



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

E-BOOK

XI ENCONTRO ENG. CIVIL

NORTE PORTUGAL — GALIZA

10 e 11 de julho de 2025

COM O APOIO



CCDR
NORTE

Preâmbulo

PT

A Ordem dos Engenheiros da Região Norte e o Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Galicia organiza este Encontro com o objetivo de reunir especialistas, académicos e profissionais em torno dos desafios atuais e futuros do setor hidroelétrico, com foco na inovação, sustentabilidade e cooperação transfronteiriça.

O setor hidroelétrico, como fonte estratégica de energia renovável, exige uma abordagem cada vez mais integrada entre a engenharia, a gestão hídrica e a produção energética. **A Engenharia Civil assume um papel determinante na construção grandes estruturas e infraestruturas** - barragens, túneis, condutas e centrais, e na garantia da sua segurança, durabilidade e eficiência a longo prazo.

Destacam-se neste contexto o **dimensionamento estrutural avançado, a monitorização das estruturas de betão armado**, e o uso de tecnologias de controlo e gestão de risco.

O programa contempla ainda **temas centrais da Agenda energética, como as estratégias de armazenamento de energia, a escassez e variabilidade dos recursos hídricos e os trasvases entre bacias hidrográficas**, que exigem soluções técnicas, ambientais e territoriais integradas.

Este Encontro propõe uma abordagem transversal e multidisciplinar, cruzando engenharia, água, energia e território, e reafirma o papel da Engenharia Civil como motor de inovação e desenvolvimento sustentável.

Vitor Monteiro,
Coordenador do XI Encontro de Engenharia Civil

ES

La Orden dos Engenheiros da Região Norte y el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Galicia organiza este Encuentro con el objetivo de reunir a especialistas, académicos y profesionales en torno a los desafíos actuales y futuros del sector hidroeléctrico, con foco en la innovación, sostenibilidad y cooperación transfronteriza.

El sector hidroeléctrico, como fuente estratégica de energía renovable, exige un enfoque cada vez más integrado entre la ingeniería, la gestión hídrica y la producción energética. **La Ingeniería Civil asume un papel determinante en la construcción de grandes estructuras e infraestructuras** – presas, túneles, conducciones y centrales – y en la garantía de su seguridad, durabilidad y eficiencia a largo plazo.

Se destacan en este contexto el **dimensionamiento estructural avanzado, la monitorización de las estructuras de hormigón armado**, y el uso de tecnologías de control y gestión de riesgo.

El programa contempla también temas centrales de **la Agenda energética, como las estrategias de almacenamiento de energía, la escasez y variabilidad de los recursos hídricos y los trasvases entre cuencas hidrográficas**, que exigen soluciones técnicas, ambientales y territoriales integradas.

Este Encuentro propone un enfoque transversal y multidisciplinar, cruzando ingeniería, agua, energía y territorio, y reafirma el papel de la Ingeniería Civil como motor de innovación y desarrollo sostenible.

Vitor Monteiro,
Coordinador del XI Encuentro de Ingeniería Civil

GAL

A Ordem dos Engenheiros da Região Norte e o Colexio de Enxeñeiros de Camiños, Canais e Portos de Galicia organizan este Encontro co obxectivo de xuntar a especialistas, académicos e profesionais ao redor aos desafíos actuais e futuros do sector hidroeléctrico, con foco na innovación, sostibilidade e cooperación transfronteiriza.

O sector hidroeléctrico, como fonte estratéxica de enerxía renovable, esixe un enfoque cada vez máis integrado entre a enxeñería, a xestión hídrica e a produción enerxética. **A Enxeñería Civil asume un papel determinante na construción de grandes estruturas e infraestruturas -presas, túneles, conducións e centrais-e na garantía da súa seguridade, durabilidade e eficiencia a longo prazo.**

Destácanse neste contexto o **dimensionamento estrutural avanzado, a monitorización das estruturas de formigón armado**, e o uso de tecnoloxías de control e xestión de risco.

O programa contempla tamén temas centrais da **Axenda enerxética, como as estrateixas de almacenamento de enerxía, a escaseza e variabilidade dos recursos hídricos e os trasvases entre concas hidrográficas**, que esixen solucións técnicas, ambientais e territoriais integradas.

Este Encontro propón un enfoque transversal e multidisciplinar, cruzando enxeñería, augua, enerxía e territorio, e reafirma o papel da Enxeñería Civil como motor de innovación e desenvolvemento sostible.

Vitor Monteiro,
Coordenador do XI Encontro de Enxeñería Civil

Índice

TEMA 1 | OBRAS DO COMPLEXO HIDRELÉTRICO DO TÂMEGA - Gigabateria do Tâmega

Luís Capinha, Diretor de exploração do complexo hidrelétrico do Tâmega – IBERDROLA	5
Carlos Granell Ninot, Comité Nacional Español de Grandes Presas (SPANCOLD)	38
Bruno Rocha, Diretor na Conduril – Engenharia S.A. Consulgal – Consultores de Engenharia e Gestão, S.A	72
António Batista e Luís Lamas, Investigador e Chefe do Núcleo de Modelação e Mecânica das Rochas – LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil)	105

TEMA 2 | ÁGUA & ENERGIA - O Valor Estratégico das Infraestruturas Hidráulicas

Pablo Fernández Vila, Diretor Geral de Planeamento Energético e Minas da Xunta de Galicia	127
Ana Paula Moreira, Diretora de Engenharia na EDP Geração – Portugal	145
Manuel Costeira da Rocha, Diretor de Estratégia de Tecnologia da Smartenergy e Vogal da Comissão de Especialização em Energia da Ordem dos Engenheiros	158
Roi Fernández Añón, Director de Augas de Galicia	178
Miguel Ángel Núñez Casamayor, Director de Desenvolvimento de Negocio – TASGA Renovables	214

TEMA 3 | GRANDES ESTRUTURAS DE BETÃO-ARMADO - Soluções avançadas de engenharia estrutural

Francisco Jorge C. da Rocha e Silva, Assessor Técnico Sênior da REN – Redes Energéticas Nacionais	242
José Angel Núñez, Ain Active, proxectista español de grandes presas/dimensionamento e execución de estruturas de formigón armado	256
Fernando Martínez Abella, Director del Centro de Innovación Tecnológica en Edificación e Enxeñería Civil da Universidade da Coruña – Catedrático de Enxeñería da Construción	296
Humberto Varum, Presidente do Colégio Nacional de Engenharia Civil e Professor Catedrático da FEUP	325
Pimenta Machado, Presidente da Agencia Portuguesa do Ambiente, IP	386



TEMA 1

OBRAS DO COMPLEXO HIDRELÉTRICO DO TÂMEGA - Gigabateria do Tâmega



XI ENCONTRO ENG. CIVIL

NORTE PORTUGAL — GALIZA



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

GIGABATERIA DO TÂMEGA

Luis Capinha – IBERDROLA

11/07/2025

COM O APOIO



CCDR
NORTE

Sistema Eletroprodutor do Tâmega (SET)

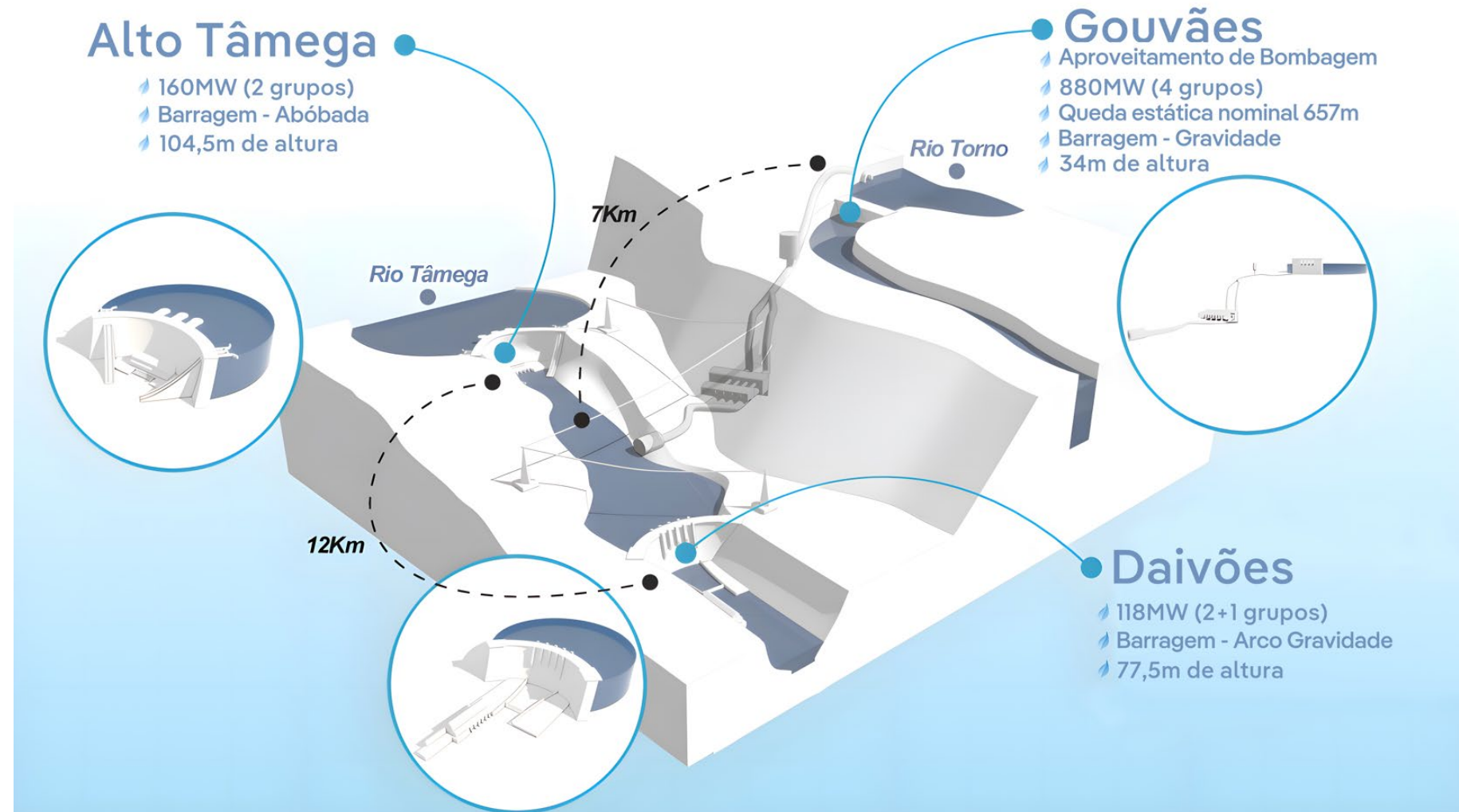


ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos



Sistema Eletroprodutor do Tâmega (SET)



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camíños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos



 AH ALTO TÂMEGA /
160 MW (2 grupos)

 AH DAIVÕES /
118 MW (2 + 1 grupos)

 AH GOUVÃES /
880 MW (4 grupos - bombagem)

POTÊNCIA TOTAL	1158 MW
PRODUÇÃO ANUAL	1766 GWh
RESERVA DE ENERGIA	40 GWh
CONSTRUÇÃO	2014-2024

- Com os seus **1.158 MW** o SET aumentou em 6% a potência instalada em Portugal
- Investidos **1.500 M€**. Mais de **900 M€** adjudicados a empresas portuguesas ou consórcios nacionais.
- Mais de **1.000 contratos adjudicados**, sendo 78 por valores superiores a 1 M€.
- **13.500 empregos criados** (diretos + indiretos).
- Mais de **30.000 trabalhadores** passaram pelas obras. Média de **2.000 trabalhadores** nas obras.
- **Fortalecimento da economia**: rácio de desemprego, formação de profissionais, melhoria das infraestruturas locais, etc.
- **“0” acidentes graves**, com **23 milhões de horas** acumuladas.
- Combate às alterações climáticas evitando a emissão de 1,2 milhões de ton de CO2 por ano
- A Concessão da Exploração durará 70 anos. Início em 2022

Um dos maiores projectos Hidroelétricos levados a cabo na Europa nos últimos 25 anos

Projecto Tâmega – Layout



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

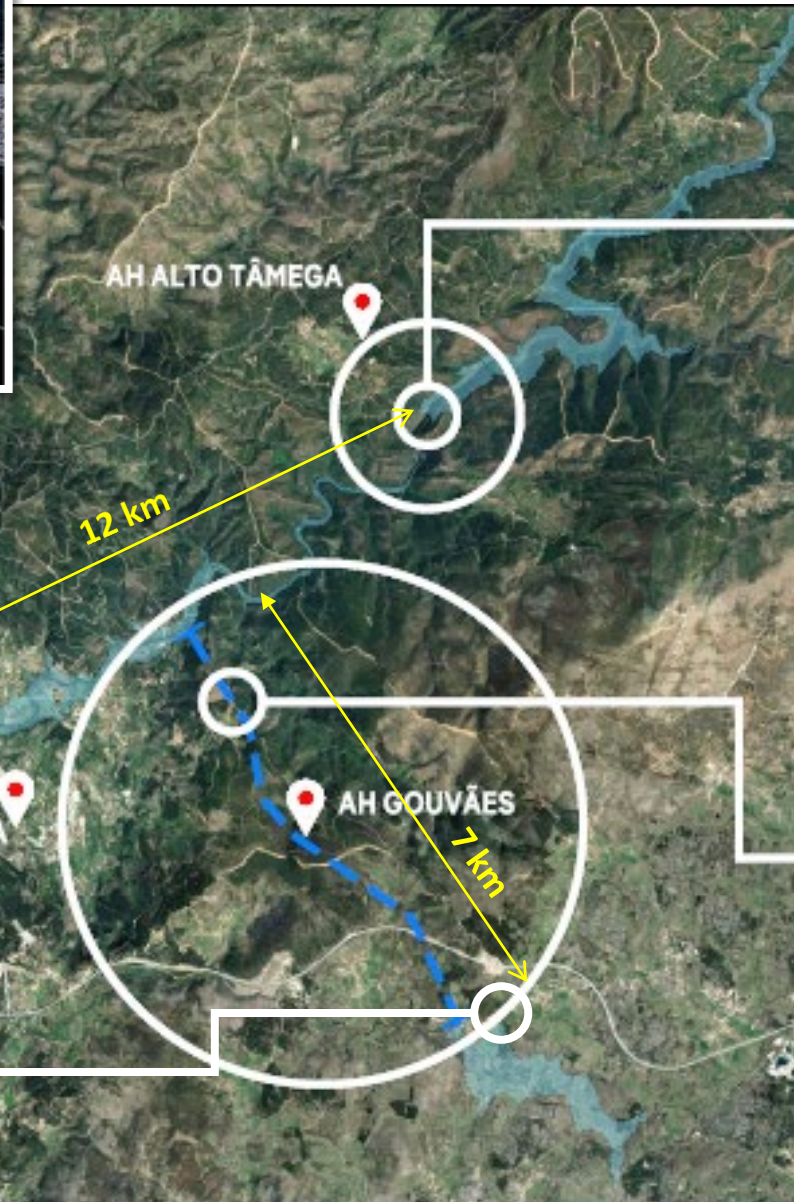
camións
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos



DAIVÕES
118 MW
2+1 grupos
COD 2022



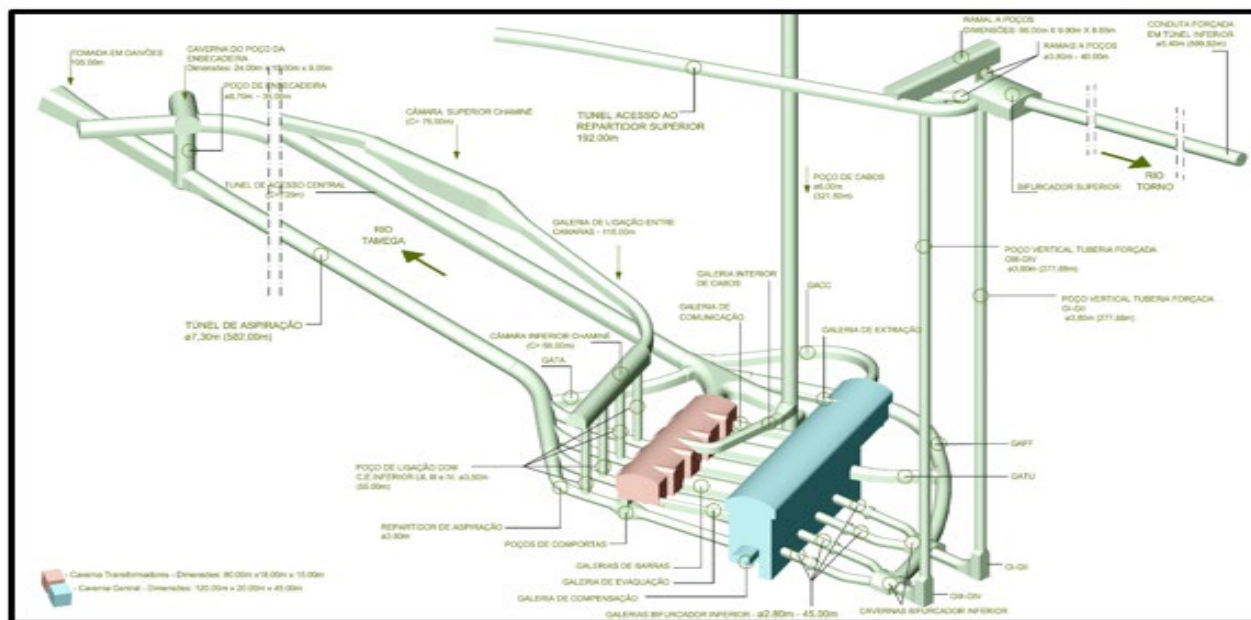
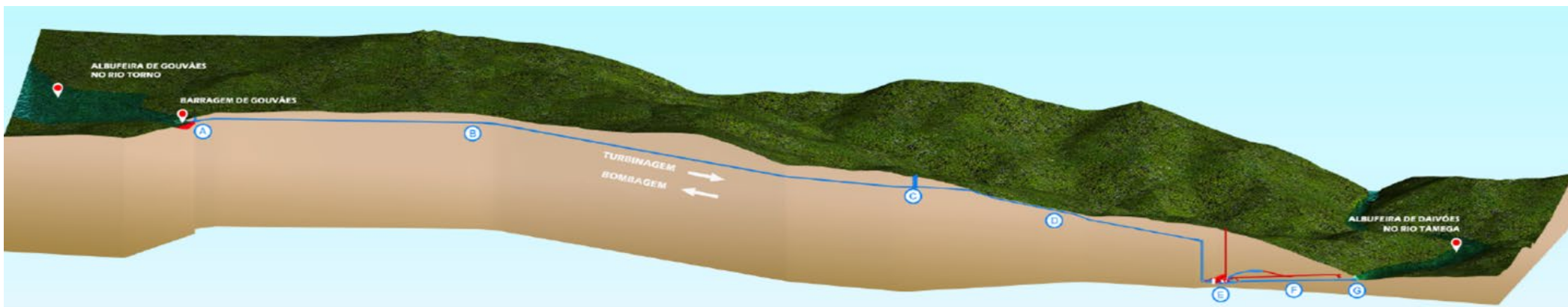
ALTO TÂMEGA
160 MW
2 grupos
COD Março 2024



GOUVÃES
880 MW
4 grupos (bombagem)
COD 2022

GOUVÃES

Esquema Hidráulico



Tunel de Adução em betão = 4.6 km
Chaminé de Equilíbrio Superior = Ø 21m
Conduta Forçada Inclinada = 1.7 km
Conduta Forçada Vertical = 280 m
Tunel de Restituição / Aspiração = 860 m

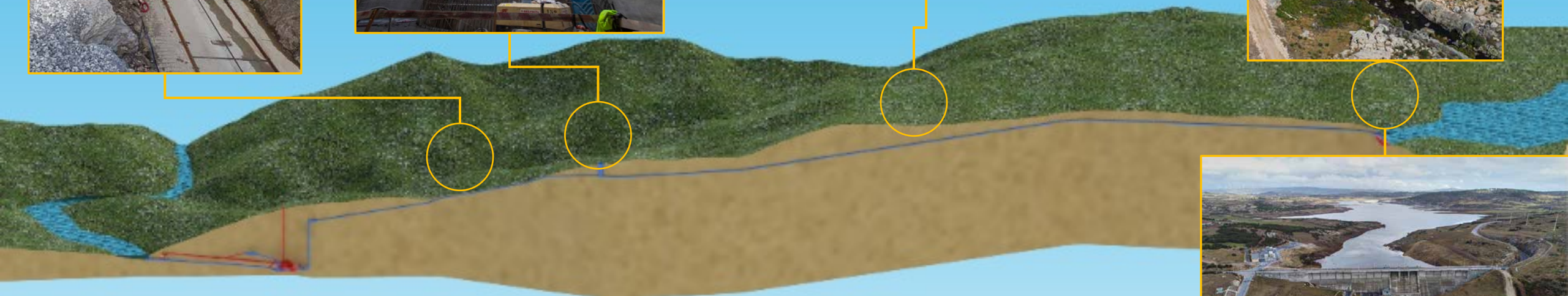
A. H. Gouvães – Descrição Técnica



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camíños
Galicia

 Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos



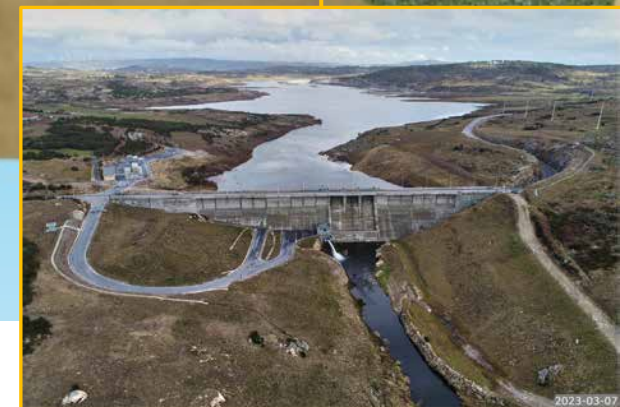
Potência Instalada – 880 MW

Queda Bruta – 657 m

Extensão do Circuito Hidráulico – 7,670 m

Volume Albufeira Superior – 13.7 hm³

Altura da Barragem – 34 m



A. H. Gouvães – Descrição Técnica

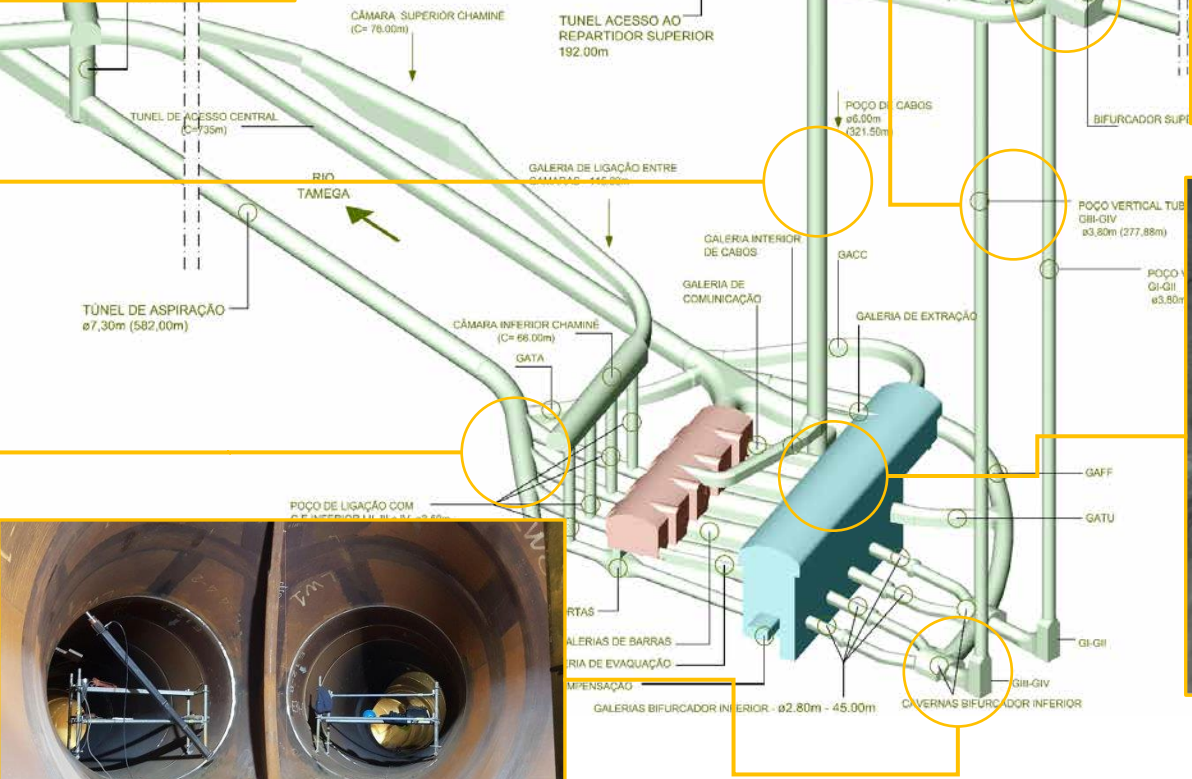
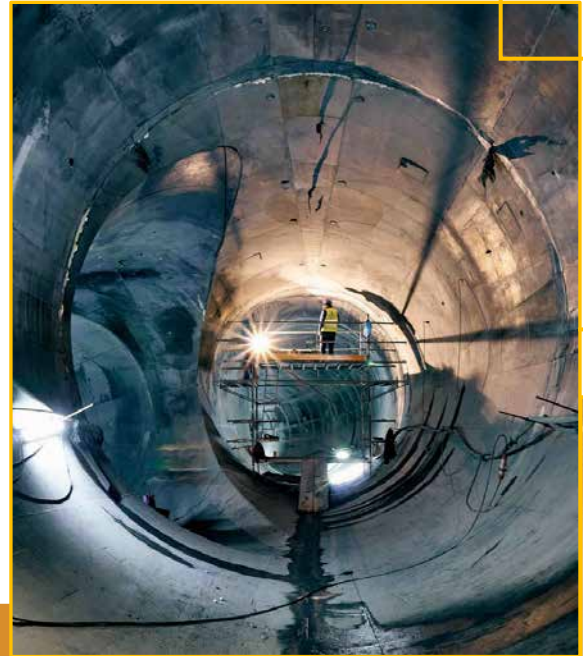


ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camíños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos



GOUVÃES

Albufeira Superior
(Barragem de Gouvães)

Escavação Barragem

Acesso ao túnel de
Adução

Tomada Superior

GOUVÃES

Barragem Gouvães



GOUVÃES

Barragem Gouvães

Albufeira
superior

34m altura
13,7 hm³ volume
1,76 km² area ocupada



Escavação



Revestimento



4,6 km comprimento
Ø 7,3m



GOUVÃES

Chaminé Equilíbrio
Superior





GOUVÃES

Metodo Cut and Cover
Forçada em vala



GOUVÃES

Escritórios e centro controle

Subestação GIS

GOUVÃES

Galeria cabos 400 kV

400 kV Poço de cabos e centro de
operação e controle

Subestação GIS

Caverna Central

GOUVÃES

Caverna de central

120m comprimento
20m largura
50m altura

GOUVÃES

Caverna de central



A.H. Gouvães

Caverna de central



GOUVÃES

Caverna de central



GOUVÃES

Acesso a Central

Tomada inferior

A. H. Daivões e A. H. Alto Tâmega – Descrição Técnica



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camíños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

A. H. DAIVÕES

Nível Pleno de Armazenamento – 228 m

Volume da Albufeira – 56.2 hm³

Comprimento de Coroamento – 265 m

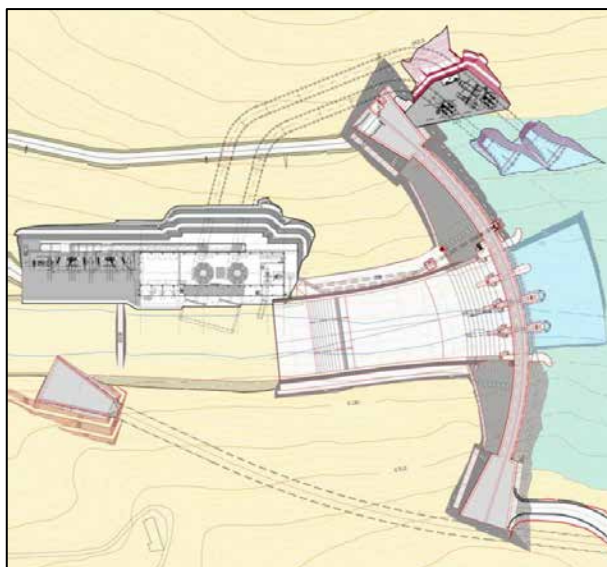
Altura da Barragem – 77.5 m

Número de Grupos – 2+1

Caudal Total – 220 m³/s

Potência Instalada – 114+4 MW

Produção – 159 GWh



A. H. ALTO TÂMEGA

Nível Pleno de Armazenamento – 315 m

Volume da Albufeira – 131.7 hm³

Comprimento de Coroamento – 335 m

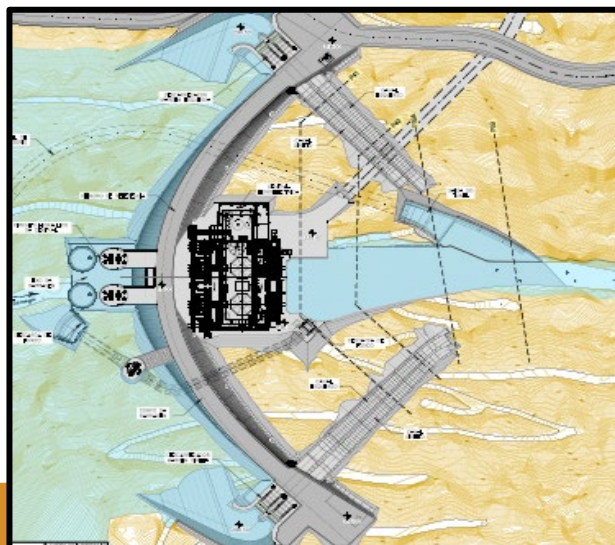
Altura da Barragem – 104.5 m

Número de Grupos – 2

Caudal Total - 200 m³/s

Potência Instalada – 160 MW

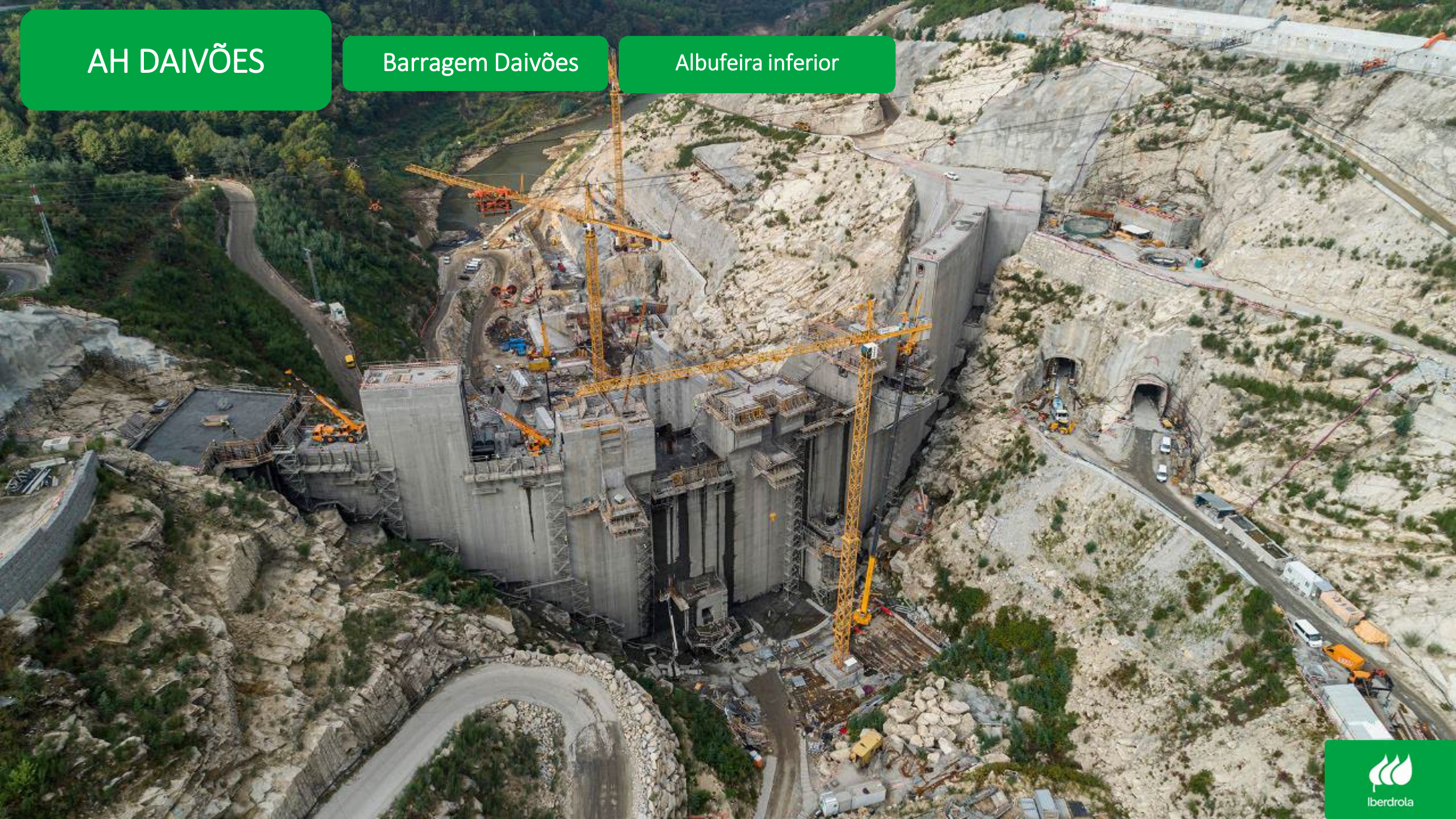
Produção – 139 GWh



AH DAIVÕES

Barragem Daivões

Albufeira inferior



AH DAIVÕES

Barragem Daivões

77 m altura
56 hm³ volume



AH DAIVÕES

Barragem e Central



AH ALTO TÂMEGA

dezembro 2018

Boca
Entrada
Desvio Rio
e
Ensecadeira

Estaleiro Industrial

Boca Saída
Desvio Rio

AH ALTO TÂMEGA

dezembro 2019



AH ALTO TÂMEGA

março 2022



AH ALTO TÂMEGA

julho 2023



AH ALTO TÂMEGA

2024

104,5 m altura
132 hm3 vol albufeira



AH ALTO TÂMEGA

2024



AH ALTO TÂMEGA

2024



Grandes Magnitudes do SET



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camións
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Principais Magnitudes	TOTAL
Acessos de Obra	28 km
Acessos Definitivos e Reposição SSAA	27 km
Escavações Exteriores	3.250.000 m3
Escavações Subterrâneas	750.000 m3
Obras Subterrâneas (Túneis ou Galerias)	12,5 km
Obras Subterrâneas (Poços)	1.270 m
Betão Projetado	31.000 m3
Betão Estrutural	400.000 m3
Betão de Barragem	550.000 m3
Aço Estrutural (Ferragens)	21.000 t
Aço Estruturas Metálicas	3.600 t
Aço Blindagens Condutas Hidráulicas	12.000 t
Aço Câmaras Espirais e Cotovelos de Aspiração	670 t
Linhas de Meia-Alta Tensão	58 km
Cabos (Alimentação, Controlo, Iluminação)	900 km

- ✓ Mais de 23 milhões de horas/homem sem acidentes mortais;
- ✓ Execução do projeto dentro do prazo e do orçamento;
- ✓ Estreita colaboração com a administração e as comunidades locais.



Complexo Eólico do Tâmega: Descrição Do Projeto



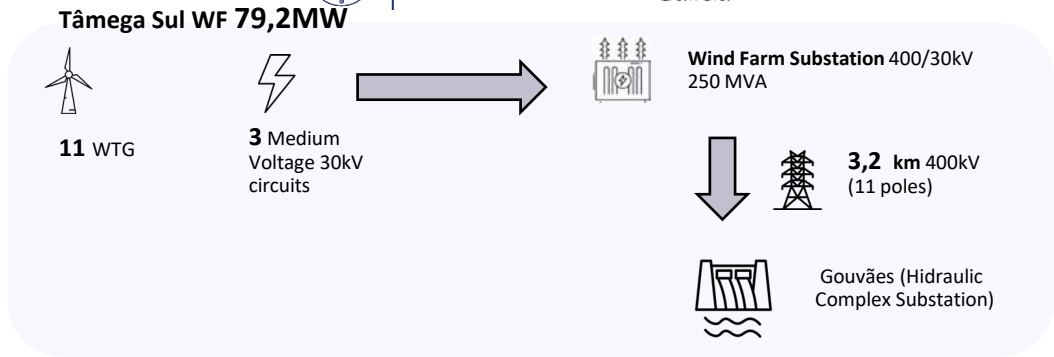
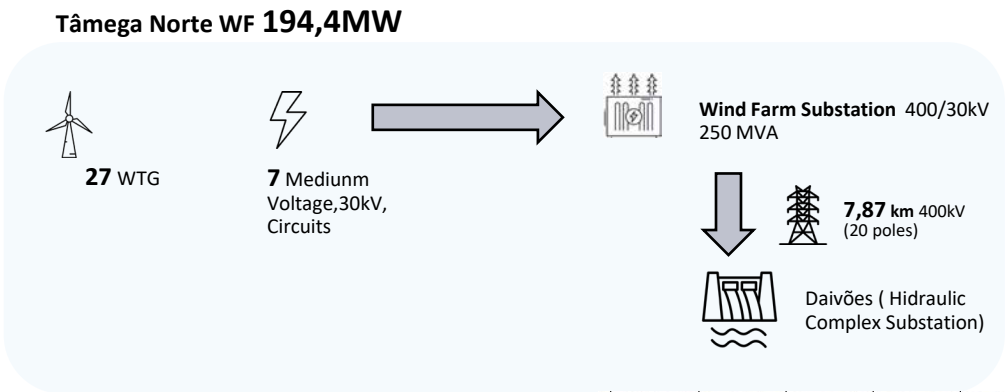
ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camिños
Galicia

Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Tâmega WF
274 MW
Ribeira de Pena
400kV REN
Substation

(TRC)

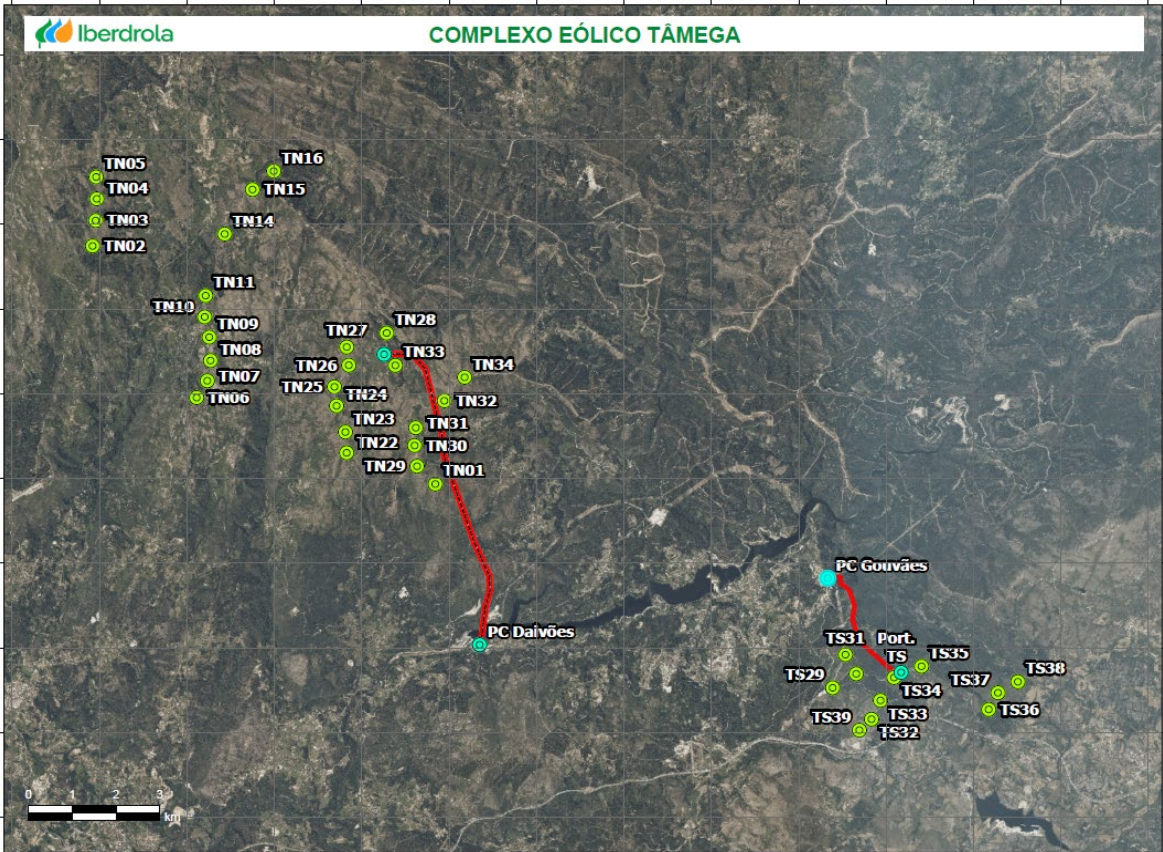


Localização
Vila Real/Braga



Concelhos

- Montalegre;
- Cabeceiras Basto;
- Ribeira de Pena;
- Vila Pouca Aguiar



XI ENCONTRO ENG. CIVIL

NORTE PORTUGAL — GALIZA



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camións
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

El proyecto y la construcción de la presa de Alto Tâmega, en Portugal

Rafael Chacón Llorente
IBERDROLA

Luis de la Torre Abietar
IBERDROLA

Carlos Granell Ninot
GRANELL Ingenieros Consultores
SPANCOLD

COM O APOIO



CCDR
NORTE

Contenido de la presentación

An aerial photograph of a large concrete dam with a curved spillway, situated in a lush green valley. A large reservoir is visible upstream of the dam. To the right of the dam, there is a power substation with several high-voltage transmission towers and power lines. The surrounding landscape is covered in dense forest, and a road or path is visible on the right side of the image.

1. Introducción
2. Geomorfología
3. Configuración
4. Estructura
5. Hidráulica
6. Conclusiones

1. Introducción

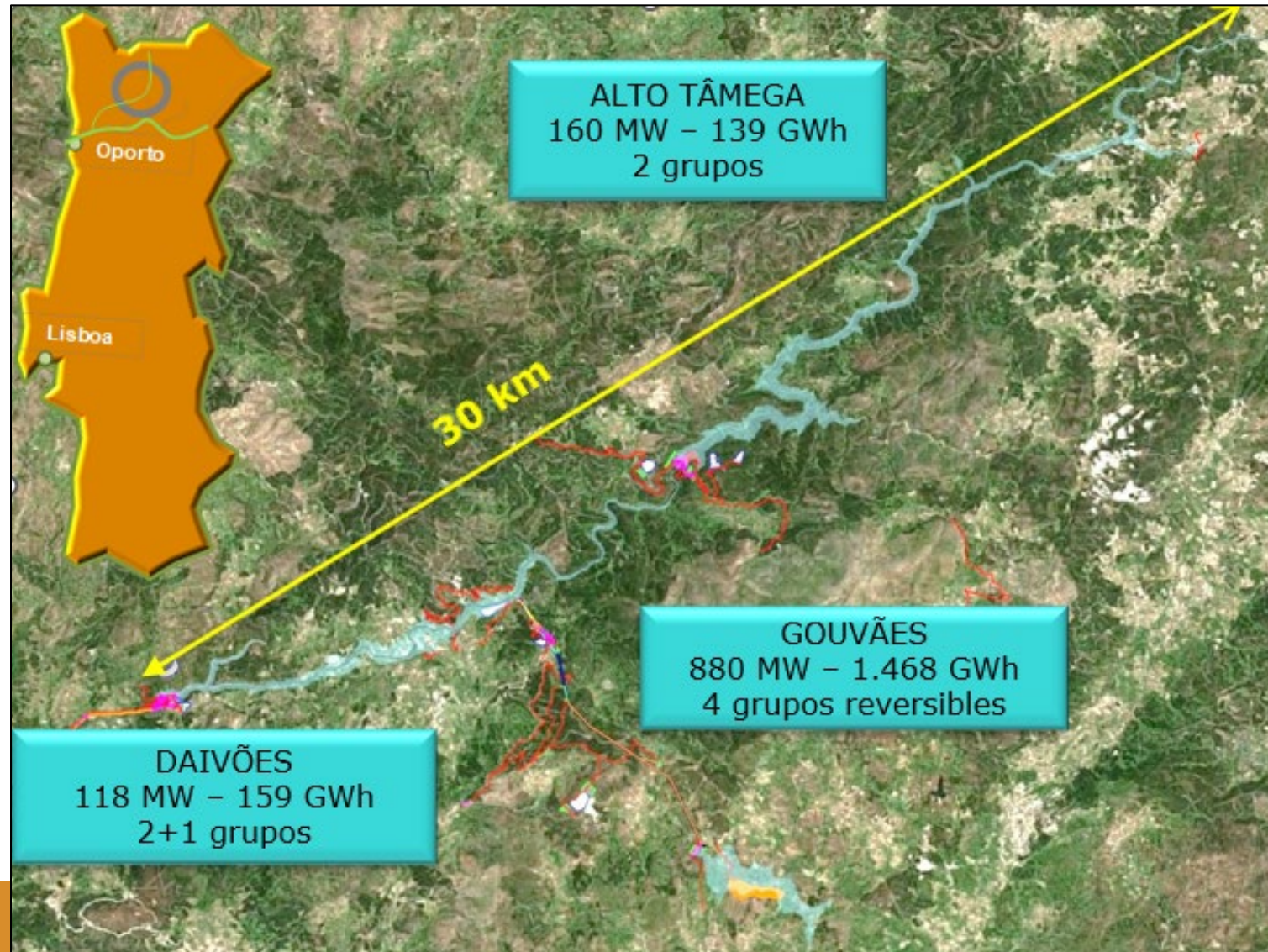


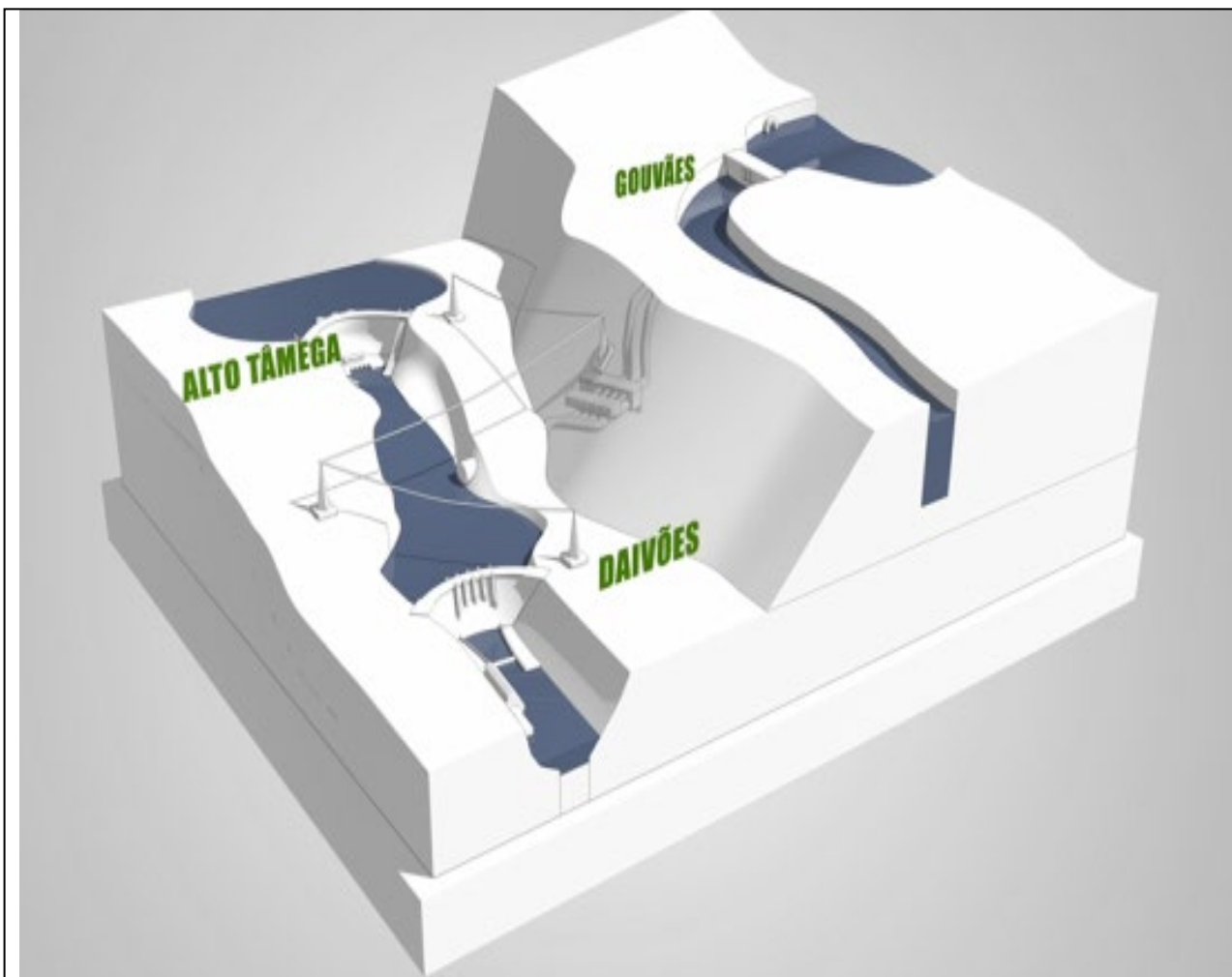
ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos





Nivel Máximo de Operación	315 m
Altura de presa	106 m
Longitud de coronación	330 m
Volumen de embalse	$132 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
Potencia instalada	160 MW
Energía producida media	139 GWh/year
Número de unidades	2
Caudal de equipamiento	$200,0 \text{ m}^3/\text{s}$
Caudal medio natural	$20,7 \text{ m}^3/\text{s}$
Caudal punta de avenida	$1.810 \text{ m}^3/\text{s}$

2. Geomorfología



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

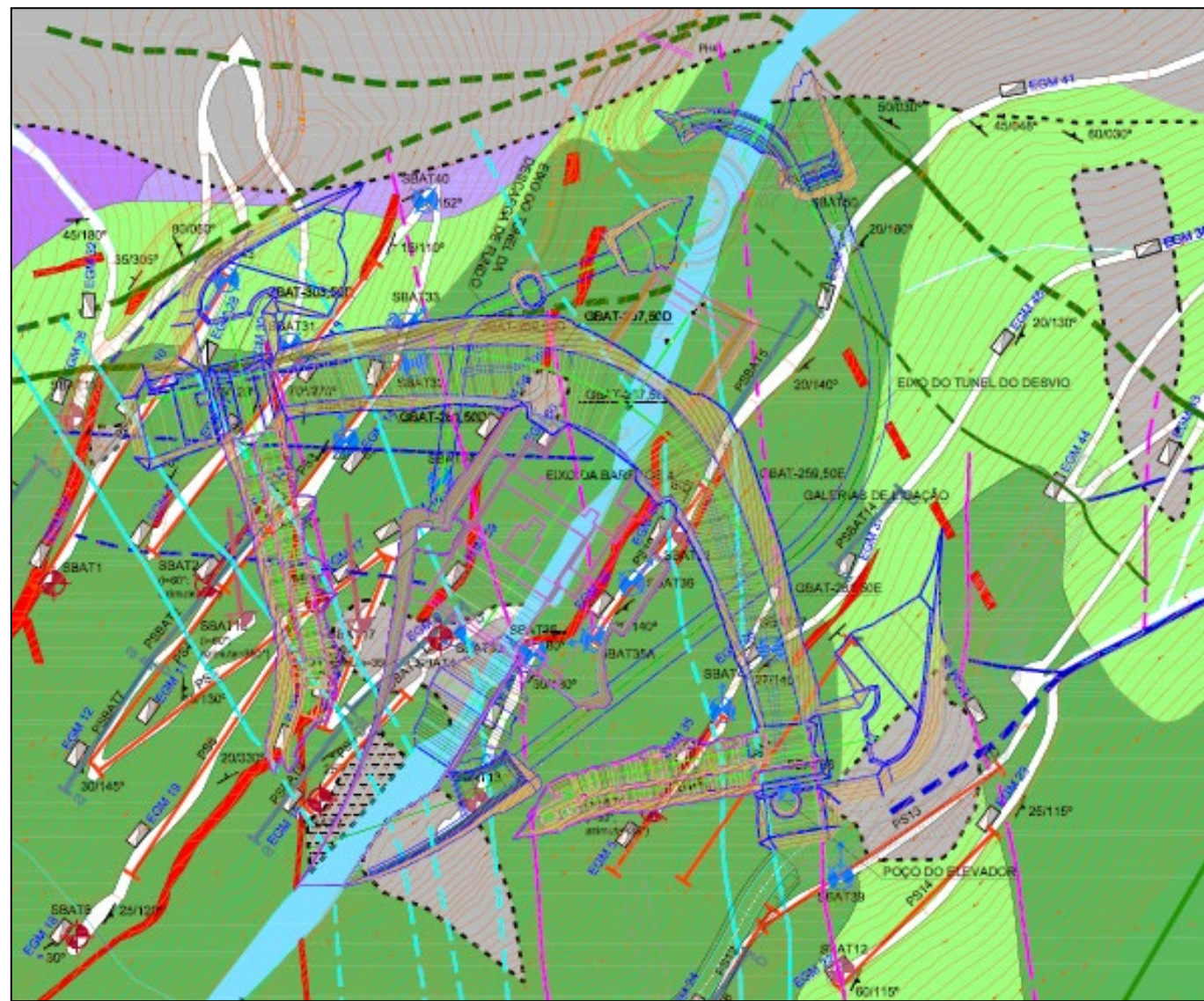
camiños
Galicia



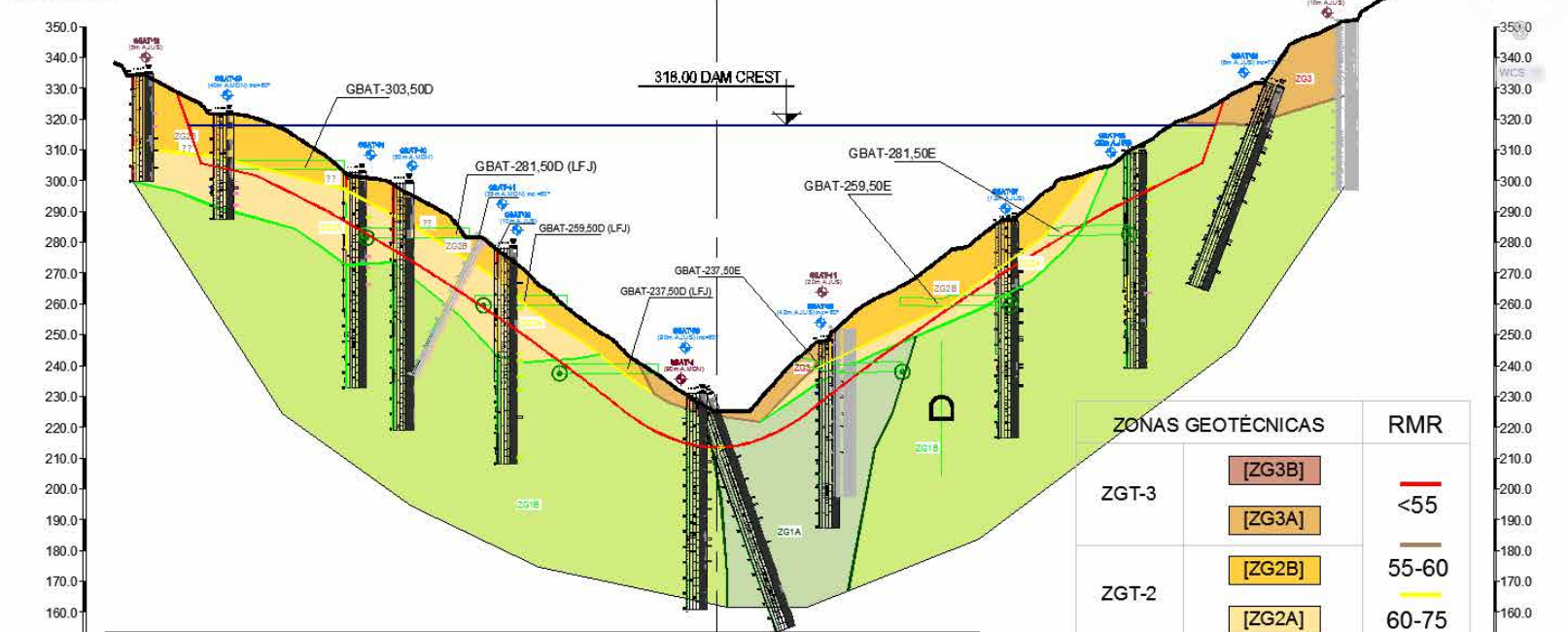
Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos



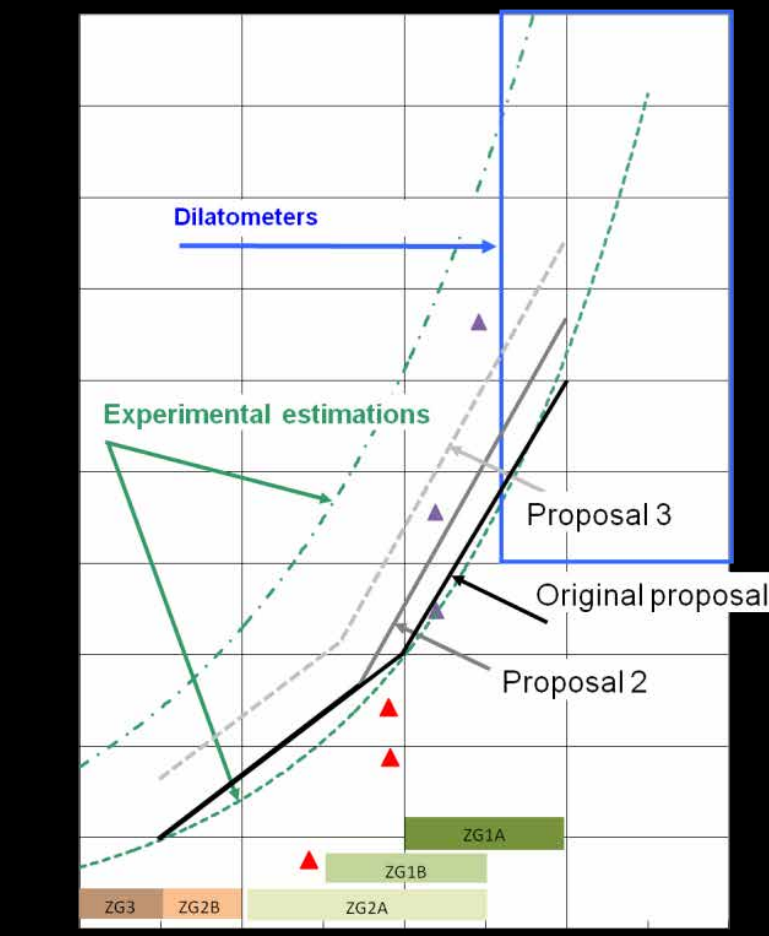
2. Geomorfología



RIGHT SIDE



▲ Flat jacks right side ▲ Flat jacks left side
--- Estimação limite inferior --- Estimação limite superior



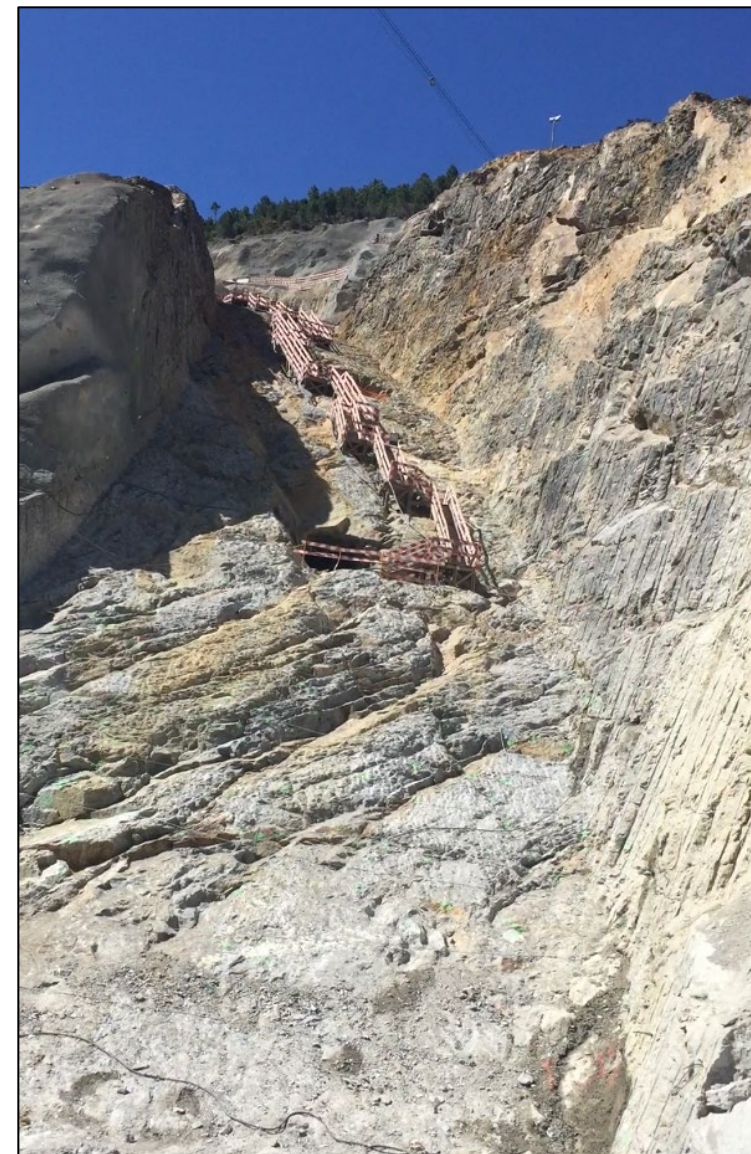


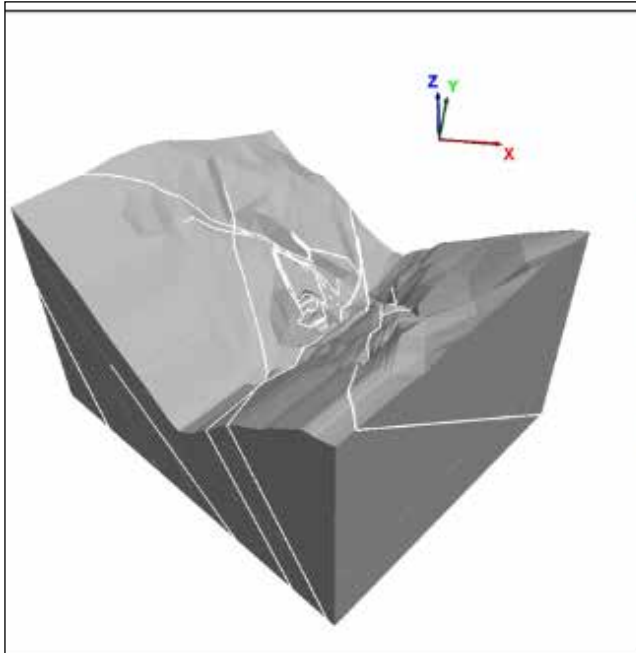
ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

caminhos
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos





Las fallas consideradas en el modelo se han presentado en el documento: "20-031_Presa_Alto_Tamega_Análisis_deformaciones_Terreno_Plástico_Fallas_consideradas_v3.pptx".

Se consideran tres escenarios en lo que a propiedades resistentes de las juntas se refiere, según el documento "Cálculos 3DEC talud central (30-11-2020).pdf":

Escenario	Modelo de rotura	Rigidez Normal (GPa)	Rigidez Tangencial (GPa)	C (MPa)	Φ (°)	Resistencia a tracción (MPa)
1	M-C	25	3.7	0	31.4	0.0
2*	M-C	25	3.7	0.026	32.7	0.0
3	M-C	25	3.7	0.13	31.4	0.0

* Estos parámetros han sido ajustados a partir de los parámetros de Barton-Bandis (tomados del documento "Cálculos 3DEC talud central (30-11-2020).pdf", linealizando la envolvente para un rango de tensiones de 0 a 5 MPa (rango esperable de acuerdo a los resultados obtenidos en las simulaciones preliminares).

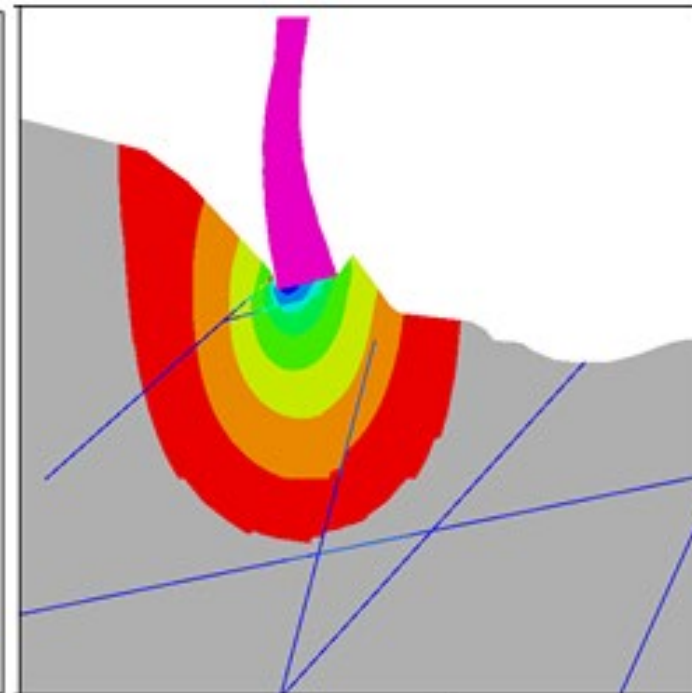
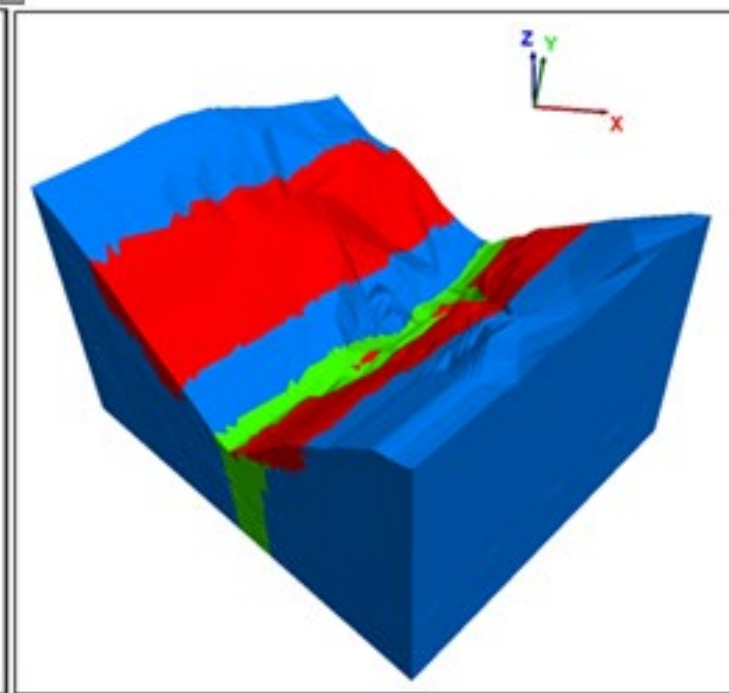
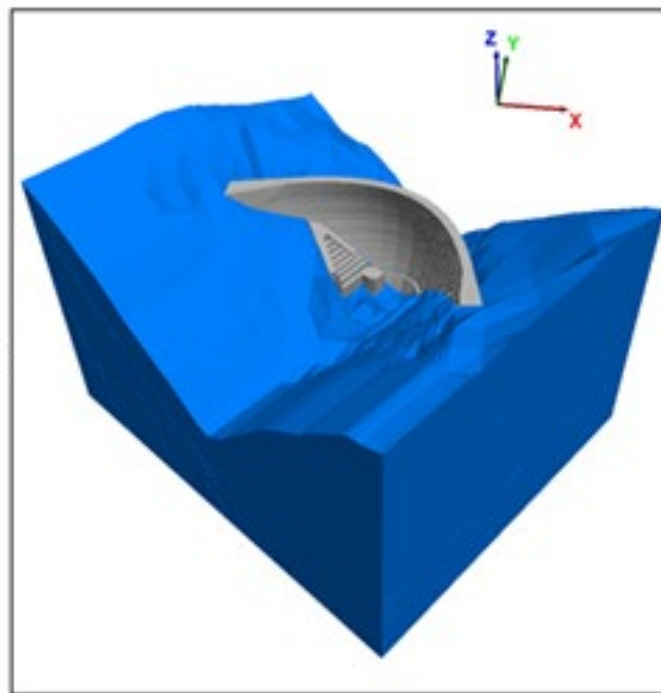


ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camións
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos



3. Configuración



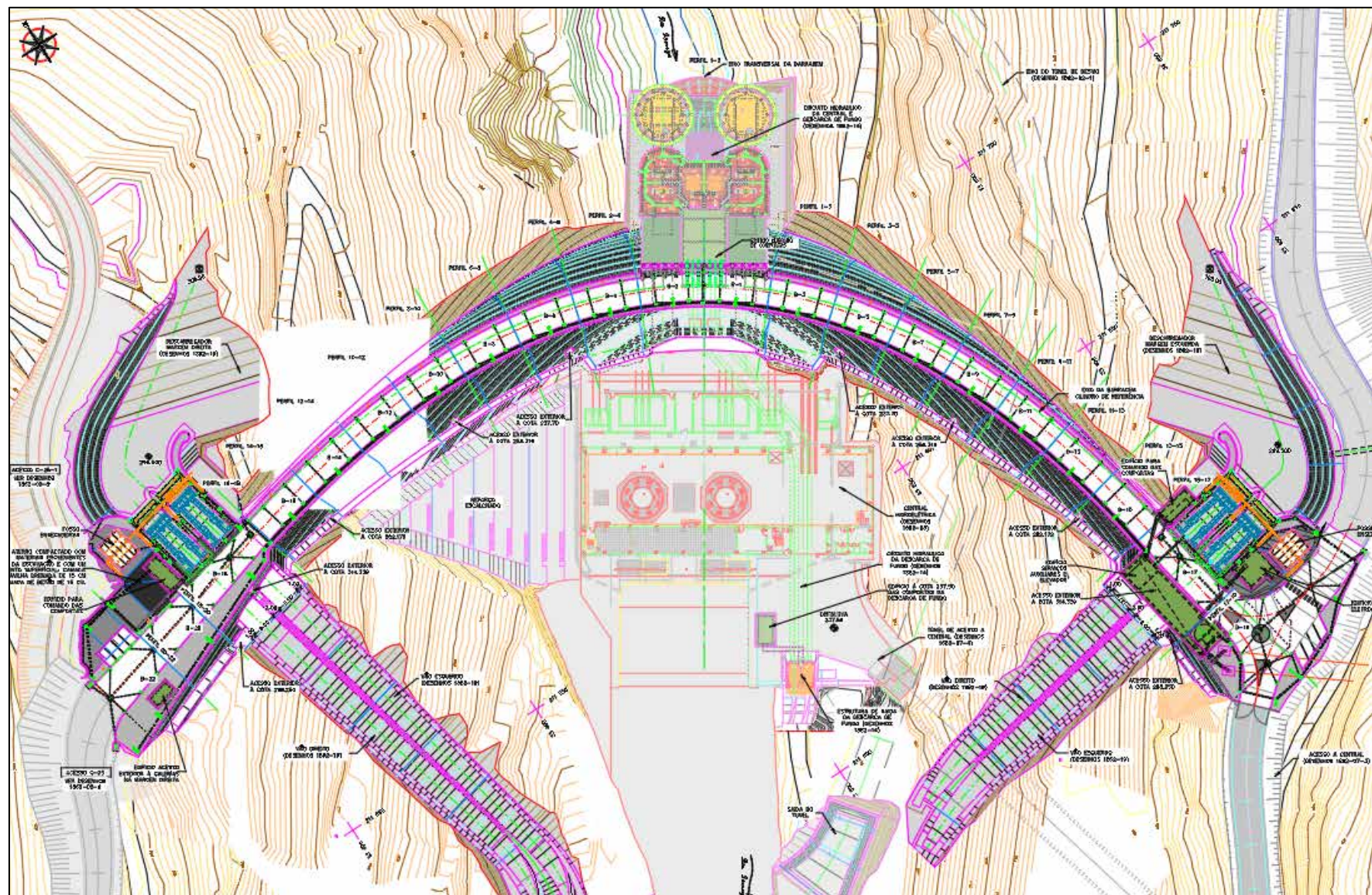
ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos







4. Estructura

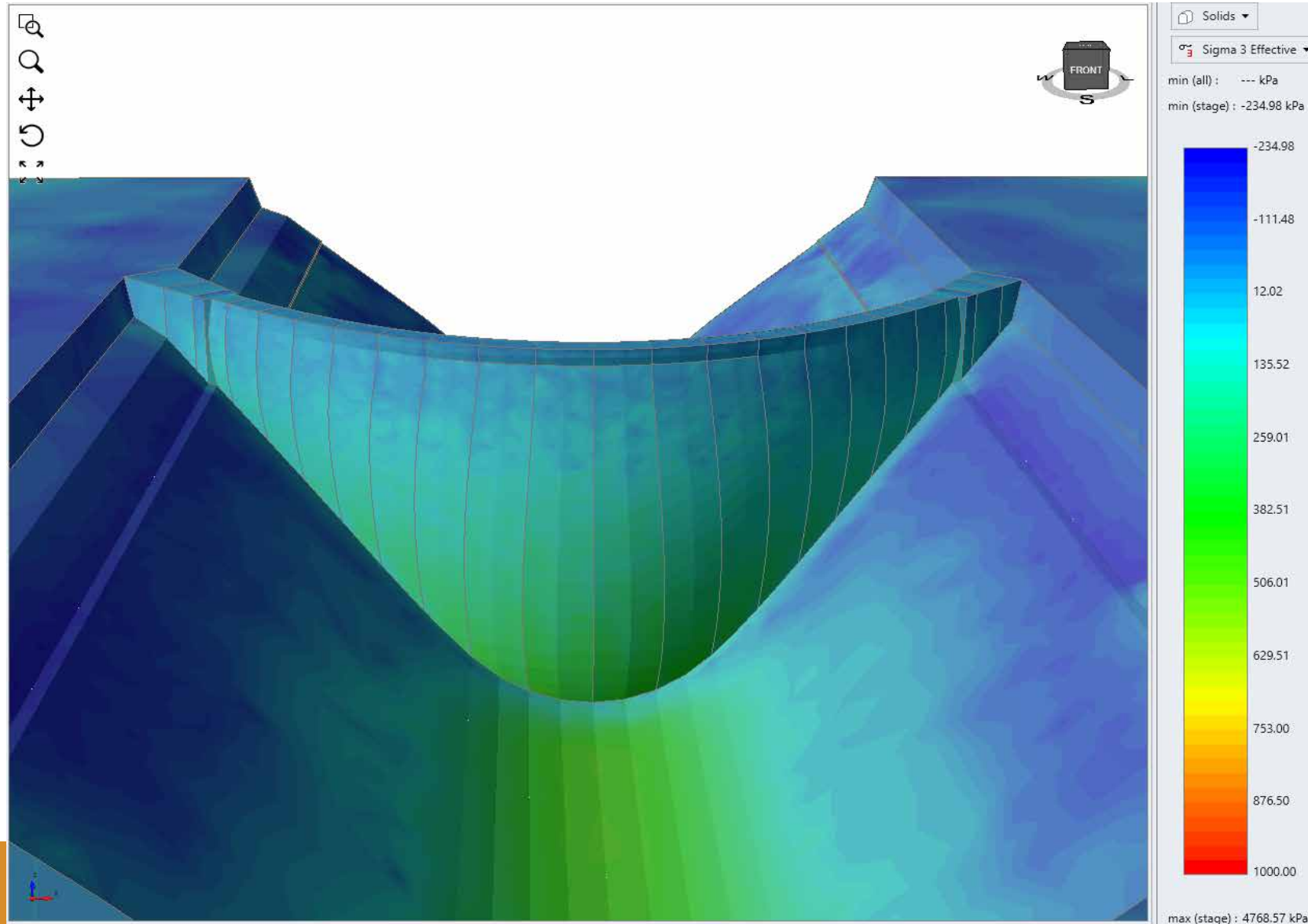


ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camións
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos



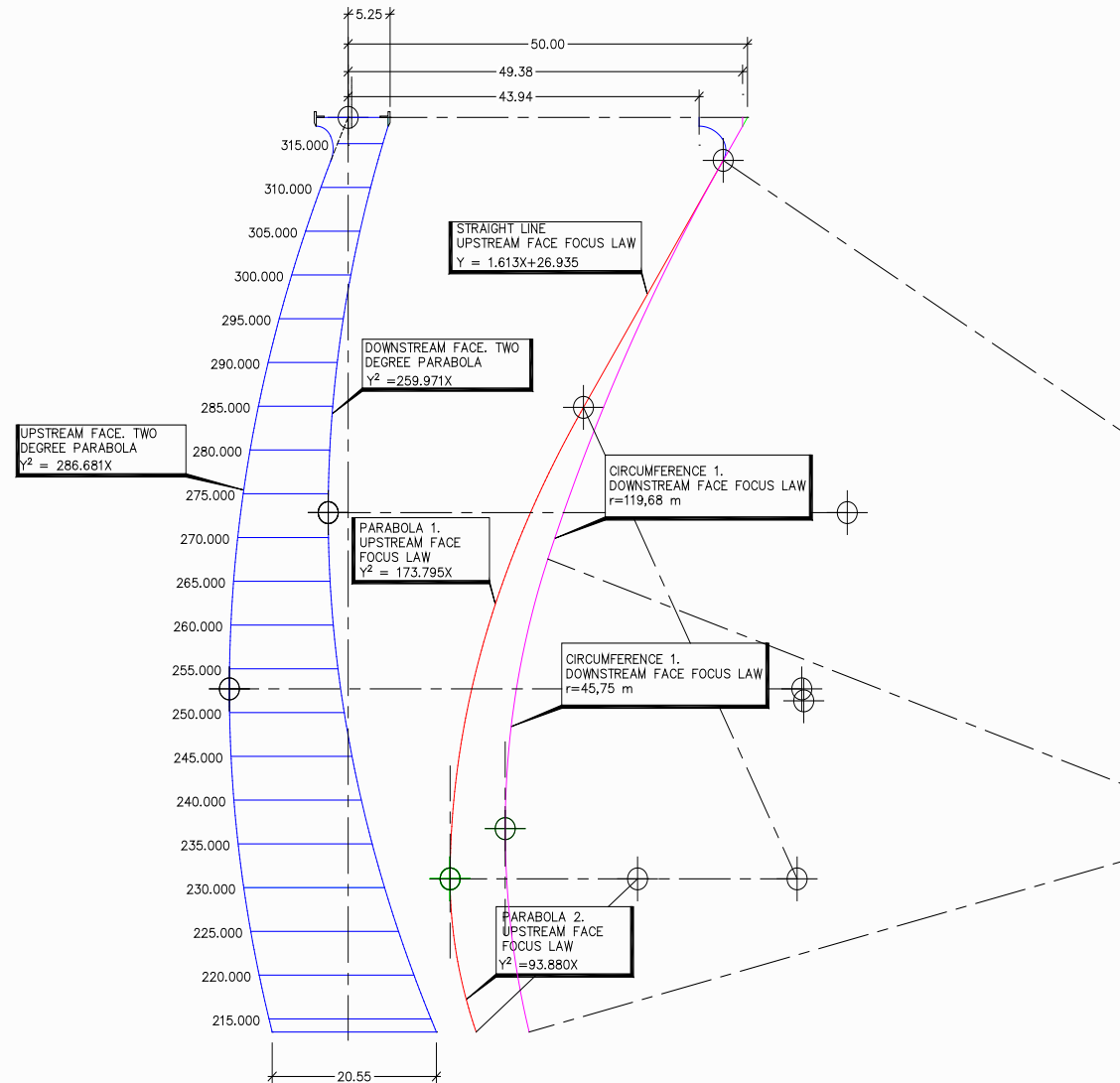


ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

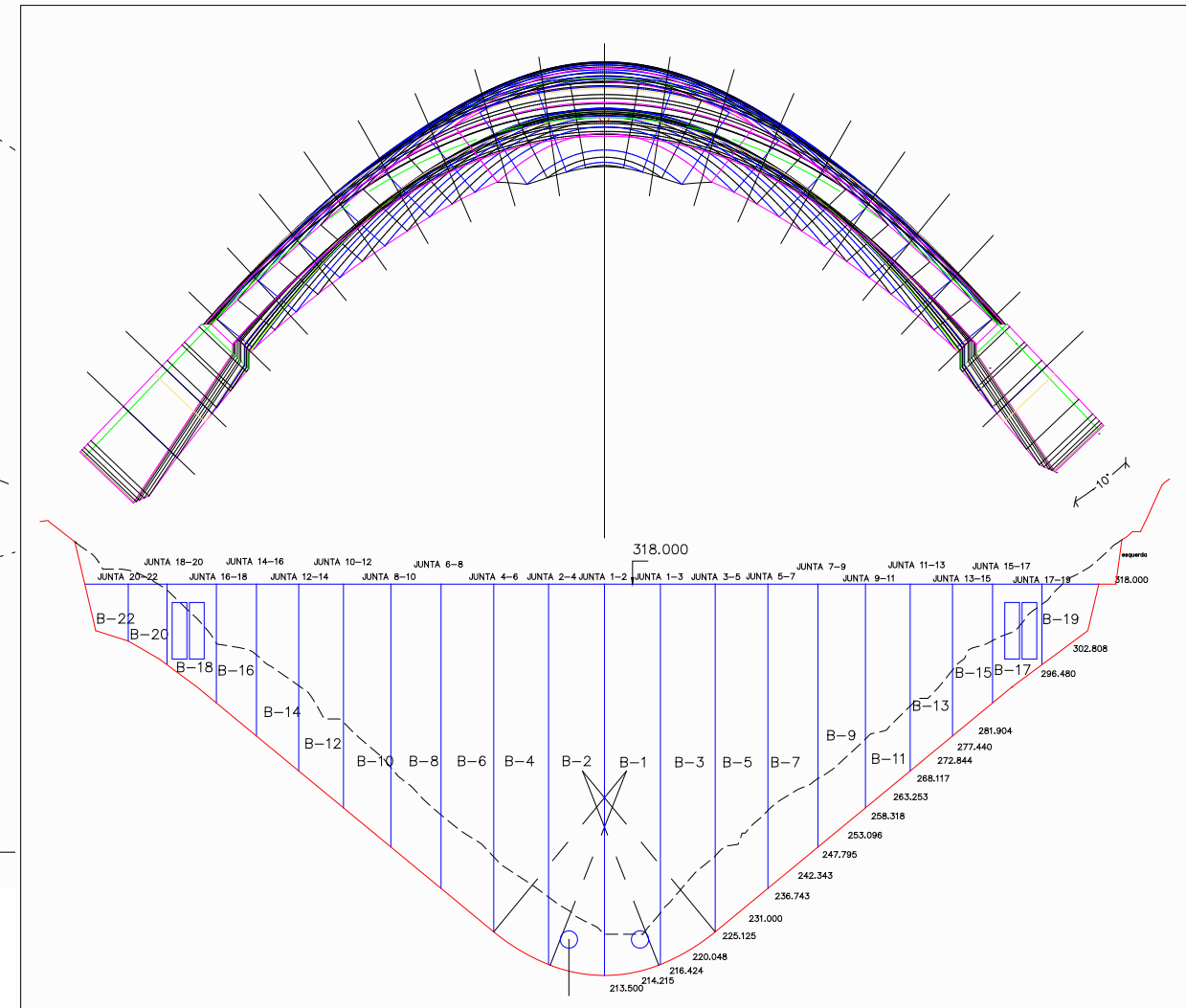
camíños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos



