



# Seminário Visitas Técnicas Portugal

---

Sergio Bajay (MCPAR)  
Mirian Adelaide (HEDAIDI)

12 de março de 2020



# Sumário

---

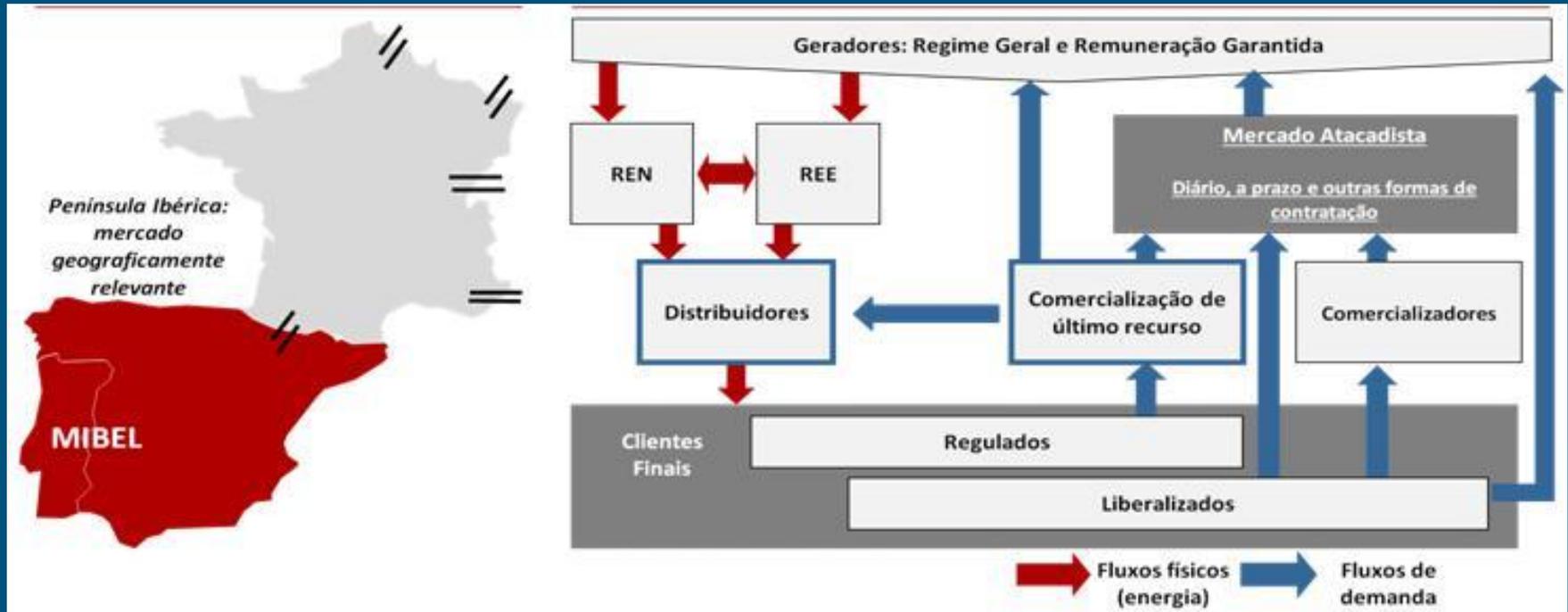
- As visitas técnicas
- O mercado ibérico de energia elétrica
- O parque gerador português
- As usinas hidrelétricas reversíveis em Portugal
- Tipologia das UHRs de Portugal
- Operação do sistema elétrico português
- Remuneração das UHRs em Portugal
- Planos para o futuro
- A UHR de Baixo Sabor
- A UHR de Foz Tua
- A UHE de Vendas Novas III
- Considerações finais

# As visitas técnicas

— 09 a 13 de dezembro de 2019

- Reuniões técnicas com as principais entidades do Setor Elétrico Português
  - EDP Portugal;
  - REN;
  - ERSE; e
  - INESCTEC;
- Visitas às seguintes usinas hidrelétricas reversíveis (UHRs):
  - Foz Tua;
  - Baixo Sabor; e
  - Vendas Novas III / Frades II

# Agentes, fluxos físicos e fluxos de demanda do Mercado Ibérico de Eletricidade (MIBEL)



# Funcionamento do Mercado Ibérico de Eletricidade



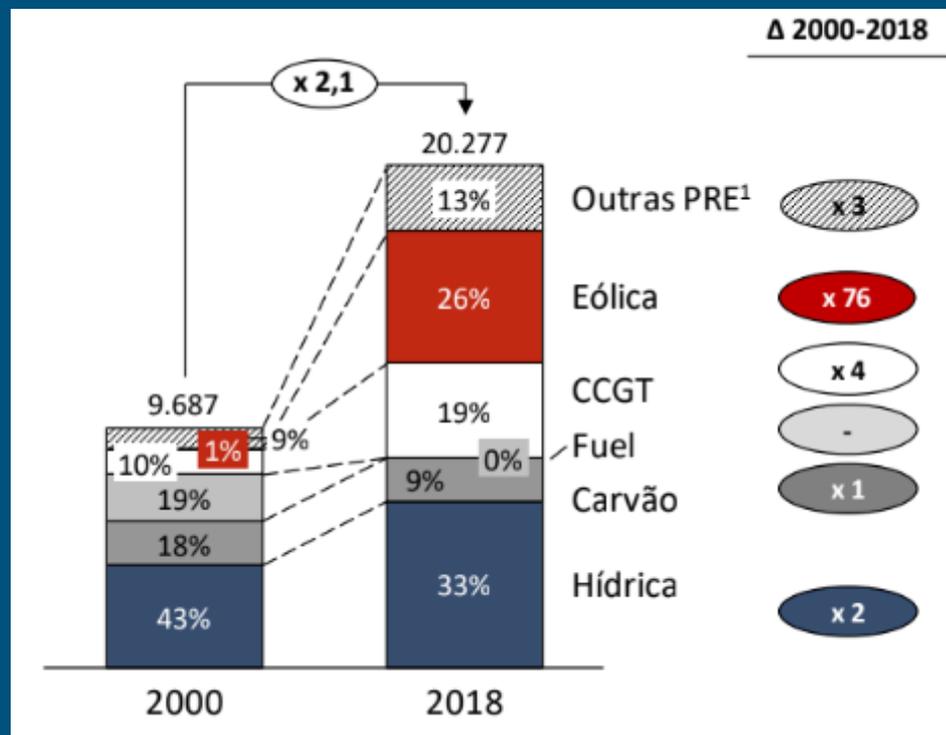
OMIP: Operador do Mercado Ibérico de Energia (Portugal)

OMIE: Operador do Mercado Ibérico de Energia (Espanha)

