

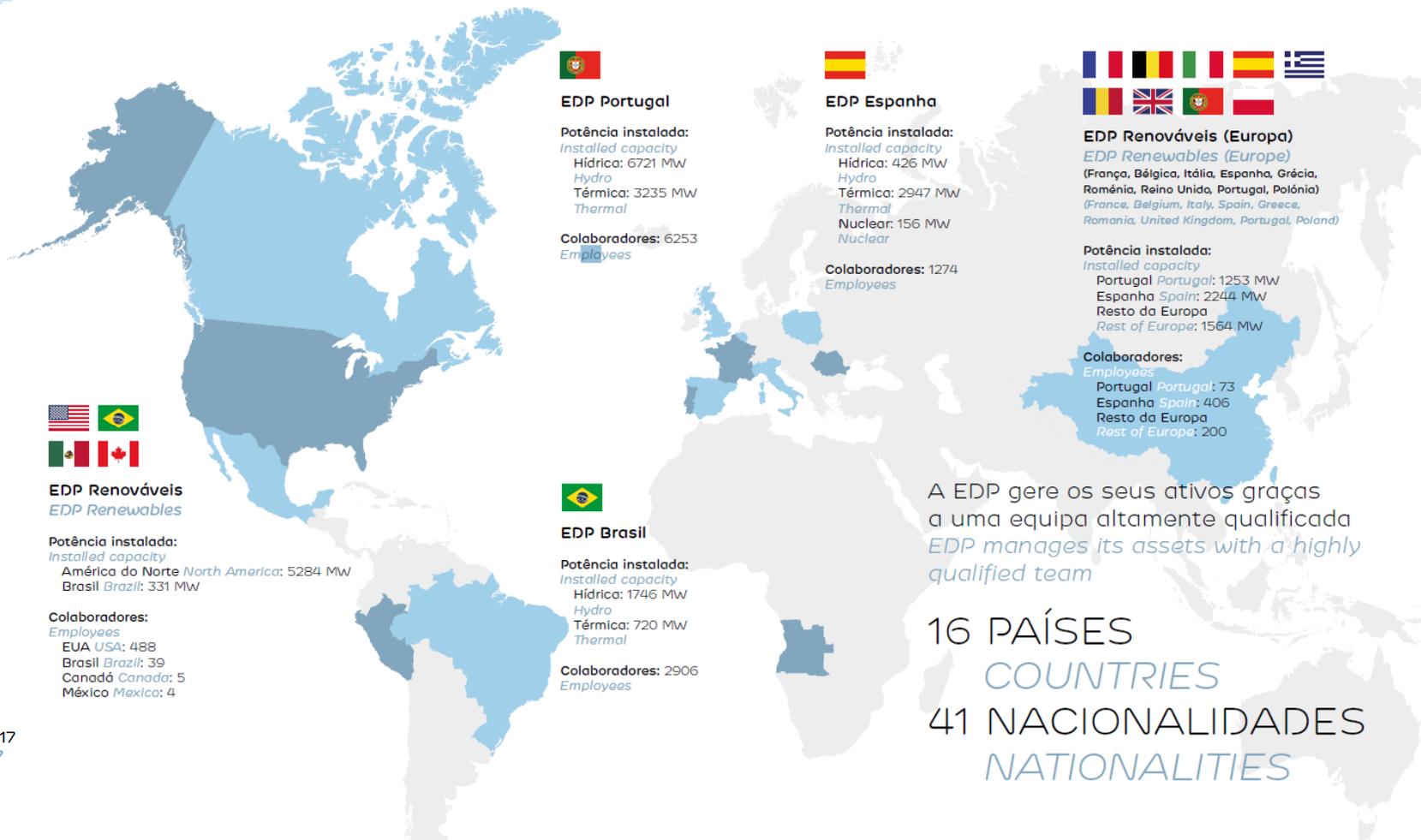
Usinas Reversíveis

A experiência da EDP em Portugal

The EDP logo, consisting of the lowercase letters 'edp' in white on a red circular background, is positioned in the bottom left corner of the slide. The background of the entire slide is an aerial photograph of a large concrete dam with a curved spillway, situated in a lush, green, hilly landscape with a large reservoir in the background. Several white decorative shapes, including a large rounded rectangle and several circles, are overlaid on the left side of the image.

Rio de Janeiro, 12 de Agosto de 2019

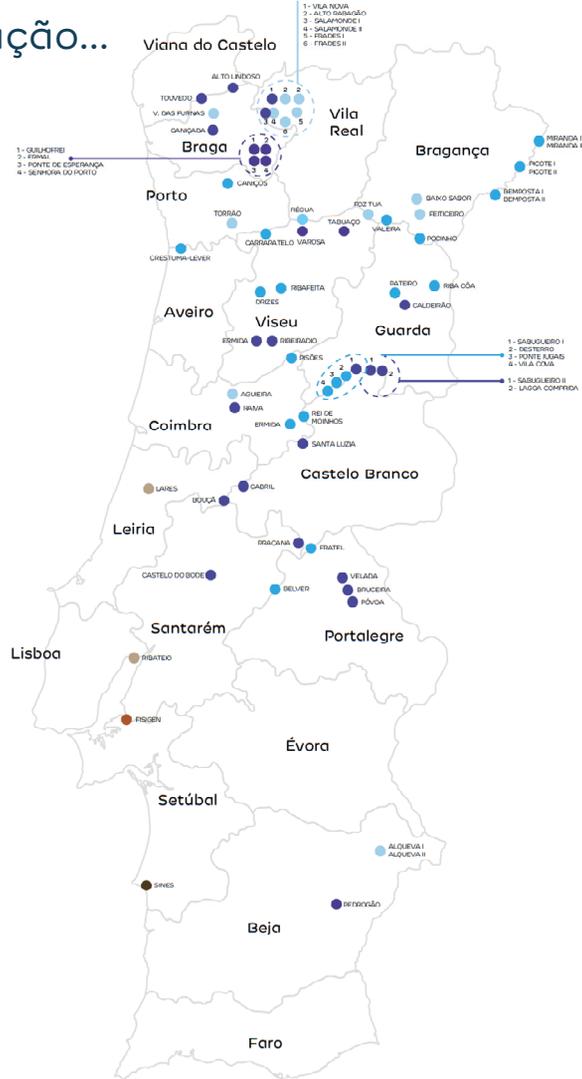
O Grupo EDP...



Dados 2017
Data 2017



A EDP Produção...



EDP Produção é a empresa do Grupo EDP detentora da geração convencional em Portugal



62 Centrais hidroelétricas
Hydro power plants

Potência líquida instalada
Installed capacity **6721 MW**



4 Centrais termoeletricas
Thermal power plants

Potência líquida instalada
Installed capacity **3236 MW**

> **23**
TWh/ano
TWh/year

Dados 2017
Data 2017

Centrais Hídricas Hydro Power Plants

- Central de albufeira
Water reservoir hydro power plant
- Central de flo de água
Run-of-river power station
- Central hidroelétrica com bombagem
Hydro power plant with reverse pumping

Centrais Térmicas Thermal Power Plants

- Central a carvão
Coal thermal power plant
- Central de ciclo combinado a gás natural
Combined cycle gas power plant
- Central de cogeração
Cogeneration power plant

EDP Produção – Plano de investimento 2007-2017



A EDP Produção executou em Portugal o maior plano de investimento de geração na Europa, entre 2007 e 2017, resultando na construção de uma CCGT, três novos aproveitamentos hidroelétricos e 5 reforços de potência.

Aumento da capacidade instalada

3,140 MW



Investimento total
2,850 M€





1

O Setor Elétrico Português e o papel da bombagem

2

Enquadramento Legislativo das Concessões de Domínio Hídrico

3

Remuneração por Capacidade

4

O funcionamento do mercado elétrico

5

Usinas Hidroelétricas Reversíveis da EDP Produção

6

Estudos Preliminares e de Inventário de Novos Centros Produtores Reversíveis

7

Custos de Construção

8

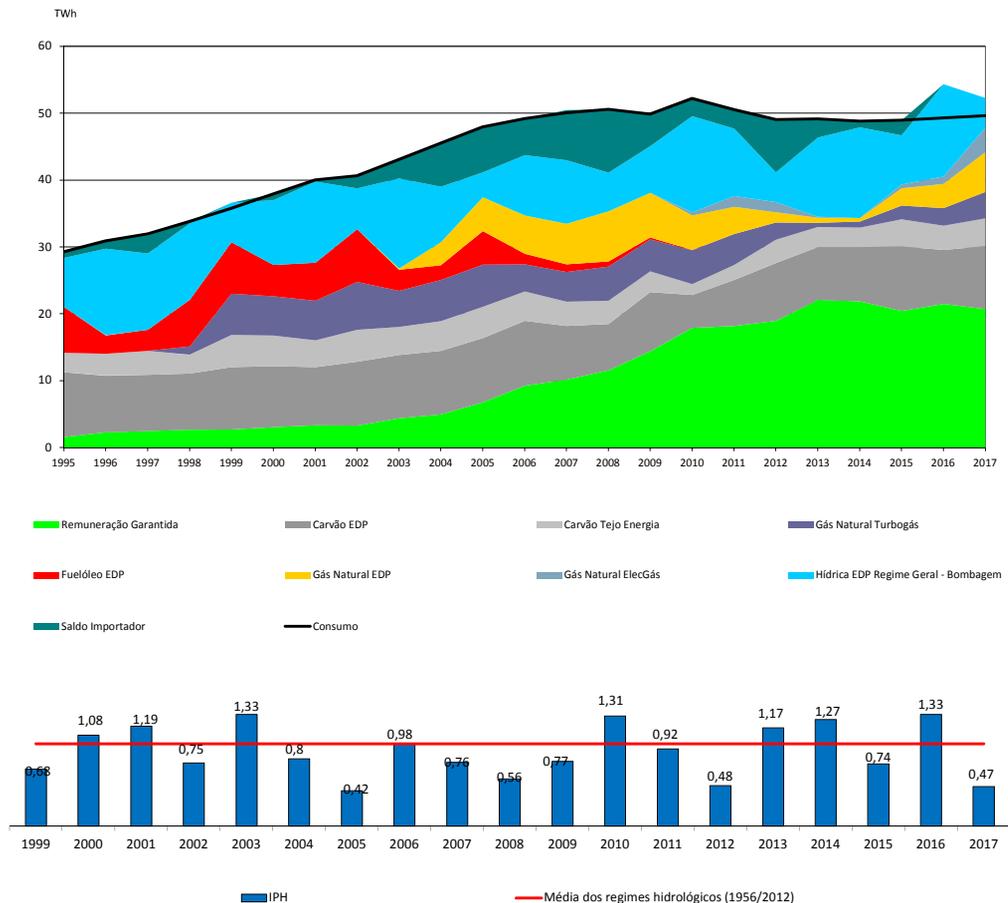
Processo de licenciamento ambiental e principais impactos socioambientais