CROWN CANTILEVER





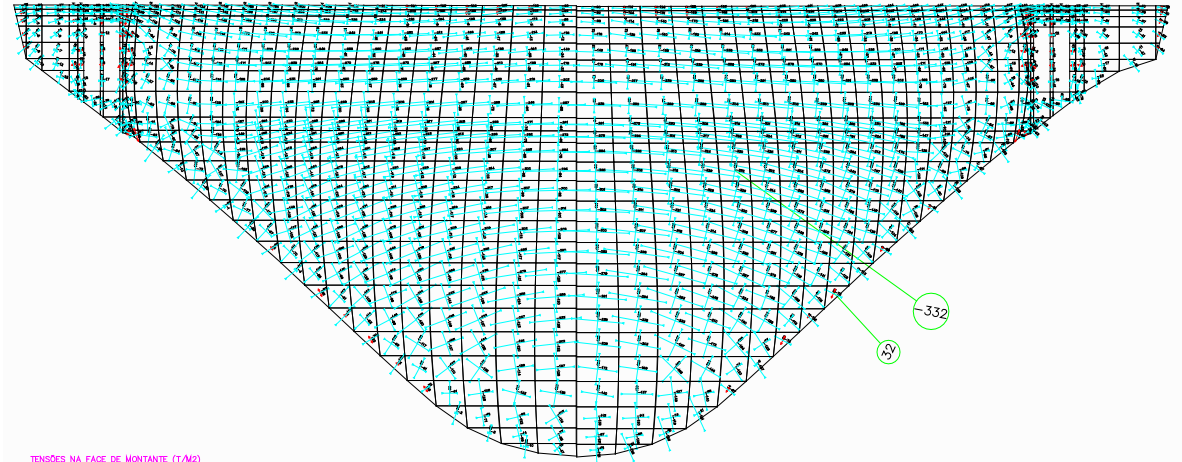
ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

caminhos
Galicia

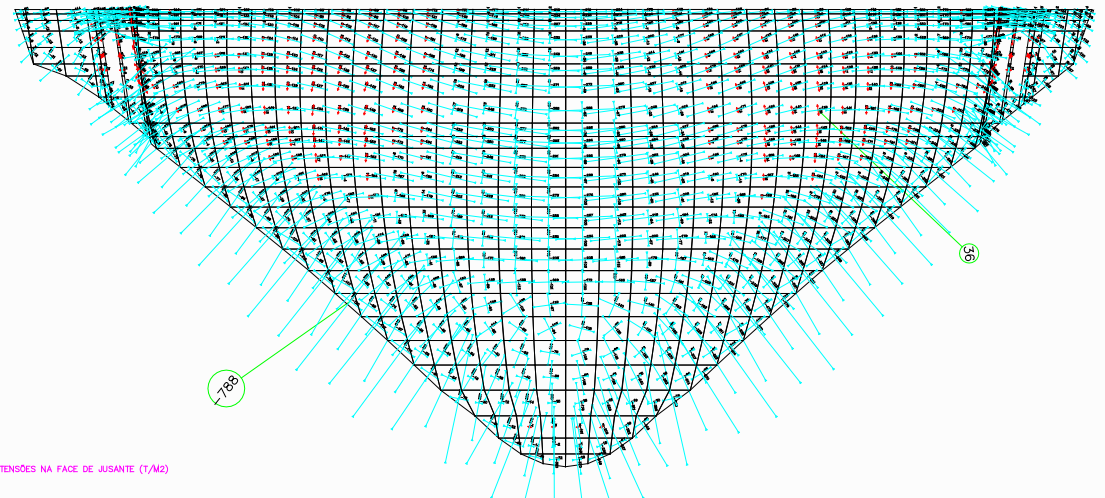


Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

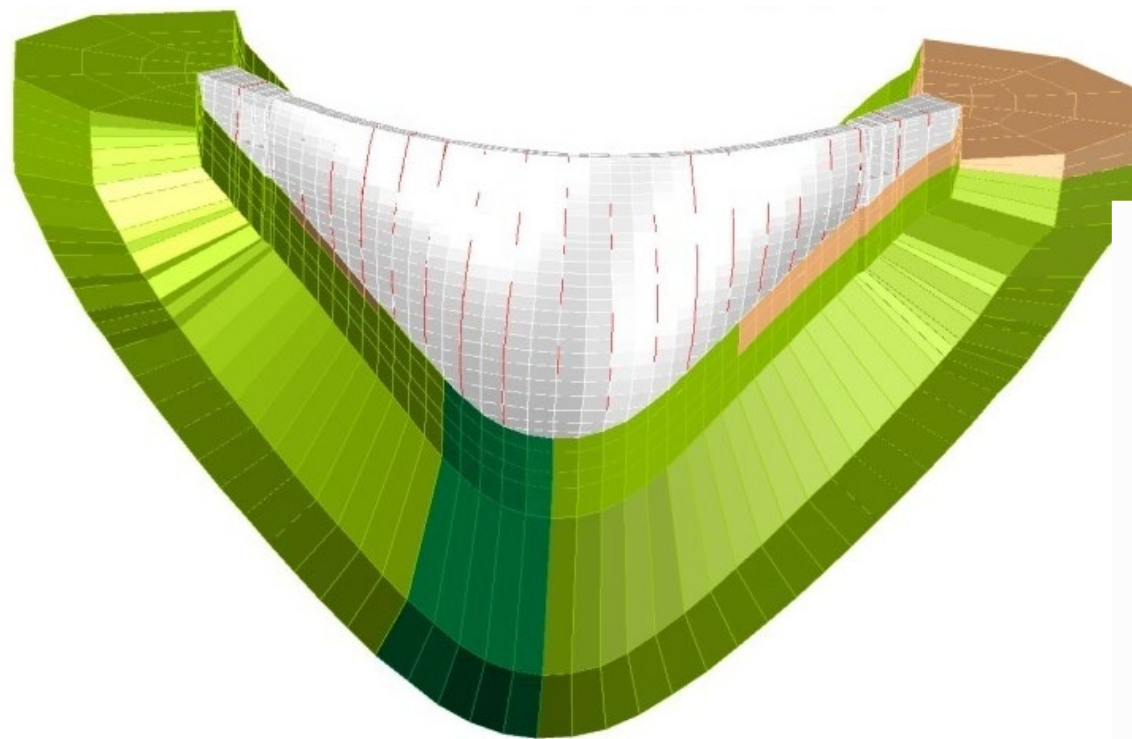
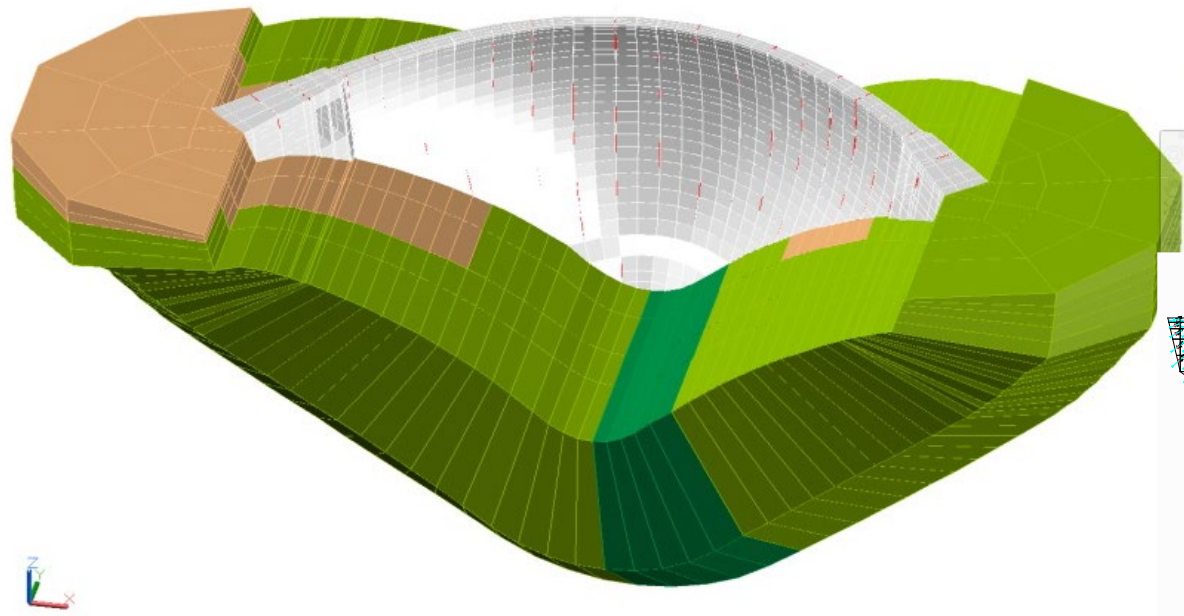
HIPÓTESE DE CARGA N.º 5
RESERVATÓRIO CHEIO (COTA DA ÁGUA = 315,000 M)



TENSÕES NA FACE DE MONTANTE (T/M2)



TENSÕES NA FACE DE JUSANTE (T/M2)



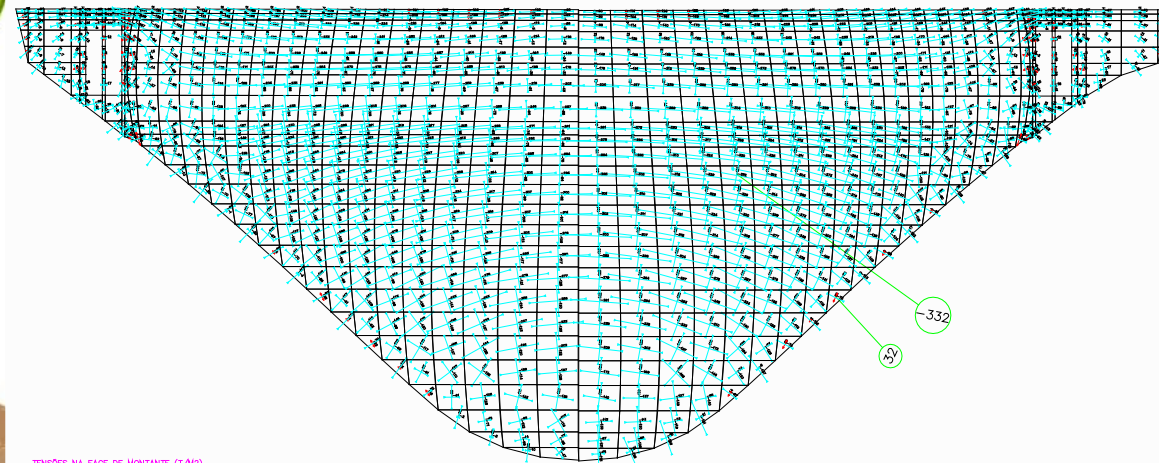
ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camíños
Galicia

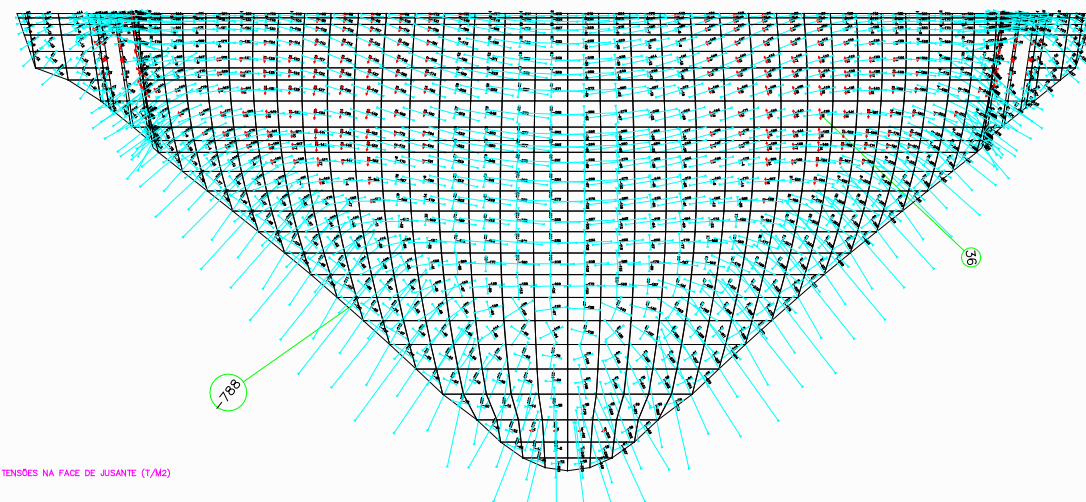


Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

HIPÓTESE DE CARGA N.º 5
RESERVATÓRIO CHEIO (COTA DA ÁGUA = 315,000 M)



TENSÕES NA FACE DE MONTANTE (T/M2)



TENSÕES NA FACE DE JUSANTE (T/M2)

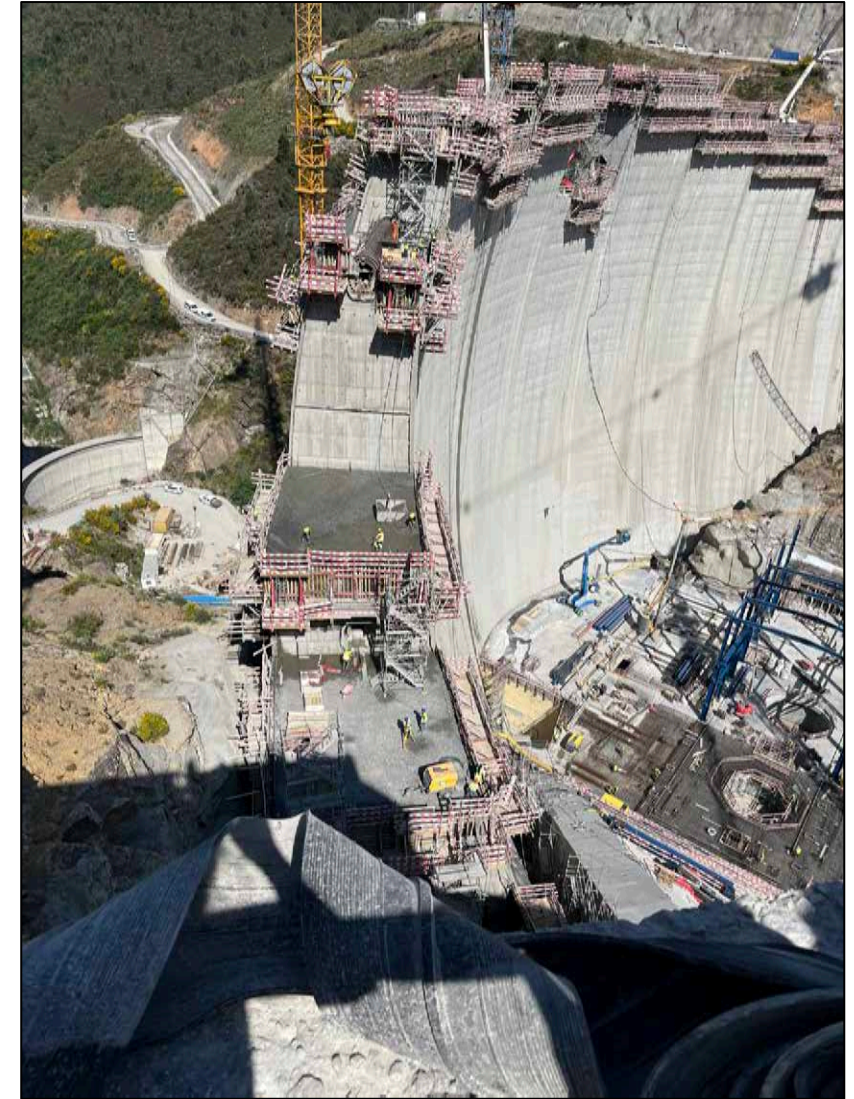


ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camións
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos





ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia

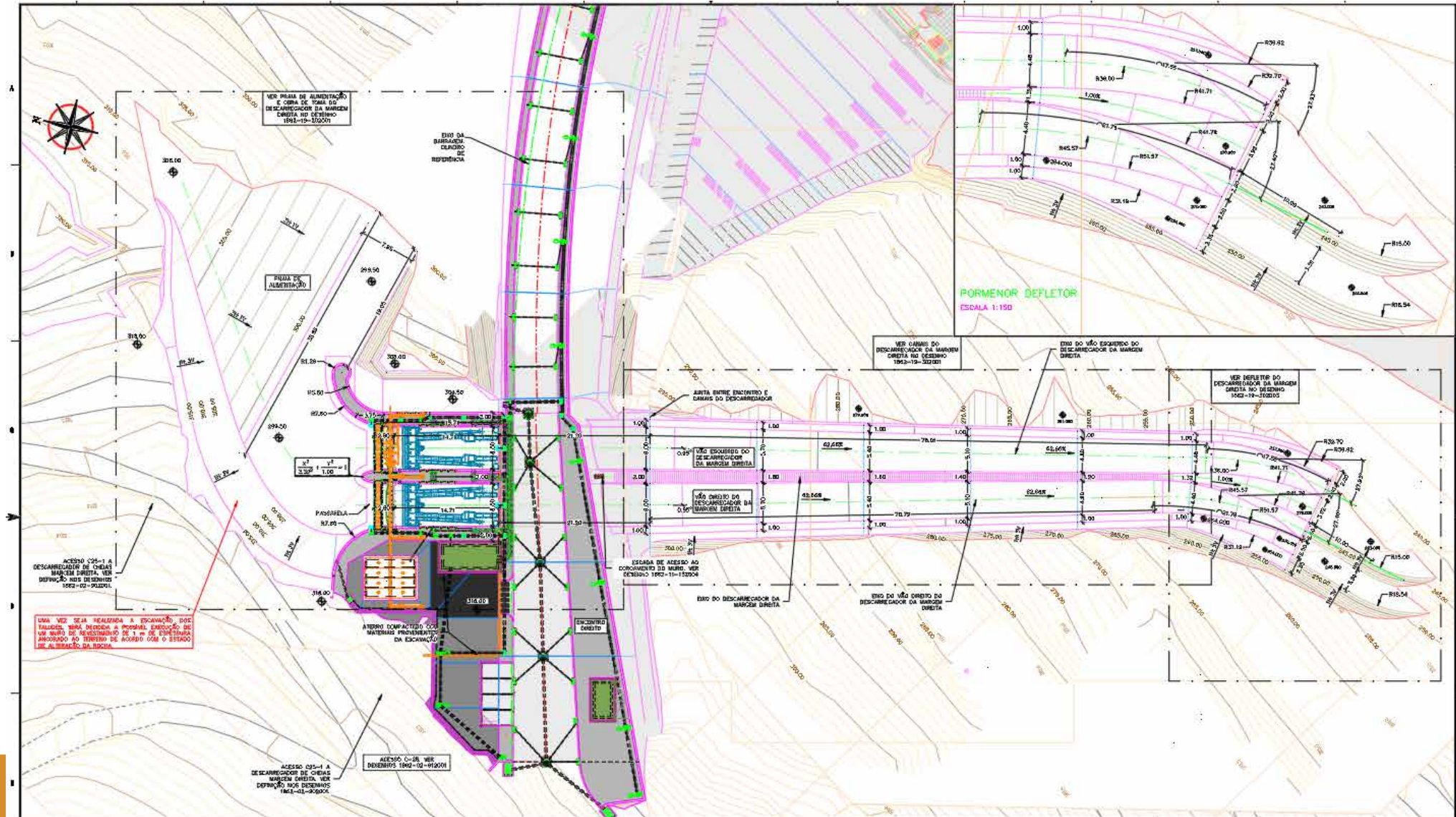


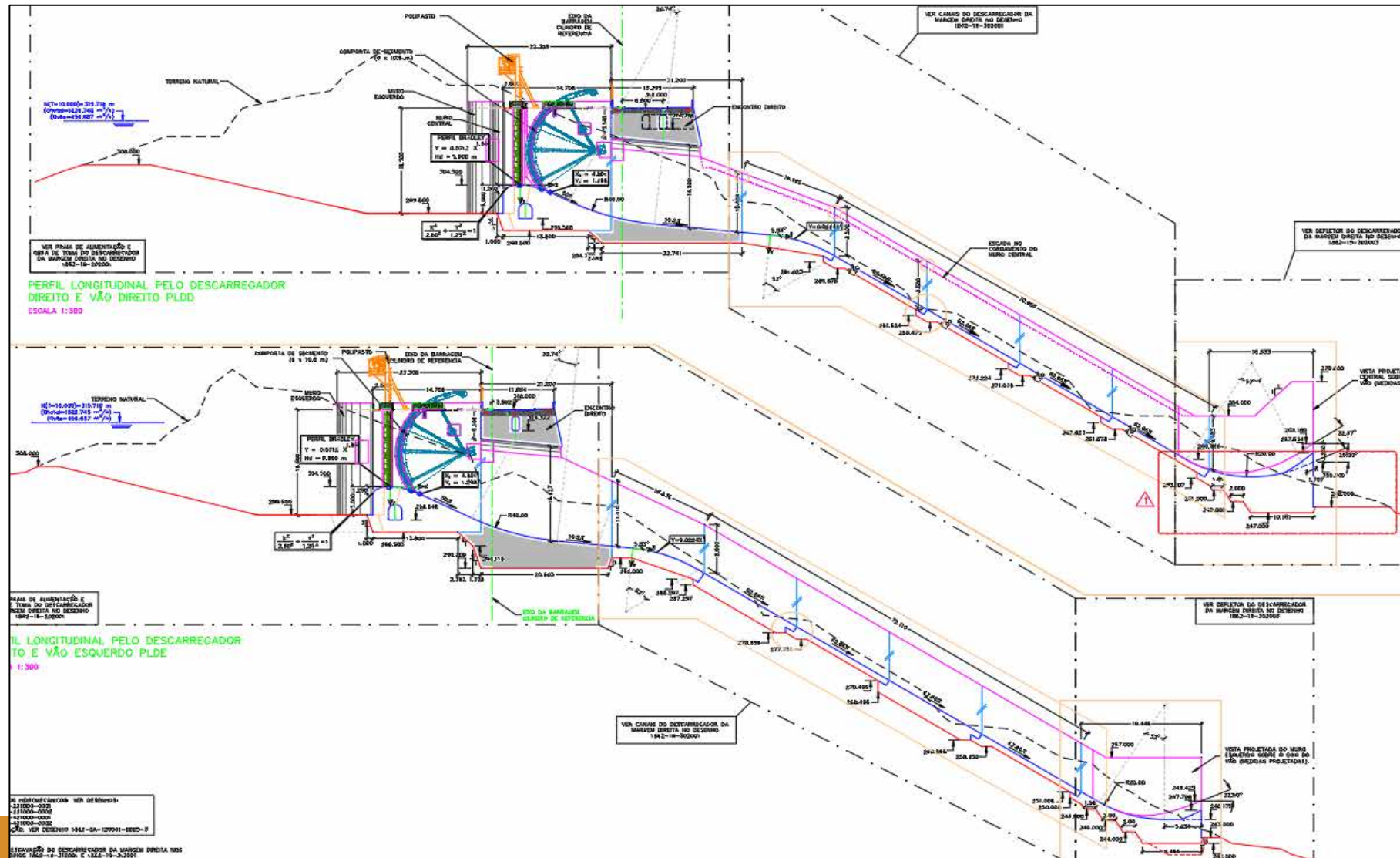
Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos



5. Hidráulica











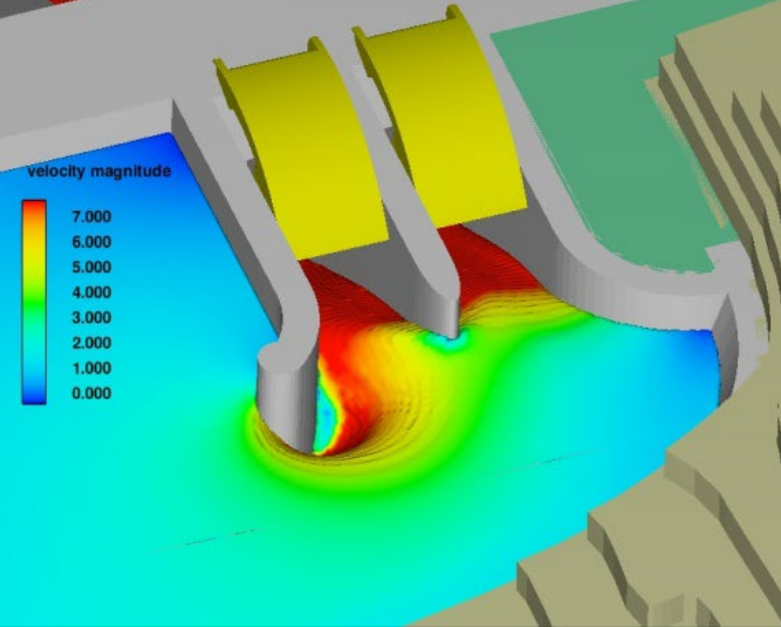
ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camिños
Galicia

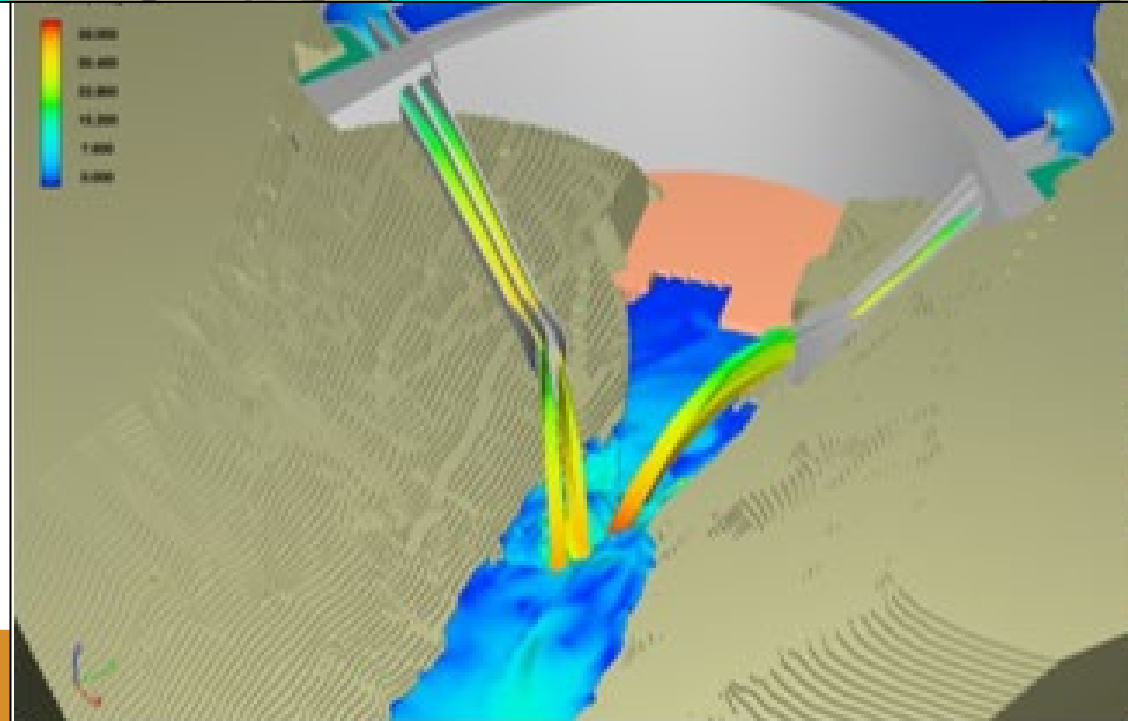
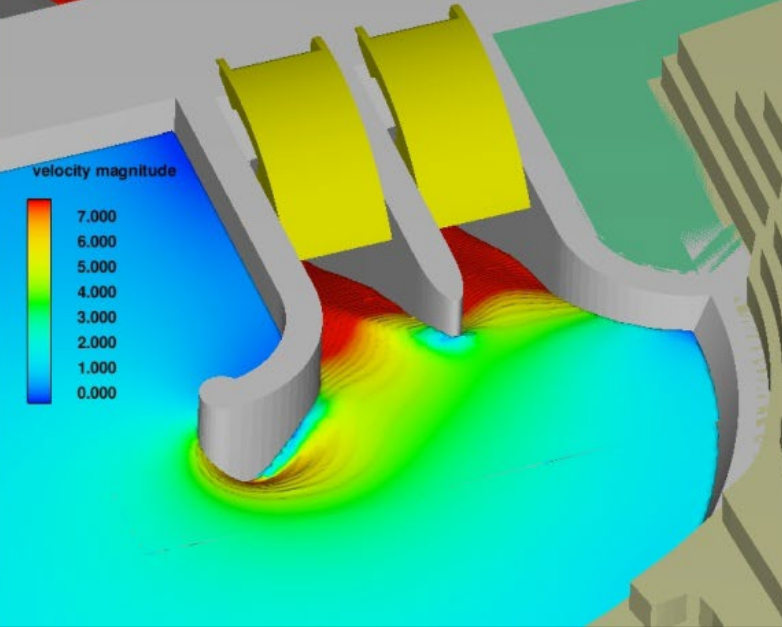


Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

VERSION 13 BIS REMALLADO
Time Frame: 650.00018



VERSION 13 BIS REMALLADO
Time Frame: 650.00183



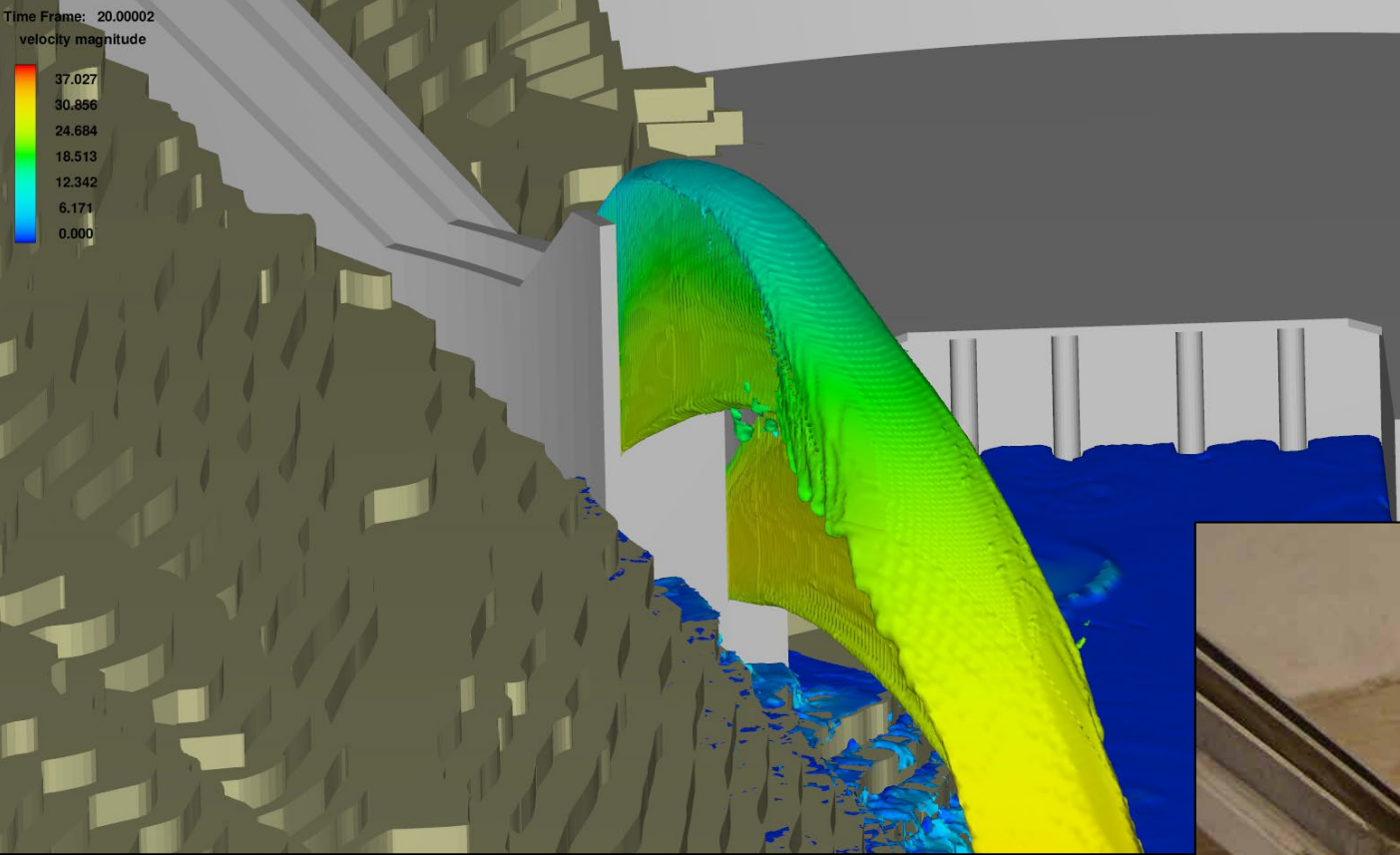
ORDEN
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colegio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos





ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camíños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos





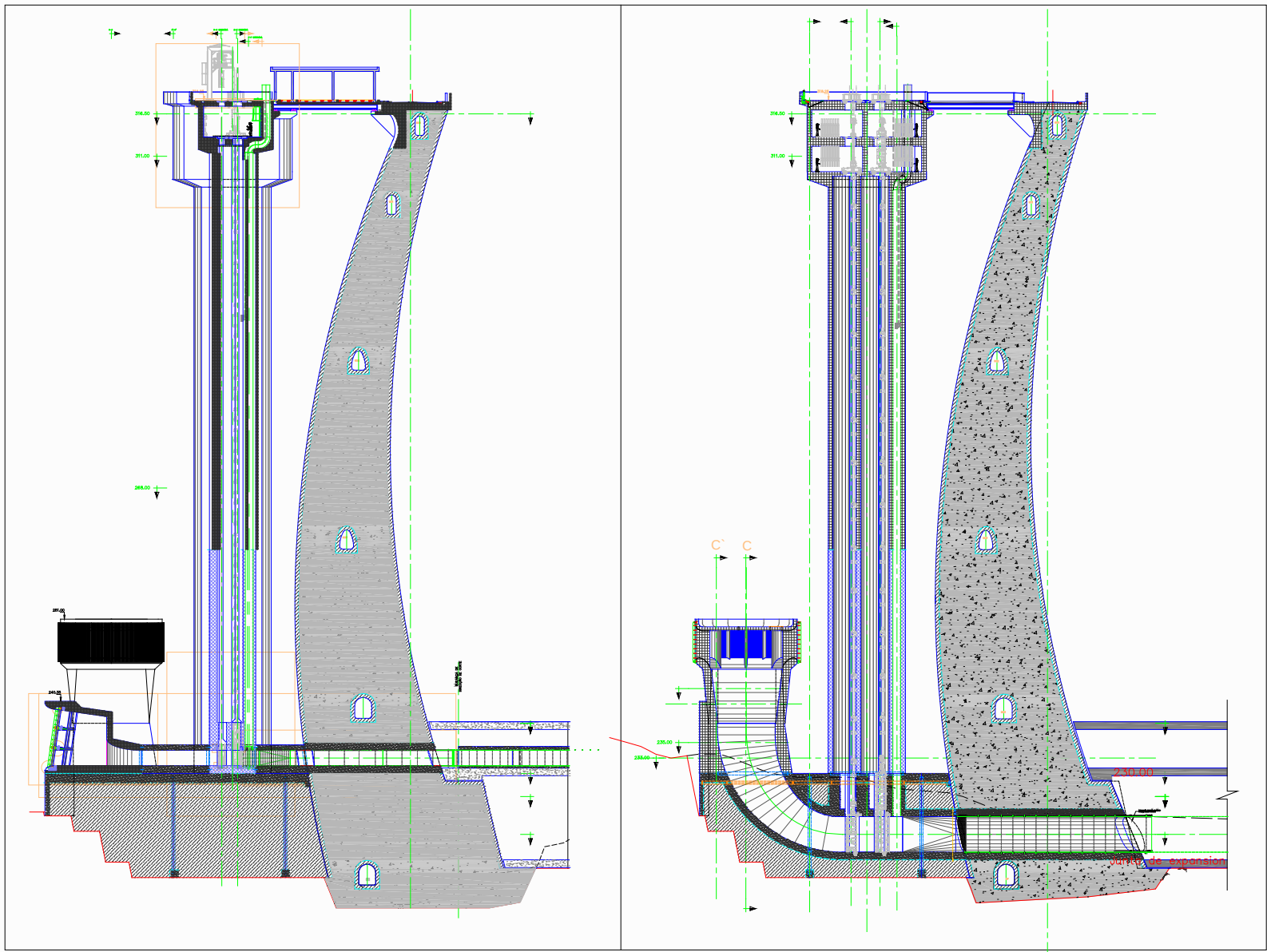
ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camíños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos



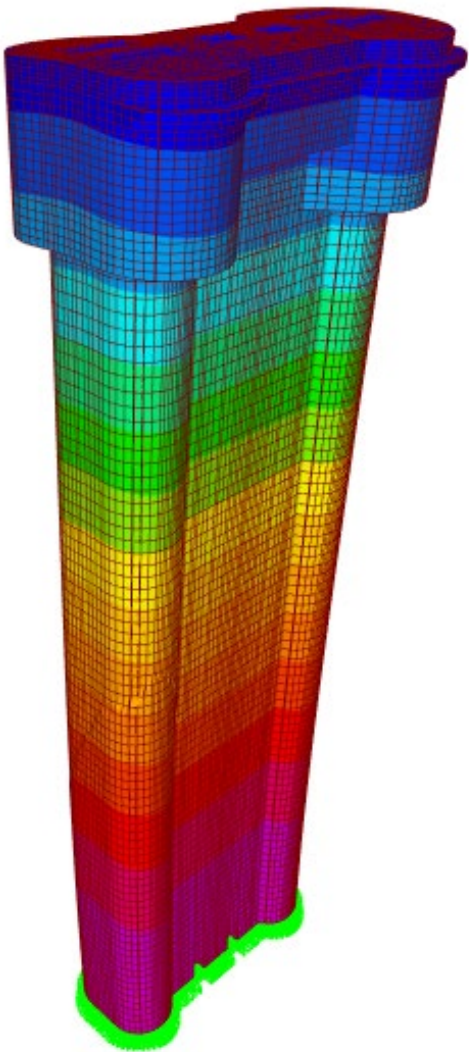


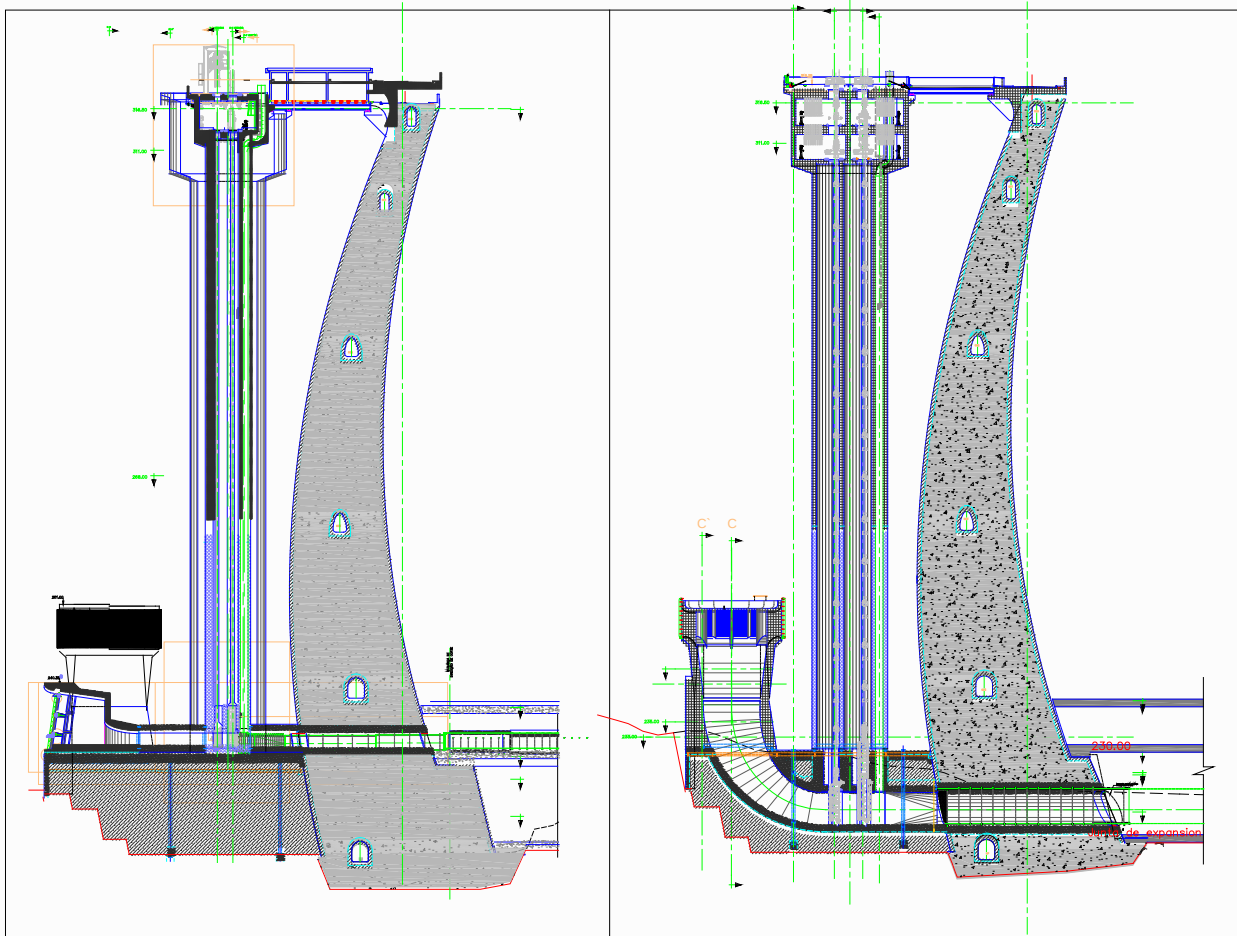
ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos



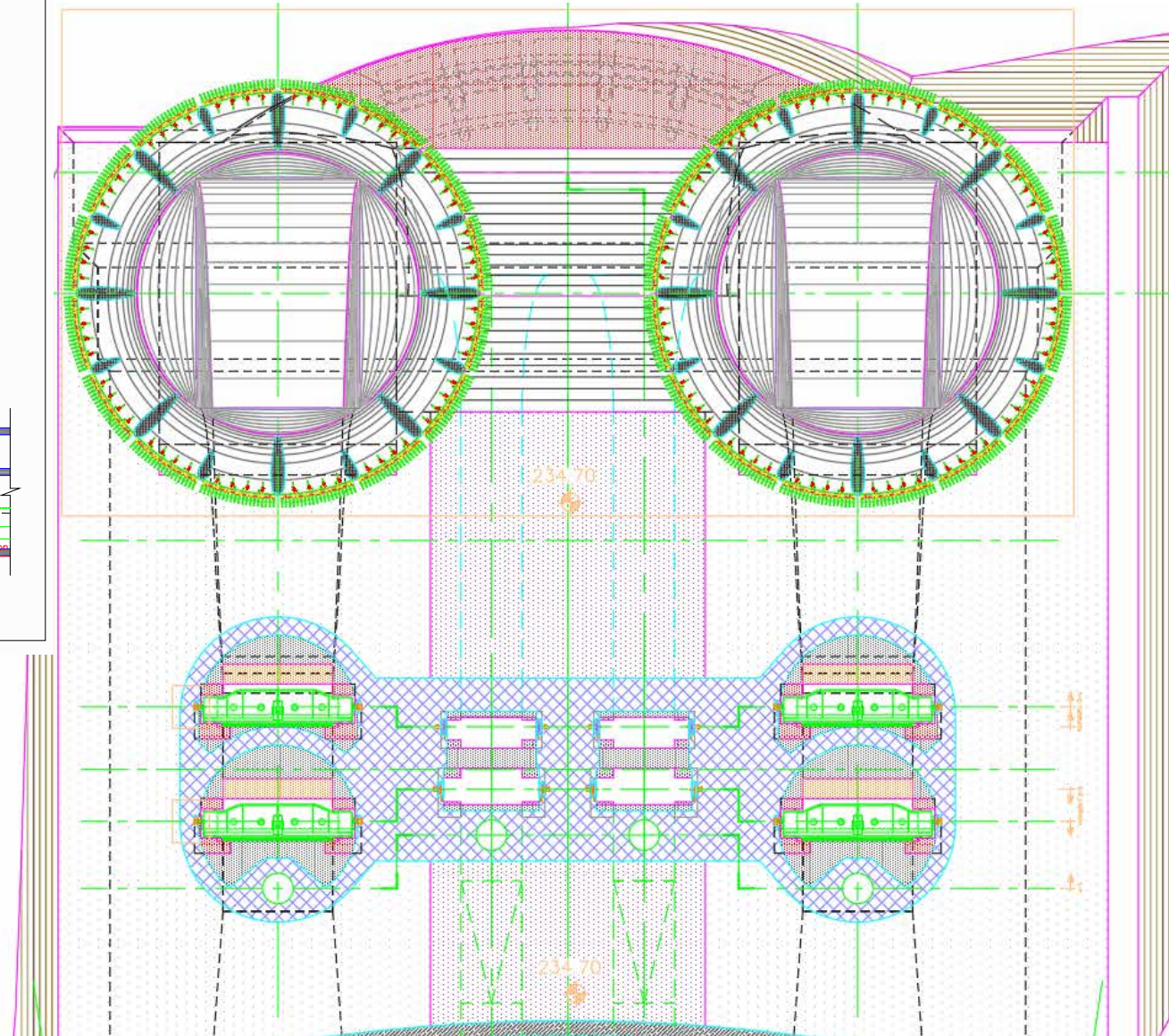


ORDEN
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos



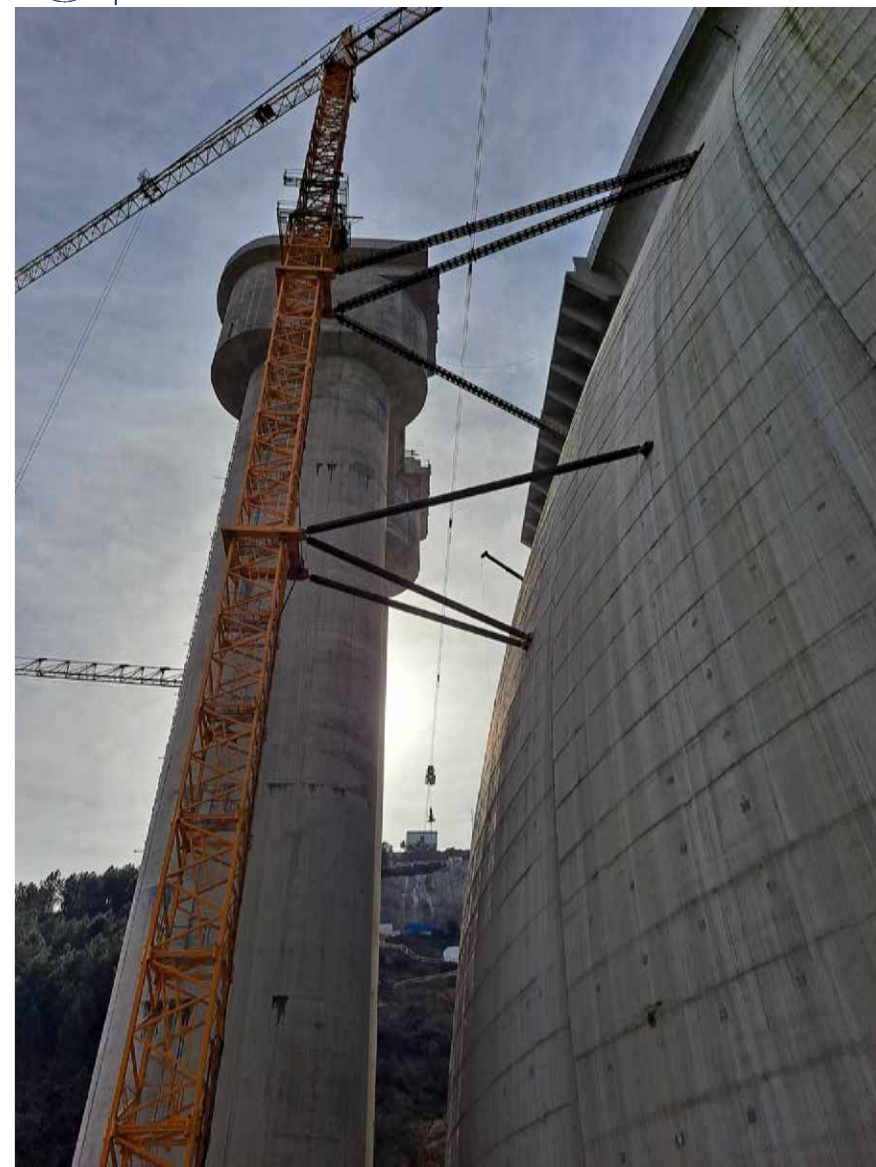


ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camións
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos





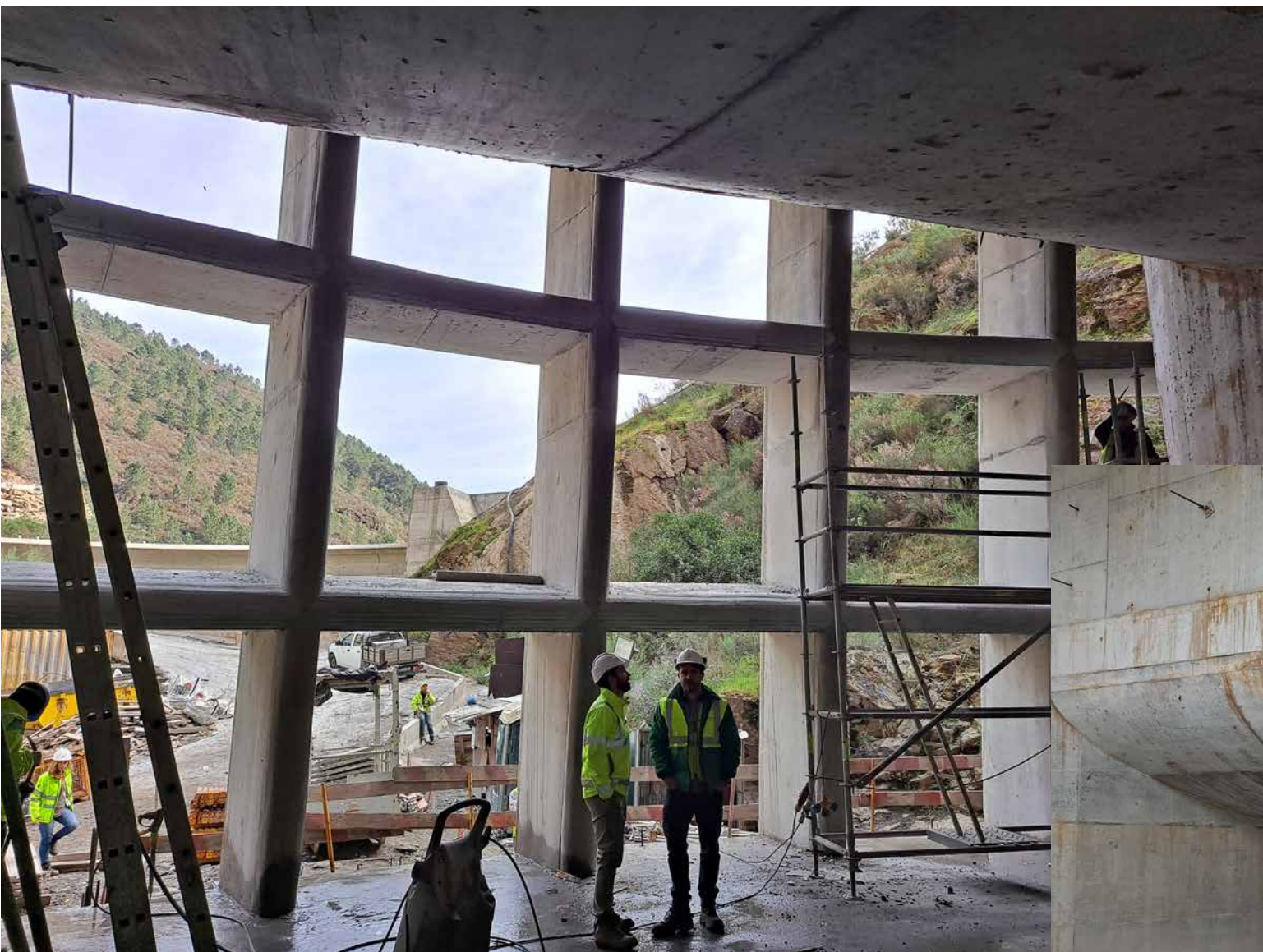
ORDEN
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camíños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos



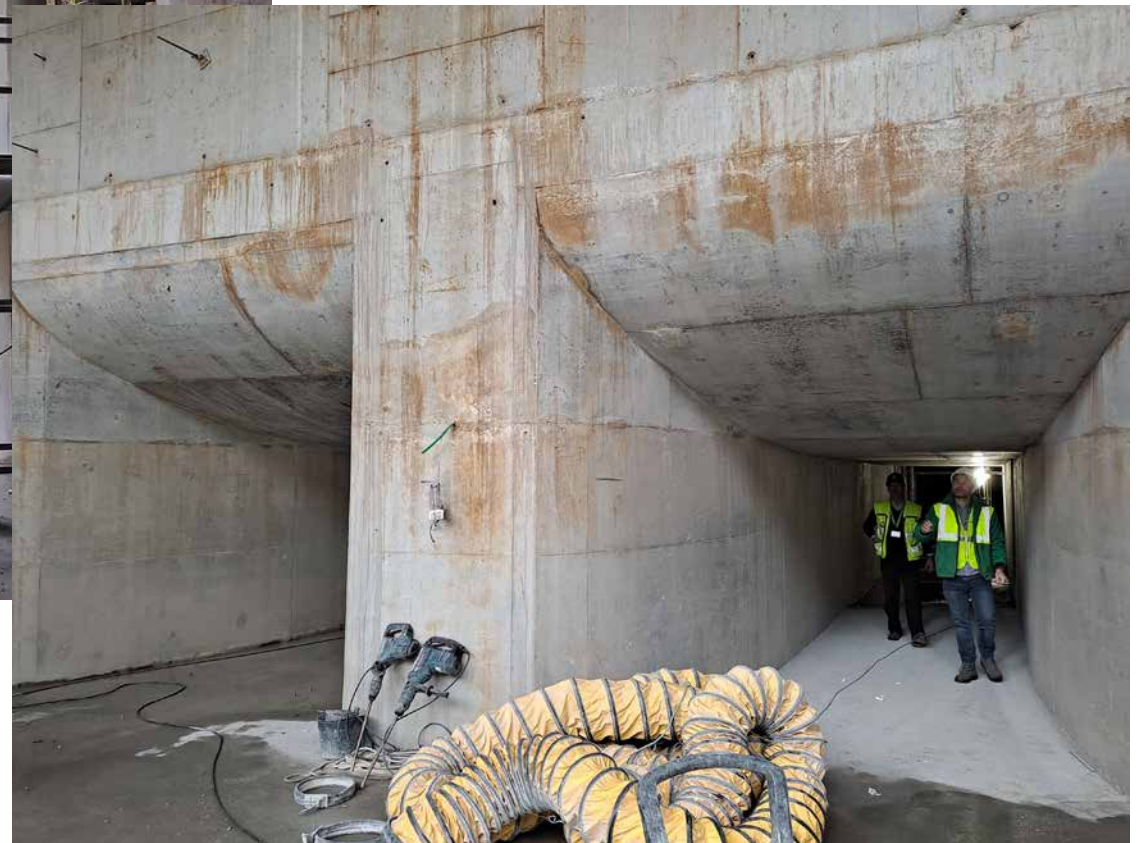


ORDEN
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos





Gracias!

Carlos Granell Ninot
presidente@spancold.es
cgn@granellingenieros.com



XI ENCONTRO ENG. CIVIL

NORTE PORTUGAL — GALIZA



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camíños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Construção da Barragem do Alto Tâmega

Bruno Rocha – CONDURIL
11/07/2025

COM O APOIO



CCDR
NORTE

BARRAGEM DO ALTO TÂMEGA



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos



ÉTICA

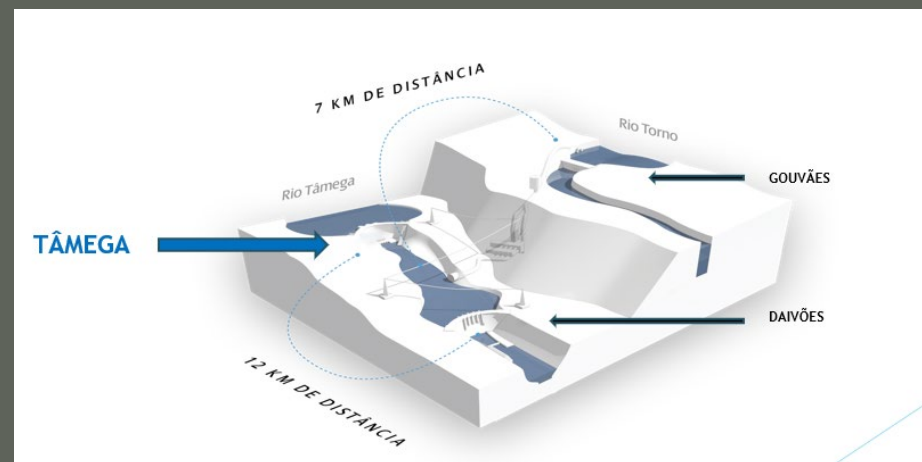
HONRADEZ

RIGOR.

- SET – SISTEMA ELETROPRODUTOR DO TÂMEGA (3 barragens)

- **BARRAGEM DO ALTO TÂMEGA**

- BARRAGEM DE DAIVÕES
- BARRAGEM DE GOUVÃES



Barragem do Alto Tâmega

Arco de dupla curvatura, com 104,5 metros de altura e 335 metros de comprimento (coroamento). 21 Blocos (11 Margem direita + 10 margem esquerda)

Dois descarregadores

Margem direita com 104,31 metros

Margem esquerda com 79,43 metros



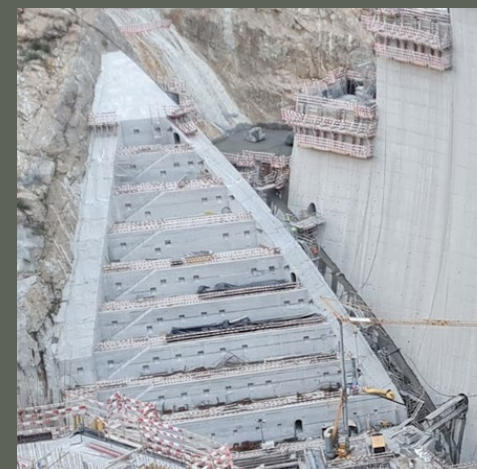
Central Elétrica

Estrutura de betão

33,20 metros de altura com 7 pisos.

Superestrutura

18,73 metros de altura com uma área implantação de 1.667,39 m²



Muro de Reforço

62,64 metros de altura. 5 Blocos, 10 patamares. Foram colocadas e tensionadas 70 ancoragens



Torre das Comportas

87 metros altura

Localização:

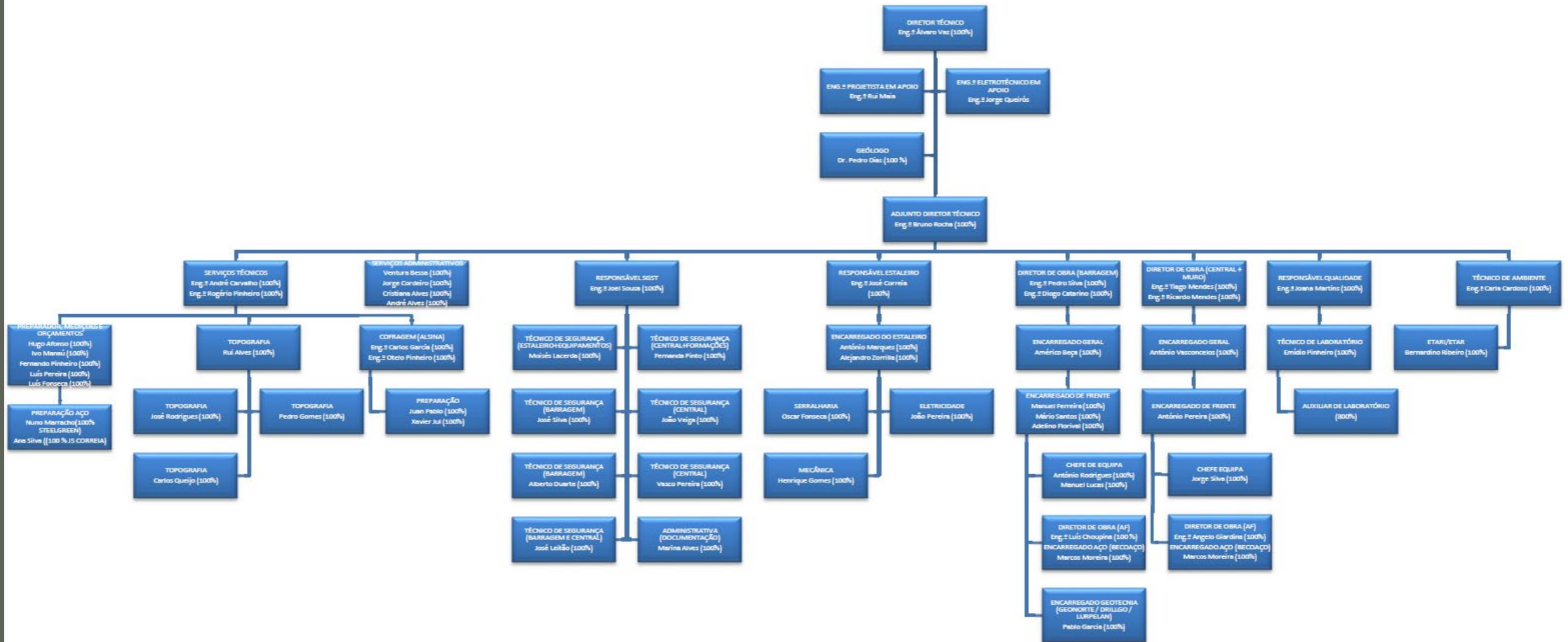
Canedo – Ribeira de Pena (MD)

Pensalvos e Parada de Monteiros – Vila Pouca de Aguiar (ME)



- **Dono de Obra:** IBERDROLA - Iberdrola Generación S.A.U.
- **Nome da Obra:** CONSTRUÇÃO DA BARRAGEM E CENTRAL DO A.H. DE ALTO TÂMEGA DO SET
- **Localização:** Canedo – Ribeira de Pena (MD)
Pensalvos e Parada de Monteiros – Vila Pouca de Aguiar (ME)
- **Valor de Contrato:** 117.507.516,10 €
- **Prazo de execução total:** 44 meses (29/07/2020 a 28/03/2024)
- **28 de julho de 2020:** Consignação

ORGANIGRAMA DA OBRA



Áreas Intervenção



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

- Estaleiro de Obra:

- Escritórios Fiscalização
- Escritórios Conduril
- Cantina
- Dormitórios
- Armazém Materiais
- Oficina
- Serralharia
- Carpintaria
- Centrais de Betão
- Blondins

- Barragem do Tâmega:

- Corpo da Barragem
- Torre Tomada de Água
- Descarregadores (Margem direita e Margem Esquerda)
- Túnel de Desvio

- Central Elétrica:

- Estrutura de Betão
- Estrutura Metálica

- Muro de Reforço:

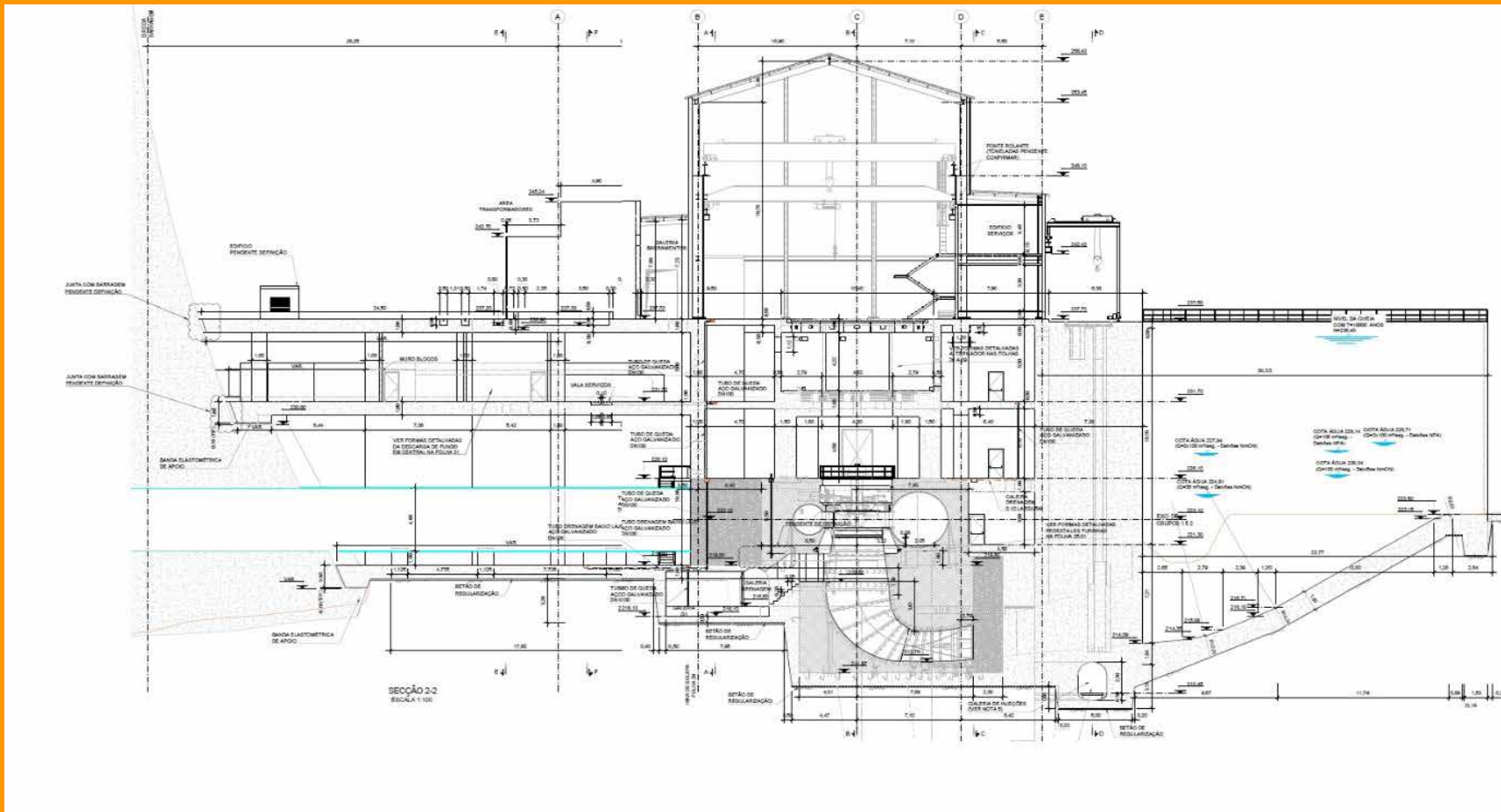
- Estrutura de Betão

Estaleiro Central



- Escritórios Fiscalização
- Escritórios Conduril
- Cantina
- Dormitórios
- Armazém Materiais
- Oficina
- Serralharia
- Carpintaria
- Centrais de Betão

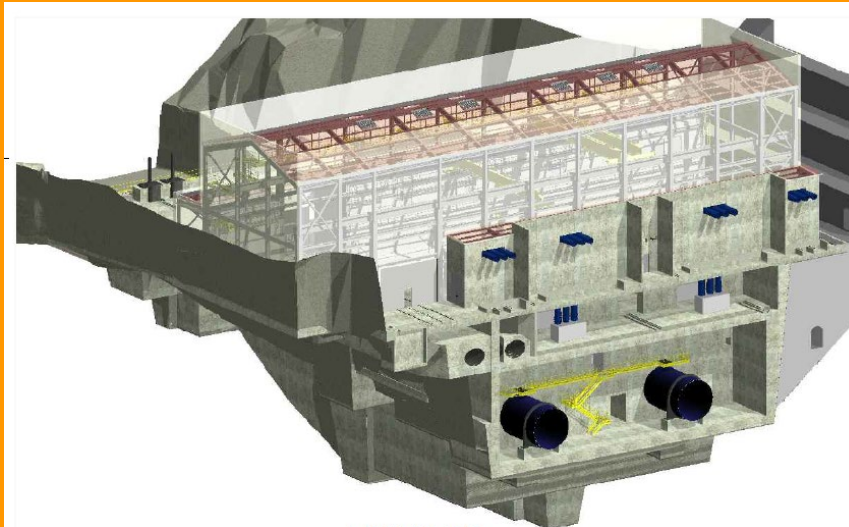
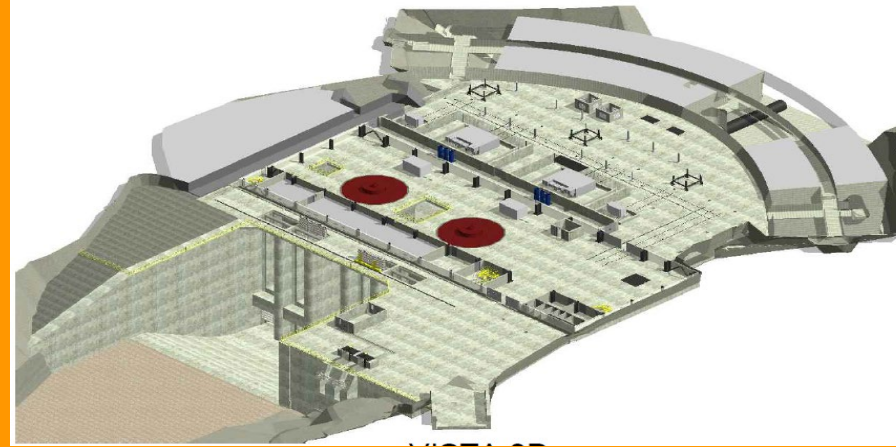
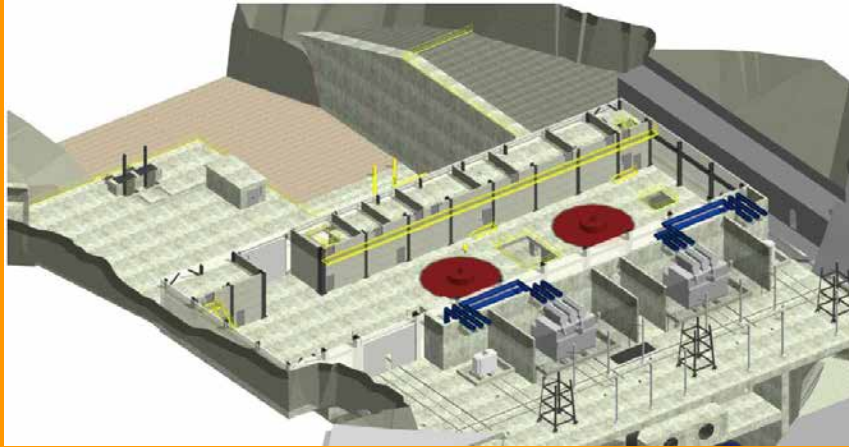
Central Elétrica



EDIFÍCIO DE COBERTURA
(estrutura metálica)

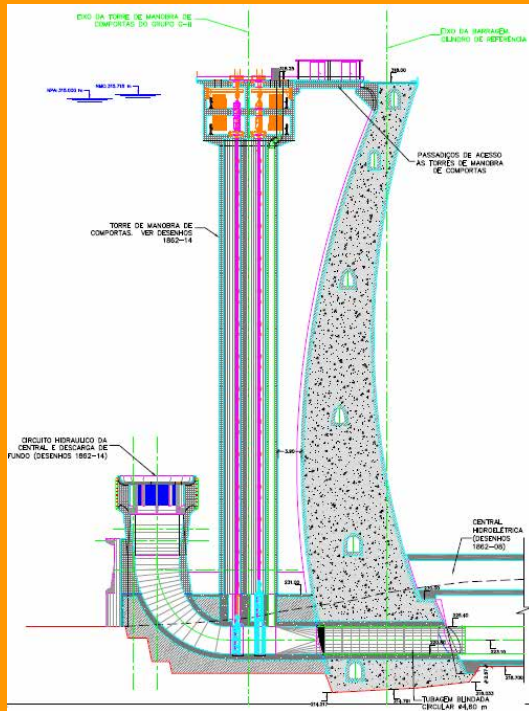
CENTRAL HIDROELÉTRICA
(estrutura de betão)
(cota 204,50 e 237,70
equivalente a 10 andares)

Central Elétrica



Central Elétrica
Visualização 3D

Barragem do Tâmega

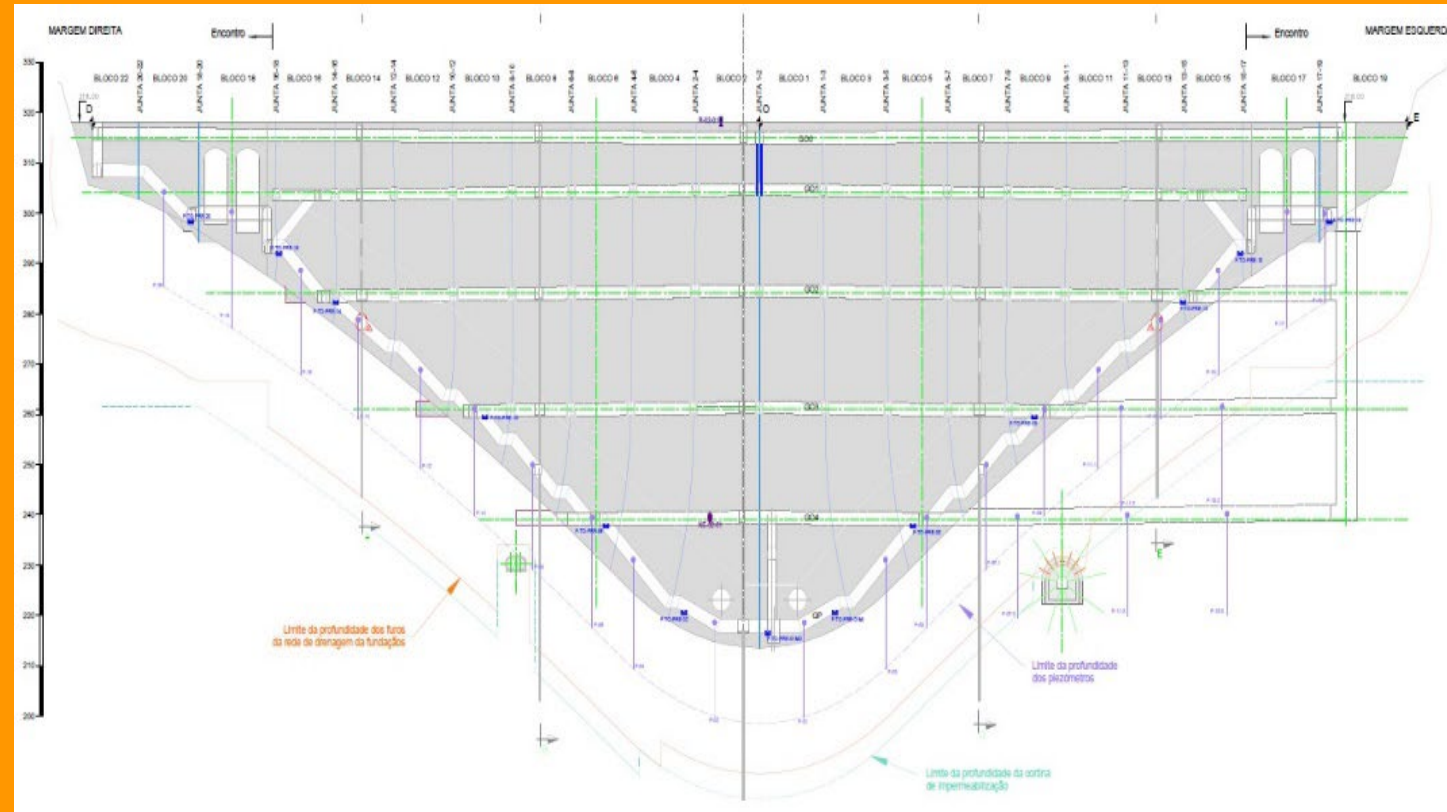


334,30 m

de desenvolvimento pelo eixo da galeria perimetral

104,50 m

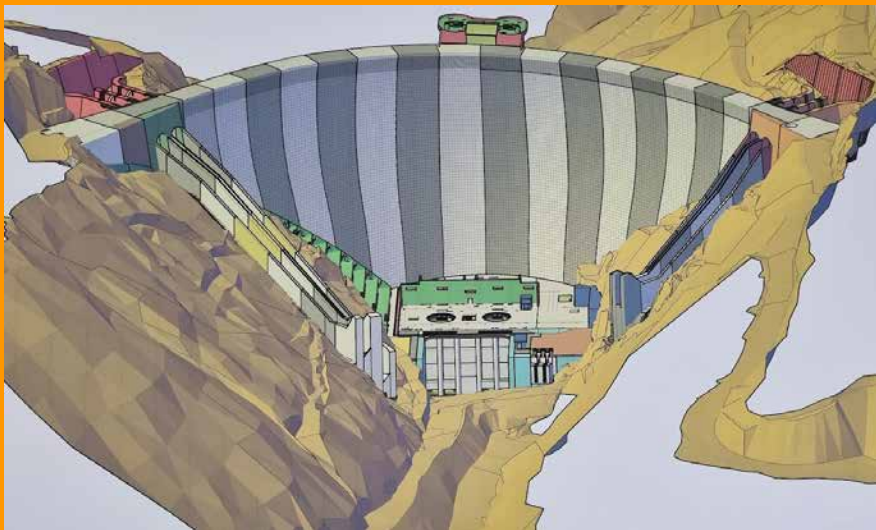
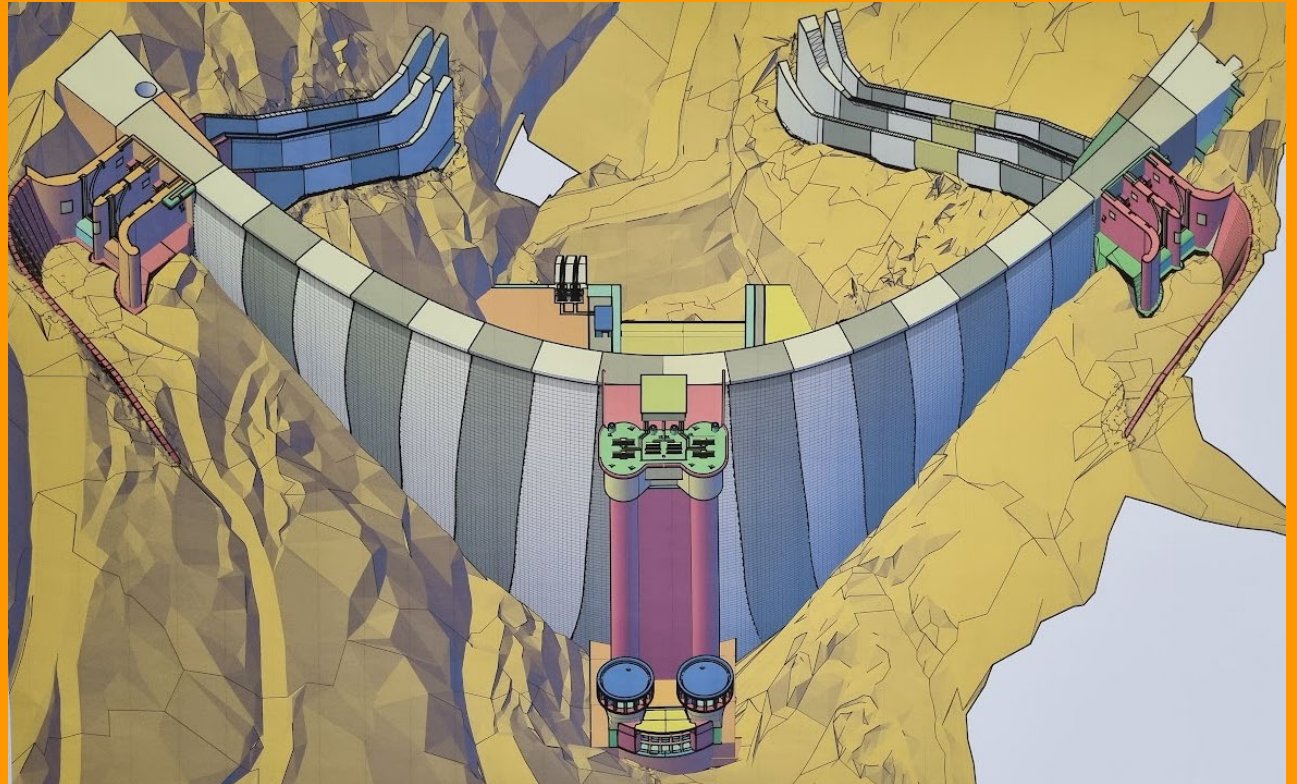
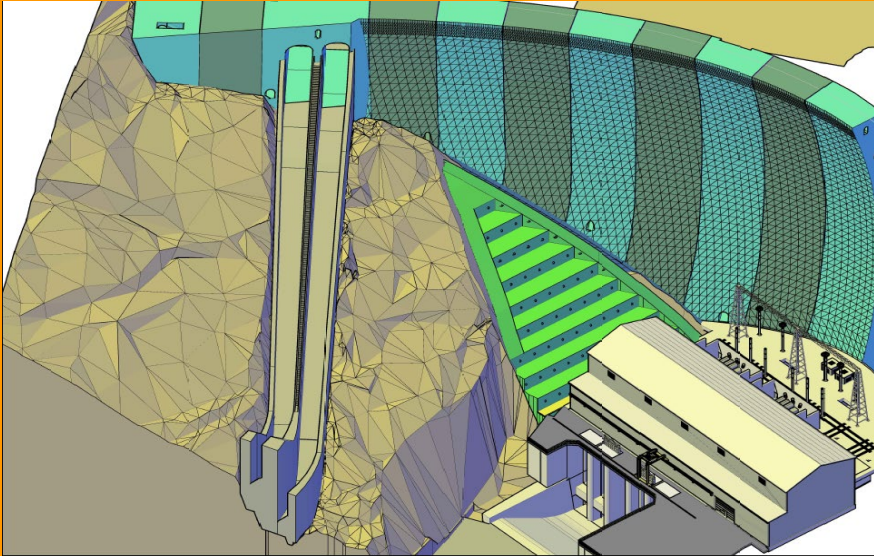
de altura desde a fundação na cota mais baixa (213,50 m)



Barragem – vista em corte transversal e longitudinal

NPA = 315,00 m

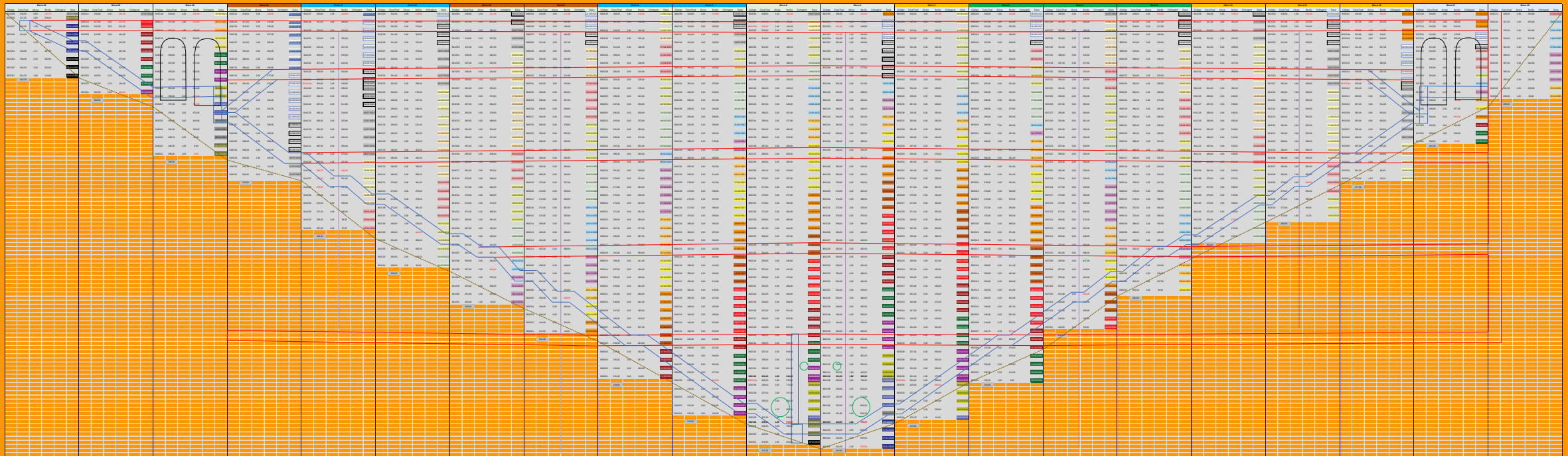
Barragem do Tâmega



Barragem – Visualização 3D

Barragem do Tâmega

TETRIS – Programa de trabalhos da barragem



Alguns Dados da Obra



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

- Volume de Betão
- Carga de Mão de Obra
- Infograma – Distribuição de mão de obra, Produção de Betão e Faturação
- Principais Equipamentos em Obra

Atividades principais:

- Betão armado (cofragem, armação de aço, betonagem)
- Estrutura metálica (EDIRIO)
- Geotecnia/Tratamento de Fundações e Juntas (GEONORTE / LURPELAN / DRILLGO)

Atividades secundárias:

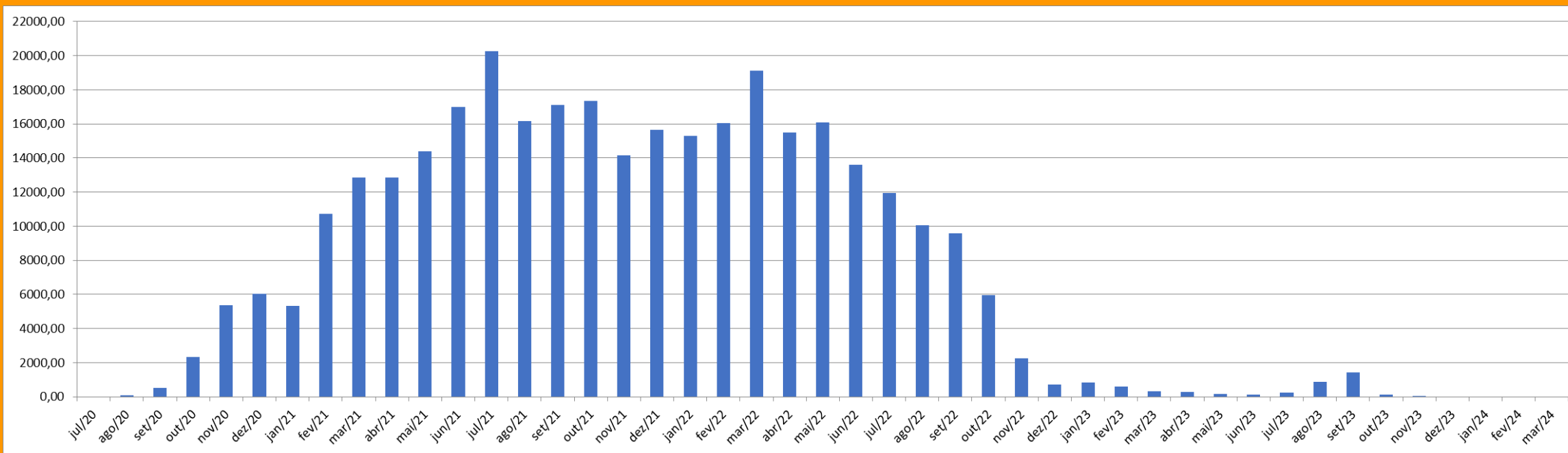
- Construção Civil
- Montagem de andaimes e torres de escadas
- Rede de terras
- Instrumentação
- Elaboração de estudos e projetos internos (ESQUÉNIO)

