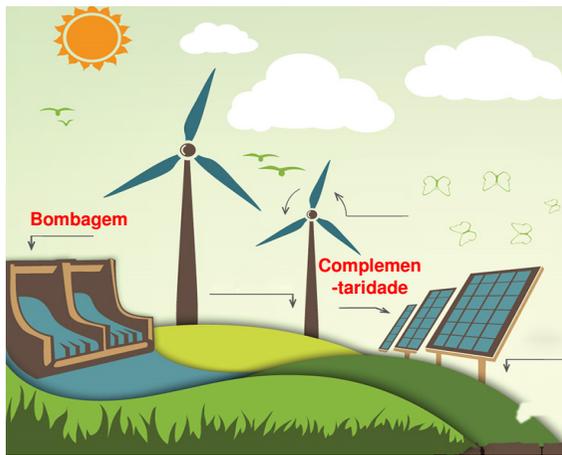


**Eficiência global do processo > 80%**

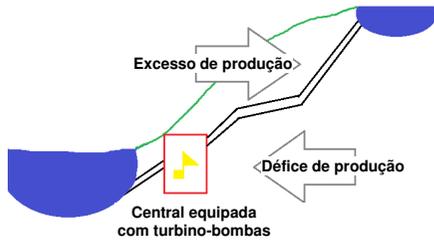


**1ª central reversível em Portugal: central do aproveitamento hidroelétrico do Alto Rabagão (falso reversível, turbina Francis com aprox. 37 MW e bomba com 18 MW – projeto de 1957 e concluída em 1964).**





O papel da hídrica

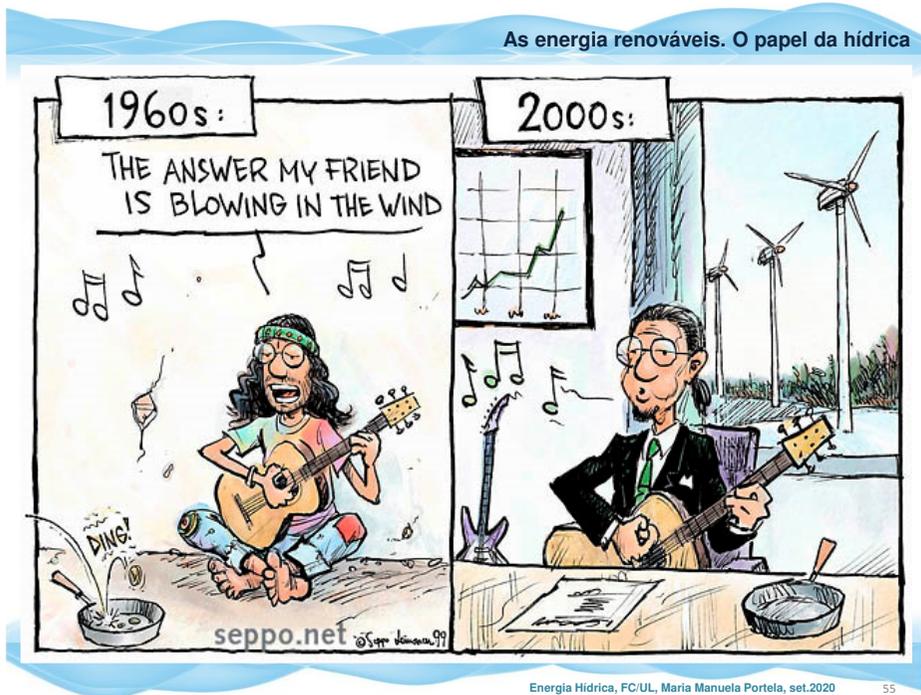


As energia renováveis. O papel da hídrica



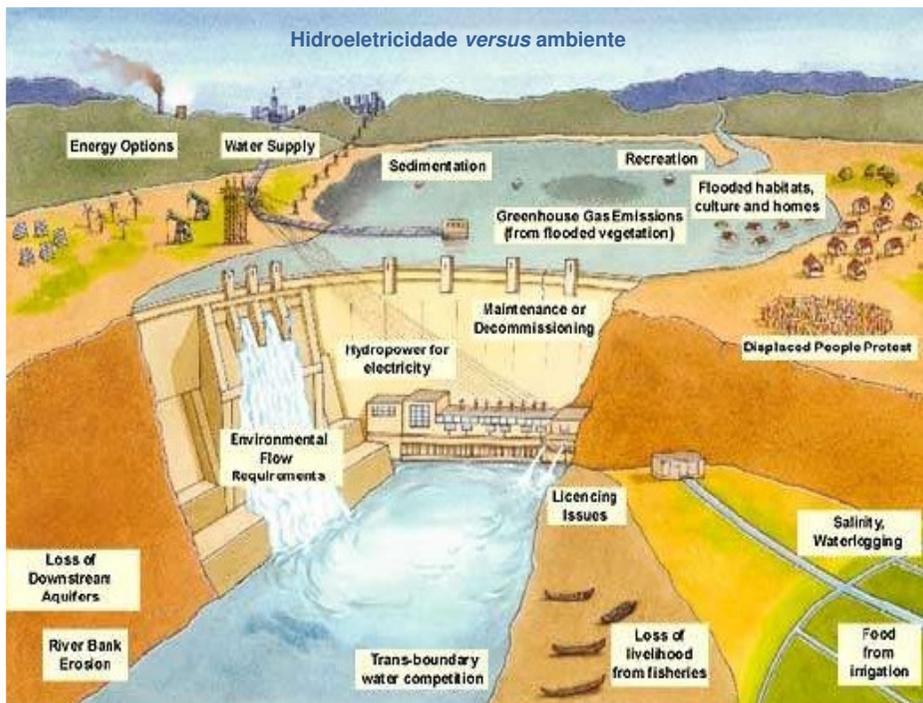
A energia eólica deverá ter um papel fundamental no "armazenamento de energia" sob a forma de água em albufeiras.