9

Aspetos construtivos e tecnológicos

O Setor Elétrico Português e o papel da bombagem

Em Portugal Continental a contribuição das Energias Renováveis tem sido crescente, em especial a eólica

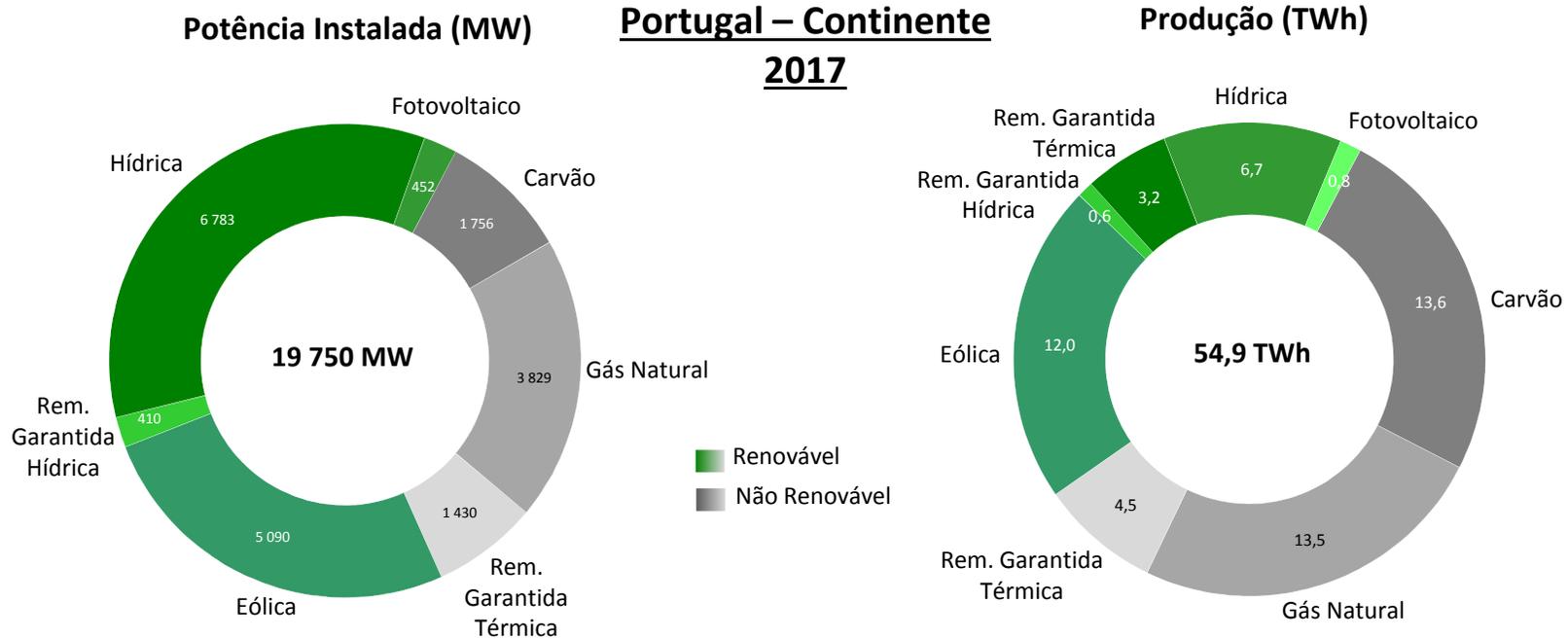


Emissão em 2017 (GWh)

Produção EDP Regime Geral	22 093
Hídrica	6 726
Térmica	15 367
Produção Regime Geral (Outras)	11 719
Carvão Tejo Energia	4 182
Gás Natural Turbogás	3 902
ElecGás	3 635
Remuneração Garantida	20 711
Eólica	11 974
Mini-Hídrica	613
Fotovoltaico	833
Ondas	0
Biomassa	2 810
Outras não renováveis	4 481
Saldo Importador	-2 684
Consumo em Bombagem	2 223
Consumo	49 617

O Setor Elétrico Português e o papel da bombagem

Atualmente as Energias Renováveis representaram entre 42% e 53% da produção de eletricidade (2017 e 2016 respetivamente)



IPH = 0,47

Em 2017, 42% da produção foi de origem renovável.

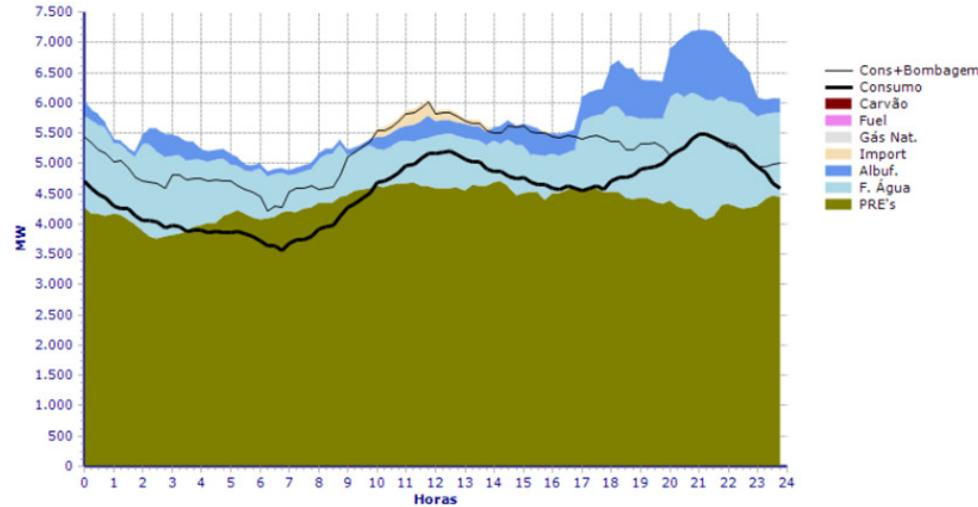
Mas num ano mais húmido, como o de 2016 (IPH=1,33) essa contribuição sobe para 53%.

O Setor Elétrico Português e o papel da bombagem

Recentemente ocorreram situações em que 100% do consumo foi abastecido por Energias Renováveis

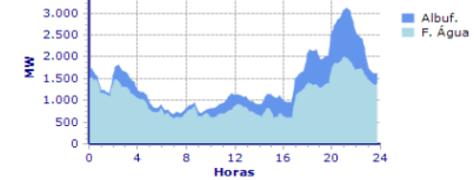
08 maio 2016

Diagrama de Consumo Total

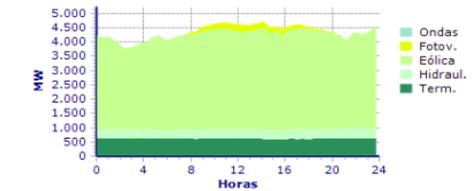


- No dia 8 de maio de 2016 a satisfação do consumo na emissão foi 100% realizado através de energias renováveis.
- Apenas entre as 10h e as 14h foi necessário a importação para satisfazer o consumo das bombagens hidroelétricas.
- A produção das grandes centrais térmicas nesse dia em Portugal foi nula.