Volume de Betão

VOLUME DE BETÃO = 329.446 m³

PICO MENSAL (07/2021) = 20.249 m³

PICO DIÁRIO (10/03/2022) = 2.110 m³

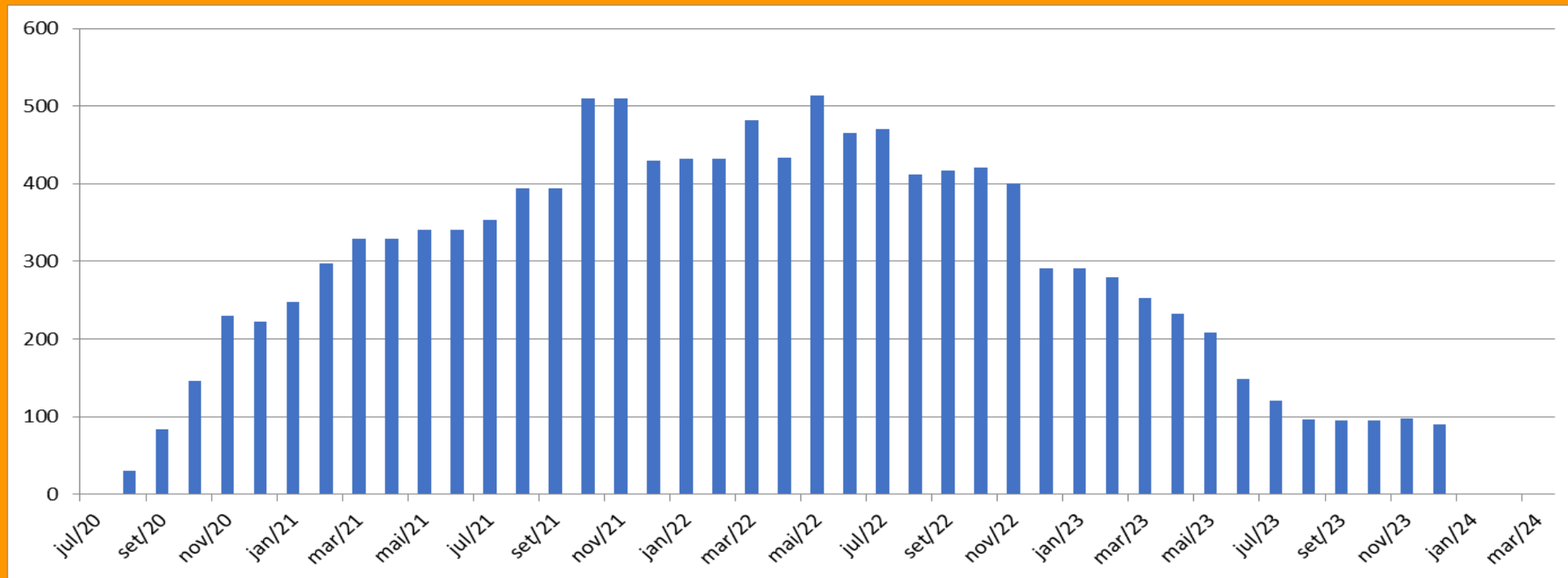


Carga de Mão de Obra

CARGA MÉDIA MENSAL DE MÃO DE OBRA

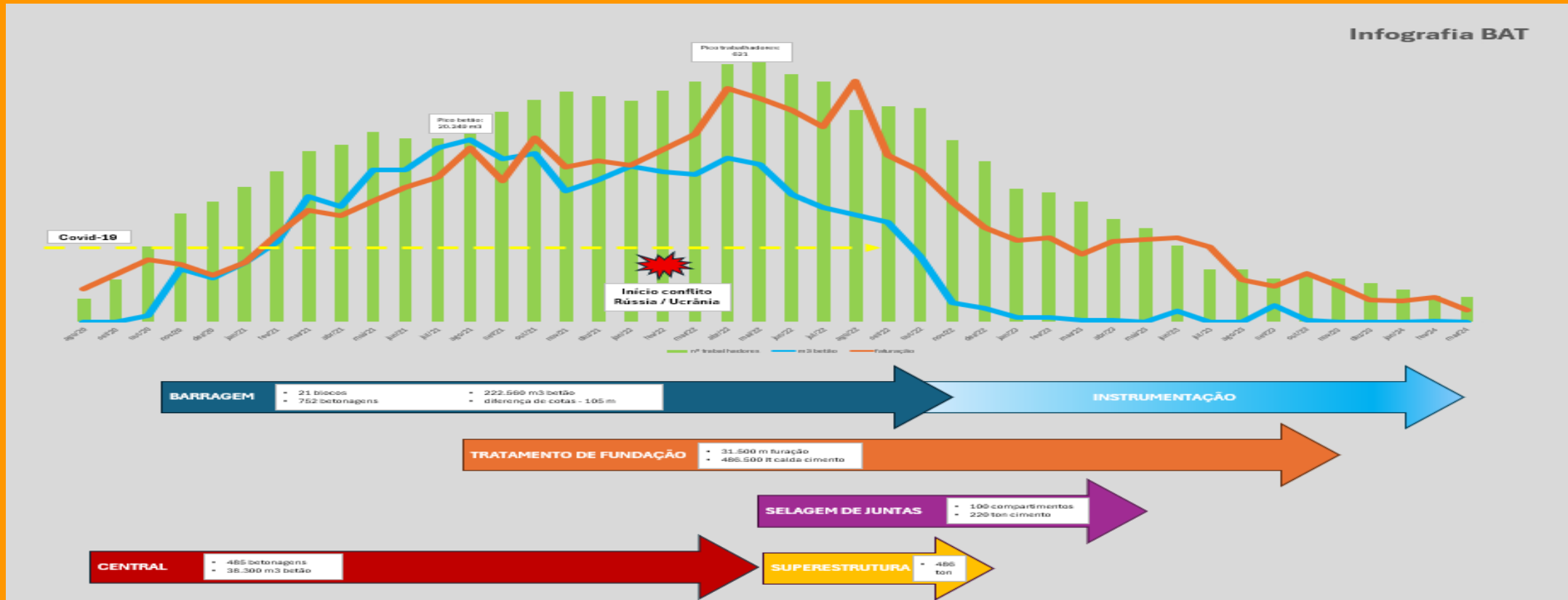
MÁXIMO MENSAL (05/2022) = 514 trabalhadores

MÁXIMO DIÁRIO (12/05/2022) = 621 trabalhadores



Infograma

INFOGRAMA COM DISTRIBUIÇÃO DA MÃO DE OBRA, PRODUÇÃO DE BETÃO E FATURAÇÃO



Principais Equipamentos em Obra

- Gruas torre (6 un + 2 un automontantes)
- Blondin (2x28 ton)
- Autogruas (4 un 30t/40t)
- Bombagem de betão (auto bomba + bomba fixa)
- Central de betão (250 m³/h + 80 m³/h)
- Silobus (3 un)
- Escavadora e buldózer (3 un + 2 un para espalhamento e vibração de betão)
- Camiões para transporte de inertes (10 un + subempreitada)
- Auto betoneiras (3 un)
- Retro escavadoras
- Trator + joper
- Cilindro compactador 16 Ton
- Viaturas 4x4
- Camião grua
- Geradores de 40 Kva a 500 Kva
- Compressor e martelos demolidores
- Serras circulares
- Rebarbadoras
- Serra de mesa
- Vibradores de betão
- Máquina de cortar aço
- Máquina de moldar aço
- Torres de iluminação \ projetores
- Postos de transformação
- Quadros de obra
- Grupo hidropressor
- Maquinas de lavar à pressão de água
- Maquinas soldadura junta water-stop
- Bombas submersíveis
- ETARI

Principais Equipamentos em Obra



Principais Equipamentos em Obra



Atividades principais

Betão armado



Barragem	
Nº Blocos	21 blocos
Nº Betonagens	752 betonagens
Betão	222560 m3

Central	
Nº Betonagens	485 betonagens
Betão	38300 m3

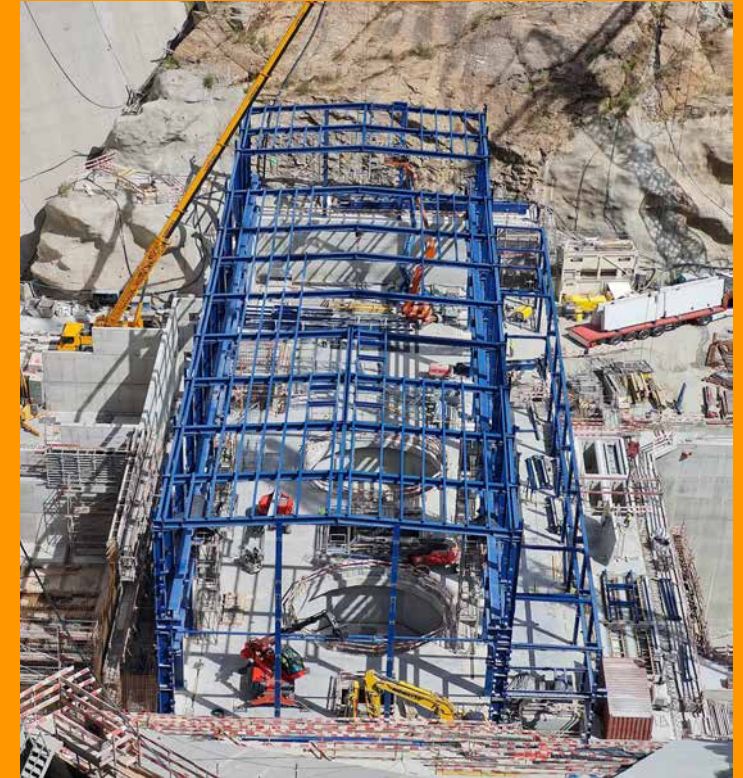
Atividades principais

Estrutura Metálica



Atividades principais

Estrutura Metálica



Central	
Superestrutura	486 ton

Atividades principais

Geotecnia / Tratamento de
Fundações e Juntas (GEONORTE
/ LURPELAN / DRILLGO)



Atividades principais

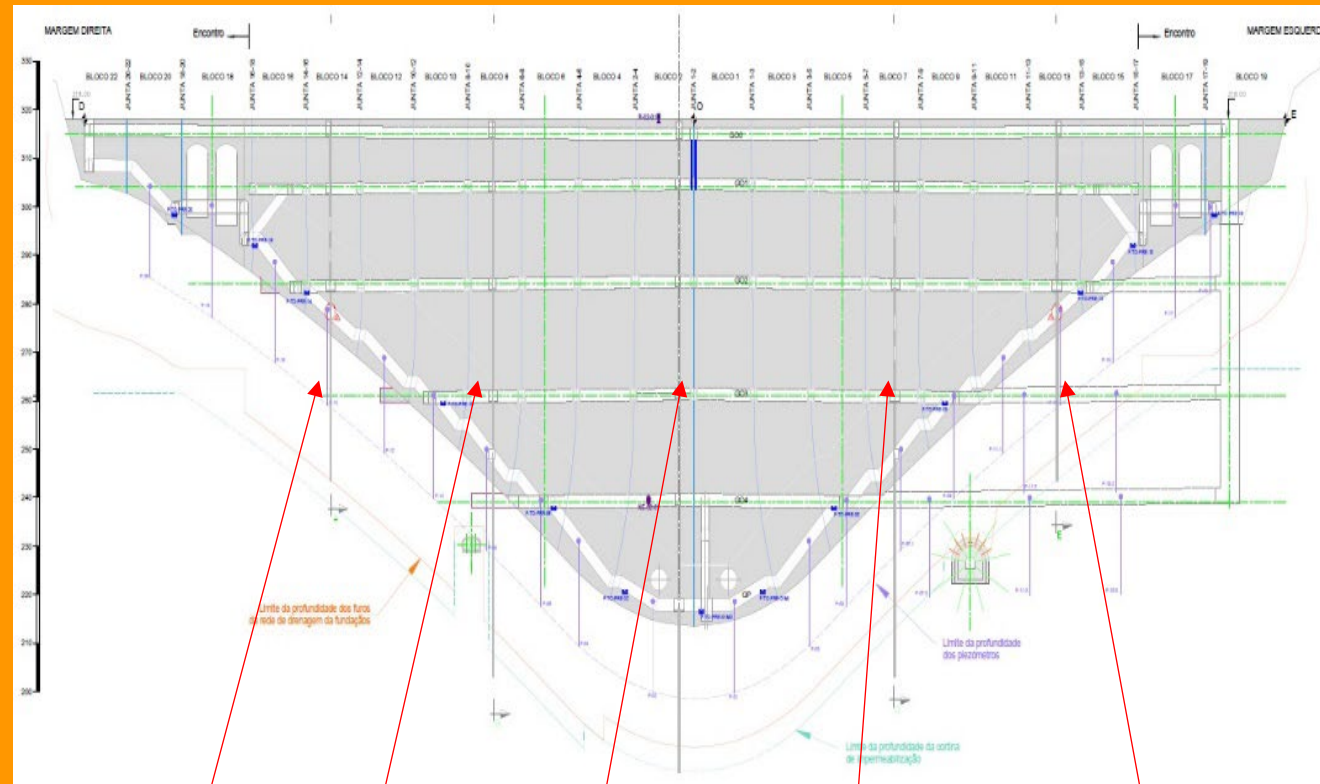
Geotecnia / Tratamento de Fundações e Juntas (GEONORTE / LURPELAN / DRILLGO)

Descr.	Total
Furação à rotação	12643 ml
Furação à rotopercussão	20488 ml
Injeção cimento	578 ton
Ensaíos lugeon	1562 und
Pregagens	6003 ml
Ancoragens	2801 ml



Atividades principais

Fio de Prumo - Sistema Raise Boring



B14

B8

B2

B7

B13



Aspetos críticos da obra

- Montagem da central de betão pronta a fornecer betão
- Funcionamento Blondin
- Execução da obra por turnos
- Acessos \ espaço reduzido na frente de obra
- Localização da obra / Clima
- Escassez de mão-de-obra qualificada
- Pandemia
- Guerra



Evolução da obra



27 de novembro de 2020



20 de maio de 2021



29 de julho de 2021

Evolução da obra



18 de outubro de 2021



18 de dezembro de 2021



24 de janeiro de 2022

Evolução da obra



24 de janeiro de 2022



28 de março de 2022



03 de maio de 2022

Evolução da obra



12 de julho de 2022

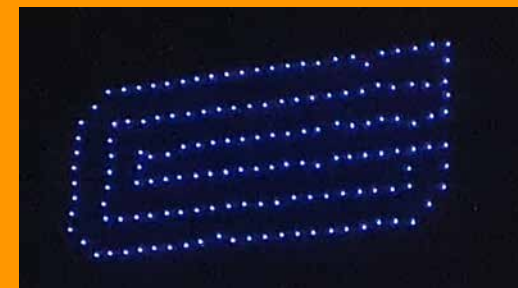


01 de setembro de 2022



12 de outubro de 2022

Evolução da obra



03 de novembro de 2022

Reconhecimento



XI ENCONTRO ENG. CIVIL

NORTE PORTUGAL — GALIZA



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS. GALICIA

Aspetos singulares da intervenção do LNEC nas obras do Complexo Hidroelétrico do Tâmega

António Lopes Batista, Diretor do Departamento de Barragens de Betão

Luís Lamas, Chefe do Núcleo de Modelação e Mecânica das Rochas

Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC

COM O APOIO



CCDR
NORTE

Intervenção do LNEC



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

caminhos
Galicia

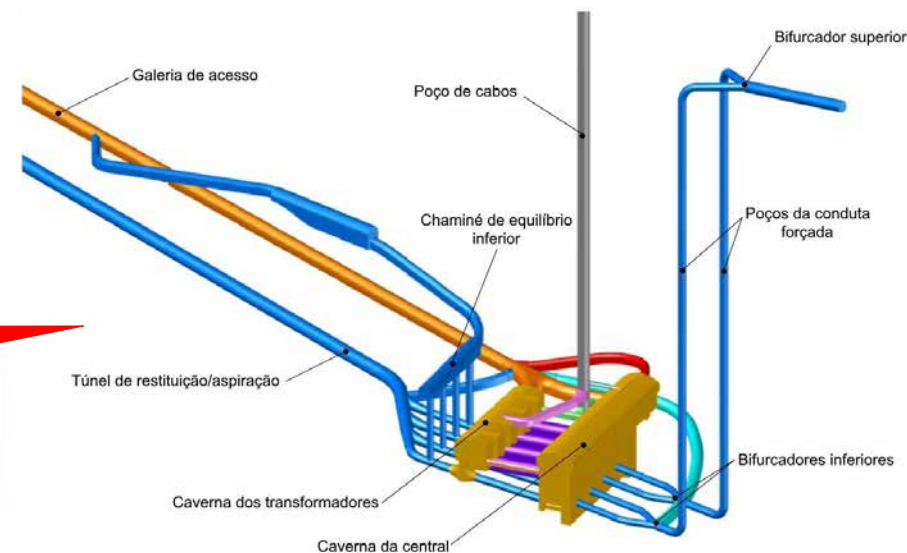
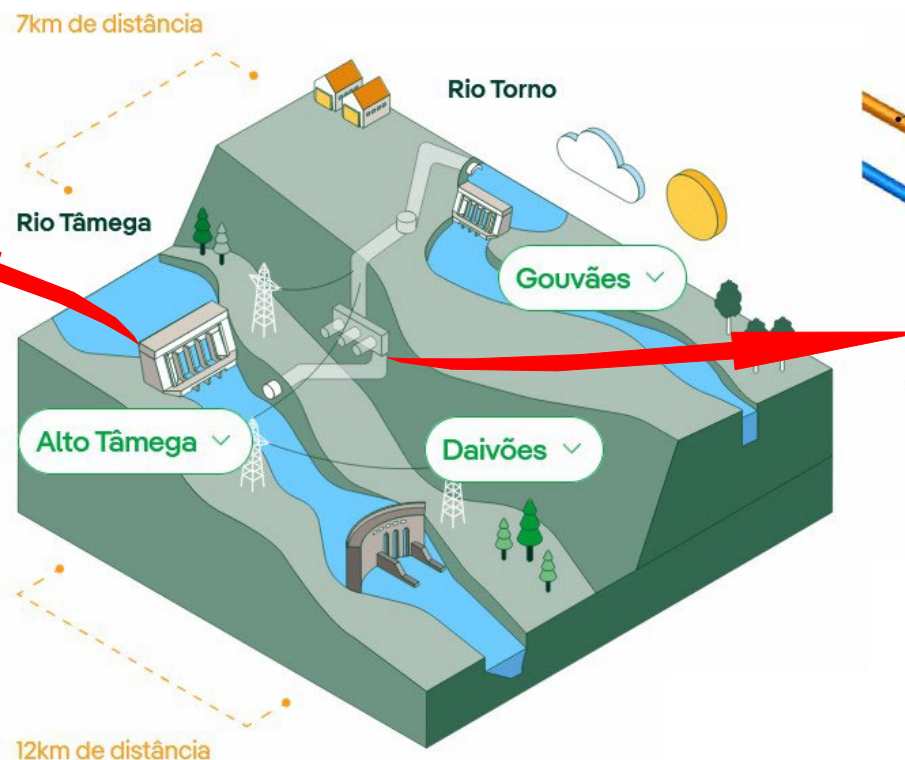


Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

- Apoio especializado nas fases de projeto, construção, primeiro enchimento e exploração das barragens, circuitos hidráulicos e obras subterrâneas.
- Consultor da Autoridade (APA) nos aspetos de segurança das 3 barragens (classe I do RSB).



Barragem de Alto Tâmega



Circuito hidráulico e cavernas de Gouvães

Barragem do Alto Tâmega

Estudos hidráulicos



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Estudo do descarregador de cheias em modelo físico



Barragem do Alto Tâmega

Caracterização geomecânica da fundação



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camións
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Ensaio “in situ” de deformabilidade
do maciço rochoso de fundação



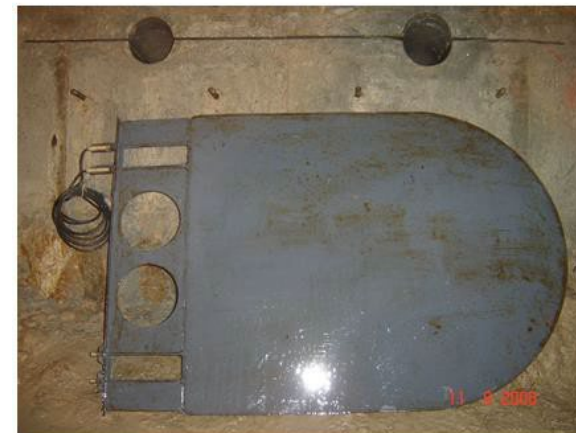
Ensaio
dilatométrico



Máquina LFJ pronta para abrir um furo



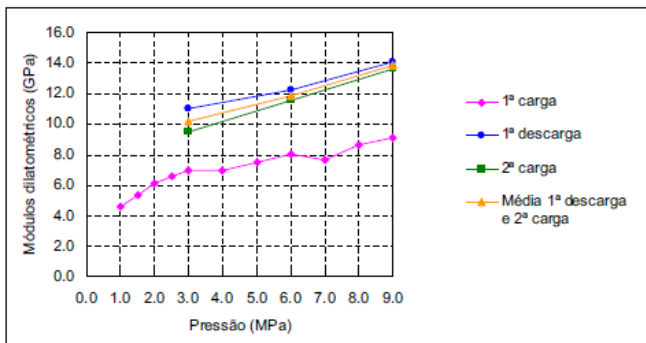
Máquina LFJ pronta para abrir um rasgo



Macaco plano e rasgos abertos



Macacos planos colocados para ensaio



Barragem do Alto Tâmega

Estudos até à rotura



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

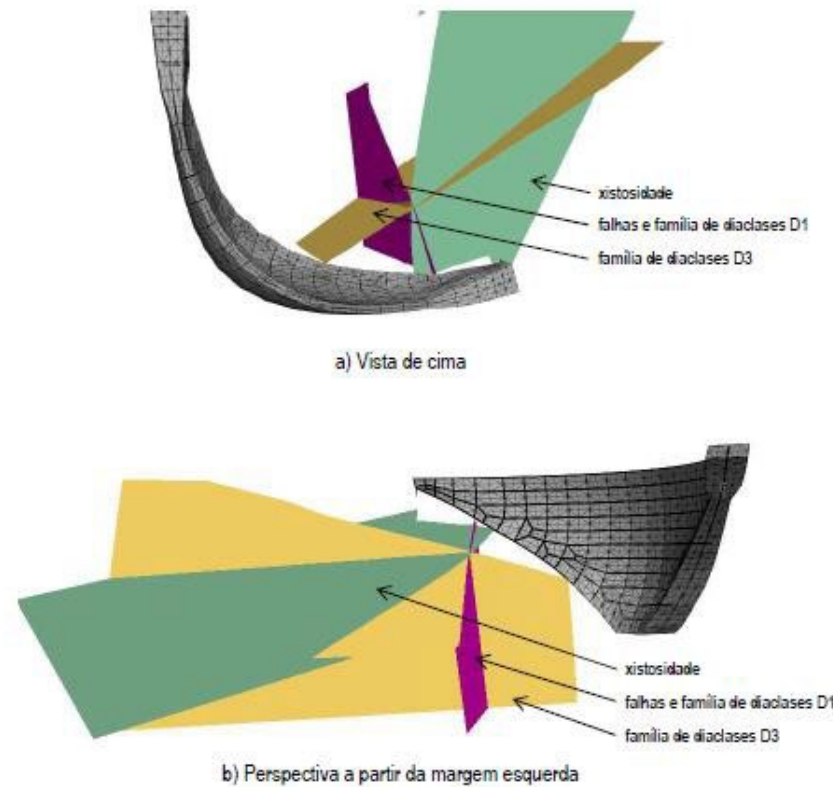
camións
Galicia

Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

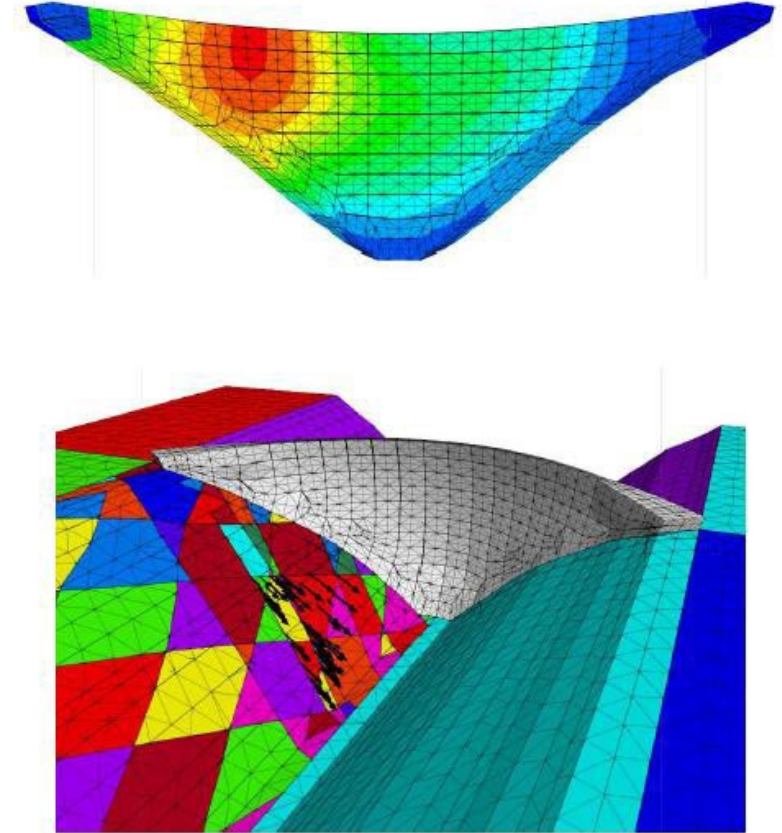
Modelação numérica da rotura por superfícies de descontinuidade da fundação



Principais falhas



Descontinuidades simuladas para o estudo da estabilidade da margem direita

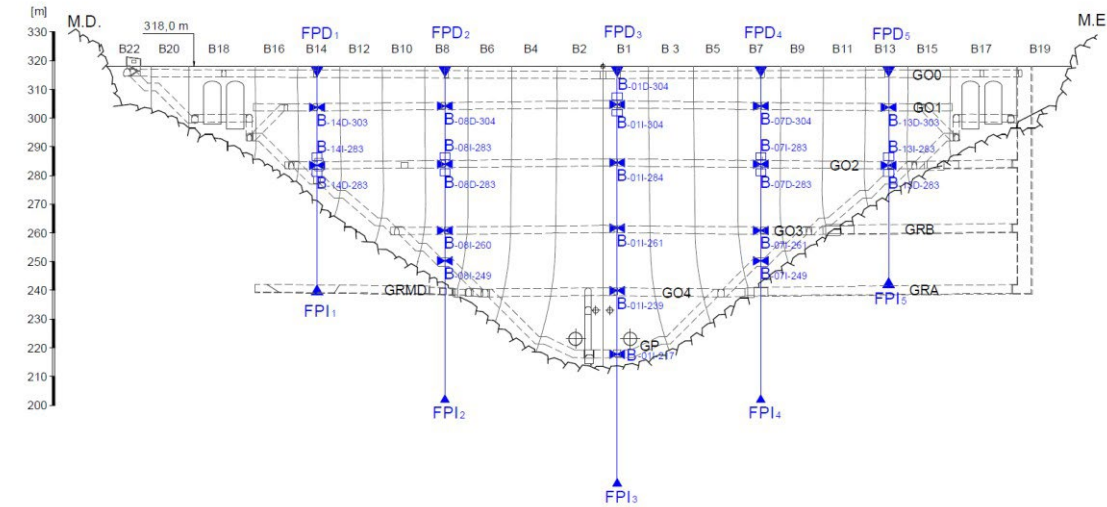


Deslocamentos no paramento de jusante e nos blocos da fundação da margem direita

Barragem do Alto Tâmega

Observação da barragem

- Elaboração do plano de observação
- Acompanhamento da instalação do sistema de observação, incluindo a mobilização permanente em obra de uma equipa especializada de instrumentação
- Acompanhamento do comportamento durante a construção, o primeiro enchimento e a exploração



Barragem do Alto Tâmega

Derrocada na margem direita



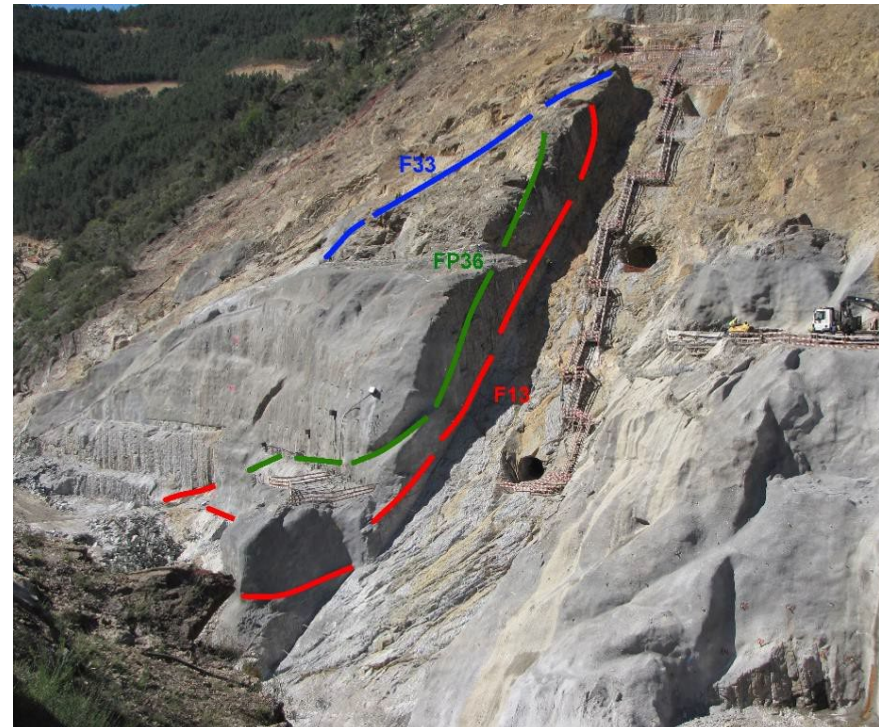
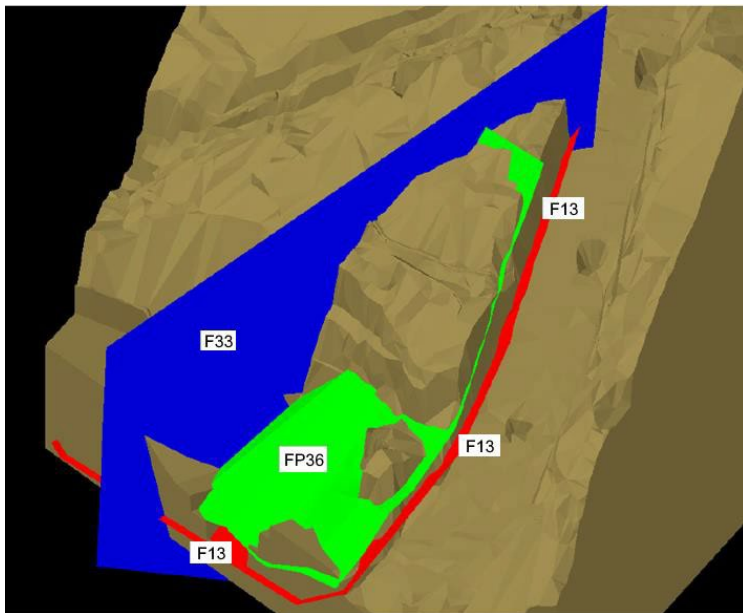
ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camións
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

- Descontinuidades persistentes no maciço rochoso (metamórfico, essencialmente constituído por micaxistos), na encosta da margem direita
- Falha F33 - Orientação identificada durante a prospeção realizada na fase de projeto
- Falhas prováveis FP36 e FP13 - Apenas identificadas durante as escavações



Barragem do Alto Tâmega

Derrocada na margem direita



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camíños
Galicia



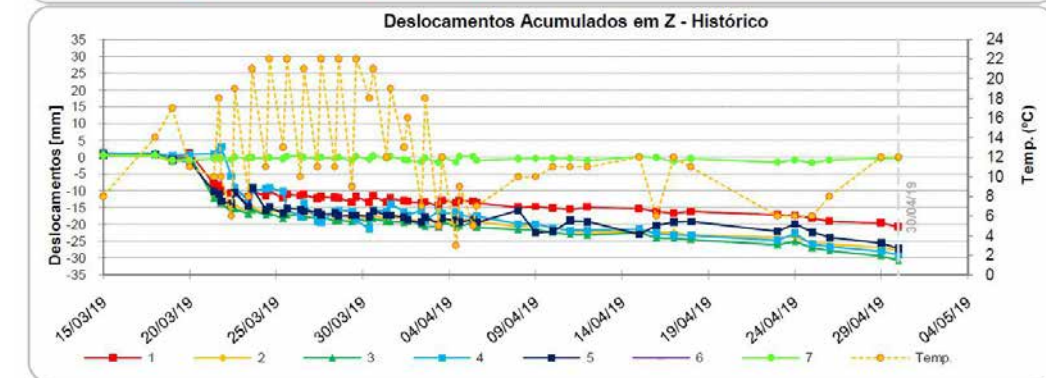
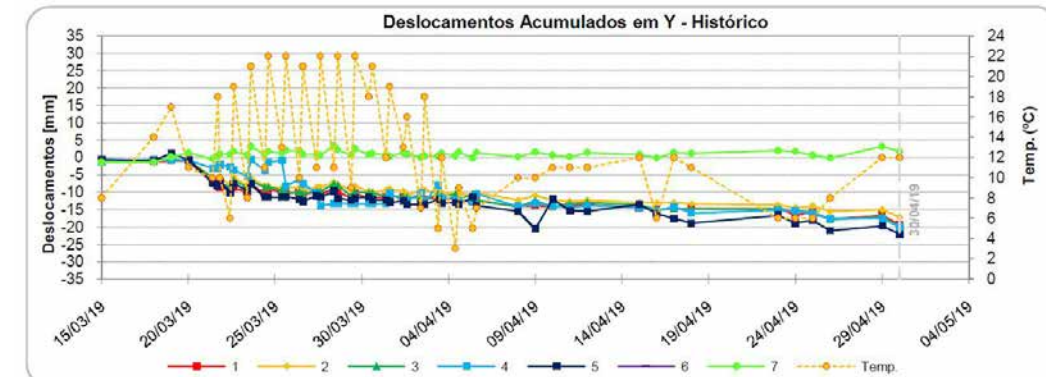
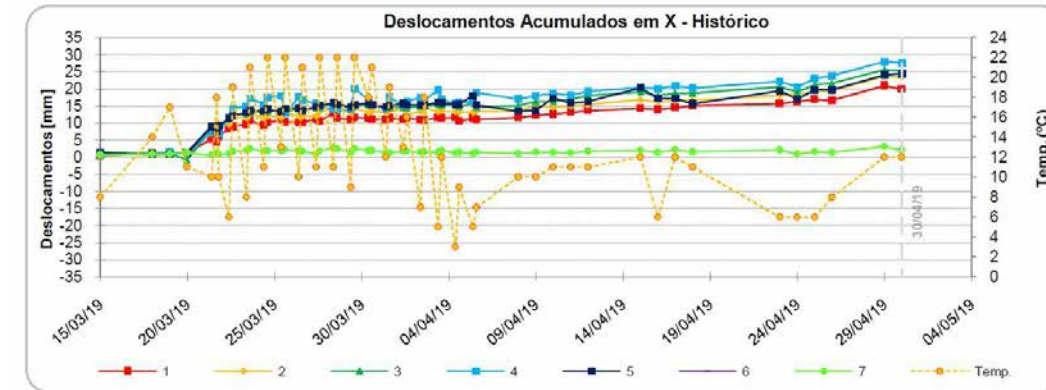
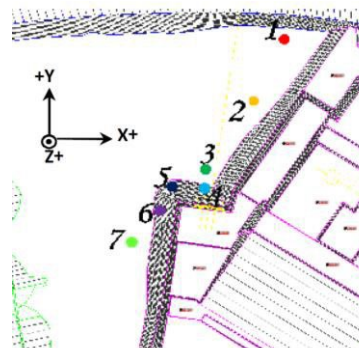
Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Dezembro de 2018:

- Aumento dos deslocamentos observados, principalmente em períodos de chuva
- Mapeamento da falha FP36
- Reforço do suporte usado (pregagens e betão projetado) com ancoragens “GEWI”
- Reforço da observação da encosta (alvos, células de carga, inspeções visuais diárias)

Dezembro de 2018 – abril de 2019

- Progressão dos deslocamentos observados, com maiores taxas a partir de março de 2019
- Suspensão da escavação em março de 2019



Barragem do Alto Tâmega

Derrocada na margem direita



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

2 de maio de 2019

- Após dias de chuva intensa, deslizou uma cunha rochosa com um volume de 23.000 m³
- O deslizamento envolveu a cunha definida pelas falhas F13 e F33
- A principal causa foi a variação de inclinação da falha F13



Após a derrocada



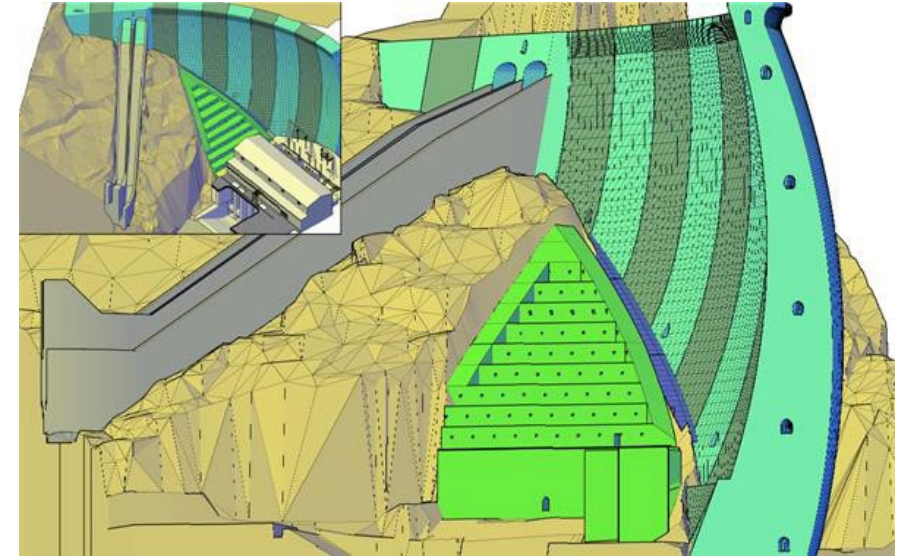
Depois de removidos os escombros

Barragem do Alto Tâmega

Derrocada na margem direita

Adaptação do projeto para as novas condições:

- Construção de um maciço de betão ancorado para substituir o volume desprendido de rocha

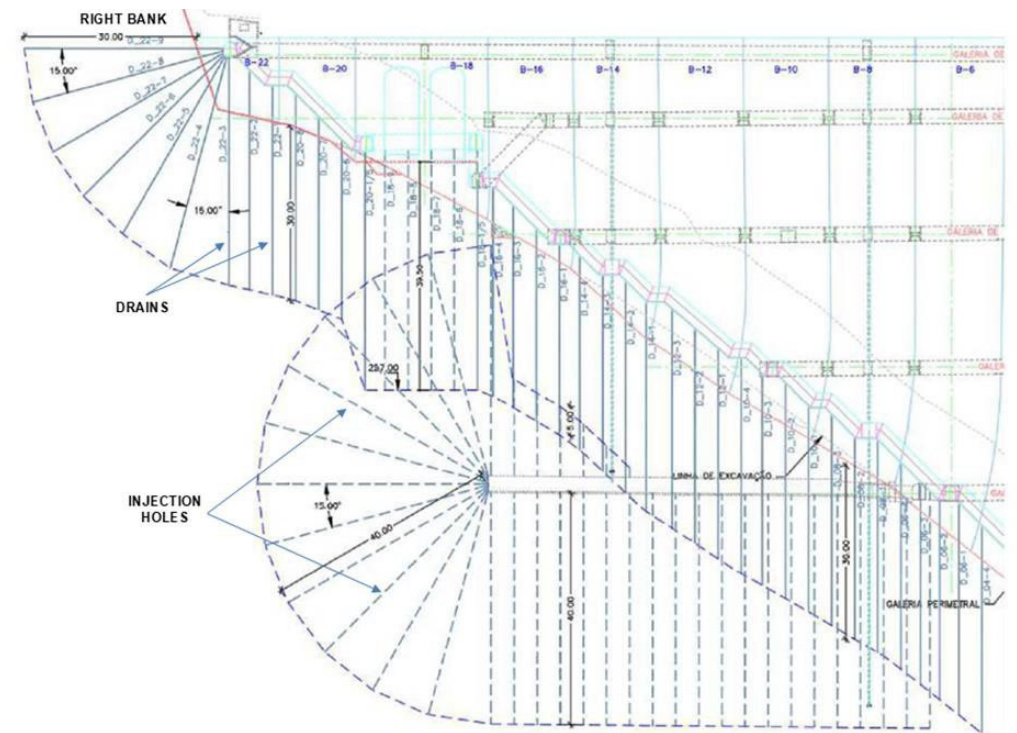
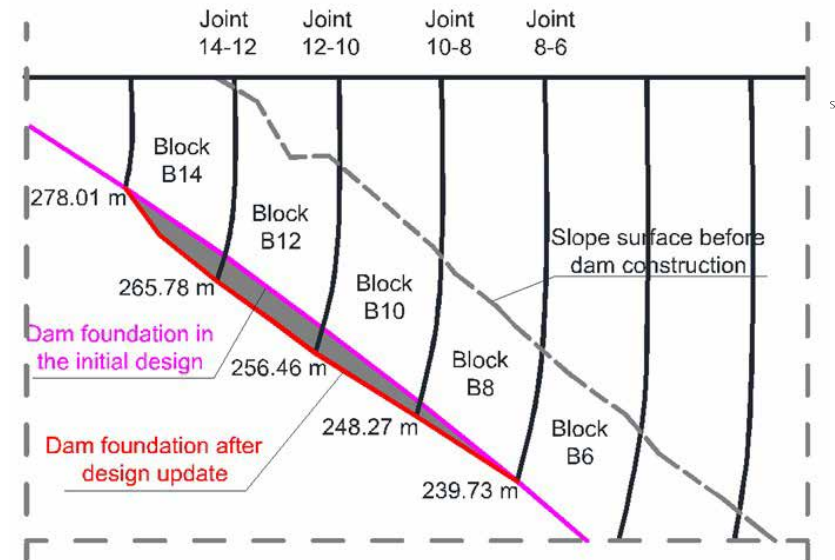


Barragem do Alto Tâmega

Derrocada na margem direita

Adaptação do projeto para as novas condições:

- Ajustamento da superfície de inserção da abóbada, aprofundando e alargando o apoio dos blocos B10, B12 e B14
- Prolongamento da galeria de fundação à cota 237,5 m para melhorar a drenagem e observar o maciço
- Adaptação e reforço do plano de observação



Barragem do Alto Tâmega

Primeiro enchimento da albufeira

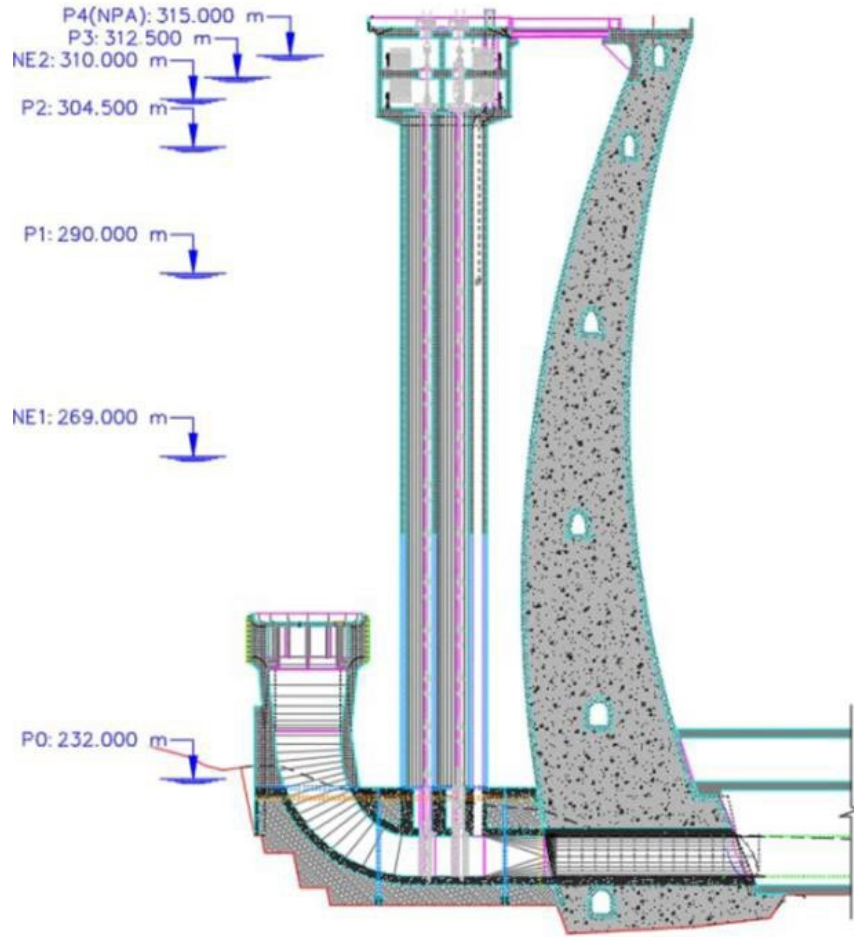


ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camíños
Galicia

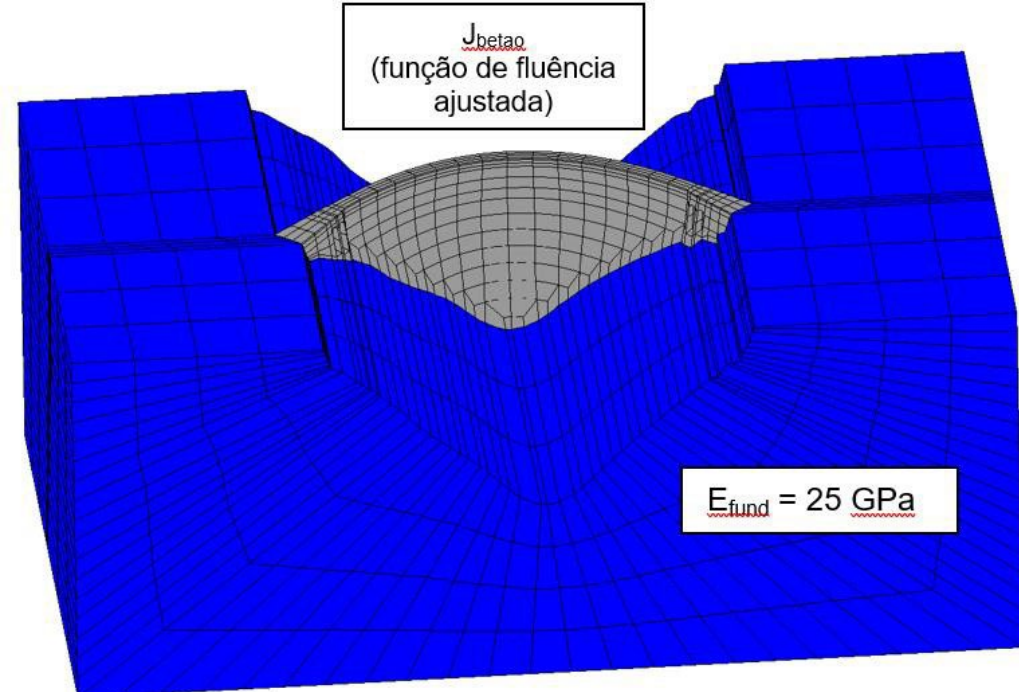


Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos



Modelação do comportamento: previsão e interpretação

- Modelo térmico:
 - Temperatura do ar e da água a montante
 - Radiação solar no paramento de jusante
- Modelo estrutural:
 - Pressão hidrostática e variações de temperatura
 - Comportamento viscoelástico do betão
 - Modelo contínuo sem juntas entre blocos



Barragem do Alto Tâmega

Primeiro enchimento da albufeira



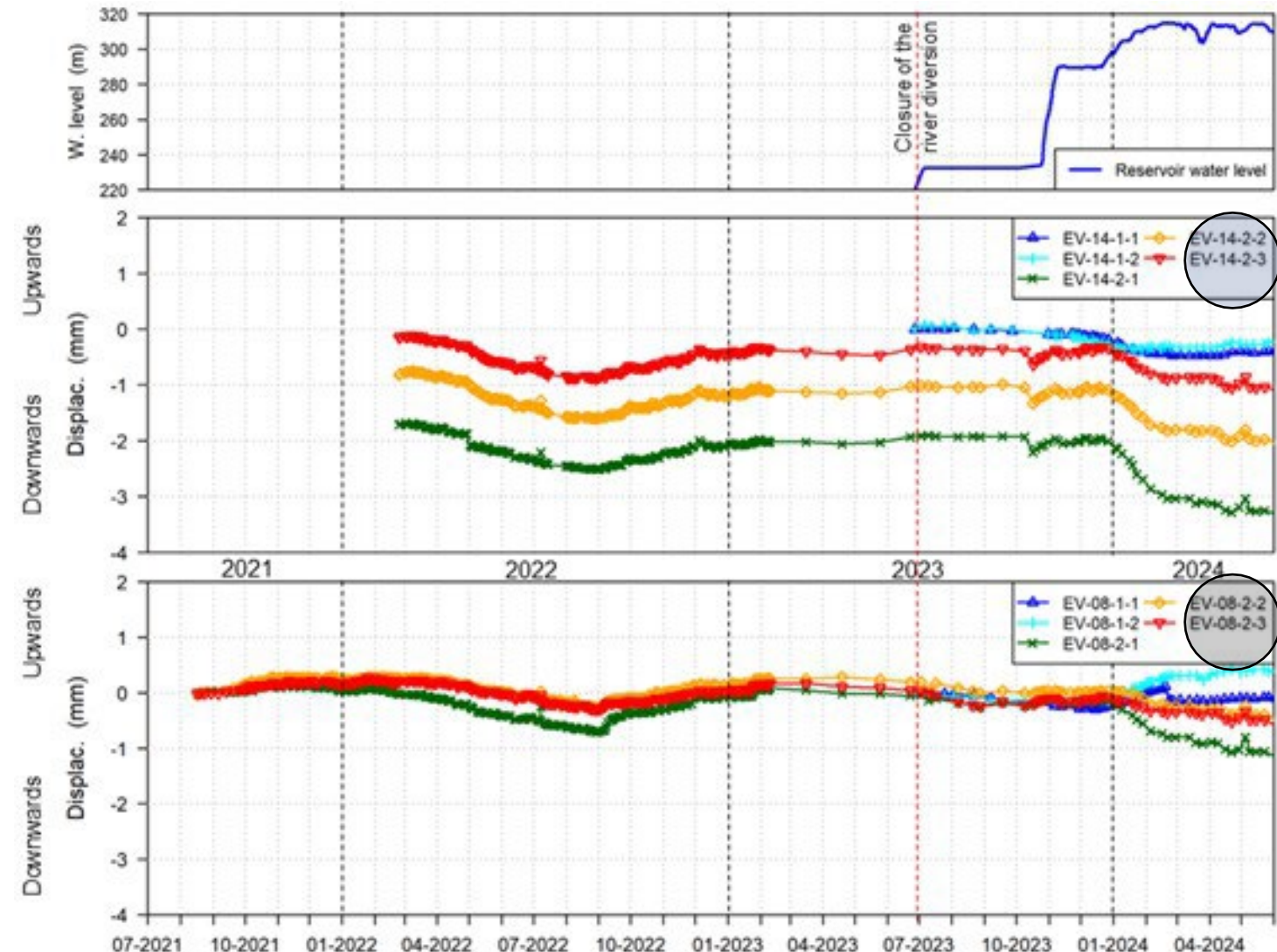
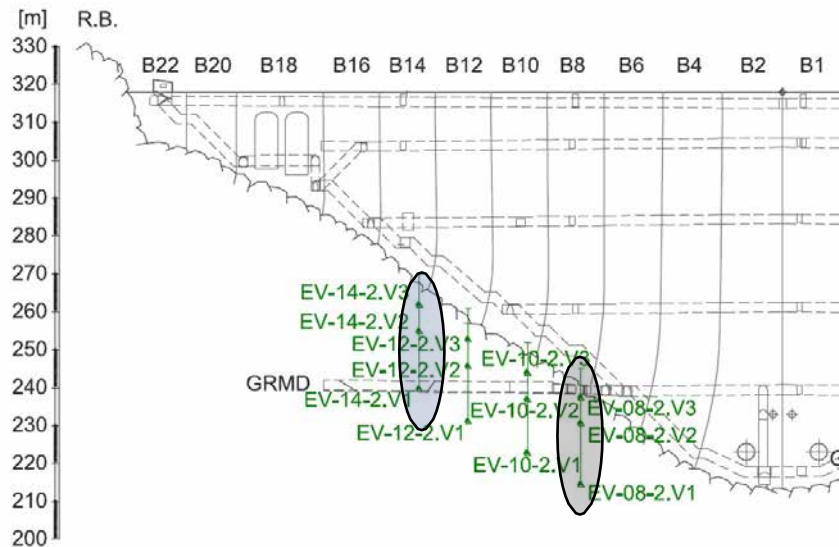
ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camións
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Observação de deslocamentos
na fundação, na margem direita,
durante a construção e o
primeiro enchimento da albufeira



Barragem do Alto Tâmega

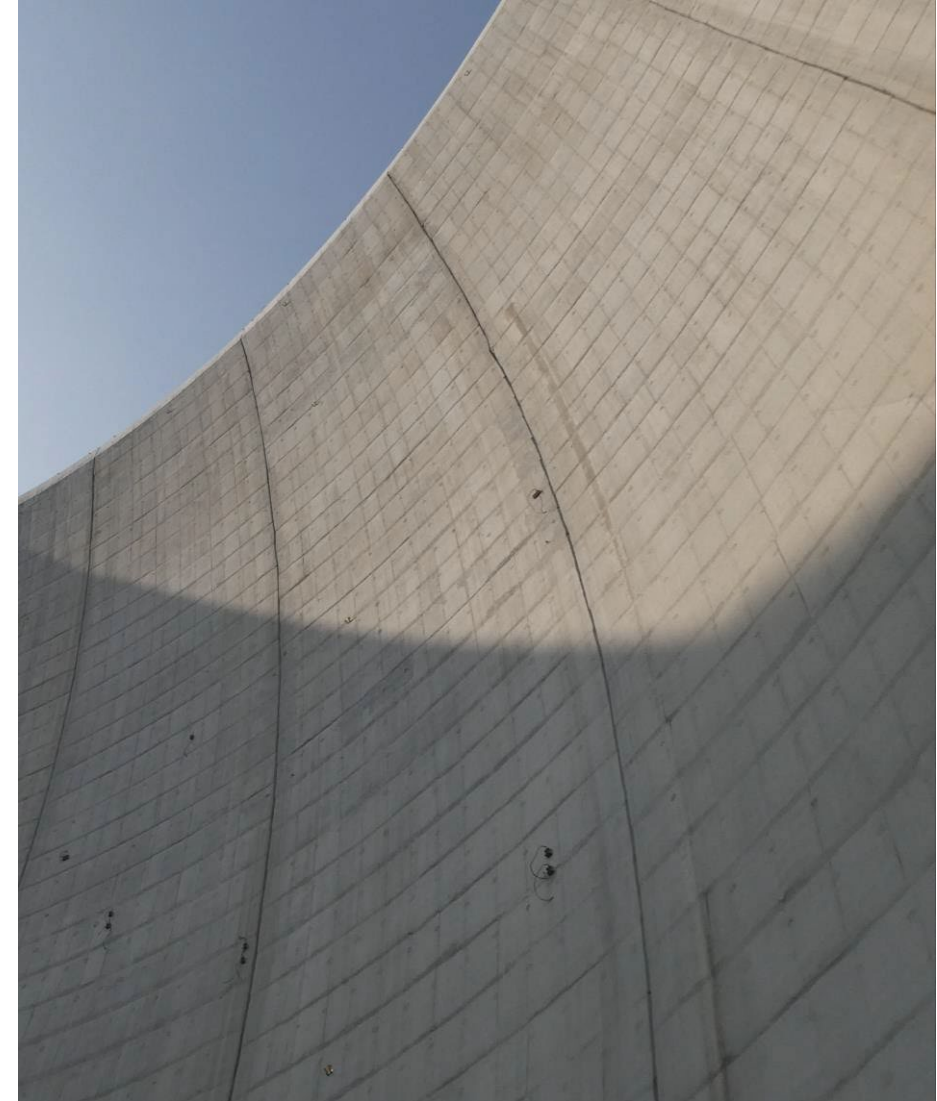


ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia

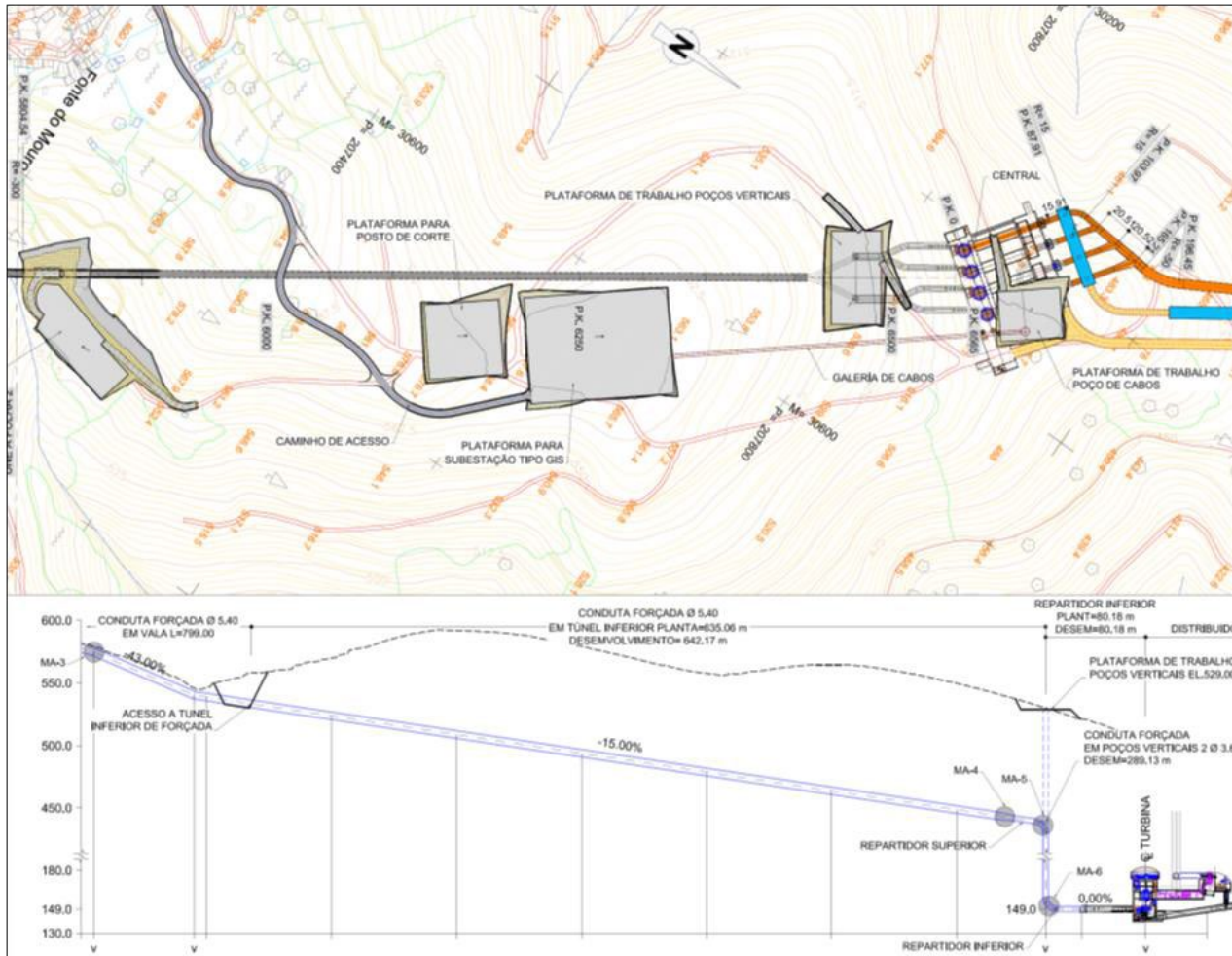


Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos



Circuito hidráulico de Gouvães

Layout e litologia na zona da central

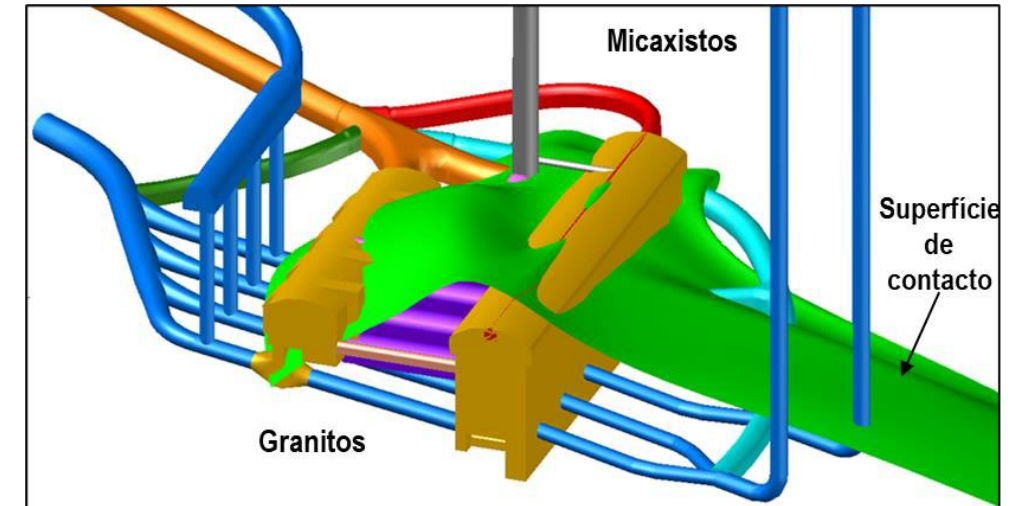


ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

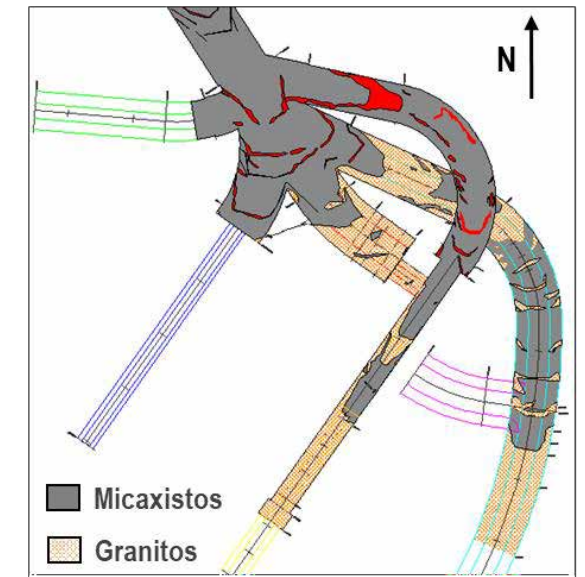
caminhos
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos



Superfície de
contacto
entre os
micaxistos e
os granitos



Circuito hidráulico de Gouvães

Determinação de tensões “in situ”



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camíños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

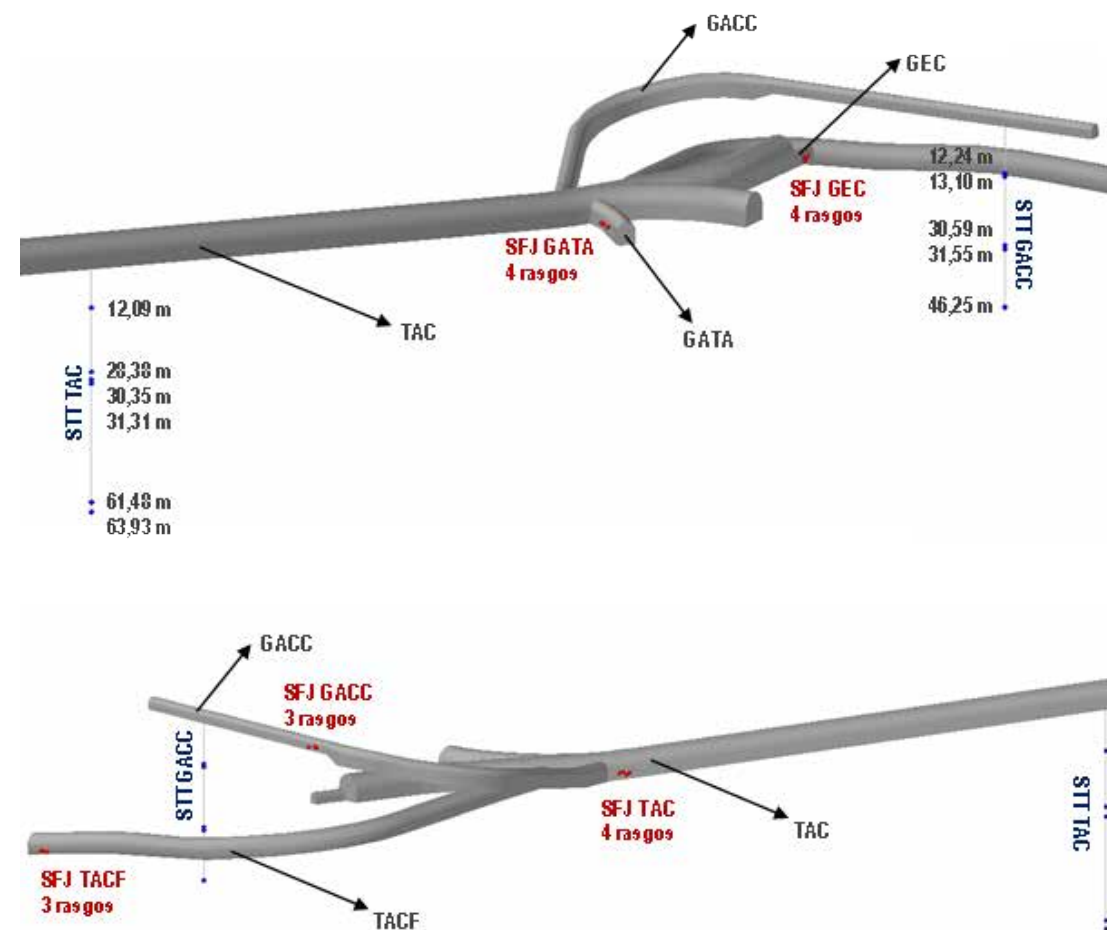
Ensaio na zona das cavernas da central, a profundidade > 300m



Ensaio de
macacos planos
SFJ



Ensaio de
sobrecarotagem
STT



Circuito hidráulico de Gouvães

Determinação de tensões “in situ”



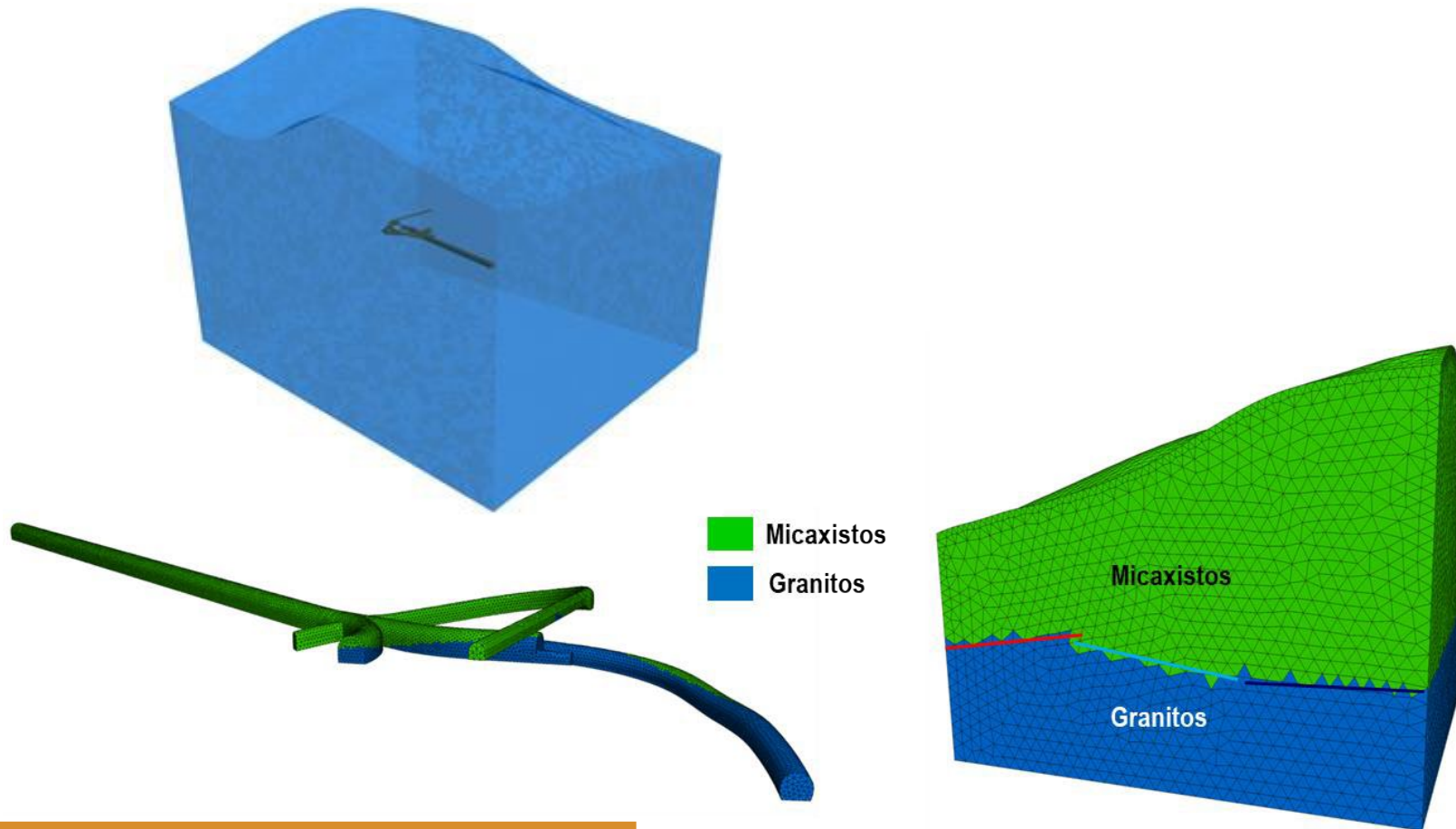
ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

caminhos
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Modelação numérica para obtenção do campo de tensões no maciço rochoso



Vista do interior do túnel de acesso à central



$$\sigma_I / \sigma_{zz} \approx 1,1 \quad (// \text{ ao rio Tâmega})$$

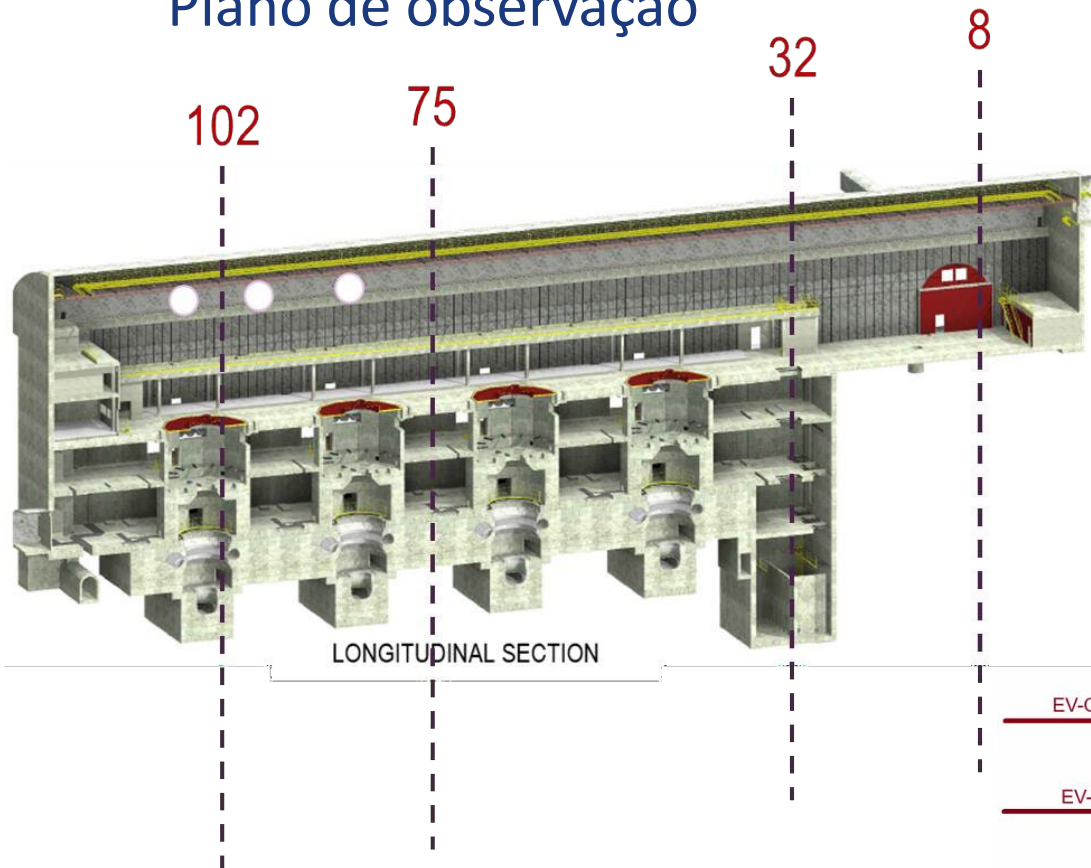
$$\sigma_{II} / \sigma_{zz} = 1,0 \quad (\text{Subvertical})$$

$$\sigma_{III} / \sigma_{zz} \approx 0,6 \quad (\perp \text{ ao rio Tâmega})$$

Circuito hidráulico de Gouvães

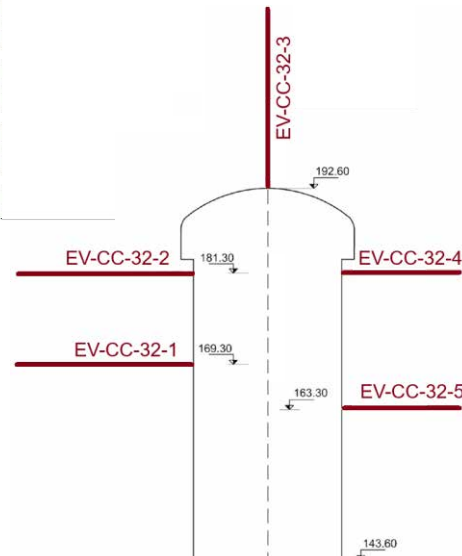
Primeiro enchimento

Plano de observação



18 extensómetros
de varas
3 células de carga

2 piezómetros
15 bicas

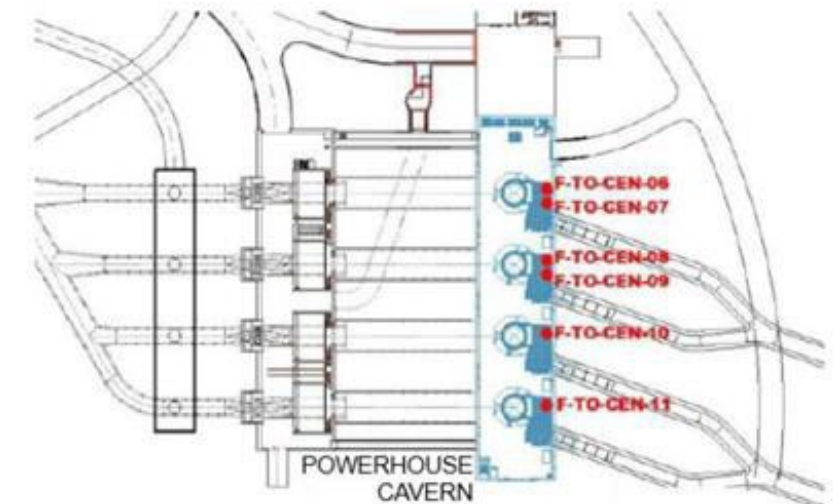
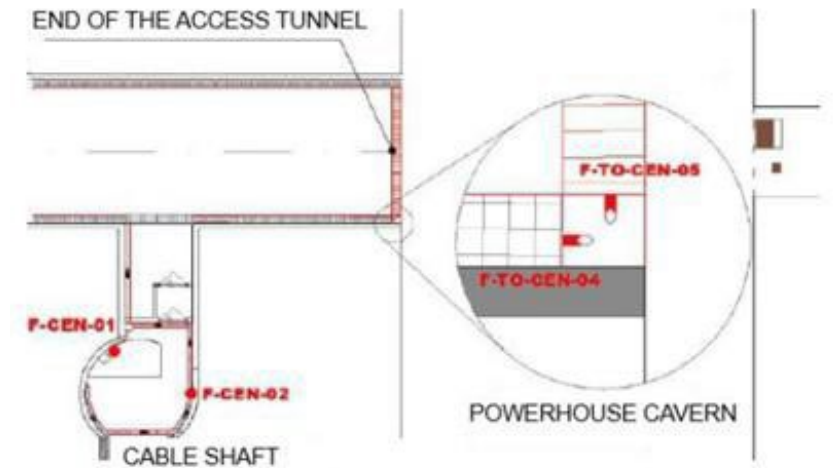


ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camións
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos



Circuito hidráulico de Gouvães

Primeiro enchimento



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia

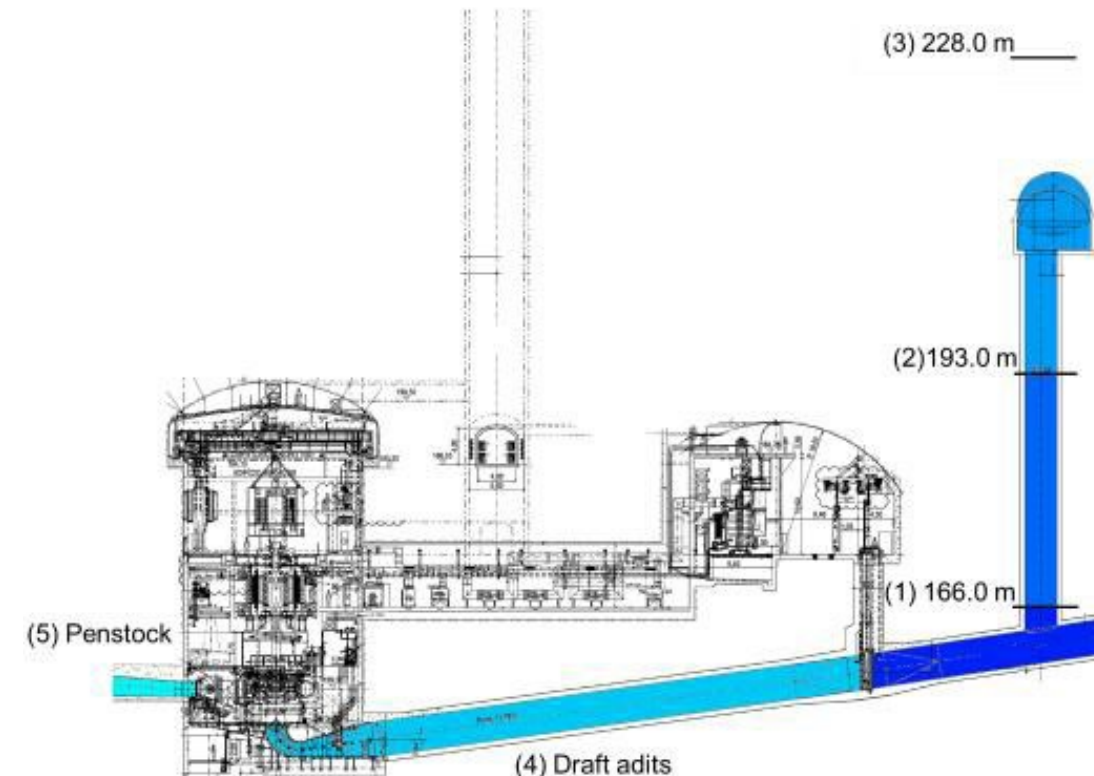
Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Albufeira de Daivões a 228,0 m

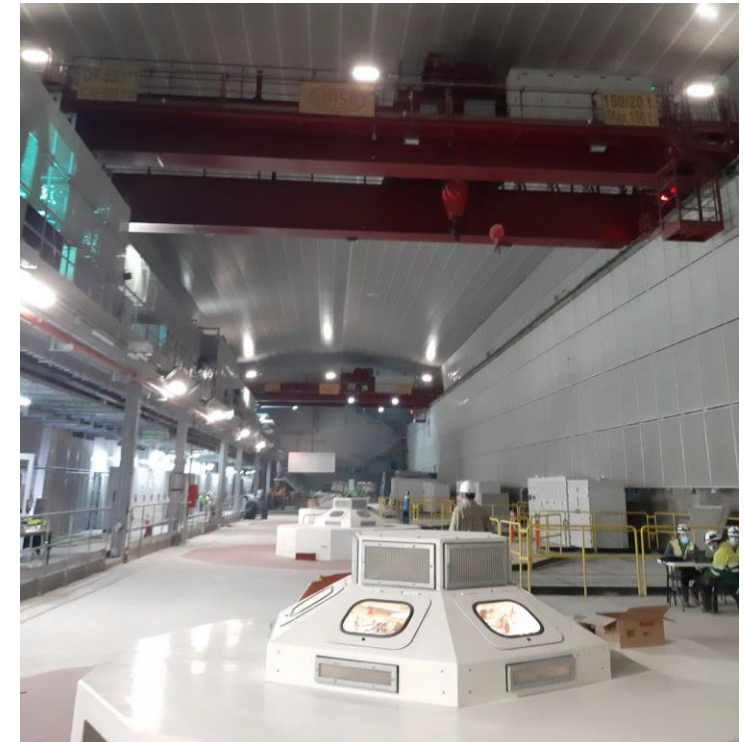
- 24h → Fase 1: Túnel de restituição até 166,0 m (piso da caverna da central)
- 24h → Fase 2: Túnel de restituição até 193,0 m (abóbada da caverna da central)
- 48h → Fase 3: Túnel de restituição até 228,0 m
- 48h → Fase 4: Acessos (228,0 m)
- 48h → Fase 5: Condura forçada (228,0 m)

De 7 de junho a 16 de agosto de 2021

- Pequenos problemas com manejo de válvulas
- Infiltrações no rolhão
- Pequenas infiltrações nas cavernas
- Pequeno aumento das forças nas ancoragens



Circuito hidráulico de Gouvães



Notas finais



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

- Houve uma muito proveitosa interação entre as engenharias portuguesa e espanhola de barragens e de obras subterrâneas em maciços rochosos.
- Foram bem resolvidos os desafios decorrentes do deslizamento da cunha rochosa da encosta da margem direita da barragem de Alto Tâmega durante as escavações. Este acidente teve apenas danos materiais, mas atrasou a obra em cerca de um ano.
- A barragem da Alto Tâmega e a fundação tiveram bom comportamento estrutural e hidráulico durante o primeiro enchimento e nos primeiros meses de exploração.
- O estudo inovador para determinação do campo de tensões no maciço rochoso heterogéneo das cavernas do circuito hidráulico de Gouvães permitiu a obtenção de elementos fundamentais para o seu projeto e o dimensionamento das contenções.
- O comportamento hidráulico e estrutural das obras subterrâneas de Gouvães foi testado pelo procedimento implementado para o seu primeiro enchimento.



TEMA 2

ÁGUA & ENERGIA - O Valor Estratégico das Infraestruturas Hidráulicas



XI ENCONTRO ENX. CIVIL

NORTE PORTUGAL — GALICIA



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Importancia enerxética das infraestruturas hidráulicas

Pablo Fernández Vila

Director Xeral de Planificación Enerxética e Minas

Xunta de Galicia

APOIO



CCDR
NORTE

Índice



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

1. AXENDA ENERXÉTICA DE GALICIA 2030

- 1.1. Introducción
- 1.2. Obxectivos

2. MIX ENERXÉTICO GALEGO

- 2.1. Potencia centrais eléctricas en Galicia (MW)
- 2.2. Electricidade neta xerada nas centrais galegas (GWh)
- 2.3. Estrutura da xeración eléctrica en Galicia
- 2.4. Xeración hidráulica por Comunidade Autónoma (GWh)
- 2.5. Horas equivalentes por Comunidade Autónoma

3. OBXECTIVOS PNIEC E AXEGA 2030

- 2.1. Potencia centrais eléctricas en Galicia (MW)
- 2.2. Electricidade neta xerada nas centrais galegas (GWh)
- 2.3. Estrutura da xeración eléctrica en Galicia
- 2.4. Xeración hidráulica por Comunidade Autónoma (GWh)
- 2.5. Horas equivalentes por Comunidade Autónoma



1. AXENDA ENERXÉTICA DE GALICIA 2030



1. AXENDA ENERXÉTICA DE GALICIA 2030

1.1. Introducción

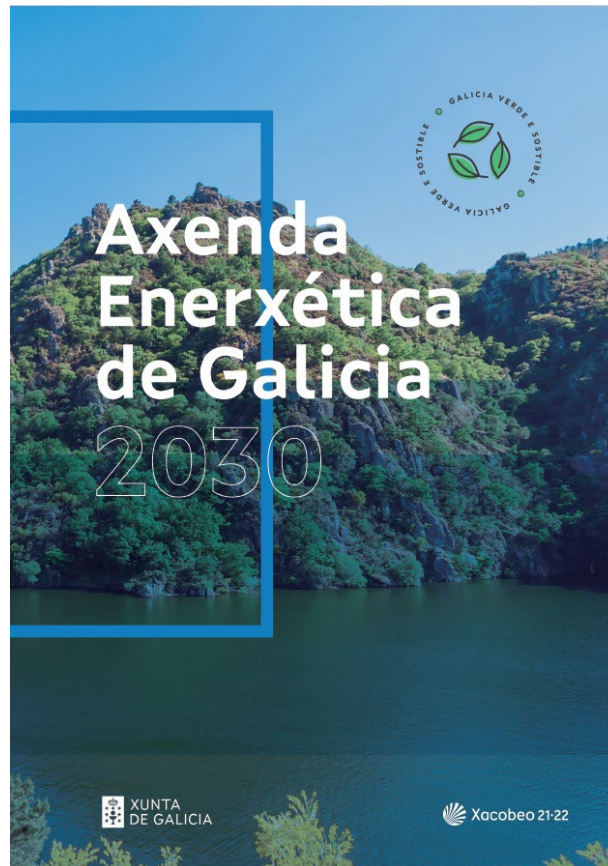


ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos



- ✓ A AXEGA 2030 enmárcase dentro do **Plan Estratéxico de Galicia 2022-2030** → EIXE 2 – Medio Ambiente e adaptación ao cambio climático:
 - o 2.1) Fomento dunha economía baixa en carbono baseada en fontes de enerxía máis limpas, dando prioridade ás fontes de enerxía renovables, e potenciando a eficiencia enerxética en todos os sectores.
 - o 2.2) Garantir unha mobilidade sostible.

1. AXENDA ENERXÉTICA DE GALICIA 2030

1.1. Introducción



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

✓ Obxectivos estratéxicos:

1. Galicia rexión neutra en carbono en 2050.
2. Diminuír a dependencia enerxética do exterior.
3. Descarbonización dos sectores económicos e sociais.
4. Posicionar a Galicia como polo enerxético innovador.
5. Sector industrial máis competitivo: nova industria máis eficiente e sostible.

✓ Desenvolvemento de liñas de acción englobadas en sete eixos de actuación:



Para a descarb. de
ámbitos asociados a usos
enerxéticos, actuando
sobre:

- Xeración de enerxía eléctrica.
- Mobilidade e transporte.
- Industria.
- Edifícios.
- Almacenamento enerxético.

1. AXENDA ENERXÉTICA DE GALICIA 2030

1.2. Obxectivos



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos



✓ Obxectivos cuantitativos a 2030:

55% de redución nas
emisións de gases de efecto
invernadoiro totais respecto
ás de 1990

58% de renovables
no consumo de enerxía final

84,8% de renovables na
xeración de enerxía eléctrica

Para a súa consecución:

- 7 eixos de actuación.
- 23 accións.
- 56 medidas.