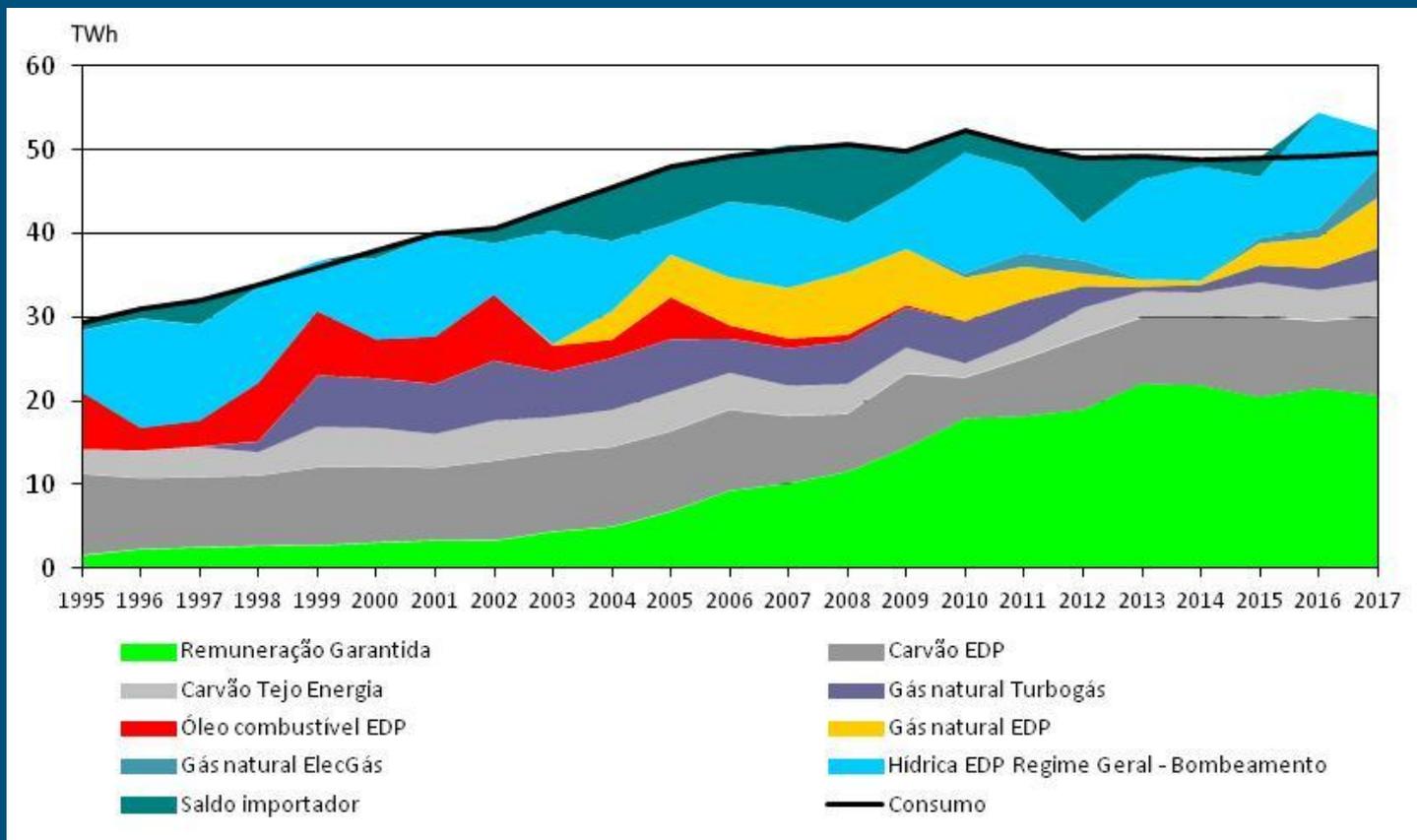
Fonte: Adaptado de EDP

# Capacidade do parque gerador português, em MW, e sua distribuição percentual por tipo de usina em 2000 e 2018

- Sistema com forte participação de energia hidrelétrica e eólica; e
- Grande aumento da capacidade eólica nos últimos anos



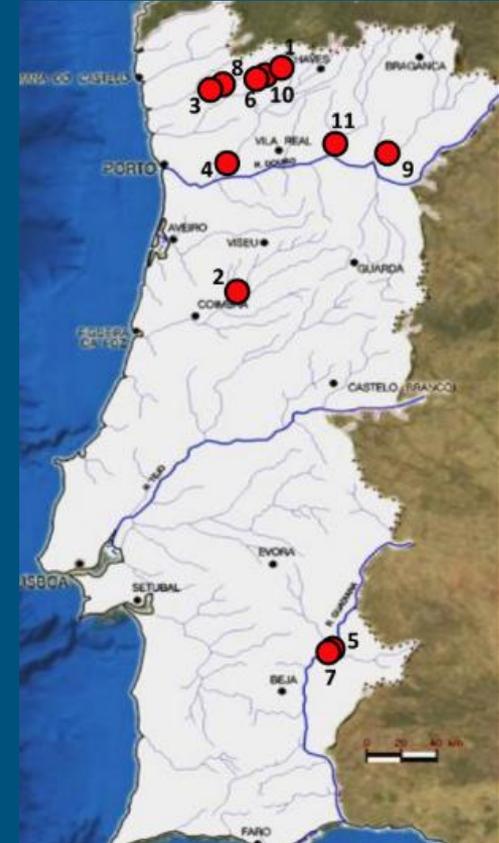
# Consumo de energia elétrica, geração dos vários tipos de centrais e importações/exportações de eletricidade em Portugal, de 1995 a 2017



Fonte: EDP

# Usinas hidrelétricas reversíveis em Portugal

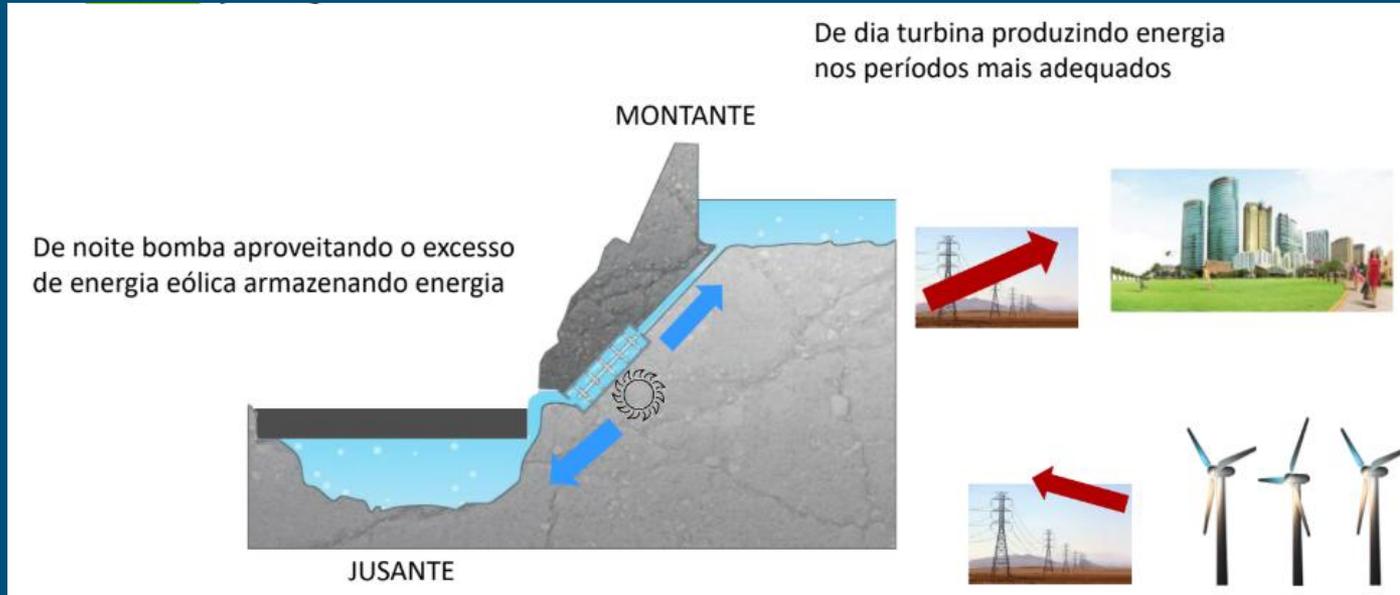
- O aumento da participação das energias renováveis em Portugal só foi possível devido à **inserção de UHRs**;
- Portugal tem 6,8 GW de geração hidrelétrica, onde **2,6 GW são usinas hidrelétricas reversíveis (UHRs)**;
- Previsão de até 2021 mais 880 MW de grandes UHRs;
- A maior parte das UHRs está situada em aproveitamentos onde existem vazões naturais expressivas; e
- Logo, as UHRs de Portugal oferecem muito mais geração do que carga



Fonte: EDP

# Usinas hidrelétricas reversíveis

- O bombeamento é essencial na gestão da intermitência das fontes renováveis;
- Promove flexibilidade no processo de transição energética;
- Complementariedade hídrica/eólica;