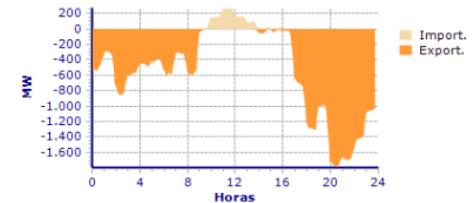
Hidráulica



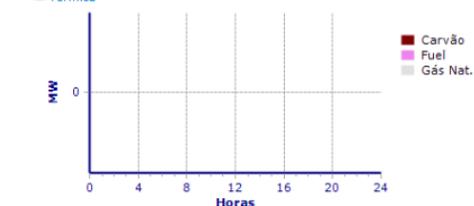
Produção em Regime Especial



Saldo Importador



Térmica



O Setor Elétrico Português e o papel da bombagem

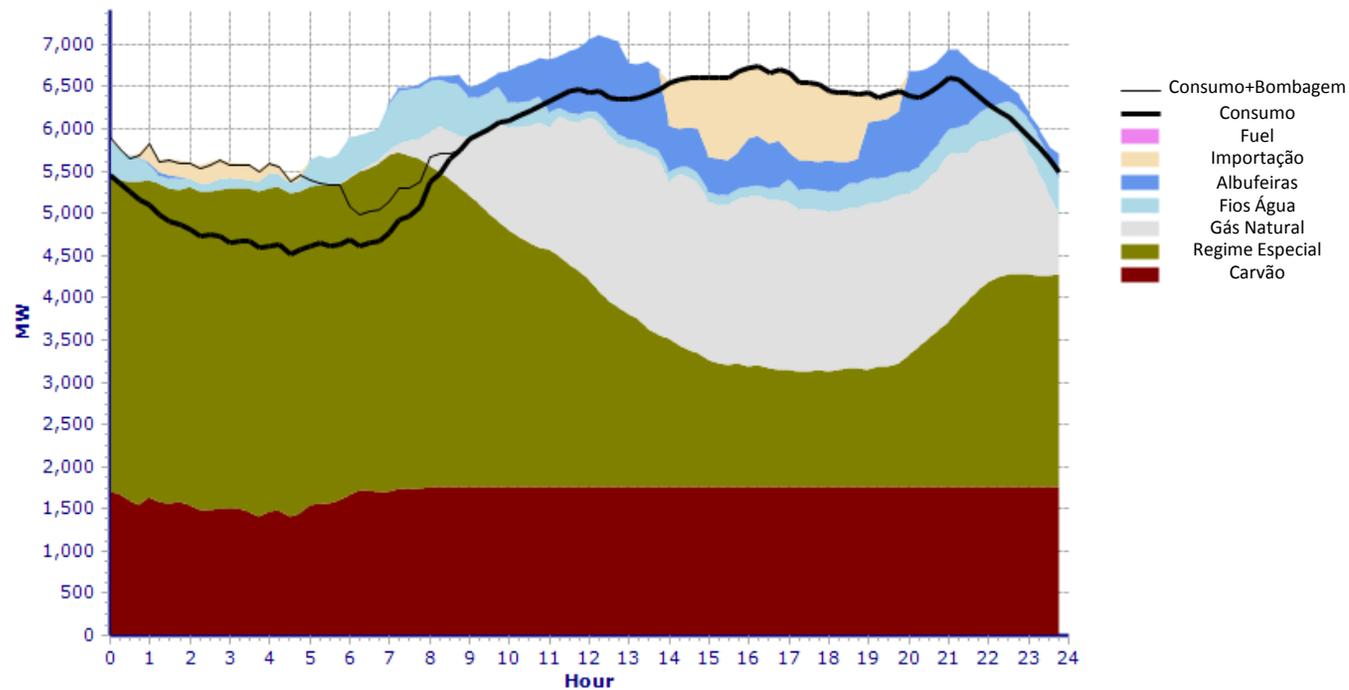
Mas no verão (período seco) são necessárias as centrais termoelétricas

Select Date

11-08-2016

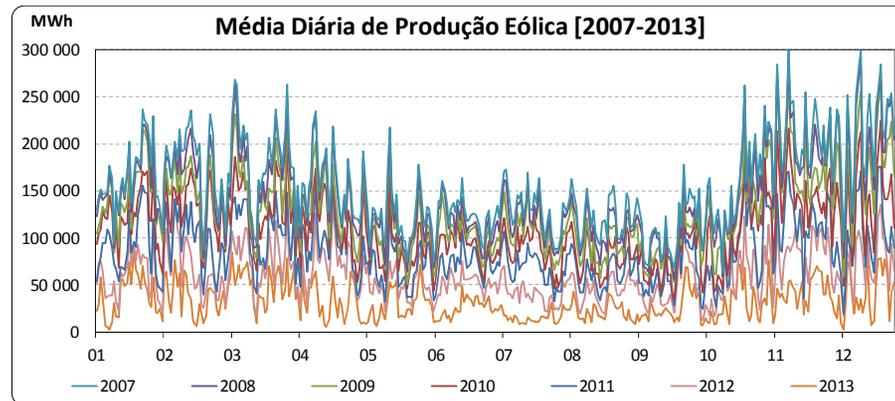


Load Diagram



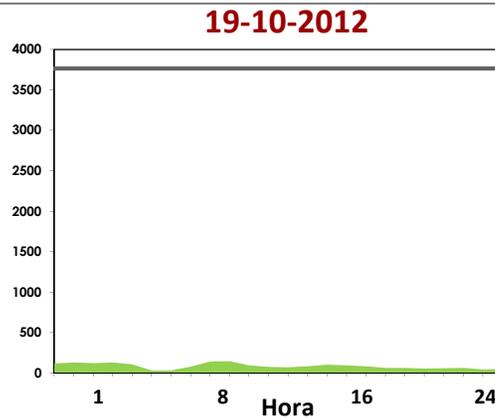
O Setor Elétrico Português e o papel da bombagem

O perfil da produção eólica é muito variável



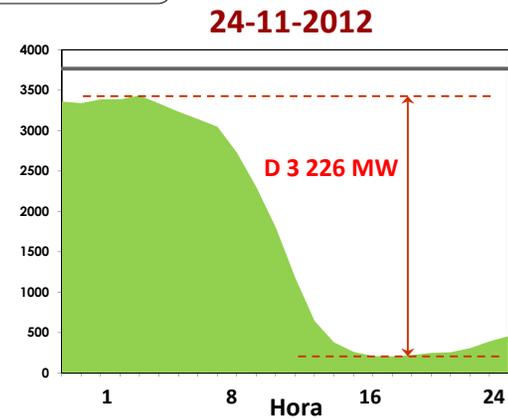
Max. – 3 434 MW
Min. – 3 074 MW
Produção – 79.4 GWh

65%
Consumo
diário



Max. – 147 MW
Min. – 32 MW
Produção – 2.1 GWh

2%
Consumo
diário

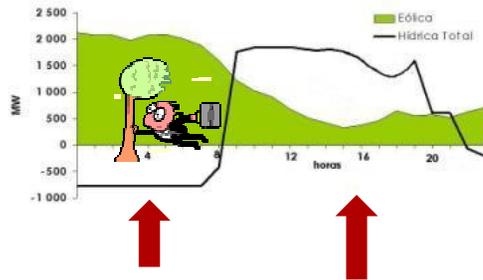


Max. – 3 433 MW
Min. – 207 MW
Produção – 41.3 GWh

32%
Consumo
diário

O Setor Elétrico Português e o papel da bombagem

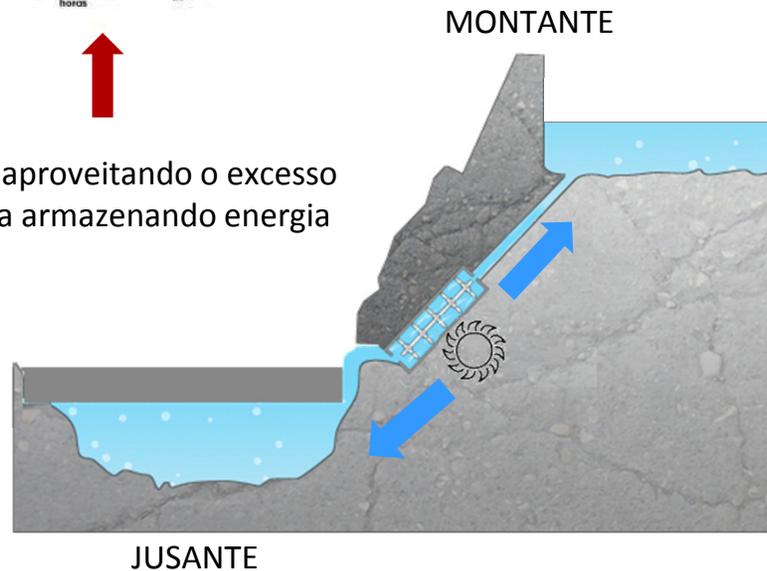
A bombagem desempenha um papel essencial na gestão da intermitência das renováveis



Complementaridade Hídrica/Eólica

De dia turbina produzindo energia nos períodos mais adequados

De noite bomba aproveitando o excesso de energia eólica armazenando energia





1

O Setor Elétrico Português e o papel da bombagem

2

Enquadramento Legislativo das Concessões de Domínio Hídrico

3

Remuneração por Capacidade

4

O funcionamento do mercado elétrico

5

Usinas Hidroelétricas Reversíveis da EDP Produção

6

Estudos Preliminares e de Inventário de Novos Centros Produtores Reversíveis

7

Custos de Construção

8

Processo de licenciamento ambiental e principais impactos socioambientais

9

Aspetos construtivos e tecnológicos

Enquadramento Legislativo das Concessões de Domínio Hídrico

De acordo com a atual legislação, os prazos das concessões podem ser prorrogados através da realização de investimentos de aumento de Potência

Diretiva nº 2000/60/CE
Parlamento Europeu e do Conselho
23 de outubro de 2000
(Diretiva Quadro da Água)

Lei quadro da água (Lei 58/2005, de 29/dez) e legislação complementar (Decreto-Lei 226-A/2007)
... “os prazos das concessões podem ser prorrogados” ...

$$Pro = (N - t) \times \frac{\Delta Pot}{Pot}$$

Pro - Prorrogação (anos)

N - Número total de anos da concessão original de utilização do domínio hídrico

t - Número de anos remanescentes até ao final da concessão original de utilização do domínio hídrico

Pot - Potência elétrica da central antes do reforço de potência

ΔPot - Potência elétrica adicional devida ao reforço de potência



1

O Setor Elétrico Português e o papel da bombagem

2

Enquadramento Legislativo das Concessões de Domínio Hídrico

3

Remuneração por Capacidade

4

O funcionamento do mercado elétrico

5

Usinas Hidroelétricas Reversíveis de EDP Produção

6

Estudos Preliminares e de Inventário de Novos Centros Produtores Reversíveis

7

Custos de Construção

8

Processo de licenciamento ambiental e principais impactos socioambientais

9

Aspectos construtivos e tecnológicos

Garantia de Potência

Incentivo ao investimento das Novas Usinas Hidroelétricas

	Potência Instalada Líquida (MW)	Valor de referência da Garantia de Potência (€/kW)
Alqueva II	256	11,0
Baixo Sabor	186	23,1
Ribeiradio	75	23,1
Venda Nova III	779	11,0
Salamonde II	223	11,6
Foz Tua	266	13,0
Fridão	238	11,0

- O incentivo vigora durante os 10 primeiros anos;
- Há uma penalização das decisões de adiamento dos investimentos e um prémio pela antecipação;
- Os reforços de potência com bombagem recebem apenas metade do incentivo;
- Os reforços de potência sem bombagem não têm incentivo.