2. MIX ENERXÉTICO GALEGO



2. MIX ENERXÉTICO GALEGO

2.1. Potencia centrais eléctricas en Galicia (MW)



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camíños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Potencia centrales eléctricas en Galicia (MW)

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Δ 2014-2024	% 2024
Térmoeléctricas	3.207	3.207	3.207	3.207	3.207	3.207	3.207	2.650	2.650	2.650	1.247	-61,1%	12,7%
Térmica de carbón	1.960	1.960	1.960	1.960	1.960	1.960	1.960	1.403	1.403	1.403	0	-100,0%	0,0%
Ciclo combinado	1.247	1.247	1.247	1.247	1.247	1.247	1.247	1.247	1.247	1.247	1.247	0,0%	12,7%
Coxeración	610	579	567	563	563	560	558	501	495	426	421	-31,0%	4,3%
Produtos petrolíferos	306	281	269	266	266	263	263	213	206	193	193	-37,0%	2,0%
Gas natural	210	204	204	203	203	203	200	194	194	139	134	-36,2%	1,4%
Energías residuales	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	0,0%	1,0%
Residuos no renovables	42	42	42	42	42	42	42	41	41	25	25	-40,3%	0,3%
Renovables	7.145	7.166	7.172	7.186	7.268	7.669	7.753	7.767	7.948	8.024	8.102	13,4%	82,7%
Grande hidráulica (**)	3.414	3.434	3.437	3.437	3.437	3.437	3.437	3.437	3.437	3.437	3.437	0,7%	35,1%
Minihidráulica	303	303	304	304	304	304	304	287	306	309	309	1,8%	3,2%
Eólica	3.334	3.334	3.334	3.343	3.412	3.804	3.827	3.827	3.878	3.886	3.932	17,9%	40,1%
Biomasa	38	38	38	38	38	38	88	88	88	87	87	128,5%	0,9%
Biogas	11	11	11	11	13	13	13	13	13	13	13	13,4%	0,1%
Residuos renovables	25	25	25	25	25	25	25	25	28	28	28	9,2%	0,3%
Solar fotovoltaica (***)	19	19	22	27	39	48	59	89	199	265	297	1467,1%	3,0%
TOTAL	11.004	10.994	10.988	10.997	11.080	11.478	11.560	10.959	11.134	11.126	9.795	-11,0%	
Potencia Hidráulica Galicia	3.717	3.738	3.741	3.741	3.741	3.741	3.741	3.724	3.743	3.746	3.746	13,2%	38,2%
% hidráulica en Galicia	33,8%	34,0%	34,0%	34,0%	33,8%	32,6%	32,4%	34,0%	33,6%	33,7%	38,2%		
Potencia Hidráulica España	16.992	17.042	17.049	17.054	17.064	17.098	17.098	17.094	17.094	17.097	17.097		
% hidráulica Galicia vs España	21,9%	21,9%	21,9%	21,9%	21,9%	21,9%	21,9%	21,8%	21,9%	21,9%	21,9%		

Fonte: Inega e Rexistro de Instalacións de Producción de Enerxía Eléctrica (sección primeira e sección segunda)

A partir do ano 2021, soamente se consideran as centrais operativas segundo os datos facilitados pola aplicación ESCILA do Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

(**) Das centrais grande hidráulica, 432 MW son de bombeo, facendo posible un almacenamiento diario de 10 GWh (acumula a electricidade xerada en momentos de pouca demanda)

No caso dos RSU, o 50% son biodegradables e o outro 50% non biodegradables

(***) A potencia fotovoltaica considerada no ano 2024 é provisional

2. MIX ENERXÉTICO GALEGO

2.2. Electricidade neta xerada nas centrais galegas (GWh)



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camións
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Electricidade neta xerada nas centrais galegas (GWh)

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Δ 2014-2024	% 2024
Térmoeléctricas	10.124	11.410	10.158	12.606	11.177	5.996	3.629	4.224	6.027	4.458	2.136	-78,9%	8,8%
Térmica de carbón	9.600	11.076	9.483	10.834	10.344	2.517	1.405	504	908	669	0	-100,0%	0,0%
Ciclo combinado	524	334	675	1.772	833	3.479	2.224	3.719	5.119	3.789	2.136	307,6%	8,8%
Coxeración	2.228	2.689	2.853	2.875	2.651	2.573	2.297	2.154	1.765	1.165	1.283	-42,4%	5,3%
Coxeración con produtos petrolíferos	945	1.341	1.371	1.353	1.378	1.313	1.107	913	887	318	456	-51,7%	1,9%
Coxeración con gas natural	1.210	1.298	1.432	1.475	1.234	1.248	1.171	1.238	846	847	827	-31,6%	3,4%
Coxeración con residuos e enerxías residuais	73	50	49	47	38	13	19	3	32	0	0	-99,9%	0,0%
Residuos non renovables	169	179	165	175	173	159	159	161	158	155	161	-4,9%	0,7%
Renovables	19.042	15.433	17.636	10.768	17.817	16.535	18.903	18.314	15.094	18.999	20.604	8,2%	85,2%
Grande hidráulica	9.208	5.809	8.981	2.967	7.935	6.397	7.307	7.194	3.767	7.964	9.584	4,1%	39,6%
Minihidráulica	1.031	695	948	410	946	866	846	752	643	916	1.056	2,4%	4,4%
Eólica (terrestre e mariña)	8.385	8.482	7.284	6.928	8.454	8.800	10.065	9.558	9.788	9.131	8.862	5,7%	36,6%
Biomasa	203	218	197	222	229	223	423	502	447	466	527	159,9%	2,2%
Biogas	22	25	31	30	32	31	29	31	32	29	28	28,3%	0,1%
Residuos renovables	171	180	167	177	175	160	161	166	166	159	171	0,3%	0,7%
Solar fotovoltaica	22,9	23,9	27,9	35,0	46,7	57,6	73,2	112,3	250,6	334,3	375,2	1535,4%	1,6%
TOTAL	31.563	29.710	30.812	26.425	31.818	25.262	24.988	24.853	23.044	24.777	24.184	-23,4%	
Xeración Hidráulica Galicia	10.239	6.503	9.929	3.377	8.881	7.264	8.153	7.945	4.410	8.879	10.640	3,9%	44,0%
% electricidade hidráulica en Galicia	32,4%	21,9%	32,2%	12,8%	27,9%	28,8%	32,6%	32,0%	19,1%	35,8%	44,0%		
Xeración Hidráulica España	42.598	31.278	39.249	20.700	36.111	26.365	33.383	32.275	21.687	30.969	40.370	-5,2%	
% hidráulica Galicia vs España	24,0%	20,8%	25,3%	16,3%	24,6%	27,6%	24,4%	24,6%	20,3%	28,7%	26,4%		

Fonte: Elaborado polo Inega a partir de distintas fontes

2. MIX ENERXÉTICO GALEGO

2.3. Estrutura da xeración eléctrica en Galicia

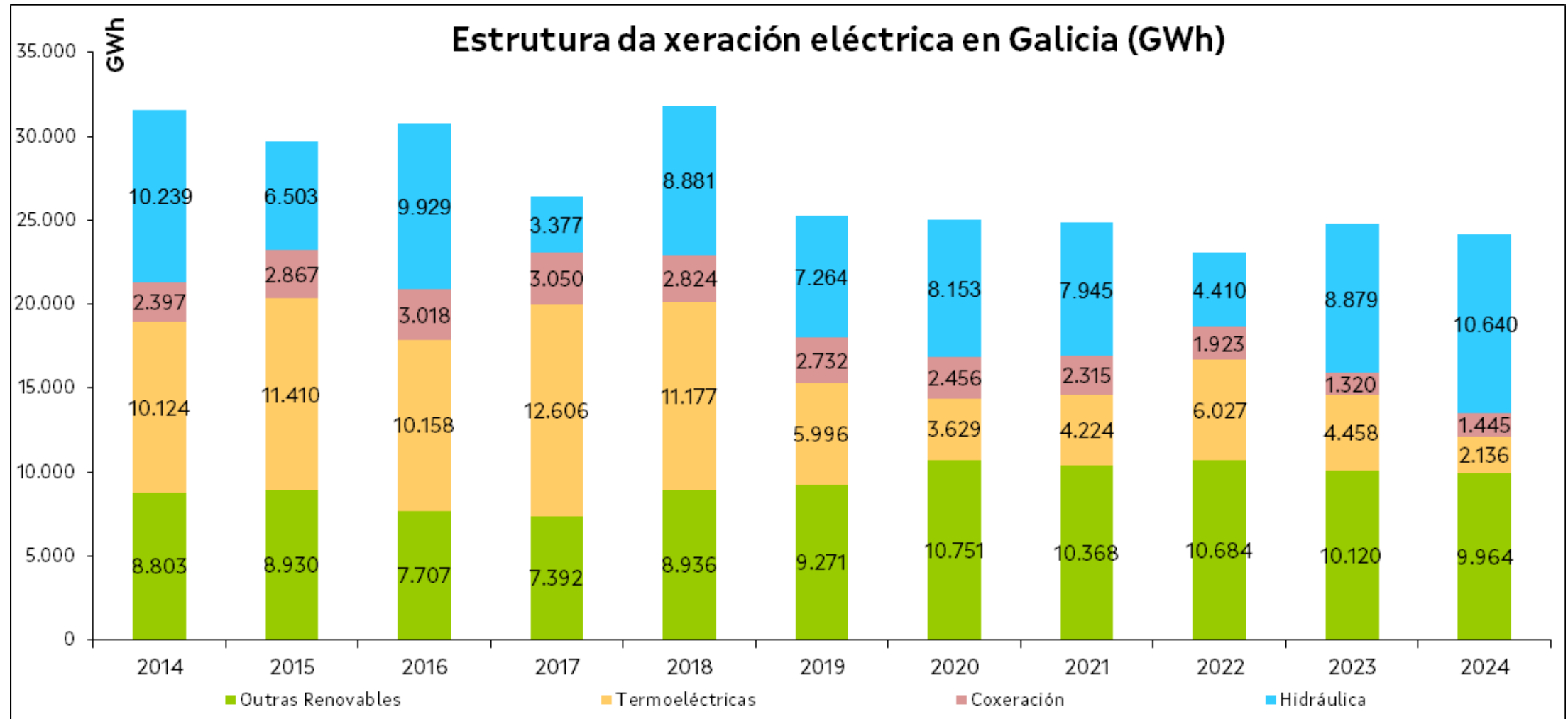


ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos



2. MIX ENERXÉTICO GALEGO

2.4. Xeración hidráulica por Comunidade Autónoma (GWh)



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camións
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Xeración hidráulica, sen ter en conta a turbinación bombeo, por Comunidade Autónoma (GWh)

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Andalucía	934	695	689	550	756	609	545	493	295	187	436
Aragón	4.071	3.180	3.112	2.497	3.881	2.547	3.467	2.649	2.199	2.311	3.807
Canarias	3	4	3	3	3	4	3	3	3	3	3
Cantabria	258	285	255	175	319	230	181	227	172	183	204
Castilla La Mancha	1006	701	732	410	768	622	693	791	556	619	819
Castilla y León	10.678	7.747	11.511	4.175	8.058	5.494	8.036	8.766	4.431	6.638	8.793
Cataluña	5.231	4.393	3.939	3.698	5.379	3.477	5.136	3.382	2.678	2.220	3.600
Comunidad de Madrid	202	132	154	139	123	97	125	163	85	92	126
Com. Foral de Navarra	656	520	487	378	661	510	540	467	361	393	543
Comunid. Valenciana	605	605	589	374	418	439	433	460	354	422	533
Extremadura	3.081	1.581	2.476	1.354	2.306	1.096	1.471	2.182	1.242	2.118	3.505
Galicia	9.854	6.249	9.568	3.264	8.526	7.055	7.918	7.692	4.134	8.433	10.131
Islas Baleares	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
La Rioja	168	145	154	86	168	153	140	141	104	83	67
País Vasco	425	422	381	294	442	388	351	392	291	252	362
Princip. De Asturias	1.877	1.639	1.985	991	2.237	1.925	1.510	1.758	962	1.781	1.912
Región de Murcia	131	112	104	75	78	82	93	86	81	82	93
Ceuta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Melilla	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ESPAÑA	39.182	31.278	39.249	20.700	36.111	26.365	33.383	32.275	21.687	30.969	40.370

Fonte: REE

Todos os anos, Galicia é a primeira ou segunda Comunidade Autónoma que máis electricidade hidráulica xera.

2. MIX ENERXÉTICO GALEGO

2.5. Horas equivalentes por Comunidade Autónoma



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Electricidade neta xerada nas centrais galegas (GWh)

	2020		2021		2022		2023		2024	
	España	Galicia	España	Galicia	España	Galicia	España	Galicia	España	Galicia
Potencia (MW)	17.098	3.741	17.094	3.724	17.094	3.743	17.097	3.746	17.097	3.746
Xeración electricidade (GWh)	33.383	8.153	32.275	7.945	21.687	4.410	30.969	8.879	40.370	10.640
heq	1.952	2.179	1.888	2.133	1.269	1.178	1.811	2.370	2.361	2.840

Fonte: Elaborado polo Inega a partir de distintas fontes

As centrais hidráulicas galegas traballan máis tempo ao ano que as de toda España, menos no caso da seca en Galicia no ano 2022

A maioría das centrais hidráulicas galegas son dos anos 60 e 70, aínda que algunhas levan traballando desde principios do século XX



3. OBXECTIVOS PNIEC E AXEGA 2030



3. OBXECTIVOS PNIEC E AXEGA 2030

3.1. Evolución da potencia instalada de enerxía eléctrica(MW)



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Parque de generación del Escenario Objetivo (MW)				
Año	2015	2020*	2025*	2030*
Eólica (terrestre y marítima)	22.925	28.033	40.633	50.333
Solar fotovoltaica	4.854	9.071	21.713	39.181
Solar termoeléctrica	2.300	2.303	4.803	7.303
Hidráulica	14.104	14.109	14.359	14.609
Bombeo Mixto	2.687	2.687	2.687	2.687
Bombeo Puro	3.337	3.337	4.212	6.837
Biogás	223	211	241	241
Otras renovables	0	0	40	80
Biomasa	677	613	815	1.408
Carbón	11.311	7.897	2.165	0
Ciclo combinado	26.612	26.612	26.612	26.612
Cogeneración	6.143	5.239	4.373	3.670
Fuel y Fuel/Gas (Territorios No Peninsulares)	3.708	3.708	2.781	1.854
Residuos y otros	893	610	470	341
Nuclear	7.399	7.399	7.399	3.181
Almacenamiento	0	0	500	2.500
Total	107.173	111.829	133.802	160.837

*Los datos de 2020, 2025 y 2030 son estimaciones del Escenario Objetivo del PNIEC.

Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2019

3. OBXECTIVOS PNIEC E AXEGA 2030

3.2. Obxectivos potencia eléctrica bruta (MW)



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camións
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

OBXECTIVOS POTENCIA ELÉCTRICA BRUTA PNIEC 2023-2030 (MW)

	20 19		20 20		20 25		20 30	
	España	Galicia	España	Galicia	PNIEC	AxEga30	PNIEC	AxEga30
Eólica	25.083	3.804	26.754	3.827	42.144	4.282	62.044	8.500
Solar fotovoltaica	8.306	48	11.004	59	56.737	305	76.387	353
Solar termoeléctrica	2.300	0	2.300	0	2.300	0	4.800	0
Hidráulica	14.006	3.360	14.011	3.360	14.261	3.320	14.511	3.336
Biogás	203	13	210	13	240	17	440	30
Outras renovables	0	25	0	25	25	28	80	54
Biomasa	413	38	609	88	1.009	84	1.409	84
Carbón	10.159	1.960	10.159	1.960	0	0	0	0
Ciclo combinado	26.612	1.247	26.612	1.247	26.612	1.247	26.612	1.247
Coxeración	5.446	560	5.276	558	4.068	376	3.784	256
Fuel e Fuel/Gas	3.660	0	3.660	0	2.847	0	1.830	0
Residuos e outros	600	42	609	42	470	25	342	25
Nuclear	7.399	0	7.399	0	7.399	0	3.181	0
Almacenamento	6.413	381	6.413	381	8.828	432	18.543	8.188
Total	111.101	11.478	115.016	11.560	166.940	10.117	213.963	22.074

3. OBXECTIVOS PNIEC E AXEGA 2030

3.3. Evolución da potencia bruta instalada de enerxía eléctrica (MW)



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camións
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Parque de generación del Escenario PNIEC 2023-2030. Potencia bruta (MW)				
Años	2019	2020	2025	2030
Eólica	25.583	26.754	36.149	62.054
Solar fotovoltaica	8.306	11.004	46.501	76.277
Solar termoeléctrica	2.300	2.300	2.304	4.804
Hidráulica	14.006	14.011	14.261	14.511
Biogás	203	210	240	440
Otras renovables	0	0	25	80
Biomasa	413	609	1009	1409
Carbón	10.159	10.159	0**	0
Ciclo combinado	26.612	26.612	26.612	26.612
Cogeneración	5.446	5.276	4.068	3.784
Fuel y Fuel/Gas (Territorios No Peninsulares)	3.660	3.660	2.847	1.830
Residuos y otros	600	609	470	342
Nuclear	7.399	7.399	7.399	3.181
Almacenamiento*	6.413	6.413	9.289	18.913
Total	111.100	115.015	151.173	214.236

*Incluyendo el almacenamiento de solar termoeléctrica llega a 22,5 GW.

** El cierre de la generación de carbón estará sujeto a la evaluación por parte del Operador del Sistema del cumplimiento de criterios de seguridad de suministro del sistema, tal y como se establece en el Art. 137 del RD 1955/2000.

Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2024



4. ENERXÍA HIDRÁULICA PARA A ESTABILIDADE DO SISTEMA



4. A ENERXÍA HIDRÁULICA PARA A ESTABILIDADE DO SISTEMA



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

- Entre as 12:30 e as 12:45 h do **28.04.2025** desacopláronse 8.780 MW fotovoltaicos (nótese o gran peso desta tecnoloxía neste momento), 2.588 MW nucleares, 2.660 MW hidráulicos, 1.192 MW de ciclos combinados, 868 MW de eólica e 176 MW de biomasa.
- O consumo no momento do fallo ascendía a uns 26.000 MW, e, como vimos, era atendido por un 53% de xeración fotovoltaica e un 10% de eólica, unha porcentaxe moi elevada para **tecnoloxías que non son de xeración síncrona** (como si son por exemplo a hidráulica, a nuclear ou os ciclos combinados), e polo tanto, non aportan estabilidade ao sistema.
- A situación empeorou 15 minutos máis tarde, desacoplándose totalmente os 796 MW nucleares que aínda permanecían conectados máis fotovoltaica, eólica, ciclos combinados de gas e hidroeléctrica, ata perder 20.108 MW.
- Fronte a unha predominancia da fotovoltaico no momento do apagón, para a reposición **priorizouse a xeración a través de centrais hidroeléctricas** ou os ciclos combinados. De feito, houbo unha importante participación das centrais hidroeléctricas galegas da conca Miño-Sil.

Energia e Água

Sinergias e Oportunidades

XI Encontros Engenharia Civil Norte Portugal Galiza

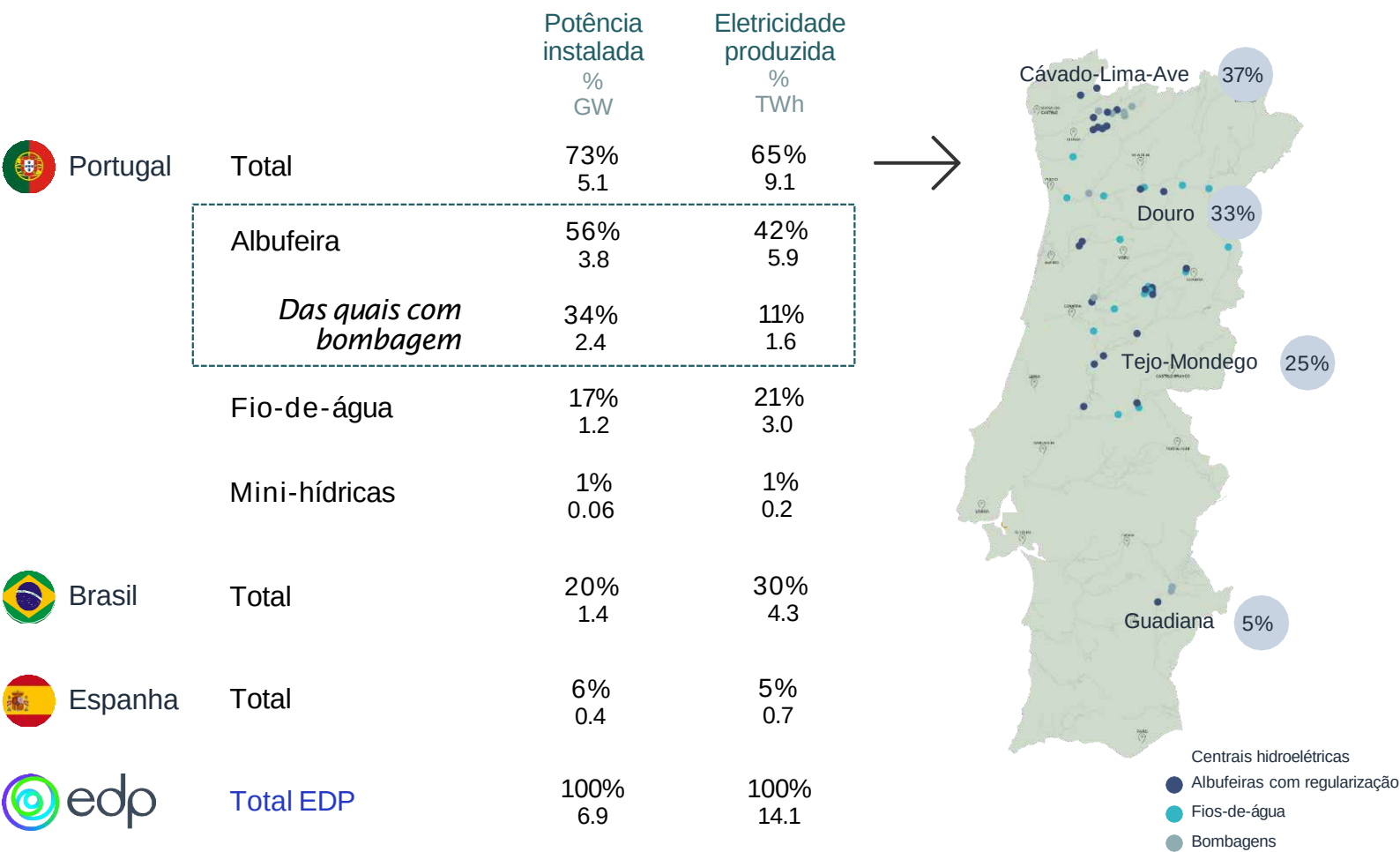
11 de Julho 2025 | Vila Real



A EDP possui um portefólio hidroelétrico com elevada capacidade de armazenamento, incluindo bombagem



Portfólio hídrico da EDP



- ✓ O portefólio da EDP tem mais AH com albufeira do que a fio de água - maior flexibilidade.
- ✓ 34% de potência com bombagem – menor dependência da hidrologia
- ✓ A EDP implementou tecnologias avançadas nas suas centrais de bombagem - Frades II tem a maior máquina de indução duplamente alimentada da Europa (uma entre 22 no mundo)

% Peso da bacia hidrográfica na produção de eletricidade.
Nota: Dados de 2023.

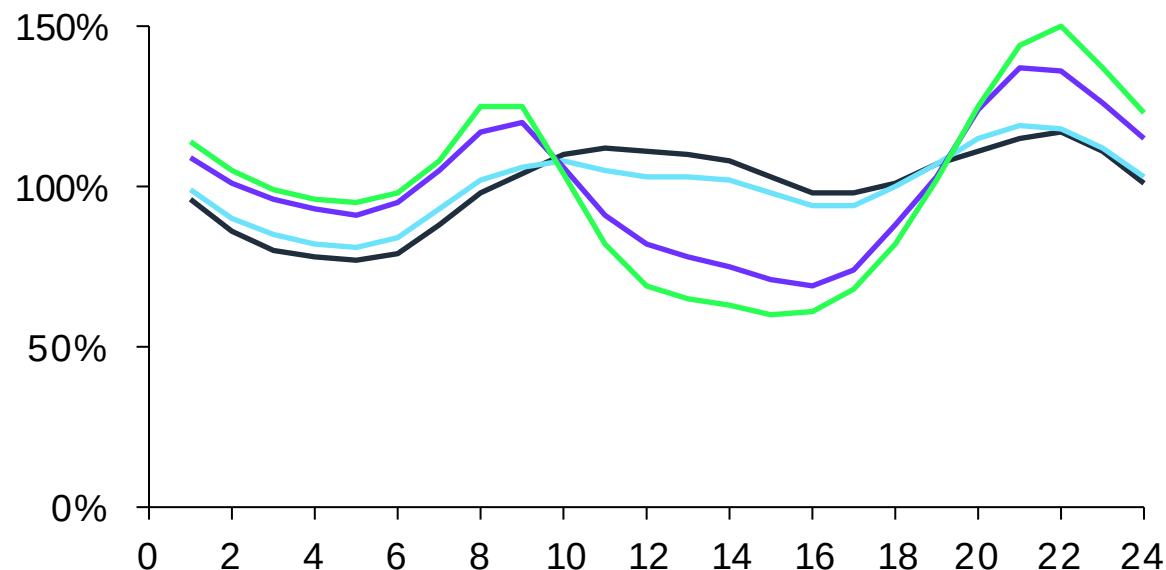
As condições de mercado evidenciam a necessidade de armazenamento por bombagem



Elevada volatilidade dos preços

Distribuição dos preços ao longo do dia

— 2015 — 2020 — 2023 — 2024



- A expansão das renováveis, especialmente da solar, tem levado a uma maior volatilidade dos preços ao longo do dia, acentuando a 'curva do pato'.
- Este aumento da diferença entre os preços da energia durante o dia e a noite evidencia necessidade de armazenamento por bombagem.

Aceleração da bombagem hídrica, com incentivos da EU e anúncio de novos projetos em Espanha.



A UE tem incentivado maior bombagem hídrica



Diversos projetos estão a ser anunciados



Green Deal e Fit for 55

Os investimentos em armazenamento por bombagem são essenciais para alcançar as metas de descarbonização definidas.



Electricity Market Design e Clean Industrial Act

As tecnologias de armazenamento permitem a integração de fontes de energia renovável, ao mesmo tempo que reforçam a estabilidade da rede e contribuem para um fornecimento de eletricidade acessível, atenuando a volatilidade dos preços.



Water Resilience Strategy

A gestão da água é uma prioridade da nova Comissão Europeia, que criou um cargo específico para esta área: Ambiente, Resiliência Hídrica e Economia Circular Competitiva, liderado por Jessika Roswall.



- Espanha tem aprovado ou em desenvolvimento mais de 3 GW de novos projetos de bombagem hídrica
- O governo espanhol e as autoridades locais têm apoiado estes projetos com fundos europeus.

Armazenamento de água em albufeiras potencia sinergias entre energia, ambiente e outros usos

Tipologia de Aproveitamentos Hidroelétricos (AH)

1

AH com reservatório (RSHP)

Com benefícios para o país:

- Fornecimento de energia renovável e endógena
- Suporte à segurança do abastecimento energético
- Mitigação dos efeitos de secas e cheias
- Abastecimento de água à população
- Apoio ao combate a incêndios
- Disponibilização para outros usos (caudal ecológico, agricultura, ...)

 **2,8 TWh / 3,8 GW**

Energia máxima armazenada nos reservatórios da EDP

2

AH com Bombagem (PSH)

Adicionalmente, a bombagem permite:

- Promover a penetração de energias renováveis (reduzindo o curtailment)
- Permitir armazenamento de longa duração
- Reforçar segurança do abastecimento com serviços da rede elétrica, (inércia, compensação síncrona, etc)
- Aumentar a resiliência face à volatilidade hidrológica
- Aumentar a eficiência do uso da água, de modo não consumptivo

 **1,6 TWh₃ / 2,4 GW**

Capacidade de bombagem hidroelétrica da EDP em Portugal

Layouts para novos PSH

1

Novo aproveitamento hidroelétrico

Construção de duas barragens, circuito hidráulico, central, equipamentos e ligação à rede elétrica.

2

Potenciar um reservatório existente

Construção de uma nova barragem, circuito hidráulico, central, equipamentos e ligação à rede elétrica.

3

Reforço de potência

Construção de um circuito hidráulico, central, equipamentos e ligação à rede elétrica.

Frades II com +780 MW
Salamonde II com +224 MW

4

Reconversão

Reconversão de turbina em turbina-bomba com novo equipamento e tomada de água em bomb.

Reconversão do Alto Lindoso com +300 MW
(em licenciamento)

Novo

- Utilização de infraestruturas existentes +

Projetos de otimização aproveitam a infraestrutura existente para maximizar a geração de energia renovável

Descrição da oportunidade

+117
GWh/ano



Otimização

Principais intervenções para otimizar a afluência e aumentar a eficiência global por meio de modernização tecnológica:

4 projetos em curso:

- Torrão, substituição de 2 turbinas-bomba (2025-26)
- Fratel, substituição de 3 turbinas, 1/ano (2025-27)
- Fratel, reperfilamento do canal e passagem para peixes (2025)
- Proaza, 2 grupos, 1.º concluído, 2.º em curso (2025)

Carrapatelo na fase de licenciamento: 1.º grupo aproveita a ligação existente; os restantes dependem da disponibilidade de ligação à rede (2027-31)



Caudais ecológicos

Turbinamento dos caudais obrigatoriamente devolvidos ao rio (caudal ecológico):

- Alto Lindoso em licenciamento (ligação à rede)
- Rioseco: em fase de contratação, construção a iniciar em breve



Dados chave

+38 GWh/ano
(projetos em curso)

+ Performance
- Fugas
- Manutenção

+46 MW
+ 55 GWh/ano
(para os 3 grupos de Carrapatelo)

+ 8 MW

+24 GWh/ano

Obra de Reperfilamento do canal de restituição e Construção de bacias para passagem para Peixes

Objetivos



Construção das bacias para
passagem de peixes
(possibilitar a passagem dos peixes no lábio da
restituição)



O reperfilamento do canal de
restituição (aumentar a eficiência)



Visão Global

Porquê?

Potenciar a passagem de peixes na zona da barragem, melhorando a conectividade fluvial;
Aumentar o desfogamento dos grupos otimizando o funcionamento do sistema

Como?

Construção da estrutura de passagem para peixes através de elementos em betão armado pré-fabricado
Escavação com recurso a explosivos no leito do rio

Com quem?

- ✓ Adjudicatário - Mota-Engil, S.A.
- ✓ Fiscalização - Afaplan
- ✓ Coordenação de Segurança em obra - Q - Safety
- ✓ Monitorização Fauna Piscícola - Universidade de Évora
- ✓ Arqueologia - Novarqueologia
- ✓ EDP - Equipas multidisciplinares

Quando?

Duração total: 6 meses (abril a outubro de 2025)

A.H. de Fratel

Otimização dos grupos geradores



Duplo objetivo: Otimização e reposição da condição



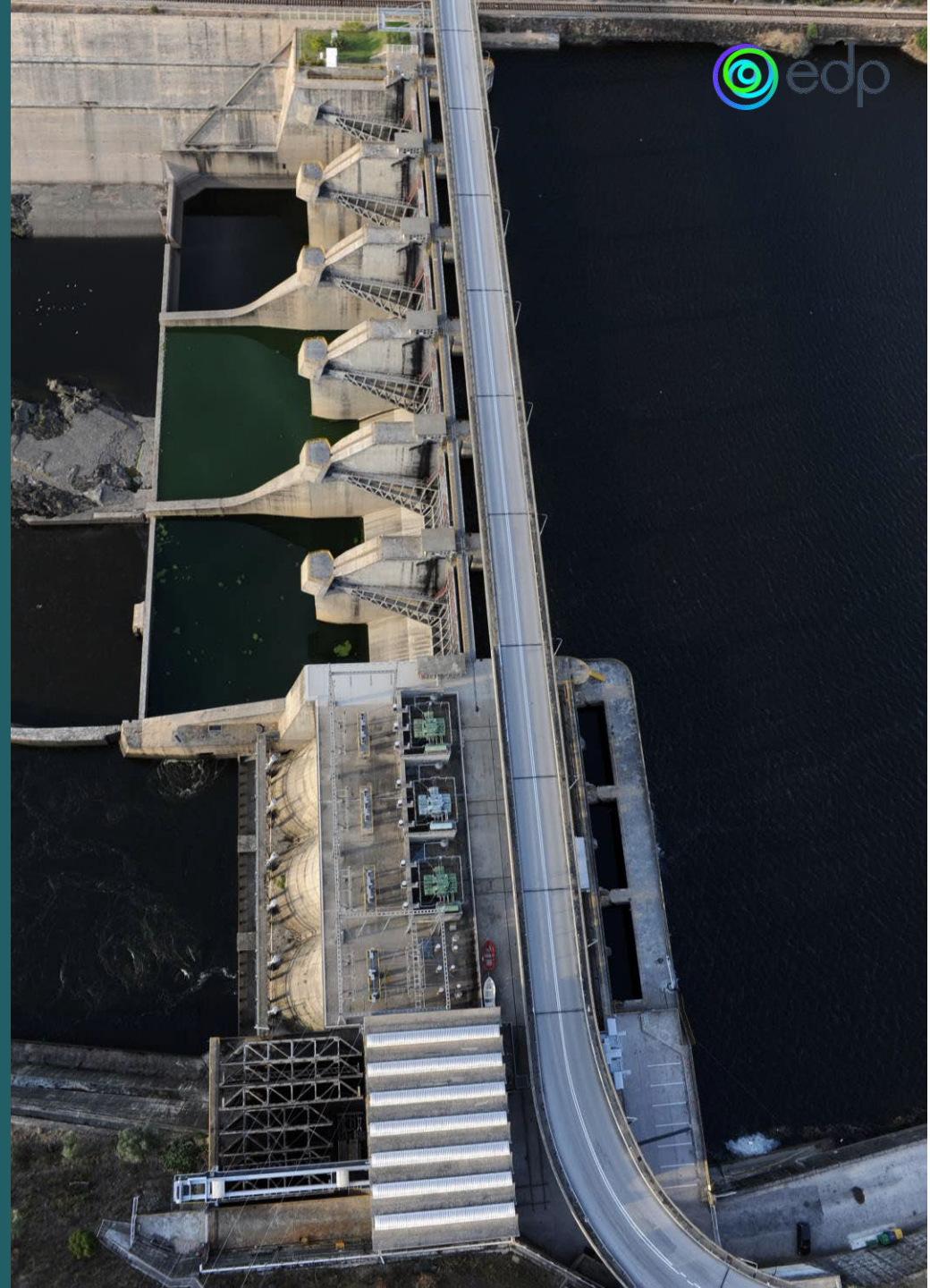
Duração: 3 anos (2025-2027), 1 grupo por ano



2025 para o Grupo #3, 40 semanas de trabalhos e 6 semanas para o comissionamento



Fornecedores – Andritz, Siemens Energy, MPR, SPECMAN, Tabique e Pengest





Reperfilamento do Canal



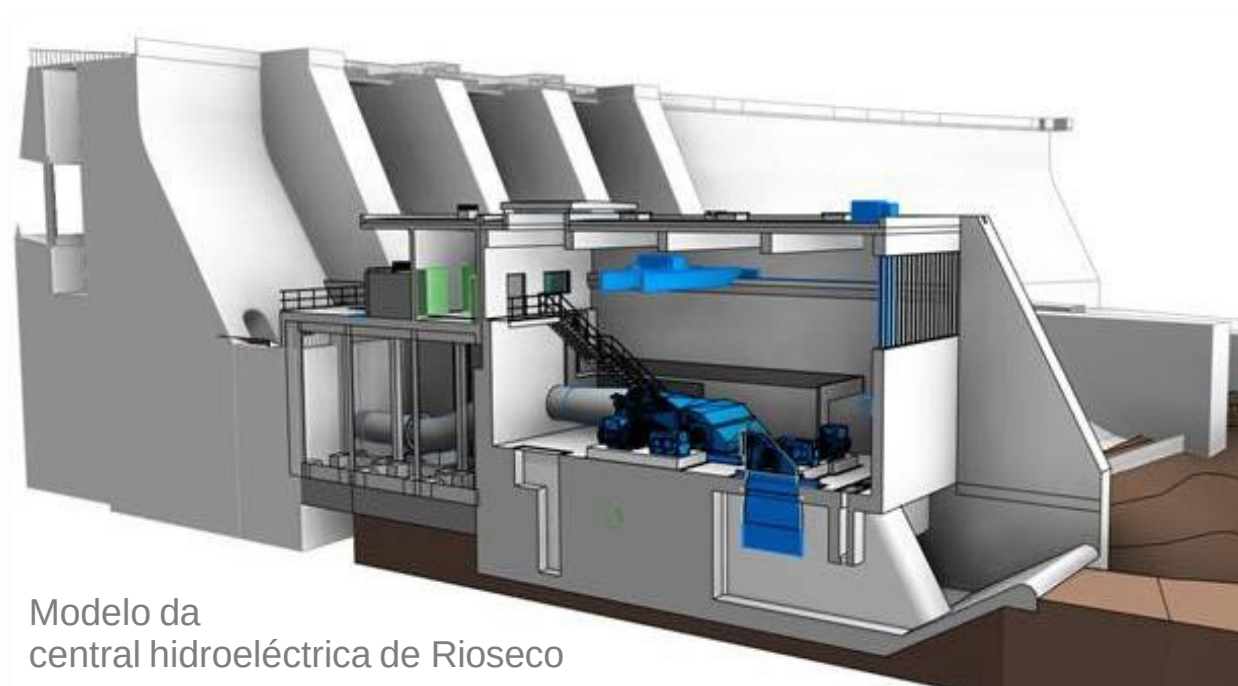
Bacias Sucessivas

Otimização do Grupo 3



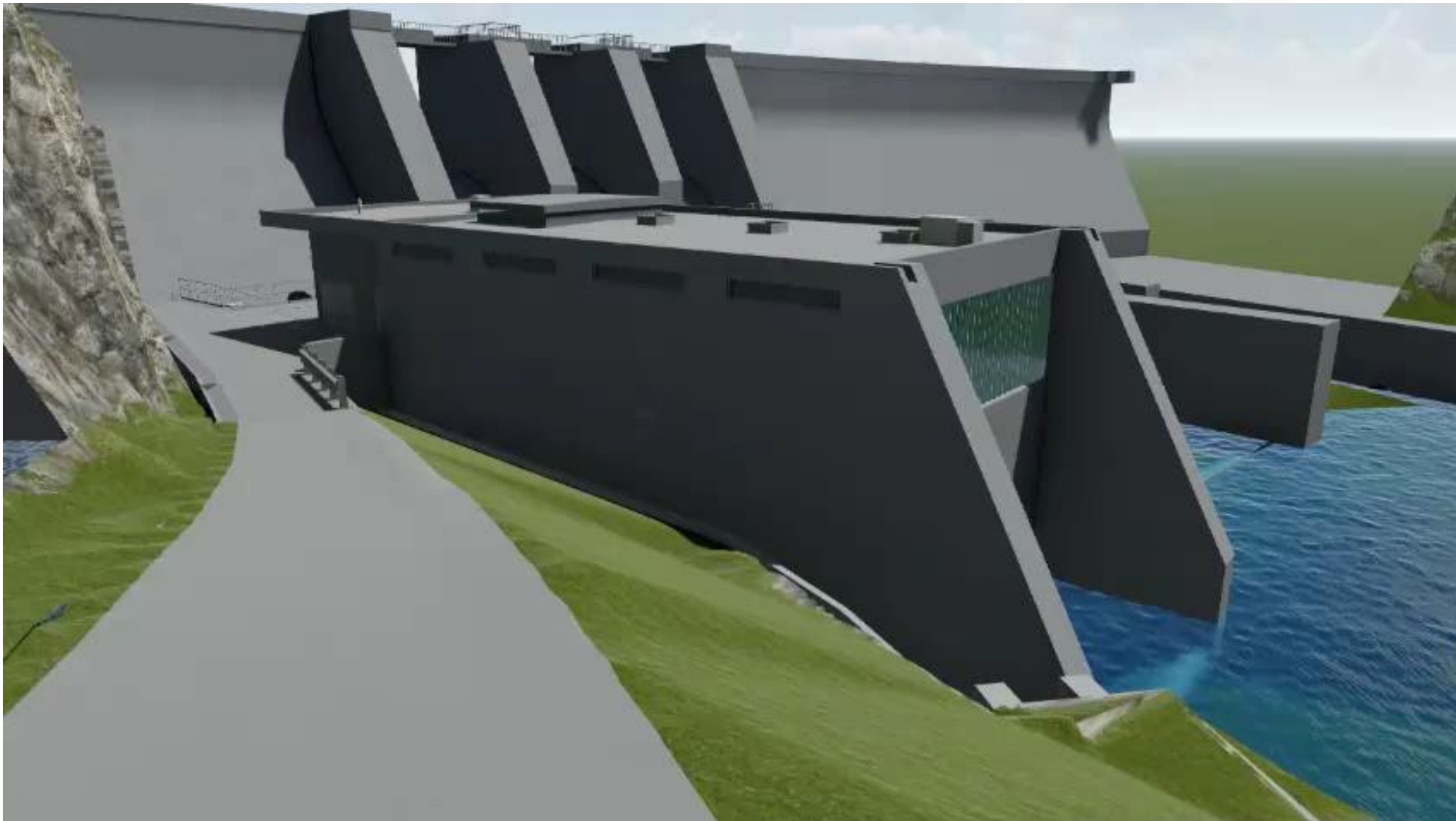
Características técnicas

- Recinto a jusante previsto no projeto e construção da barragem (1979)
- Caudal equipado com grupos crossflow 2 x 10,5 m³/s
- Potência nominal instalada 2 x 1,5 MW



Projeto de Aproveitamento dos caudais ecológicos de Rioseco

Modelo BIM



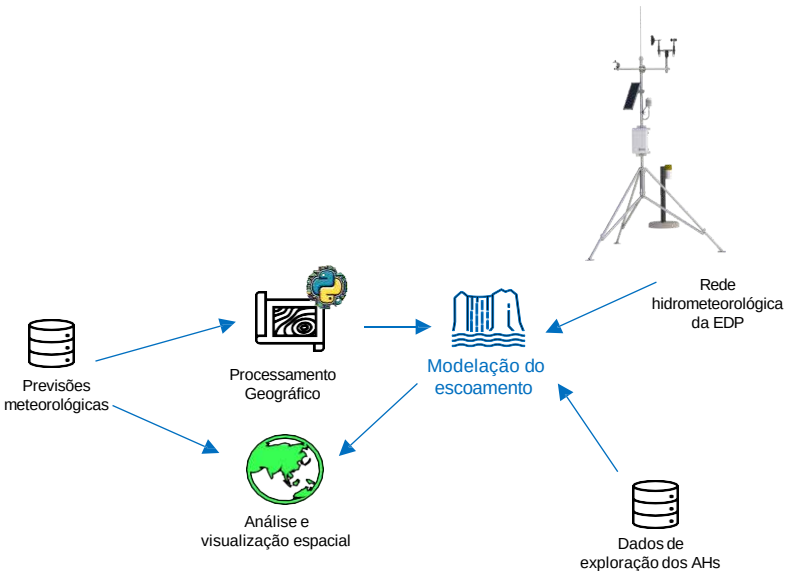
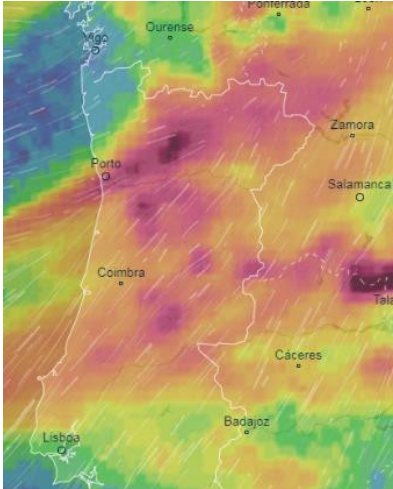
Gestão de Disponibilidades Hídricas e Impacto na Gestão de Risco

Previsão de Caudais e Projeções de Afluências - Water Board



Water Board

Metodologia de processos hidrológicos totalmente automatizados



Módulos	 WB ST3d	 WB ST10d	 WB MT / WB LT	 WB VLT Climate Change
Curto-prazo			Longo-prazo	
Horizonte / escala temporal	3 dias / horário	10 dias / diário	3 to 6 meses / mensal	Projeções climáticas para 2011-2040 e 2040-2070
Metodologia	Previsões Meteorológicas Tomorrow.io; IPMA/ECMWF Engenharia modelos hidrológicos +GIS, SW Digital infraestrutura IT Base de dados e automatismos			TBD Meteo + Hydro Models + Digital Statistical approach Machine Learning + AI Dados meteorológicos do CORDEX e simulações hidrológicas

Water Board - Impacto e Modelos Operacionais de Previsão



Produção de energia



Segurança
Eventos extremos



Social e ambiental



Armazenamento

WATER BOARD ENGINEERING REPORT

3-day inflow forecasting models

RGA
Engin.
GCoEH&T

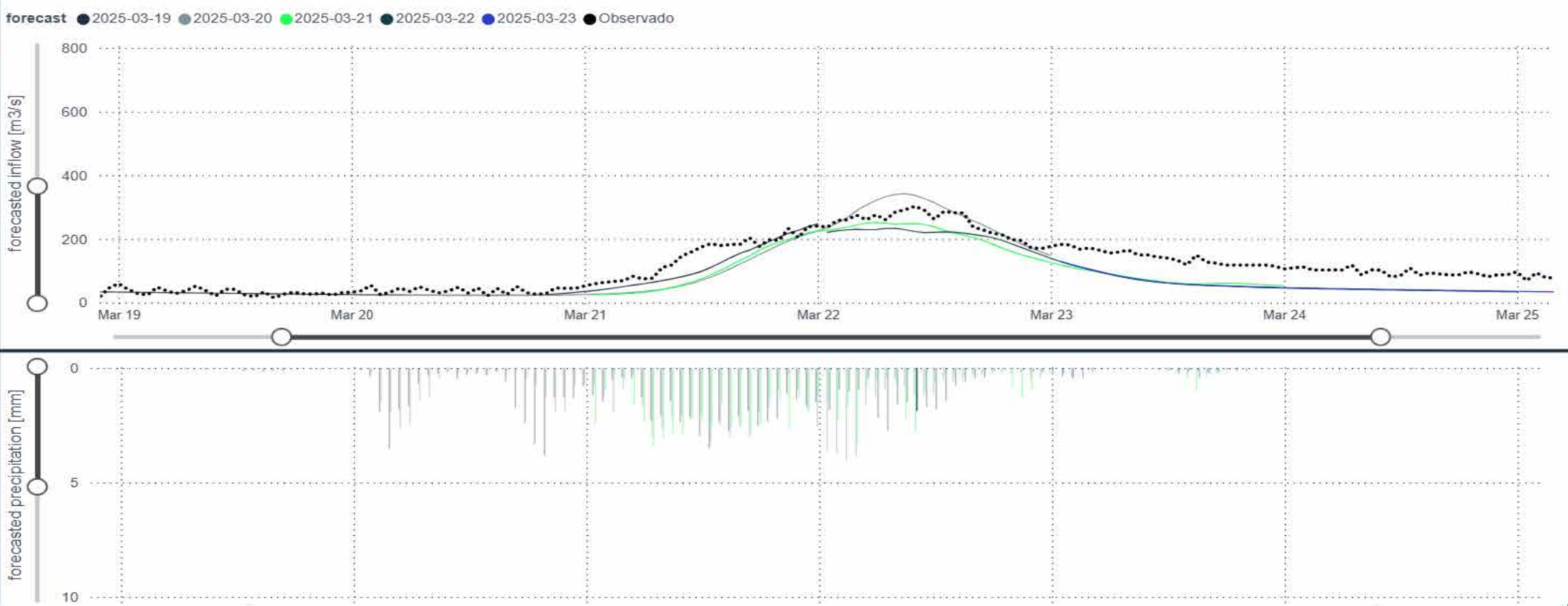
hydro output location

Ribeiradio

Forecast supplier

ipma

tomorrow



Flood Events

Lima

Cávado

Douro

Vouga

Mondego

XI ENCONTRO ENG. CIVIL

NORTE PORTUGAL — GALIZA



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS. GALICIA

The Strategic Value of Hydraulic Infrastructures in the Energy Sector

An investor's perspective to navigate the water-energy nexus and capitalize on hydraulic infrastructure opportunities in a transforming global energy landscape

Manuel Costeira da Rocha

COM O APOIO



CCDR
NORTE

Agenda



The Water-Energy Nexus

Understanding the interdependent relationship between water and energy resources



Hydraulic Infrastructures

Deep dive into pumped storage hydropower and conventional hydropower systems



Water Management

Critical investment considerations for energy production



Financial Considerations

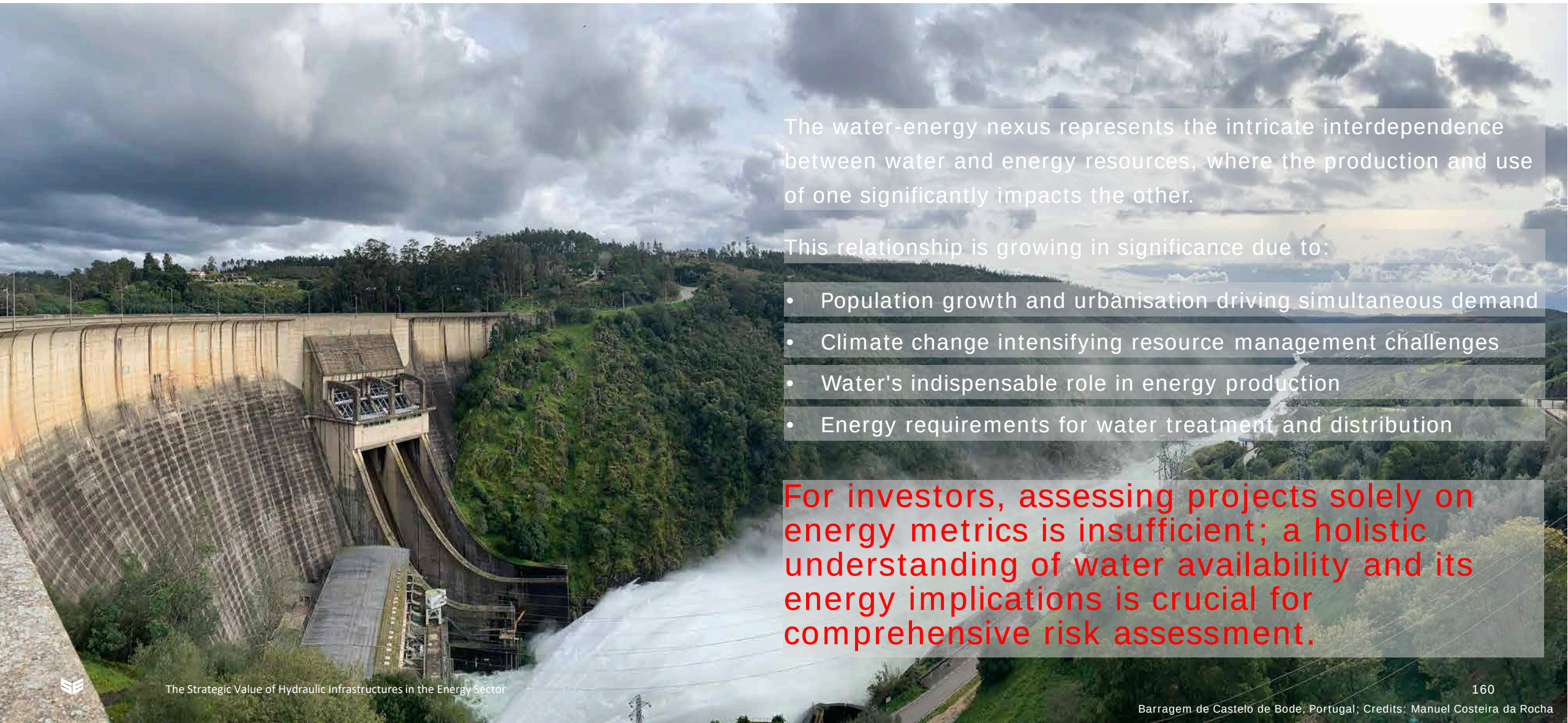
Capital requirements, financing mechanisms, revenue streams, and risk mitigation



ESG & Regulatory Landscape

Environmental impacts, social considerations, and regulatory frameworks

The Water-Energy Nexus: An Intertwined Future



The water-energy nexus represents the intricate interdependence between water and energy resources, where the production and use of one significantly impacts the other.

This relationship is growing in significance due to:

- Population growth and urbanisation driving simultaneous demand
- Climate change intensifying resource management challenges
- Water's indispensable role in energy production
- Energy requirements for water treatment and distribution

For investors, assessing projects solely on energy metrics is insufficient; a holistic understanding of water availability and its energy implications is crucial for comprehensive risk assessment.

Hydraulic Infrastructure's Role in Energy Transition

Clean Energy Generation

Hydropower serves as a cornerstone in the water-energy nexus, providing renewable energy with minimal emissions during operation.

Transition Enabler

As the world moves toward a low-carbon future, the importance of hydraulic infrastructure is projected to grow significantly.



Energy Storage

Pumped storage acts as a "giant battery," storing excess energy during low demand and releasing it during peak periods.

Grid Stability

Provides essential services for maintaining grid reliability and facilitating integration of intermittent renewables.

Pumped Storage Hydropower: The Cornerstone of Grid Stability and Storage

Technology & Operation

Pumped Storage Hydropower functions like a "giant battery," pumping water from a lower reservoir to an upper reservoir during off-peak hours, then releasing it to generate electricity during high demand.

Key components include:

- Upper and lower reservoirs
- Pumping and generating units
- Penstocks and tunnels
- Sophisticated control systems



Barragem do Alqueva, Portugal; Credits: EXpresso

Hydropower development in 2024 continued an upward trajectory, with positive signals emerging, particularly for pumped storage.

Electricity generated from
hydropower in 2024

4,578 TWh

~10%
increase from 2023

Hydropower installed
capacity reached in 2024

1,443 GW

+1.7%
on 2023

Capacity added in 2024,
including pumped storage

24.6 GW

up on
22 GW
added in 2023

Pumped storage installed
capacity reached in 2024

189 GW

+5%
on 2023

Pumped storage capacity
added in 2024

8.4 GW

up on
6.5 GW
added in 2023

Source: International Hydropower Association; 2025 World Hydropower Outlook

Where was capacity added in 2024?

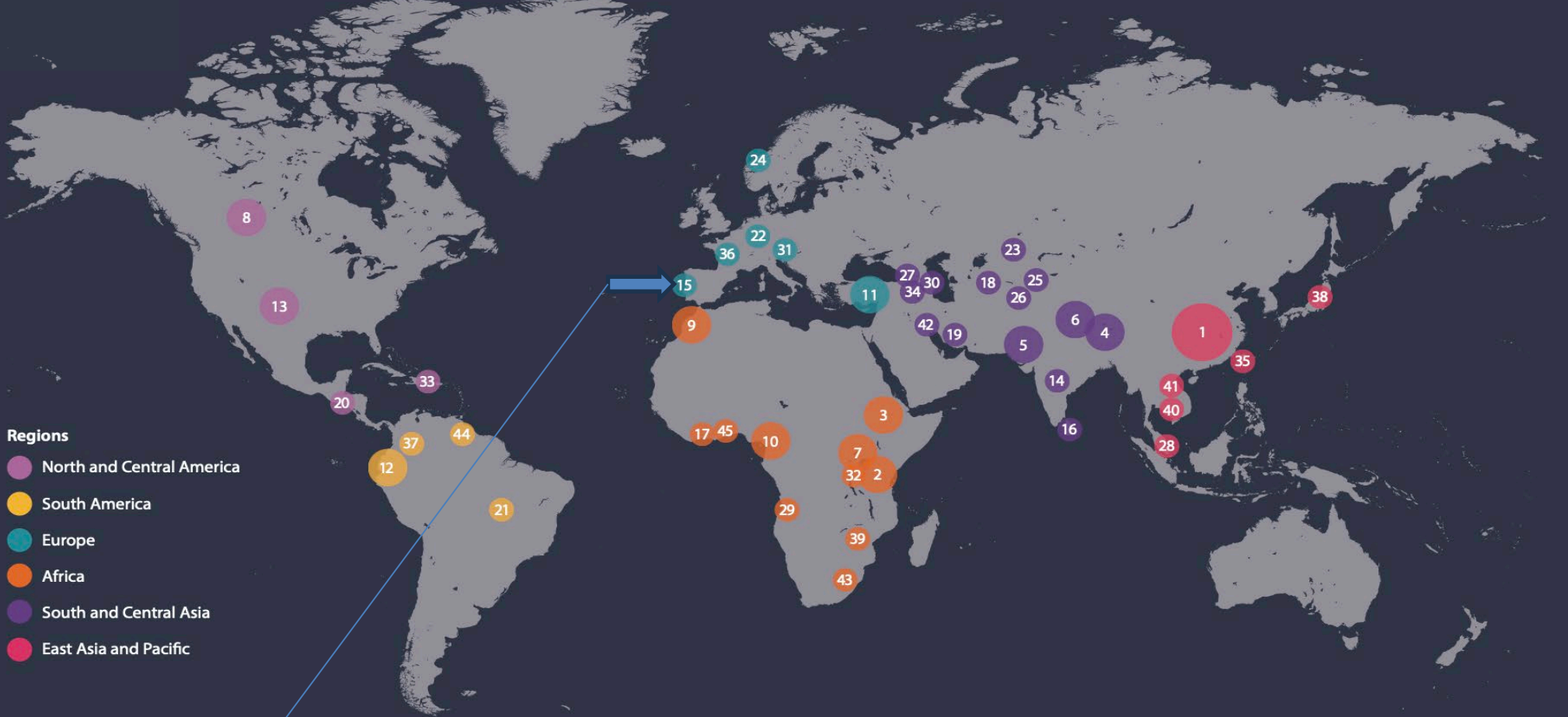
Key

Capacity

- 199MW and below
- 200MW to 1,999MW
- 2,000MW to 15,000MW

Regions

- North and Central America
- South America
- Europe
- Africa
- South and Central Asia
- East Asia and Pacific



	Country/region	Conventional (MW)	Pumped storage (MW)	Combined (MW)
1	China	6,660	7,750	14,410
2	Tanzania	1,880		1,880
3	Ethiopia	1,200		1,200
4	Bhutan	1,138		1,138
5	Pakistan	884		884
6	Nepal	700		700
7	Uganda	605		605
8	Canada	360		360
9	Morocco		349	349
10	Cameroon	300		300
11	Türkiye	241		241
12	Ecuador	226		226

	Country/region	Conventional (MW)	Pumped storage (MW)	Combined (MW)
13	United States	120	96	216
14	India	172		172
15	Portugal	160		160
16	Sri Lanka	127		127
17	Côte d'Ivoire	113		113
18	Uzbekistan	111		111
19	Iran	102		102
20	El Salvador	67		67
21	Brazil	66		66
22	Germany	63		63
23	Kazakhstan	59		59
24	Norway	53		53

	Country/region	Conventional (MW)	Pumped storage (MW)	Combined (MW)
25	Kyrgyzstan	49		49
26	Tajikistan	104		104
27	Georgia	47		47
28	Malaysia	40		40
29	Angola	34		34
30	Azerbaijan	28		28
31	Austria		27	27
32	Burundi	20		20
33	Dominican Republic	18		18
34	Armenia	17		17
35	Taiwan, China	16		16
36	France		14	14

	Country/region	Conventional (MW)	Pumped storage (MW)	Combined (MW)
37	Colombia	12		12
38	Japan	6		6
39	Zimbabwe	5		5
40	Cambodia	5		5
41	Laos	4		4
42	Iraq	2		2
43	Lesotho	1		1
44	Guyana	1		1
45	Ghana	1		1

Hydropower Investment Profile

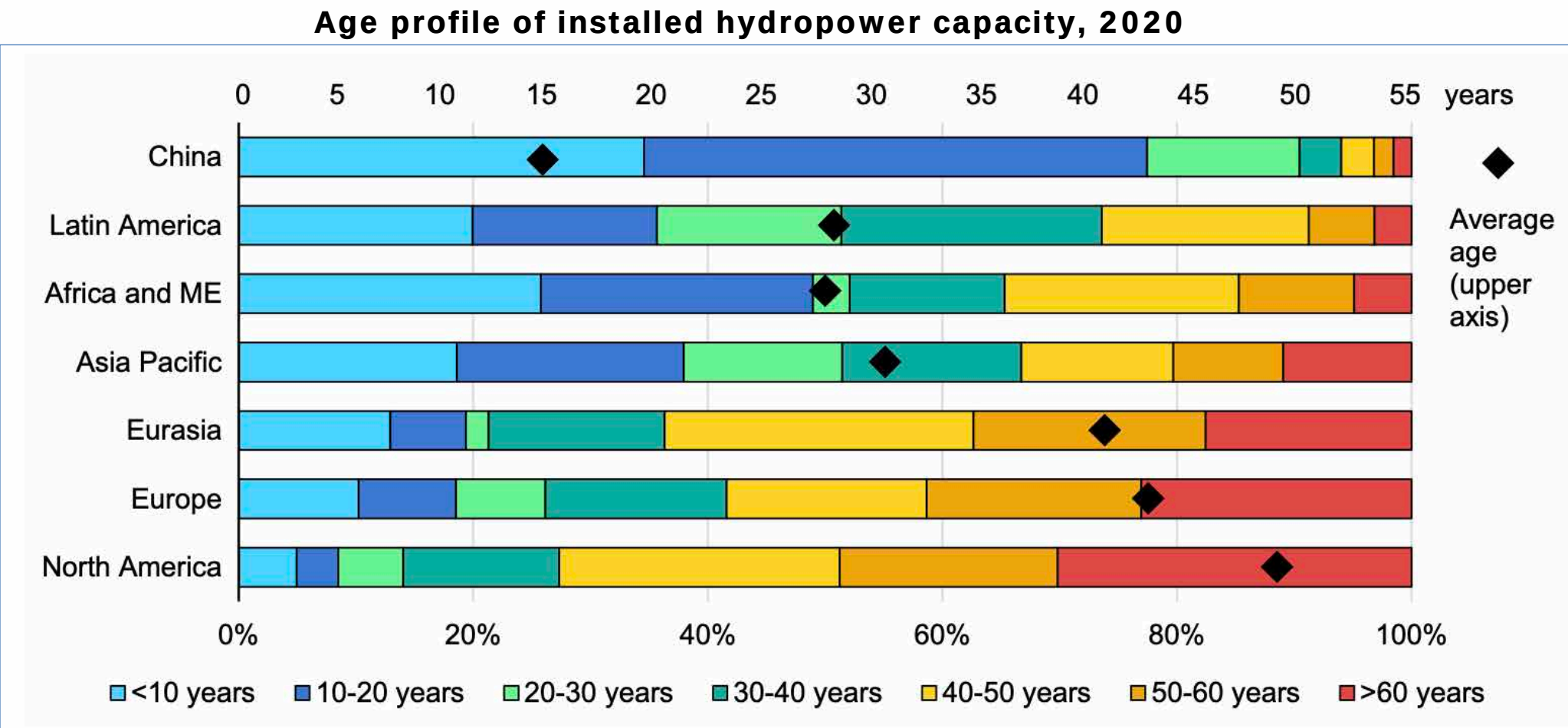
Advantages

- Established, renewable energy source
- Minimal GHG emissions during operation
- High operational efficiency
- Reliable and flexible domestic energy
- Long operational lifespan (50+ years)

Challenges

- High initial capital costs
- Environmental and social impacts
- Hydrological variability (drought vulnerability)
- Aging infrastructure requiring modernisation
- Market and policy uncertainty
- Geopolitical strains affecting costs

Almost 40% (476 GW) of the global hydropower fleet is at least 40 years old



Source: IEA, Hydropower Special Market Report, Market analysis and forecasts to 2030, 2021

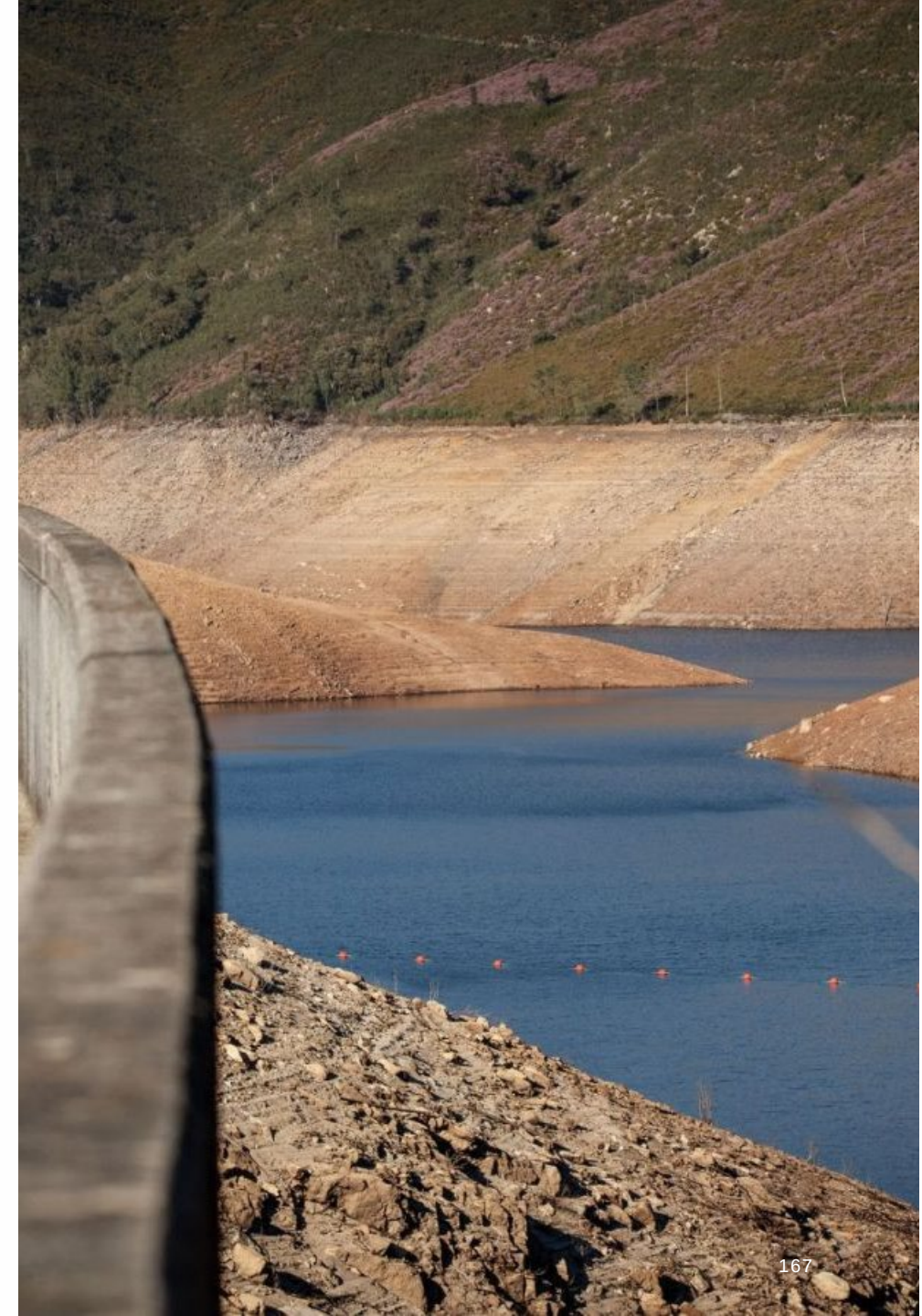


Water Stress: A Growing Challenge

The Global Water Crisis

Water stress—defined as the imbalance between water demand and available supply—is intensifying globally due to climate change, population growth, and increasing consumption patterns.

By 2025, two-thirds of the world's population may face water-stressed conditions, with profound implications for energy systems that rely heavily on water resources.



Competition for Limited Water Resources



Agriculture

Agriculture accounts for approximately 70% of global freshwater withdrawals. As food demand increases with population growth, competition with energy sector water needs will intensify.



Municipal Use

Urban populations require reliable drinking water and sanitation services. During drought conditions, human consumption necessarily takes priority over energy generation.



Industry

Manufacturing and industrial processes require significant water inputs. Economic development in water-stressed regions creates additional competition for limited resources.



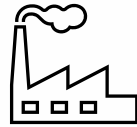
Ecosystem Services

Environmental flow requirements to maintain aquatic ecosystems are increasingly recognised in water allocation decisions, adding another stakeholder to water governance.

Beyond Electricity Generation: Water's Other Energy Roles

Thermal Plant Cooling

Water is essential for cooling thermal power plants (coal, gas, nuclear). These facilities withdraw vast quantities of water from rivers or oceans to absorb heat generated during electricity production, making them vulnerable to drought conditions.



Hydrogen Production

Water electrolysis represents the most promising method for producing green hydrogen. This process requires both clean water and renewable electricity, positioning water as a key input for this emerging energy vector.

Grid Stabilisation

Hydroelectric infrastructure provides crucial ancillary services for electric grid stability, including frequency regulation, voltage support, and black start capability during outages.



Energy Storage

Beyond pumped hydro, water serves as an exceptional medium for storing large quantities of energy. This capability becomes increasingly vital as intermittent renewables like solar and wind expand their grid presence.

Water for Thermal Power Generation: Managing Scarcity and Risk

Thermal power plants (fossil fuel, nuclear) require vast quantities of water for cooling systems, with once-through cooling being particularly water-intensive.

Hydraulic fracturing (fracking) for oil and gas extraction also demands large volumes of water, straining local resources in water-scarce regions.

Water shortages / constraints pose direct financial risks to thermal power companies.



SWI swissinfo.ch

The Swiss voice in the world since 1935

GEOPOLITICSDEMOCRACYSCIENCE

SWISS IDENTITYECONOMYSWISS ABROAD

News >Climate adaptation >

Swiss nuclear power plant shuts down reactor due to the heat

▲ Beznau nuclear power plant shuts down one of its reactors due to the heat Keystone-SDA

Listen to the article

Share

The Beznau nuclear power plant in the canton of Aargau has been partially disconnected from the grid due to the heat. One of the two reactors has been shut down, and the second unit is still running at an output of 50%.

July 2, 2025 - 10:582 minutes

Keystone-SDA

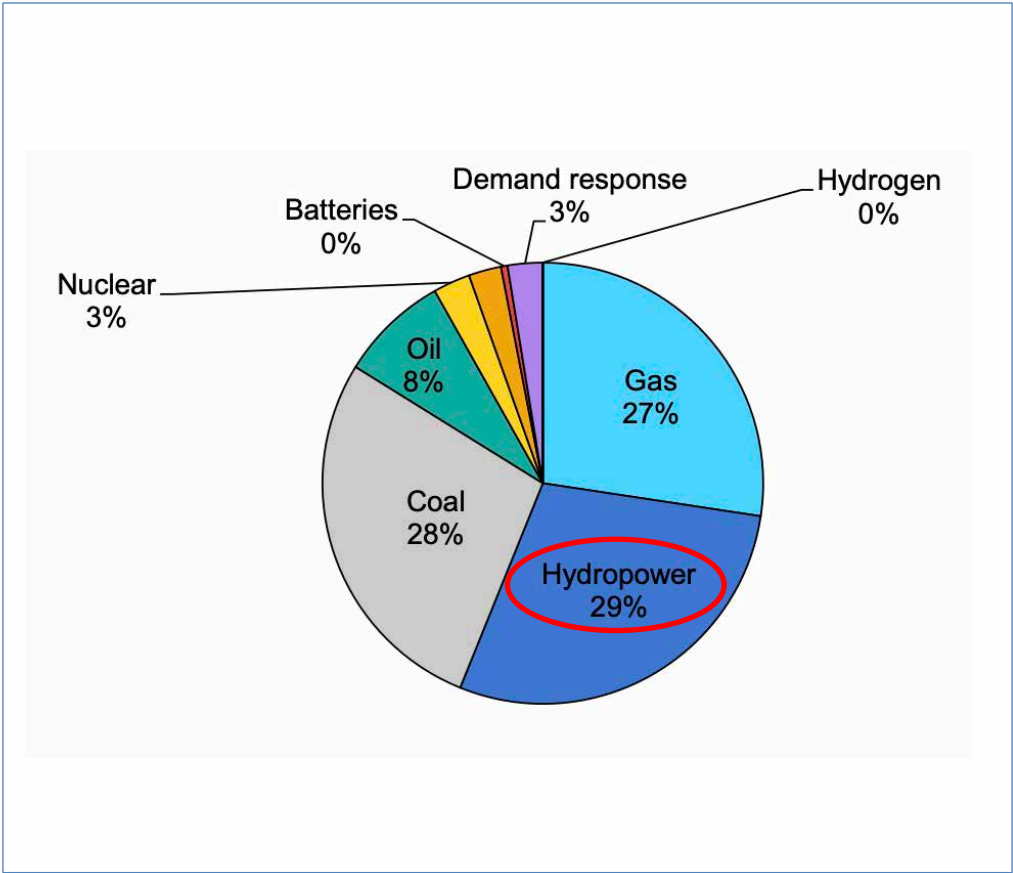
Other language: 1

+Get the most important news from Switzerland in your inbox

The reason for the shutdown of one reactor unit on Tuesday is the high water temperature of the River Aare, as announced by the operator Axpo on Wednesday. The output of the two water-cooled reactors was already reduced by half last Sunday.

Hydropower plants may contribute to almost all grid services

Global electricity system flexibility by source, 2020



Source: IEA, Hydropower Special Market Report, Market analysis and forecasts to 2030, 2021

Energy capabilities and system support provided by different hydropower technologies and applications

Energy capabilities	Reservoir	Pumped storage	Run-of-river
Inertial response	●	●	●
Voltage support	●	●	●
System strength	●	●	●
Black-start capabilities*	●	●	●
Fast start	●	●	●
Ramping capability	●	●	●
Scheduling adequacy	●	●	●
Intraday flexibility	●	●	●
Inter-day flexibility	●	●	●
Demand-side response	●	●	●
Baseload power generation	●	●	●
Daily storage of water	●	●	●
Seasonal storage of water	●	●	●

● low or no capability

● moderate capability

● high capability

*Black-start capabilities depend on special plant features.

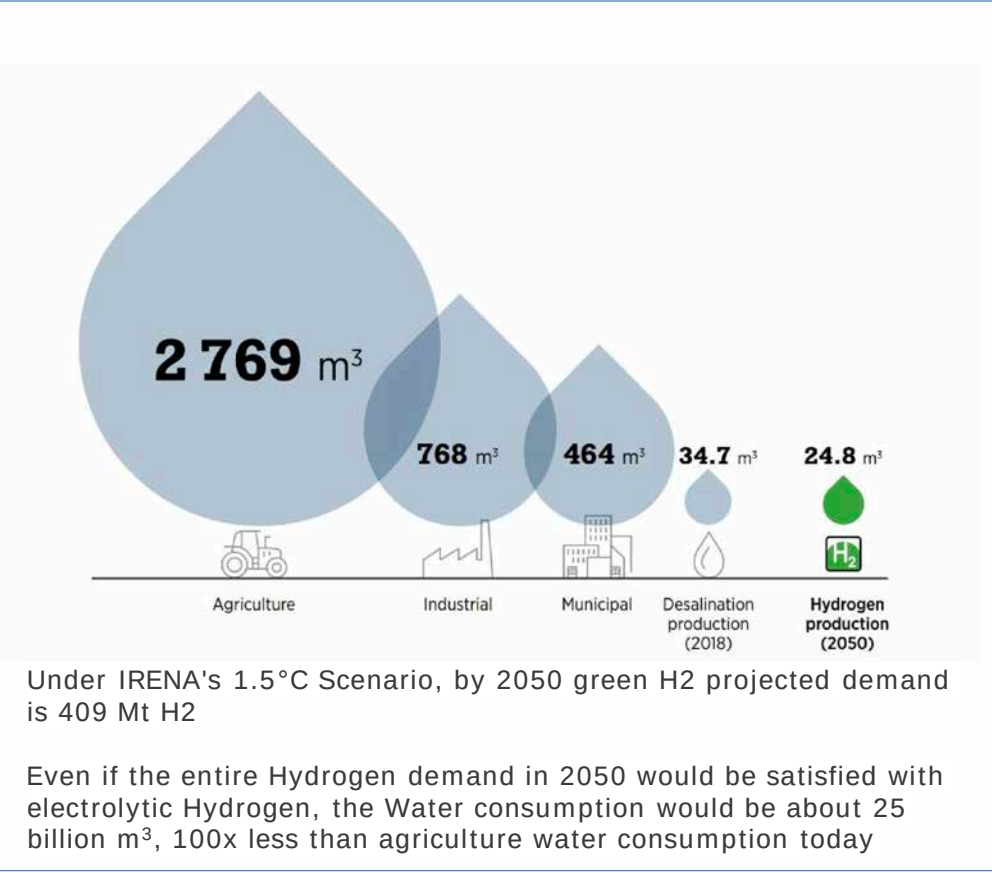
Notes: This indicative assessment includes hydropower energy and system support capabilities. Values may differ from plant to plant.

Source: Based on IEA Hydro TCP (2021e), Valuing Flexibility in Evolving Electricity Markets: Current Status and Future Outlook for Hydropower.



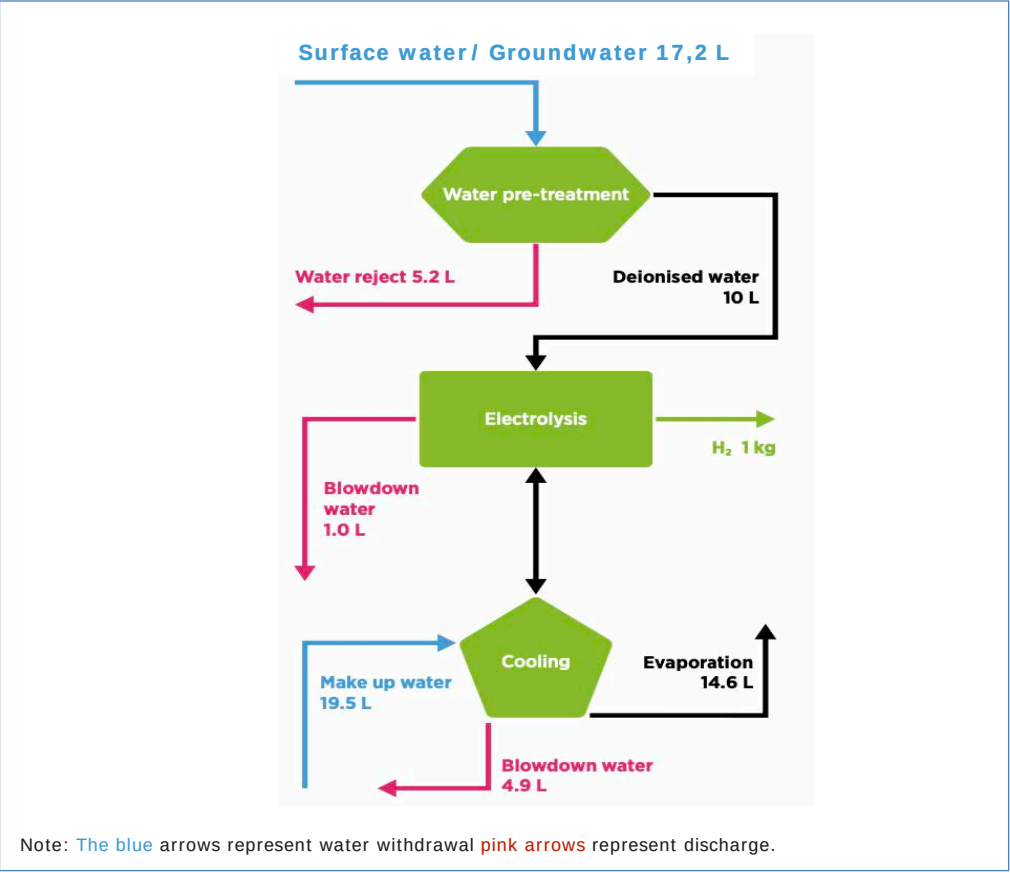
Water Dependencies in Green Hydrogen Production

Water consumption of hydrogen in 2050 compared with selected sectors today (billion cubic metres)



Source: Geopolitics of the Energy Transformation. IRENA (2022)

Schematic of process-specific water withdrawal and consumption (Water estimated volumes in L to generate 1 Kg of hydrogen)

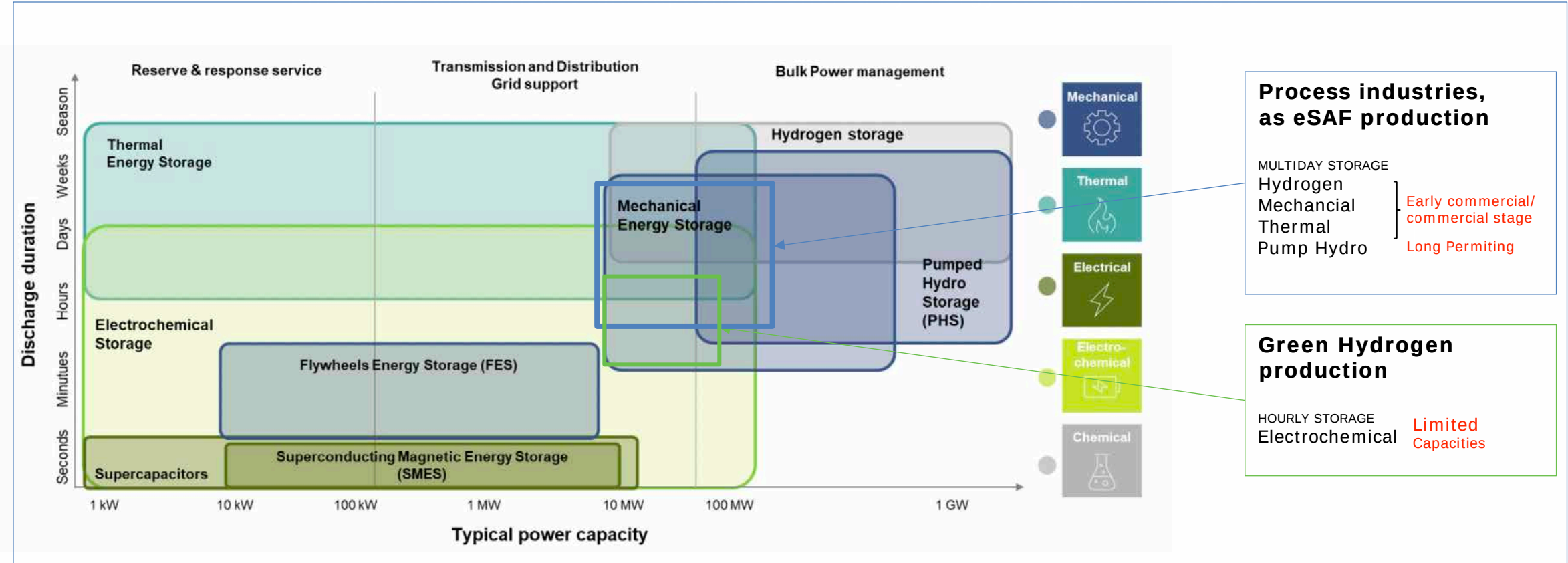


Source: Silhorko-Eurowater – A Grundfos Company; Water for Hydrogen Production, IRENA;

The energy storage requires different technologies.

Challenges are low TRLs, long permitting processes and limited capacities.

Different characteristics and capabilities offered by energy-storage technologies



Source: EASE, Energy Storage Targets 2030 and 2050: Ensuring Europe's Energy Security in a Renewable Energy System, 2022; Smartenergy

Revenue Streams and Value Enhancement Strategies

The true profitability of hydraulic infrastructure increasingly lies in its systemic value to the grid rather than in traditional electricity sales alone.

Electricity Sales

Primary revenue from selling generated electricity

Ancillary Services

Black start, quick ramp-up, spinning reserves, voltage regulation

Capacity Payments

Compensation for being available to produce power when needed

Arbitrage

Profiting from energy price differentials between peak and off-peak periods

Asset Sale

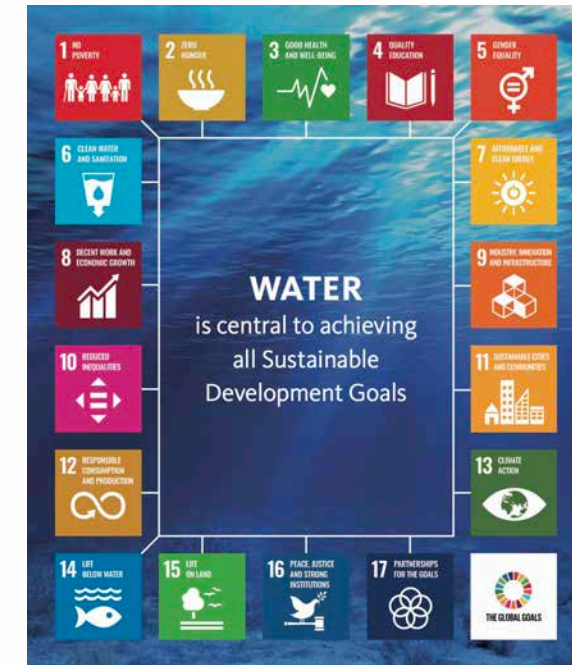
Eventual sale to larger developers or interested parties seeking portfolio expansion

Frades 2 Power Plant; Credits: EDP, Hyflexhydro

At EU level water is considered a top priority for the coming years.

Concrete actions are announced to boost water security and resilience – Increased investments in infrastructures, funded innovation activities and legislative coherence in the water sector

- On the 17th of July 2024, 21 European ministers wrote to the European Commission to boost water security and resilience through a comprehensive approach.
- Ursula von der Leyen declared the need for a **European Water Resilience Strategy** in her political guideline for 2024 – 2029, also calling for a proper management of water sources and addressing water scarcity while enhancing “the competitive innovative edge of the water industry”
(18 July 2024)



Source: POLITICAL GUIDELINES FOR THE NEXT EUROPEAN COMMISSION 2024–2029; Ursula Von der Leyen; 18 July 2024 ; SIWI - The Stockholm International Water Institute; European Environmental Agency

Key Takeaways: The Strategic Value of Hydraulic Infrastructure

Current Value

- Hydroelectric infrastructure provides clean, renewable electricity
- Pumped storage offers unparalleled grid-scale energy storage capacity
- Multi-purpose reservoirs deliver additional services beyond energy
- Water systems enable crucial grid stabilisation services

Future Challenges

- Climate change threatens water availability and reliability
- Increasing competition between water users creates tension
- Water dependencies may constrain certain clean energy transitions
- Integrated planning becomes essential for sustainability

Hydraulic infrastructure represents more than water transport or storage systems—they are strategic assets in the global energy puzzle. Their capability to generate electricity, store energy, and stabilise electric grids gives them inestimable value in the path toward decarbonisation and energy security.