# Usinas hidrelétricas reversíveis em Portugal

---

## Motivação

- Teve início nos anos 1960
  - Objetivo de **umentar a capacidade de armazenamento** de energia no longo prazo, além de contribuir para o abastecimento de ponta (UHR Alto Rabagão)
- Nos últimos anos, as UHR têm desempenhado papel essencial na **gestão da intermitência das fontes renováveis**, eólica e, recentemente, a fotovoltaica

## Desafios

- Grande concentração de projetos em curto espaço de tempo; e
- Tendência de estagnação nos consumos de energia elétrica, não só em Portugal mas em toda a Europa

# Usinas hidrelétricas reversíveis em Portugal

## Mecanismos de viabilização

### 1) Programa Nacional de Barragens com Elevado Potencial Hidroelétrico (PNBEPH)

- Lançado em 2007 com o objetivo de reduzir a dependência energética e as emissões de GEE;
- Leilão para concessão de projetos com potencial expressivo de geração: **10 investimentos prioritários** no horizonte de 2020 (Ex. UHR Foz Tua);
- Capacidade de atingir uma potência hidroelétrica instalada superior a 7000 MW;
- Agrega cerca de **1GW de capacidade instalada em UHRs**;
- Usinas com aflúências expressivas, mas que foram leiloadas com previsão de capacidade instalada muito elevada com relação às aflúências locais e configuradas com turbobombas; e
- Últimas usinas previstas em construção: Complexo do Tâmega, formadas por duas UHEs convencionais e uma UHR.

# Usinas hidrelétricas reversíveis em Portugal

---

- Usinas cumprem a dupla função:
  - **Geração** de energia primária; e
  - **Armazenamento** de energia excedente do sistema em momentos de excesso de alta disponibilidade de energia na rede
- A mudança no cenário econômico gerou excesso de capacidade na península ibérica e tornou os projetos menos interessantes para os investidores;
- Alguns dos projetos enfrentaram dificuldades no licenciamento ambiental; e
- Dos 8 projetos efetivamente leiloados, apenas 4 estão concluídos ou com obras avançadas

# Usinas hidrelétricas reversíveis em Portugal

## 2) Reforços de potência:

- Prazos das concessões puderam ser **prorrogados em até 50 anos** através da realização de investimentos em **aumento de potência**; e
- Este incentivo foi essencial para a EDP construir as UHRs Venda Nova II e III, Salamonde III e Alqueva II

## 3) Incentivo ao investimento, em €/kW, em novos aproveitamentos hidrelétricos

- Não abrange as decisões tomadas antes de 2007;
- As centrais são objeto de testes de disponibilidade;
- O incentivo vigora durante os **10 primeiros anos**;
- **Penalização** das decisões de **adiamento** e **prêmio** pela **antecipação**;
- Reforços de potência com bombagem recebem apenas metade do incentivo;
- Reforços de potência sem bombagem não têm incentivo;
- UHRs beneficiadas por este incentivo: Alqueva II, Baixo Sabor, Venda Nova III, Salamonde II e Foz Tua

# Usinas hidrelétricas reversíveis em Portugal

---

## 4) Incentivo à disponibilidade de potência

- Em 2012 o governo português criou este tipo de incentivo;
- Em 2017 ele foi substituído por um leilão;
- Em 30 de março de 2017 foi realizado o primeiro leilão, que contratou 1766 MW a um preço limite de 4800 €/MW; e
- Em 2018 e 2019 não foram realizados leilões, pois o governo português está aguardando o estabelecimento de regras pela União Europeia para leilões de capacidade

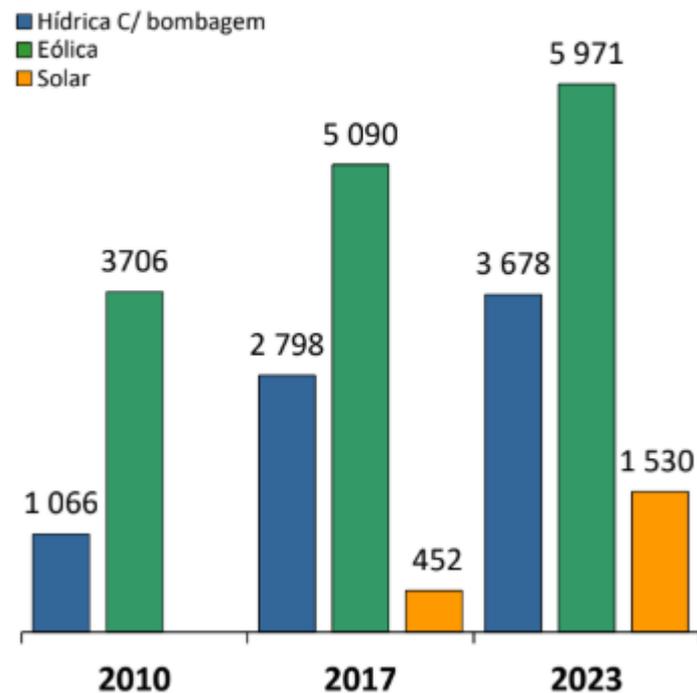
# Reforços de potência no parque gerador da EDP viabilizados por estes incentivos

- Os incentivos permitiram aumentar a capacidade instalada e triplicar a capacidade de bombeamento

Central	Empresa	Tipo de Central	Potência (MW)	Entrada serviço
Picote II	EDP	Não-Reversível	246	Final 2011
Bemposta II	EDP	Não-Reversível	191	Final 2011
Alqueva II	EDP	Reversível	256	Dez 2012
Venda Nova III	EDP	Reversível	779	Jan 2017
Salamonde II	EDP	Reversível	223	Jan 2016
Total	EDP	Reversível	1695	

## Potência instalada Eólica e Solar e Capacidade de bombagem

MW



# Situação atual dos mecanismos de incentivo

---

- Os mecanismos de incentivo foram **descontinuados**
  - Projetos do PNBEPH ainda em construção e sem perspectiva de novos desdobramentos; e
  - O mecanismo de reforço de potência foi suspenso, pois a Comissão Europeia julga que concessões não podem ser renovadas administrativamente, sendo necessário concurso público após o vencimento de uma concessão
- Não há planos para a construção de UHRs, após a conclusão da UHR de Gouvães (880MW), maior UHE de Portugal em termos de capacidade instalada

# Características gerais observadas no projeto das UHRs de Portugal

---

- Todas elas operam em ciclo aberto e possuem capacidade de geração independente do bombeamento;
- Elas foram projetadas para otimizar a cascata de usinas hidrelétricas convencionais e reversíveis a jusante. A partir da instalação do MIBEL, a otimização da operação das usinas passou a ser responsabilidade e interesse de seus proprietários; e
- Buscou-se utilizar, no projeto das UHRs, algum reservatório já existente, a fim de reduzir os custos de instalação e minimizar os impactos ambientais

# Tipologia das UHRs de Portugal

## ➤ **Comissionamento**

- *No século XX:* Alto-Rabagão (1964), Aguieira (1981), Vilarinho das Furnas II (1987), Torrão (1988)
- *No século XXI:* Alqueva (2003), Venda Nova II (2005), Alqueva II (2012), Feiticeiro (2015), Salamonde II (2016), Baixo Sabor (2016), Venda Nova III (2016), Foz Tua (2017), Gouvães (previsão para 2021)

## ➤ **Capacidade de turbinagem instalada na UHR**

- *Pequeno porte:* Feiticeiro (36 MW)
- *Médio porte:* Alto-Rabagão (68 MW), Aguieira (336 MW), Vilarinho das Furnas II (62,5 MW), Torrão (140 MW), Alqueva (259,2 MW), Venda Nova II (191,6 MW), Alqueva II (259,2 MW), Salamonde II (224 MW), Baixo Sabor (153 MW), Foz Tua (270 MW)
- *Grande porte:* Venda Nova III (781 MW), Gouvães (880 MW)