Para um ano correspondente a um regime hidrológico médio, estima-se que as receitas de Garantia de Potência correspondam a cerca de 15% a 21% do total das receitas.



1

O Setor Elétrico Português e o papel da bombagem

2

Enquadramento Legislativo das Concessões de Domínio Hídrico

3

Remuneração por Capacidade

4

O funcionamento do mercado elétrico

5

Usinas Hidroelétricas Reversíveis da EDP Produção

6

Estudos Preliminares e de Inventário de Novos Centros Produtores Reversíveis

7

Custos de Construção

8

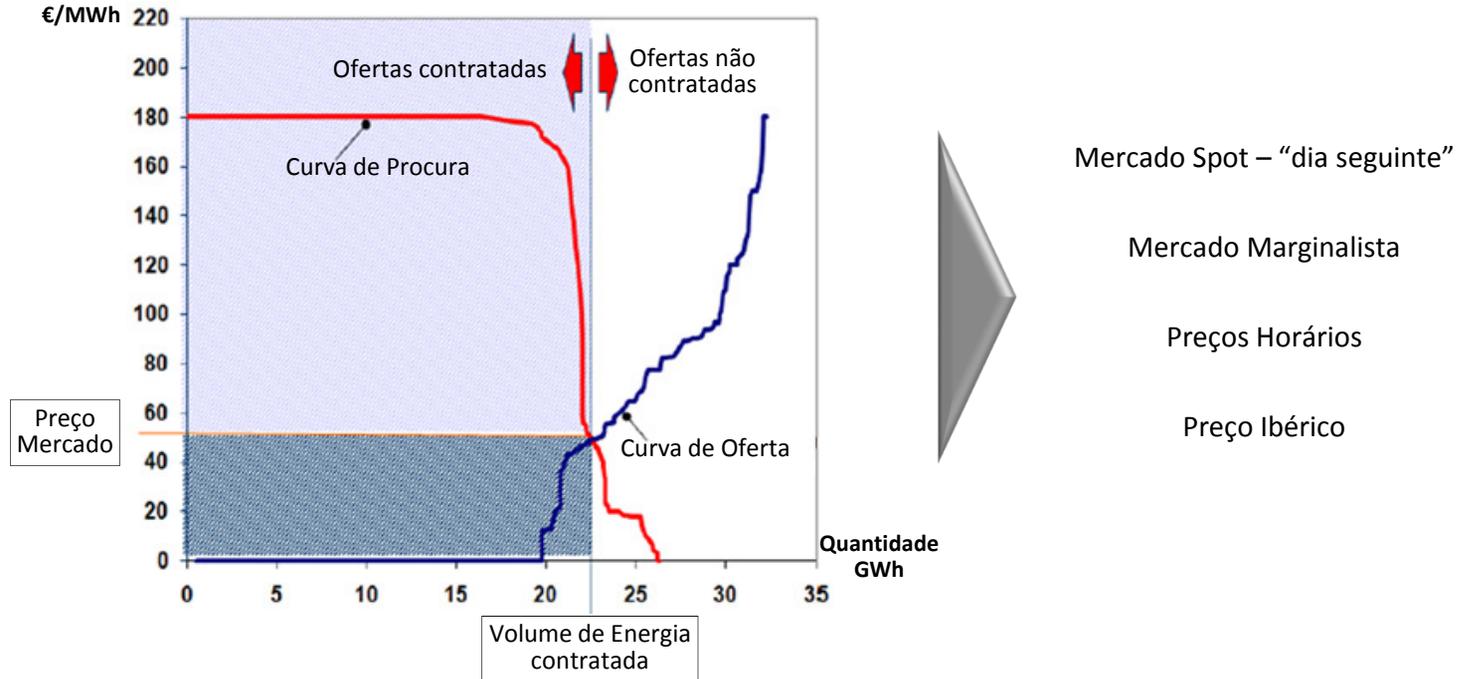
Processo de licenciamento ambiental e principais impactos socioambientais

9

Aspetos construtivos e tecnológicos

O funcionamento do mercado elétrico

Os Preços Pool do Mercado Ibérico resultam do cruzamento entre a procura e a oferta em cada hora, como acontece noutros mercados

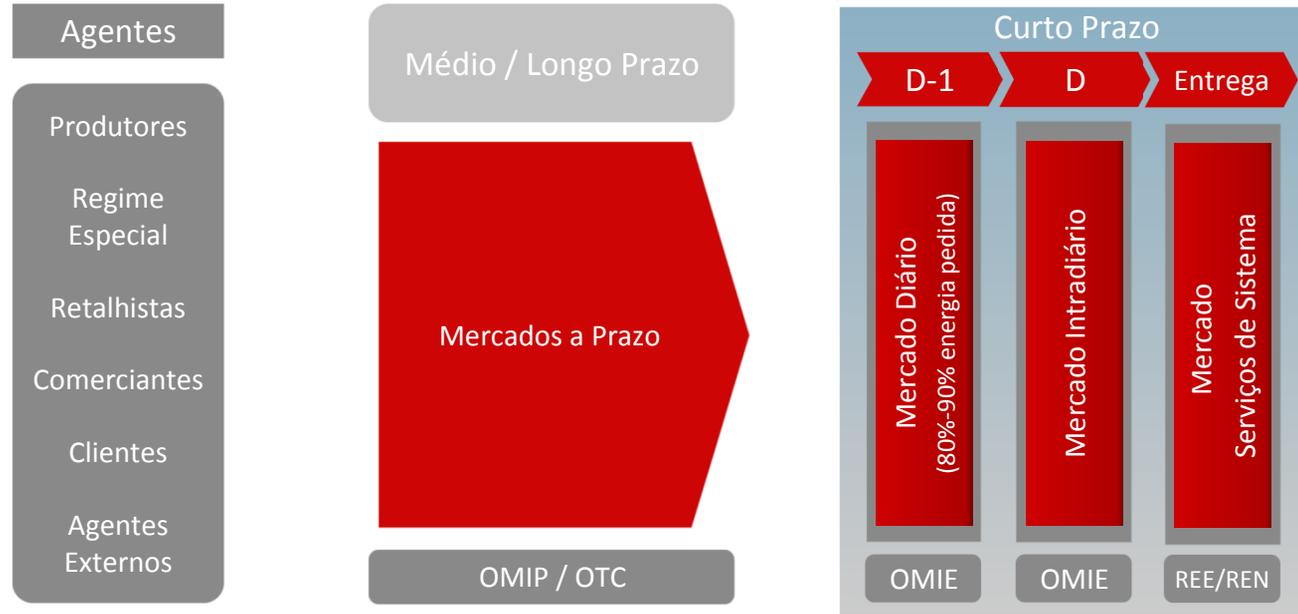


A bombagem resulta da arbitragem de preços no mercado de energia

O funcionamento do mercado elétrico

Mercado Ibérico de Eletricidade (MIBEL)

Os Mercados físicos são constituídos por Mercado diário (dia seguinte), Mercados Intradiários e Mercados de Serviços de Sistema



O Mercado Ibérico é um dos mais líquidos na Europa, sendo os preços comparáveis com os de outros mercados. De facto, na maioria dos anos, o MIBEL regista preços inferiores à média dos preços para os principais mercados Europeus. Adicionalmente, enquanto os preços no MIBEL variam entre os 0 e os 180 €/MWh, no cenário Europeu as oscilações são maiores, entre -500 e +3000€/MWh.

OMIP – Operador do Mercado Ibérico de Energia (Portugal)
OMIE – Operador do Mercado Ibérico de Energia (Espanha)
REE e REN – Operadores de Sistema de Espanha e Portugal

O funcionamento do mercado elétrico

Há Mercados Físicos e Financeiros...

Os Mercados de Energia têm duas tipologias:

FÍSICOS

- Nestes mercados é obrigatória a entrega física da energia;
- Curto prazo (*spot, day-head*);
- São sujeitos a validações técnicas para garantir a segurança de abastecimento.

FINANCEIROS

- Mercados para negociação a prazo;
- Estes mercados são utilizados para cobertura de risco (*hedging*) e negociação/especulação;
- Subdividem-se em topologias distintas:
 - Mercados Organizados (futuros);
 - *Over-the-Counter* (OTC).

Fonte: UNGE/EDP

Mercado diário

- Oportunidades baseadas no spread peak/off-peak
 - A água é bombada durante os períodos de preços baixos de eletricidade (geralmente durante a noite) e turbinada durante os períodos de preços altos (geralmente em horas de ponta).