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS. GALICIA

Manuel Costeira da Rocha

Director Technology Strategy
m.rocha@smartenergy.net

SMARTENERGY Group AG
Sihleggstrasse 17
CH-8832 Wollerau
Switzerland

info@smartenergy.net

XI ENCONTRO ENG. CIVIL

**NORTE
PORTUGAL
— GALIZA**

XI ENCONTRO ENG. CIVIL

NORTE PORTUGAL — GALIZA



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS .GALICIA

APROVECHAMIENTOS HIDROÉLECTRICOS

GALICIA-COSTA

COM O APOIO

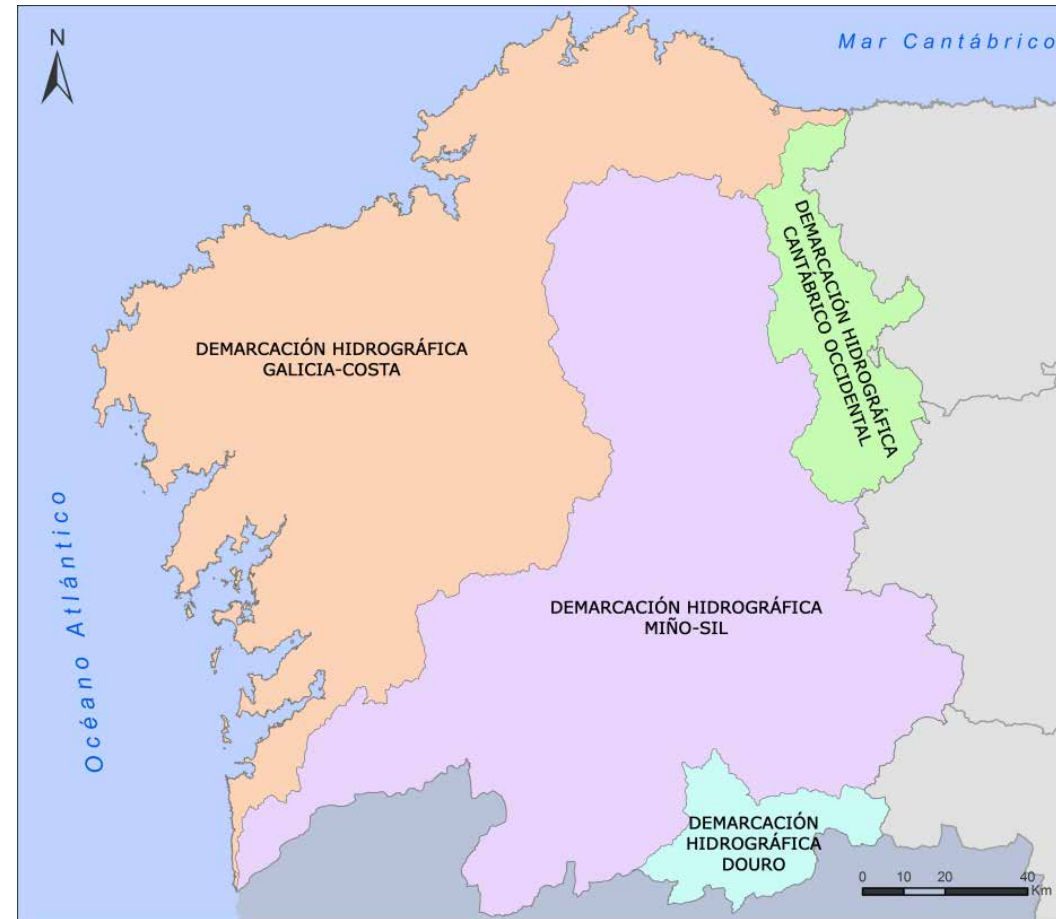


CCDR
NORTE

APROVECHAMIENTOS HIDROÉLECTRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA- COSTA

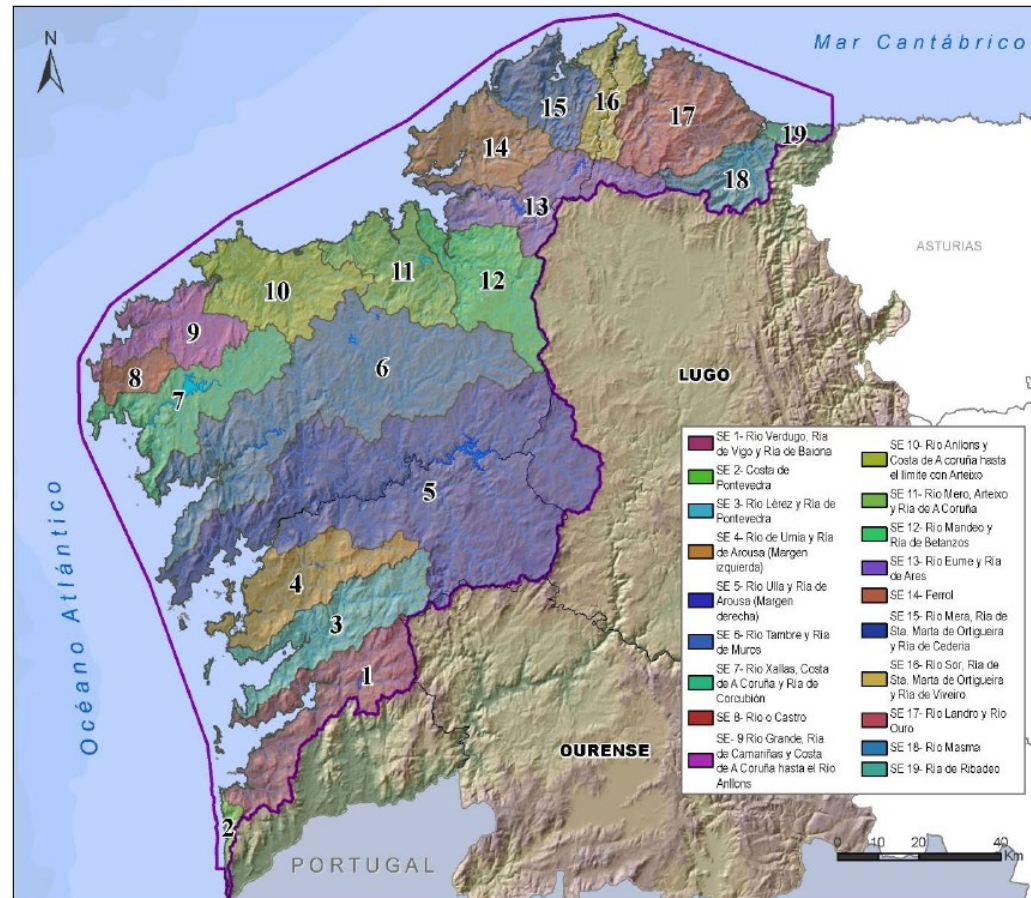
1. INTRODUCCIÓN AL AMBITO TERRITORIAL DE GALICIA-COSTA
2. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS APROVECHAMIENTOS HIDROELECTRICOS EN GALICIA-COSTA
3. FUTURO DE LOS APROVECHAMIENTOS HIDROELECTRICOS
 - 3.1 MODIFICACIONES DE APROVECHAMIENTOS HIDROELECTRICOS
 - 3.2 ALMACENAMIENTOS DE ENERGÍA
4. EXTINCIONES

APROVECHAMIENTOS HIDROÉLECTRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA- COSTA



1. INTRODUCCIÓN AL AMBITO TERRITORIAL DE GALICIA-COSTA

APROVECHAMIENTOS HIDROÉLECTRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA- COSTA



1. INTRODUCCIÓN AL AMBITO TERRITORIAL DE GALICIA-COSTA

APROVECHAMIENTOS HIDROÉLECTRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA- COSTA

Demarcación Hidrográfica Galicia-Costa

74 Aprovechamientos Hidroeléctricos en explotación



Potencia instalada: 575 MW

Producción anual estimada: 1.330 GWh

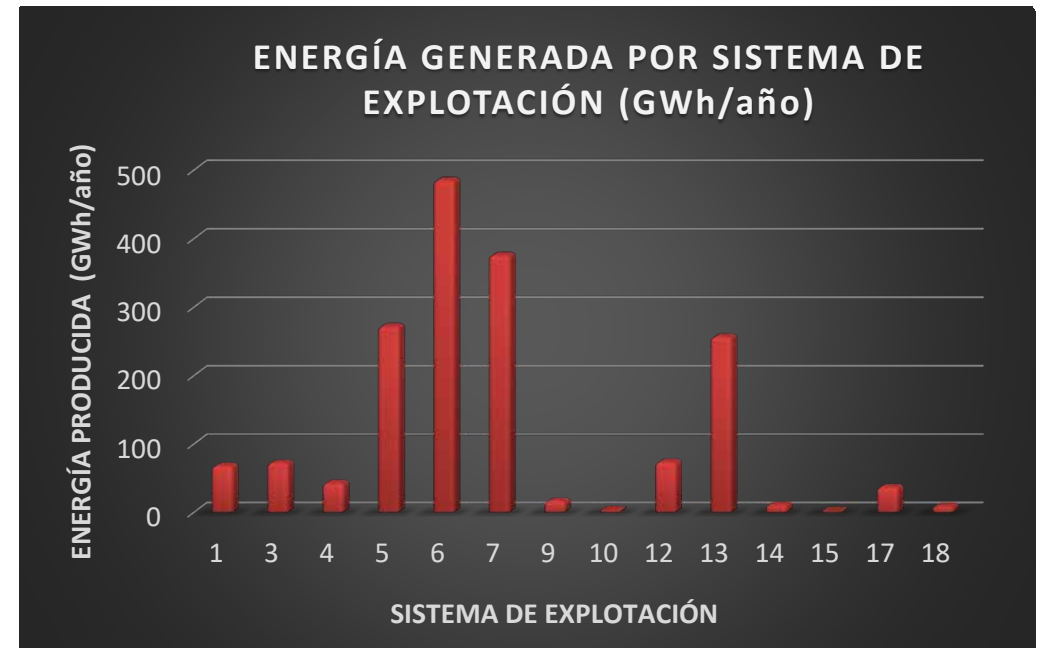
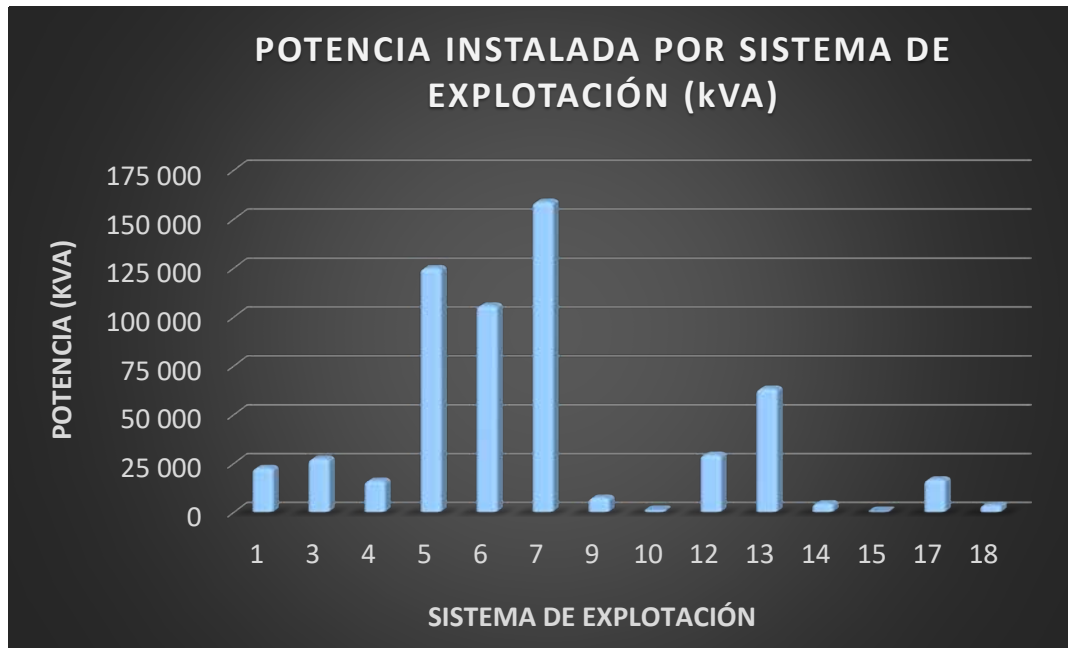


APROVECHAMIENTOS HIDROÉLECTRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA- COSTA

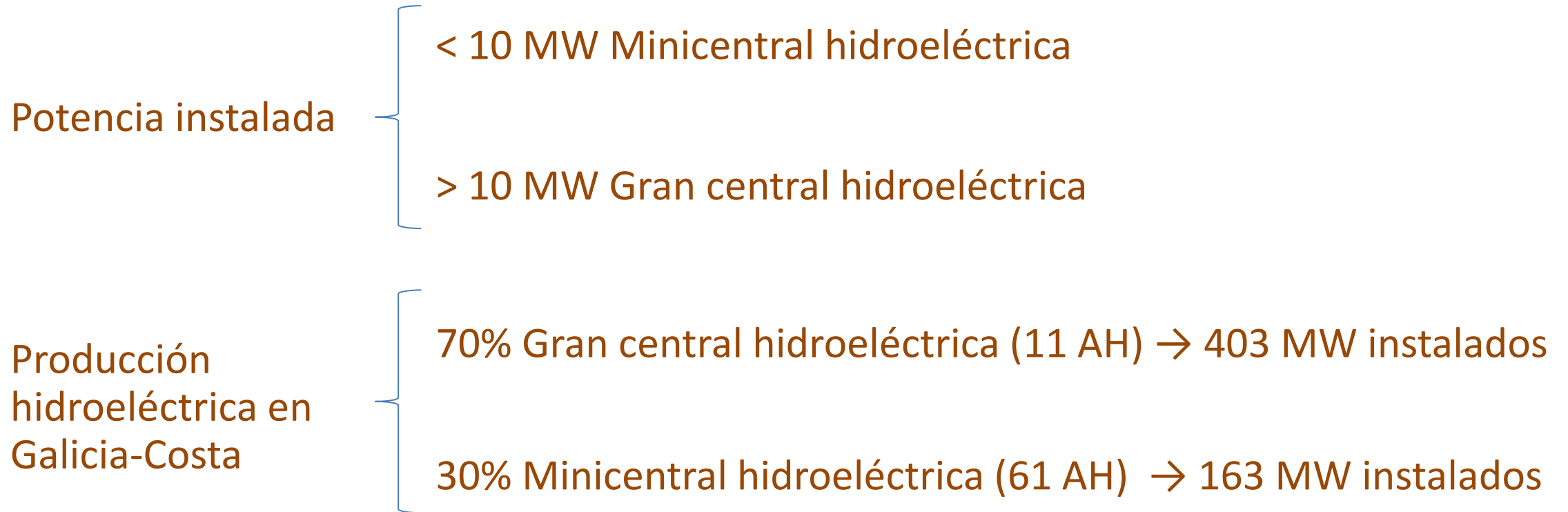


2. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS APROVECHAMIENTOS HIDROELECTRICOS EN GALICIA-COSTA

APROVECHAMIENTOS HIDROÉLECTRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA- COSTA

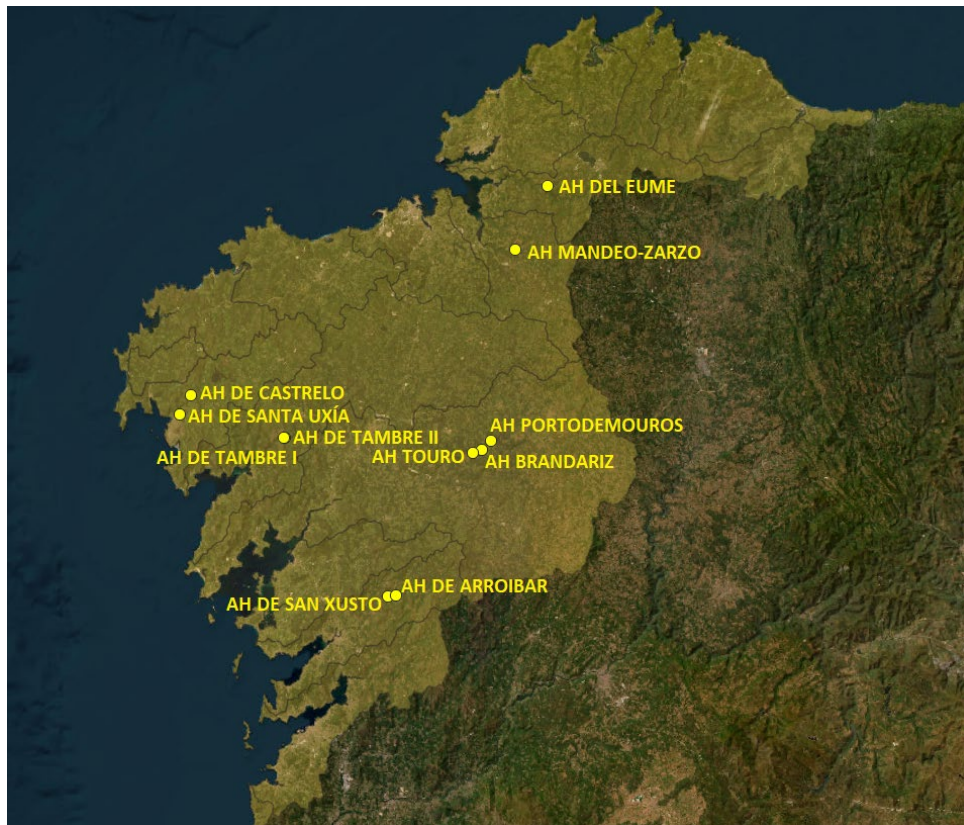


APROVECHAMIENTOS HIDROÉLECTRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA- COSTA



APROVECHAMIENTOS HIDROÉLECTRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA-COSTA

Grandes centrales hidroeléctricas en Galicia-Costa:



AH del Eume (Caudal: 26,20 m³/s, Potencia instalada: 49 MW)

AH de Mandeo-Zarzo (Caudal: 20 m³/s, Potencia instalada: 15 MW)

AH de Castrelo (Caudal: 16 m³/s, Potencia instalada: 26 MW)

AH de Santa Uxía (Caudal: 52 m³/s, Potencia instalada: 89 MW)

AH de Tambre I (Caudal: 22,30 m³/s, Potencia instalada: 20 MW)

AH de Tambre II (Caudal: 50 m³/s, Potencia instalada: 58 MW)

AH de Portodemouros (Caudal: 135,80m³/s, Potencia instalada: 85 MW)

AH de Touro (Caudal: 60 m³/s, Potencia instalada: 12 MW)

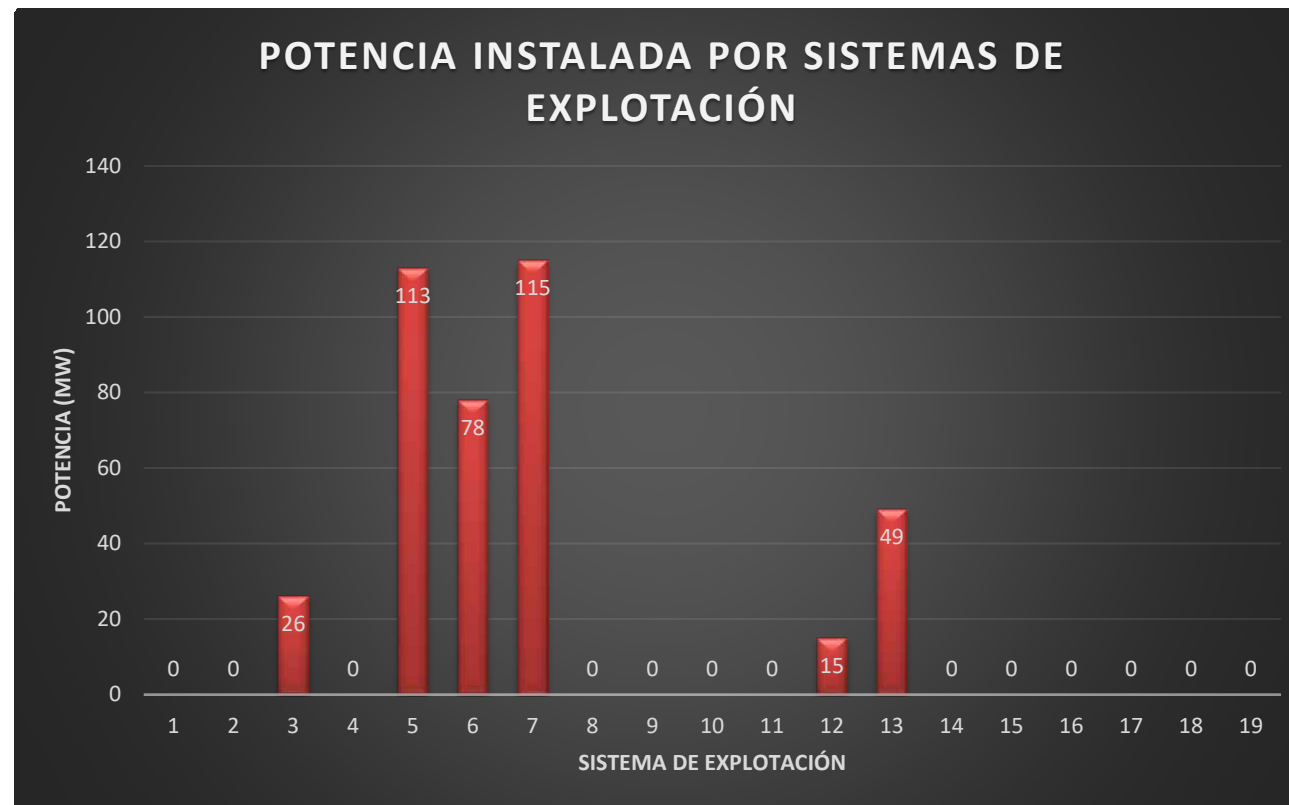
AH de Brandariz (Caudal: 90 m³/s, Potencia instalada: 16 MW)

AH de Arroibar (Caudal: 20 m³/s, Potencia instalada: 14 MW)

AH de San Xusto (Caudal: 20m³/s, Potencia instalada: 12 MW)

APROVECHAMIENTOS HIDROÉLECTRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA- COSTA

Grandes centrales hidroeléctricas en Galicia-Costa:



2. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS APROVECHAMIENTOS HIDROELECTRICOS EN GALICIA-COSTA

APROVECHAMIENTOS HIDROÉLECTRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA-COSTA

Ejemplo de Gran Central (potencia instalada superior a 10 MW):



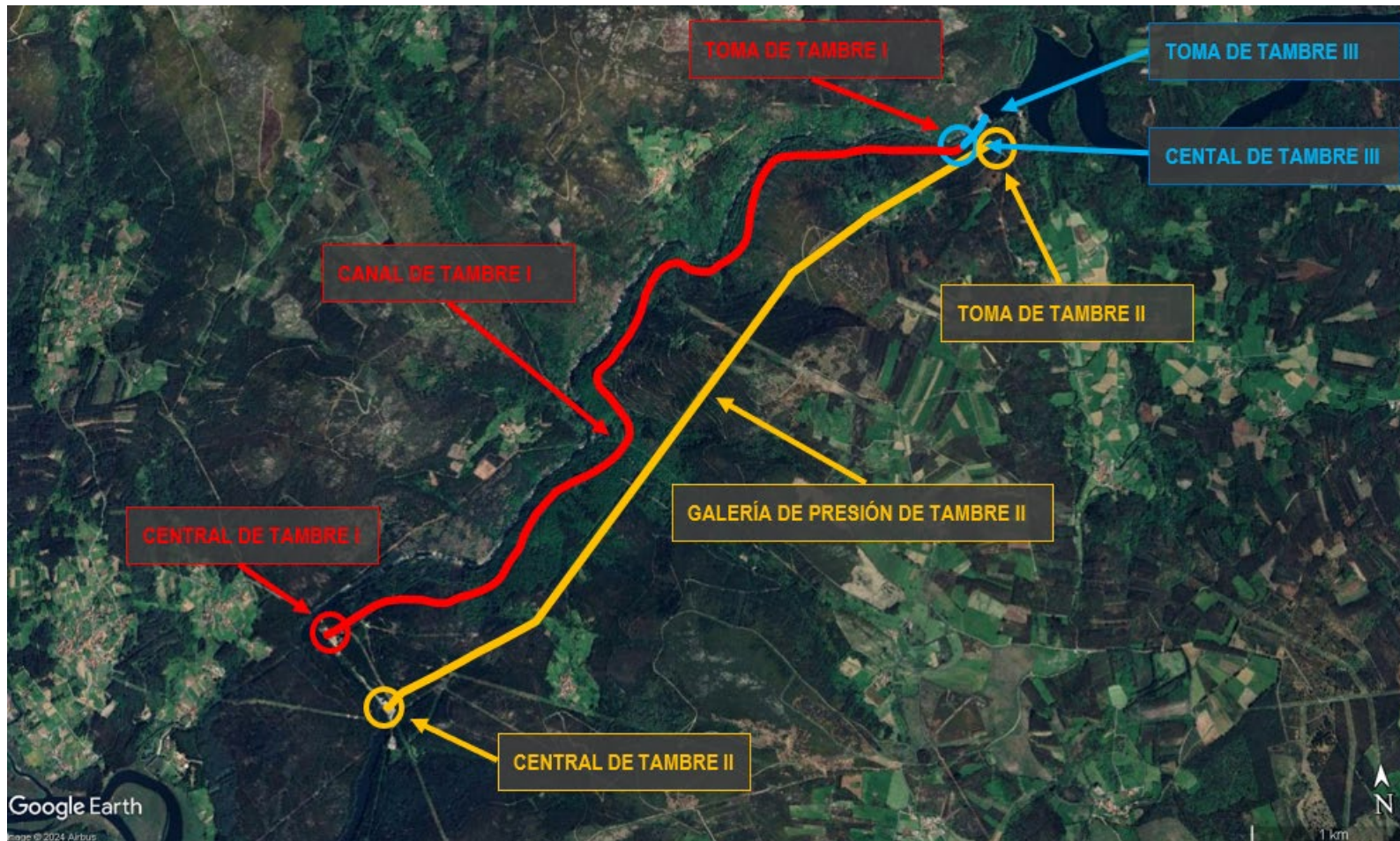
AH del Tambre

(Río Tambre, A Coruña)

Formada por tres saltos:

SALTO	CAUDAL (m³/s)	SALTO BRUTO (m)	POTENCIA (MW)	PRODUCCIÓN ESTIMADA (GWh/año)
Tambre I	22,30	135,70	25	70,30
Tambre II	50,00	138,34	52	295,70
Tambre III	27,30	39,69	7,4	24,70

APROVECHAMIENTOS HIDROÉLECTRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA- COSTA



2. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS APROVECHAMIENTOS HIDROELECTRICOS EN GALICIA-COSTA

APROVECHAMIENTOS HIDROÉLECTRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA- COSTA

Ejemplo de Gran Central (potencia instalada superior a 10 MW):



AH DEL EUME
(Río Eume, A Coruña)

CAUDAL (m^3/s): 26,20

SALTO BRUTO (m): 257

POTENCIA (MW): 49

PRODUCCIÓN ESTIMADA (GWh/año): 238

APROVECHAMIENTOS HIDROÉLECTRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA- COSTA

Ejemplo de Minicentral (potencia instalada inferior a 10 MW):



SALTO DE CARANTOÑA
(Río Grande, A Coruña)

CAUDAL (m^3/s): 8,60

SALTO BRUTO (m): 77,45

POTENCIA (MW): 6

PRODUCCIÓN ESTIMADA (GWh/año): 15

APROVECHAMIENTOS HIDROÉLECTRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA- COSTA

Ejemplo de Minicentrales (potencia instalada inferior a 10 MW):



SALTO DE POMBEIRO

(Río Pombeiro, A Coruña)

CAUDAL (m^3/s): 0,65

SALTO BRUTO (m): 30,95

POTENCIA (MW): 0,17

PRODUCCIÓN ESTIMADA (GWh/año): 0,40

APROVECHAMIENTOS HIDROÉLECTRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA- COSTA



APROVECHAMIENTOS HIDROÉLECTRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA-COSTA

3.1 MODIFICACIONES DE APROVECHAMIENTOS HIDROELECTRICOS

Minicentral de Portodiz (río Furelos)

Concesión original: 1920

Modificación concesional: 2024

Plazo concesional: 2061

	Instalación actual	Instalación proyectada
Caudal concesional	1 m ³ /s	5,75 m ³ /s
Salto bruto	33,04 m	33,90 m
Turbinas	3 turbinas Francis de eje horizontal	1 turbina Crossflow
Alternadores	3 síncronos	1 síncrono
Potencia	0,5 MW	1,5 MW

APROVECHAMIENTOS HIDROÉLECTRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA- COSTA

Estado previo a modificación concesional y repotenciación:



Azud



Canal de derivación

APROVECHAMIENTOS HIDROÉLECTRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA- COSTA

Estado previo a modificación concesional y repotenciación:



Tubería forzada



Central hidroeléctrica

APROVECHAMIENTOS HIDROÉLECTRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA- COSTA

Fase de obras:



Azud



Canal de derivación

APROVECHAMIENTOS HIDROÉLECTRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA- COSTA

Fase de obras:



Tubería forzada



Central hidroeléctrica

APROVECHAMIENTOS HIDROÉLECTRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA- COSTA

3.2 ALMACENAMIENTOS DE ENERGÍA

Real Decreto-ley 8/2023, de 27 de diciembre, por el que se adoptan medidas para afrontar las consecuencias económicas y sociales derivadas de los conflictos en Ucrania y Oriente Próximo, así como para paliar los efectos de la sequía.



PREFERENCIA

ALMACENAMIENTOS HIDRÁULICOS DE ENERGÍA

APROVECHAMIENTOS HIDROÉLECTRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA- COSTA

Actualmente dentro del ámbito Galicia-Costa contamos con:

Concesiones otorgadas:

CHR DE MEIRAMA	(Lago de Meirama, A Coruña)
----------------	-----------------------------

CHR AS PONTES	(Lago de As Pontes, A Coruña)
---------------	-------------------------------

En trámite de concesión:

CHR DEL TAMBRE	(Embalse del Tambre, A Coruña)
----------------	--------------------------------

CHR MONTE DA RUÑA	(Embalse de Santa Uxía, A Coruña)
-------------------	-----------------------------------

CHR AS PONTES II	(Lago de As Pontes, A Coruña)
------------------	-------------------------------

APROVECHAMIENTOS HIDROÉLECTRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA- COSTA



APROVECHAMIENTOS HIDROÉLECTRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA-COSTA

CRH DE MEIRAMA (Lago de Meirama, A Coruña)

Tipo de aprovechamiento: Central de bombeo reversible

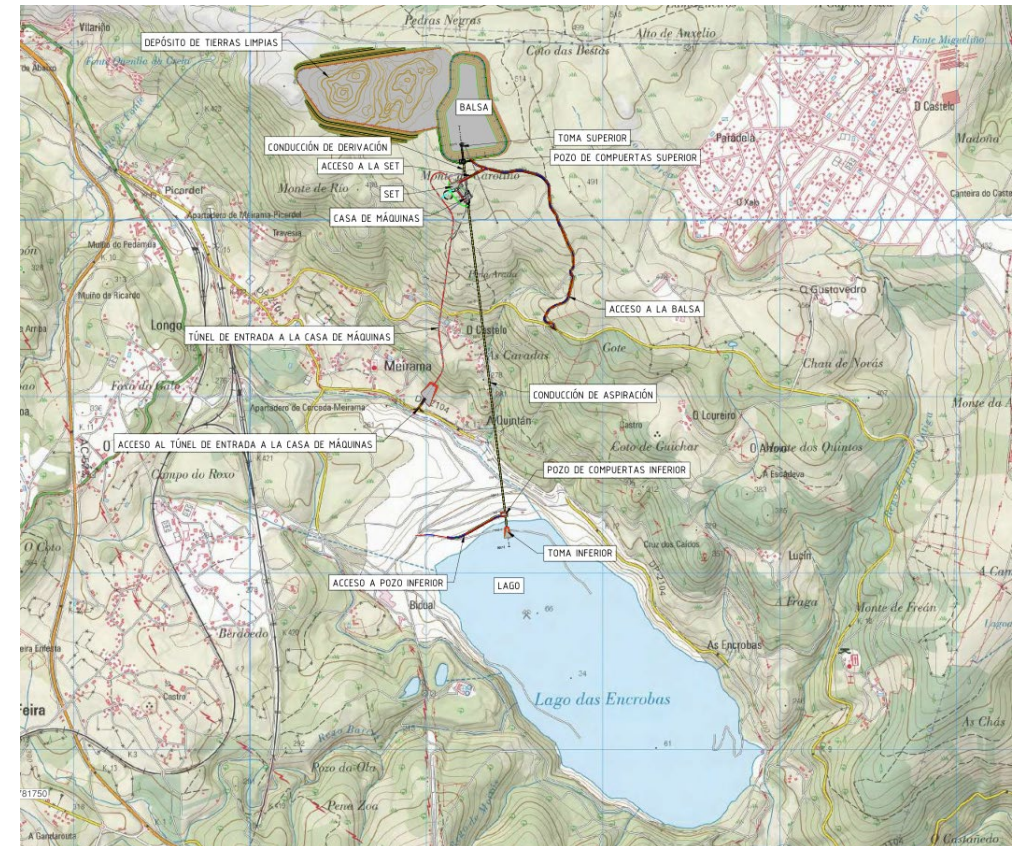
Salto bruto (m): 314,60

Volumen del depósito superior (hm³): 2,79

Energía almacenada (GWh): 1,66

Plazo de ejecución material (años): 5,75

Presupuesto de ejecución material (€): 300.336.594,37



APROVECHAMIENTOS HIDROÉLECTRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA-COSTA

CRH AS PONTES (Lago de As Pontes, A Coruña)

Tipo de aprovechamiento: Central de bombeo reversible

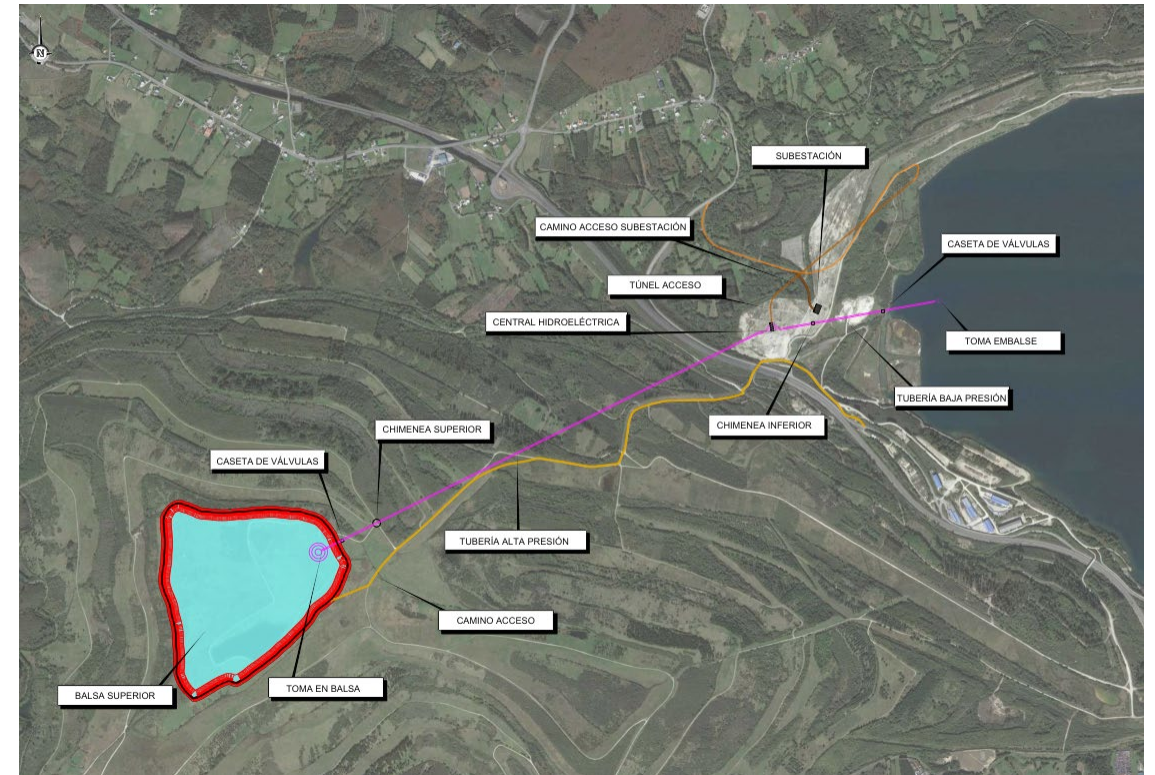
Salto bruto (m): 228,80

Volumen del depósito superior (hm³): 8,71

Energía almacenada (GWh): 3,907

Plazo de ejecución material (años): 4

Presupuesto de ejecución material (€): 221.652.766,38



APROVECHAMIENTOS HIDROÉLECTRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA- COSTA

Causas que determinan la extinción del uso privativo de las aguas

1) Por término del plazo de la concesión

2) Por caducidad de la concesión

- Incumplimiento de alguna de las condiciones esenciales o plazos de la concesión.
- Permanencia de tres años consecutivos sin explotar por causas imputables al titular.

3) Por expropiación forzosa

4) Por renuncia expresa del concesionario

APROVECHAMIENTOS HIDROÉLECTRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA-COSTA

1) Por término del plazo de la concesión

5 expedientes finalizados:

Reversión Administración

CH DE GÜIMIL (Río Lambre)

(Caudal: 2 m³/s, Potencia instalada: 2,98 MW)

CH DE FERVENZAS (Río Vexo)

(Caudal: 6 m³/s, Potencia instalada: 0,25 MW)

CH DE LA CASTELLANA (Río Mandeo)

(Caudal: 6 m³/s, Potencia instalada: 1,30 MW)

CH DE ANLLONS (Río Anllóns)

(Caudal: 6,42 m³/s, Potencia instalada: 0,520 MW)

Demolición

CH DE PONTE INFERNO (Río Verdugo)

(Caudal: 7,14 m³/s, Potencia instalada: 3,52 MW)



APROVECHAMIENTOS HIDROÉLECTRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA- COSTA

CH de La Castellana



Azud



Canal de derivación

APROVECHAMIENTOS HIDROÉLECTRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA- COSTA

CH de La Castellana



Cámara de carga



Central

APROVECHAMIENTOS HIDROÉLECTRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA- COSTA

CH de La Castellana



Equipos



Equipos

APROVECHAMIENTOS HIDROÉLECTRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA- COSTA

Extinción próximos 10 años por término del plazo de la concesión

13 Aprovechamientos Hidroeléctricos:

CH DEL ARNEGO (Río Arnego)

CH DE CASTELO (Río das Abellas)

CH DE PORTA-RÍOS (Río Rodeiro)

CH DEL TAMBRE (Río Tambre)

CH DE BATÁN (Río Calvar)

CH DE MANDEO-ZARZO (Ríos Mandeo y Zarzo)

CH DE BARREIRO (Río Gambas)

CH DE SAN BARTOLOMÉ (Río San Bartolomé)

CH DE CABALAR (Río Beelle)

CH DE POMBEIRO (Río Pombeiro)

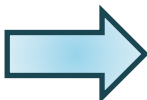
CH DE CHIMPARRA (Río Condomiñas)

CH DE ONZA (Río Onza)

CH DE SANTA MARIÑA (Río das Balsadas)



APROVECHAMIENTOS HIDROÉLECTRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA-COSTA



TOTAL
105 MW

APROVECHAMIENTOS HIDROÉLECTRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA- COSTA

2) Por caducidad de la concesión

Extinción finalizada:

Presa del niño del Águila (Río Arnego)

CH del Zarzo Vella (Río Zarzo)

Presa de San Ascisclo (Río Ouro)

Presa de Damián (Río Ouro)

Presa de Doña Lola (Río Ouro)

Extinción en trámite:

AH Portocheda (Río Mendo)

APROVECHAMIENTOS HIDROÉLECTRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA- COSTA

Presa de Doña Lola (extinción por interrupción permanente de la explotación y futura demolición)



Azud



Canal de derivación

APROVECHAMIENTOS HIDROÉLECTRICOS EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA GALICIA- COSTA

Presa de Doña Lola (extinción por interrupción permanente de la explotación y futura demolición)



Central



Central

XI ENCONTRO ENX. CIVIL

NORTE PORTUGAL — GALICIA



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS. GALICIA

El valor estratégico del almacenamiento hidráulico de energía

O valor estratégico do almacenamento hidráulico
de energia.

Miguel A. Núñez Casamayor | TASGA Renovables

Sobre COVENTINA Renovables

TASGA
Renovables


valtalia



COVENTINA
Renovables



1.- Contexto

Valor estratégico del almacenamiento hidráulico de energía para:

2.- el **sistema eléctrico**

3.- el **medio socio-económico**

4.- en la **gestión de recursos hídricos**

5.- en la **transformación del medio natural**

6.- **Conclusión y reflexión final**





1.- Contexto

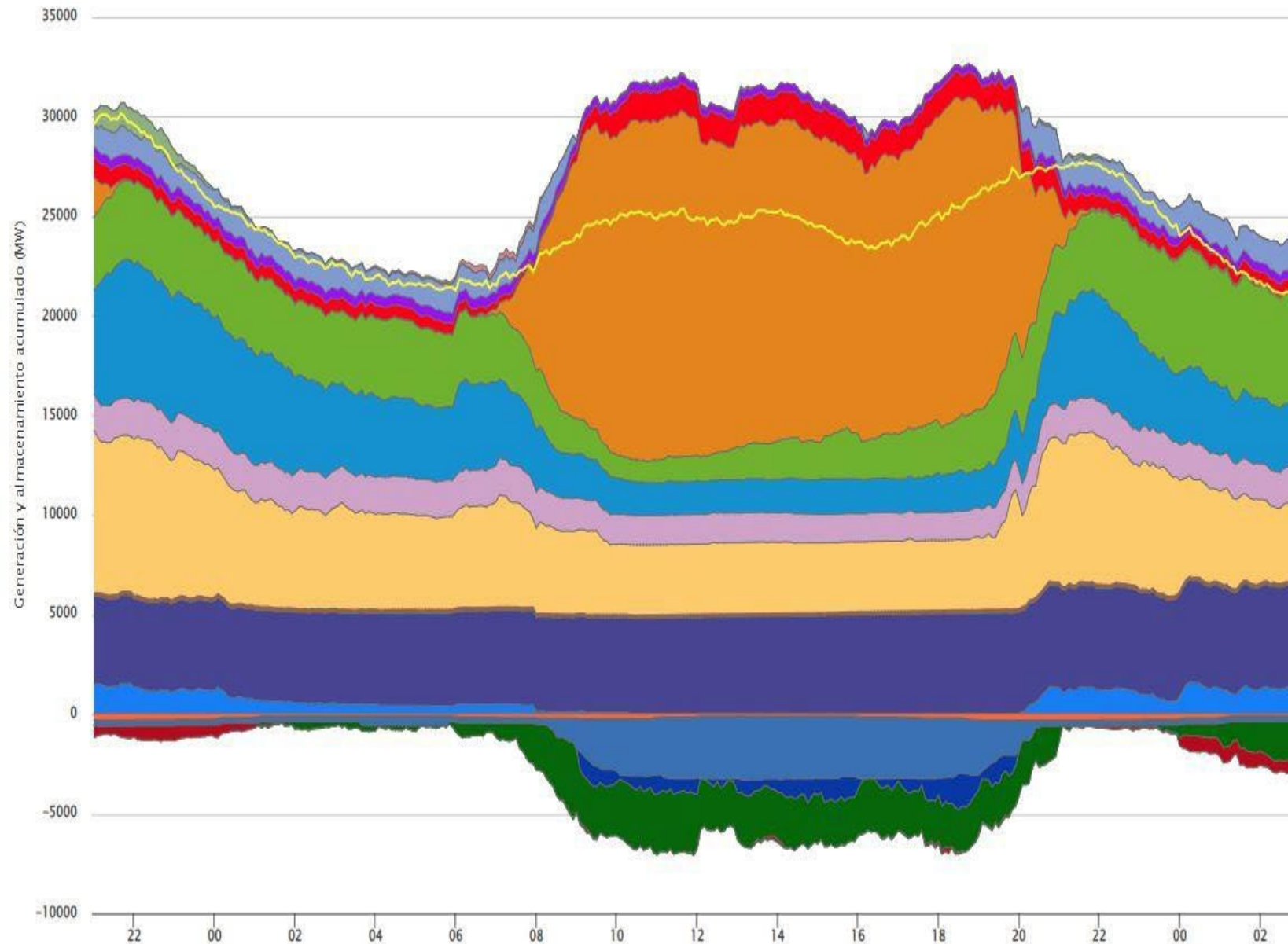


Hacia donde nos dirigimos



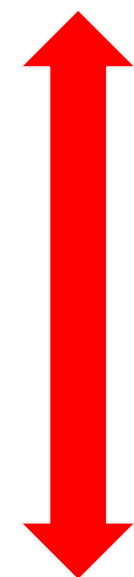
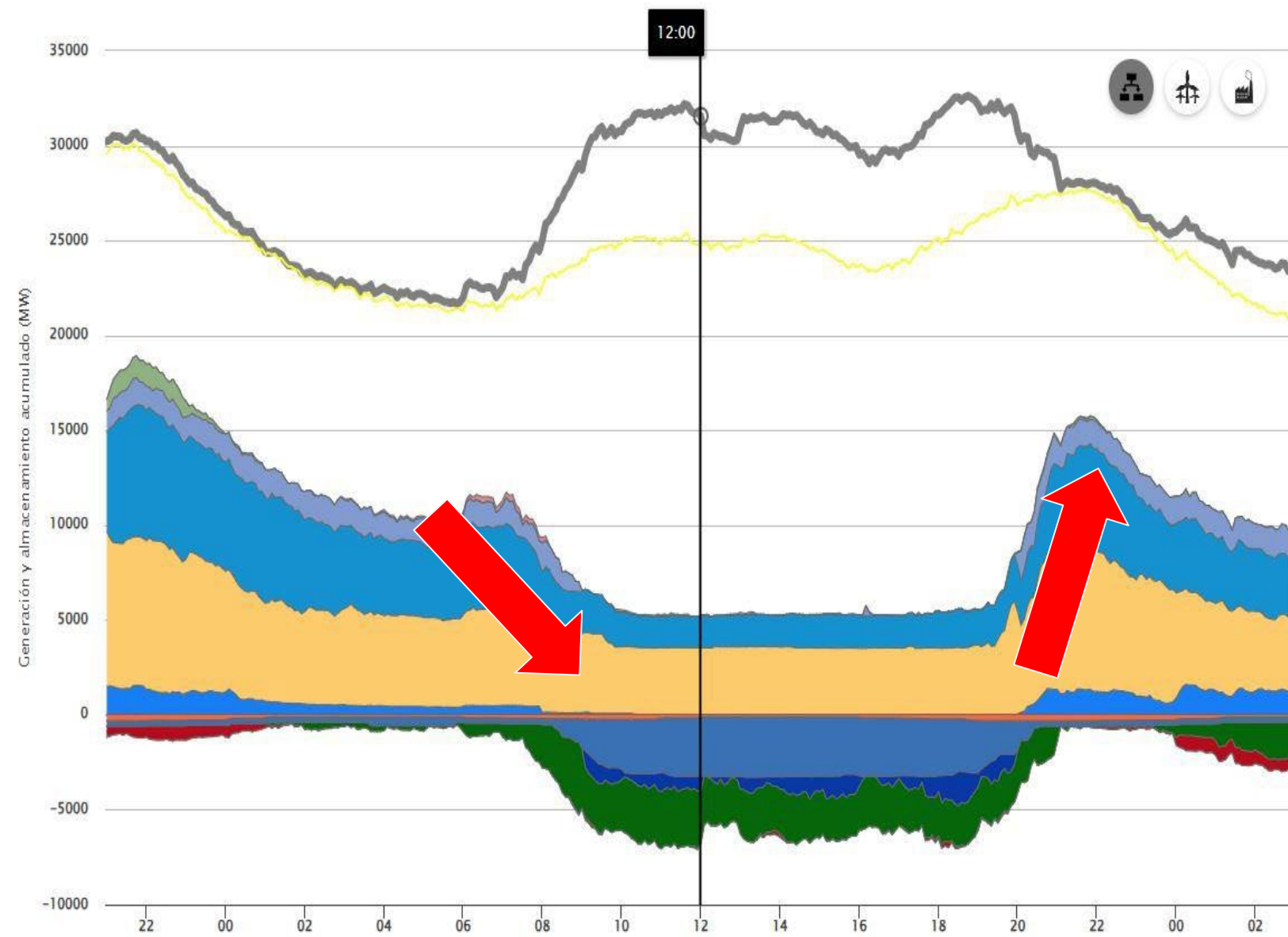
Efectos del mix renovable (7/06/2025)

12:00



Fuente: REE

Efectos del mix renovable (7/06/2025)



Rampas

Vertidos

**Regulación
de frecuencia**

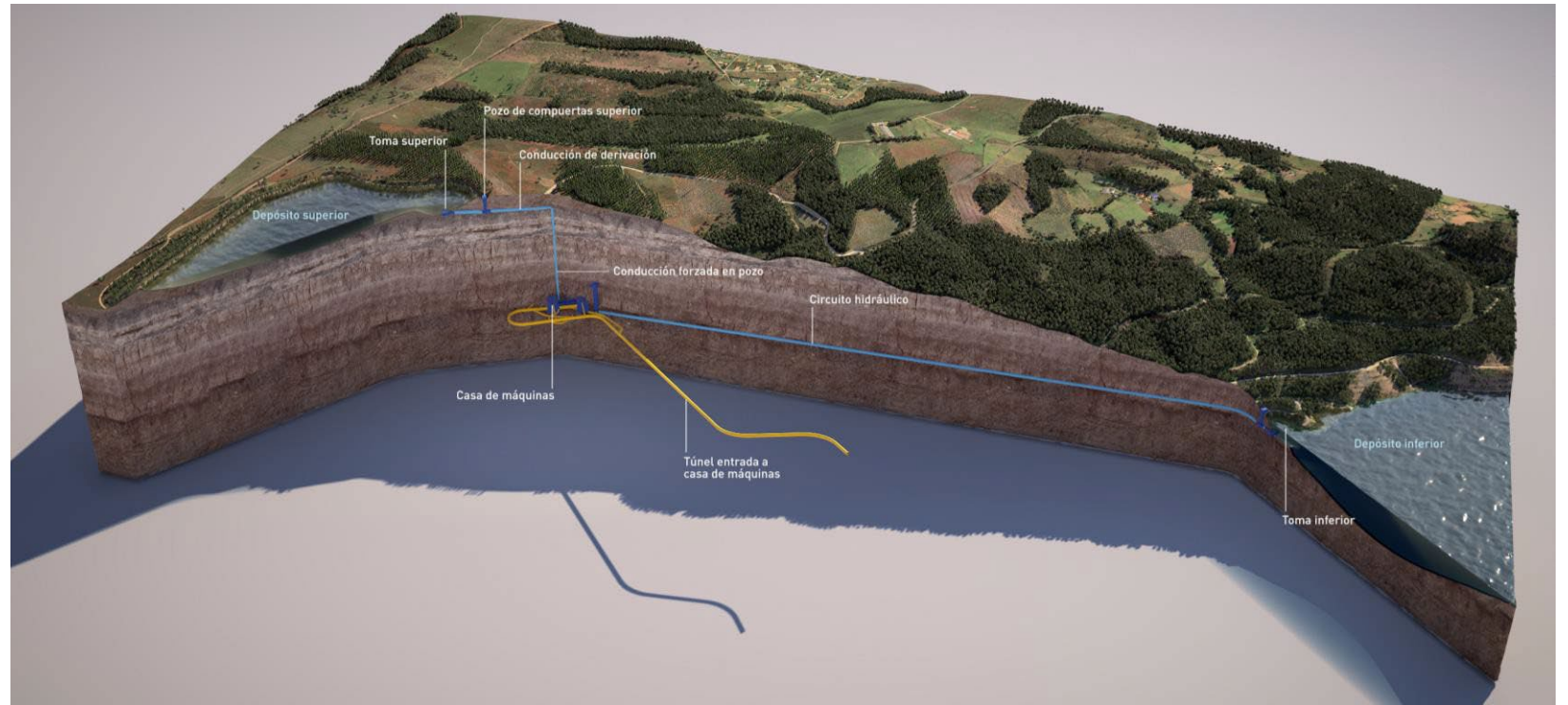


2.- Valor estratégico del almacenamiento hidráulico de energía para el sistema eléctrico



Fundamentos del bombeo

CHB de Meirama, Cerceda, A Coruña



Caudal:	135 m³/s
Salto:	320 m
Potencia:	440 MW
Energía acumulada:	3,51 GWh(8h)

Central:
Conducción en túnel:
Depósito superior
Depósito inferior

Caverna
2.500 m
Balsa
Lago de As Encrobas

Valor estratégico para el sistema eléctrico:

Flexibilidad y resiliencia a un coste competitivo

Características

• Potencia	100s MW
• Madurez tecnológica	161 GW 9.000 GWh en el mundo
• Respuesta	Segundos
• Generación síncrona	
• Vida útil	OC: 100 años EE: 50 años.
• Rendimiento	80 % (ciclo)
• CAPEX	500-1500 €/kW
• OPEX	30-100 €/MWh.

Beneficios

- **Resolución de restricciones técnica**
- **Gestión de puntas y de desvíos**
- **Provisión de servicios auxiliares críticos, regulación de frecuencia y tensión, reposición del servicio.**
- **Optimización del uso de la red e inversión en el sistema.**
- **Integración de renovables**
- **Contribución a objetivos climáticos**



3.- Valor estratégico del almacenamiento hidráulico de energía para el medio socioe- conómico.



Valor estratégico para la economía:

Cerrando el círculo de la transición justa

FARO DE VIGO

+ Tasga impulsa una gigabatería hidroeléctrica en Crecente con hasta 491 millones de inversión

El documento inicial remitido al Gobierno prevé 6 alternativas con el embalse de

Expresso

ÚLTIMAS ECONOMIA TRIBUNA BLITZ OPINIÃO PODCASTS JOGOS NEWS

Barragens no Tâmega: como funciona o mega-investimento a que a Iberdrola chama "gigabateria"?

25 años de canariasahora

Hazte socio/a

Inicia sesión

Política Tribunales Sociedad Migraciones Ciencia Patrimonio Parlamento Sucesos Tiempo

OelDiario.es

El Cabildo de Gran Canaria celebra la decisión sobre Chira-Soria: "Hoy es un día fundamental para el desarrollo de energías renovables"

La institución asegura que la central pondrá en marcha la mayor transformación energética de Gran Canaria



CORREIO da manhã

Exclusivos

Portugal

Política

Mais

Co

TV

VIDEOS

EN

Barragens do Tâmega já mexem na economia de Ribeira de Pena

Transición justa en la ZTJ Meirama



1980s



2007



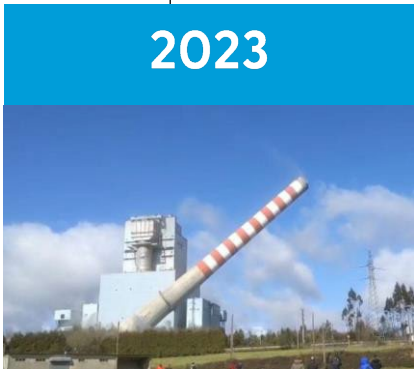
2021



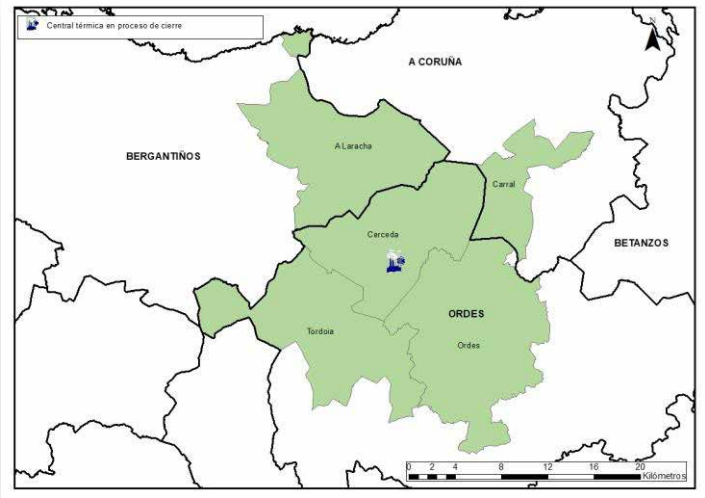
1990s



2008-2017



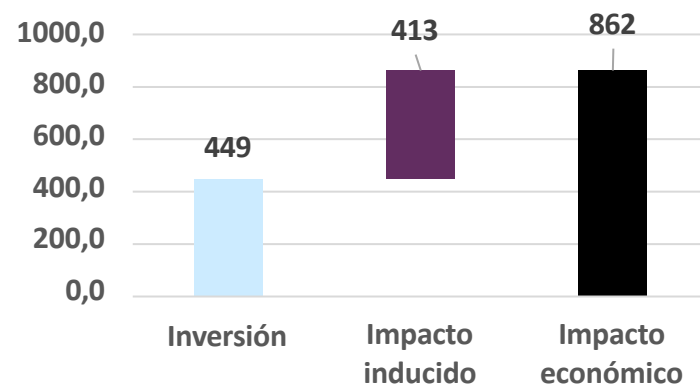
2023



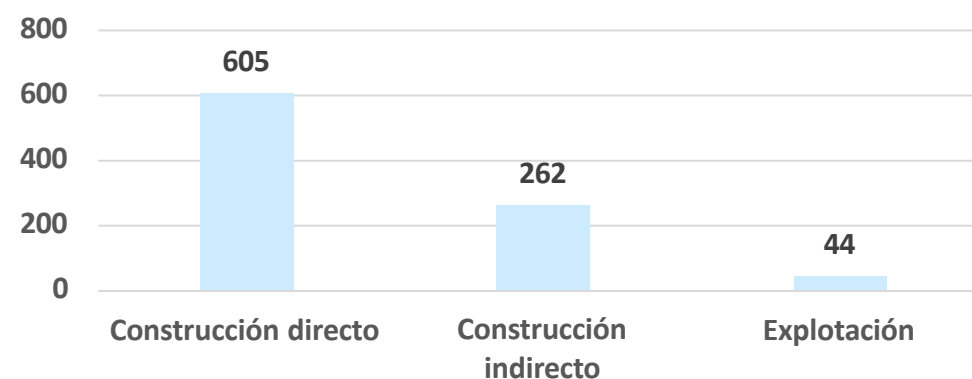
Valor estratégico para la economía:

Cerrando el círculo de la transición justa

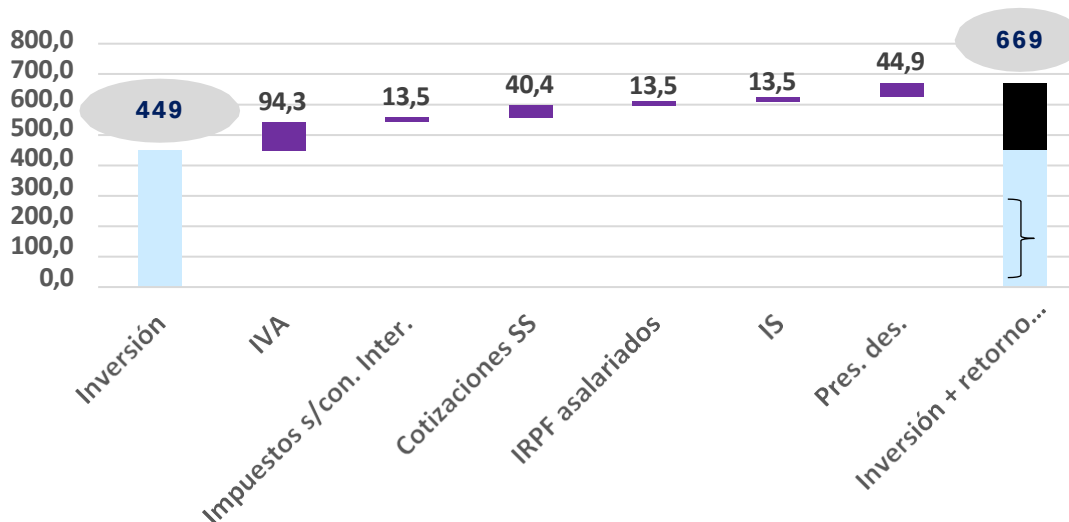
Inversión¹
(millones €)



Empleo³



Efecto fiscal²
(millones €)



- **449** mill. € de inversión
- **862** mil. € de impacto económico
+ **220** mill. € de retorno fiscal
- **+850** empleos durante la construcción
+40 empleos durante la explotación

¹ Multiplicador de la inversión en obra pública de 1,92 según *Análisis de la inversión en infraestructuras prioritarias en España – Febrero 2.017. SEOPAN*

² Retorno fiscal de IVA (21% s/inversión); impuesto sobre consumos intermedios (3%); cotizaciones a S.S. (9%); IRPF de remuneración a asalariados (3%); impuesto sobre sociedades (3%); prestaciones por desempleo (10%) del estudio *Retorno fiscal y empleo generado por la inversión infraestructuras – 2.019. SEOPAN*

³ Generación de empleos durante la construcción estimada sobre ratios de generación de empleo directo (8,08 por millón de € de inversión) e indirecto (3,50 por millón de euros de inversión) del estudio *Retorno fiscal y empleo generado por la inversión infraestructuras – 2.019. SEOPAN* y asumiendo 6 años de obras

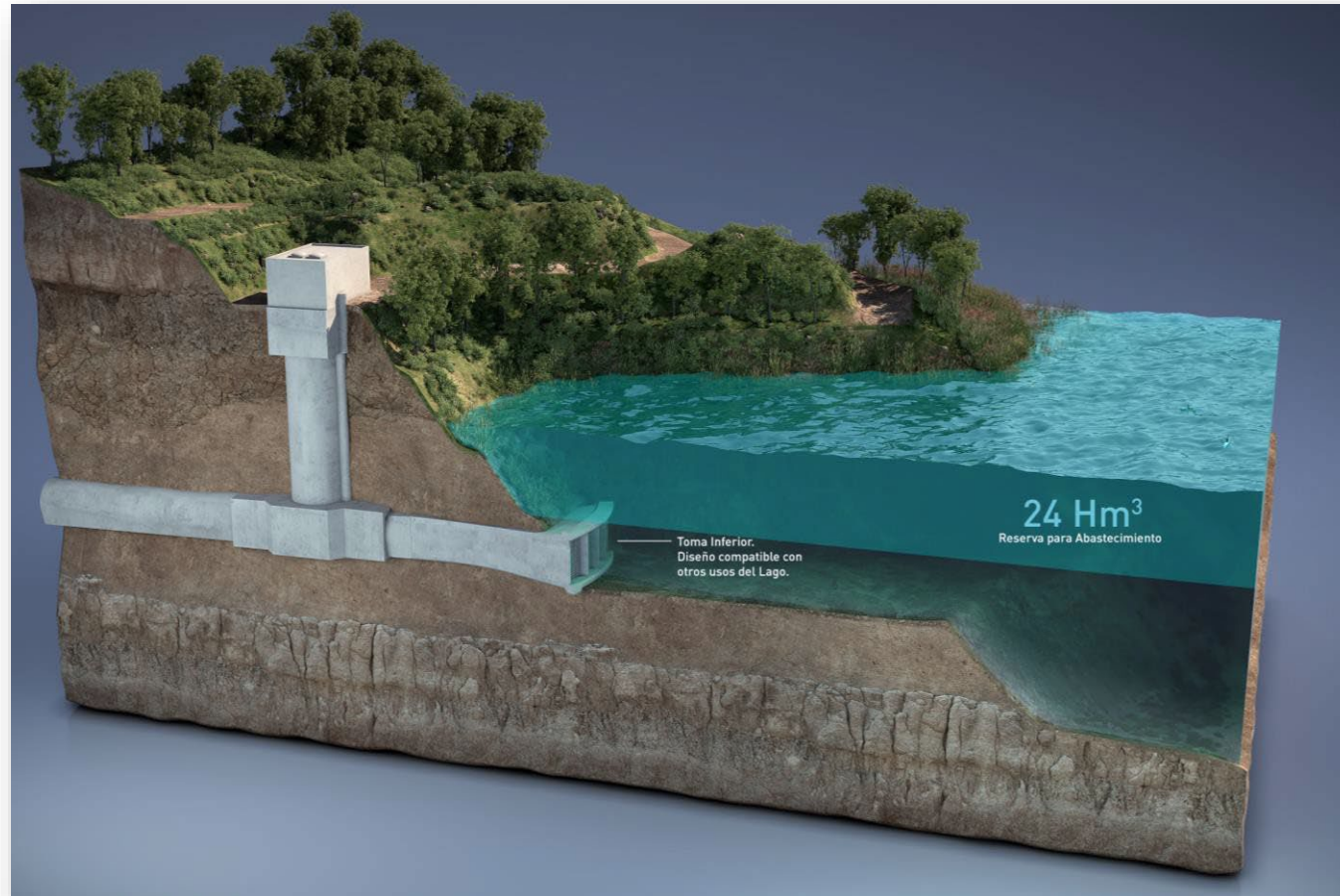


4.- Valor estratégico del almacenamiento hidráulico de energía en la **gestión de recursos hídricos**.



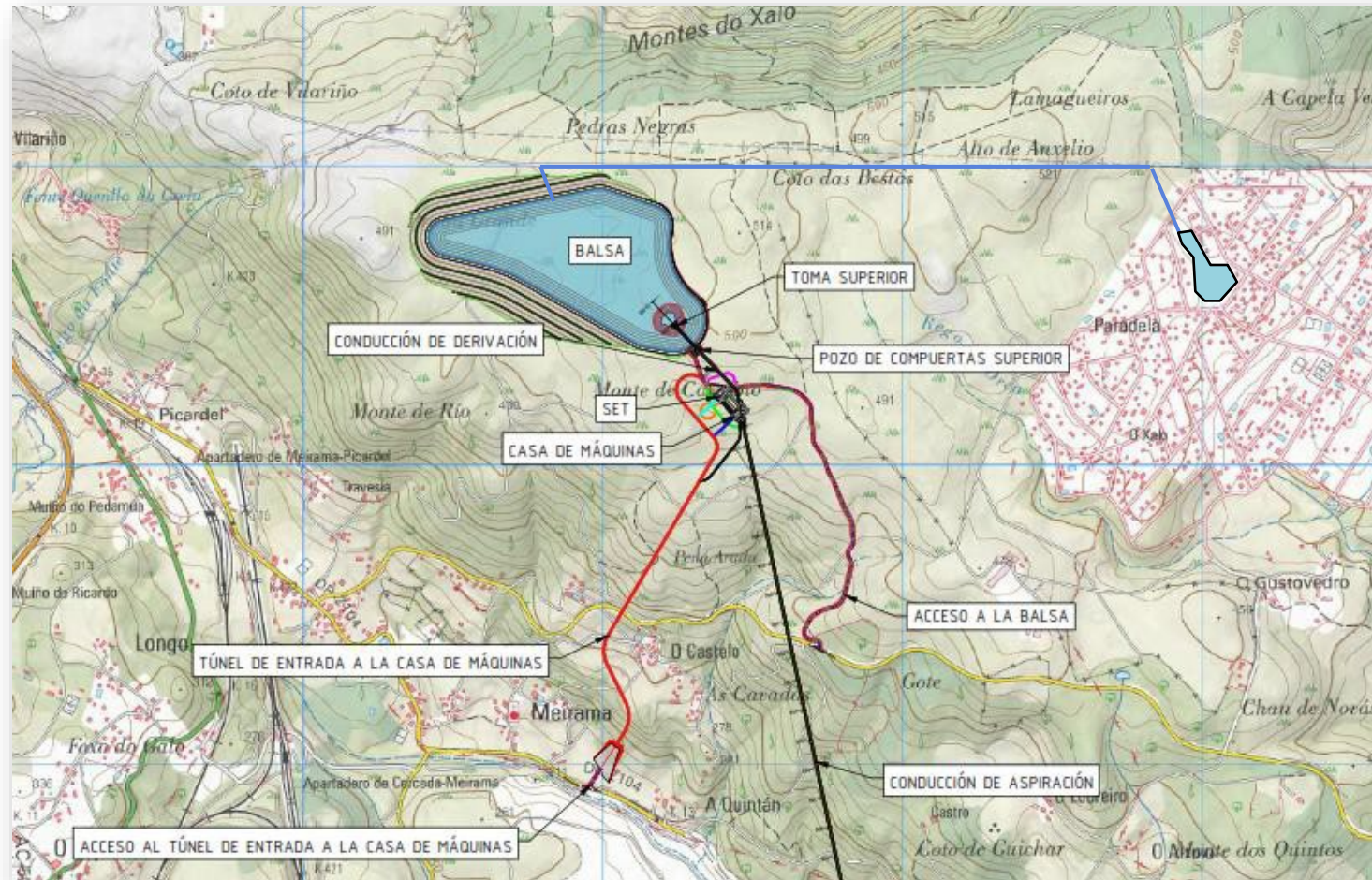
Valor estratégico en la gestión de recursos hídricos.

Uso complementario: reserva para abastecimiento

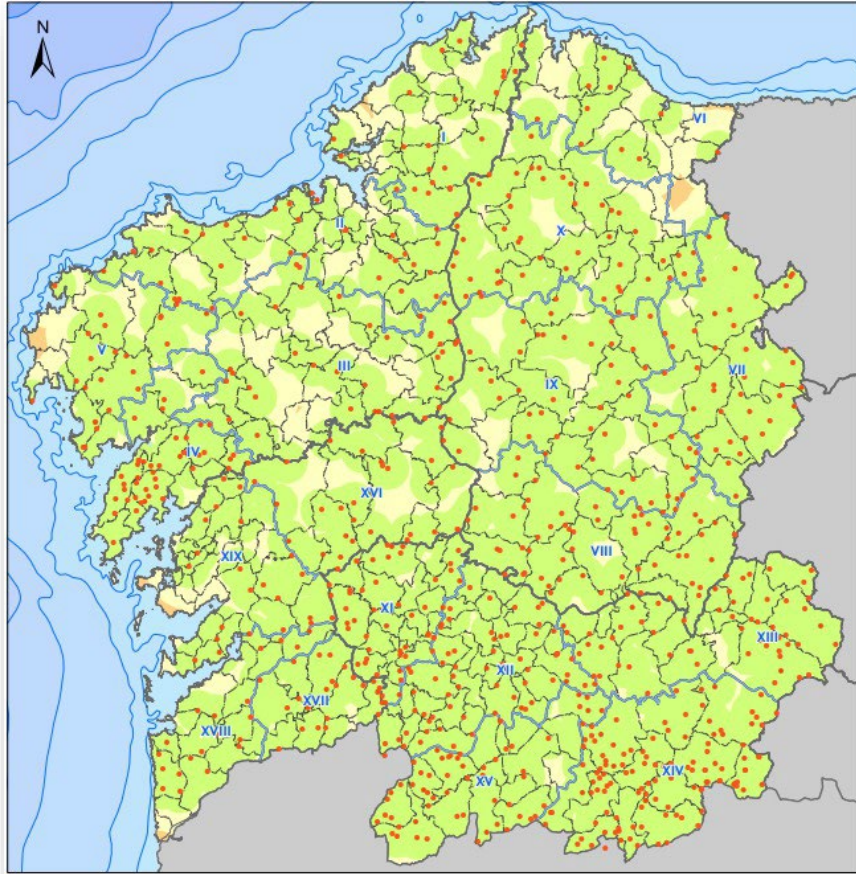


Valor estratégico en la gestión de recursos hídricos.

Uso complementario: reserva para abastecimiento



**Valor estratégico en la gestión de recursos
hídricos.
Uso complementario: reserva para la
protección contra incendios.**



Valor estratégico en la gestión de recursos hídricos.
Uso complementario recreativo.



- Oscilación del nivel del agua: rango y velocidad
- Prolongación del perfil de la playa artificial.
- Accesos, urbanización y creación de paseos públicos.
- Evitar fuertes corrientes superficiales



5.- Valor estratégico del almacenamiento hidráulico de energía en la transformación del medio natural.



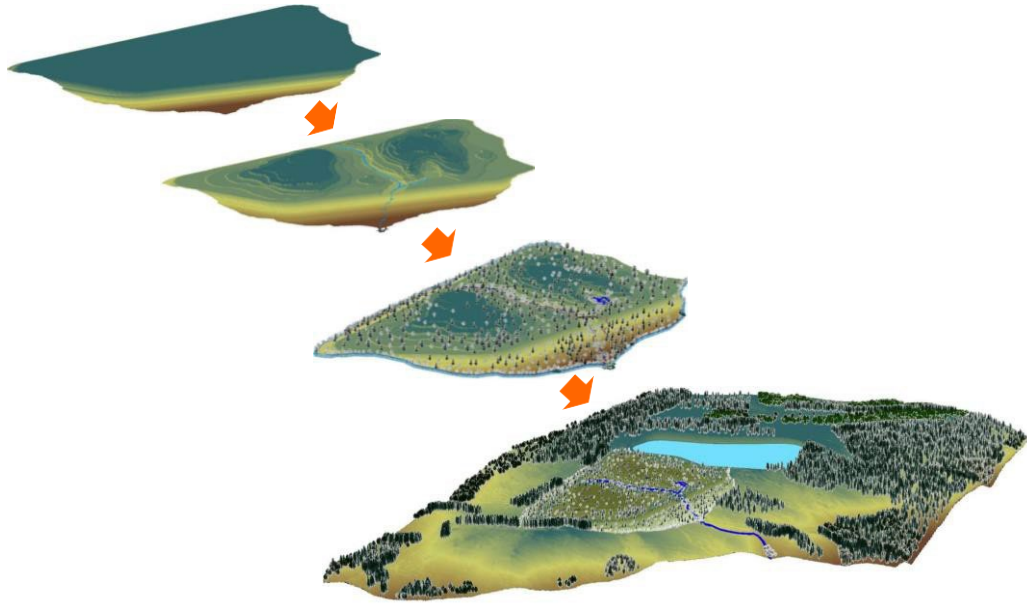
Valor estratégico en la transformación del medio.
Mejora de la biodiversidad



Valor estratégico en la transformación del medio. Creación de hábitats

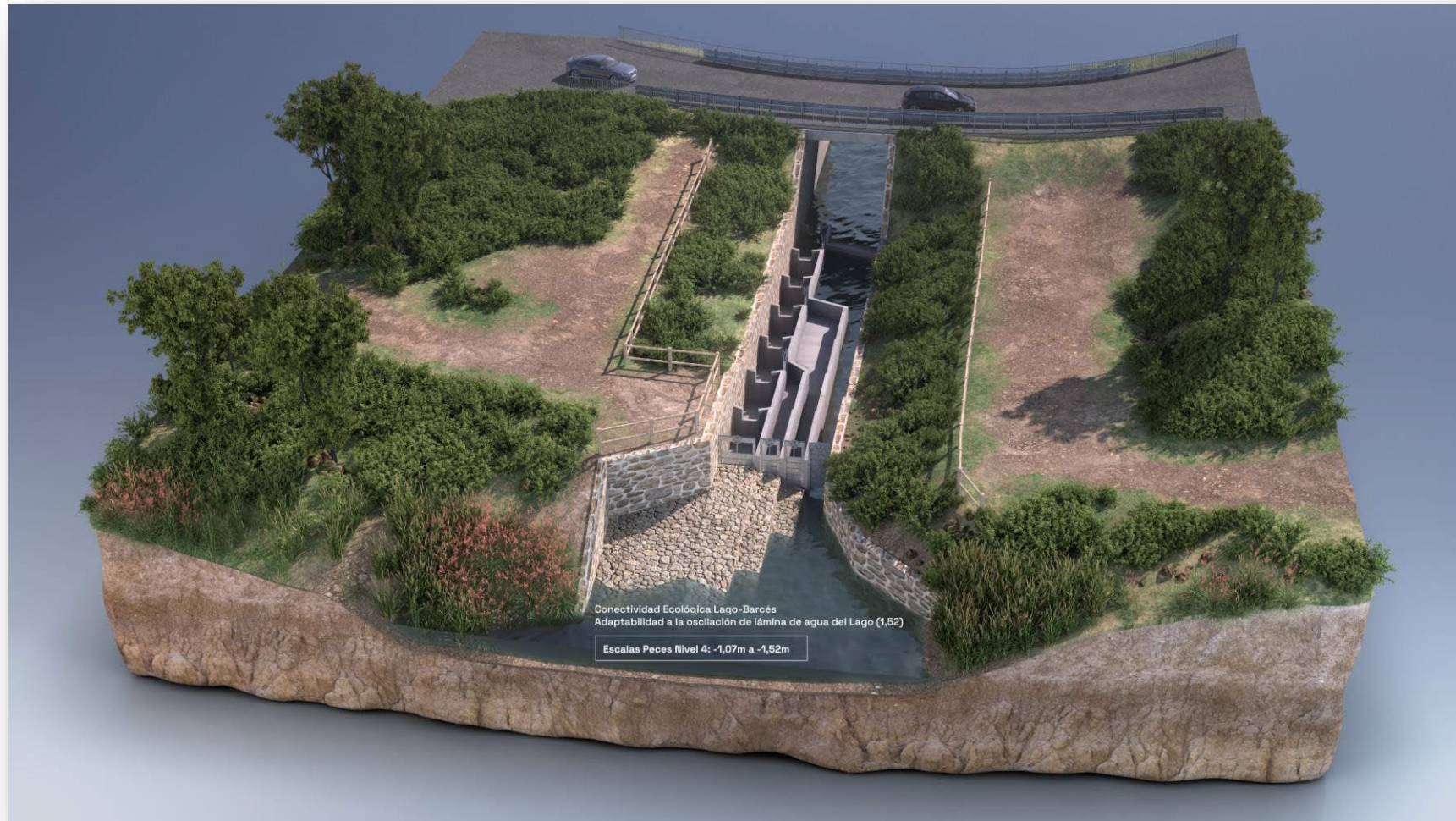


Valor estratégico en la transformación del medio. Integración paisajística.



Valor estratégico en la transformación del medio.

Conectividad ecológica

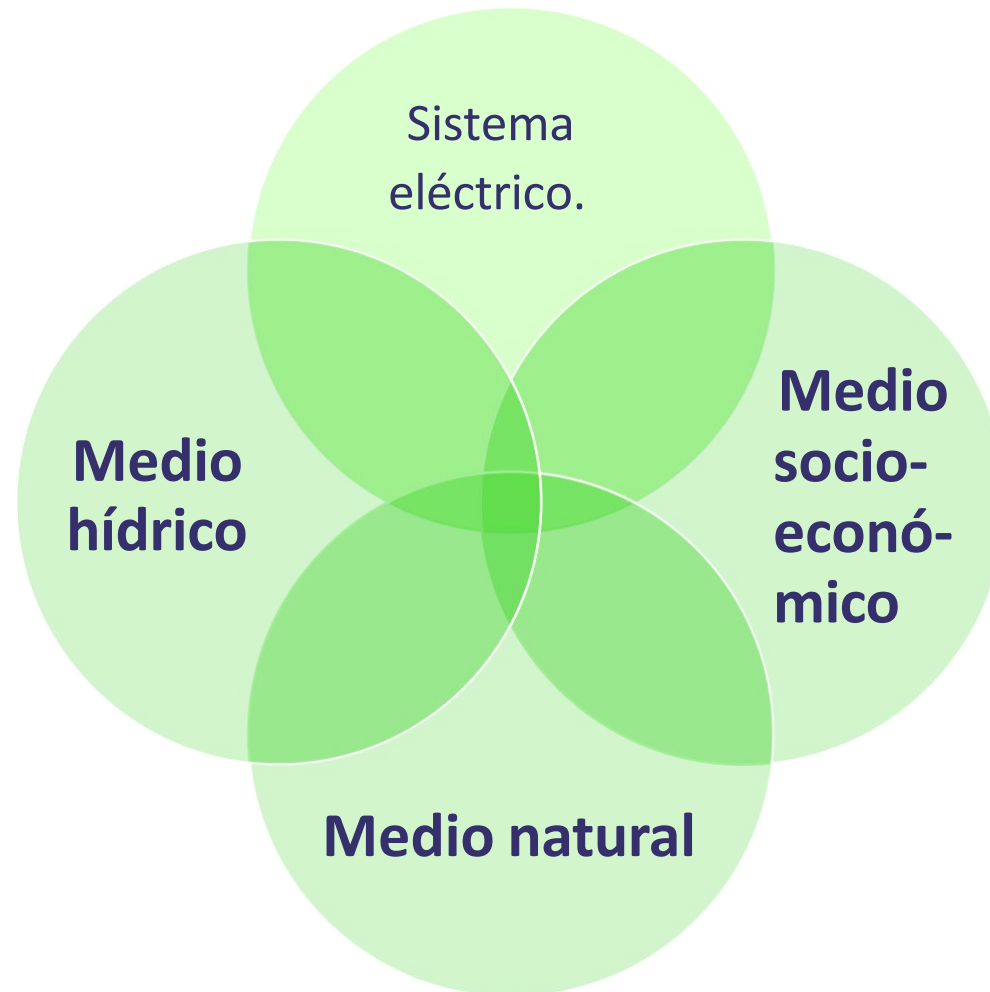




6.- Conclusión y reflexión final



Una perspectiva global del poder transformador de los grandes proyectos de almacenamiento hidráulico de energía



Reflexión final

Las centrales hidroeléctricas de bombeo reversible no solo son una **solución técnica avanzada**, sino también una **herramienta de transformación social y ambiental**, que nos trascienden como profesionales de la ingeniería.

La ingeniería civil demuestra su capacidad para **reimaginar el territorio**, integrando infraestructuras sostenibles en entornos naturales y sociales complejos.

Proyectos como la CHB Meirama pretenden usar el **poder de la ingeniería** para reparar, regenerar y revitalizar espacios y convertirlos en motores de desarrollo.

Más allá de la técnica, **la ingeniería civil construye futuro**: crea empleo, impulsa la economía local, mejora la resiliencia ambiental y eleva la calidad de vida de las personas.

En la transición energética y justa, la ingeniería civil es **protagonista silenciosa** pero esencial, aliada del progreso y del equilibrio entre desarrollo y sostenibilidad.



TEMA 3

GRANDES ESTRUTURAS DE BETÃO-ARMADO – Soluções avançadas de engenharia estrutural



XI ENCONTRO ENG. CIVIL

NORTE PORTUGAL — GALIZA



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camíños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Barragens, Electricidade e Tecnologias

Uma Inseparável Evolução

COM O APOIO



CCDR
NORTE



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

se te for dado lidar com a água considera a experiência e a razão

Leonardo da Vinci



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

água

agregador do génio **civil** ao génio
elétrico através da **tecnologia**
oriunda das várias
engenharias

(do génio hidráulico, ao génio mecânico, ao génio cibernético e
... .. IA)



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

barragem

na construção necessita da electricidade
na exploração participa na geração da electricidade
sempre com recurso à tecnologia + inovadora e sustentável

água + electricidade

sobrevivência e evolução Humana



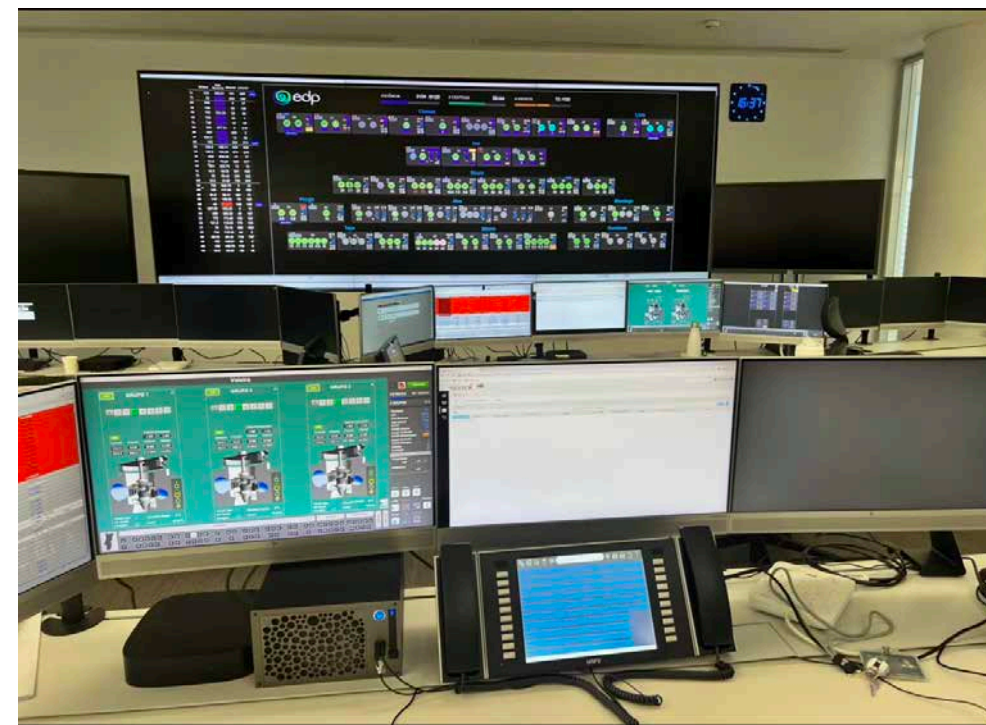
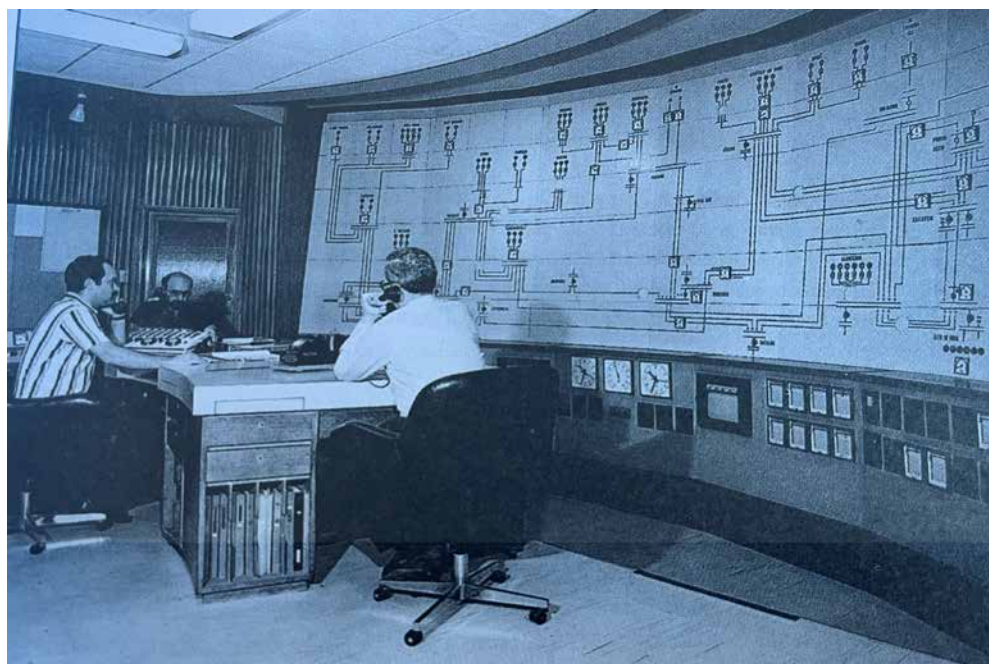
ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

tecnologia



do analógico ... ao digital



RH

(áreas civil + eletromecânica)

recrutamento em crescendo muito, muito

DIFÍCIL



RH - antes

- condições trabalho penosas
- Horários trabalho “duros”
- controlo manual sujeito a erro
- registos manuscritos risco erro
- arquivos de consulta morosa
- arquivos conservação perecível



ORDEN
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camións
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos



água, barragem, tecnologia, eletricidade » » » RH



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camíños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Civil e ambiental

- Planos de bacia
- Segurança da barragem (fissuras, infiltrações ...)
- Observação de estruturas
(medida, registo, transmissão e análise dados)
- Controlo ambiental, biodiversidade
- Controlo qualidade água albufeira
- Sedimentação
-

Electromecânico e hidráulico

- Segurança de equipamentos
- Controlo de órgãos (turbina, alternador, chumaceiras ...)
- Operação da cadeia geradora
- Assegurar geração eletricidade
- Manutenção dos equipamentos
- Registo de eventos e ocorrências
- Controlo de cheias
-

futuro é HOJE



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

- Humanos sabem **viver** sem eletricidade ? **N-Ã-O**
- Eletricidade, consumo **cresce** desmesuradamente? **S-I-M**
- Alterações climáticas **agravam**-se assustadoramente? **S-I-M**
- Transição energética credível /exequível **precisa**-se ? **S-I-M**

SOBREVIVÊNCIA (pacífica) HUMANA



HOJE _ tendências

- Hibridização ou Produção Híbrida
- Bombagem ou “baterias de água” ... !!!
- resi = renovaveis **intermitentes** ou variáveis (novas tecnologias)
- “apagões” (uma perspectiva)
- Eólicas off-shore vs segurança e defesa (uma perspectiva)
- Hidroelétricas e sustentabilidade (2021 – Declaração de San José)
- Data centres – devoradores consume electricidade – “solução”...!!!



momentos ...



momentos marcantes

CTCH único (mundo) – 11 dezembro 2000

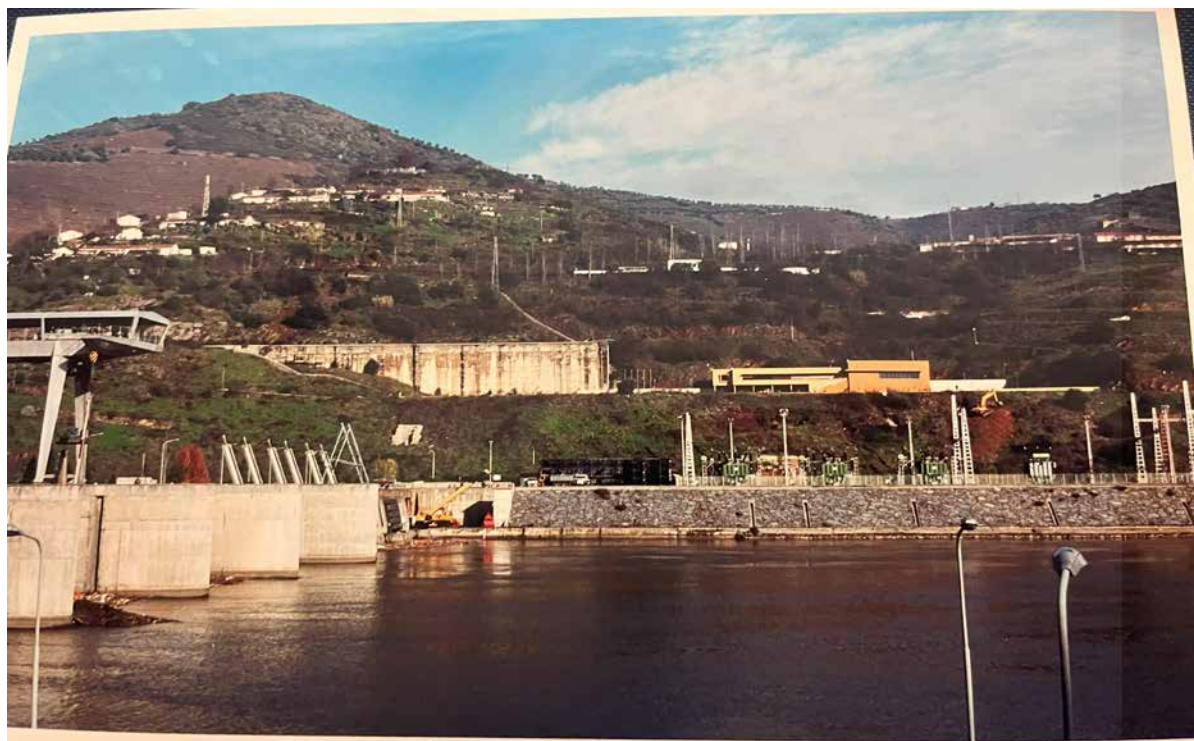


ORDEN
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos



momentos marcantes

Merowe - jan 2010



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camíños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos





ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

momentos marcantes



CBS - 27 novembro 2007

XI ENCONTRO ENX. CIVIL

NORTE PORTUGAL — GALICIA



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camíños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

ASPECTOS DIVERSOS EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PROYECTOS HIDROELECTRICOS

EXPERIENCIAS DE AIN ACTIVE

APOIO



CCDR
NORTE

ASPECTOS DIVERSOS EN DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PPHH. Experiencias Aa



ORDEN
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camíños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

- AIN Active en el ámbito de proyectos hidroelectricos
- Presas. Algunas experiencias
 - Sehuencas
 - Calachaka
 - Icona
 - Modelos hidráulicos. Apoyo al diseño
- Embalses de compensación
 - Proyecto San Jose
 - Proyecto Ivirizu
- Obras de Toma
 - Tipologias
 - Obras auxiliares
- Túneles hidráulicos y chimeneas.
 - Aspectos relevantes en el diseño
 - Refuerzos en zonas de terrenos de mala calidad geotécnica



AIN ACTIVE.