Sistemas de previsão dos recursos e dos pedidos mais rigorosos, tecnologias de controlo e de operação mais eficientes



As energia renováveis. O papel da hídrica

- "Blowin' in the Wind" – 1962 (single) e 1963 (album The Freewheelin')
- Prémio Nobel da literatura, 2016



Alguns impactes positivos

✓ Ambientais

- Ausência de emissões de GEE (1 MW termoelétrico ≡ emissão anual de 1800 t de CO<sub>2</sub> → recuperáveis por 320 ha de floresta) .
- Diminuição do risco inerente ao transporte marítimo e terrestre dos combustíveis fósseis utilizados em alternativa .
- Inexistência de resíduos e de efeitos poluentes.



✓ Económico-energéticos

- Redução da dependência energética exterior, por utilização de recursos naturais endógenos (Portugal importa 84% dos combustíveis de que necessita).
- Eliminação/redução dos custos devidos a emissões excedentárias de GEE.

Alguns impactes positivos

✓ Económico-energéticos (cont.)

- Grande fiabilidade, estabilidade e flexibilidade de exploração (rapidez de resposta).
- Constituição de reserva operacional de energia, ampliável por bombagem.
- Emprego de tecnologias bem conhecidas (desde fins do séc. XIX), seguras e testadas.



✓ Sociais

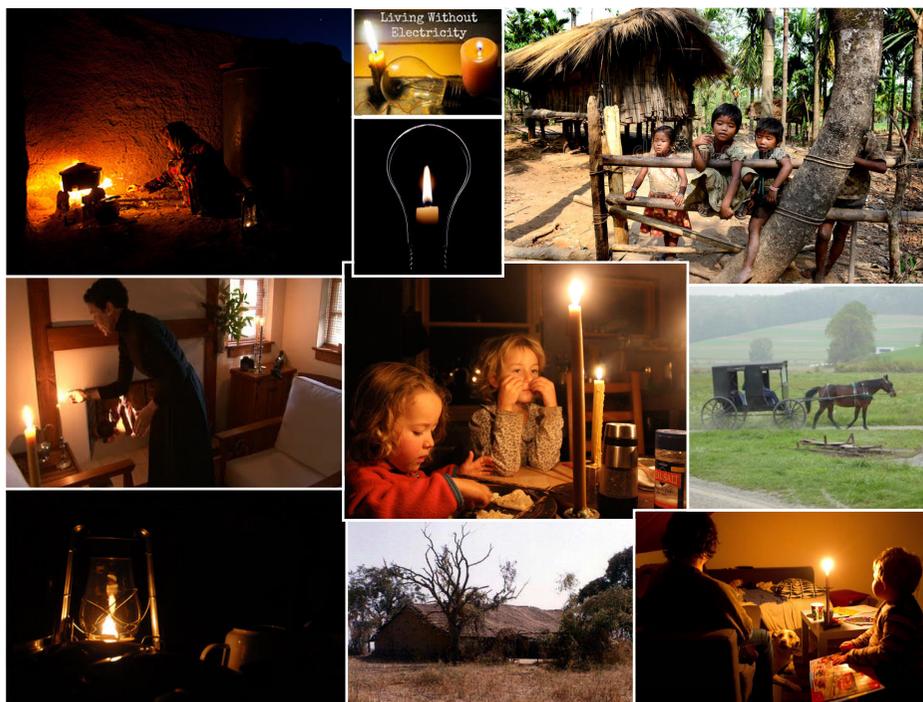
- Factor de desenvolvimento harmónico e disseminado das regiões e de ordenamento do território e da paisagem.
- Constituição de reservas estratégicas de água, utilizáveis para outras finalidades consuntivas mas também não (controlo de cheias, reserva estratégica para secas, laser e turismo).