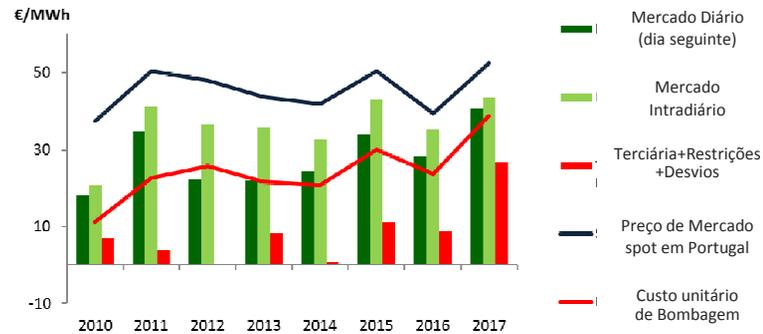
Intradiário e Serviços de Sistema

- Oportunidades adicionais se os preços intradiários descerem
- Oportunidades adicionais para períodos de baixos níveis de reserva
 - Além da arbitragem de preços, as centrais equipadas com bombagem têm vindo a ser cada vez mais lucrativas nos mercados de serviços de sistema
 - A bombagem fornece flexibilidade ao operador de sistema → A Bombagem pode ser utilizada como forma de evitar a redução da produção de uma Central

O funcionamento do mercado elétrico

A Bombagem tem tido um papel importante nos mercados de serviços de sistema e com custos abaixo dos preços do mercado diário

Custo Unitário Final de Bombagem em Portugal





1

O Setor Elétrico Português e o papel da bombagem

2

Enquadramento Legislativo das Concessões de Domínio Hídrico

3

Remuneração por Capacidade

4

O funcionamento do mercado elétrico

5

Usinas Hidroelétricas Reversíveis da EDP Produção

6

Estudos Preliminares e de Inventário de Novos Centros Produtores Reversíveis

7

Custos de Construção

8

Processo de licenciamento ambiental e principais impactos socioambientais

9

Aspetos construtivos e tecnológicos

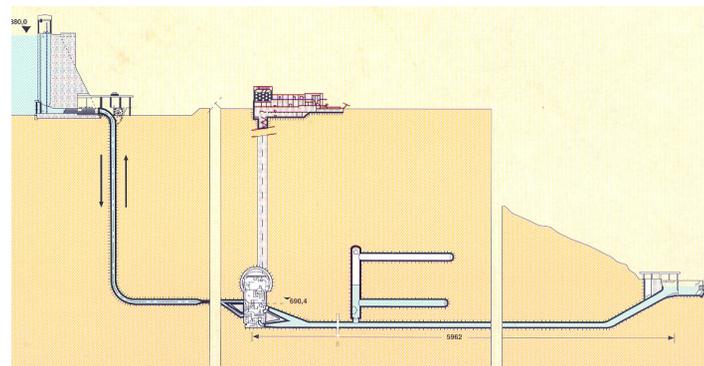
Usinas Hidroelétricas Reversíveis da EDP Produção

Alto Rabagão

O aproveitamento está situado no rio Rabagão. A central é subterrânea em caverna, equipada com dois grupos reversíveis, e está implantada a 130 m de profundidade. O túnel de restituição tem cerca de 6 km, dotado de chaminé de equilíbrio.

Principais Indicadores

Entrada em Serviço	1964
Potência	68 MW
Queda	180 m
Caudal turbinamento/bombagem	52,8/36 m ³ /s
Volume útil	550,1 hm ³



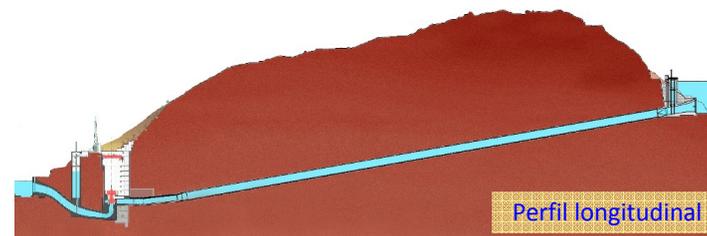
Usinas Hidroelétricas Reversíveis da EDP Produção

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.

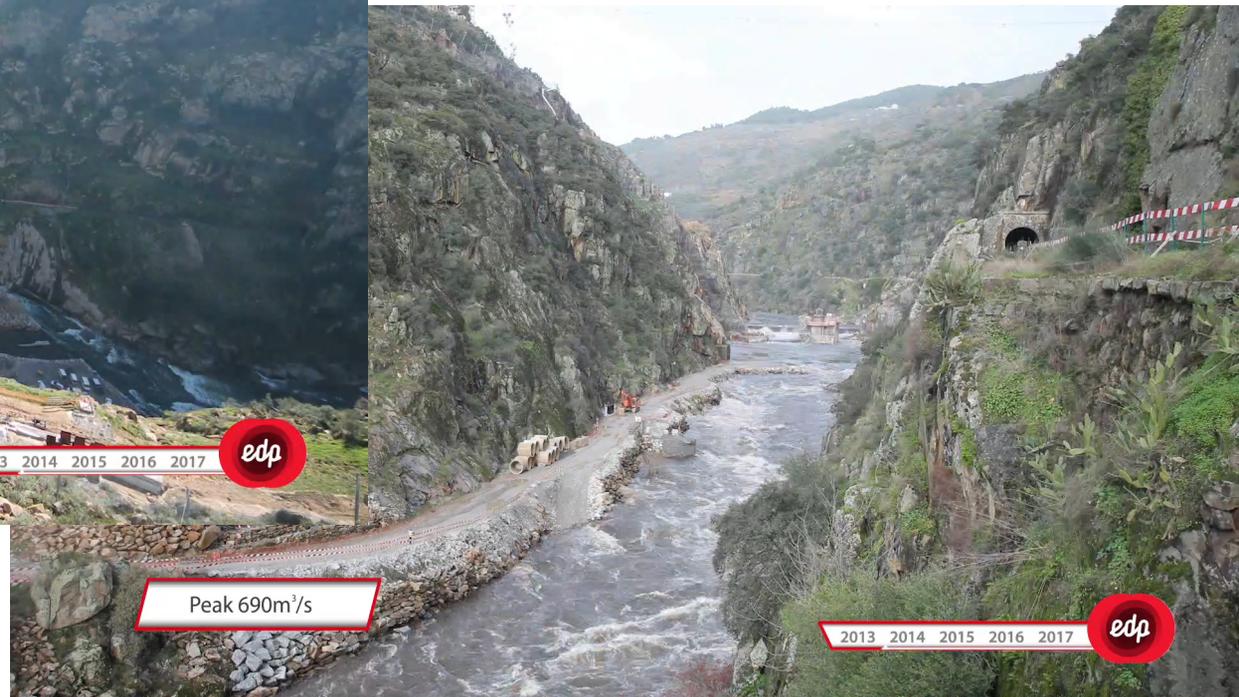
Principais Indicadores

Início da Construção	2011
Entrada em Serviço	2017
Potência	270 MW
Queda	93,6 m
Caudal turbinamento/bombagem	310/250 m ³ /s
Volume útil	69 hm ³



Usinas Hidroelétricas Reversíveis da EDP Produção

Foz Tua





1

O Setor Elétrico Português e o papel da bombagem

2

Enquadramento Legislativo das Concessões de Domínio Hídrico

3

Remuneração por Capacidade

4

O funcionamento do mercado elétrico

5

Usinas Hidroelétricas Reversíveis da EDP Produção

6

Estudos Preliminares e de Inventário de Novos Centros Produtores Reversíveis

7

Custos de Construção

8

Processo de licenciamento ambiental e principais impactos socioambientais

9

Aspectos construtivos e tecnológicos

FASE 1 – SELEÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

- Ranking baseado (p. ex.) no declive médio e no comprimento dos cursos de água - importância do potencial hídrico / disponibilidade hídrica é de segunda ordem;
- Combinação dos diversos critérios.

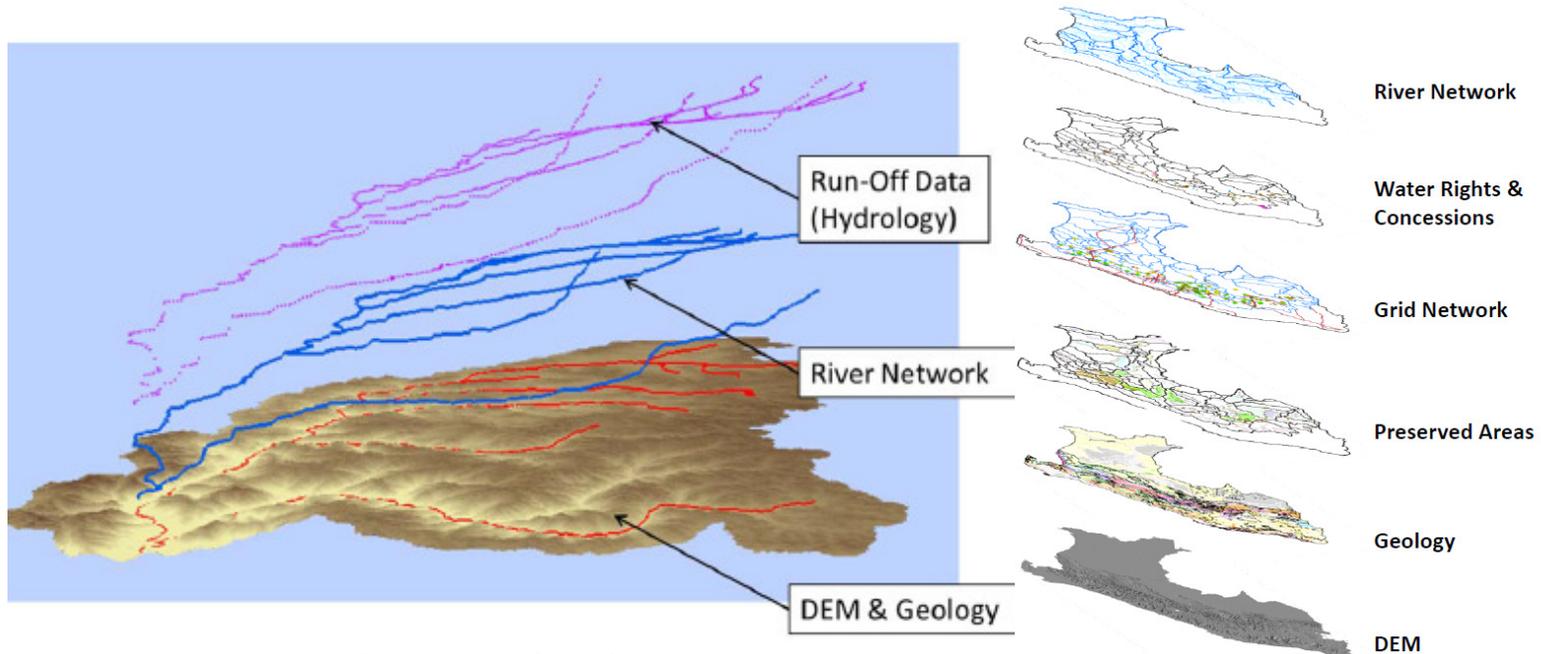
FASE 2 – SELEÇÃO DE TRECHOS DE RIOS

FASE 3 – DETEÇÃO DE ZONAS PARA CONSTITUIÇÃO DE RESERVATÓRIOS

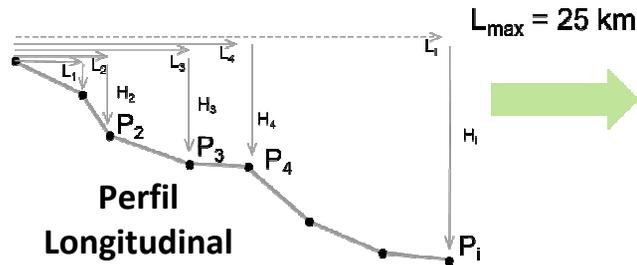
RECURSO A SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)