Proyectos Hidroelectricos



AIN ACTIVE

Proyectos hidroeléctricos



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

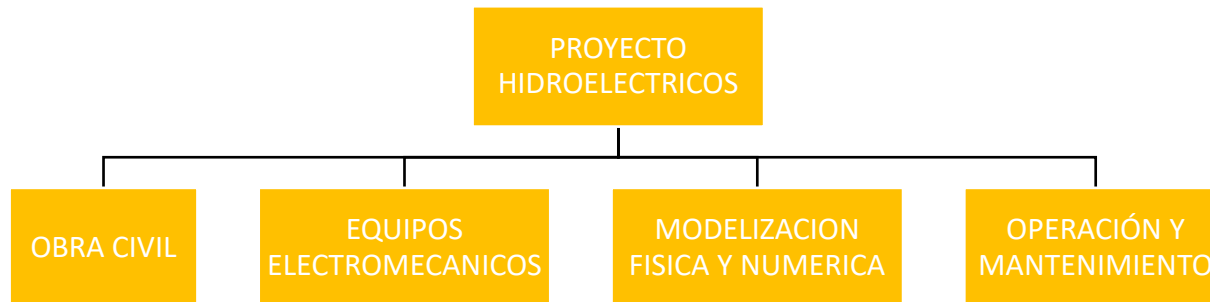
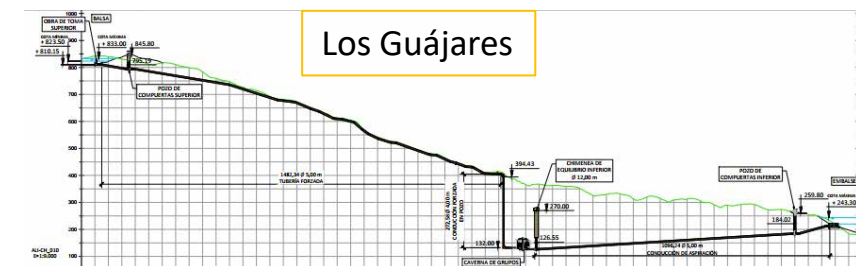
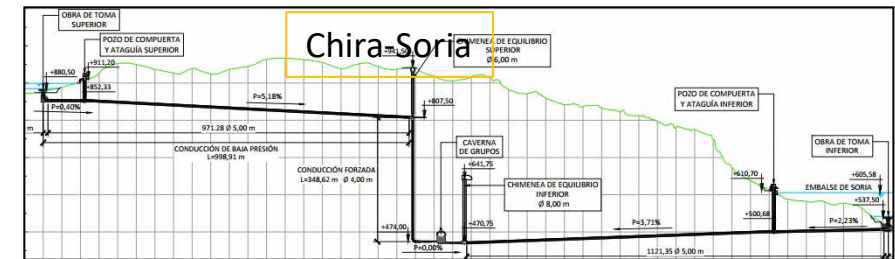
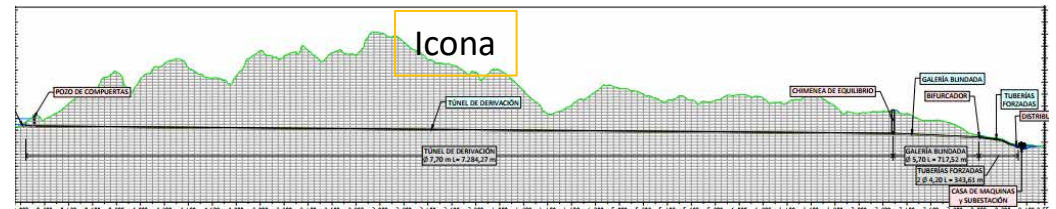
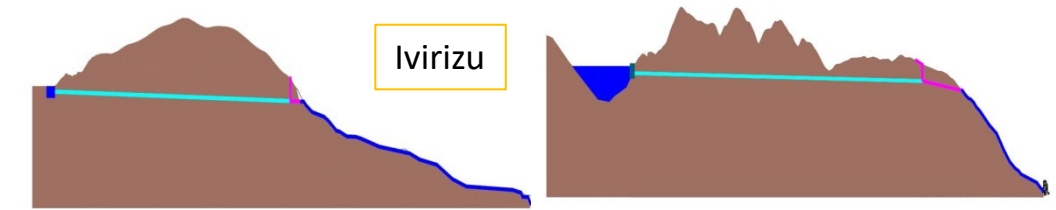
camíños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

AIN Active, desde el año 2003 viene desarrollando una parte importante de su actividad en el sector hidroeléctrico con un **alcance integral**, abarcando todos los aspectos relativos a diseño, puesta en marcha y operación de centrales hidroeléctricas.

- Obra Civil
- Equipos electromecánicos
- Modelización física y numérica
- Explotación, Operación y Mantenimiento



AIN ACTIVE

Proyectos hidroeléctricos



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

- Tubería forzada en PH San Jose



- Montaje de rotor generador. Equipo Aa OM



AIN ACTIVE

Proyectos hidroeléctricos



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

- OBRAS DE HORMIGON EN PROYECTOS HIDROELECTRICOS
 - Presas
 - Embalses de compensación horaria
 - Obras de toma
 - Revestimientos hidráulicos



Construcción obra de toma. Proyecto CH Ponte Olveira



Revestimiento de túnel. Proyecto CH Ponte Olveira



PROYECTOS HIDROELECTRICOS. PRESAS



PROYECTOS HIDROELECTRICOS. PRESAS



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camíños
Galicia

 Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Presas de PH Ivirizu, Icona y Miguillas

- Presa Sehuencas

Presa	Datos
Tipo	Gravedad recta HCR
H s/ cimiento	125 m
L coronación	326 m
V hormigón	850.000 m3



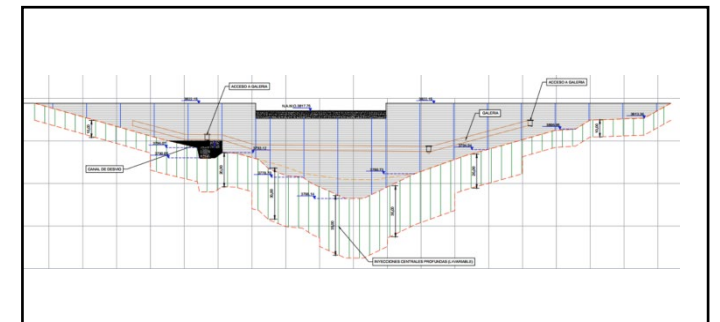
- Presa Icona

Presa	Datos
Tipo	Arco gravedad HCR
H s/ cimiento	155,18 m
L coronación	498,5 m
V hormigón	1.245.0000 m3



- Presa Calachaka

Presa	Datos
Tipo	Gravedad recta HCR
H s/ cimiento	48 m
L coronación	390 m
V hormigón	150.000 m3



PRESA DE SEHUENCAS



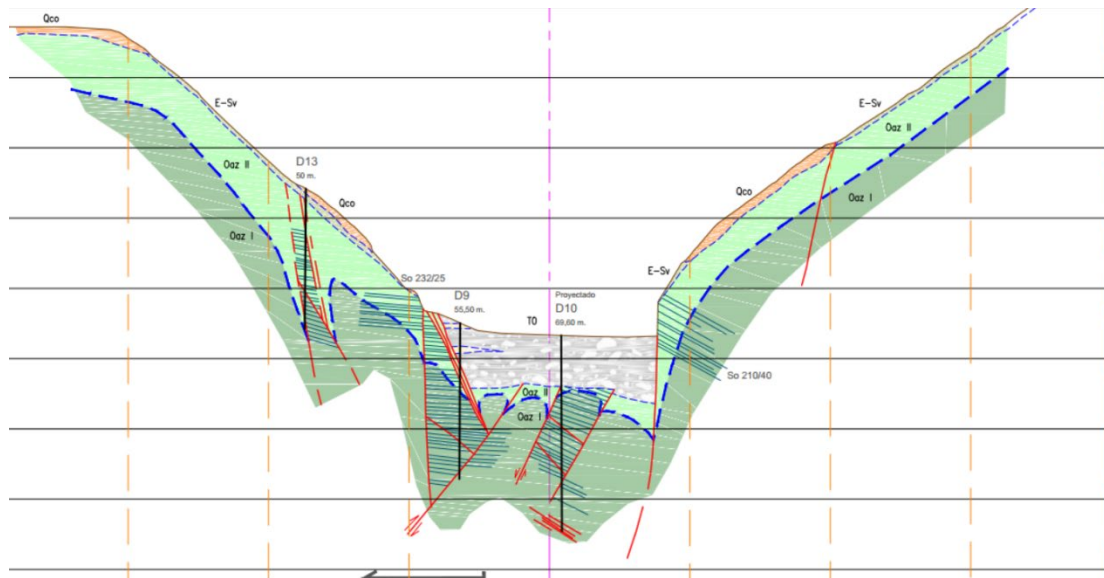
ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Perfil geotécnico fase proyecto y fase de obra. 20 m
fluvioglacial en cauce y zonas $V_p < 2500$ m/s en
superficie retiradas



Investigación geotécnica fase de proyecto (estribo
izquierda sin sondear por imposibilidad de acceso)



PRESA DE SEHUENCAS



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Emplazamiento de equipo sondeo en MI. Con grandes dificultades y escasez de medios



Emplazamiento sondeos en cauce , en momento de crecida, y punto de testificación a media ladera



PRESA DE SEHUENCAS



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camións
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Fondo de excavación glaciár (20 m de materiais fluvioglaciares)



Retirada de Materiales fluvioglaciares, vaso de la presa hormigonado y talud de excavación del cauce al fondo. Bloque lateral ya construido



PRESA DE SEHUENCAS



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camións
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Parámetros geotécnicos . Variabilidad de ladera a centro de cauce con relación de módulos <10

Tabla 5-2.- Propiedades mecánicas del macizo rocoso bloques 8, 9 y 10.

Propiedades	Símbolo	Valor	Unidades
Capacidad de carga última	qu	19,0	MPa
Cohesión	c	800,0	kPa
Ángulo de fricción	ϕ	49,0	°

Los parámetros geotécnicos del macizo rocoso se muestran en la referencia [7].

Tabla 11-1.- Propiedades mecánicas del macizo rocoso.

PROPIEDADES	SÍMBOLO	VALOR	UNIDADES
Capacidad de carga última	qu	1,70	MPa
Cohesión	c	100,0	kPa
Ángulo de fricción	ϕ	31,0	°

Ver referencia [7].

Tabla 42-1.- Propiedades mecánicas del macizo rocoso.

Propiedades	Símbolo	Valor	Unidades
Capacidad de carga última	qu	5,3	MPa
Cohesión	c	500,0	kPa
Ángulo de fricción	ϕ	42,0	°

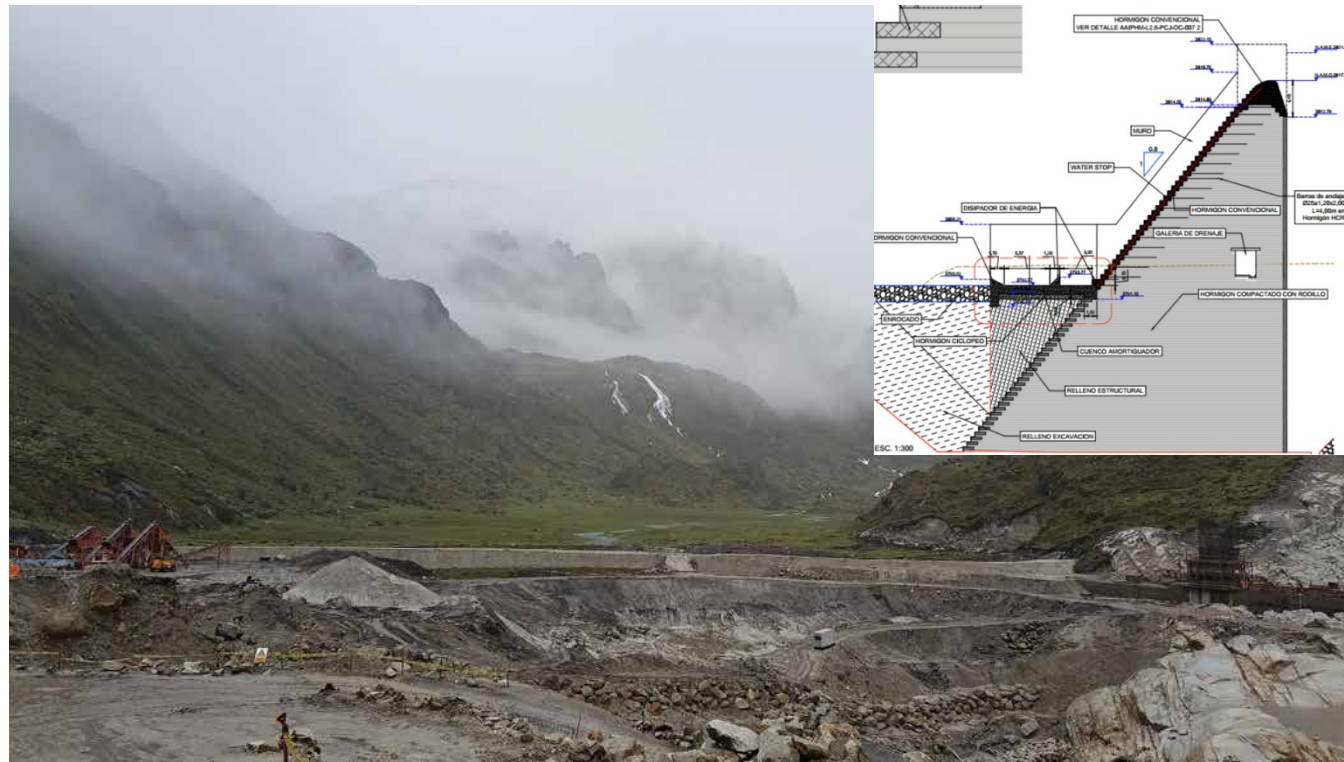
Ver referencia [7].

Vistas de la presa , casi finalizada



PRESA DE CALACHAKA

Emplazada a cota +3900, se ha planteado una presa de gravedad de HCR . La presencia de morrenas glaciares ha dado lugar a un cimiento irregular y elevadas dificultades de excavación, añadidas por el entorno en que se encuentra



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Eje de la presa con apertura de excavación



PRESA DE CALACHAKA



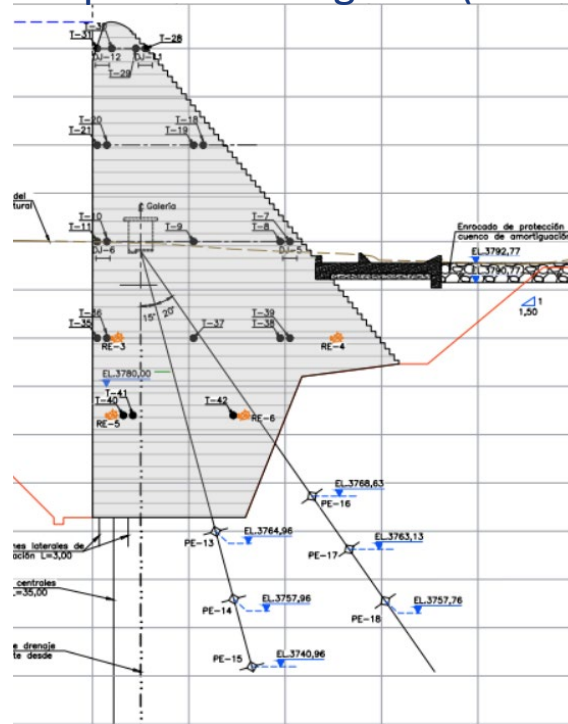
ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colégio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Depósito de morrenas que ha obligado a profundizar el cimiento hasta 15 m por debajo del nivel normal de cimentación. Trabajos de regularización del asiento de presa en imágenes (dcha)

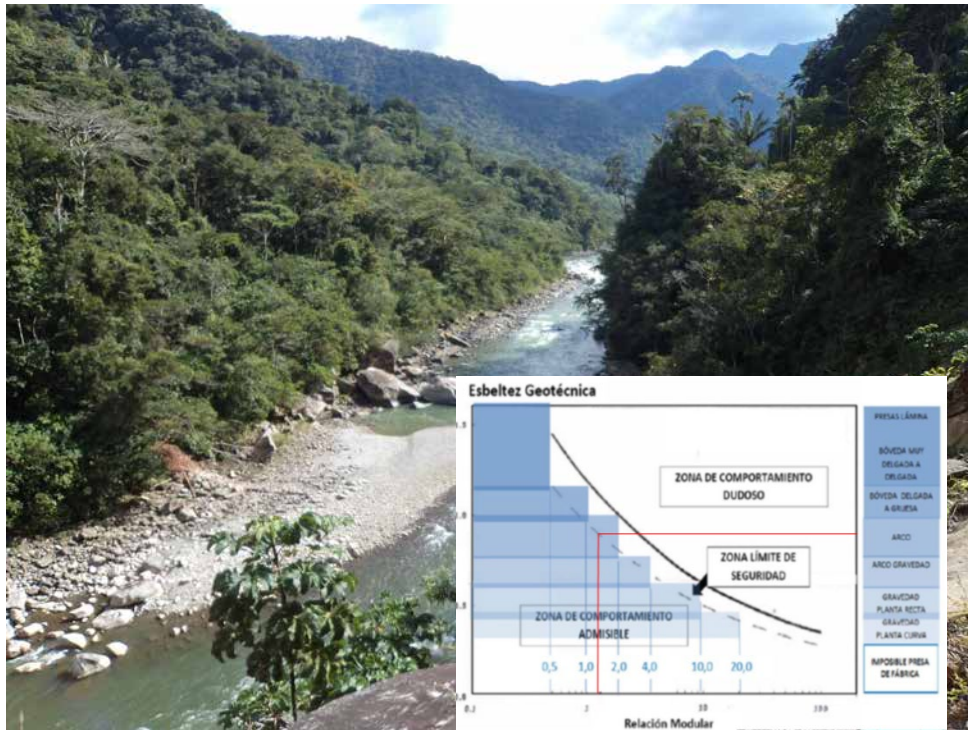


Modelado glaciar, estrías y oxidación de los sulfuros de las discontinuidades



PRESA DE ICONA

Se trata de una presa de **HCR arco gravedad de 160 m de altura**, donde los depósitos aluviales superan 20 m , pero se dispone de un macizo rocoso con un módulo de 17 Gpa adecuado para apoyo del arco de la presa



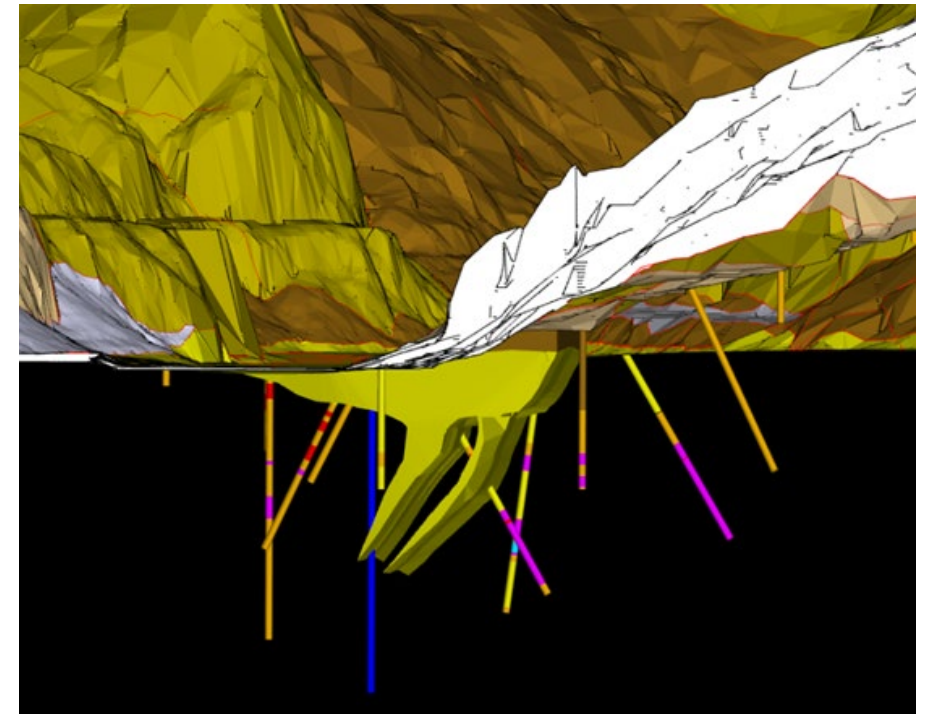
ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camíños
Galicia



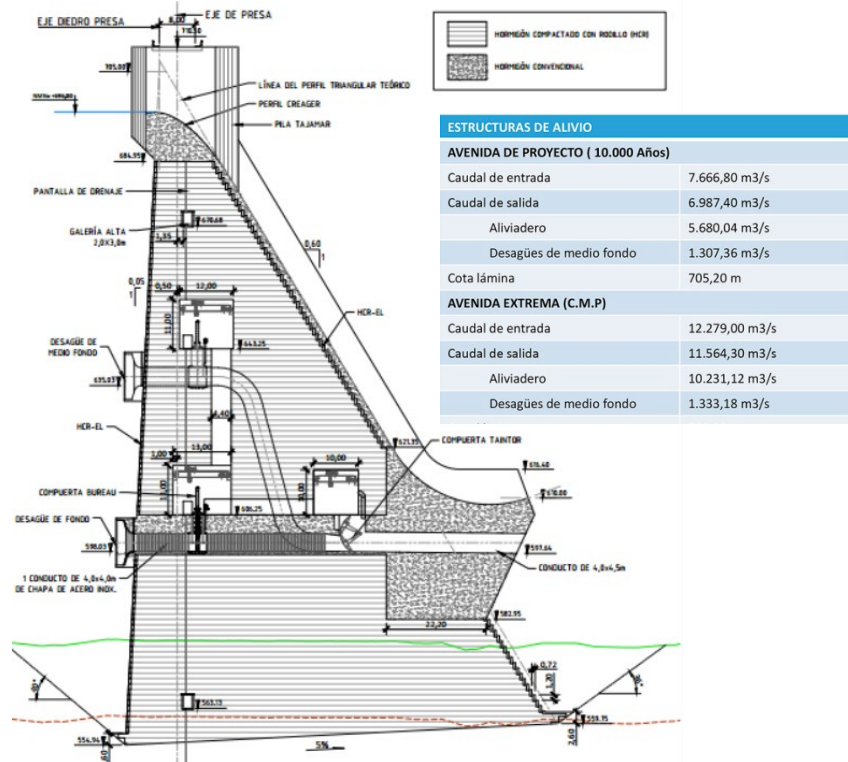
Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

La **campaña geotécnica** resulto complicada , permitió determinar el macizo indicado y aluvial en cauce con **Fracturas rellenas de materiales aluviales por la erosión glaci**

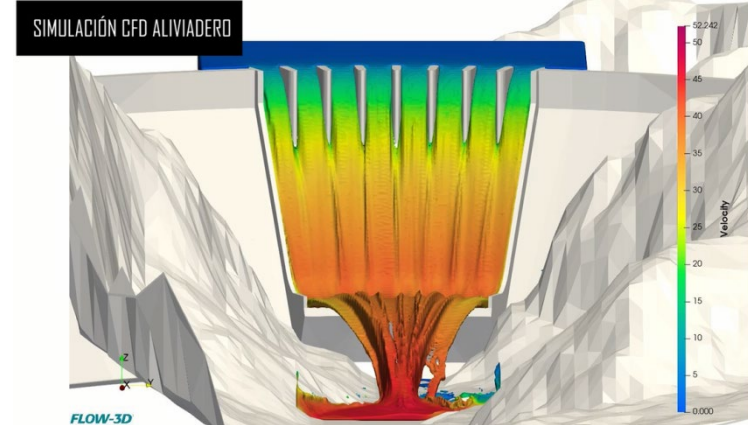
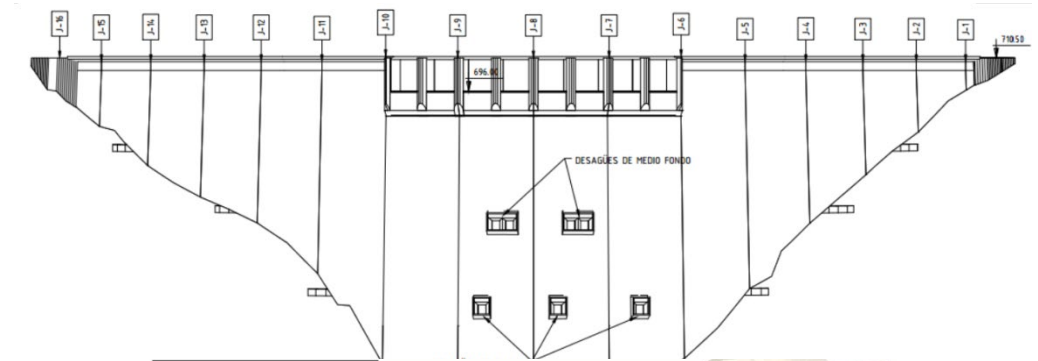


PRESA DE ICONA

Se dispone un **aliviadero liso**, con cajeros convergentes modelizado y analizado mediante aplicación Flow 3D, para una avenida extrema de 12,279 m³/s

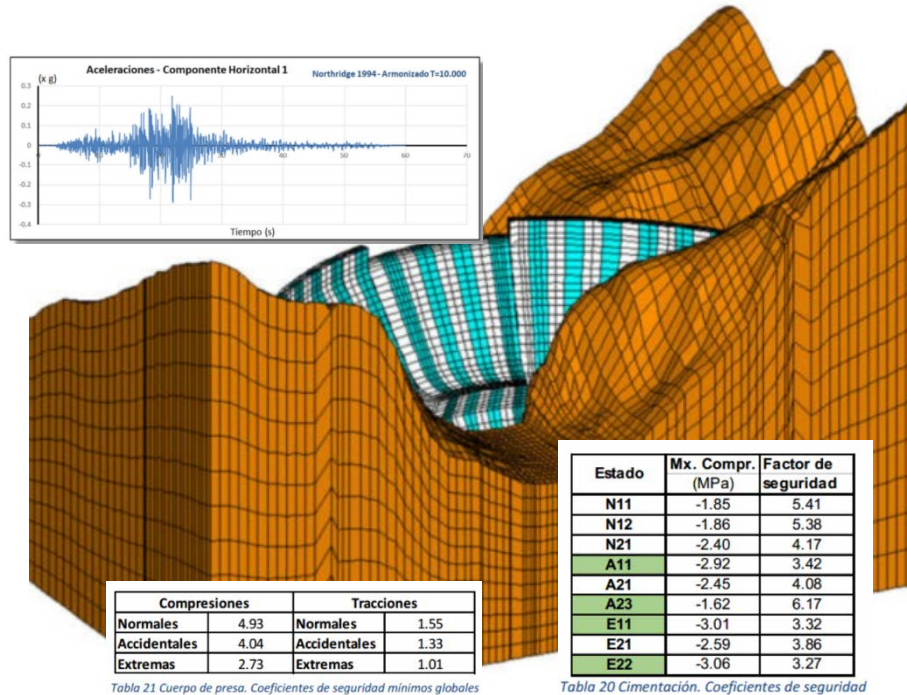


Siendo la **sedimentación** un problema de la cuenca se disponen 3 desagües de fondo + 4 de medio fondo y se simulan operaciones de flushing periódicas para evacuación de sedimentos mediante aplicaciones CFD e Iber



PRESA DE ICONA

Cálculo dinámico mediante programa ANSYS para un terremoto extremo con una $a_v \text{ max} = 0,25 \text{ g}$ y acelerogramas obtenidos a partir de estudio sismo tectónico propio



Estado	Mx. Compr. (MPa)	Factor de seguridad
N11	-1.85	5.41
N12	-1.86	5.38
N21	-2.40	4.17
A11	-2.92	3.42
A21	-2.45	4.08
A23	-1.62	6.17
E11	-3.01	3.32
E21	-2.59	3.86
E22	-3.06	3.27

Tabla 20 Cimentación. Coeficientes de seguridad



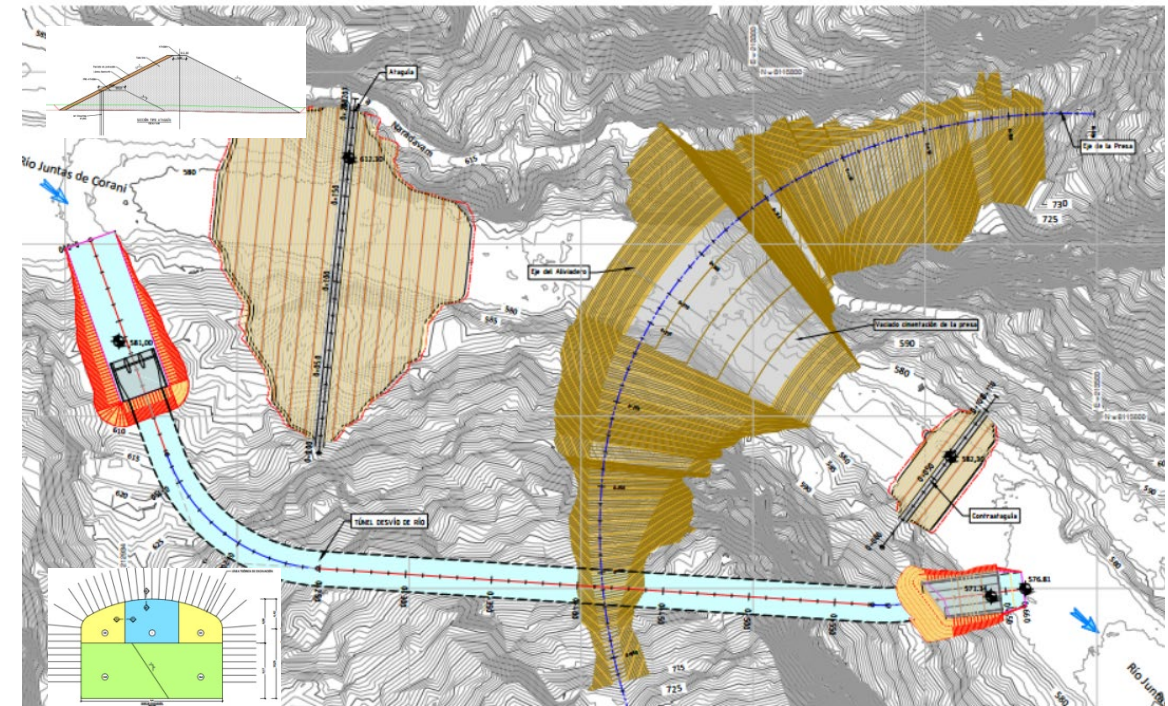
ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Collexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Procedimiento constructivo mediante túnel de desvío para $Q=2000 \text{ m}^3/\text{s}$ $20,50 \times 14,17 \text{ m}^2$ de sección útil



PRESA DE ICONA



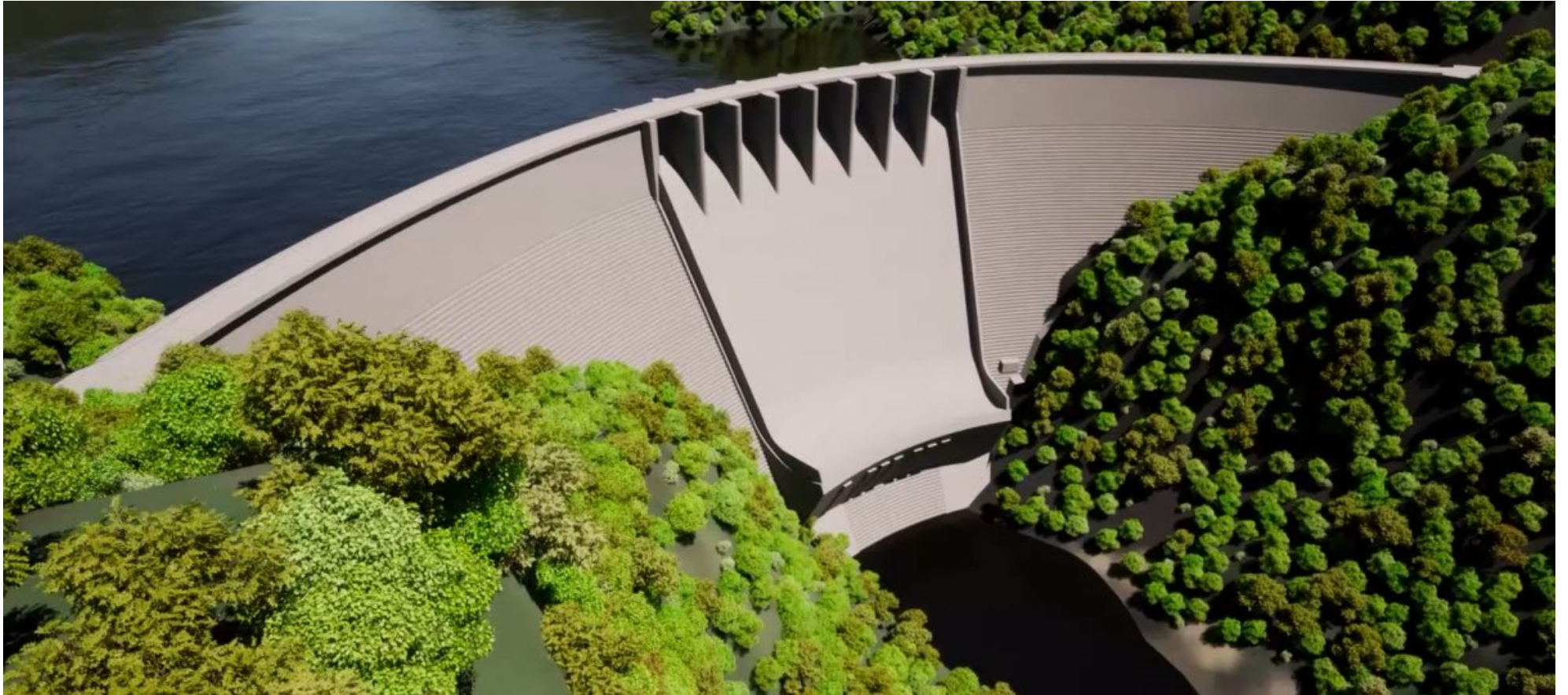
ORDEN
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Infografía 3D de la presa



PRESAS. APOYO DISEÑO. MODELIZACION FISICA



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

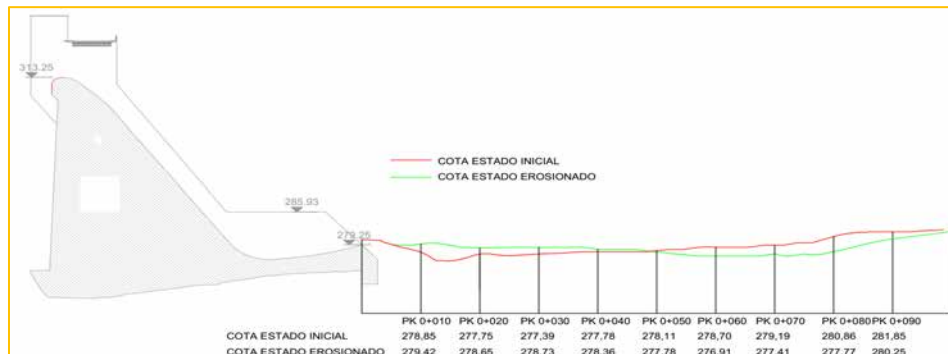
camións
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

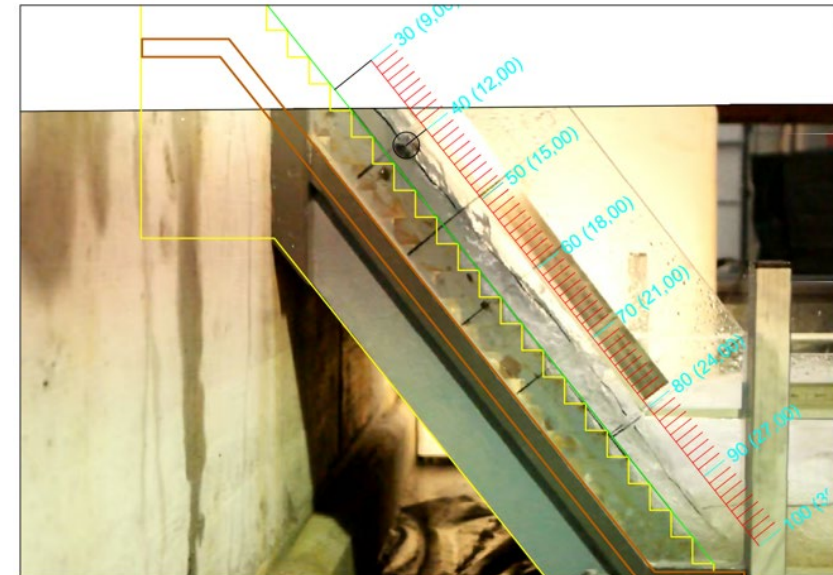
MODELO DE LECHO MÓVIL . OBJETIVOS DEL MODELO

- Caudal que puede ser desaguado
- Necesidad de incremento de alturas de cajeros
- Analizar las erosiones en el cauce para el máximo caudal



ALIVIADEROS ESCALONADOS.OBJETIVOS MODELO

Contraste de velocidades y aceleraciones para análisis de efectos sobre hormigón



Tiempo (s)	Velocidad (m/s)	Aceleración (m/s ²)	Posición Modelo (m)	Posición Teórica (m)
0,0167	2,543	3,045	0,413	0,399

PRESAS. APOYO DISEÑO. MODELIZACION FISICA



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camíños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Presa de Beniarrés. Aumento de capacidad alivio mediante nuevo aliviadero lateral. Modelo físico



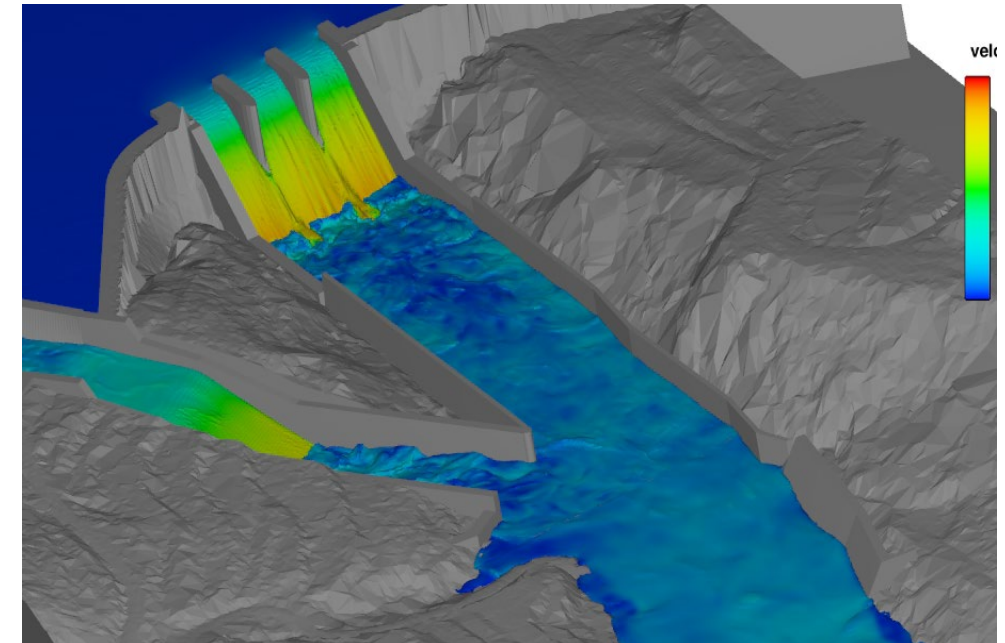
ESCALA DEL MODELO: 1/45

CAUDALES DE DISEÑO:

Avenida de proyecto: 146 l/s (1.996 m³/s en Prototipo)

Avenida extrema: 233 l/s (3.178 m³/s en Prototipo)

Presa de Beniarrés. Modelo numérico.



- **OBETIVOS:**
 - o capacidad conjunta de ambos aliviaderos
 - o funcionamiento del aliviadero lateral
 - o optimizar cuencos amortiguadores

PRESAS. APOYO DISEÑO. MODELIZACION FISICA

Presa de Doiras. Estudio de funcionamiento del aliviadero. Modelo físico

ESCALA DEL MODELO: 1/40

CAUDALES DE DISEÑO:

Avenida de proyecto: 180,59 l/s (1,827,51 m³/s en Prototipo)

Avenida extrema: 256,90 l/s (2,600,16 m³/s en Prototipo)

Estudio de ondas de choque en embocadura

Verificar el funcionamiento del aliviadero para las avenidas de proyecto y extrema

Estudio de tránsito en curva del canal

Análisis de la restitución

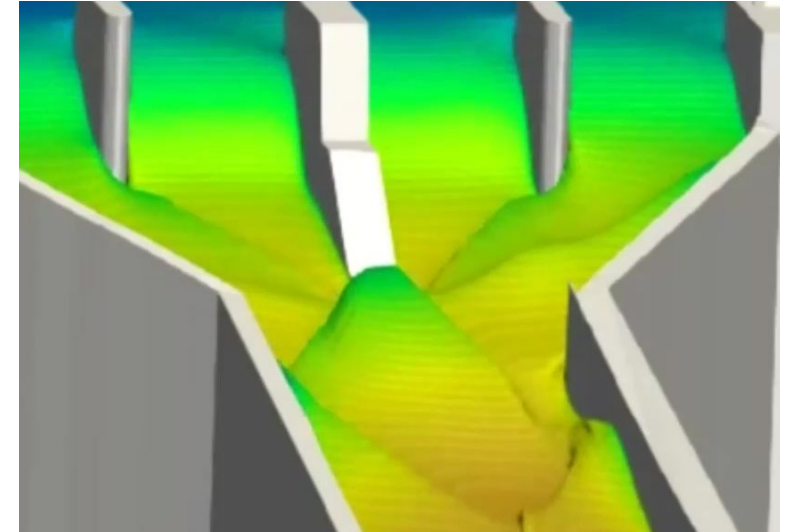


ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camíños
Galicia

 Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Presa de Doiras . Modelo numérico.





PROYECTOS HIDROELECTRICOS. EMBALSES DE COMPENSACION



EMBALSE DE AGUAS CLARAS. PH SAN JOSE

Embalse de Aguas Claras en PH San Jose, Balsa de 150.000 m³. Muros ménsula de HA h=12,0 m sobre relleno de escollera hormigonada en base de cimiento



ORDEN
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camións
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Asiento sobre depositos aluviales , ha requerido mejora del asiento de cimiento y proteccion de la base contra crecidas , que alcanzan nivel elevado sobre alzado del muro



EMBALSE DE JUNTAS. PH IVIRIZU

Embalse de Juntas en PH Ivirizu , Balsa de 100.000 m3. Muros ménsula de HA h=12,0 m



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Coloxio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Embalse de Juntas en PH Ivirizu . Vista obra finalizada. Se aprecia conjunto de obra de toma y alimentacion mediante acueducto procedente de restitution central de Sehuencas, combinando múltiples estructuras todas ellas de HA: puente carretero, azud, desarenador , acueducto y balsa.



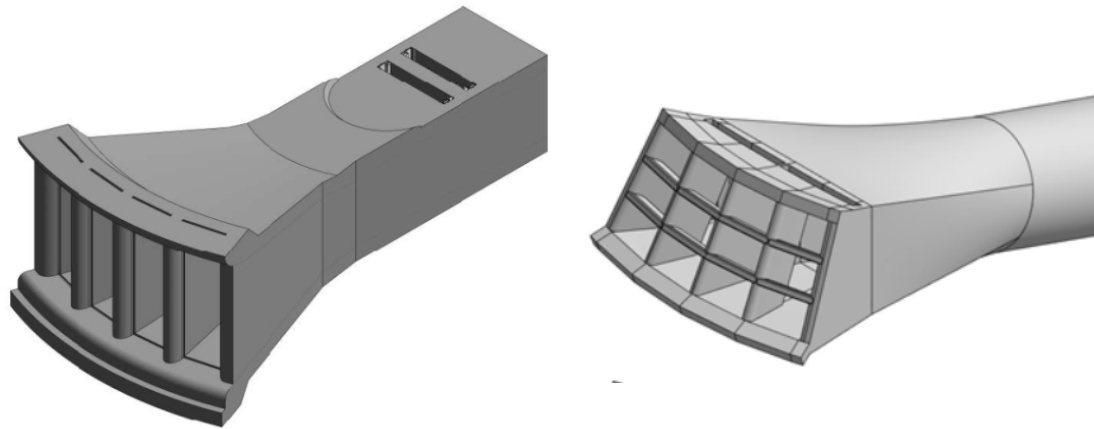


PROYECTOS HIDROELECTRICOS. OBRAS DE TOMA

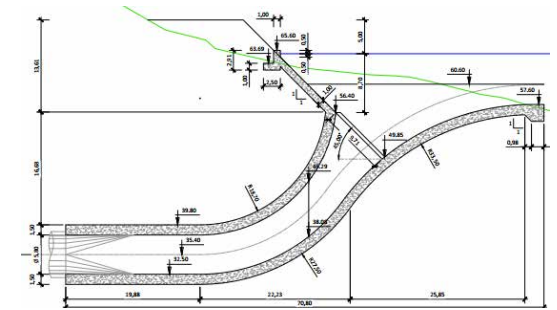
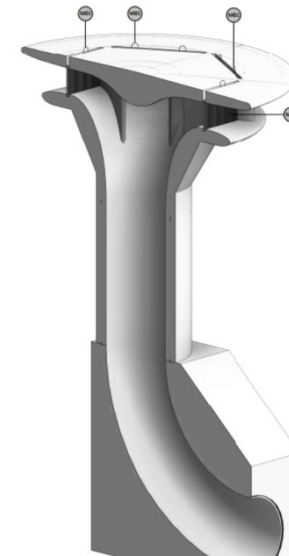


OBRAS DE TOMA.TIPOLOGIAS

Las obras de toma hidroelectricas , como estructuras de HA presentan la particularidad en general de requerir **superficies con formas especiales** lo que encarecen ejecución.



TOMAS LATERALES



TOMAS POZO / SUMIDERO

Además requieren con frecuencia **obras auxiliares** para su ejecución (ataguías, obras subacuáticas)

OBRAS DE TOMA. OPTIMIZACION GEOMETRIA



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

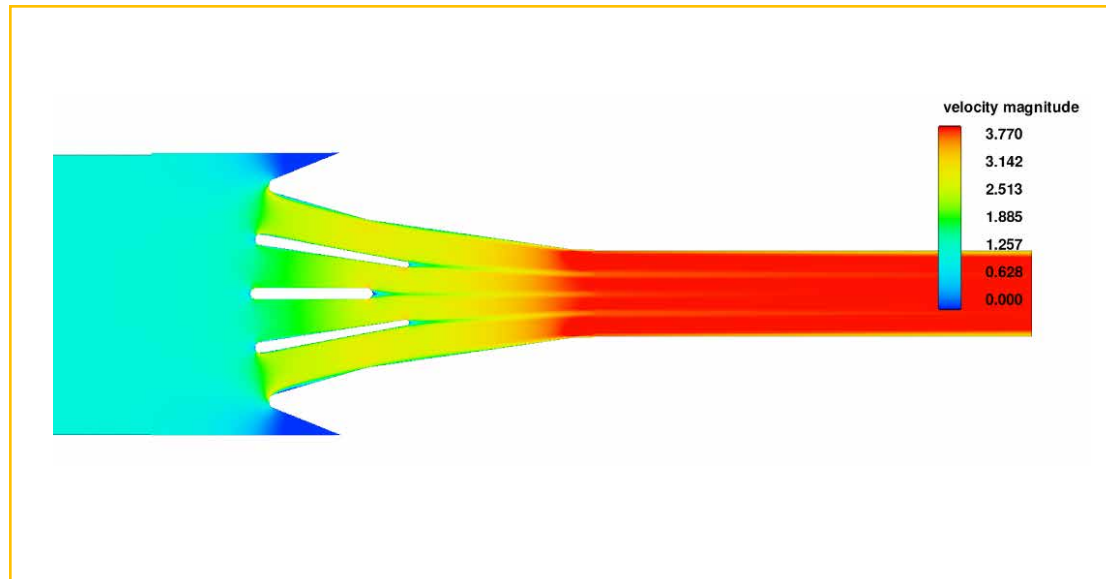
camiños
Galicia



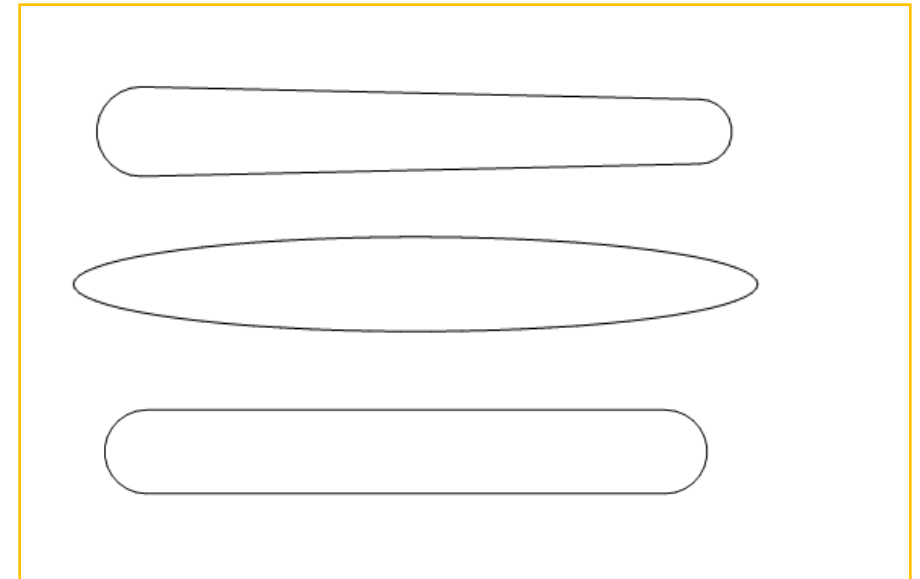
Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Análisis CFD , al objeto de conseguir

- mejor funcionamiento hidráulico
- formas geométricas que permitan la mayor facilidad constructiva
- Zonas con mayor potencial erosivo sobre el hormigón

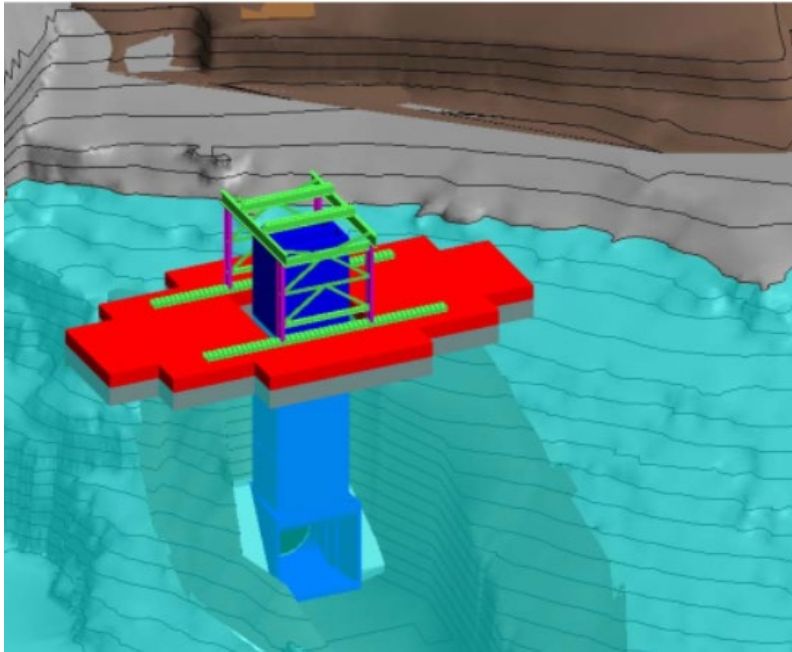


Análisis de formas óptimas de partidores /distribuidores de caudal en obras de toma



OBRAS DE TOMA. METODOS CONSTRUCTIVOS

Toma ejecutada desde pontona , en avance descendente soportada por gruas hasta su apoyo en fondo de embalse ejecutada por Lopez Cao SL en Embalse Fervenza



Vista de pontona, conformada por contenedores adosados con hueco intermedio para descenso de estructura



ORDEN
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

OBRAS DE TOMA. METODOS CONSTRUCTIVOS



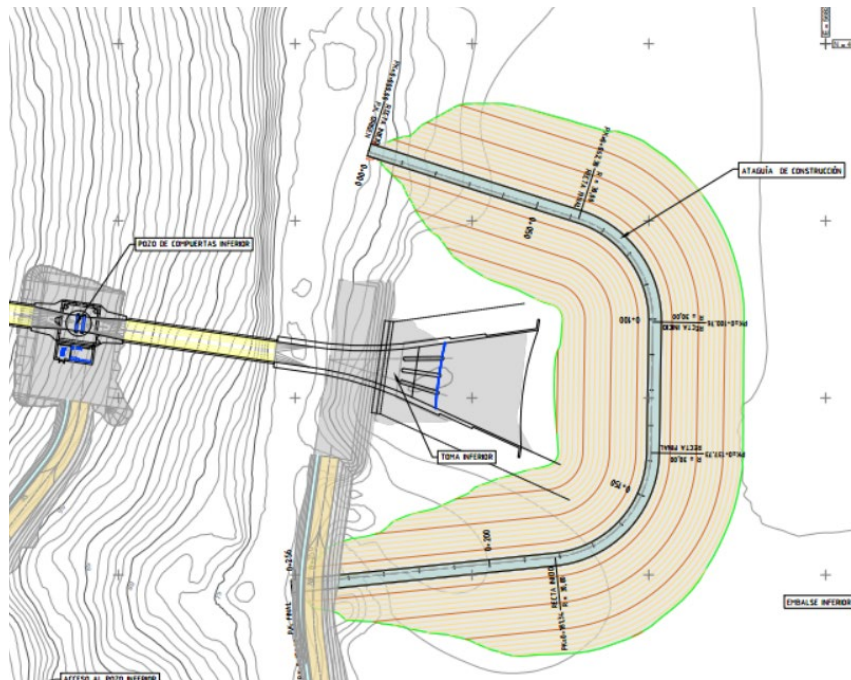
ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia

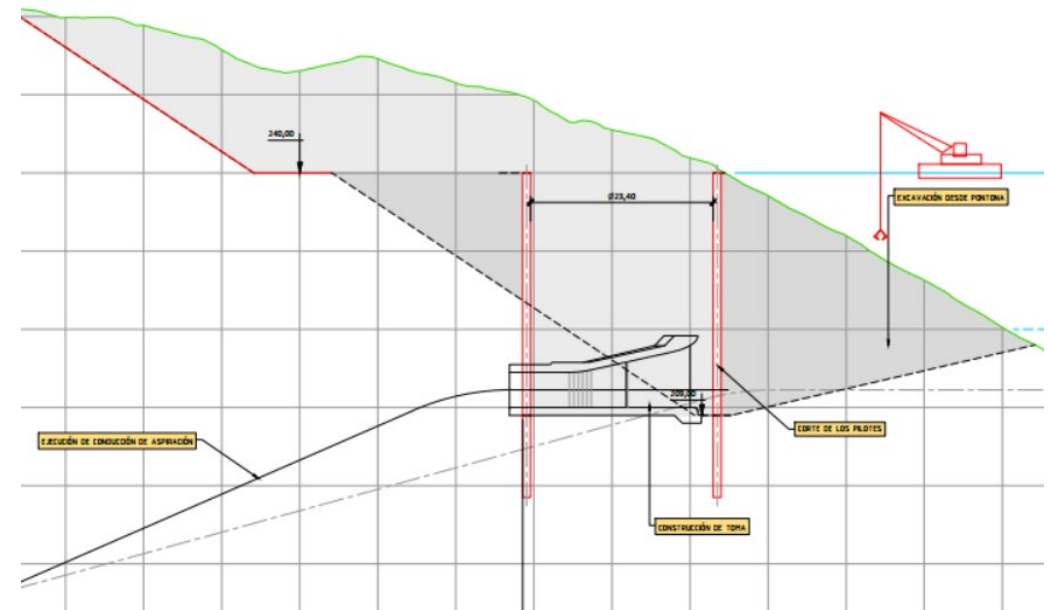


Collexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Ejecución de toma en seco , mediante protección de la zona de trabajo con ataguía de tierras provisional



Ejecución de toma en seco , mediante ejecución de pozo auxiliar circular conformado por pilotes secantes arriostrado mediante anillos en varios niveles de la excavación.





PROYECTOS HIDROELECTRICOS. REVESTIMIENTOS TUNELES Y CHIMENEAS



REVESTIMIENTOS HIDRAULICOS. POZOS

PROCESO CONSTRUCTIVO

Instalaciones en superficie.

Grua pórtico y tolva distribuidora de hormigón



Instalaciones en superficie.

Revestimiento mediante encofrado trepante(CH Novo Castrelo)



ORDEN
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



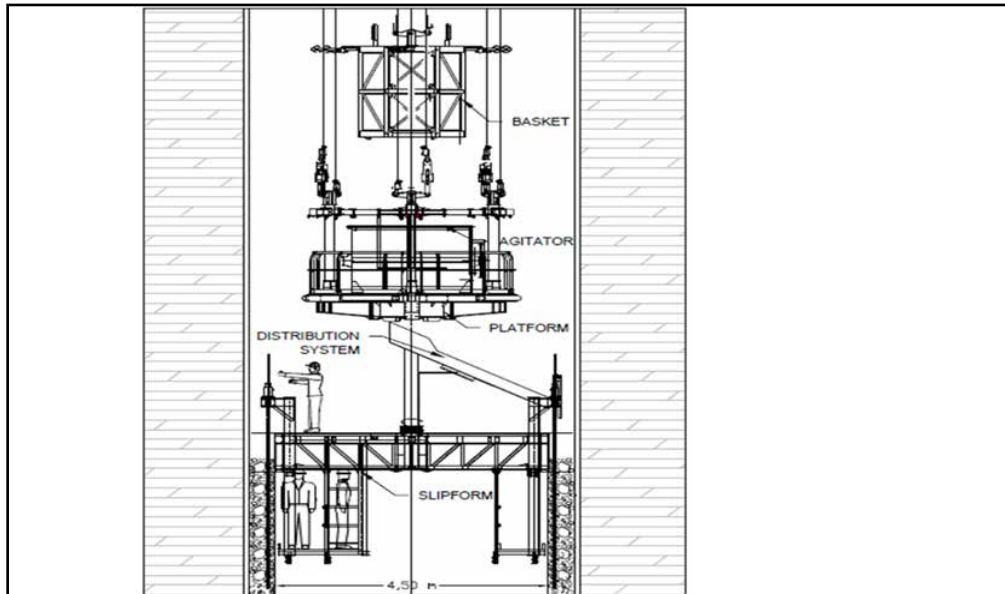
Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

REVESTIMIENTOS HIDRAULICOS. POZOS

PROCESO CONSTRUCTIVO

Encofrado deslizante con plataformas y medios de puesta en obra del hormigón

Encofrado deslizante y Plataforma de trabajo con el agitador en la parte de superior y distribuidor de hormigón en la inferior



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

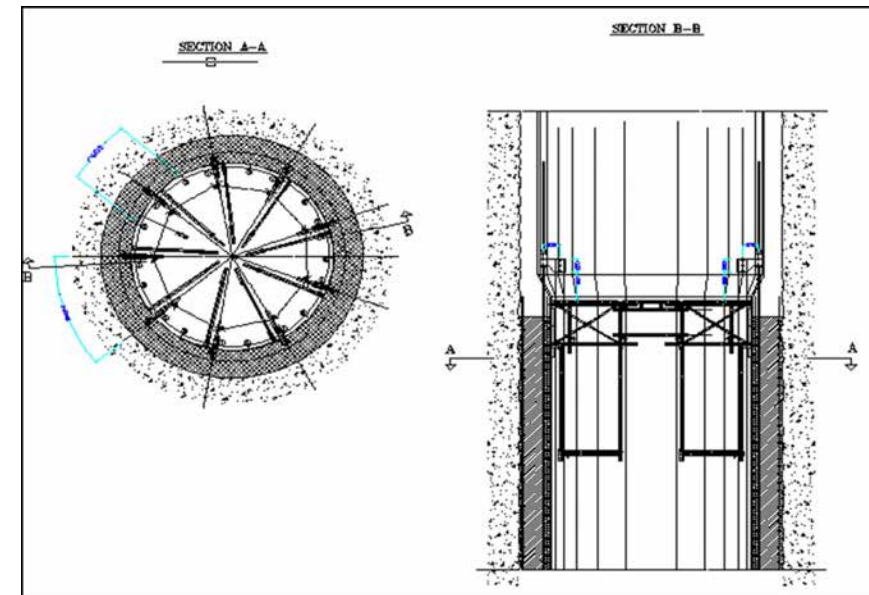
camíños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

En cofrado deslizante

Revestimiento mediante encofrado trepante(CH Novo Castrelo)



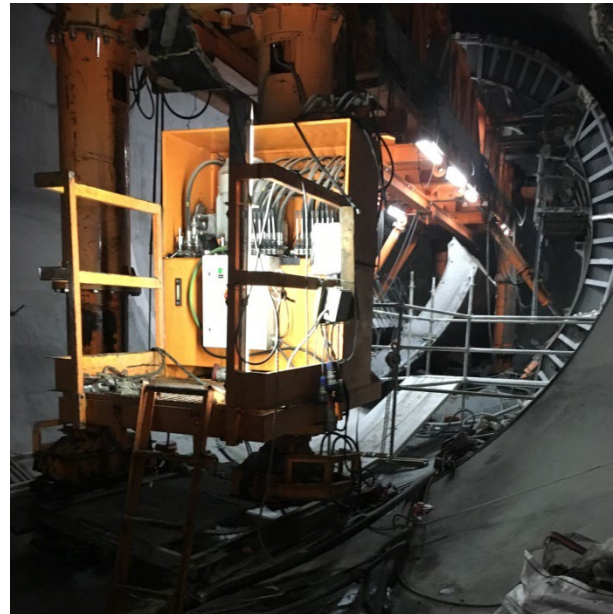
REVESTIMIENTOS HIDRAULICOS. TUNELES

PROCESO CONSTRUCTIVO

Carros hormigonado



Sección herradura



Sección circular

Carro hormigonado 2
fases



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camións
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos



ANÁLISIS DE REVESTIMIENTOS

ACCIONES , CONDICIONES DE CONTORNO Y SITUACIONES DE ANALISIS



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

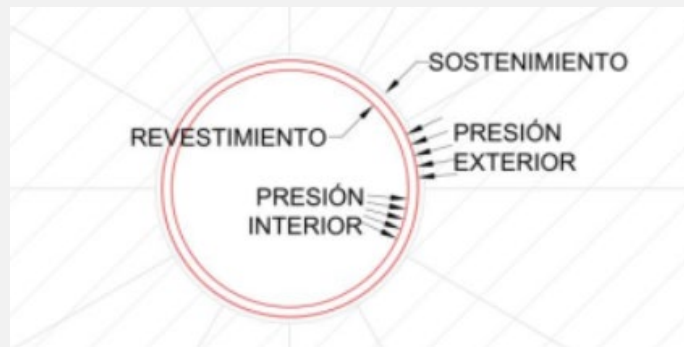
camiños
Galicia



Colégio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

- **Condiciones de contorno**

- o Condiciones geotécnicas macizo rocoso
 - Rigidez
 - Permeabilidad
- o Limitación de filtraciones /apertura de fisura



- **Acciones**

- o Presión interior
 - Permanente (funcionamiento normal)
 - Transitoria (con golpe de ariete)
- o Presión exterior (nivel freático o recargado)

- **Situaciones de cálculo**

- o P. interior + P. exterior. mín. compatible
- o P. exterior (vaciado rápido)

ANÁLISIS DE REVESTIMIENTOS

CALCULO A PRESIÓN EXTERIOR

- Carga radial exterior sobre anillo
- Funcionamiento a axil puro de compresión
- Sin contribución macizo rocoso (despegue)
- Limitación tensiones de compresión
- Condiciona canto revestimiento
- Alternativa -> disposición de sistema de drenaje
- Control vaciados rápidos
- Disminución de presión por permeabilidad del tunel



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

ANÁLISIS DE REVESTIMIENTOS



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

CÁLCULO A PRESIÓN INTERIOR PERMANENTE (FUNCIONAMIENTO NORMAL)

- Carga radial interior sobre anillo
- Funcionamiento a axil puro de tracción
- Contribución del macizo rocoso
 - Interacción mecánica -> compatibilidad de deformaciones en contacto revestimiento – macizo
 - Mayor canto anillo -> menor contribución macizo en el reparto de carga
 - Para axil puro, el aumento de canto no reduce armadura
- Presión exterior mínima compatible (nivel freático mín. o recargado)
 - Si se admiten filtraciones (revestimiento permeable), la presión exterior será al menos la compatible con la presión interior de funcionamiento normal, nivel recargado desde conducción

ANÁLISIS DE REVESTIMIENTOS



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camións
Galicia

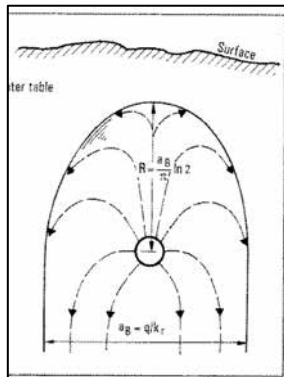


Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

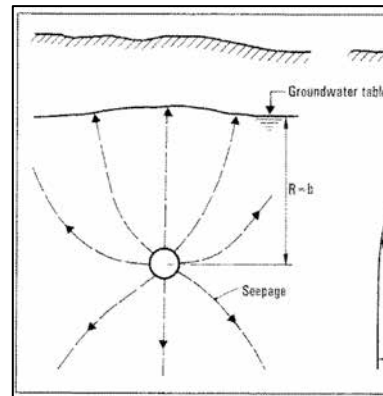
Análisis de filtraciones y presión exterior

Interacción hidráulica -> Continuidad del flujo hidráulico en el sistema revestimiento – macizo

Ejemplos de esquemas de flujo hidráulico



Túnel sobre nivel freático



Túnel sobre nivel freático

- Permeabilidad del revestimiento
 - Limitación de filtraciones desde la conducción
 - Limitación de abertura de fisura
 - Variable en función de la sollicitación y armadura dispuesta (fisuración)
 - Relación permeabilidad macizo – permeabilidad revestimiento
- Permeabilidad del revestimiento
 - Variable en función de la sollicitación y armadura dispuesta (fisuración)
 - Relación permeabilidad macizo – permeabilidad revestimiento

ANÁLISIS DE REVESTIMIENTOS

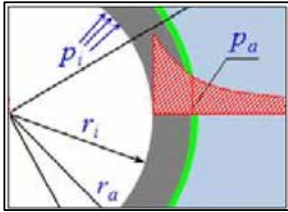
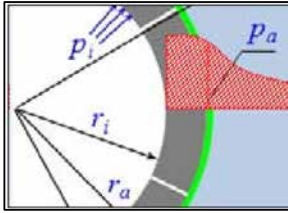


ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Permeabilidad macizo	Permeabilidad revestimiento (comparativamente)	Gradiente hidráulico en revestimiento (solicitud revestimiento)		Control de filtraciones
Referencia	Baja (más impermeable) por ejemplo diseño para abertura fisura limitada a 0.1mm	Alto (la presión se disipa rápidamente a través del macizo)		El revestimiento controla las filtraciones
Referencia	Alta (más permeable) por ejemplo diseño para abertura de fisura limitada a 0.3mm	Bajo		El macizo controla las filtraciones

ANÁLISIS DE REVESTIMIENTOS



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

PRESIÓN INTERIOR TRANSITORIA (CON GOLPE DE ARIETE)

- Estado previo (sit. permanente) + Sobrepresión transitoria
- Consideración sobrepresion transitoria (golpe de ariete)
 - Acción rápida, sin duración suficiente para alterar el estado de equilibrio de la presión exterior correspondiente a la situación permanente
 - Condiciona el diseño de armadura en Estado Límite Último
 - La situación permanente condicionaba el requerimiento de armadura en Estado Límite de Servicio (limitación de abertura de fisura)

ANÁLISIS DE REVESTIMIENTOS



ORDEN
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

CONCLUSIÓN FINAL SOBRE EL ANÁLISIS

- Para el diseño estructural optimizado de revestimientos en conducciones hidráulicas resulta de relevancia capital el análisis de la interacción hidráulica, además de la interacción mecánica, del sistema revestimiento-macizo.

XI ENCONTRO ENX. CIVIL

NORTE PORTUGAL — GALICIA



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

GRANDES ESTRUTURAS DE BETÃO-ARMADO - Soluções avanzadas de engenharia estrutural

Fernando Martínez Abella

APOIO



CCDR
NORTE

Presas en España



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

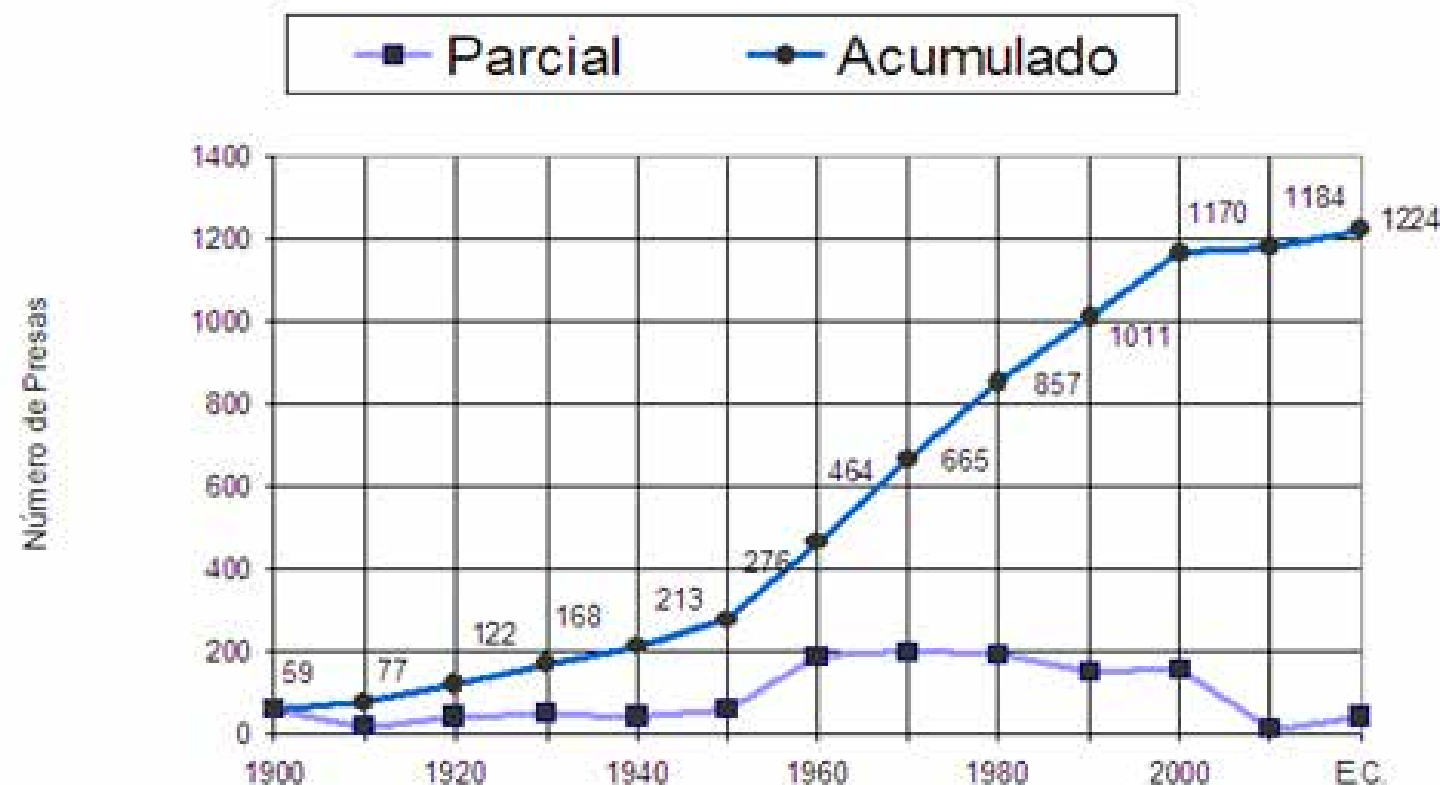
camións
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Decenio	Presas	Porcentaje
Antes De 1900	60	1,65 %
1900-1909	23	0,63 %
1910-1919	66	1,81 %
1920-1929	48	1,32 %
1930-1939	60	1,65 %
1940-1949	87	2,39 %
1950-1959	227	6,23 %
1960-1969	278	7,63 %
1970-1979	258	7,08 %
1980-1989	243	6,67 %
1990-1999	252	6,92 %
Posteriores al 2000	182	5,00 %
Sin fecha	1.859	51,03 %

CONSTRUCCIÓN DE PRESAS EN ESPAÑA



Presas en España



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Criterio	Presas	Porcentaje
Menores de 15m.	2.057	56,84 %
Entre 15 y 30m.	722	19,95 %
Entre 30 y 60m.	498	13,76 %
Entre 60 y 100m.	197	5,44 %
Mayores de 100m.	52	1,44 %
Sin altura	93	2,57 %

Tipología	Número de Presas	Porcentaje
Arco gravedad	72	1,99 %
Bóveda	69	1,91 %
Bóvedas múltiples	5	0,14 %
Gaviones	5	0,14 %
Gravedad (contrafuertes)	45	1,24 %
Gravedad (hormigón compactado)	58	1,60 %
Gravedad (hormigón vibrado)	1.052	29,07 %
Gravedad (mampostería)	221	6,11 %
Materiales sueltos con pantalla asfáltica	52	1,44 %
Materiales sueltos con pantalla de hormigón	83	2,29 %
Materiales sueltos con pantalla de mampostería	22	0,61 %
Materiales sueltos con pantalla de material sintético	306	8,46 %
Mixta	43	1,19 %
Móvil/hinchable	5	0,14 %
Sin tipología	267	7,38 %
Tierras/escollera (zonificada)	266	7,35 %
Tierras (homogénea)	1.048	28,96 %

Presas en España



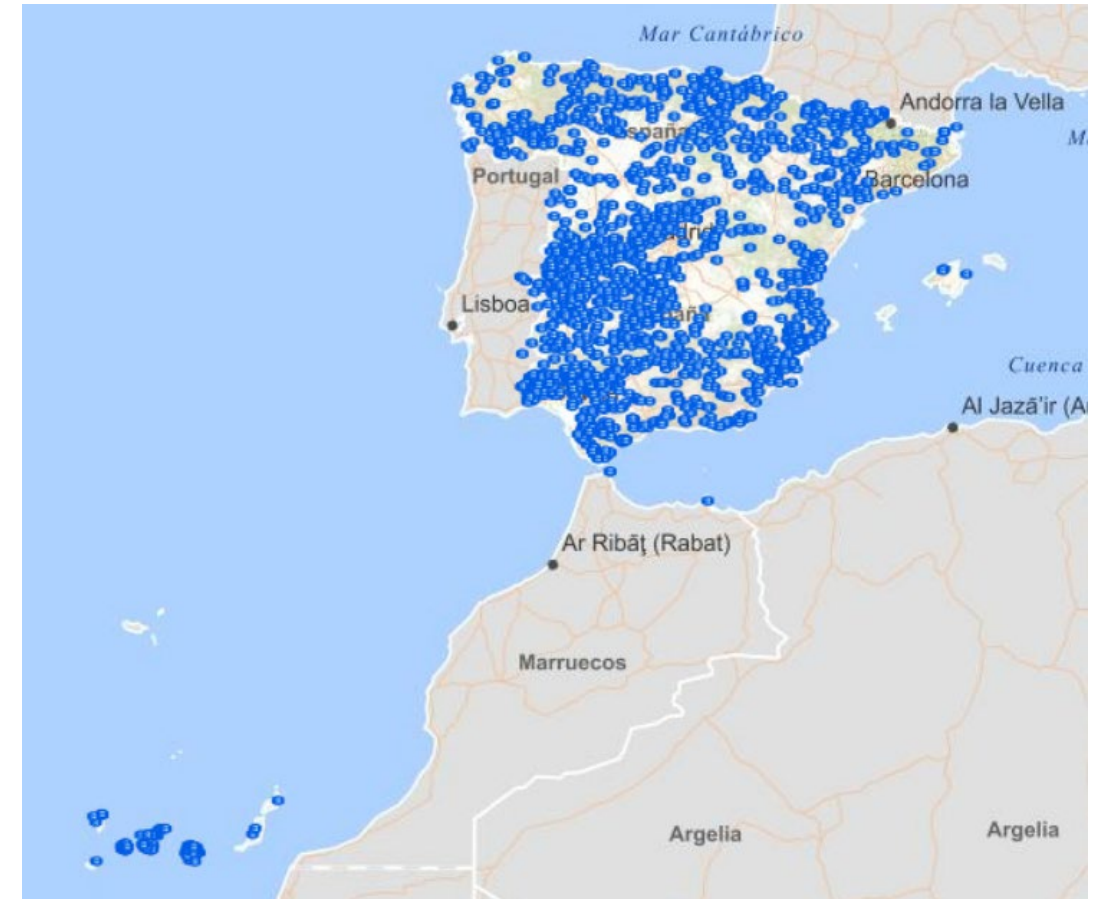
ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

- La construcción se ha ralentizado
 - Pocos lugares idóneos
 - Impacto ambiental / presión social
 - Indefinición futuro energético
- Predominio de la gestión de las infraestructuras
 - Técnicas de análisis / cálculo
 - Monitorización
 - Efectos del cambio climático



Presas en España



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

- Construcción de nuevas presas de hormigón
 - Modelos de cálculo
 - Materiales sostenibles y eficientes
 - Cementos de bajo calor de hidratación
 - Cementos con menos clínker
 - Hormigones exentos de reacciones negativas a largo plazo
 - Hormigones con capacidad de autorreparación
 - Industrialización
 - Monitorización

Gestión y mantenimiento de presas

- Se estima que un 5% de las presas en España están afectadas por reacciones expansivas
- Experiencia en la presa de Belesar

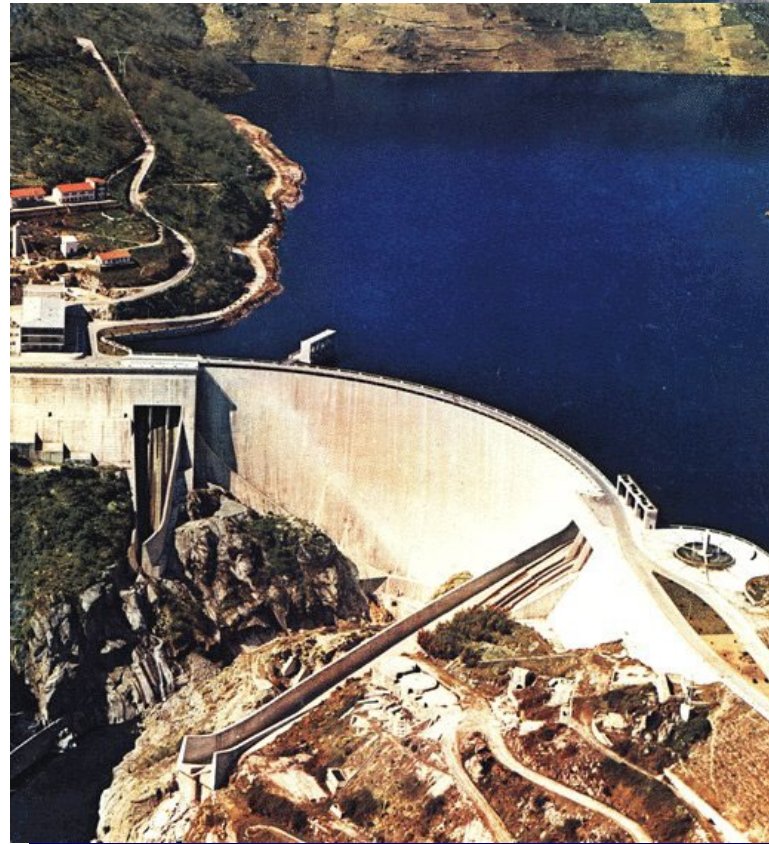


ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camións
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos



Belesar: diagnóstico de R. A. S. (1)

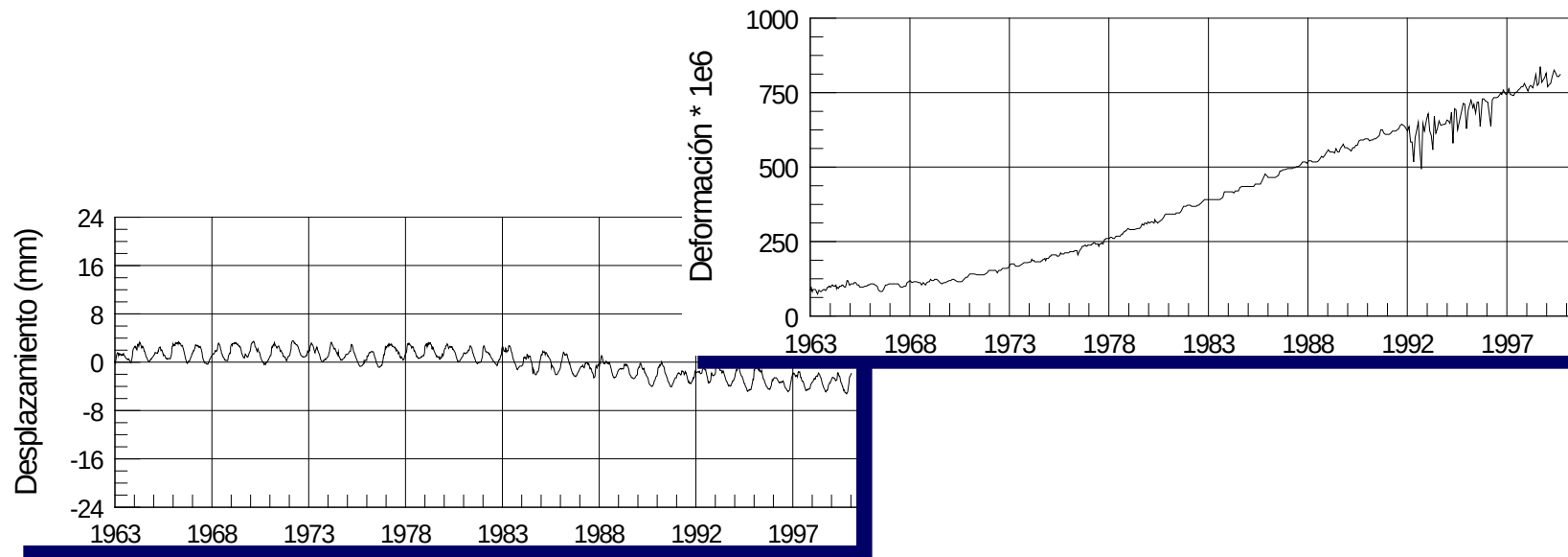


ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Coloxio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos



PUNTO	VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO 1966 – 1980	VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO DESDE 1980
Coronación de B14	0.31 mm/año	1.31 mm/año
Coronación de B4	0.26 mm/año	2.33 mm/año
Coronación de B3	0.44 mm/año	2.83 mm/año
Coronación de B13	0.81 mm/año	2.31 mm/año