## ➤ **Altura de queda nominal da UHR**

- *Baixa queda:* Feiticeiro (34,5 m)
- *Média queda:* Alto-Rabagão (180 m), Aguieira (63,2 m), Torrão (52 m), Alqueva (73 m), Alqueva II (73 m), Salamonde II (126,4 m), Baixo Sabor (104 m), Foz Tua (93,6 m)
- *Alta queda:* Vilarinhos das Furnas II (425m), Venda Nova II (420 m), Venda Nova III (420 m), Gouvães (660 m)

# Tipologia das UHRs de Portugal (continuação)

## ➤ UHRs com reservatórios de grande porte

- Alqueva e Alqueva II (2686 hm<sup>3</sup>), Alto Rabagão (550,1 hm<sup>3</sup>) e Agueira (216 hm<sup>3</sup>)

## ➤ Tipologia da casa de força

- *No pé da barragem ou na margem, a céu aberto:* Agueira, Vilarinho das Furnas, Alqueva, Alqueva II
- *Subterrânea tipo poço:* Torrão, Feiticeiro, Baixo Sabor, Foz Tua
- *Subterrânea tipo caverna:* Alto Rabagão, Venda Nova II, Salamonde II, Venda Nova III

## ➤ Tipos de turbinas das UHR

- As turbinas Francis reversíveis, de eixo vertical, são dominantes nas UHRs de Portugal. Na maior parte das usinas elas são instaladas em grupos de duas turbinas

## ➤ Rotação variável das turbinas quando funcionam como bombas

- Só há uma UHR, a de Venda Nova III (Frades II), cujas turbinas possuem rotação variável quando operam como bombas

## ➤ Tipos de barragens dos reservatórios das UHRs

- A maioria das barragens das UHRs de Portugal é de abóbada, ou alguma de suas variantes, como abóbada de dupla curvatura (UHR Foz Tua), abóbada com arcos múltiplos (UHR Agueira) e abóbada gravidade (UHR Alto Rabagão). Estes tipos de barragens são adequados para a formação de reservatórios em regiões montanhosas, vales “encaixados” e geologia com rochas predominantes, como é o caso destas usinas
- Só há duas UHRs cuja barragem é de gravidade (UHR Feiticeiro) e de gravidade aligeirada (UHR Torrão)

# Operação do sistema elétrico português

## Redes Energéticas Nacionais (REN)

- 8,9 mil km de circuito
  - 400 kV: 2,714
  - 220 kV: 3,611
  - 150 kV: 2,582
- 9 interconexões
  - 6 de 400 kV e 3 de 220 kV;
- 68 estações de transformação

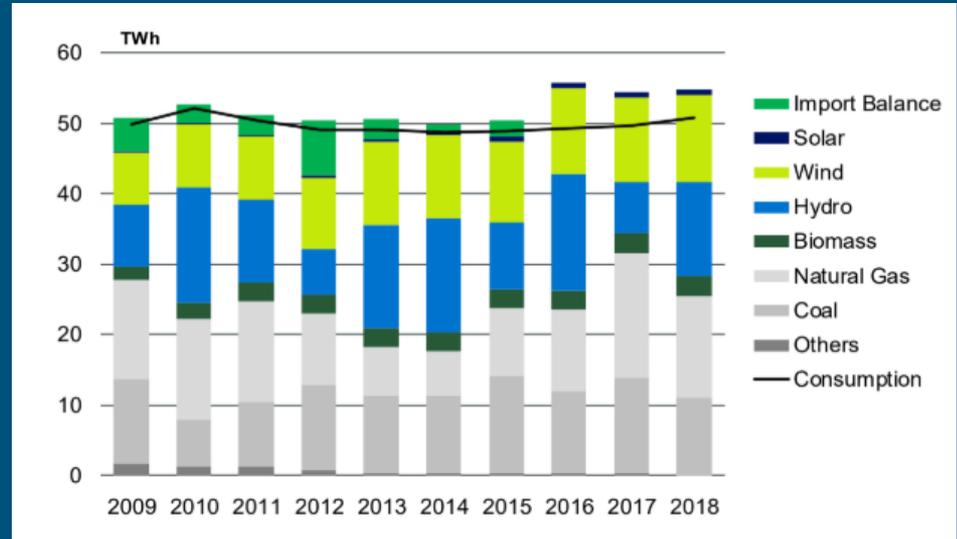


# Operação do sistema elétrico português

- A produção de eletricidade segue a **lógica de mercado**, que influi diretamente nos fluxos de energia;
- A REN não opera de acordo com um despacho ótimo e todas as centrais que não possuem remuneração garantida (Regime Geral), incluindo as UHRs, **competem em igualdade de condições**;
- As centrais que possuem remuneração garantida são despachadas antes das demais; e
- A REN só interfere na programação da operação quando, por razões elétricas, é necessária uma alteração para preservar a segurança do sistema

# Operação do sistema elétrico português

- As energias renováveis chegam a abastecer a carga nacional durante alguns dias. O mesmo pode ocorrer com o vento em algumas horas.
- Até o momento, não houve corte relevante de usinas que operam com fontes renováveis



# Operação do sistema elétrico português

- Mecanismos de flexibilidade adotados:
  - **Centrais hidroelétricas reversíveis;**
  - Interligações internacionais; e
  - Participação ativa do lado da demanda
  
- A flexibilidade permite preencher vazios, reduzir os picos de demanda e prestar serviços de balanço e outros serviços ancilares e induzir menor volatilidade nos preços

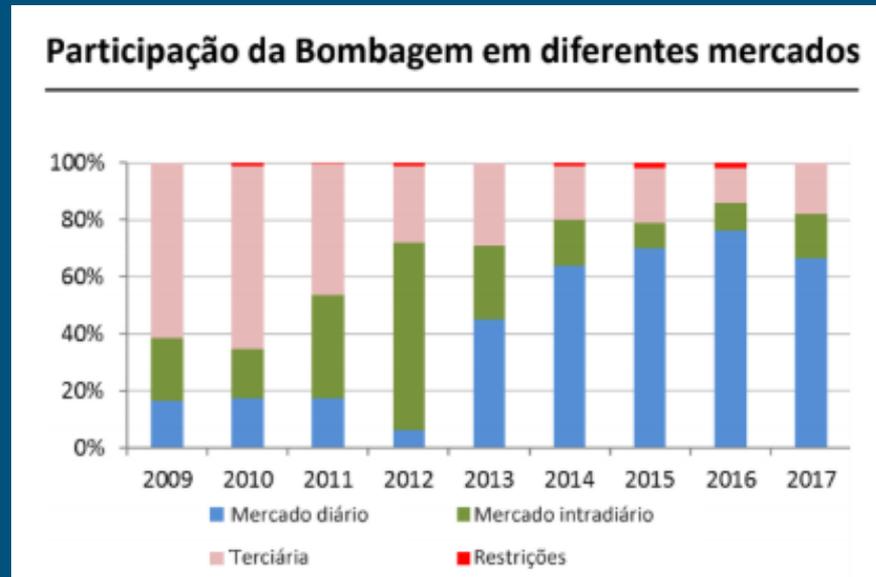
# Remuneração das UHRs em Portugal

---

- Principais mecanismos de remuneração no mercado:
  - 1) **Geração de energia** decorrente de suas afluências;
  - 2) Prestação de **serviço complementar** de armazenamento de energia, teleregulação ou reserva de capacidade. Trata-se de uma remuneração complementar, que, por si só, não justifica, nem viabiliza as UHRs; e
  - 3) **Arbitragem** de preços
- As UHRs atuam armazenando energia quando a diferença esperada entre os preços em horários de baixo e alto consumo ultrapassa os 25%; e
- As usinas que possuem capacidade de armazenamento expressivo também podem **estocar energia** para uso em períodos posteriores (ao longo da semana ou do mês seguinte)