Alguns impactos negativos

Impactes	Causa	Formas de mitigação
❖ Redução da extensão do troço fluvial	❖ Criação de uma albufeira	❖ Albufeiras de pequena dimensão; exploração a fio-de-água ou com baixo índice de regularização
❖ Efeito de barreira	❖ Implantação da barragem	❖ Sistemas de transposição para fauna e de passagem dos caudais sólidos
❖ Modificação do regime de caudais líquidos e sólidos	❖ Derivação de água para um circuito hidráulico	❖ Manutenção dos caudais/regimes ecológicos
❖ Alteração paisagística	❖ Inserção de estruturas estranhas à paisagem	❖ integração paisagística das estruturas ("enterramento", revestimentos em pedra/rugosos)
❖ Destruição de habitats e de ecossistemas aquáticos e ribeirinhos	❖ Implantação das infra-estruturas	❖ Redução das áreas de intervenção; reposição dos habitats; reconstituição das galerias ribeirinhas

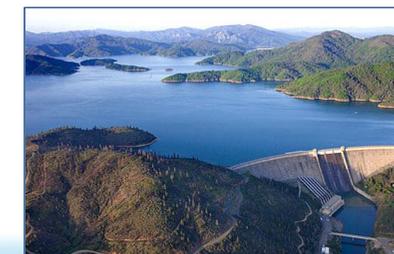
## Alguns impactos negativos

Impactes	Causa	Formas de mitigação
<ul style="list-style-type: none"> <li>Alteração ambiental nas áreas de estaleiro e nas frentes de trabalho</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realização das obras e montagens na fase de construção.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Implantação, utilização, desativação e recuperação cuidadas</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Alteração ambiental nas áreas de acesso e circulação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ações de implantação na fase de construção.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilização de caminhos existentes; escavações e aterros criteriosos.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Existência de materiais sobrantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Operações de escavação e aterro na fase de construção.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recolha de resíduos; escolha, selagem e integração ambiental de escombrelas.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Presença humana</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Construção, operação e manutenção do aproveitamento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Concertação das ações com os períodos de maior sensibilidade para a fauna.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento dos níveis de ruído</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Funcionamento do grupo turbina-gerador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Isolamento conveniente do edifício da central e da restituição; plantação de cortinas vegetais.</li> </ul>



O que é um aproveitamento hidroelétrico?

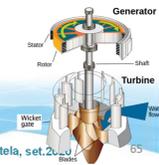
É um sistema que usa água para produzir eletricidade



## O que é um aproveitamento hidroelétrico?

Para tal é preciso:

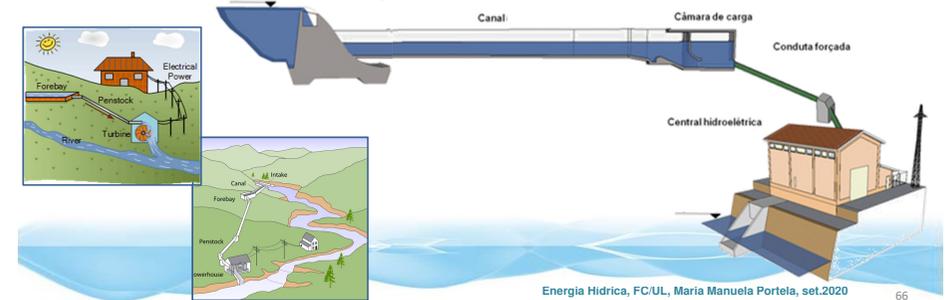
- Água
- Diferença de nível (desnível topográfico)
- Um sistema que, a partir da energia de posição (energia gravítica) e da velocidade da água (canais e/ou condutas), faz rodar uma turbina
- Que por sua vez faz rodar a roda de um gerador (alternador) que gera a eletricidade



Energia Hídrica, FC/UL, Maria Manuela Portela, set.2020 65

## 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
  - transformadores



Energia Hídrica, FC/UL, Maria Manuela Portela, set.2020 66

**Barragem 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:

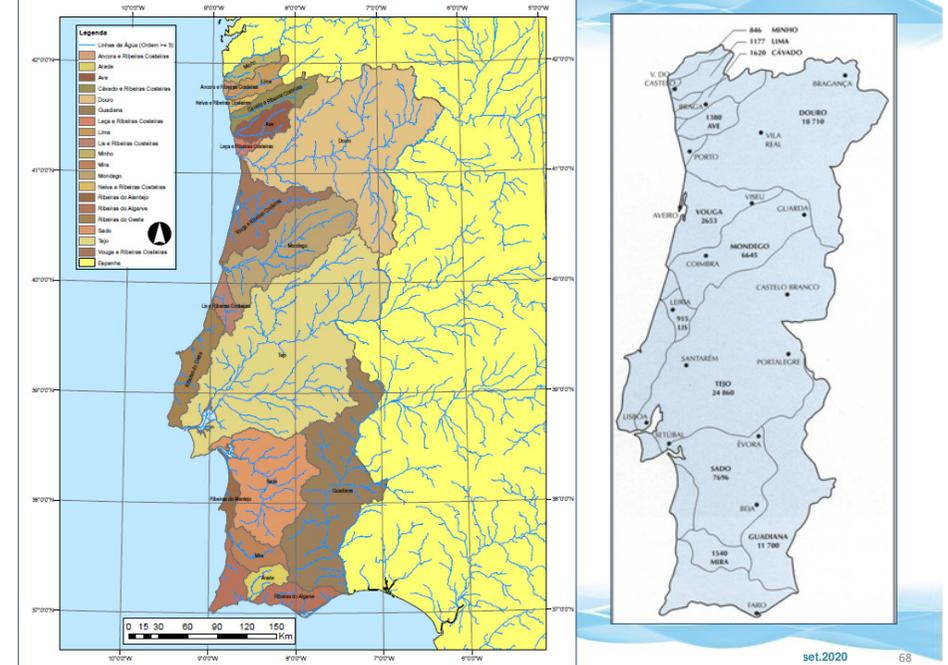
- Betão (gravidade, arco, arco-gravidade, abóbadas múltiplas, contrafortes)
- Material incoerente (terra, enrocamento)