FASE 1 – SELEÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

- Ranking baseado (p. ex.) no declive médio e no comprimento dos cursos de água



FASE 2 – SELEÇÃO DE TRECHOS DE RIOS

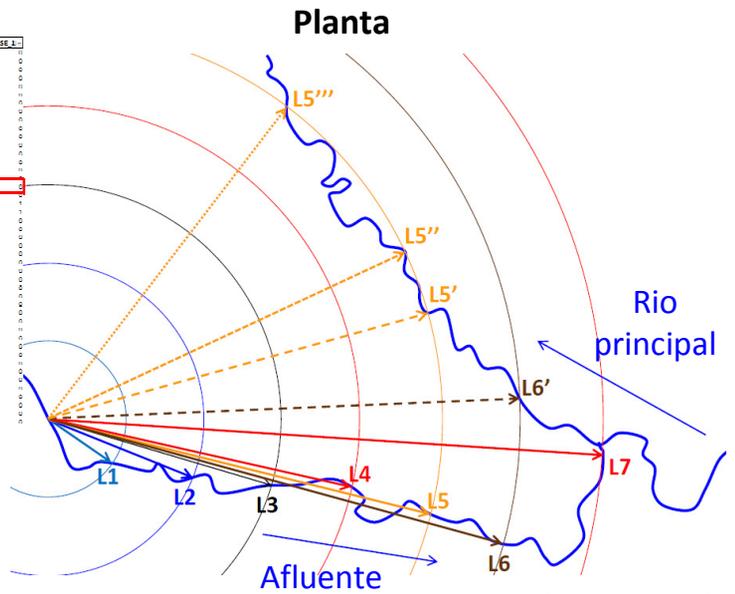


$$P_i = H_i * Q_i * C$$

- Maximum $\left\{ \begin{array}{l} P_{max, i} \\ P_{opt, i} \\ L_{opt, i} \\ H_{opt, i} \end{array} \right.$
- Max. P_i/L_i

RID	Rever_Nome	Padre (i)	x	y	z	CASE 1
1	Rever_001	0	1000000	1000000	1000000	0
2	Rever_002	1	1000000	1000000	1000000	0
3	Rever_003	2	1000000	1000000	1000000	0
4	Rever_004	3	1000000	1000000	1000000	0
5	Rever_005	4	1000000	1000000	1000000	0
6	Rever_006	5	1000000	1000000	1000000	0
7	Rever_007	6	1000000	1000000	1000000	0
8	Rever_008	7	1000000	1000000	1000000	0
9	Rever_009	8	1000000	1000000	1000000	0
10	Rever_010	9	1000000	1000000	1000000	0
11	Rever_011	10	1000000	1000000	1000000	0
12	Rever_012	11	1000000	1000000	1000000	0
13	Rever_013	12	1000000	1000000	1000000	0
14	Rever_014	13	1000000	1000000	1000000	0
15	Rever_015	14	1000000	1000000	1000000	0
16	Rever_016	15	1000000	1000000	1000000	0
17	Rever_017	16	1000000	1000000	1000000	0
18	Rever_018	17	1000000	1000000	1000000	0
19	Rever_019	18	1000000	1000000	1000000	0
20	Rever_020	19	1000000	1000000	1000000	0
21	Rever_021	20	1000000	1000000	1000000	0
22	Rever_022	21	1000000	1000000	1000000	0
23	Rever_023	22	1000000	1000000	1000000	0
24	Rever_024	23	1000000	1000000	1000000	0
25	Rever_025	24	1000000	1000000	1000000	0
26	Rever_026	25	1000000	1000000	1000000	0
27	Rever_027	26	1000000	1000000	1000000	0
28	Rever_028	27	1000000	1000000	1000000	0
29	Rever_029	28	1000000	1000000	1000000	0
30	Rever_030	29	1000000	1000000	1000000	0
31	Rever_031	30	1000000	1000000	1000000	0
32	Rever_032	31	1000000	1000000	1000000	0
33	Rever_033	32	1000000	1000000	1000000	0
34	Rever_034	33	1000000	1000000	1000000	0
35	Rever_035	34	1000000	1000000	1000000	0
36	Rever_036	35	1000000	1000000	1000000	0
37	Rever_037	36	1000000	1000000	1000000	0
38	Rever_038	37	1000000	1000000	1000000	0
39	Rever_039	38	1000000	1000000	1000000	0
40	Rever_040	39	1000000	1000000	1000000	0
41	Rever_041	40	1000000	1000000	1000000	0
42	Rever_042	41	1000000	1000000	1000000	0
43	Rever_043	42	1000000	1000000	1000000	0
44	Rever_044	43	1000000	1000000	1000000	0
45	Rever_045	44	1000000	1000000	1000000	0
46	Rever_046	45	1000000	1000000	1000000	0
47	Rever_047	46	1000000	1000000	1000000	0
48	Rever_048	47	1000000	1000000	1000000	0
49	Rever_049	48	1000000	1000000	1000000	0
50	Rever_050	49	1000000	1000000	1000000	0

Exemplo de algoritmo de detecção de trechos de rio mais interessantes



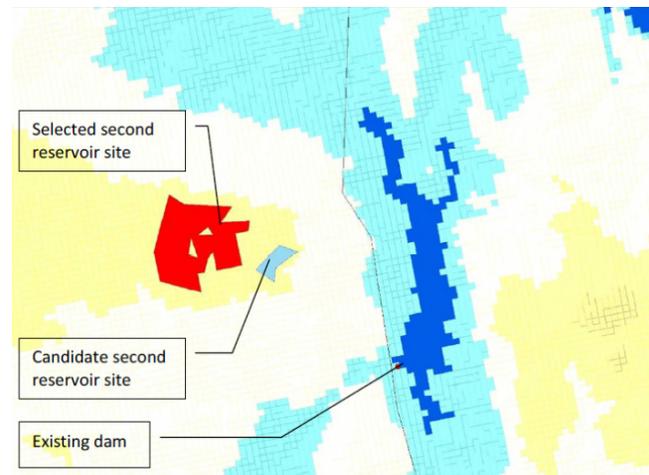
A aplicação de software para detecção dos melhores trechos evita o julgamento subjectivo

FASE 3 – DETEÇÃO DE ZONAS PARA CONSTITUIÇÃO DE RESERVATÓRIOS

- Reservatórios existentes
- Detecção de zonas planálticas adequadas a distâncias e com desníveis requeridos

Initial physical characteristics for transformation ³	Value
Minimum size of existing reservoir (m ³)	1 million
(or) minimum hydropower capacity (MW)	1
Max distance between reservoirs (dams) (km)	5
Minimum head (m)	150
Topology A, assumed new reservoir surface (m ²)	70 000
Minimum distance from inhabited sites to new dam infrastructure (m)	200
Minimum distance from existing transportation infrastructure to new dam infrastructure (m)	100
Minimum distance to a UNESCO site (km)	5
Potential site should not be in a Natura 2000 area	
Maximum distance to suitable grid connection (km)	20

Table 2: summary of parameters used for analysing the potential



EUR 25239 EN – Joint Research Centre – Institute for Energy and Transport
Title: Pumped-hydro energy storage: potential for transformation from single dams

Analysis of the potential for transformation of non-hydropower dams and reservoir hydropower schemes into pumping hydropower schemes in Europe

Metodologia:

- Seleção de zonas potencialmente mais interessantes, por observação inicial da carta de relevo (**zonas planálticas com vertentes altas e íngremes**);
- Exclusão de locais em **áreas com estatuto de conservação**;
- Pesquisa mais pormenorizada de sítios por observação visual, nas cartas militares 1:25.000 e com apoio do “Google Earth”, privilegiando:
 - **quedas superiores a 500 m**;
 - **circuitos hidráulicos com menos de 7 km**;
 - **armazenamentos úteis em ambos os reservatórios com mais de 1 hm³**;
- Seleção empírica de locais potencialmente interessantes (estimativa de queda, extensão de circuito hidráulico e volume útil mobilizável).