# Remuneração das UHRs em Portugal

- Mercado diário:
  - Oportunidades no *spread peak/off-peak*
- Mercados intradiário e de serviços ancilares:
  - Oportunidades adicionais se os preços intradiários descerem;
  - Oportunidades adicionais para períodos de baixos níveis de reserva;
  - A UHR fornece flexibilidade e pode ser utilizada como forma de evitar a redução da produção de outras centrais face à variações de carga e de geração não controlável



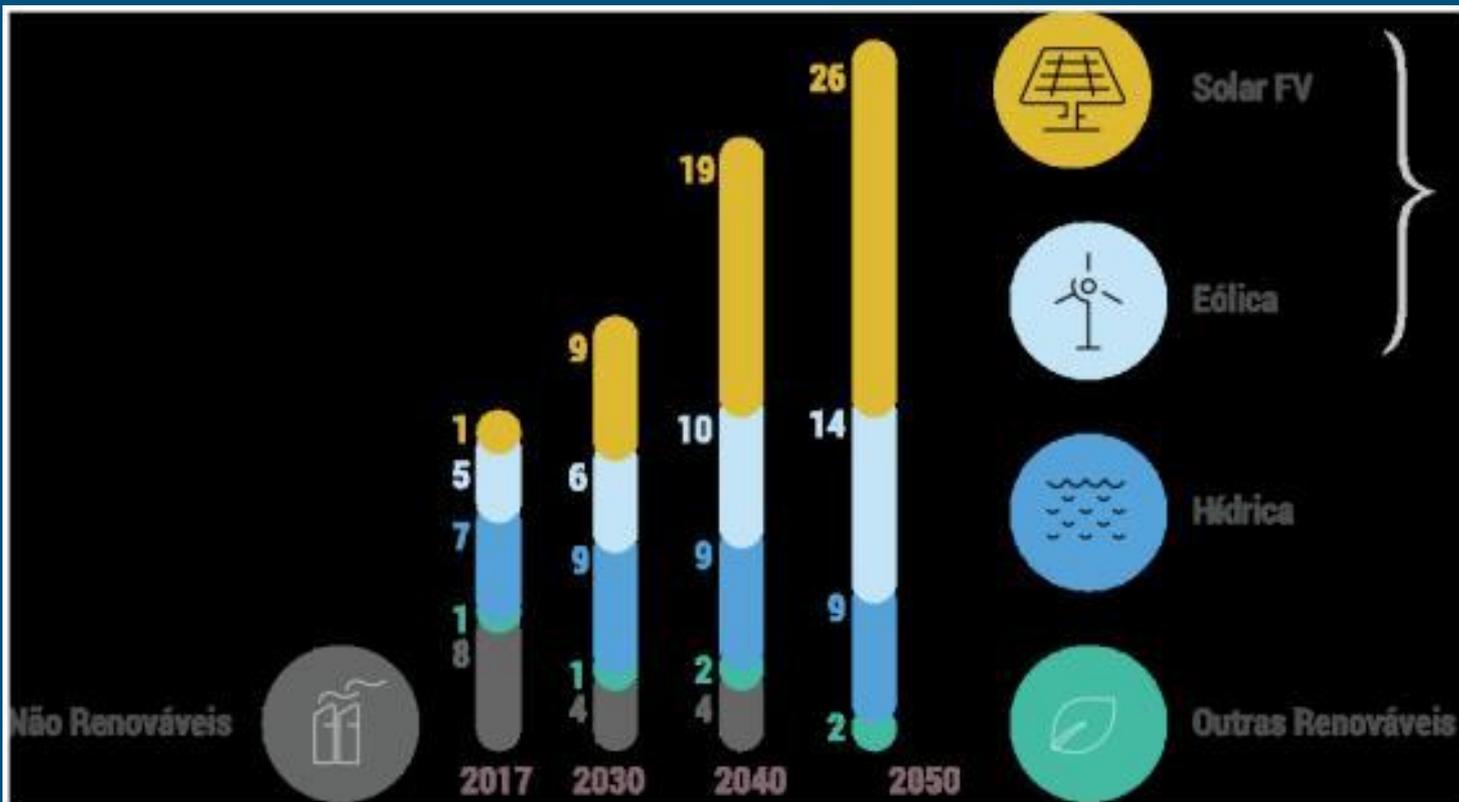
Fonte: EDP

# Planos para o futuro

---

- A UE pretende criar, a médio prazo, mercados internos de energia elétrica e de gás natural neste bloco de países, a partir dos mercados regionais hoje existentes, o que tende a restringir iniciativas diferenciadas dos países membros em termos de políticas energéticas e regulação nestes setores;
- O plano energético de longo prazo de Portugal, RNC 2050, projeta que o suprimento de energia elétrica naquele país será todo efetuado através de fontes renováveis de energia; e
- Tal participação de fontes renováveis intermitentes irá requerer usinas flexíveis para complementar a geração destas fontes. As UHRs e outras formas de armazenamento, como as baterias elétricas, terão um papel mais importante do que atualmente

# Projeções do RNC 2050 para a capacidade instalada no setor elétrico português por fontes de energia, em GW, em 2030, 2040 e 2050



Fonte: EDP

# UHRs Baixo Sabor e Feiticeiro

Os dois aproveitamentos estão em cascata no rio Sabor, próximos da confluência com o rio Douro. Feiticeiro fica a jusante de Baixo Sabor e é utilizada mais para bombeamento, visando aumentar a produção de Baixo Sabor. As centrais dos dois aproveitamentos são do tipo poço, cada uma equipada com dois grupos reversíveis

## Principais Indicadores

	B. Sabor	Feiticeiro
Início da construção	2008	2008
Entrada em serviço	2016	2015
Capacidade de geração (MW)	153	36
Produção média anual (GWh)	321,5	84,6
Produção anual sem bombeamento	215 GWh	
Altura de queda nominal (m)	104	34,5
Vazão turbinada/bombeada (m <sup>3</sup> /s)	170/140	120/110
Volume útil do reservatório(hm <sup>3</sup> )	177	12