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



set.2020 68



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

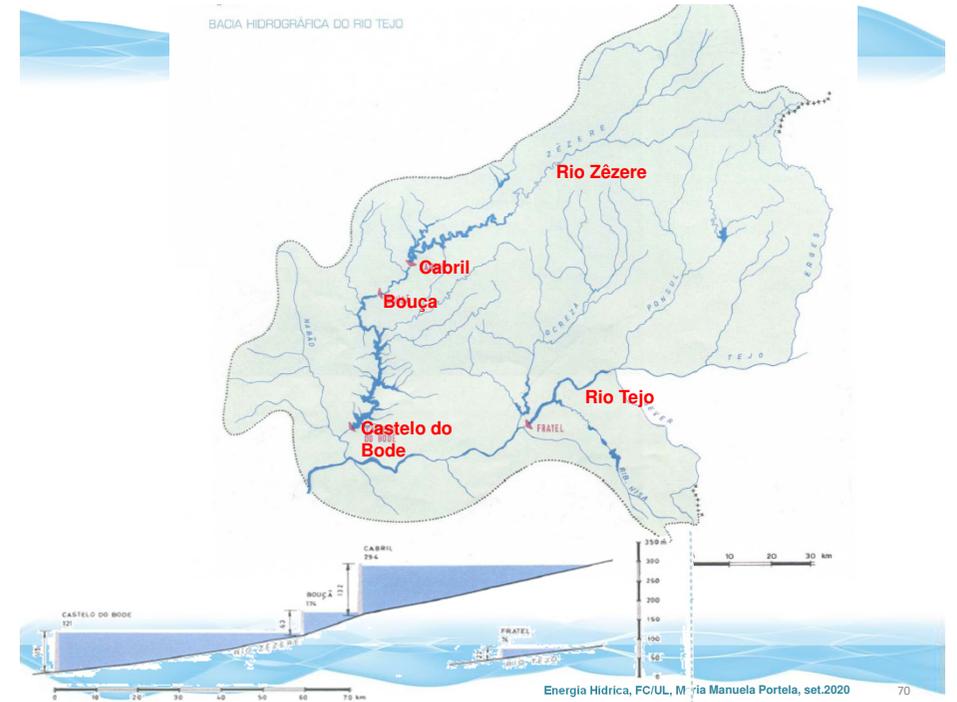


Barragem do Cabril



Castelo do Bode (1951; Zêzere na bh Tejo)

69



Pracana (1959; Ocreza na bh Tejo)



Venda Nova, (1951; Rabagão na bh Cávado)

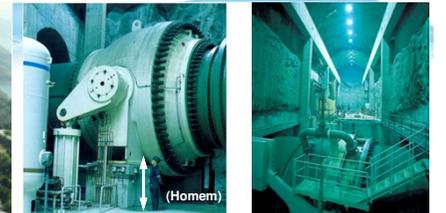


Agueira (1981; Mondego)

71



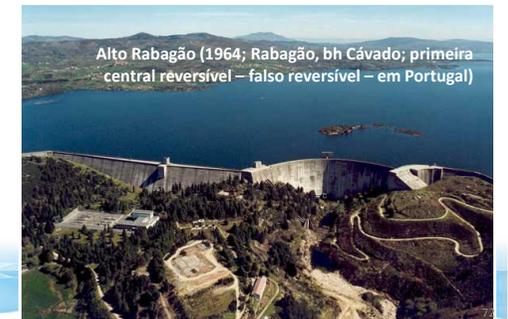
Alto Lindoso (1992; Lima)



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; Ct=4150 hm<sup>3</sup>; C=3150 hm<sup>3</sup>)