1

O Setor Elétrico Português e o papel da bombagem

2

Enquadramento Legislativo das Concessões de Domínio Hídrico

3

Remuneração por Capacidade

4

O funcionamento do mercado elétrico

5

Usinas Hidroelétricas Reversíveis da EDP Produção

6

Estudos Preliminares e de Inventário de Novos Centros Produtores Reversíveis

7

Custos de Construção

8

Processo de licenciamento ambiental e principais impactos socioambientais

9

Aspetos construtivos e tecnológicos

Aspetos técnicos que podem implicar **aumento de custo nas soluções reversíveis** relativamente a soluções convencionais equivalentes

Obras Civas

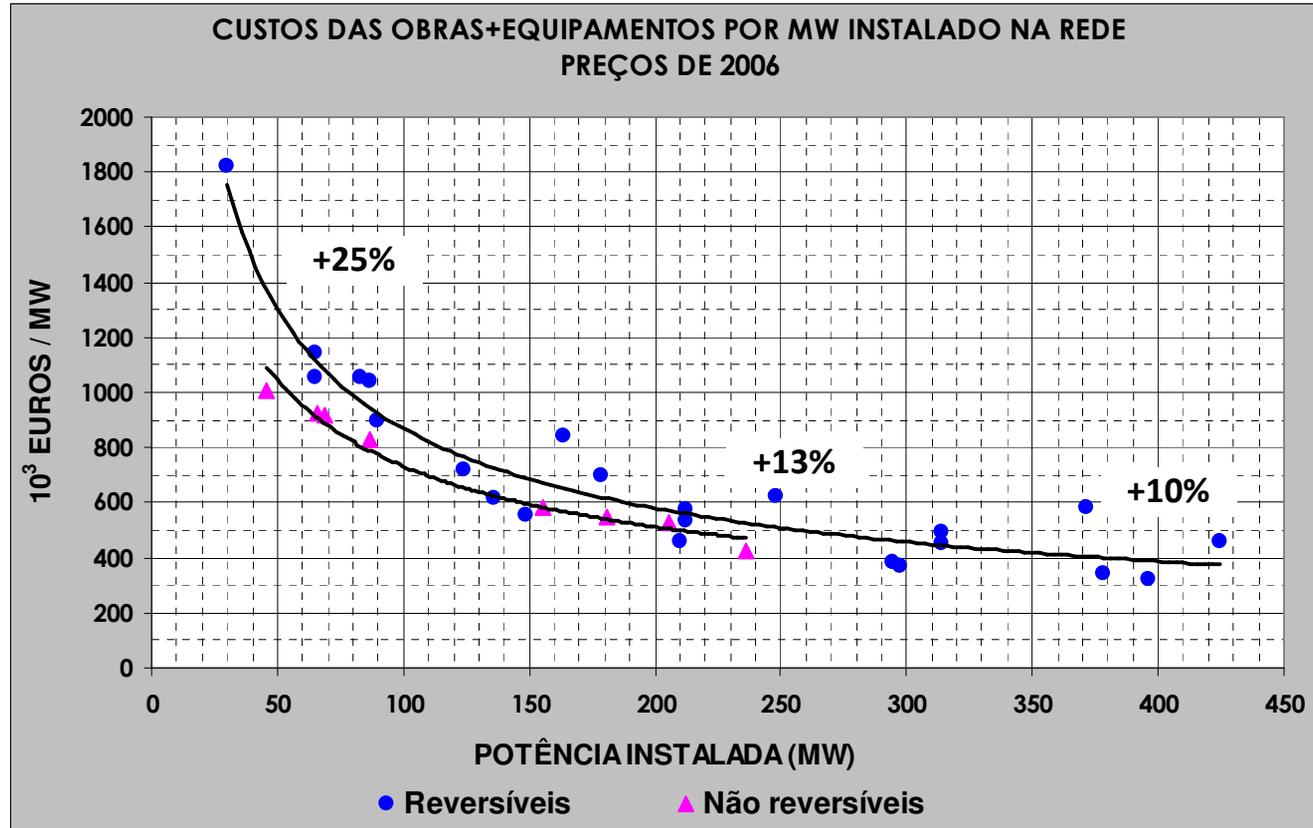
- **Bocais** tomada de água / restituição (dupla função);
 - **Chaminés de equilíbrio** (manobras bombagem);
- **Maior submersão dos grupos** (maior extensão dos túneis / poços de acesso e saída de energia, maiores cargas a montante, ...);
- Criação de **condições hidráulicas para bombagem – maior extensão do circuito hidráulico** ou **escavação do leito do rio** a jusante.

Equipamentos

- **Grupos;**
- **Hidromecânico da restituição.**

Custos de Construção

Variação do custo específico com a potência





- 1 O Setor Elétrico Português e o papel da bombagem
- 2 Enquadramento Legislativo das Concessões de Domínio Hídrico
- 3 Remuneração por Capacidade
- 4 O funcionamento do mercado elétrico
- 5 Usinas Hidroelétricas Reversíveis da EDP Produção
- 6 Estudos Preliminares e de Inventário de Novos Centros Produtores Reversíveis
- 7 Custos de Construção
- 8 Processo de licenciamento ambiental e principais impactos socioambientais
- 9 Aspectos construtivos e tecnológicos



Principais Impactos Socioambientais

Impactos “exclusivos” das usinas reversíveis

- Modelação da qualidade da água mais complexa (particularmente no caso dos reforços de potência);
- Maior frequência de variação do nível de água da albufeira e consequentes efeitos ao nível da faixa interníveis (erosão e impacte visual de difícil minimização);
- Eventual afetação da qualidade ecológica do troço a jusante da Restituição, decorrente dos diferentes modos de operação (bombagem e turbinamento);
- Rentabilização/otimização das infraestruturas existentes, no caso dos reforços de potência.



1

O Setor Elétrico Português e o papel da bombagem

2

Enquadramento Legislativo das Concessões de Domínio Hídrico

3

Remuneração por Capacidade

4

O funcionamento do mercado elétrico

5

Usinas Hidroelétricas Reversíveis da EDP Produção

6

Estudos Preliminares e de Inventário de Novos Centros Produtores Reversíveis

7

Custos de Construção

8

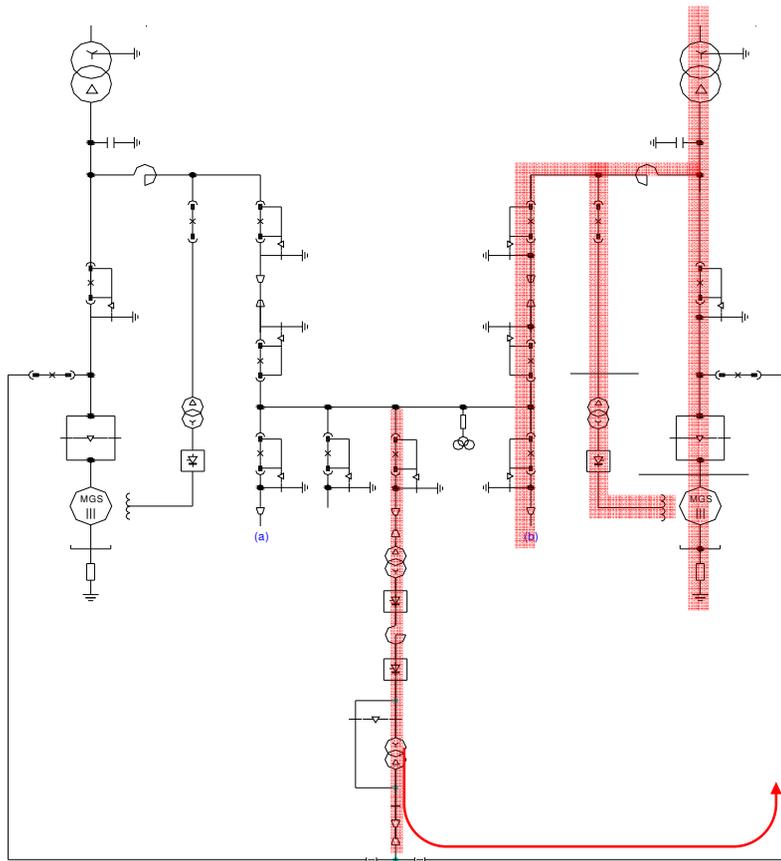
Processo de licenciamento ambiental e principais impactos socioambientais

9

Aspectos construtivos e tecnológicos

Aspetos construtivos e tecnológicos

Arranque em modo bomba – Conversor Estático de Frequência



O arranque dos grupos em modo bomba pode ser realizado, entre outros, com recurso a:

✓ **Conversor estático de frequência (CEF)**

1. Ligar auxiliares
2. Desafogar a roda
3. Ligar excitação
4. Ligar CEF
5. Ligar sincronização
6. Afogar a roda
7. Desligar CEF

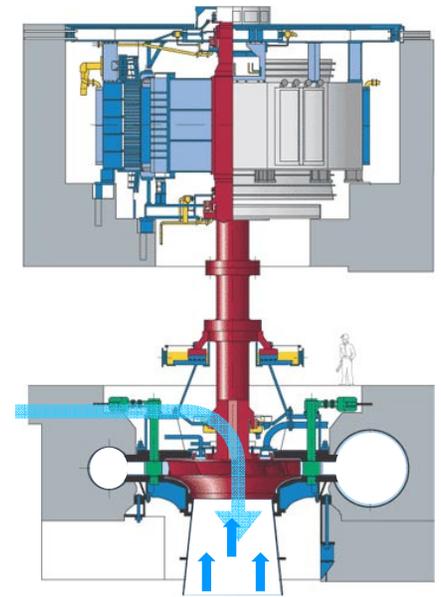
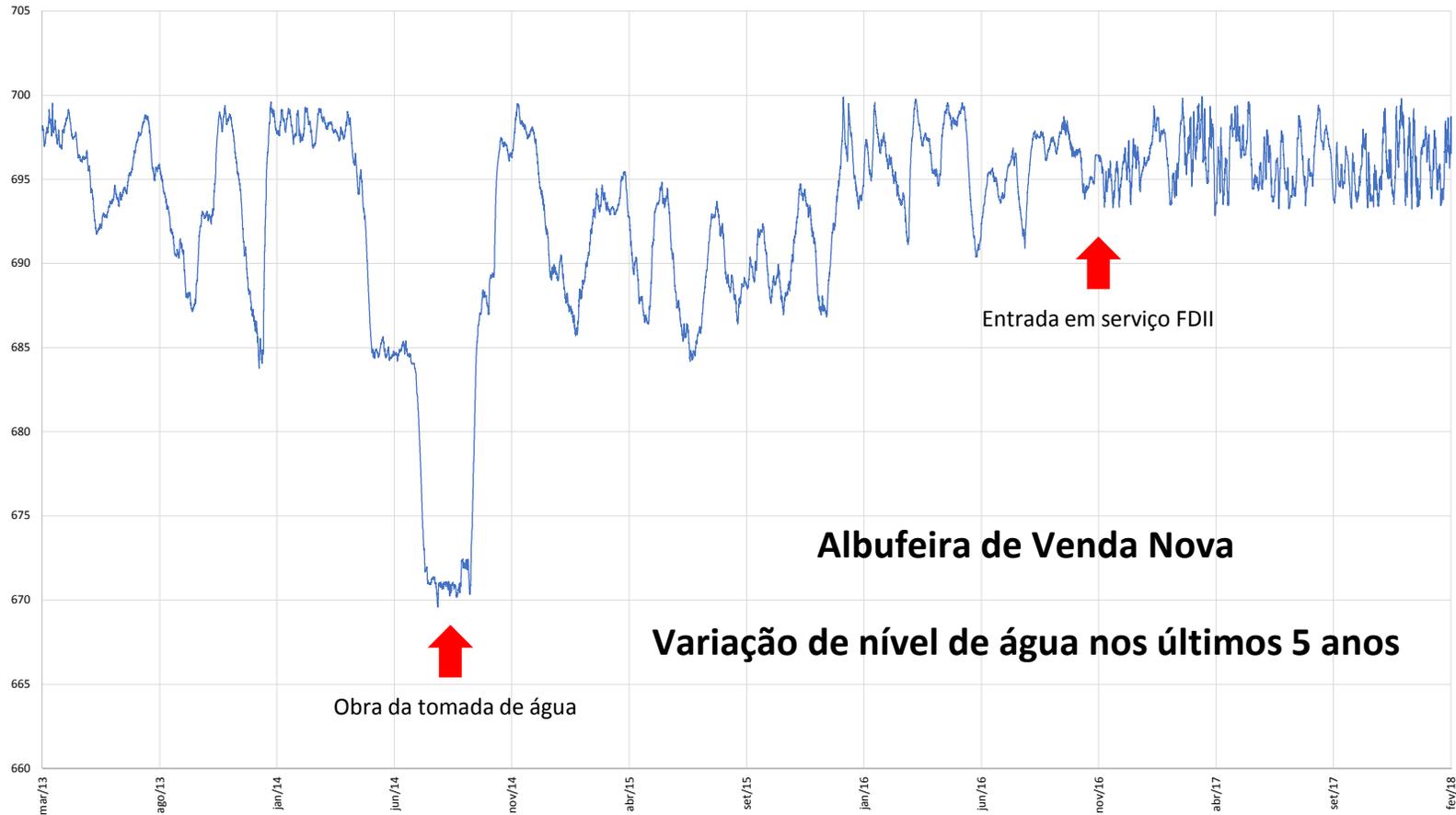