Baixo Sabor

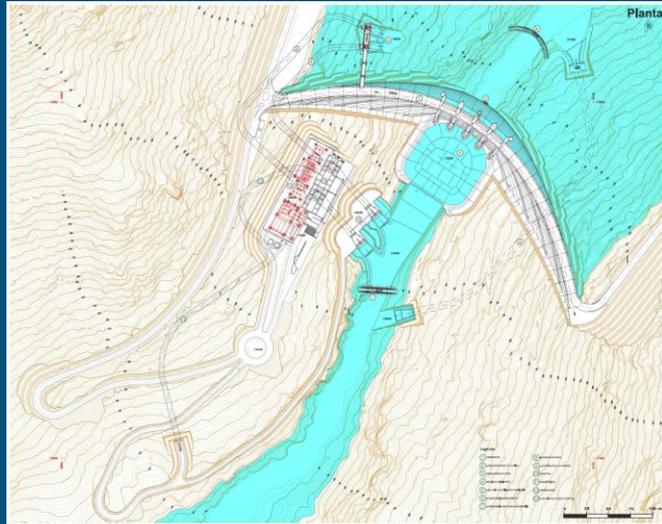


Feiticeiro

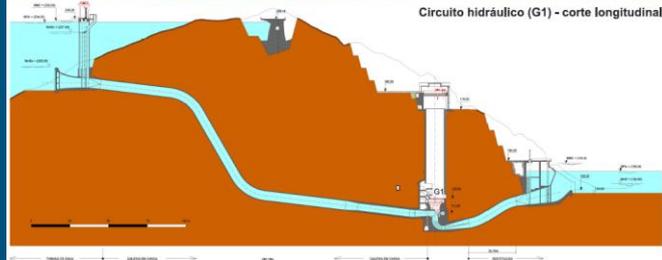


# UHRs Baixo Sabor e Feiticeiro

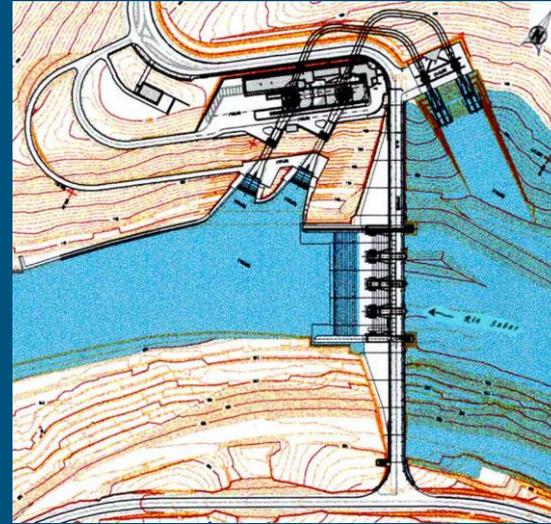
Baixo Sabor



Circuito hidráulico (G1) - corte longitudinal



Feiticeiro



CIRCUITO HIDRÁULICO (G1) - CORTE LONGITUDINAL



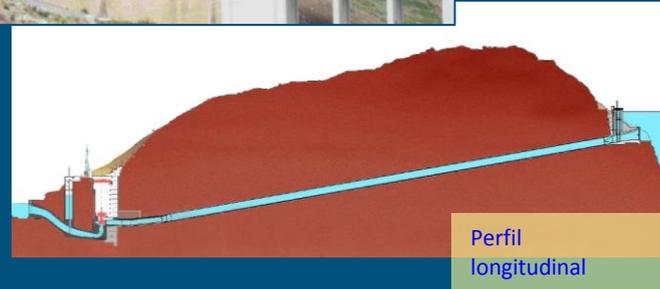
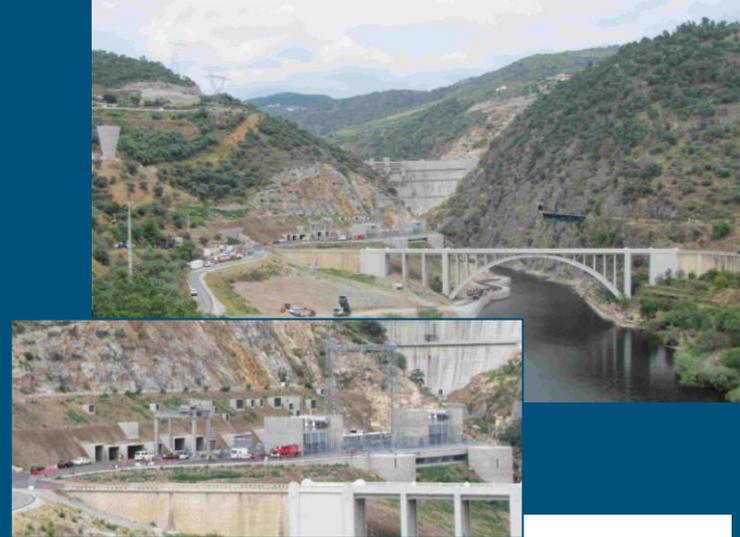


# UHR Foz Tua

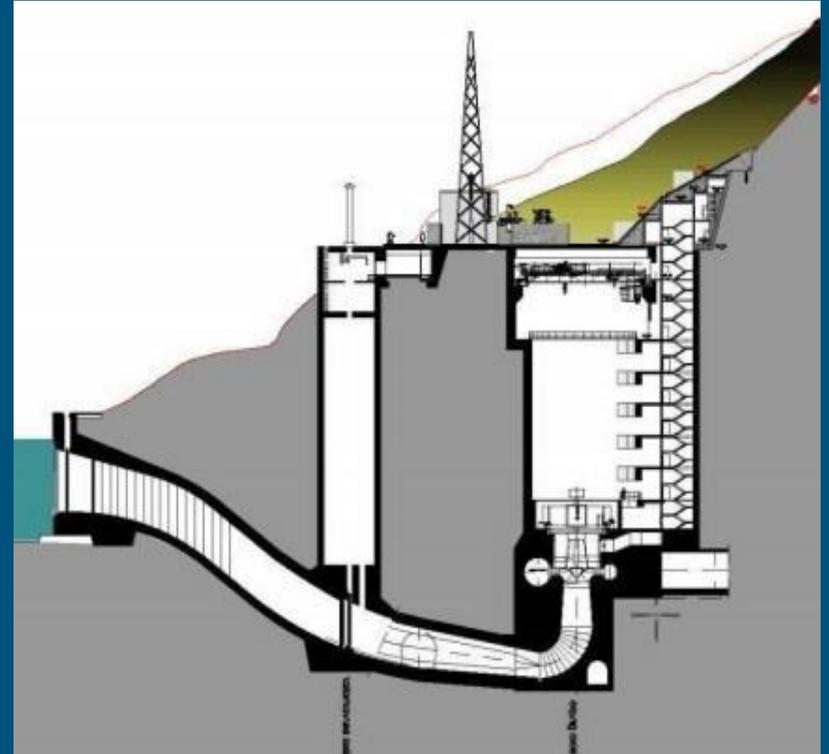
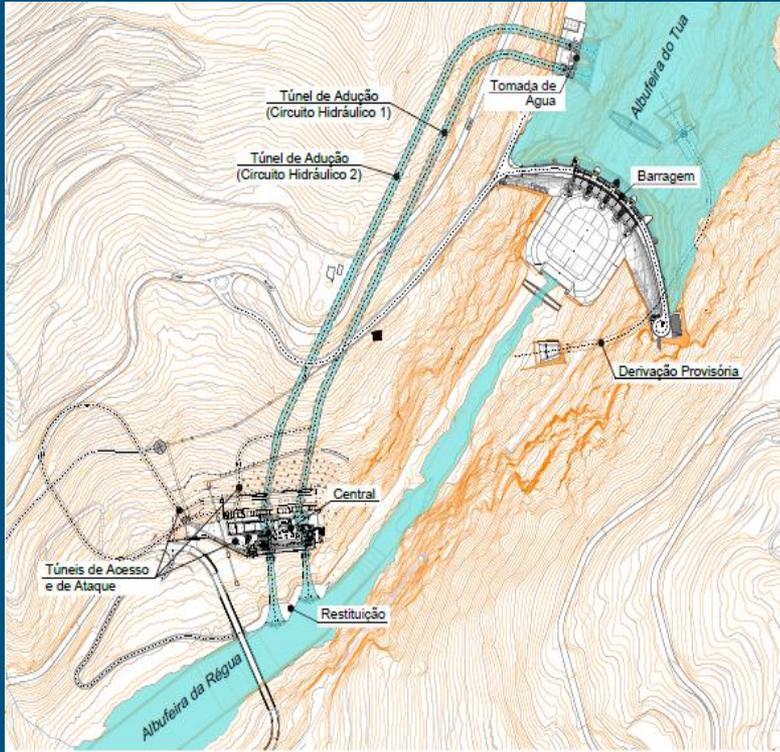
O aproveitamento está situado no rio Tua. Inclui uma barragem, uma central subterrânea em poço, equipada com dois grupos reversíveis, e um circuito hidráulico constituído por dois túneis