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



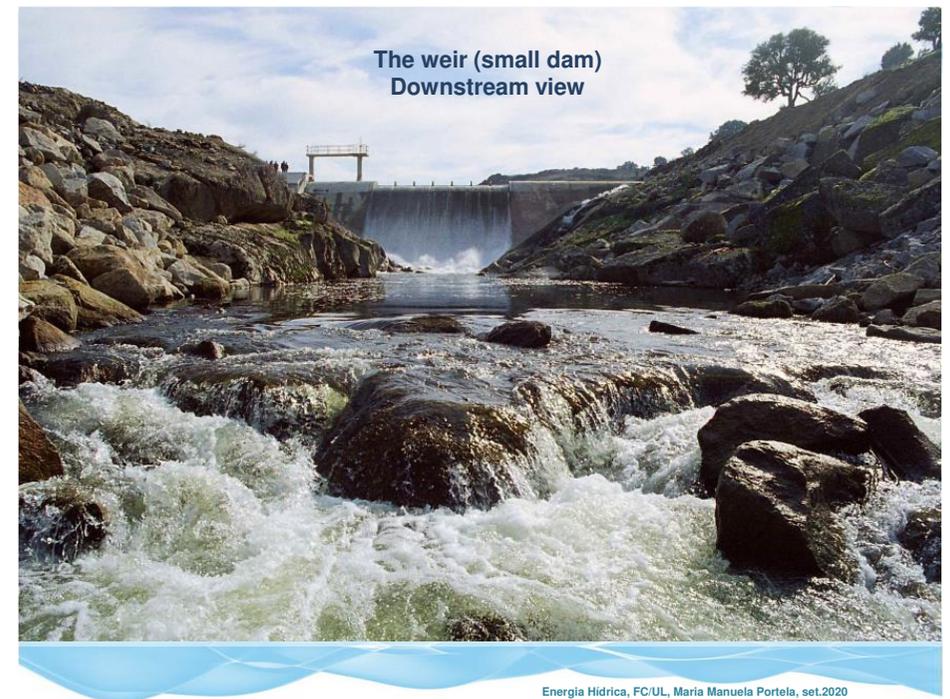
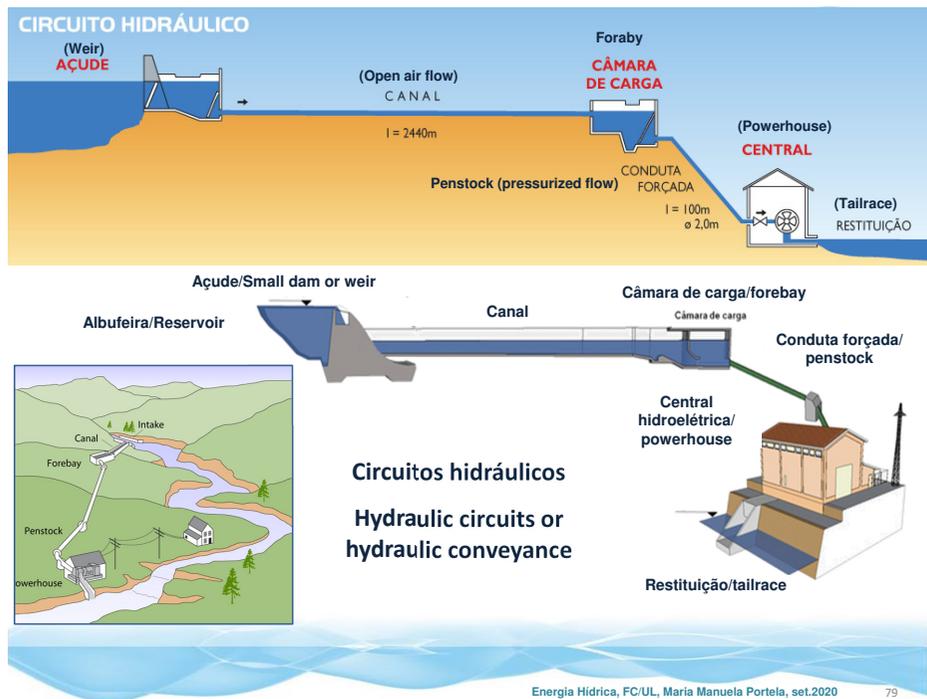
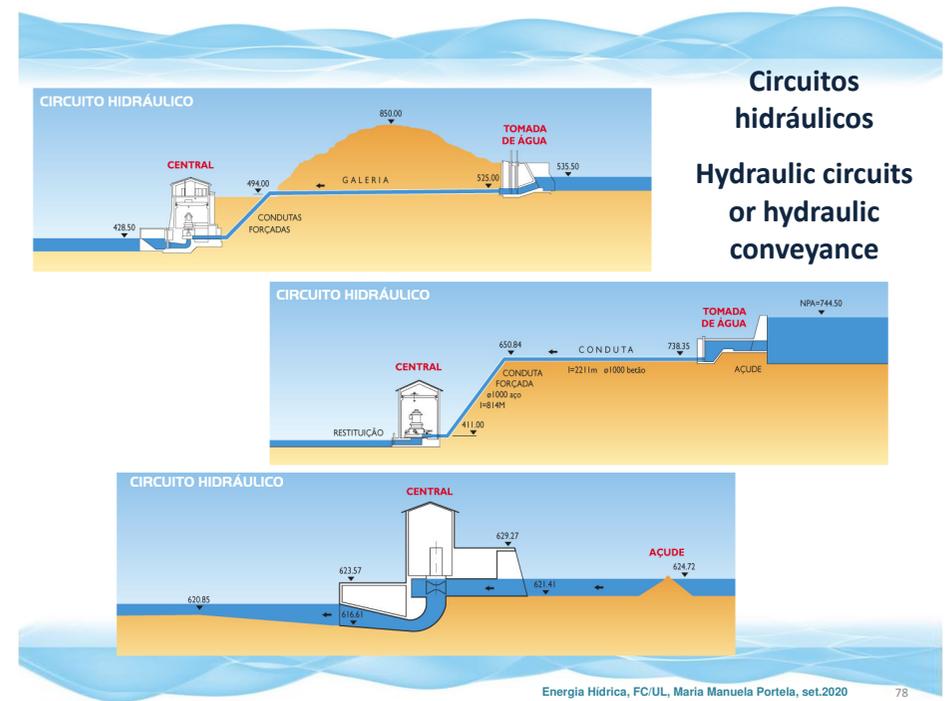
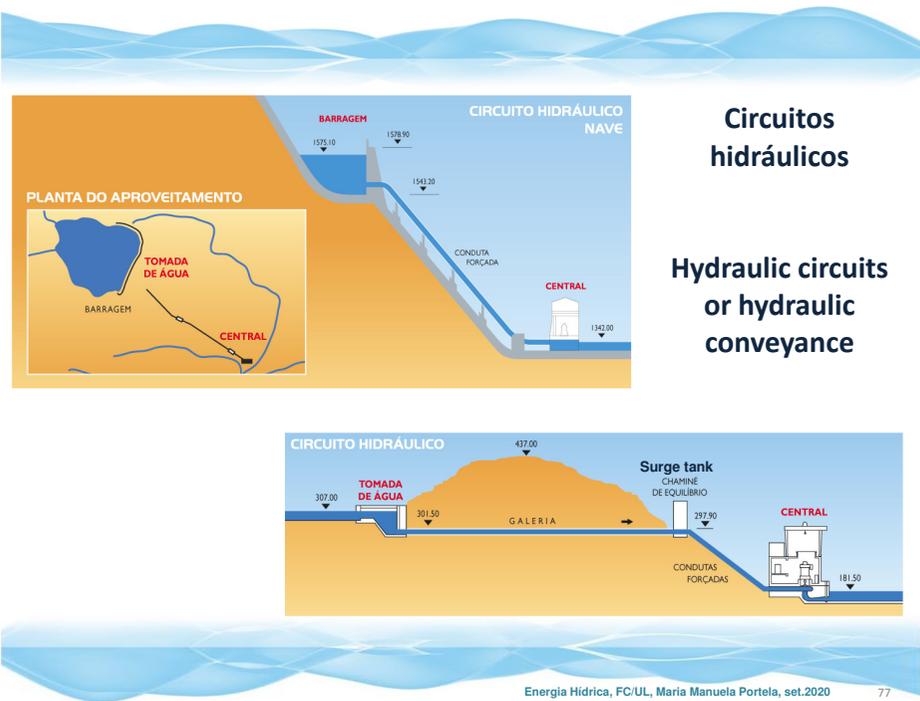
Paradela (1956; Cávado; na época, a maior barragem de enrocamento do mundo; h=112 m)