Imagem de corte do grupo: Voith

Aspectos construtivos e tecnológicos

Exploração



Albufeira de Venda Nova

Variação de nível de água nos últimos 5 anos

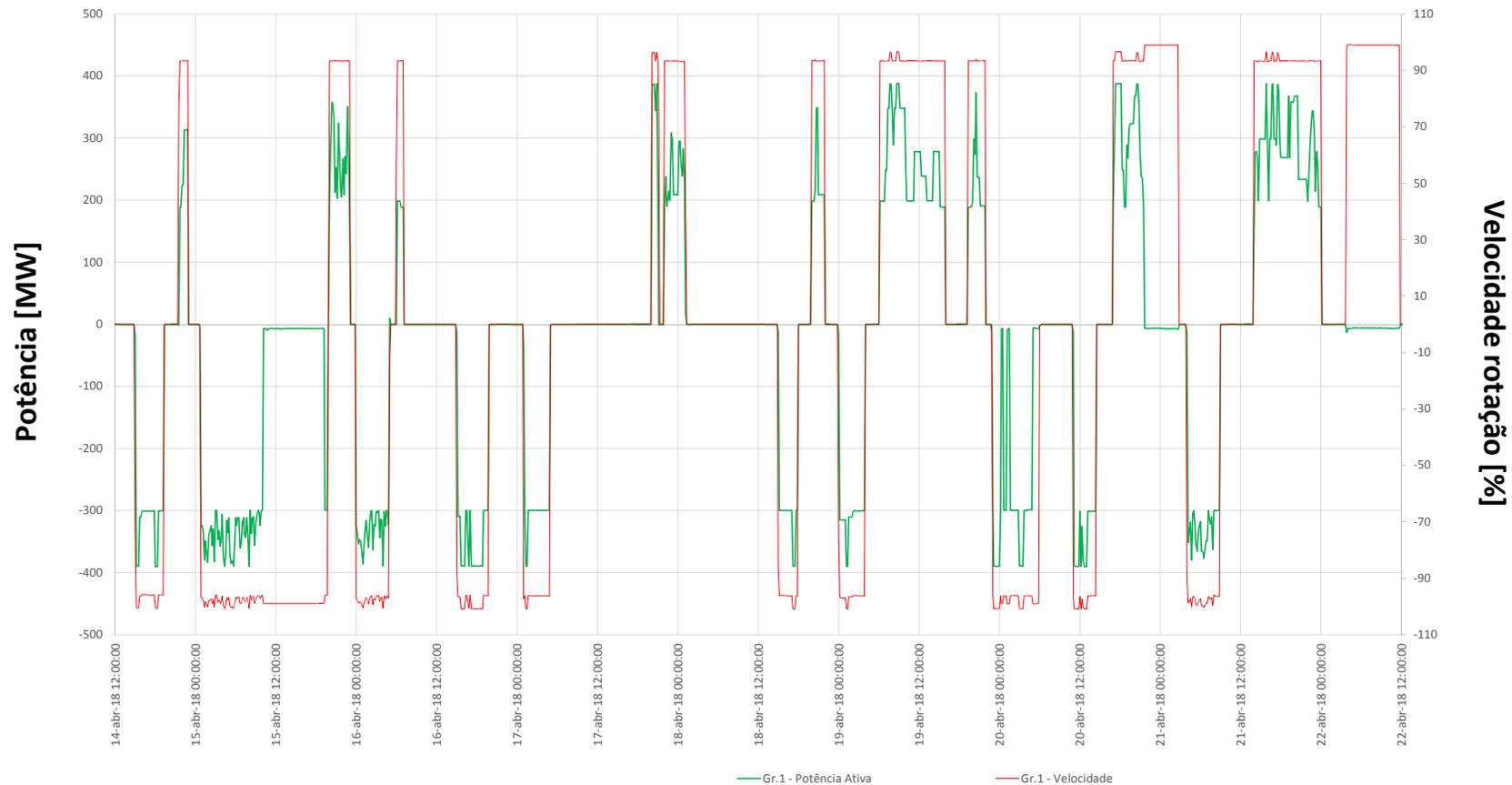
Obra da tomada de água

Entrada em serviço FDII

Aspetos construtivos e tecnológicos

Exploração

Frades II - Grupo 1: 14/04/2018 a 22/04/2018

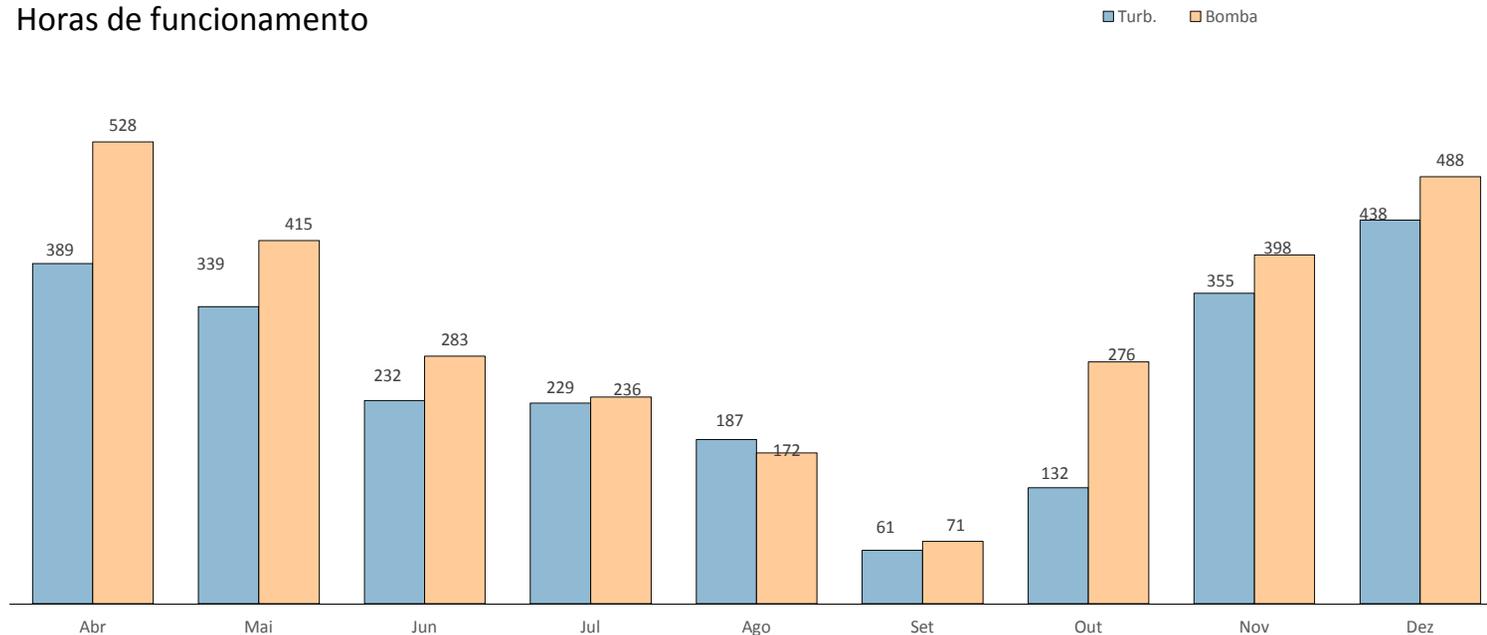


Aspetos construtivos e tecnológicos

Exploração

Frades II - Desempenho operacional 2017

Horas de funcionamento



Aspetos construtivos e tecnológicos

Exploração

Nº de arranques em TURBINA, BOMBA e COMPENSADOR - 2017