Procedimiento operativo



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

1. OBTENCIÓN DE HISTORIAS DE DEFORMACIÓN $\varepsilon_i(\sigma^i, t)$

2. ESTIMAR PRESIÓN DE INHIBICIÓN σ_0^*

3. DESCONTAR DEFORMACIÓN EXPANSIVA

$$J_i(t, t') = \frac{\varepsilon_i(\sigma^i, t) - \varepsilon_{aar}^0(t) f^*(\sigma^i)}{\sigma^i}$$

4. VERIFICAR $J_1(t, t') = J_2(t, t') = \dots = J_n(t, t') = \tilde{J}(t, t')$

5. CALCULAR PARÁMETROS B3 A PARTIR DE $\tilde{J}(t, t')$

6. OBTENER ESPECTRO DE RELAJACIÓN

7. RECONSTRUIR EL MODELO COMPLETO

Programa de extracción



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camíños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

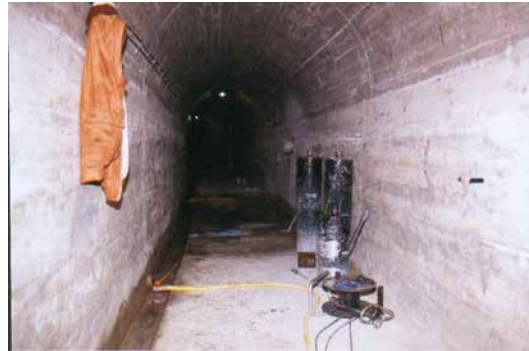
BELESAR 1



14 Ø195
6 Ø150

EXPANSIVO

BELESAR 2



12 Ø195
6 Ø150

EXPANSIVO

ALBARELLOS



10 Ø195
6 Ø150

NO EXPANSIVO

Condiciones de carga



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

	Carga kp/cm^2	Belesar 1	Belesar 2	Albarellos
Libres	0	2	2	2
	25	2	2	-
Constante	50	2	2	2
	100	2	2	2
Variable	$\Delta 1$	2	-	-
	$\Delta 3$	2	2	2
	$\Delta 8$	2	2	2

Preparación de testigos



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos



DIMENSIONES FINALES

Longitud: 520 mm
Diámetro: 195 mm

Bastidores

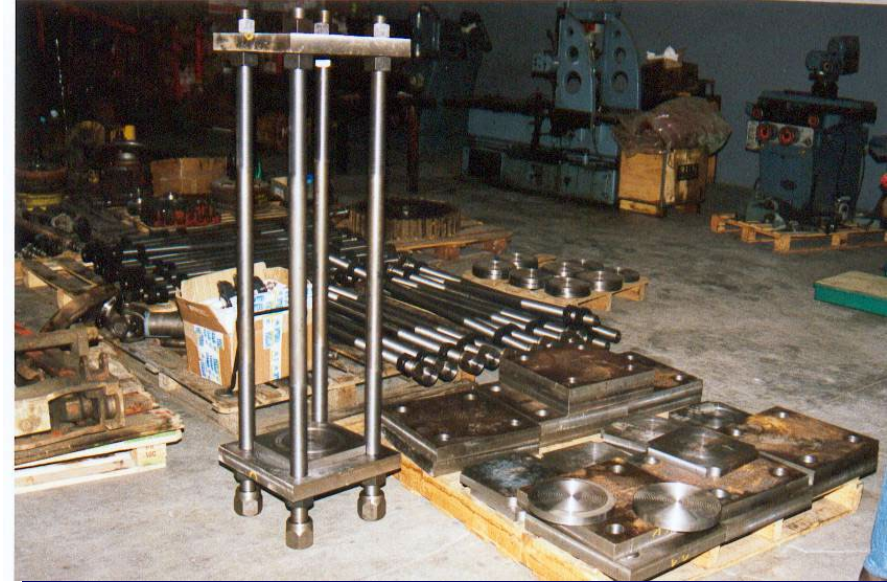


ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos



MATERIAL:

Acero 80 kp/mm²
 $\sigma \leq 25\%f_y$

Sistema oleohidráulico

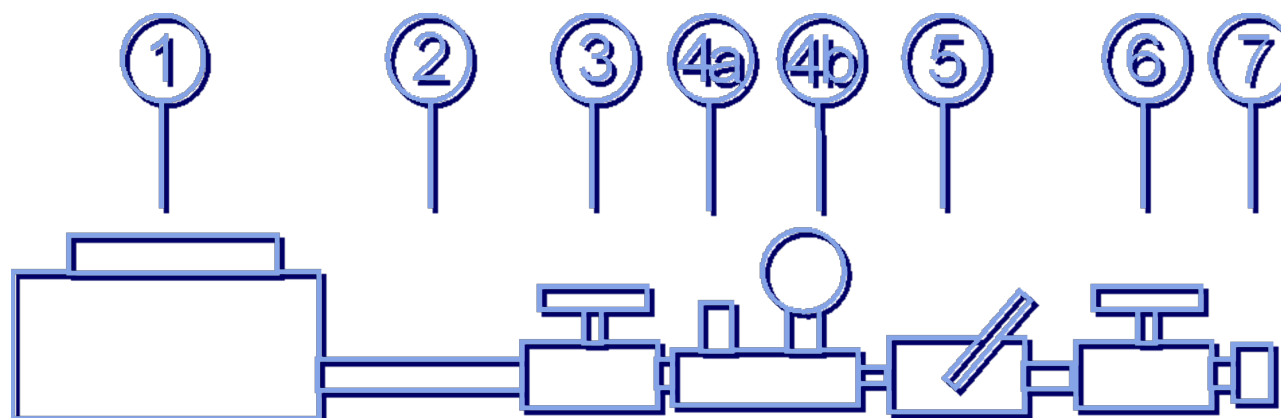
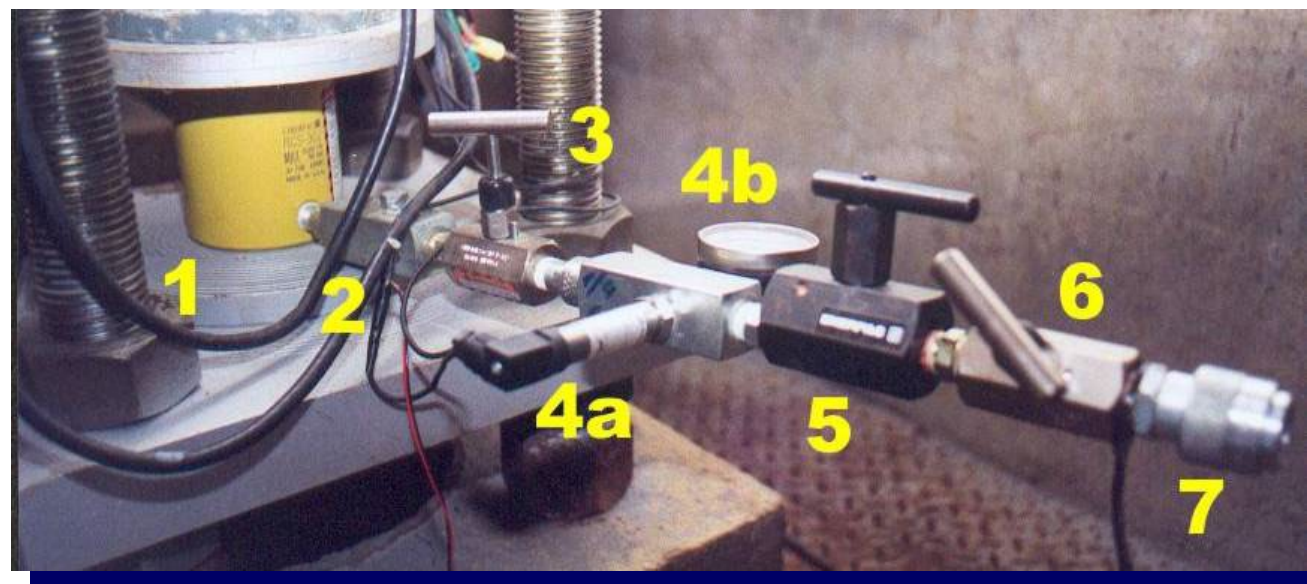


ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos



Galería de ensayos

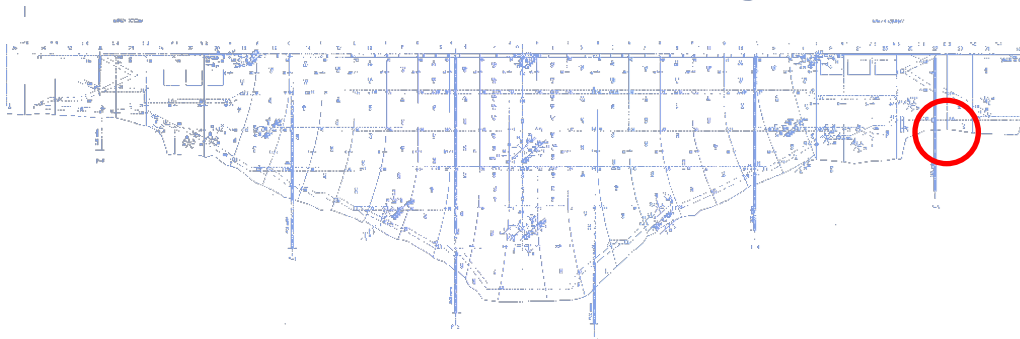


ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos



AMBIENTE:

$$T = 16 \pm 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$
$$h \geq 99\%$$



Instrumentación: extensometría manual

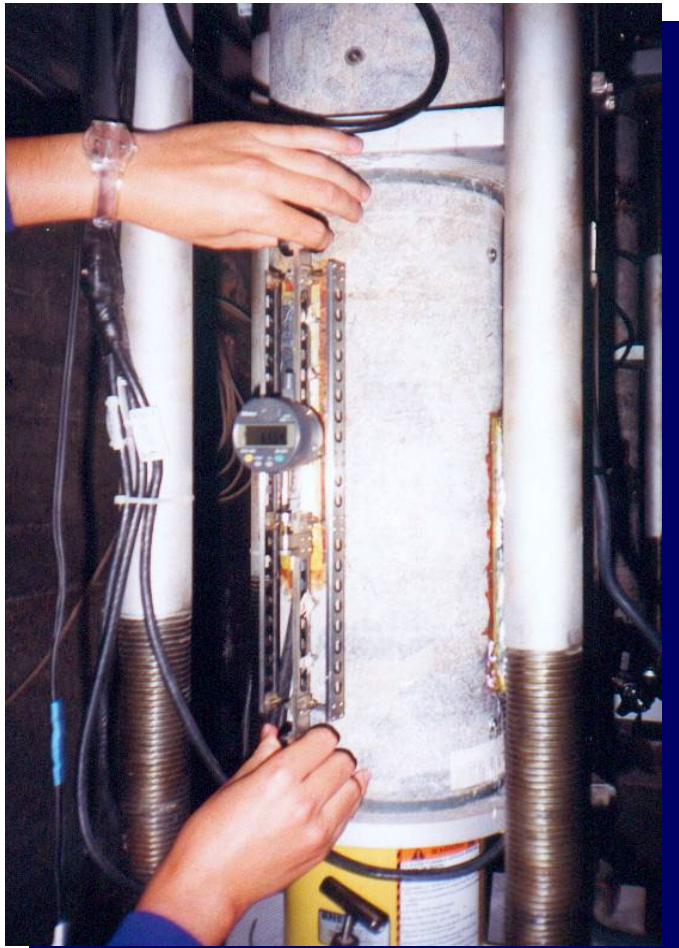


ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos



EXTENSÓMETRO INVAR

Base: 40 cm
Precisión: $\pm 1 \mu\text{m}$

Instrumentación: extensometría

Carson



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos



EXTENSÓMETRO TIPO CARSON

Base: 25 cm
Precisión: $\pm 0.5 \mu\text{m}$

Instrumentación: galgas



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos



GALGAS EXTENSOMÉTRICAS

Base: 12 cm

Factor: 2.12

Adquisición de datos

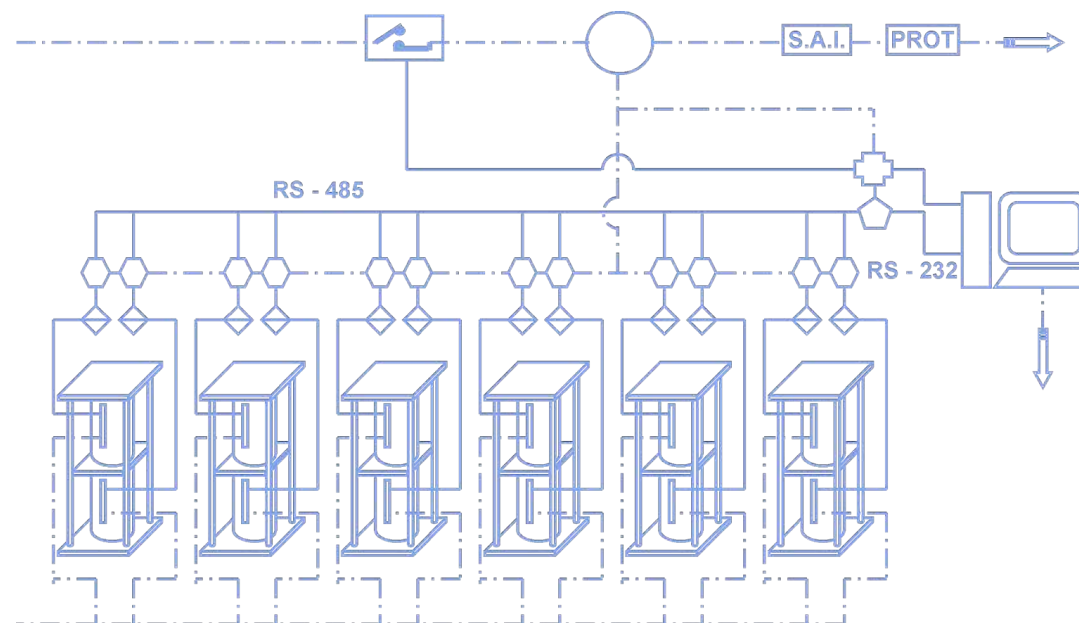


ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos



Proceso



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

- Sólo sobrevivió la instrumentación manual:
 - Galgas < 1 año
 - Carson < 2 años
 - Extensometría con frecuentes recalibraciones...
- Escalones de carga manuales, cada 15 días, casi 10 años...

Expansión libre



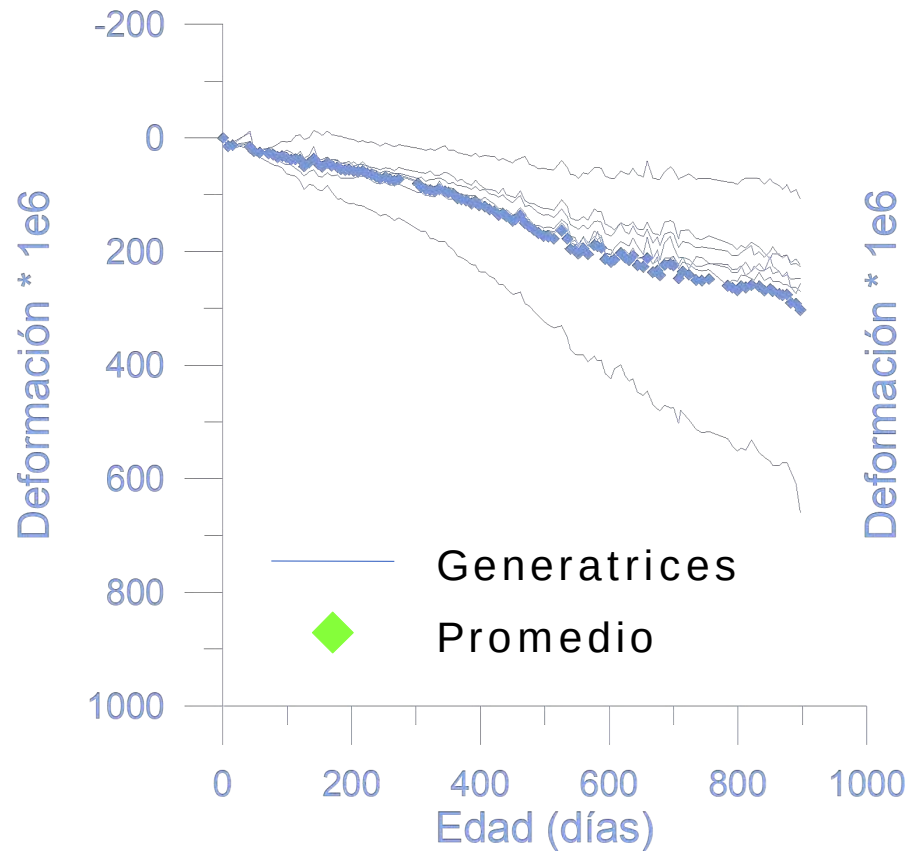
ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia

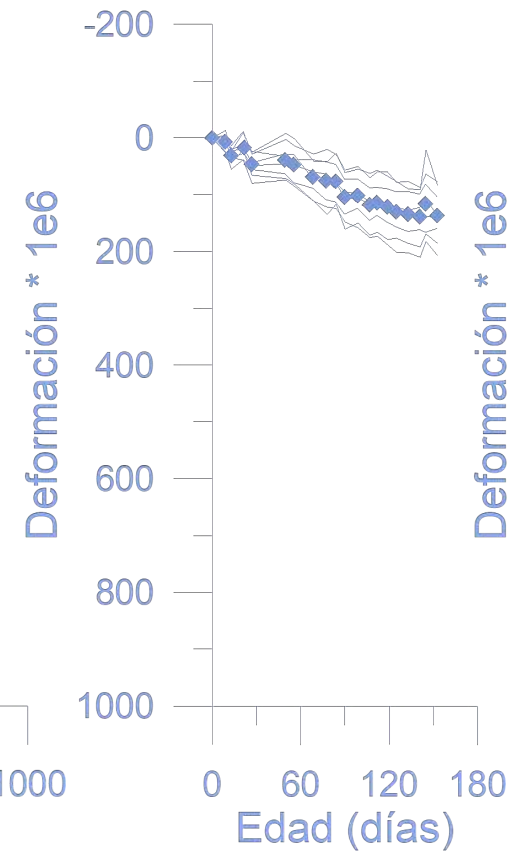


Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

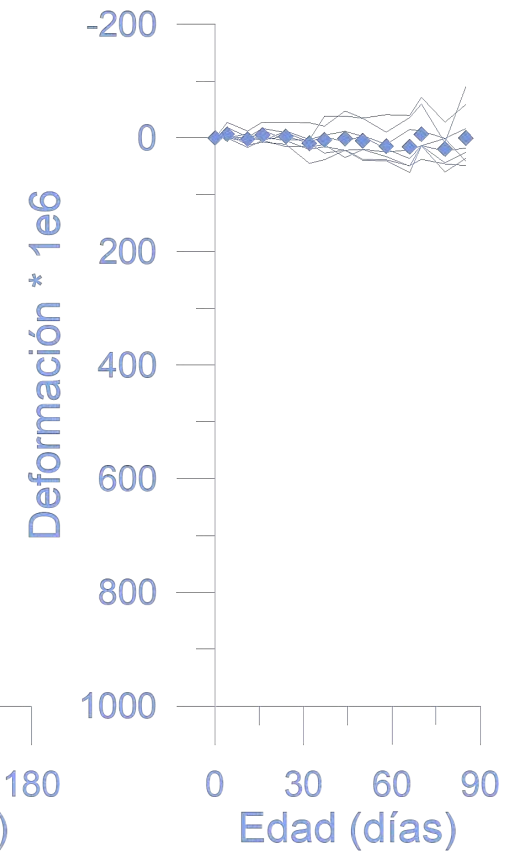
BELESAR 1



BELESAR 2



ALBARELLOS



Carga constante: deformación diferida



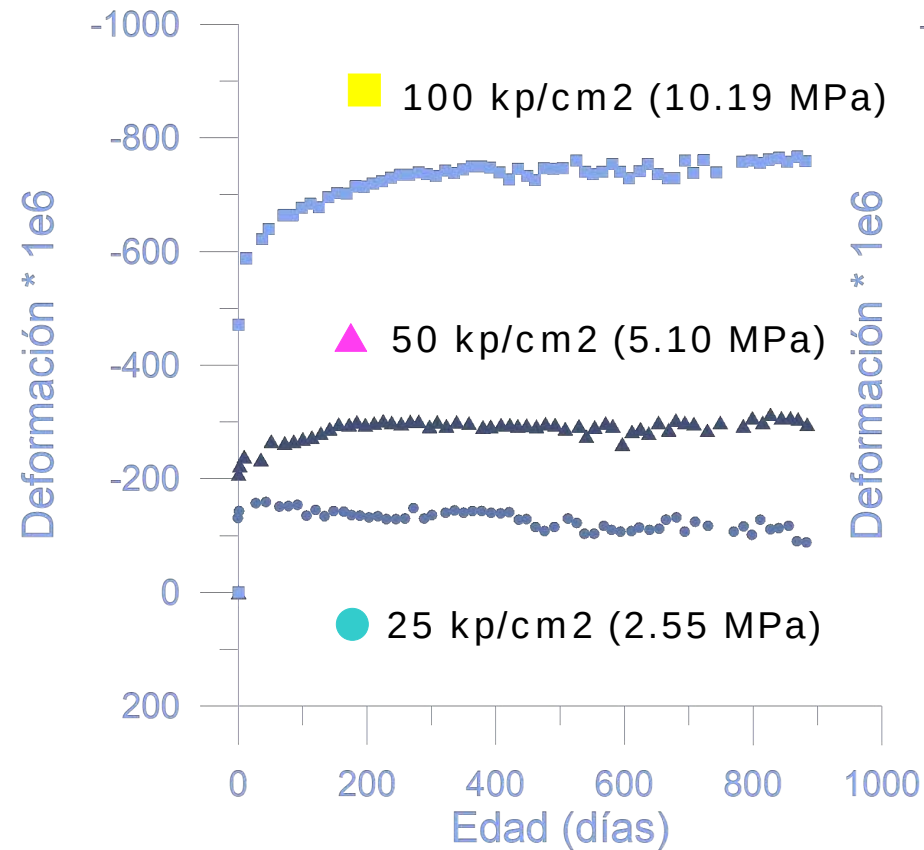
ORDEM
DOS ENXENHEIROS
DE ENXENHEIRÍA

camións
Galicia

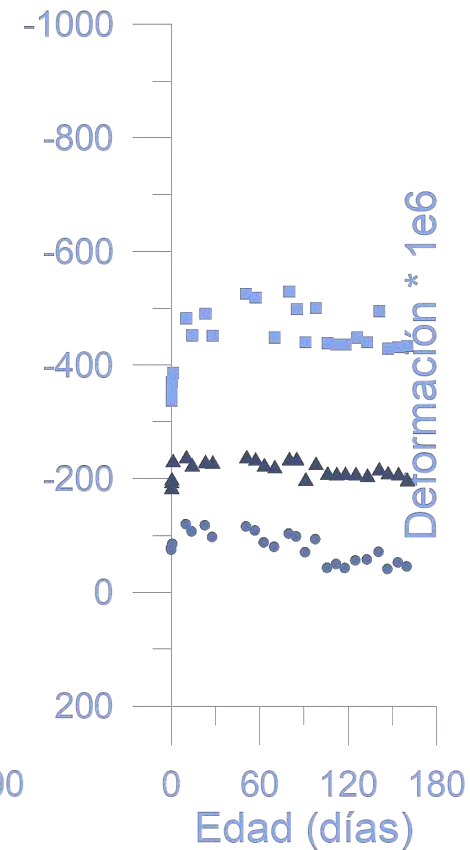


Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

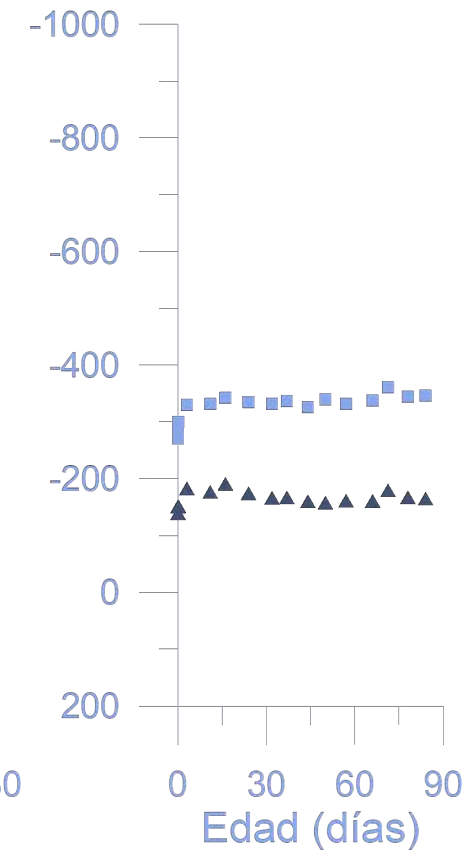
BELESAR 1



BELESAR 2



ALBARELLOS



Carga variable



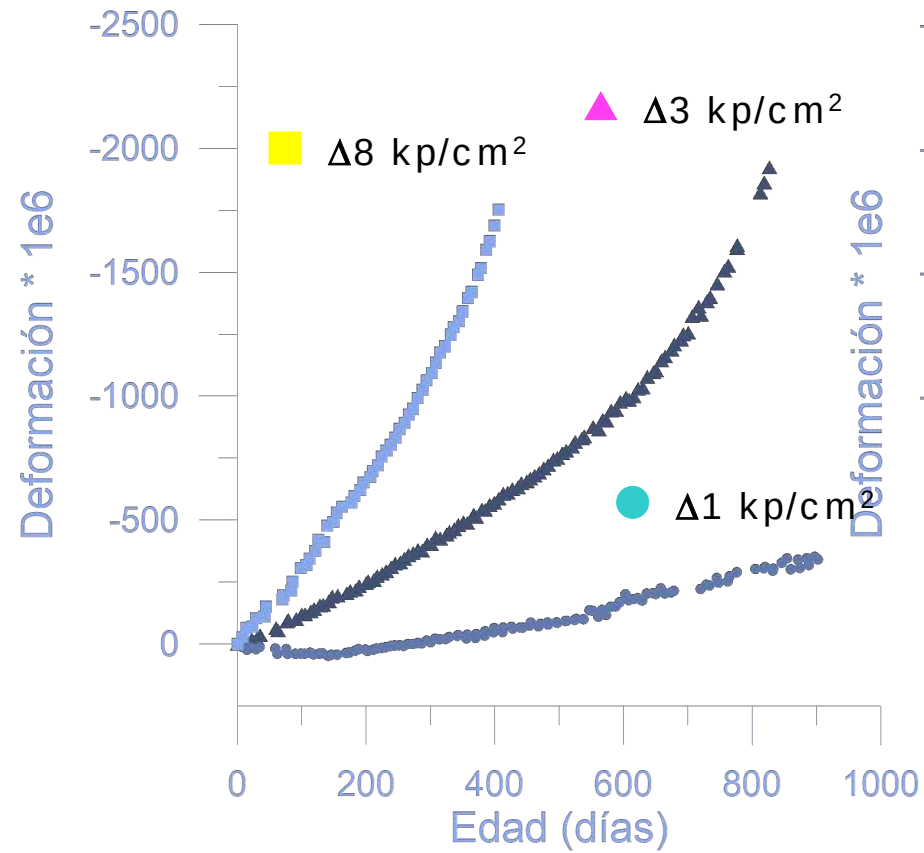
ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia

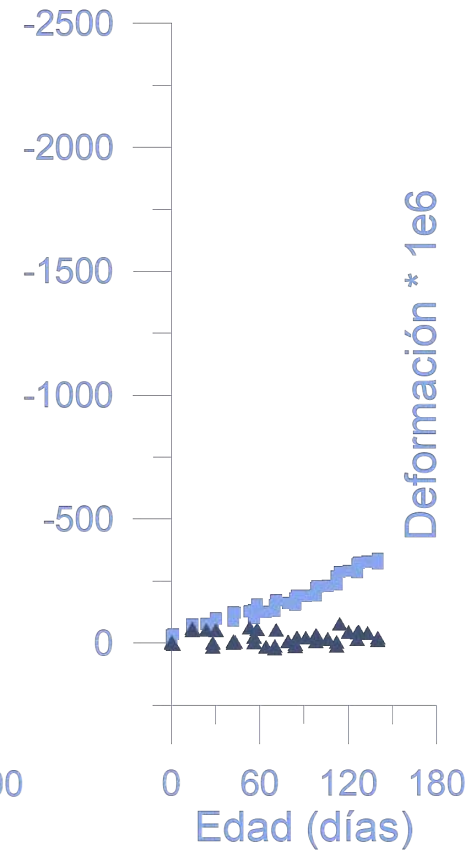


Colegio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

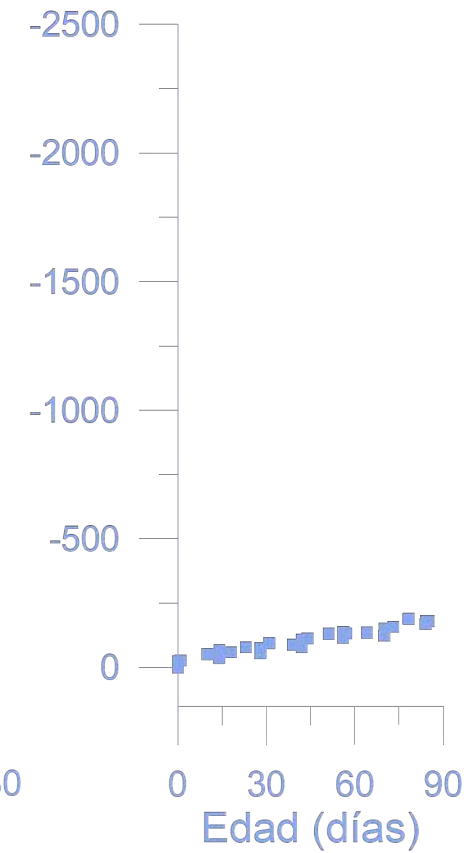
BELESAR 1



BELESAR 2



ALBARELLOS



Resultados



ORDEN
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

- Presiones de inhibición, entre 6 y 9 MPa... no se alcanzan
- Se desarrollaron decenas de procedimientos de ensayos
- Belesar es hoy, probablemente, una de las presas más instrumentadas del mundo

Futuro del hormigón



ORDEN
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

En 2020

- 14.0 mil millones de m³ (volumen de hormigón a nivel mundial) =
- = 4.2000 millones de toneladas = \$440 mil millones
- 40% de la producción total de hormigón para el mercado residencial

En 2050:

- 9800 millones de habitantes en el mundo
- Casi el 70% vivirá en ciudades
- Se prevé un aumento de los 14 000 millones de m³ de hormigón actuales a casi 20 000 millones de m³ en 2050.

Descarbonización

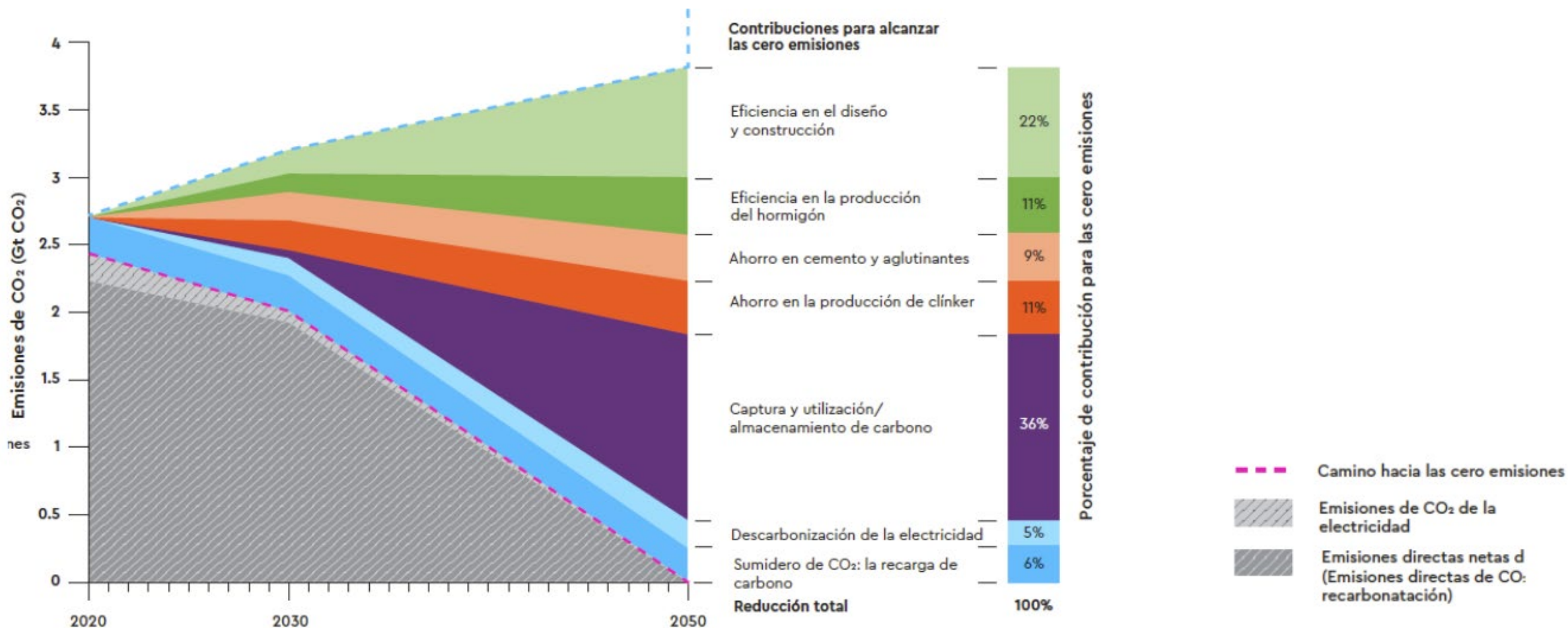


ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos



Selfhealing



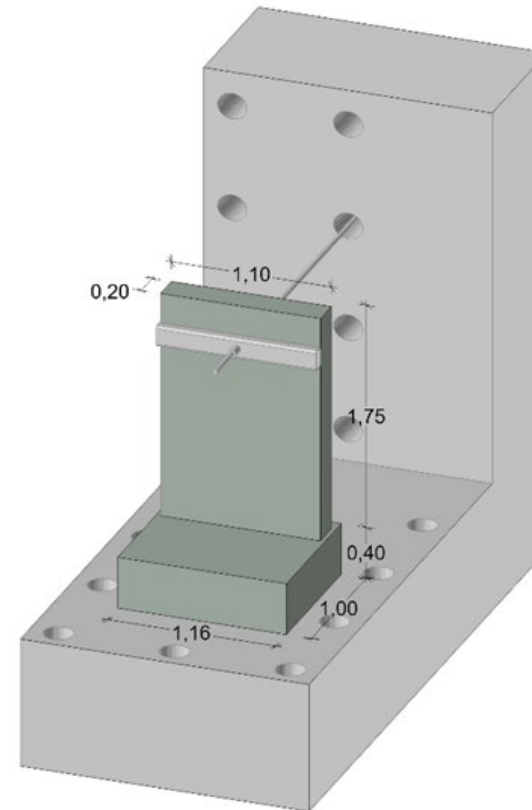
ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camións
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Componentes	100C	25BA15M-30AP
Cemento (C)	189.93	114.04
Metacaolín (M)	-	28.51
Biomasa (BA)	-	47.52
Agua	208.93	208.93
Arena natural	300.00	210.00
Áridos de ceniza de carbón (AP)	-	90.00
Gravilla natural	300.00	300.00
Superplastificante	1.14	0.86



Selfhealing



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos



Figura 1. Vista de la fisura generada mediante el ensayo de tracción indirecta en el hormigón sostenible con cenizas de biomasa y áridos porosos de cenizas de carbón.

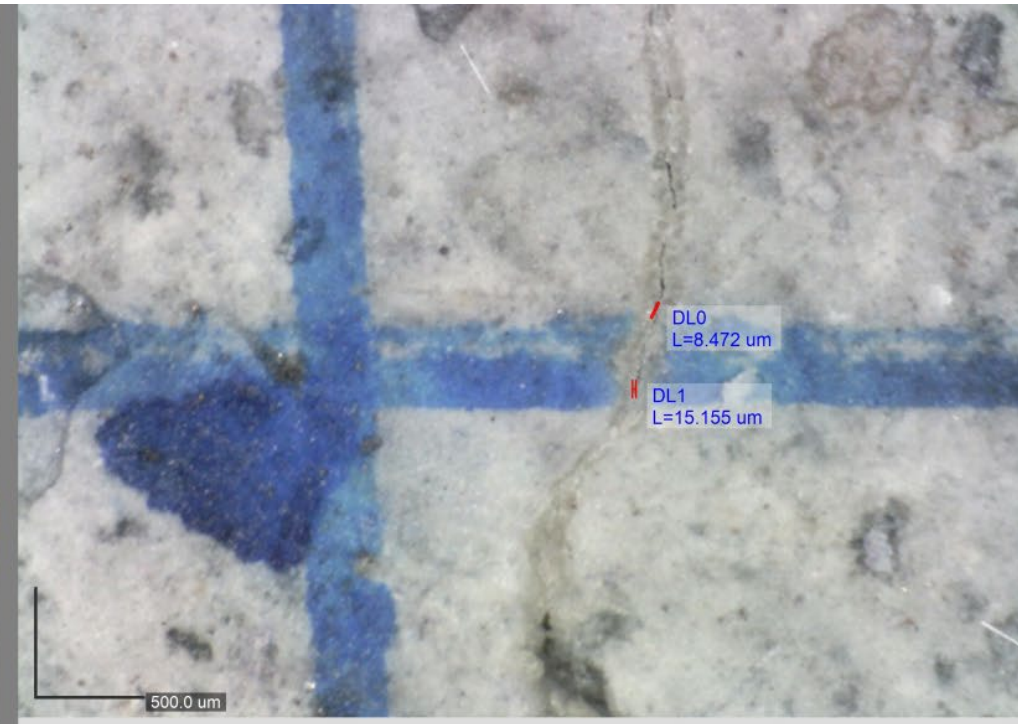


Figura 2. Vista de la fisura sellada después del periodo de autosanado en el hormigón sostenible con cenizas de biomasa y áridos porosos de cenizas de carbón.

Selfhealing



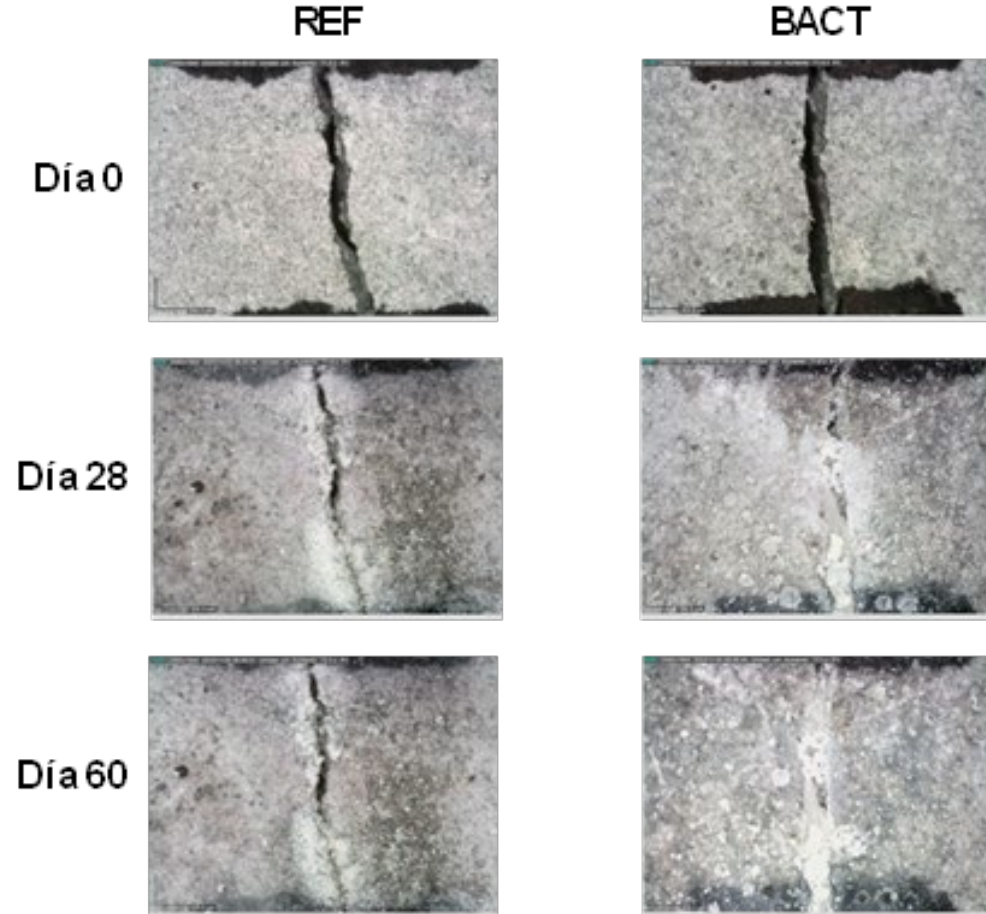
ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

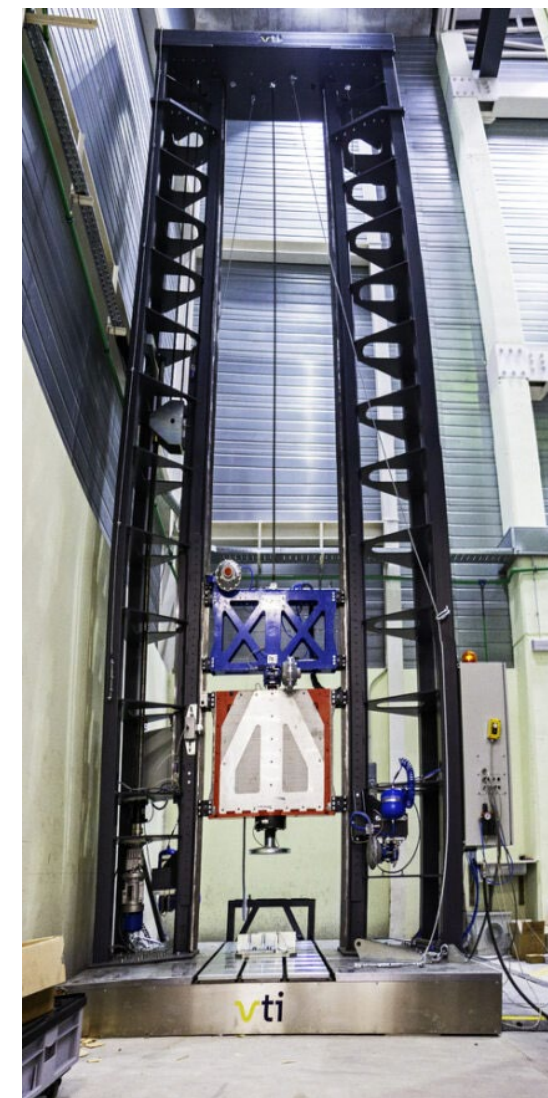
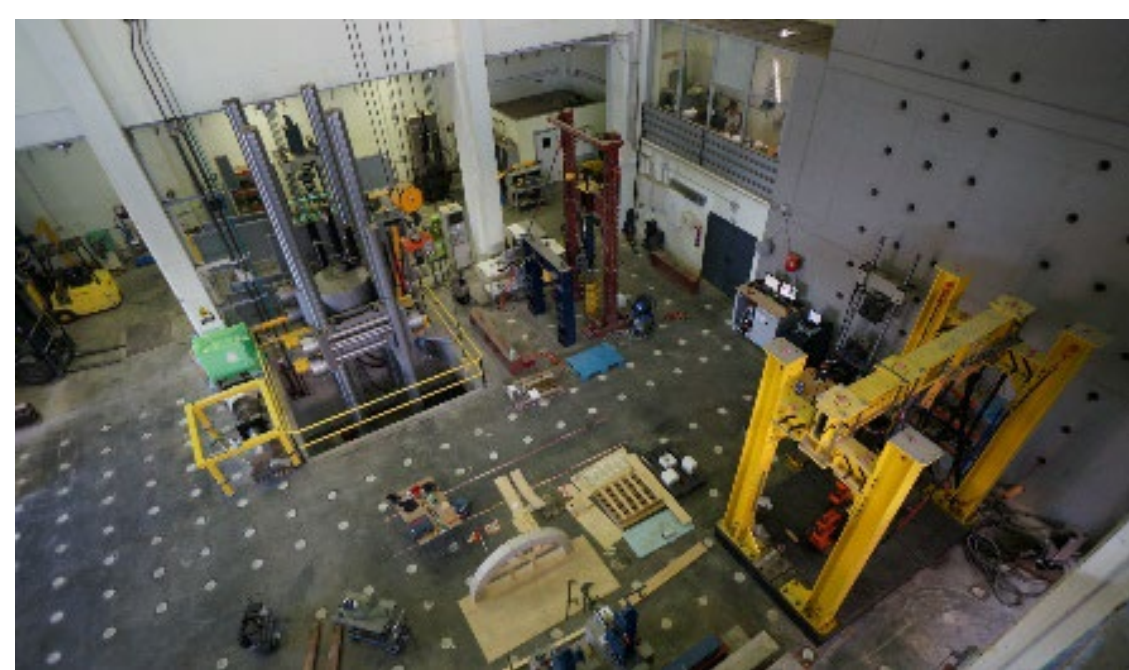
camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

Material (kg/m ³)	REF	BACT
Cemento	630.56	630.56
Filler calizo	282.94	282.94
Arena	620.48	620.48
Ceniza de madeira	109.44	109.44
Agua	369.07	369.07
<i>B. subtilis</i> (esporas/cm ³ mortero)	-	9x10 ⁶
Lactato de calcio	-	12.61





XI ENCONTRO ENG. CIVIL

NORTE PORTUGAL — GALIZA



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS. GALICIA

Large Reinforced Concrete Structures – Advanced Structural Engineering Solutions

Humberto Varum

11 July 2025

COM O APOIO



CCDR
NORTE

Outline

1. Advances in Concrete and Steel Materials
2. Structural Design and Optimization
3. Construction and Execution Technologies
4. Durability, Sustainability and Conservation
5. Trends in Infrastructures
6. The Role of the Civil Engineer in Critical Decision Making
7. Thoughts on Education in Civil Engineering
8. Thoughts on Research Needs



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS .GALICIA





1. Advances in Concrete and Steel Materials



1. Advances in Concrete and Steel Materials



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS. GALICIA

Historical Evolution of Concrete

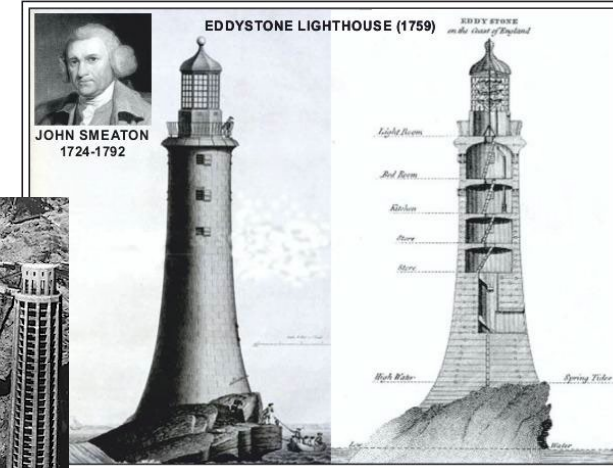
Modern Development

- **1756** (John Smeaton): Rediscovered hydraulic lime cement, used to rebuild the **Eddystone Lighthouse**.
- **1824** (Joseph Aspin): Patented Portland cement, made by calcining limestone and clay.
- **1850s–1900s**: Reinforced concrete was developed, combining steel's tensile strength with concrete's compressive strength

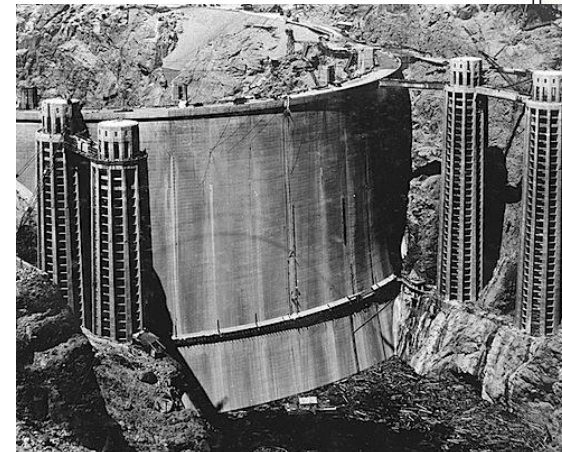
20th Century – Present

- Advances in **admixtures**, **mix design**, and **curing techniques** led to **high-strength concretes**.
- Typical modern concrete compressive strength:
 - Residential: **~20–35 MPa**
 - Commercial/industrial: **~40–60 MPa**
 - High-performance concrete (HPC): **70–120 MPa**
 - Ultra-high-performance concrete (UHPC): **>150 MPa**

Eddystone Lighthouse 1756



Hoover Dam 1942



Its **compressive strength**, a **key property**, has improved from **<10 MPa in Roman times** to **>150 MPa** with today's ultra-high-performance concretes.

Burj Khalifa 2016



1. Advances in Concrete and Steel Materials



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS .GALICIA

Historical Evolution of Reinforcing Steel

Reinforcing Steel in the 20th Century

- **Early 1900s:** Reinforcing bars became **standardized**—typically **plain**, round steel bars in combination with concrete. **Steel strength: ~250 MPa**
- **1920s–1950s:** **Deformed** bars introduced to improve **bond**. **Steel strength: ~400 MPa**
- **1960s–1980s:** **High-yield strength** steel became common: **~500–600 MPa**. Development of **prestresses** (active steel) - **strength >1700 MPa**.
- **Late 20th century to Present:** Use of epoxy-coated, **stainless steel**, and **FRP** (fiber-reinforced polymer) bars for corrosion resistance. **Ultra-high-strength rebars now exist (>690 MPa)**, though not yet standard in all regions.



Era	Type of Steel Used	Approx. Tensile Strength
Pre-1900s	Wrought iron, mild steel	~250 MPa (36,000 psi)
Early 20th century	Plain/deformed mild steel	~300–400 MPa
Mid–Late 20th century	Deformed high-strength steel	~500–600 MPa
Modern (21st century)	High-strength, corrosion-resistant steels, FRPs	~500–1000+ MPa
Prestressing tendons	High-carbon steel strands	~1700–2000 MPa

1. Advances in Concrete and Steel Materials



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

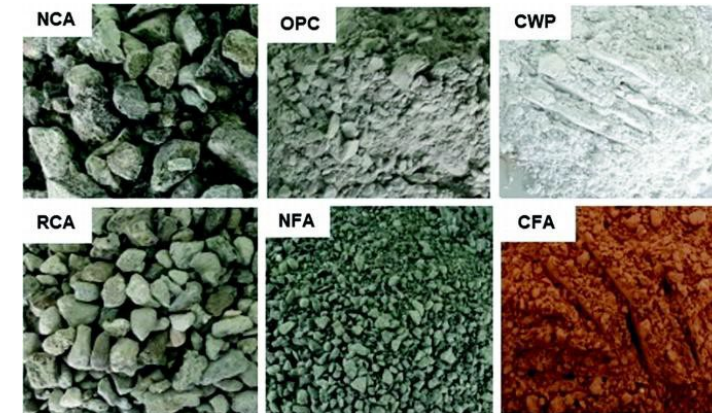


COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS .GALICIA

Innovation and Development

Concrete technology

- **Self-healing concrete** uses bacteria to repair cracks, extending structure life.
- **Green concrete**, made with recycled materials, reduces carbon emissions, supporting sustainable building.
- **Ultra-high-performance concrete (UHPC)** offers exceptional strength for bridges and skyscrapers
- **3D printing** enables complex designs with less waste.
- **Real-time monitoring** (high sensors)
- **Fiber-Reinforced Concrete**: Enhances impact resistance and ductility, reducing damage during seismic events.
- **Nanoparticles and Nanotubes**: Nano-silica and carbon nanotubes increase compressive strength, reduce permeability, and enhance self-cleaning properties.



The world's first UHPC pedestrian cable-stayed bridge
Image by Byung-Suk Kim



Waikiki Business Plaza, Honolulu, U.S.A.
Image courtesy of TAKTL



BDA'S Building Solutions Ltd., Bangladesh
Image courtesy of TAKTL



Rabat-salé Airport, Morocco
Image courtesy of Ductal® UHPC



Woody Park Pavilion, Toronto, Canada
Image courtesy of Archello



Sitrad Elite Beton Ltd., Casablanca, Morocco
Image courtesy of Sitrad's website



1. Advances in Concrete and Steel Materials



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS.GALICIA

Innovation and Development

Reinforcement advances

- **High-strength steel alloys** (lighter, taller structures).
- **Sustainable production** methods, such as electric arc furnaces, use recycled steel, lowering emissions.
- **Advanced Coatings:** Technologies like galvanizing, polymer coatings (e.g., epoxy, polyester), and ceramic coatings enhance resistance to corrosion and abrasion.
- **Weathering Steel:** Develops a protective patina, reducing maintenance needs in exposed structures.
- **Shape-Memory Alloys:** These materials can recover their original shape after deformation, improving resilience in disaster-prone areas.

Aspect	Concrete Advances	Steel Advances
Durability	Self-healing, SCMs, nanotechnology for enhanced resistance to harsh conditions	Advanced coatings, weathering steel for corrosion resistance
Sustainability	Green concrete, carbon capture, SCMs to reduce emissions	EAFs, ZSP for recycled steel, lower energy consumption
Performance	UHPC, fiber reinforcement for high strength and ductility	High-strength alloys, lighter structures for larger spans
Technology Integration	Embedded sensors, self-sensing for real-time monitoring	3D printing, computer simulations for optimized design
Disaster Resilience	Fiber-reinforced, shape-memory alloys for seismic and impact resistance	Seismic design, shape-memory alloys for earthquake resistance
Construction Innovation	3D printing for complex designs, reduced waste	Prefabrication, modular construction for faster assembly

1. Advances in Concrete and Steel Materials

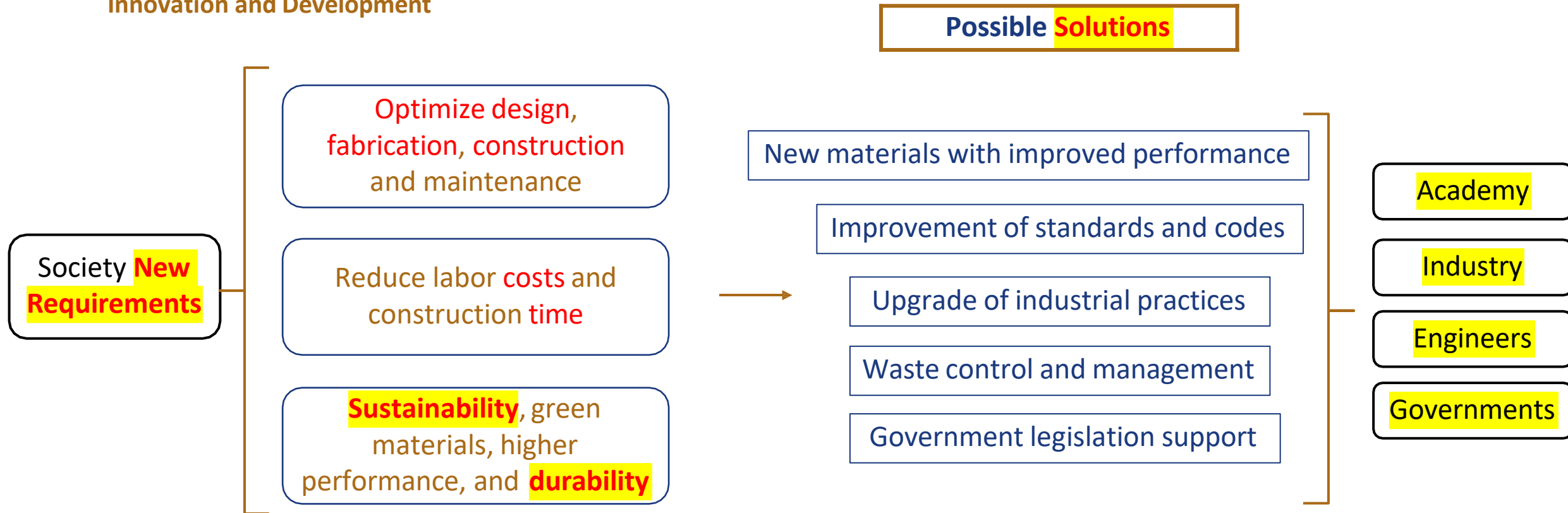


ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS.GALICIA

Innovation and Development





2. Structural Design and Optimization



2. Structural Design and Optimization



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS.GALICIA

Challenges and **Hazards** affecting Civil Construction and Structures

Environmental and **Natural hazards**

- **Aggressiveness of the environment** (pollution, chemicals, freeze-thaw cycles) → **Durability**
- **Climate Change Issues** (drastic variation in weather) → **Performance**
- **Natural Disasters** (Earthquakes, Tornados and Intense Fires) → **Resilience**

Social-Economic threats

- **Housing pressure** (housing deficit / “Airbnb effect”) → **Economy**
- **Migration and Immigration Pressure** (City overloads) → Construction **Speed**
- **Infrastructure pressure** (densely urban centers) → Construction **Planning**
- **Economic crises** (need for economical decision making) → Construction **Impact / Sustainability**
- **Lacking workforce** (improvement of job opportunities / AI arise) → **Construction Demands**

Geopolitical and **other** threats

- **Wars / Pandemics** (migration pressure and Government actions / Countries) → **Preparedness**
- **Terrorism Attacks** → Need for **Resilient** and **Redundance** structures



2. Structural Design and Optimization



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS .GALICIA

Challenges and **Risks** affecting Civil Construction and Structures

Extreme cold



Heavy pollution



Strong winds



Earthquakes



Wars



Heat waves



Diseases



Fires



Floods



Pandemics

2. Structural Design and Optimization

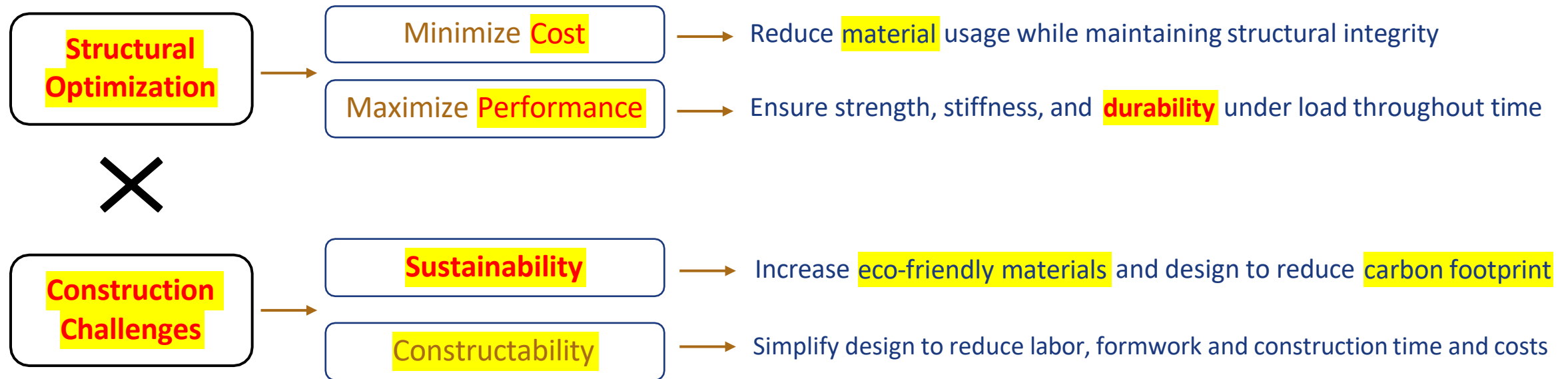


ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS.GALICIA

Optimization process related to the Design of RC structures



2. Structural Design and Optimization



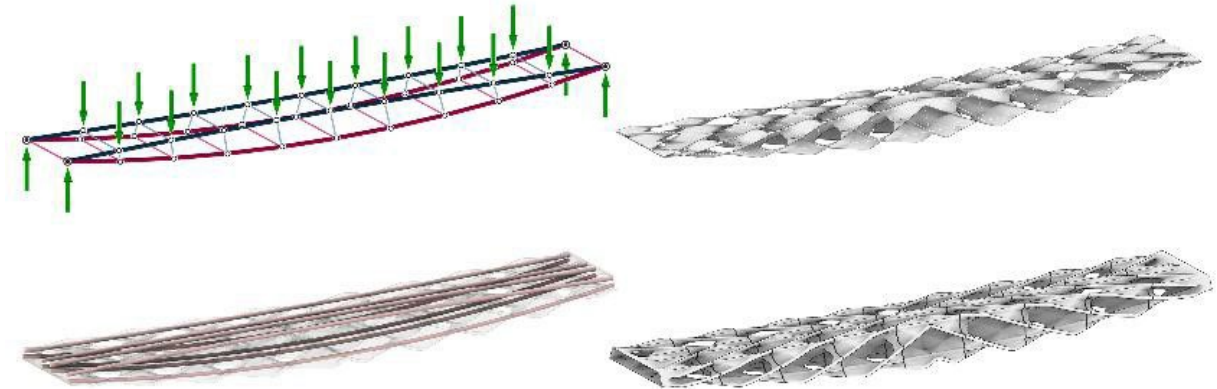
ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS.GALICIA

Key Strategies for Optimization

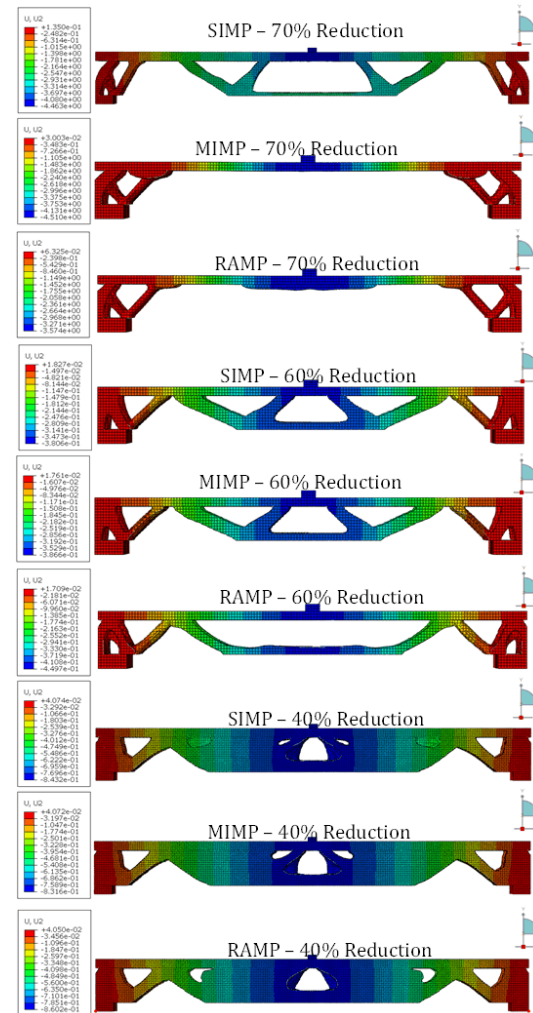
- **Structural** analysis and **modeling** (reach ideal model by simulation)
- **Material** optimization (select best grades of materials for each application)
- **Section** optimization (determine optimum section shapes that guaranty performance)
- **Topology** optimization (layout plays a significant role in optimization)
- Code-base **design checks** (ensure compliance with codes in force in the country/region: cracking, deflection, durability limits, ...)



2. Structural Design and Optimization

Advanced Techniques and Tools

- Genetic Algorithms and AI assistance
- Building Information Modeling (BIM)
- Prefabrication and Modular construction



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS .GALICIA



2. Structural Design and Optimization



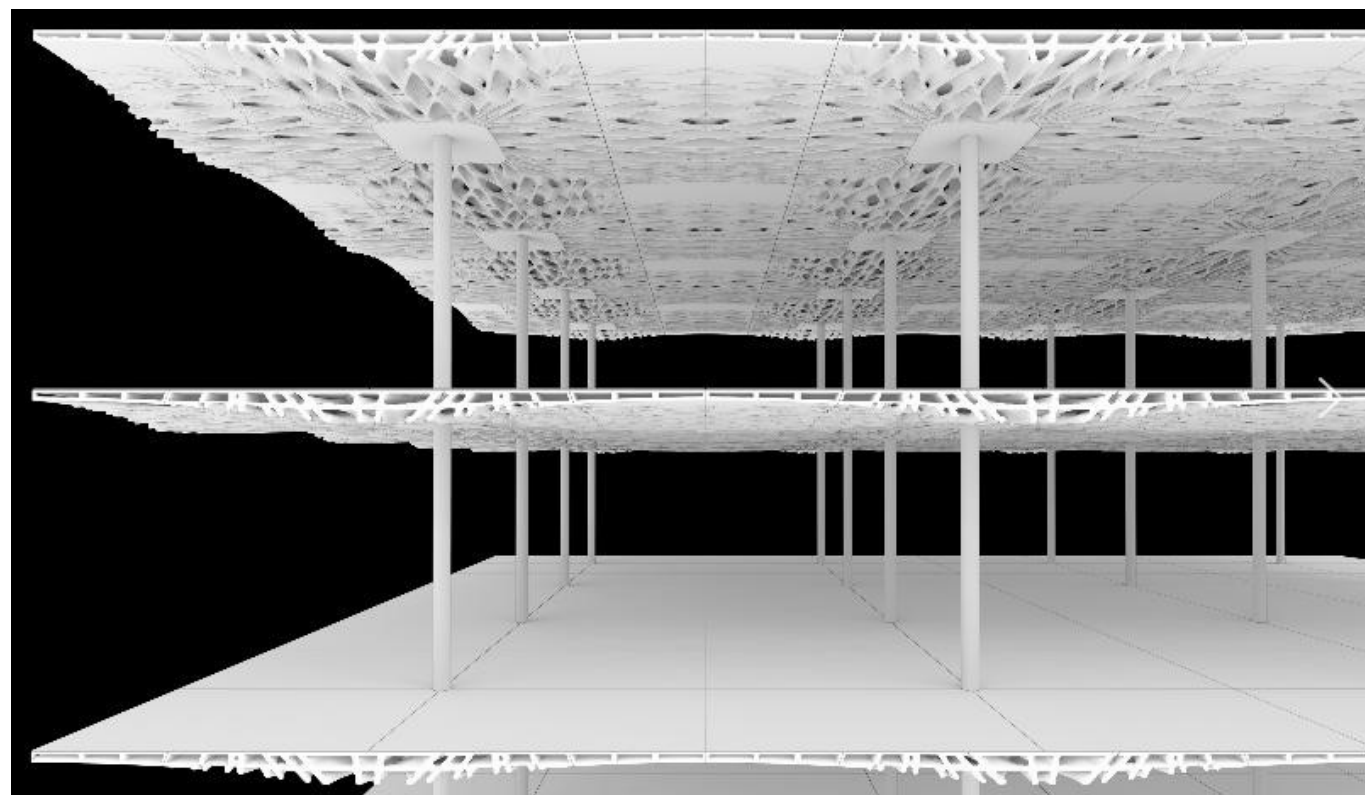
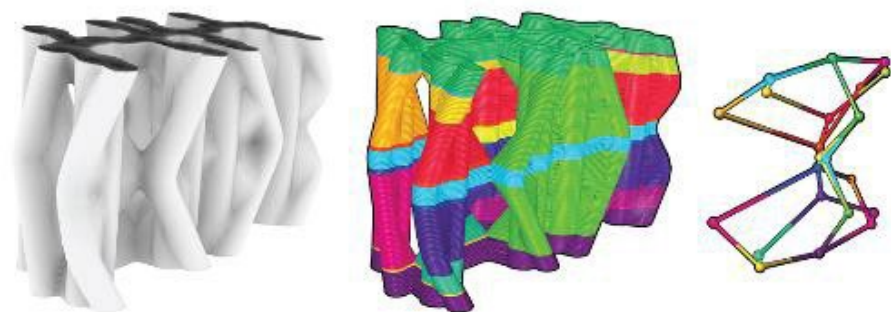
ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS .GALICIA

Optimization Process related to the Design of RC structures

3D printing + AI optimization



2. Structural Design and Optimization



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



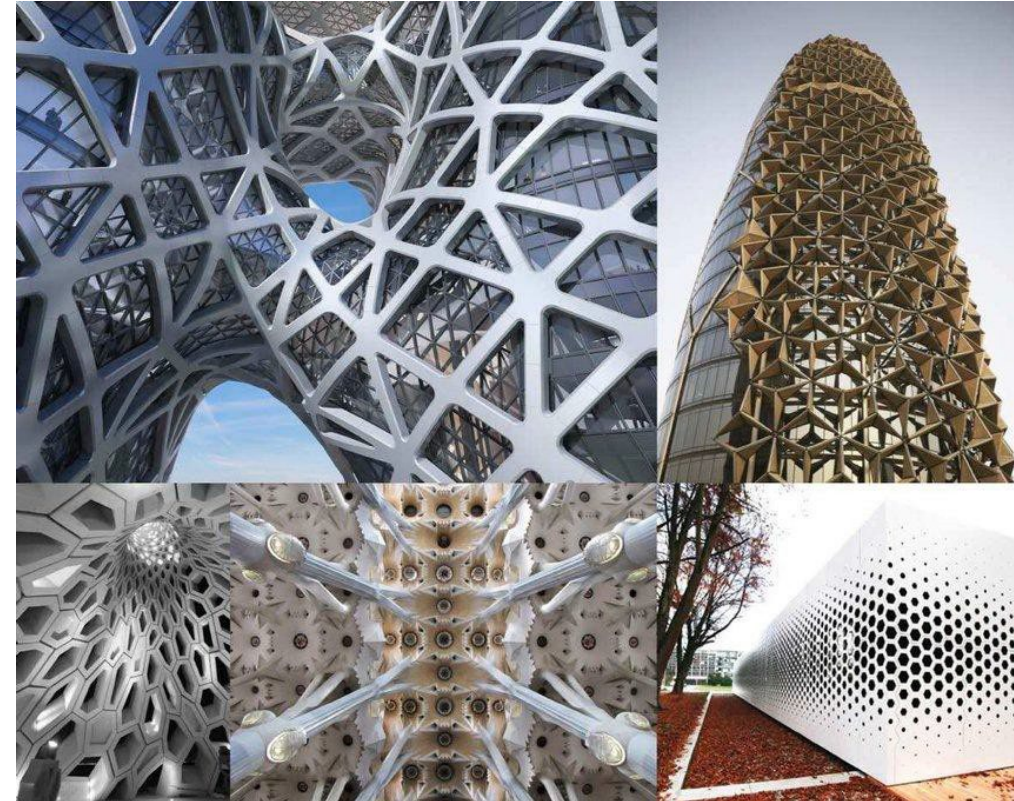
COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS .GALICIA

Other constraints

- Load Path optimization (ensure continuous and clear paths → minimize material use and avoid stress concentrations)
- **Redundancy** and **Robustness** (avoid unexpected loads or failures)
- Construction Constrains (account for local equipment, materials and skilled workforce)
- **Lifecycle cost analysis** (good selection of materials ensure adequate lifespan)

BUT, challenges

- **Over-optimization** risks (excessive focus on the material saving may reduce safety margins and robustness)
- **Complexity vs Feasibility** (high complex geometries might lead to over formwork costs and increased construction time)
- **Code Limitations** (conservative requirements might be a constrain to innovative design layouts, for instance, minimum steel areas)



Reference:

https://www.researchgate.net/publication/337240400_Achieving_Sustainable_Urbanism_through_Architectural_Education_A_Move_Back_to_a_Learning-by-Doing_Pedagogy



3. Construction and Execution Technologies



3. Construction and Execution Technologies

Important Transformations of civil construction → Building structures efficiently, safely, and sustainably

Main Goals

- Optimization of workflows
- Considerable reduction in costs
- Improvement in precision
- Enhancement of sustainability

New Technologies available

- Building Information Modeling (BIM) and Digital Twins
- Robotics and Automation
- Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR)
- Modular and Off-Site Construction
- Advanced Construction Equipment and IoT Integration
- Sustainable Construction Practices
- Lean Construction and Just-In-Time Delivery



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS .GALICIA



3. Construction and Execution Technologies



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS .GALICIA

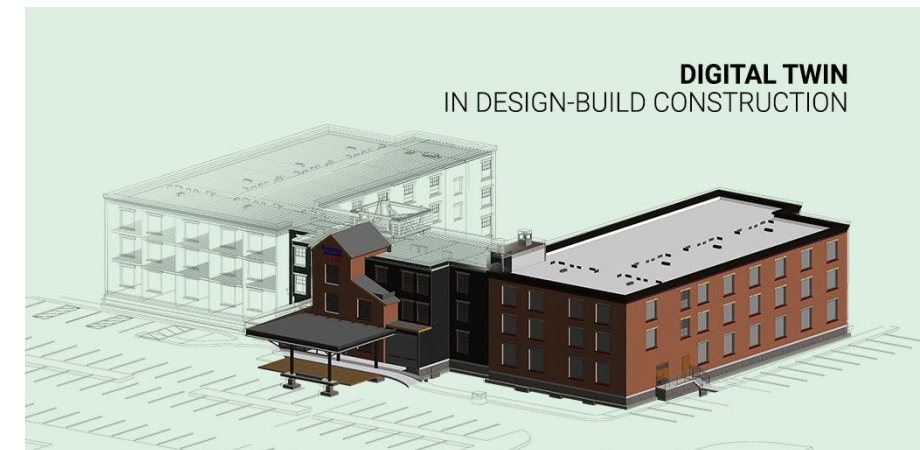
Building Information Modeling (BIM) and Digital Twins:

BIM integrates 3D models with project data (e.g., cost, schedule, materials) to streamline design, construction, and maintenance. Digital twins create real-time virtual replicas of projects, enabling predictive analysis and monitoring.

- **Example:** The **Sydney** Metro Northwest (Australia, **2019**) used BIM to coordinate tunnel and station construction, **saving** AUD 500 million and **cutting delays** by 30%. Digital twins now monitor rail infrastructure for real-time maintenance.

Robotics and Automation: Robotics automates labor-intensive tasks like bricklaying, welding, and surveying, while drones handle site inspections and material transport.

- **Example:** The **Dubai Water Canal** (2016) used **drones** for topographic surveys **and** **robotic excavators** for precise earthworks, saving 20% in labor costs and accelerating the project by 15%.



3. Construction and Execution Technologies



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS.GALICIA

Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR): AR overlays digital information (e.g., BIM models) onto physical sites via smart glasses, while VR simulates projects for design reviews and training.

- **Example:** The HS2 Railway (UK, ongoing 2025) uses AR to visualize tunnel alignments on-site, avoiding utility conflicts and saving £200 million. VR trained 5,000 workers, reducing accidents by 15%.



Modular and Off-Site Construction: Modular construction assembles pre-fabricated building units (e.g., rooms, floors) off-site, then transports and installs them, minimizing on-site work.

- **Example:** The Clement Canopy (Singapore, 2019), a 40-story residential tower, used prefabricated prefinished volumetric construction (PPVC), completing 1,857 modules in 18 months, 35% faster than traditional methods.



3. Construction and Execution Technologies



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS .GALICIA

Advanced Construction Equipment and IoT Integration:

Smart equipment (e.g., excavators, cranes) with IoT (internet of things) sensors optimizes performance, while connected site systems monitor progress and resources.

- **Example:** The California High-Speed Rail (USA, ongoing 2025) used IoT-connected cranes and GPS-guided bulldozers, improving earthwork efficiency by 20% and reducing fuel costs by 12%.

Sustainable Construction Practices: Technologies like energy-efficient systems, waste management, and circular construction reduce environmental impact.

- **Example:** The Edge Building (Netherlands, 2015), a sustainable office, used circular construction principles and electric equipment, achieving a 98.4% BREEAM score and reducing emissions by 30%.



3. Construction and Execution Technologies



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS .GALICIA

Lean Construction and **Just-In-Time Delivery**: Lean construction minimizes waste (e.g., time, materials) through streamlined processes, while just-in-time (JIT) delivery ensures materials arrive as needed.

- **Example:** The **Wembley Stadium** (UK, 2007) used lean construction and JIT delivery to manage 90,000 seats' installation, **saving** £50 million and **completing 6 months early**.



Wembley Stadium (UK)

3. Construction and Execution Technologies



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

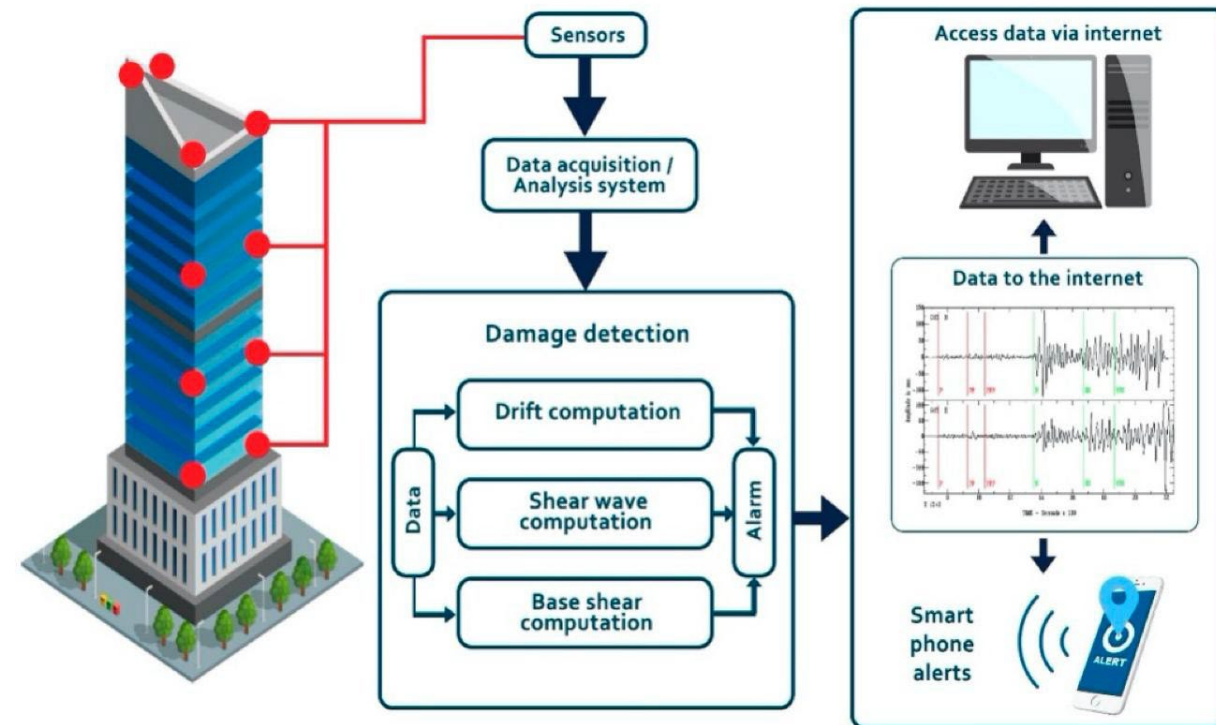


COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS .GALICIA

Monitoring of infrastructures

Structural Health Monitoring (SHM)

- Involves the use of advanced technologies to assess the **condition**, **performance**, and **longevity/decay** of infrastructure such as bridges, buildings, tunnels, dams, and other critical structures.
- SHM aims to detect deterioration, predict service life, and ensure safety through real-time or periodic **data collection** and **analysis**.
- It is a **non-destructive** measurement (*in-situ*) of a structure's operating and loading environments to extract **damage-sensitive features** and assess its health condition. It supports:
 - **Early detection** of structural weakness
 - **Cost-effective maintenance** by identification of issues
 - **Improves safety** and **extends lifespan**
 - **Data-driven decision-making** for **maintenance**, **rehabilitation** or **replacement**



3. Construction and Execution Technologies



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS .GALICIA

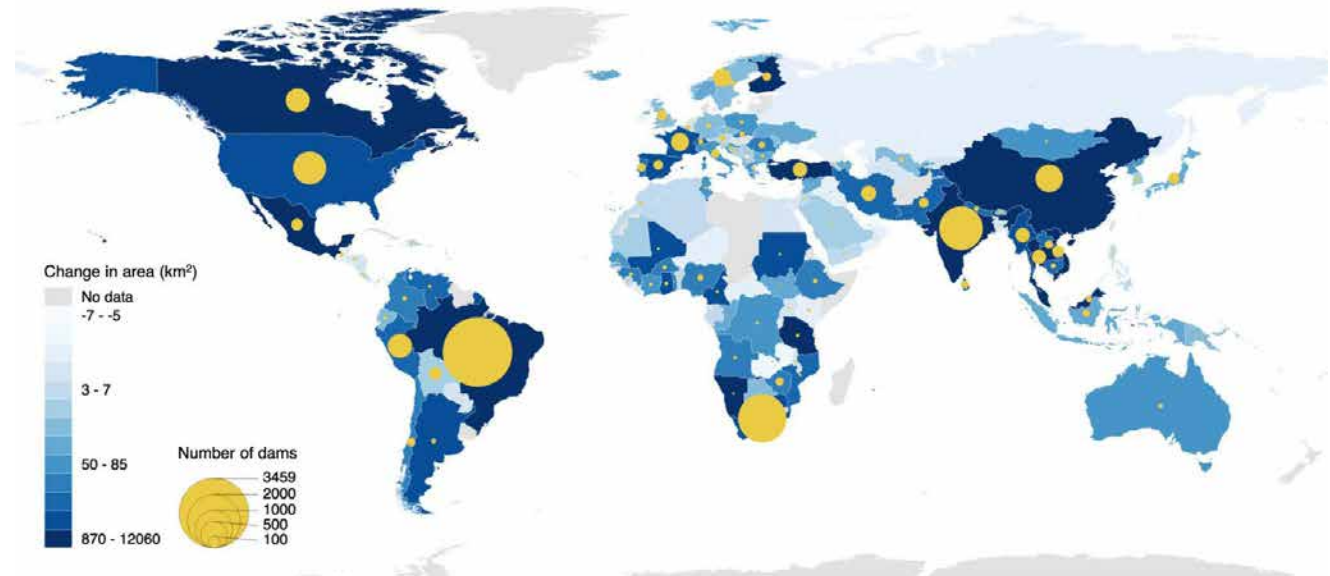
Global Dam-Induced Surface Water Changes
1984-2018

Monitoring of infrastructures

It is estimated that over **35,000 dams** are **daily monitored** by SHM systems **worldwide**.