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

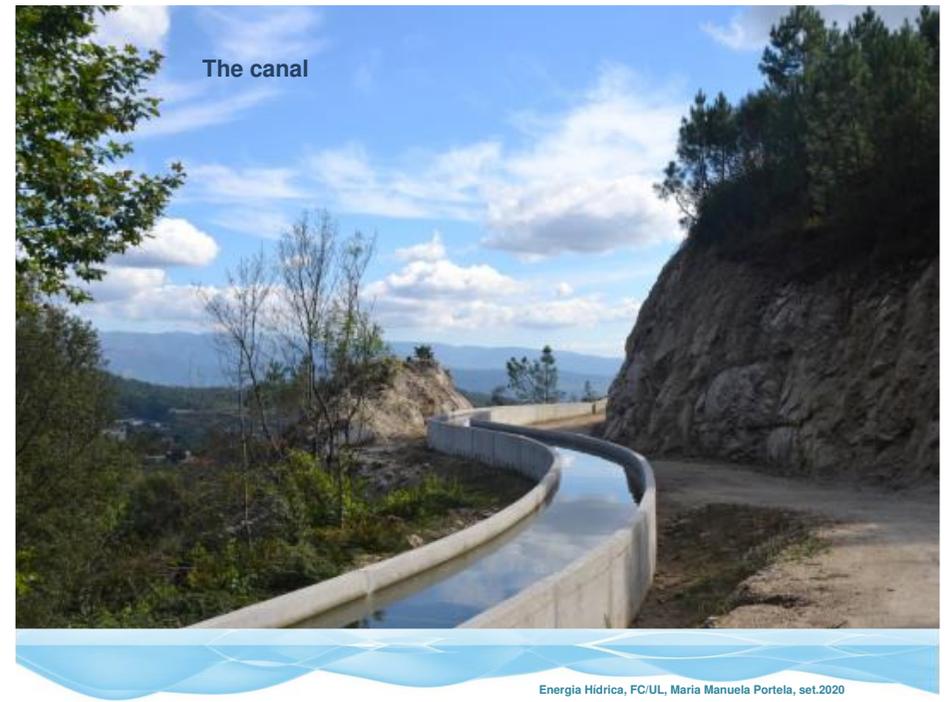
... exploração a  
fio-de-água ...