## Principais Indicadores

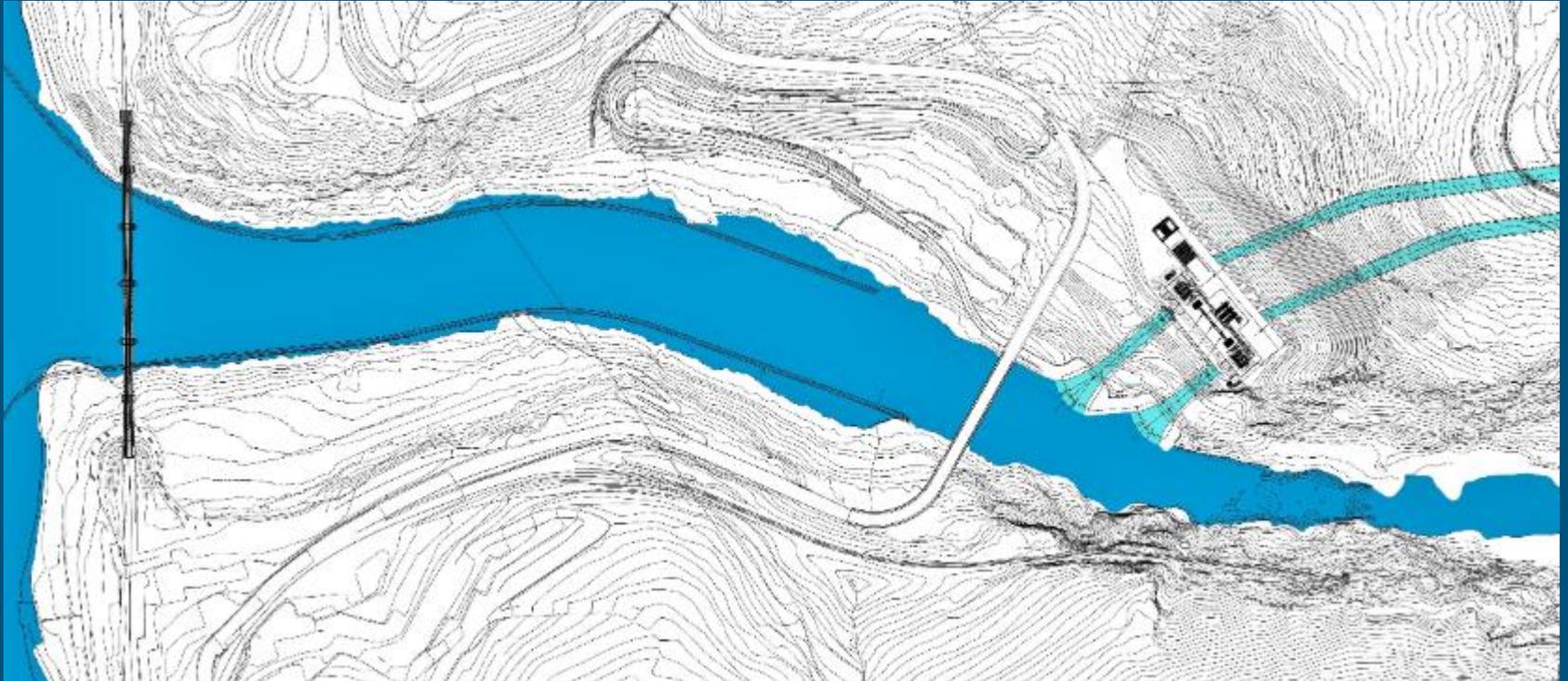
Início da construção	2011
Entrada em serviço	2017
Capacidade de geração	270 MW
Produção média anual	660 GWh
Produção anual sem bombeamento	275 GWh
Altura de queda nominal	93,6 m
Vazão turbinada/bombeada	310/250 m <sup>3</sup> /s
Volume útil do reservatório	69 hm <sup>3</sup>



# UHR Foz Tua



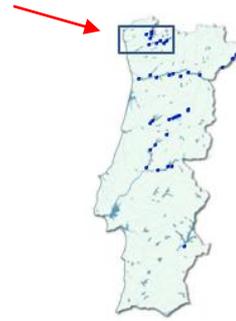
# UHR Foz Tua



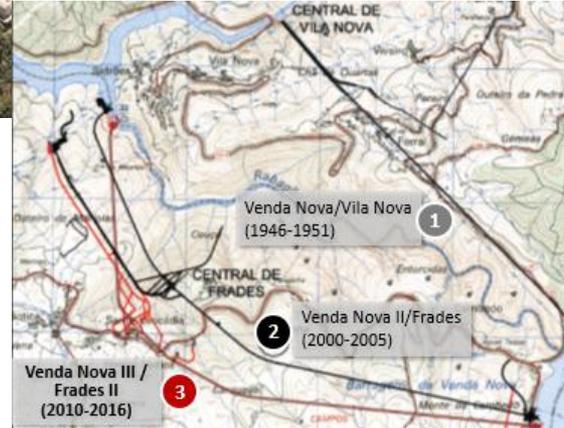
# UHR Venda Nova

1951 – **Usina Venda Nova:** 3 UG Pelton de 29 MW e 10 m<sup>3</sup>/s

2005 – **UHR Venda Nova II (Frades):** 2 turbo-bomba de 97 MW e 25 m<sup>3</sup>/s



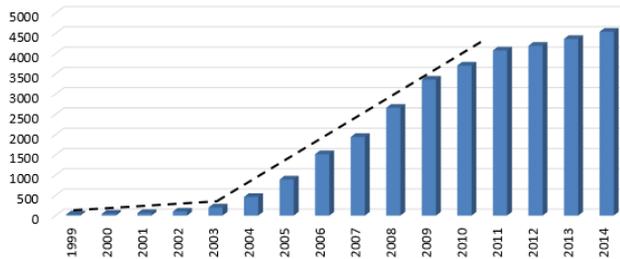
Res. Inferior  
Salamonde



Res. Superior  
Venda Nova



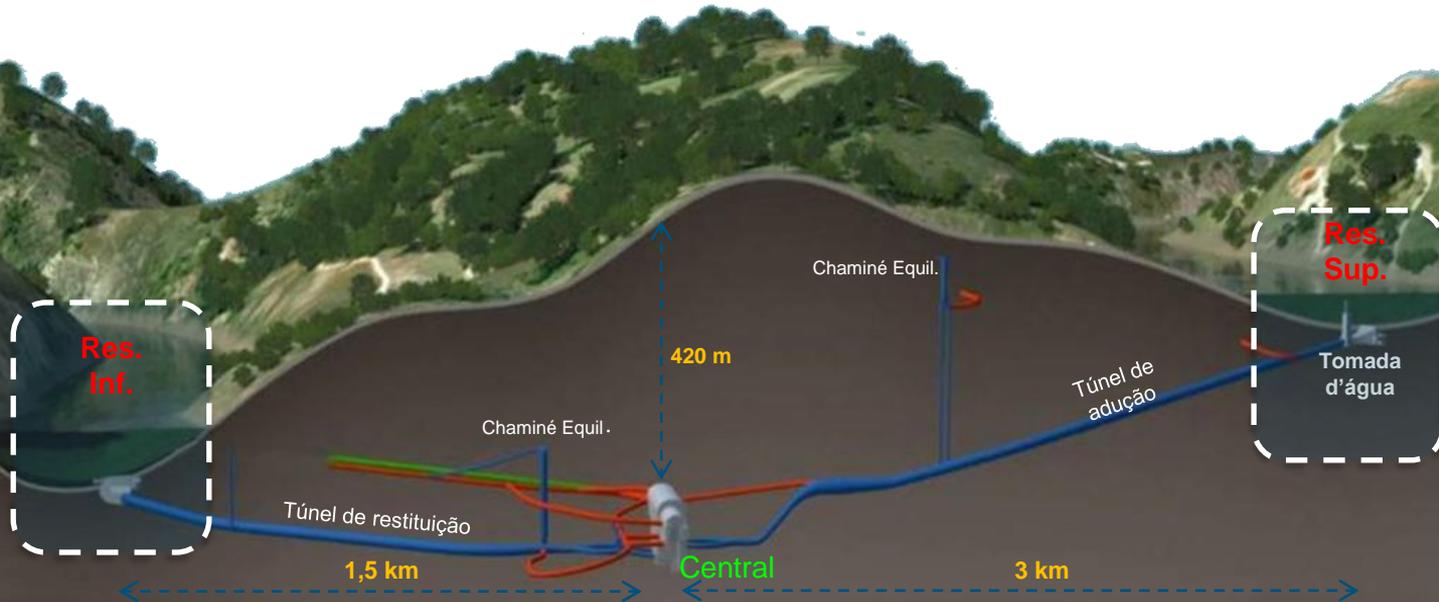
Capacidade Eólica em Portugal (MW)