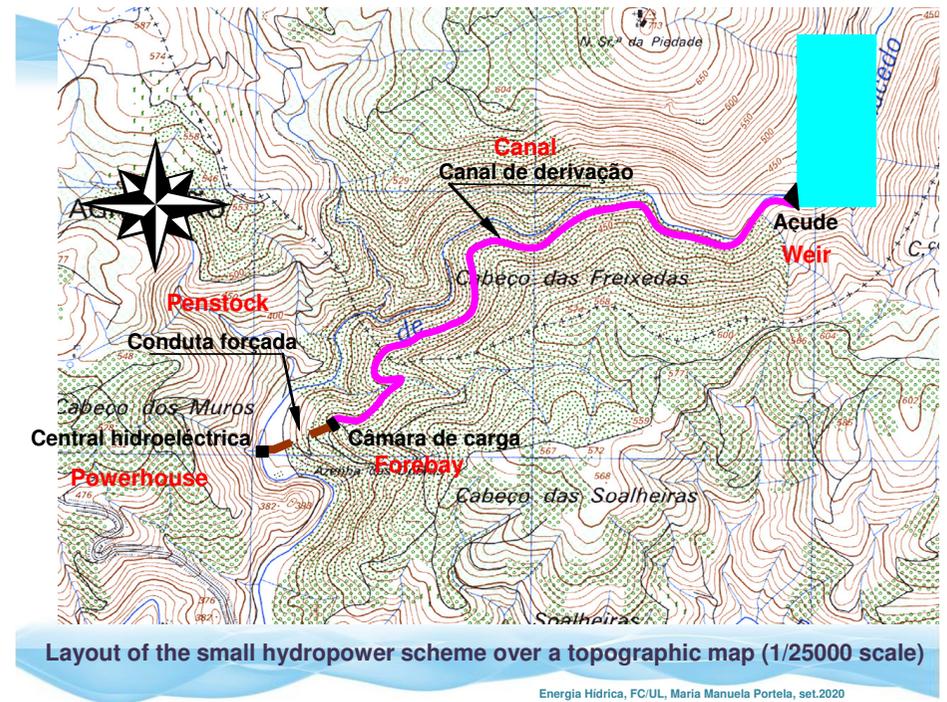
The canal (view from upstream to downstream, from the weir)



The canal

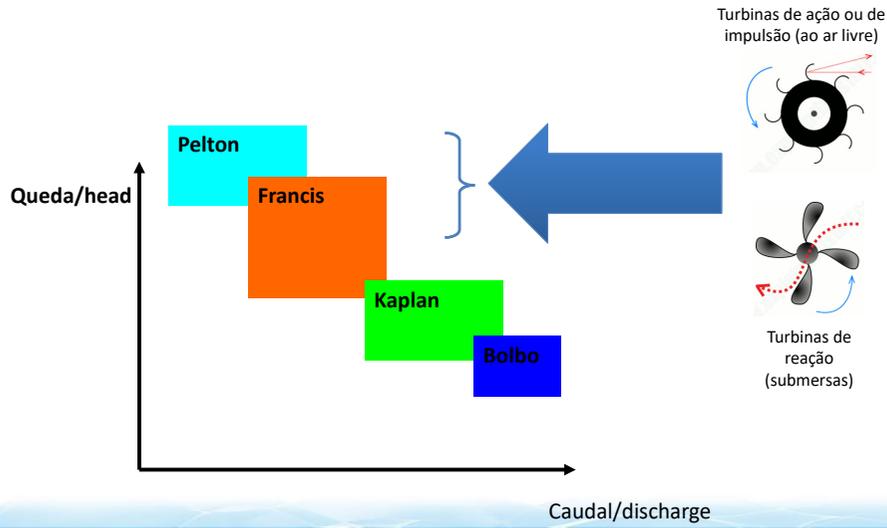


The penstock and the powerhouse

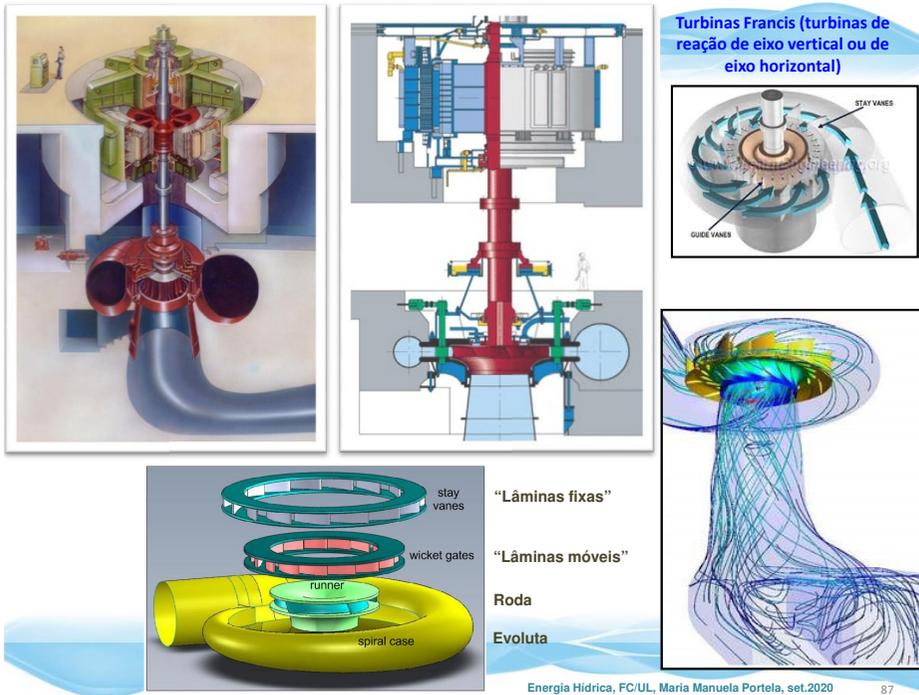


Layout of the small hydropower scheme over a topographic map (1/25000 scale)