2016 – **UHR Venda Nova III (Frades II):** 2 turbo-bomba de 390 MW e 100 m<sup>3</sup>/s

# UHR Venda Nova III ou Frades II

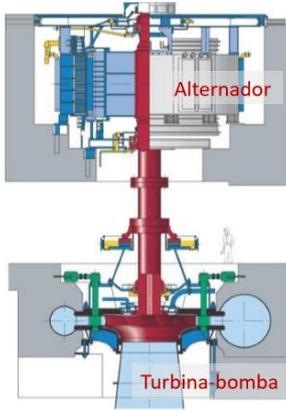
## CIRCUITO HIDRÁULICO



Rio Cávado  
2 turbo-bombas Francis  
Velocidade variável  
Potência – 780 MW  
Vazão Turbina: 200 m<sup>3</sup>/s  
Bomba: 160 m<sup>3</sup>/s  
Queda – 420 m  
Submersão – 60 m

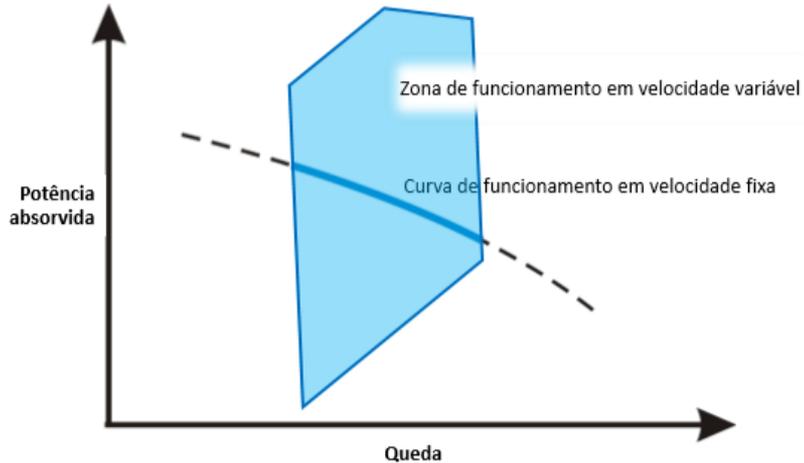
13% de seu  
faturamento vem de  
Serviços Ancilares

## Vantagens da Velocidade Variável

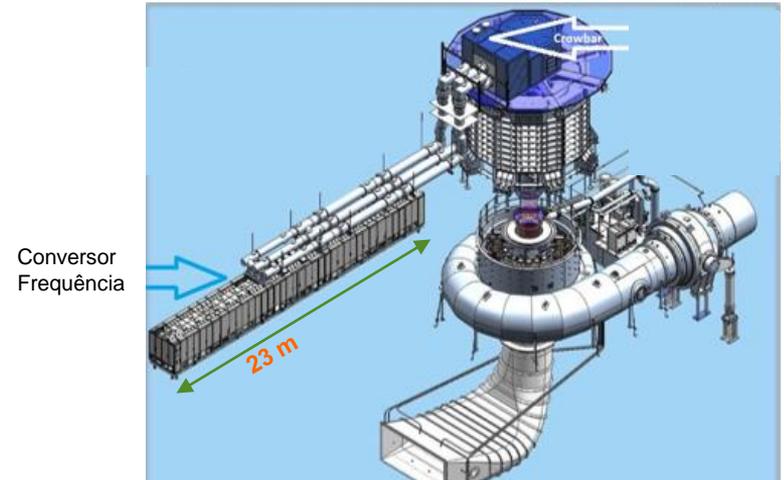


- ✓ Em modo turbina, um aumento da amplitude do ponto ótimo de geração com melhor eficiência, especialmente nas cargas parciais;
- ✓ Em modo bomba, a possibilidade de variar a potência consumida;
- ✓ Contribui para a estabilidade da rede devido à alta inércia das massas rotativas e pela injeção de potência ativa e reativa, muito rapidamente;
- ✓ Melhor uso do reservatório – as máquinas assíncronas operam com potências menores.

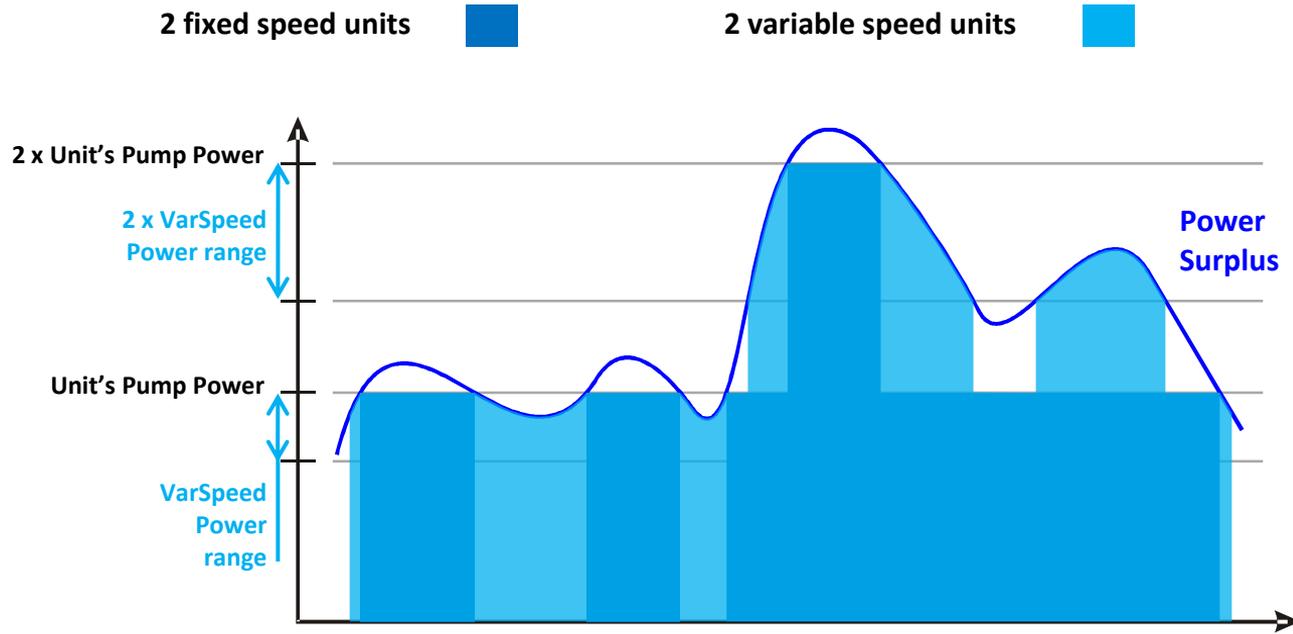
### Comparando modo Bomba:



### Frades II – UG de 390MW



# Aspectos Relevantes das Máquinas de Velocidade Variável



Distribuição do excedente de energia no tempo

# Considerações finais

---

- O aumento da participação das energias renováveis só foi possível devido ao redesenho do sistema elétrico português com **inserção maciça de UHRs**;
- O **PNBEHP e os incentivos de reforço de potência** foram determinantes para a viabilização dos projetos de UHR;
- A UHR é uma usina que oferece geração de eletricidade nos mercados diário e intradiário e de serviços ancilares e que, também, participa dos mercados como **carga**; e
- Atualmente, com a conclusão dos projetos em construção e **extinta a possibilidade de prorrogação de concessões**, só mecanismos de mercado devem atrair novos investimentos em UHR.

Obrigado!