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



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

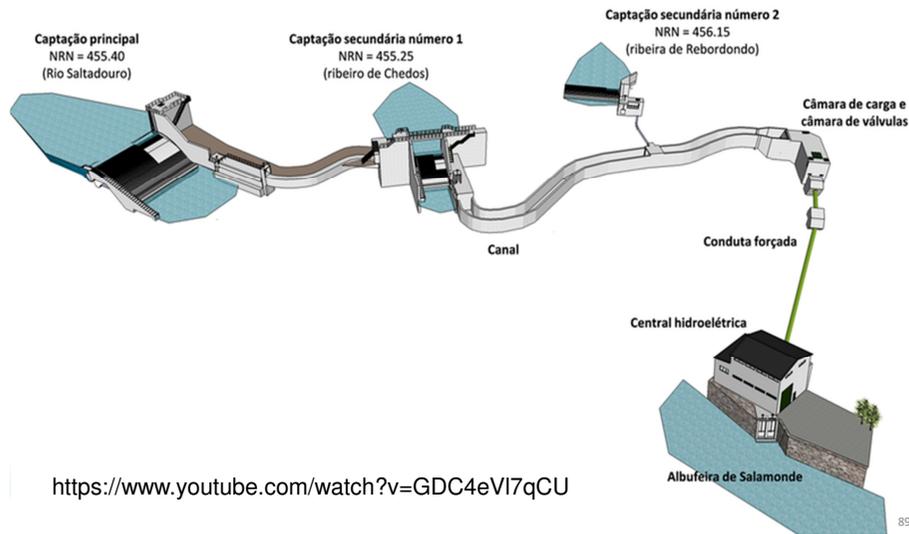


Turbinas Francis (turbinas de reação de eixo vertical ou de eixo horizontal)



Turbinas Francis

## Aproveitamento Hidroelétrico de Ruivães (bh Cávado)



<https://www.youtube.com/watch?v=GDC4eVI7qCU>

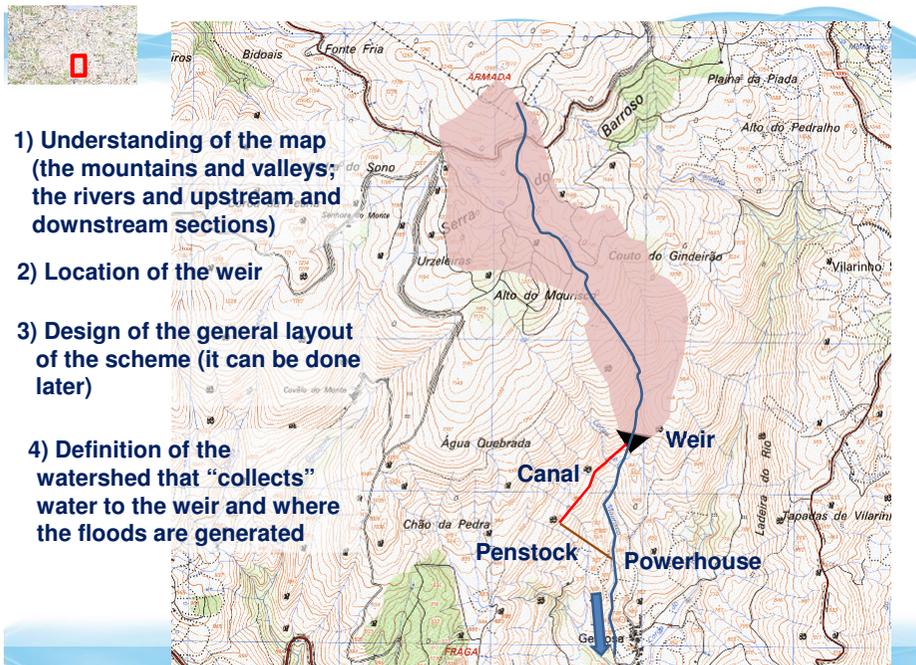
89



Topographic map and the coordinates of the location of the weir

Energia Hídrica, FC/UL, Maria Manuela Portela, set.2020

90



- 1) Understanding of the map (the mountains and valleys; the rivers and upstream and downstream sections)
- 2) Location of the weir
- 3) Design of the general layout of the scheme (it can be done later)
- 4) Definition of the watershed that "collects" water to the weir and where the floods are generated

Energia Hídrica, FC/UL, Maria Manuela Portela, set.2020

91