Examples of Notable Dams

- Idukki Dam (India)
- Mettur Dam (India)
- Vidraru Dam (Romania)
- Fei-Tsui Dam (Taiwan)
- New Bullards Bar Dam (USA)
- Hoover Dam (USA)
- Grand Coulee Dam (USA)
- Oroville Dam (USA)
- Grande Dixence Dam (Switzerland)
- Atatürk Dam (Turkey)
- Alqueva Dam (Portugal)
- Itaipu Dam (Brazil)
- Tucuruí Dam (Brazil)
- Paranoá Dam (Brazil)
- Vaal Dam (South Africa)
- Gariep Dam (South Africa)
- Clanwilliam Dam (South Africa)



3. Construction and Execution Technologies



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS .GALICIA

Idukki Dam (India)



New Bullards Bar Dam (USA)



Grand Coulee Dam (USA)



Vaal Dam (South Africa)



Grande Dixence Dam (Switzerland)



Atatürk Dam (Turkey)



Itaipu Dam (Brazil)



Vidraru Dam (Romania)

3. Construction and Execution Technologies



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

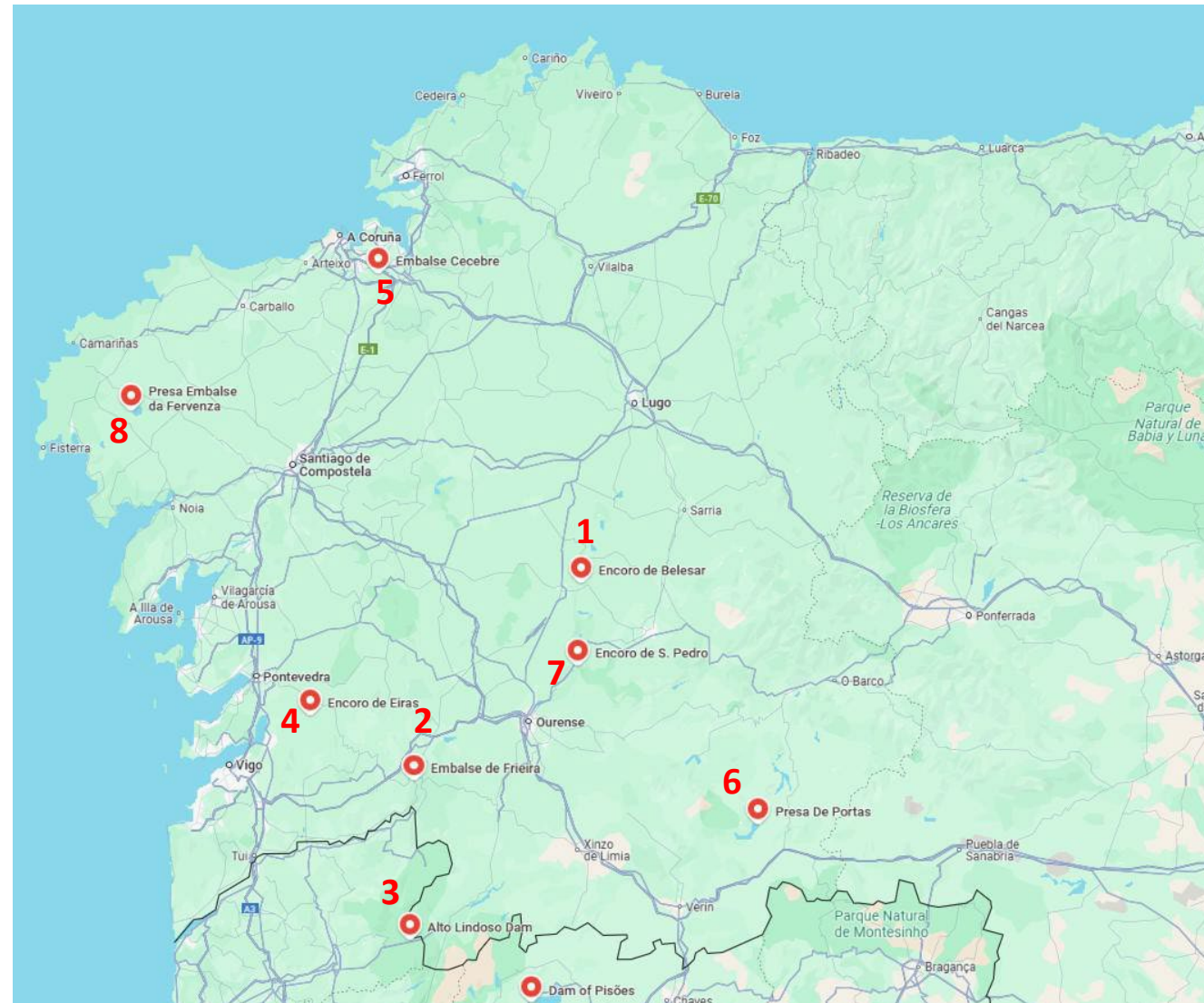


COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS .GALICIA

Dams in Galicia



1. Belesar Dam – 1963
2. Frieira Dam – 1970
3. Presa de Portas Dam – 1978
4. Encoro de Eiras Dam – 1977
5. Abegondo-Cecebre Dam – 1975
6. Portodemouros Dam – 1968
7. San Pedro Dam – 1987
8. Fervenza Dam - 1965



3. Construction and Execution Technologies



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS .GALICIA

Dams in Galicia



Belesar Dam – 1963



Frieira Dam – 1970



Presa de Portas Dam – 1978



Encoro de Eiras Dam – 1977



Abegondo-Cecebre Dam – 1975



Portodemouros Dam – 1968



San Pedro Dam – 1987 galicia



Fervenza Dam - 1965

3. Construction and Execution Technologies



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

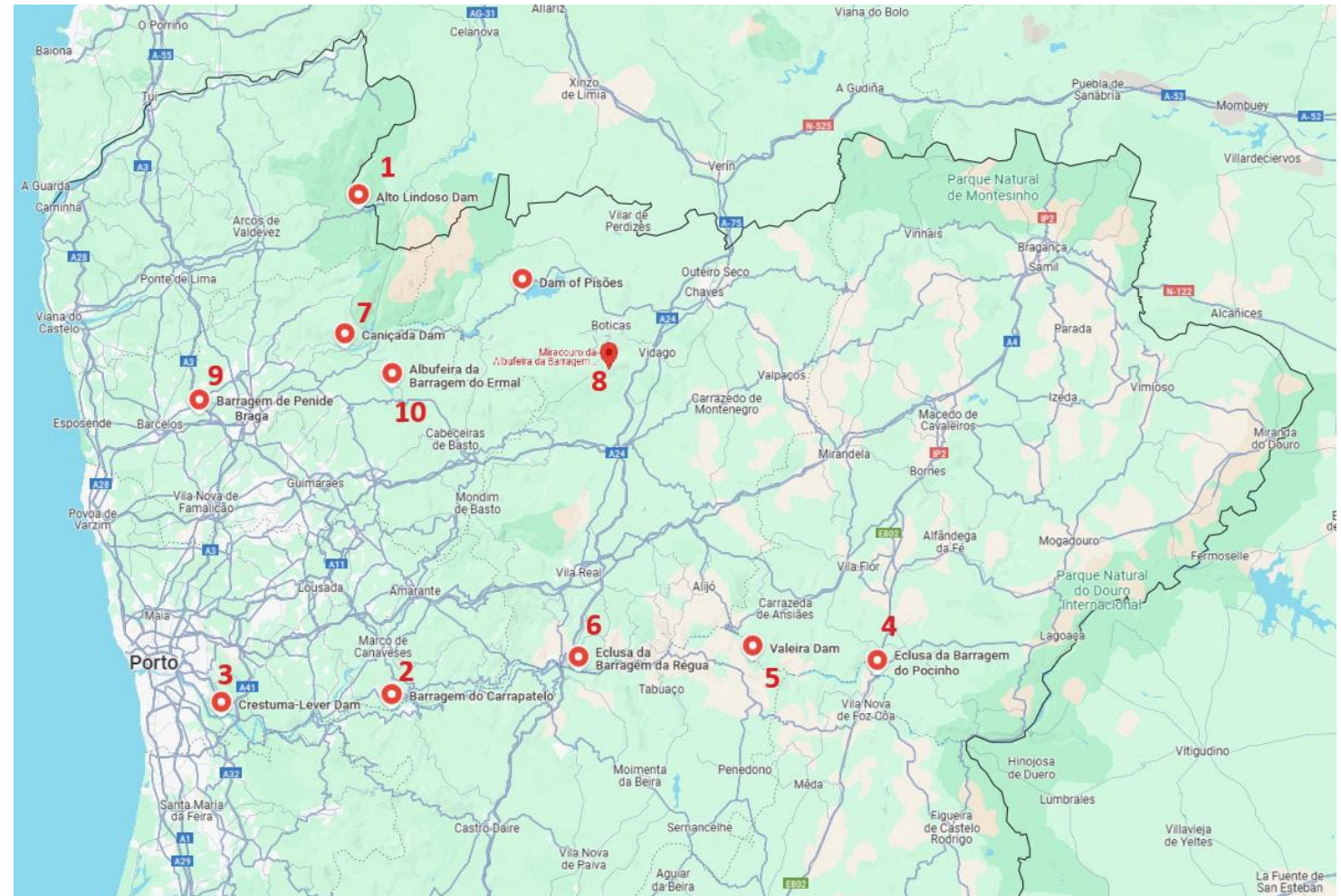


COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS .GALICIA

Dams in North of Portugal



1. Alto Lindoso Dam - 1992
2. Carrapatelo Dam - 1971
3. Crestuma-Lever Dam - 1985
4. Pocinho Dam - 1983
5. Valeira Dam - 1976
6. Bagaúste Dam - 1976
7. Caniçada Dam - 1955
8. Alto Tâmega Dam – 2024
9. Penide Braga Dam – 1951
10. Albufeira do Ermal Dam - 1938



3. Construction and Execution Technologies



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS .GALICIA

Dams in North of Portugal



Alto Lindoso Dam - 1992



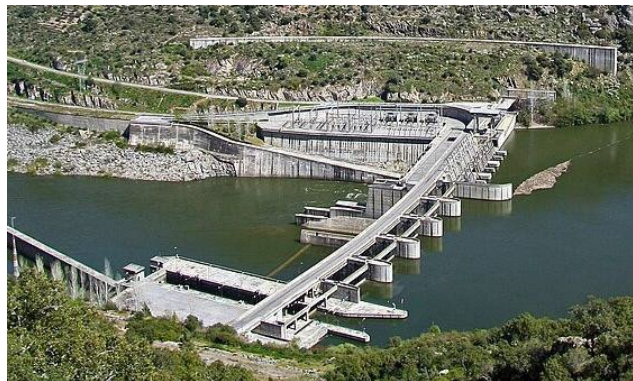
Carrapatelo Dam - 1971



Crestuma-Lever Dam - 1985



Pocinho Dam - 1983



Valeira Dam - 1976



Bagaúste Dam - 1976



Caniçada Dam - 1955



Alto Tâmega Dam – 2024

3. Construction and Execution Technologies

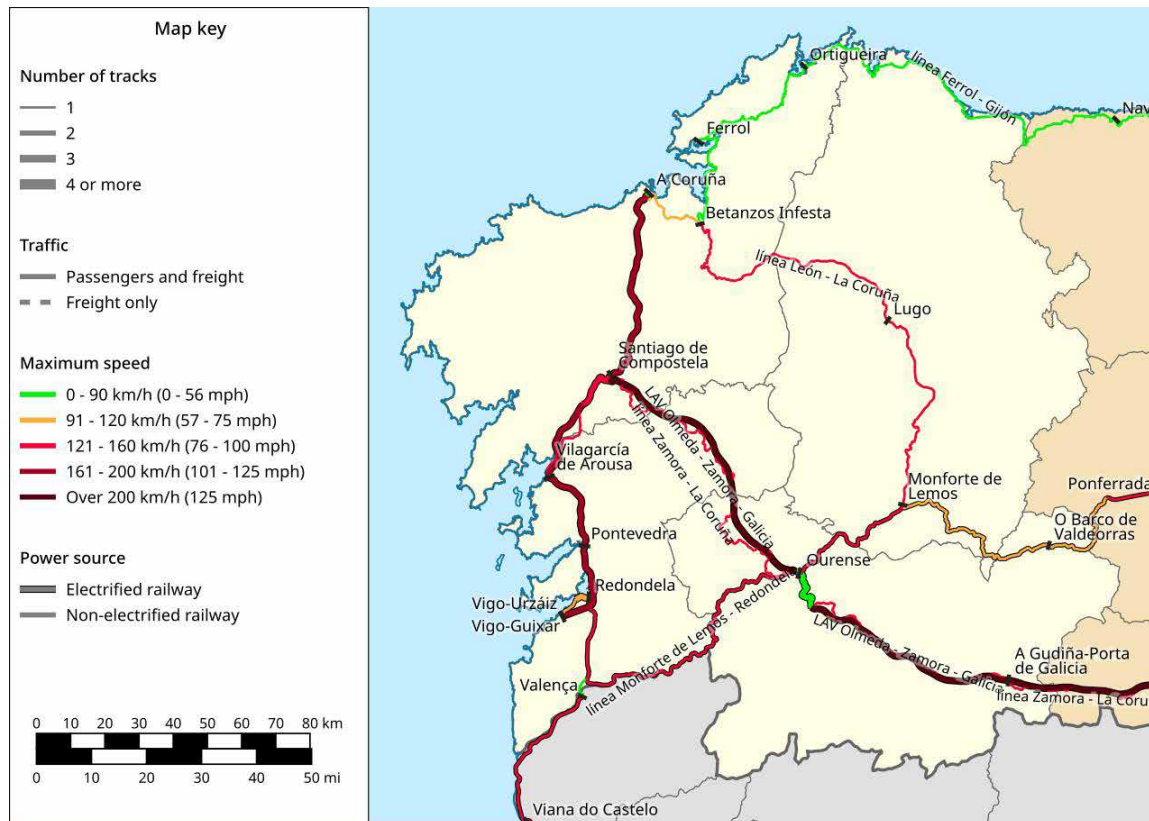


ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS .GALICIA

Highways and Trains in Galicia



3. Construction and Execution Technologies

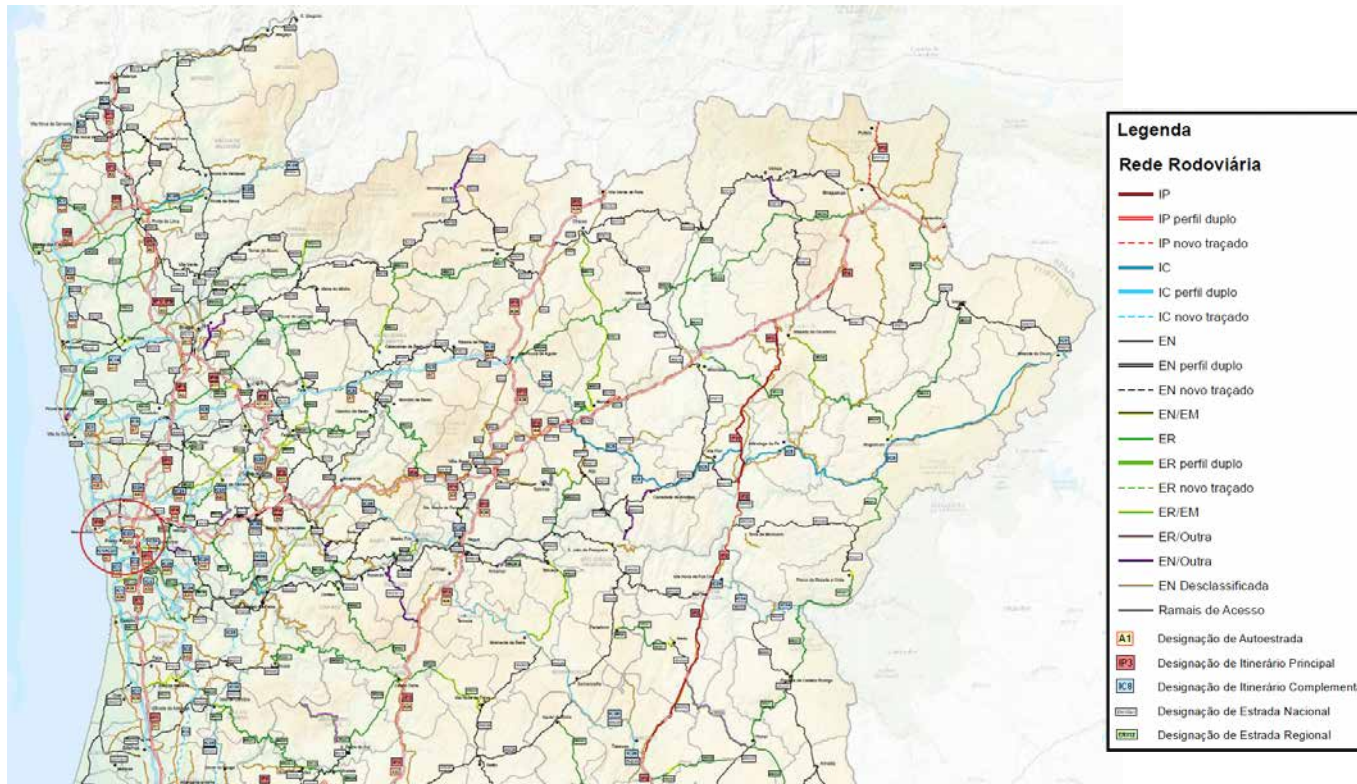


ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS .GALICIA

Highways and Trains in North of Portugal



Reference: <https://www.360meridianos.com/como-viajar-de-trem-em-portugal/>

<https://www.infraestruturasdeportugal.pt/sites/default/files/pdfs/infraestruturas/Mapa%20Plano%20Rodovia%CC%81rio%20Nacional.pdf>

3. Construction and Execution Technologies



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

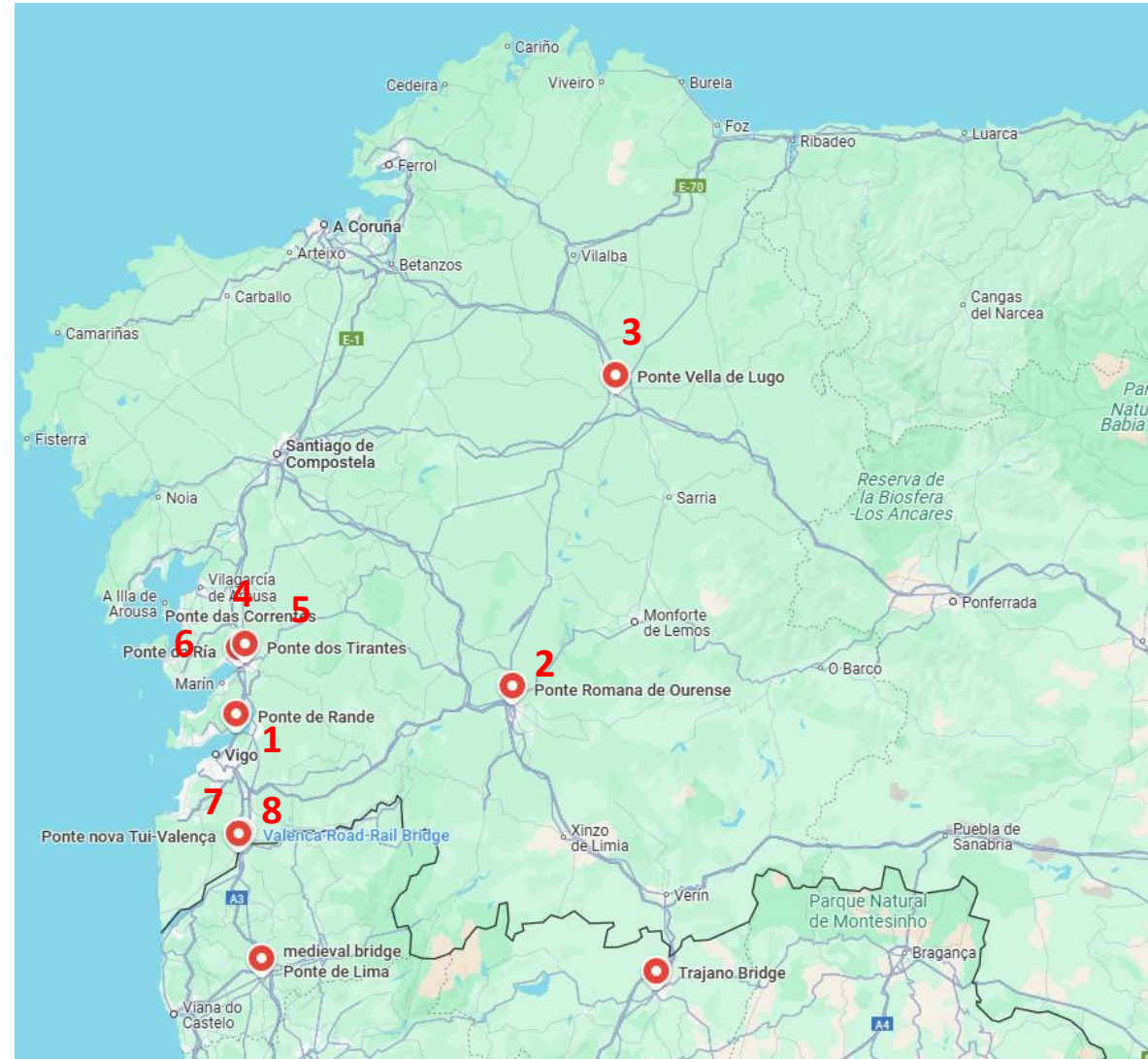


COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS .GALICIA

Bridges in Galicia



1. Ponte Rande – 1978
2. Ponte de Pedra (Ourense) – 1230
3. Ponte Maior (Lugo) – 1st century
4. Ponte das Correntes – 2012
5. Ponte dos Tirantes – 1978
6. Ponte da Ría – 1992
7. Ponte nova Tui-Valença
8. Valenca Road-Rail Bridge - 1885



3. Construction and Execution Technologies



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS .GALICIA

Bridges in Galicia



Ponte Rande – 1978



Ponte de Pedra (Ourense) – 1230



Ponte Maior (Lugo) - 1st century



Ponte das Correntes



Ponte de Tirantes – 1978



Ponte da Ria – 1992



Ponte nova Tui-Valença



Valença Road-Rail Bridge - 1885

3. Construction and Execution Technologies



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

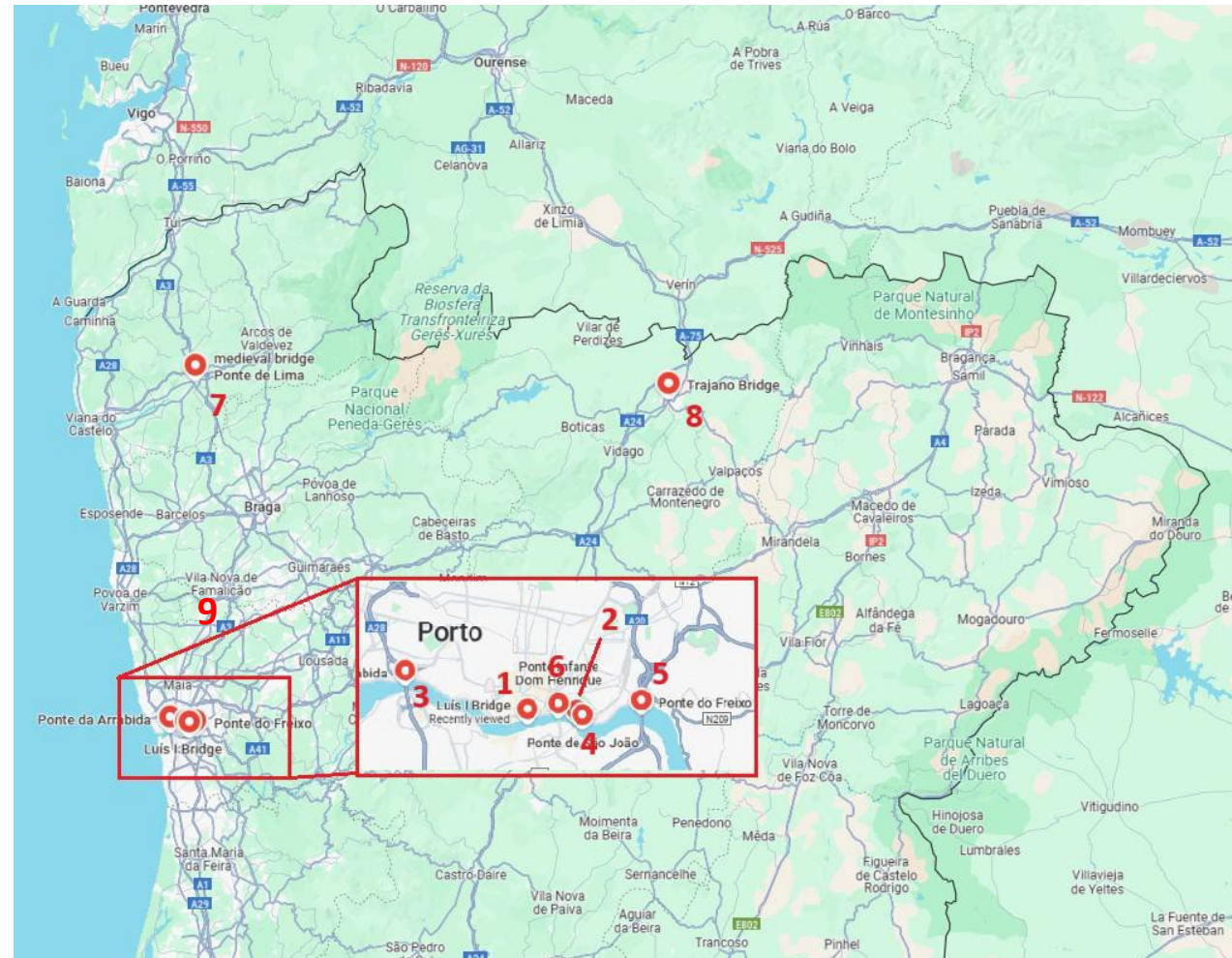


COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS .GALICIA

Bridges in North of Portugal



1. Dom Luís I Bridge - 1886
2. Maria Pia Bridge - 1877
3. Arrábida Bridge - 1963
4. São João Bridge - 1991
5. Freixo Bridge - 1995
6. Infante Dom Henrique Bridge - 2003
7. Lima Bridge - 14th century
8. Trajano (Chaves) Bridge - 1st century
9. Lagoncinha Brigde – XIIth century





3. Construction and Execution Technologies

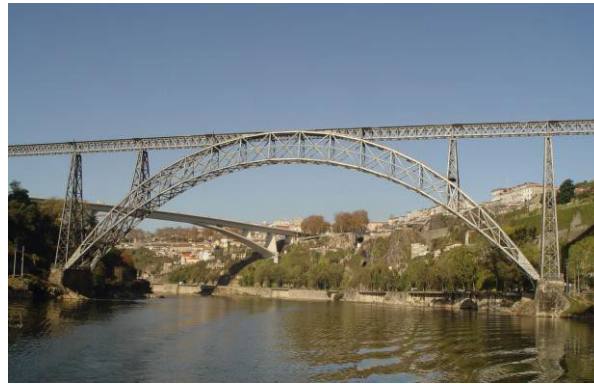
Bridges in North of Portugal



Dom Luís I Bridge - 1886



Maria Pia Bridge - 1877



Arrábida Bridge - 1963



São João Bridge - 1991



Freixo Bridge - 1995



Infante Dom Henrique Bridge - 2003



Lima Bridge - 14th century



Trajano (Chaves) Bridge - 1st century



4. Durability, Sustainability and Conservation



4. Durability, Sustainability and Conservation



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS.GALICIA

Durability → capability to withstand environmental, chemical, and physical stresses over its design life with minimal degradation

- Environmental Exposure
- Quality of Material and Design
- Reinforcement Protection

Strategies to Enhance Durability

- Reduce permeability and improve resistance of concrete to chemical attacks (using supplementary cementitious materials – SCMs - like fly ash or slag)
- Control cracking and improve toughness (like incorporating steel or polymer fibers in mixes of concrete)
- Regular inspections and early intervention in preventing cracking or spalling before they escalate.
- Use of advanced concrete mixes (high-performance concrete HPC or ultra-high-performance concrete UHPC), which offer superior strength and durability.

Challenges

- Aggressive environments (coastal, aggressive or industrial areas) accelerate deterioration, requiring stringent material and design solutions.
- Aging and deterioration of materials.
- Poor construction practices, such as inadequate curing or improper compaction, can compromise durability significantly.

4. Durability, Sustainability and Conservation



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS.GALICIA

Sustainability → Focus on reducing environmental impact while maintaining performance and longevity.

Material optimization (CO_2 production from cement manufacture is around 8% of global emissions)

- Using SCMs (like fly ash, slag, or calcined clay) can reduce cement content by 20-50% while maintaining or improving performance.
- Recycled Materials: Incorporating recycled aggregates from construction and demolition waste or industrial byproducts reduces resource exhaustion and landfill use.
- Alternative Binders: Geopolymer concrete or alkali-activated materials can replace traditional cement, offering lower carbon footprints depending on the structural application

Design for Longevity and Construction Practices

- Designing structures for extended service life (for example, 100+ years for bridges) reduces the need for frequent reconstruction, conserving resources.
- Design requirements controlling degradation and ensuring minimum performance (minimum covers, limiting cracking and stress concentrations)
- Modular or adaptable designs allow for future modifications without complete demolition.
- Prefabrication and precast concrete elements reduce on-site waste and improve quality control.
- Optimizing concrete mix designs to use locally sourced materials minimizes transportation emissions.

Challenges

- **Balancing costs and sustainability/eco-friendly materials** like geopolymers may have higher upfront costs or require specialized expertise.
- **Limited availability of recycled aggregates** or SCMs in some regions.
- **Lack of standardized codes** for alternative materials can hinder adoption.

4. Durability, Sustainability and Conservation



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS.GALICIA

Conservation → ensures the longevity and safety of reinforced concrete structures, minimizing repair costs and disruptions.

Preventive Maintenance

- Regular Inspections: Routine visual and non-destructive testing to detect early signs of distress like cracks, corrosion, or delamination.
- Protective Coatings: Applying sealants, waterproof membranes, or corrosion inhibitors to shield concrete from moisture and chemicals.
- Cathodic Protection: For structures in corrosive environments (e.g., marine or de-icing salt exposure), cathodic protection systems prevent reinforcement corrosion.

Reactive Maintenance

- Crack Repair: Injecting epoxy or polyurethane to seal cracks and restore structural integrity.
- Patching: Removing deteriorated concrete and replacing it with compatible repair mortars.
- Strengthening: Retrofitting with external reinforcements like carbon fiber-reinforced polymers (CFRP) or steel plates to enhance load-carrying capacity.

Monitoring Technologies

- Embedded sensors and use of drones and AI-based imaging provide real-time data on structural health, enabling proactive maintenance and improving inspection efficiency.

Challenges

- High **costs** of advanced maintenance techniques (e.g. cathodic protection or sensor installation). **Accessibility** issues for large or complex structures, such as offshore platforms or high-rise buildings.
- **Balancing maintenance frequency with operational downtime**, especially for critical infrastructure like bridges or tunnels.

4. Durability, Sustainability and Conservation



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



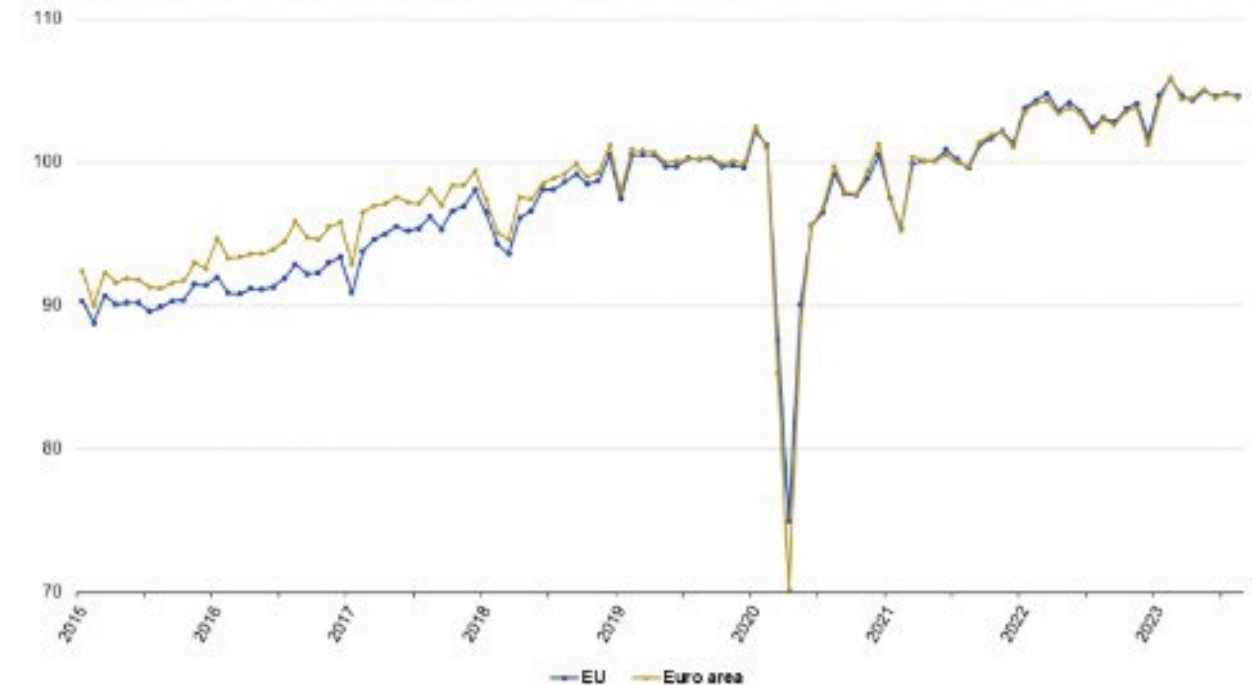
COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS.GALICIA

Rehabilitation and maintenance

- Approximately **20%** of the global **building stock** will **require rehabilitation by 2030** - suggesting an annual investment growth rate of 2-3% in both developed and emerging economies (*Global Alliance for Buildings and Construction*)
- **Investment** in civil **construction** in the European Union (EU) has shifted from new builds to rehabilitation - around **30%** of the gross construction value was tied to rehabilitation works by **2019**, increasing to approximately 35% in 2023 (*Eurostat*)
- UNESCO World Heritage Fund is investing **\$4 million annually for projects**.

Construction production

(index 2021=100, calendar and seasonally adjusted data, 2015-2024)



Note: (vertical) y-axis does not start at 0.
Source: Eurostat (online data code: sts_copr_m)

eurostat

Reference: <https://www.europeanheritagehub.eu/european-heritage-hub-announces-grants-to-14-heritage-projects-in-eu-neighbouring-countries-and-calls-for-increased-funding/>
[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:F1Construction_production_\(index_2021%3D100,_calendar_and_seasonally_adjusted_data,_2015-2024\).png](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:F1Construction_production_(index_2021%3D100,_calendar_and_seasonally_adjusted_data,_2015-2024).png)
https://globalabc.org/sites/default/files/2024-11/global_status_report_buildings_construction_2023.pdf



5. Trends in Infrastructures



5. Trends in Infrastructures



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS .GALICIA

Some figures on the major infrastructures:



Spain

- **Airports:** 46 airports, with Madrid-Barajas (60 million passengers in 2023) and Barcelona-El Prat (50 million) among Europe's busiest. 672 airlines connect to 189 cities across 74 countries, with 4,000 weekly international flights.
- **Railways:** Total network: ~15,000 km, including 3,402 km of high-speed rail (third largest globally). Part of the TEN-T Trans-European Transport Network.
- **Highways:** Over 17,000 km of highways and freeways, the largest network in the EU. High-quality road infrastructure with top global ratings.
- **Tunnels:** Notable tunnels include Guadarrama Tunnel (28.4 km, high-speed rail, 2007), Spain's longest. Urban tunnels (e.g., Barcelona rail extension) use advanced fiber-reinforced concrete.



5. Trends in Infrastructures



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



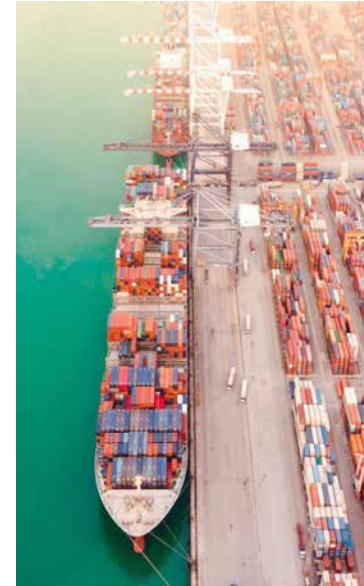
COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS .GALICIA

Some figures on the major infrastructures:



Portugal

- **Airports:** 4 international airports: Lisbon (Humberto Delgado, 28 million passengers in 2023), Porto, Faro, Beja. Lisbon Airport is a major hub, serving 120+ destinations with 33 million passengers projected for 2025.
- **Railways:** Total network: ~2,800 km, with 70% electrified. High-speed rail under development (Lisbon–Porto, planned 2030 completion). 3 cross-border rail connections with Spain.
- **Highways:** Over 3,000 km of highways, third highest per capita in Europe (Eurostat 2021). Via Verde electronic toll system covers most motorways.
- **Tunnels:** Notable tunnels include Marão Tunnel (5.6 km, A4 highway, 2016), Portugal's longest road tunnel. Metro and rail tunnels use precast concrete linings extensively.



5. Trends in Infrastructures



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS .GALICIA

Population characterization

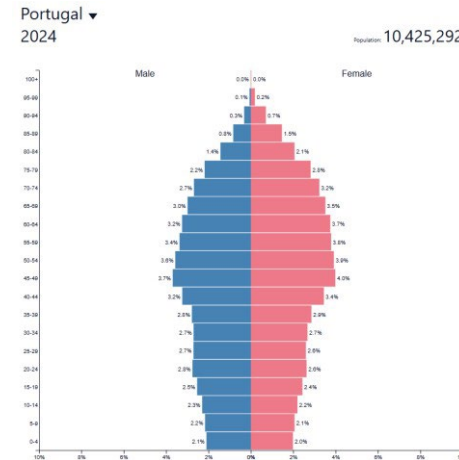
North of Portugal

- There are 3 586 586 (over **3.5 million people**), which ~75% are living in urban areas.

Galicia

- There are 2.715.424 (over **2.7 million people**), which ~64% are living in urban areas.

In **both Regions**, there is a **larger amount of people above 40 years**, as per the population Pyramids.



Pirámide de población gallega

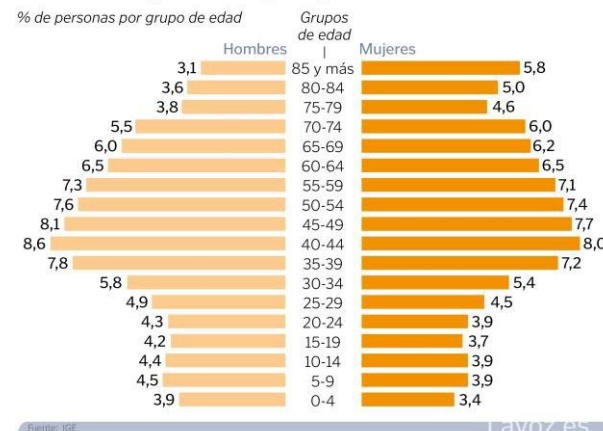
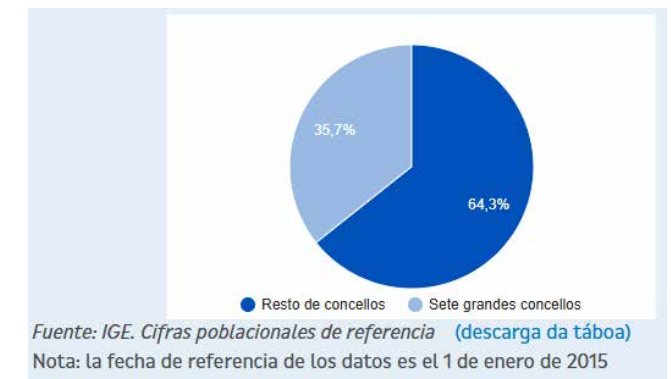
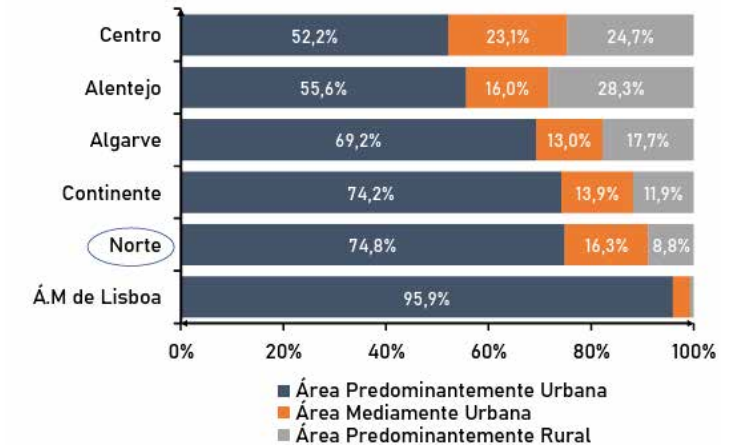


Figura 23 – Proporção da população residente por tipologias de área urbana, 2021 – NUTS II Continente



5. Trends in Infrastructures



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS.GALICIA

Infrastructure Needs

North Portugal and Galicia → specific needs associated to the location challenges (peripheral location in Europe)

- **Transportation** infrastructures (high speed rails, roads, ports, airports)
- **Energy** infrastructures (renewable energy)
- **Digital** infrastructures (telecommunications)

Strategic Investments are underway

- **High-speed rail** link (Porto → Vigo): 2032
- **EU Funds** € 495 million
 - **Energy**
 - **Water supply and treatment**
 - **Transport**
 - ...

EU FUNDS GALICIA CO-FINANCING 2021-2027

STATUS	SECTOR(S)
Signed 18/07/2024	Energy - Electricity, gas, steam and air conditioning supply
	Solid waste - Water supply; sewerage, waste management and remediation activities
PROJECT NAME	Water, sewerage - Water supply; sewerage, waste management and remediation activities
EU FUNDS GALICIA CO-FINANCING 2021-2027	Composite infrastructure - Construction
PROPOSED EIB FINANCE (APPROXIMATE AMOUNT)	Transport - Transportation and storage
EUR 495 million	Telecom - Information and communication
	Services - Professional, scientific and technical activities
	Services - Public administration and defence; compulsory social security
	Education - Education
	Health - Human health and social work activities
	Services - Arts, entertainment and recreation
	Credit lines - Credit lines

5. Trends in Infrastructures



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS .GALICIA

Trends

- For 2025, the European Commission **projects a 2.4% rise in construction investment**
- The growth of **cultural tourism**

Future Challenges

- Higher **construction costs**
- Imposition of **performance-based requirements** in buildings, structures and infrastructures
- Non-universal construction **codes**
- Shortage of **skilled labor workmanship**
- Increase demand for **new materials**
- **Tourism** demands in pressure renting prices
- “Forced” **immigration** due to buildings prices
- ...





6. The Role of the Civil Engineer in Critical Decision Making



6. The Role of the Civil Engineer in Critical Decision Making



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS .GALICIA

The **Role** of Civil Engineers

American Society of Civil Engineers:

“Civil engineers design, build, and maintain the foundation for our modern society – our buildings, roads and bridges, drinking water and energy systems, seaports and airports, and the infrastructure for a cleaner environment, to name just a few.”

European Council of Civil Engineers:

“A civil engineer is a professionally educated and practice-oriented individual who applies scientific, technical, and other relevant knowledge to perform civil engineering tasks. Their goal is to contribute to a sustainable world and improve the quality of life. This involves using analytical and synthetic approaches to solve problems related to the built environment, ensuring safety, economy, and environmental compatibility”



6. The Role of the Civil Engineer in Critical Decision Making



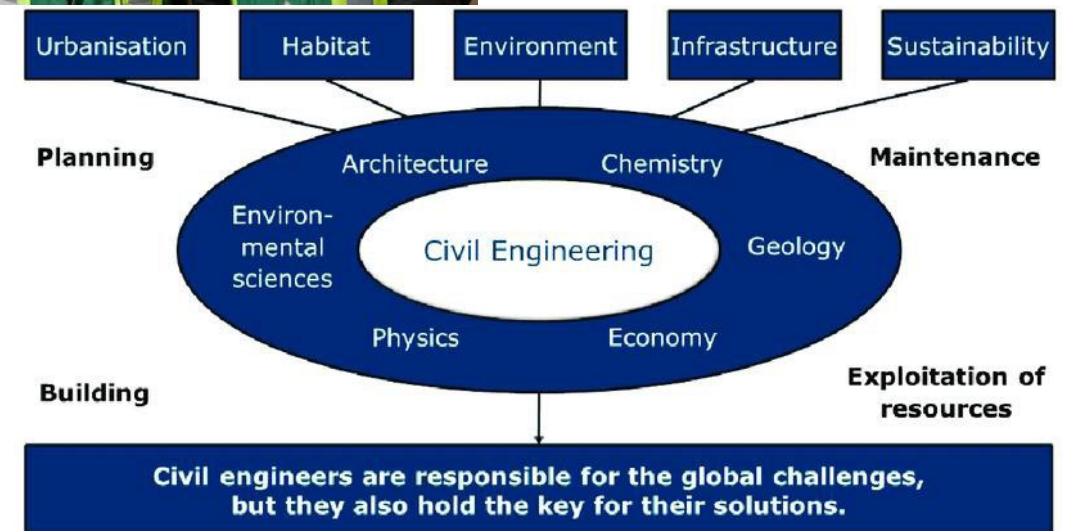
ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS.GALICIA

The **Role** of Civil Engineers

- Guarantee of the welfare of society
- Improvement of public infrastructures
- Energy production, transportation and distribution
- Water Capture, Distribution and Management
- Sustainable construction
- Improvement of urban mobility
- Modernization of cities
- Preservation and maintenance of historical and cultural heritage
- Technological development and scientific research



6. The Role of the Civil Engineer in Critical Decision Making



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS.GALICIA

The **lack of workforce** and **Specialist Engineers** **Europe** Specialist Engineering Shortage

Severity: There is a **critical shortage of specialist engineers**, particularly in **civil and structural** engineering, driven by the green and digital transitions. The European Federation of Engineering Consultancy Associations (EFCA) notes that 95% of countries report stable or growing engineering markets but face staffing challenges.

Specific Roles: Shortages are acute for engineers with skills in computer-aided engineering, building information modeling (BIM), sustainability, and digital tools like data analytics and GIS, essential for modern infrastructure projects.

Causes:

- **Declining Enrollment:** In Germany, engineering and IT course enrollment dropped by 15% over five years, contributing to a shortage of **26,500 graduates annually** for industries like power electronics, which overlaps with construction engineering needs.
- **Skill Mismatch:** The shift to green technologies (energy-efficient buildings) and digitalization requires new skills, but education systems lag in adapting. 44% of infrastructure skills are expected to evolve by 2030.
- **Aging Workforce:** Similar to the general workforce, many experienced engineers are nearing retirement, with insufficient replacements.

Impact: The shortage delays **complex projects** like high-speed rail and airport expansions, dams, ..., which require specialized engineering for reinforced concrete designs, seismic resistance, and sustainable materials.

6. The Role of the Civil Engineer in Critical Decision Making



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



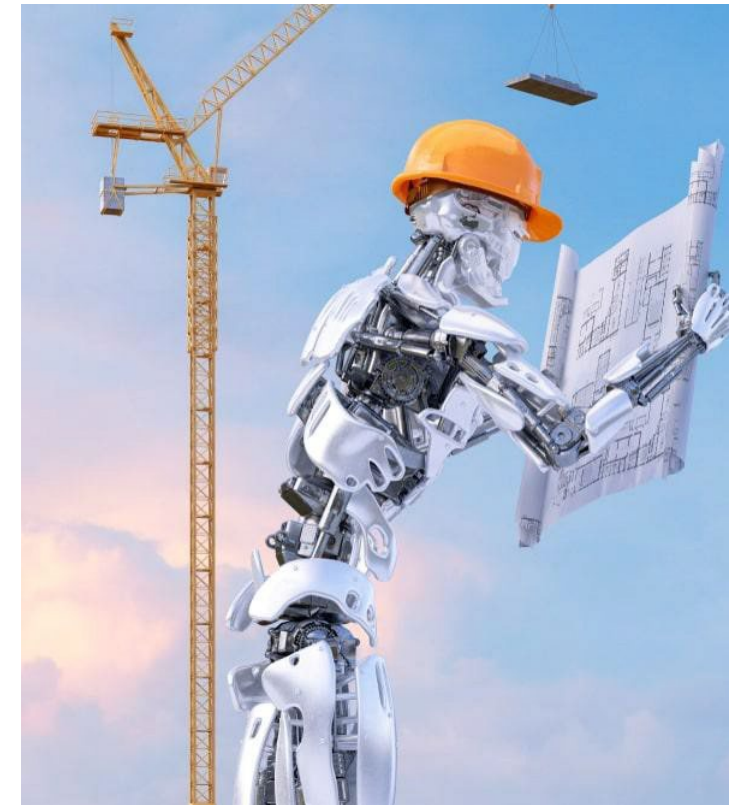
COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS .GALICIA

The **lack of workforce** and **Specialist Engineers**

Europe Specialist Engineering Shortage

Portugal and **Spain**

- The sector struggles to **attract young civil engineers** due to perceptions of lower prestige compared to tech fields.
- **Regional Context: Both countries face competition for talent from northern Europe** (Germany, Netherlands), where 194–193 occupations, including engineering, report shortages.





7. Thoughts on Education in Civil Engineering



7. Thoughts on Education in Civil Engineering



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS.GALICIA

Enrollment Trends in Civil Engineering

- **Declining Interest in Civil Engineering:** Across Europe and in the USA, there is evidence of declining or stagnating enrollment in civil engineering programs, particularly at the undergraduate level, which contributes to the workforce shortage- where fields like computer science and information technology are drawing students away.
- European Context: Eurostat data indicates that in 2018, engineering, manufacturing, and construction-related studies accounted for 15.8% of education students in the EU-27, with men comprising nearly 75% of this group. However, civil engineering's share within this category is smaller compared to other engineering fields, and growth has been slower.

Portugal and Spain

- Portugal: Enrollment in civil engineering indicates that **civil engineering is not growing as fast as other fields**, with students favoring tech-driven disciplines. Since 2014, there **has been a drop in Portuguese Civil Engineering Courses.**
- Spain: Spain had 461,000 graduates in 2018, with engineering, manufacturing, and construction being a key field. However, **the construction sector's recovery post-2008 has not translated into proportional enrollment increases in civil engineering**, partly due to the sector's image as less innovative compared to tech fields.

7. Thoughts on Education in Civil Engineering



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS .GALICIA

Enrollment Trends in Civil Engineering

- **Gender Disparities:** Women are significantly underrepresented in civil engineering, **with only 4.2% of EU-27** tertiary students in engineering, manufacturing, and construction being female in 2018, compared to 11.6% male. This gender gap limits the talent pool, exacerbating shortages.

Factors Influencing Enrollment Trends

- Perception of the Field: Civil engineering struggles with an outdated image as a physically demanding, less “cutting-edge” field compared to computer science or AI.
- Economical and Social Factors: Economic downturns historically reduce enrollment – specially during COVID Pandemic.
- Skills Mismatching and Curriculum Challenges: The civil engineering sector increasingly demands skills in digital tools, but many European schools lack updated curriculum.
- International Students trend: Many talents are drawn to better university outside Portugal and Spain for better proposals due to different scholarship programs.



Improving Enrollment:

- **Curriculum modernization**
- Rebranding industry leaders
- International recruitment
- Diversity Initiatives



8. Thoughts on Research Needs



8. Thoughts on Research Needs



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS .GALICIA

Future Trends

Sustainable and Low-Carbon Construction

- Trend: Research is heavily focused on reducing the carbon footprint of construction, a critical priority given Europe's commitment to the EU Green Deal and carbon neutrality by 2050. This includes developing low-carbon concrete (e.g., using 3D printing techniques), cross-laminated timber (CLT), and other eco-friendly materials like hydrogels for passive cooling in arid conditions.
- European Context: Countries like Germany and France are leading in urban reconstruction and sustainable material adoption. For instance, France's Grand Paris Express project emphasizes green materials to enhance public transit sustainability. Research is also exploring circular economy principles, such as recycling construction waste and using by-products like CO2 in concrete curing.
- Research Focus: Innovations in low-carbon 3D printing concrete, self-healing concrete with calcite-precipitating bacteria, and lifecycle assessments to minimize environmental impact. Collaborative efforts between engineers and policymakers are also a research priority to enforce sustainable procurement regulations.



8. Thoughts on Research Needs



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

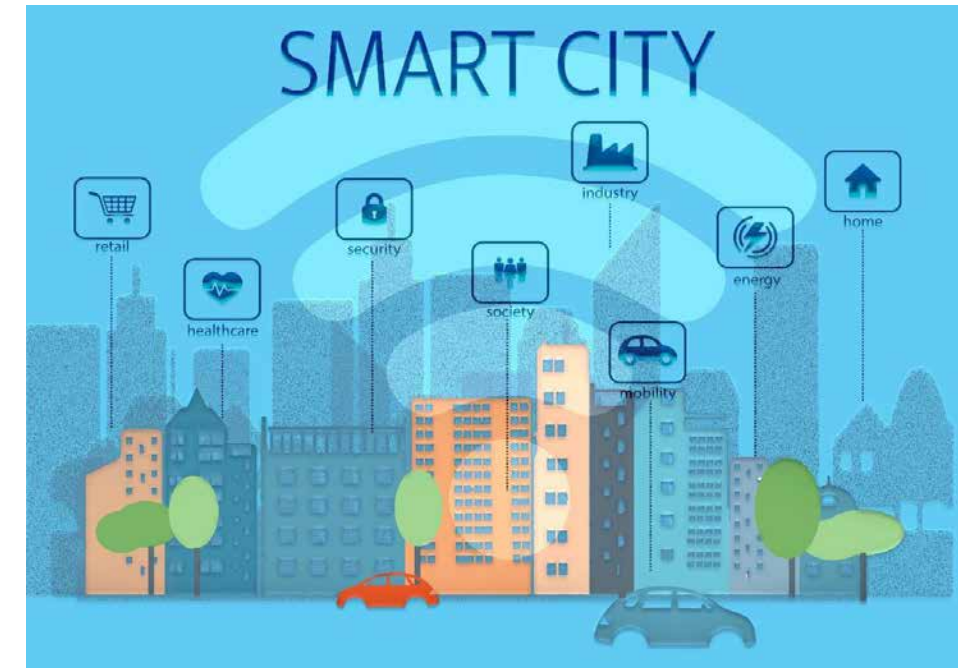


COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS .GALICIA

Future Trends

Digital Transformation and Smart Infrastructure

- Trend: The integration of Building Information Modeling (BIM), Internet of Things (IoT), and Artificial Intelligence (AI) is revolutionizing project planning, execution, and maintenance. BIM enhances real-time design visibility, while IoT sensors enable structural health monitoring, traffic flow optimization, and energy management in smart cities. AI is being used for predictive maintenance and resource allocation.
- European Context: Europe's civil engineering market, valued at USD 2.9 trillion in 2023 with a projected CAGR of 4.7% through 2032, is seeing significant investment in digital infrastructure. Germany's urban reconstruction initiatives and the UK's focus on digital twins for infrastructure management are notable examples. Research is also advancing in swarm robotics for automated site surveys and repairs.
- Research Focus: Developing AI-driven structural monitoring systems, integrating digital twins for real-time infrastructure management, and advancing GIS (Geographic Information Systems) for urban planning.



8. Thoughts on Research Needs



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

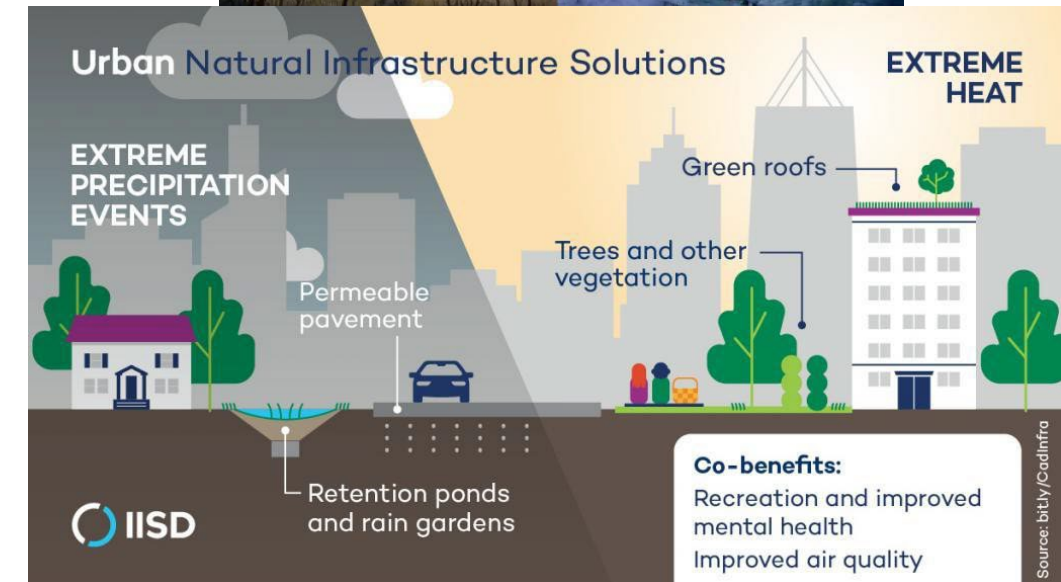


COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS .GALICIA

Future Trends

Resilient Infrastructure for Climate Adaptation

- Trend: With increasing extreme weather events due to climate change, research is prioritizing resilient infrastructure capable of withstanding floods, hurricanes, and earthquakes. This includes advanced materials like carbon fiber reinforcements and designs for net-zero energy buildings that produce as much energy as they consume.
- European Context: Europe's focus on climate resilience is evident in projects like the Netherlands' flood defense systems and Spain's investments in resilient transport networks. Research is also driven by the need to retrofit aging infrastructure, particularly in countries like Italy and Portugal, to meet modern resilience standards.
- Research Focus: Novel materials for disaster-resistant structures, climate-adaptive urban planning, and cost-effective retrofitting techniques for existing infrastructure.



8. Thoughts on Research Needs



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS .GALICIA

Future Trends

Modular and Prefabricated Construction

- Trend: Modular construction and prefabrication are gaining traction to reduce construction time, costs, and waste. These methods involve assembling components off-site, improving quality control and enabling faster project delivery.
- European Context: Scandinavian countries like Sweden and Finland are pioneers in modular construction, particularly for residential projects, driven by the need for rapid urbanization solutions. Research is supported by EU funding for innovative construction techniques.
- Research Focus: Optimizing prefabricated modules for scalability, integrating renewable energy systems into modular designs, and developing standards for cross-border compatibility in Europe.



8. Thoughts on Research Needs



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

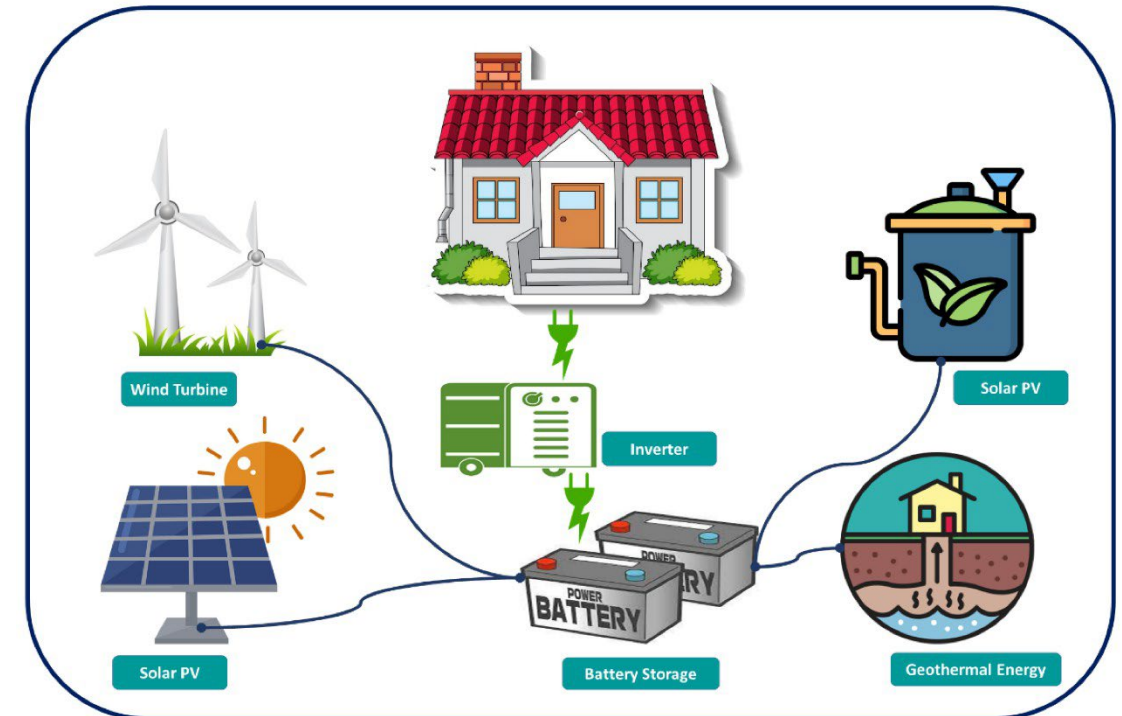


COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS .GALICIA

Future Trends

Renewable Energy Integration in Infrastructures

- Trend: Civil engineering research is increasingly focused on embedding renewable energy solutions, such as solar panels, geothermal systems, and kinetic pavements, into infrastructure to reduce reliance on fossil fuels.
- European Context: Europe's push for renewable energy is strong, with countries like Denmark and Germany leading in wind and solar integration. Projects like solar roofs and wind-resistant turbines are being prioritized to meet EU renewable energy targets.
- Research Focus: Integrating energy-generating infrastructure (e.g., kinetic paving that converts footsteps into electricity), optimizing energy storage systems, and designing energy-efficient transport networks.



8. Thoughts on Research Needs



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE



COLEXIO DE ENXEÑEIROS DE CAMIÑOS,
CANAIS E PORTOS .GALICIA

Future Trends

Skills Development for Industry 4.0

- Trend: The shift toward digital and sustainable practices requires new skills in the civil engineering workforce. Research is focusing on identifying and training for digital skills (e.g., BIM and AI proficiency), green skills (e.g., sustainable design), and transversal skills (e.g., collaboration and problem-solving).
- European Context: The EUCEET Association and projects like SPIRE-SAIS are driving research into future skill needs, with 44% of current infrastructure skills expected to evolve within five years. This is critical for Europe's construction sector, which contributes 9% to the EU's GDP.
- Research Focus: Creating automated databases for skill requirements, developing training programs for digital tools, and fostering interdisciplinary collaboration between engineers, data scientists, and policymakers.

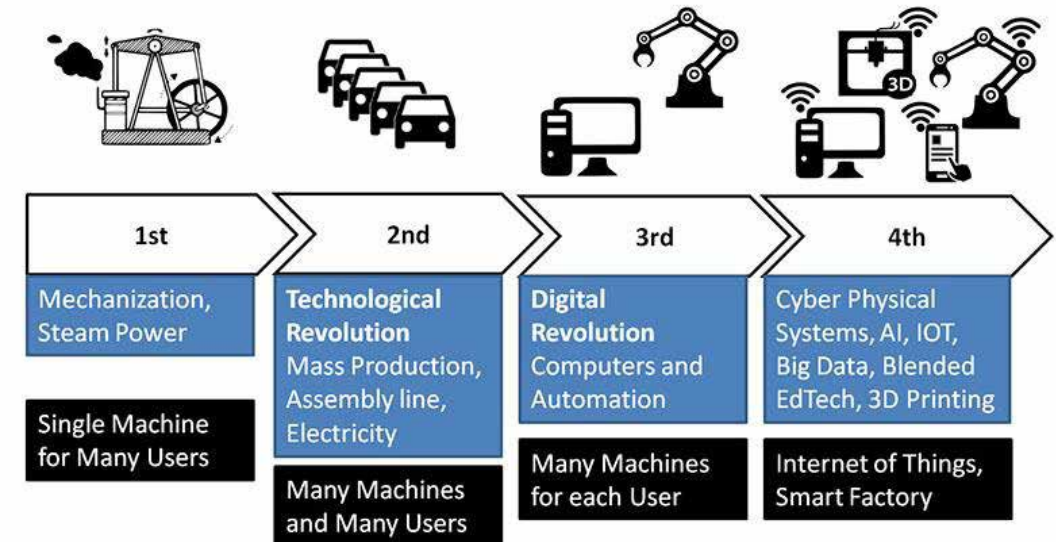






Imagem gerada por IA (MidJourney)

Alterações Climáticas

O que (já) sabemos?

- **População e economias a crescer** >> aumento de emissões de **GEE**
- Necessário **AÇÃO, MITIGAÇÃO e ADAPTAÇÃO!**

exame.

Mundo



AFP

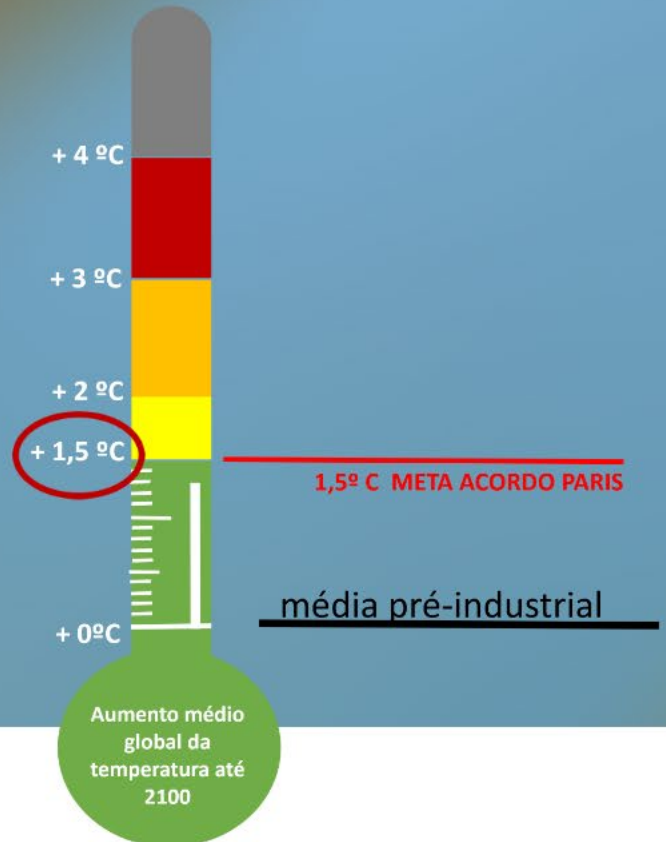
Publicado em 21 de setembro de 2023 às, 07h05.

Crise climática 'abriu as portas do inferno', diz chefe da ONU

Apesar da multiplicação e intensificação dos eventos climáticos extremos, as emissões de gases do efeito estufa seguem aumentando



Valência, Espanha



Alterações climáticas – impacto nos recursos hídricos

DESAFIOS

- Agravamento distribuição temporal e espacial da água
- Redução precipitação e escoamento

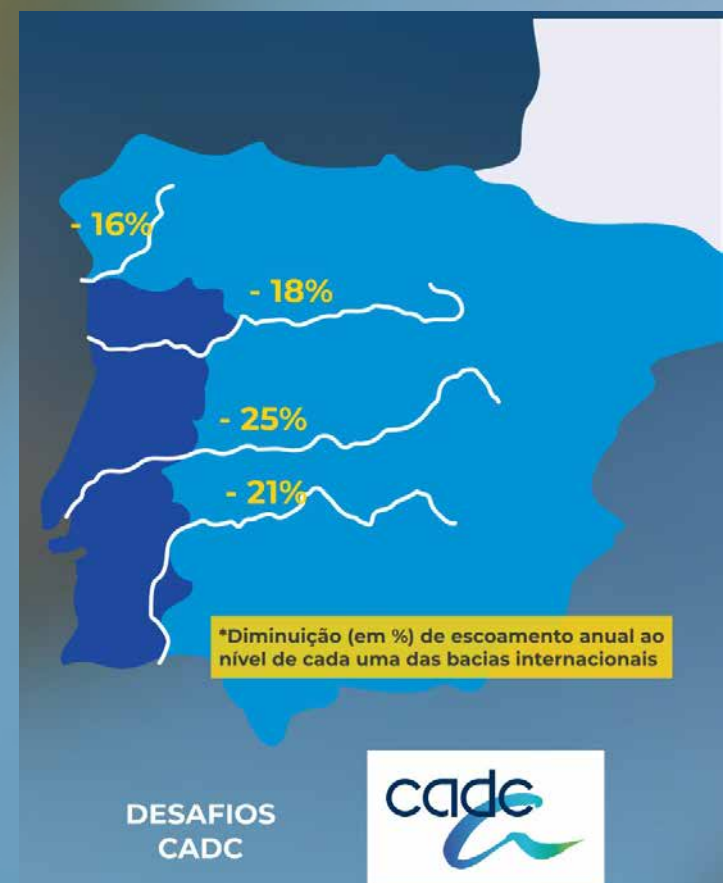
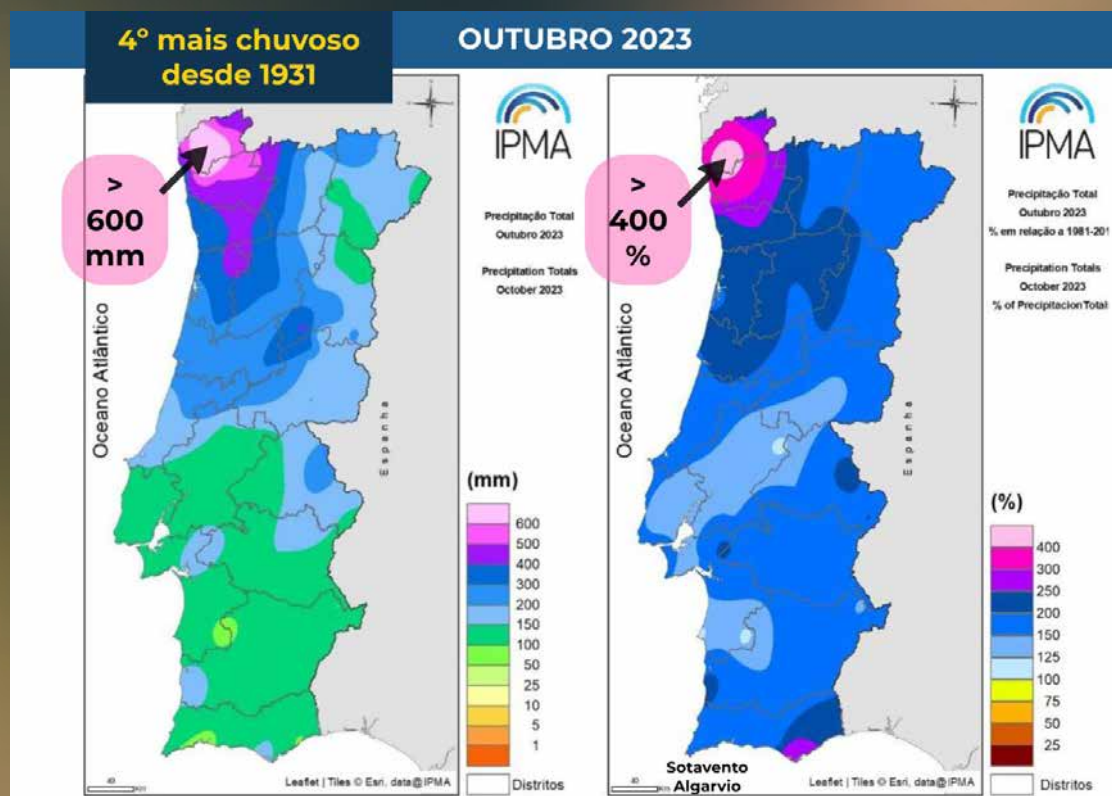




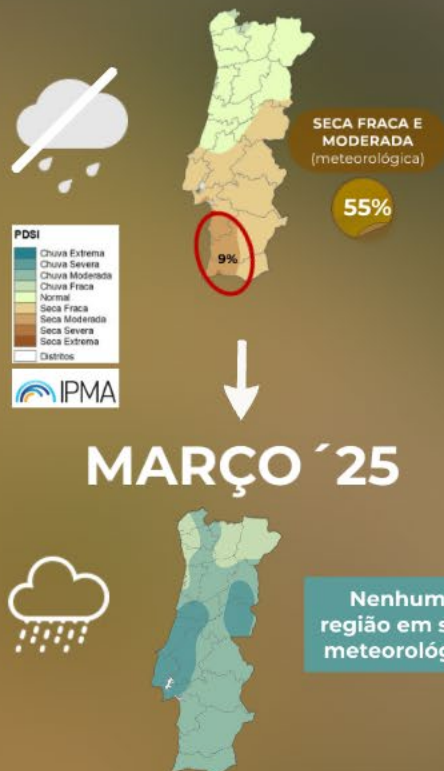
Imagem gerada por MidJourney, @XPTO, 2024

DISPONIBILIDADES hídricas ATUAIS

“Os eventos extremos estão a tornar-se mais frequentes e mais intensos.”

DEZEMBRO '24

O ano de 2024 teve o mês de dezembro com menos chuva desde que há registos



As chuvas desde janeiro 2025...

Tempestades e depressões

JAN 2025

HERMÍNIA

IVO

JANA

KONRAD

LAURENCE

MARTINHO

NURIA

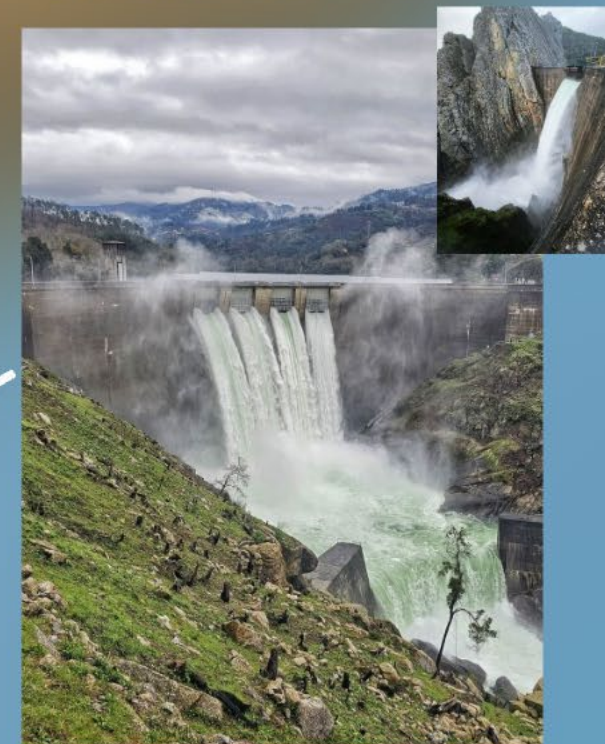
MAR 2025

ABR 2025

Recuperação das reservas hídricas nas albufeiras: nacional e do Algarve!...

Gestão preventiva eventos cheias e inundações

=> preparar encaixe nas albufeiras



=> Articulação com Espanha:

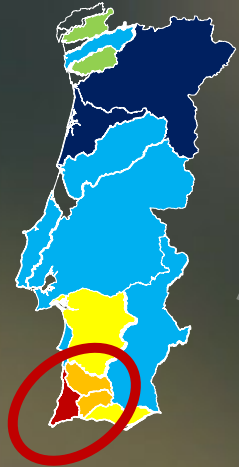
- troca de informação em tempo real
- ativação de alertas pré-definido

SITUAÇÃO HIDROLÓGICA ATUAL

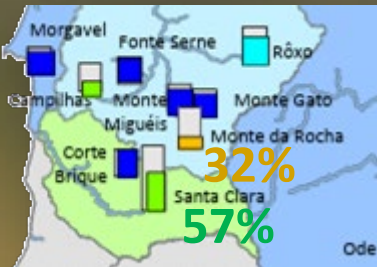
Disponibilidades hídricas - albufeiras | JULHO 2025

31 DEZEMBRO 2024

BACIAS
HIDROGRÁFICAS

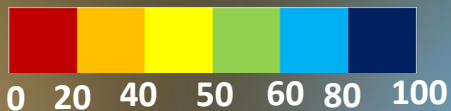


Região Mira e Sado



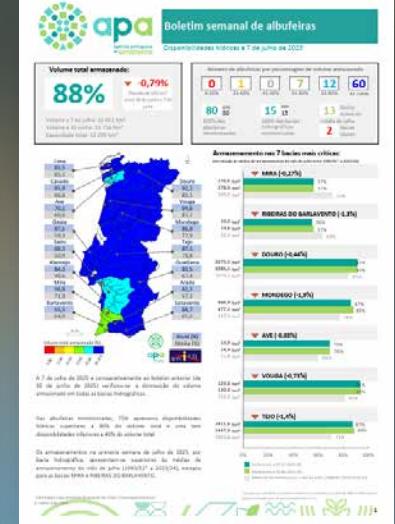
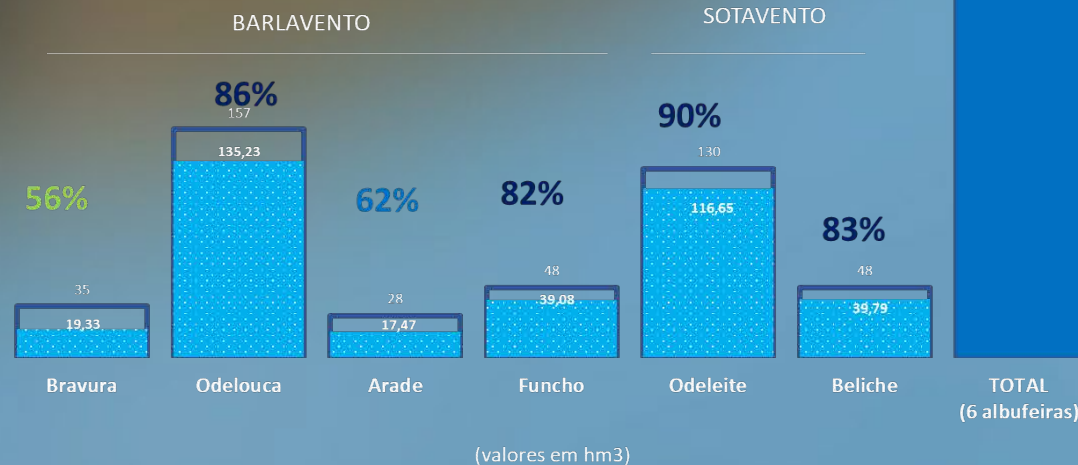
7 JULHO 2025

Volume armazenado (%)



Região Algarve

7 JULHO 2025



snirh.apambiente.pt

TOTAL ALGARVE
(6 ALBUFEIRAS)



+197
HM³





Portugal - compromisso com **ação climática**

METAS DE PORTUGAL EM MATÉRIA DE ENERGIA E CLIMA

PNEC 2030



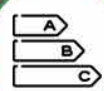
EMISSÕES GEE 2030¹

2022

-35%

REVISÃO PNEC 2030

-55%



EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA

-35%

16 711 ktep⁴
14 371 ktep⁵



RENOVÁVEIS

35%

51%



RENOVÁVEIS
NOS TRANSPORTES

9%

29%³



INTERLIGAÇÕES
ELÉTRICAS

14%

15%

ANTECIPAÇÃO DA META
DA NEUTRALIDADE
CLIMÁTICA PARA 2045



(1) Sem LULUCF, em comparação com 2005;

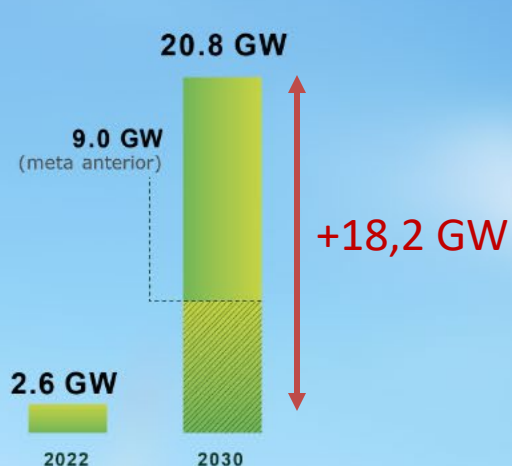
(2) Redução do consumo de energia primária, excluindo utilizações não energéticas, em comparação com as projeções do modelo PRIMES de 2007;

(3) Esta meta considera uma quota de biocombustíveis e biogás produzidos a partir de matérias-primas enumeradas na Parte B do Anexo IX da Diretiva Energias Renováveis (UE) 2023/2413 de, pelo menos, 1,9 %;

(4) Meta para o consumo de energia primária (de acordo com a metodologia da Diretiva Eficiência Energética revista (EED – (UE) 2023/1791);

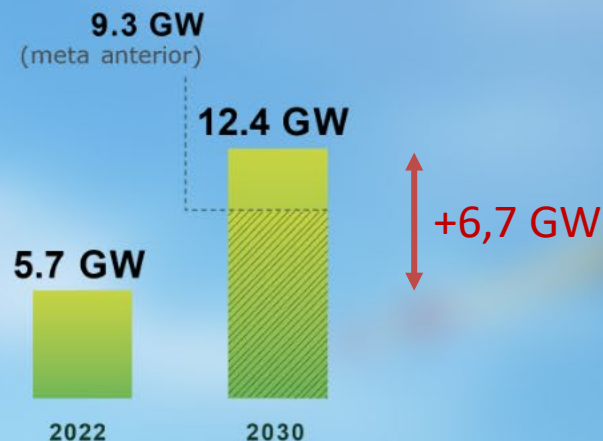
(5) Objetivo indicativo para o consumo de energia final em 2030 (de acordo com a metodologia da EED revista)

Potência instalada renovável 2030 (REVISÃO)



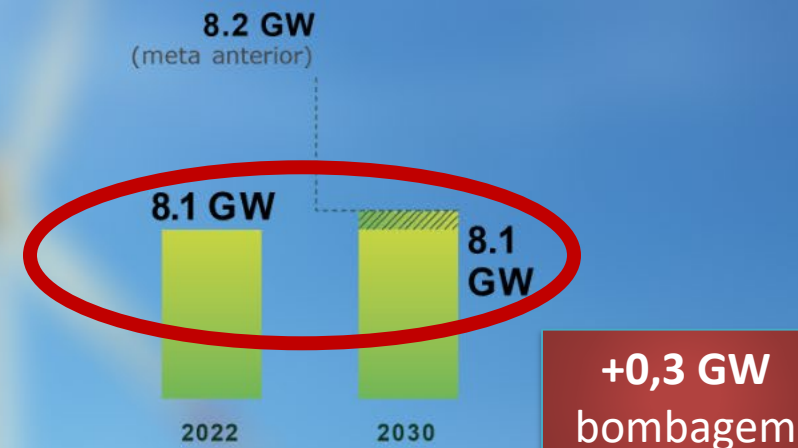
Solar fotovoltaica

Instalação de **15.1 GW** de potência fotovoltaica centralizada e **5.7 GW** de potência descentralizada, perfazendo um total de **20.8 GW**



Eólica

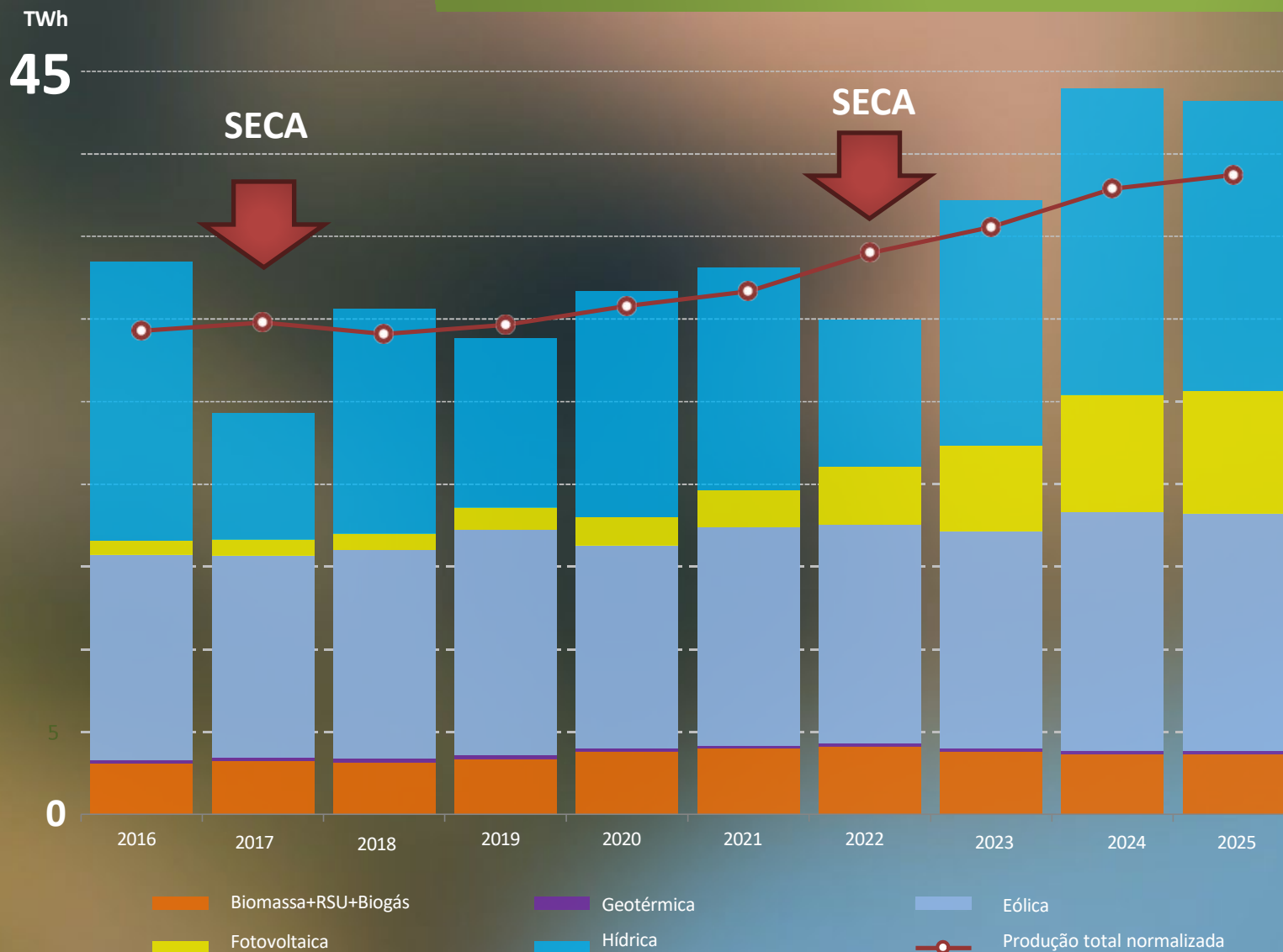
Instalação de **10.4 GW** de eólica onshore e **2.0 GW** de eólica offshore, perfazendo um total de **12.4 GW**



Hidroelétrica

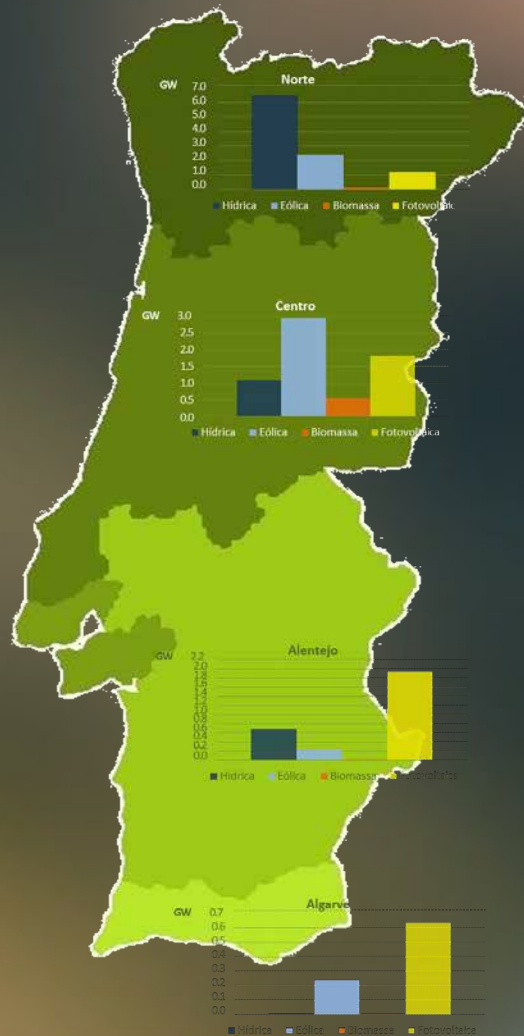
Manter a instalação de **8.1 GW** de potência hidroelétrica, aumentando a bombagem em **0.3 GW**

Evolução da Produção de origem FER



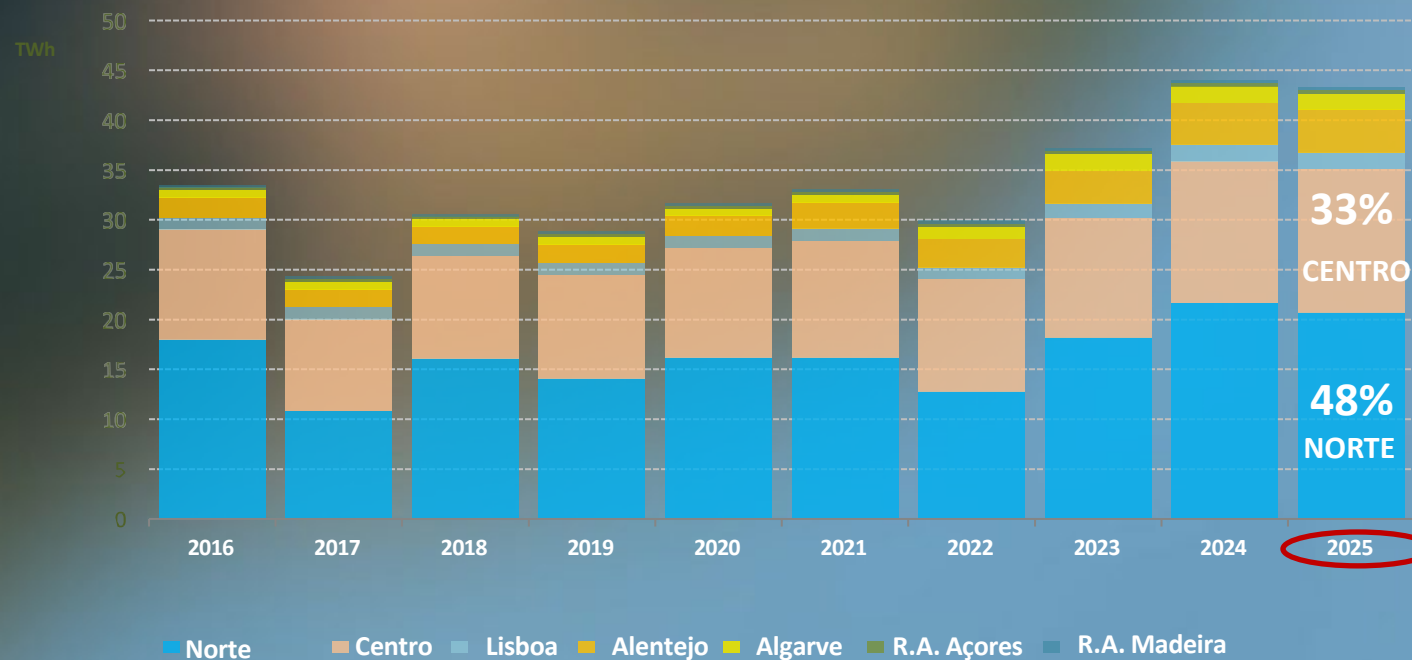
A forte quebra na produção renovável em 2017 e 2022 deveu-se às SECAS ocorridas nesses anos.

Distribuição da potência instalada por tecnologia e NUTs II em 2025



81%

produção de origem renovável
ocorreu nas regiões Norte e Centro



Hídrica Eólica Biomassa Fotovoltaica

PRODUÇÃO DE ENERGIA 2024

2024

71%

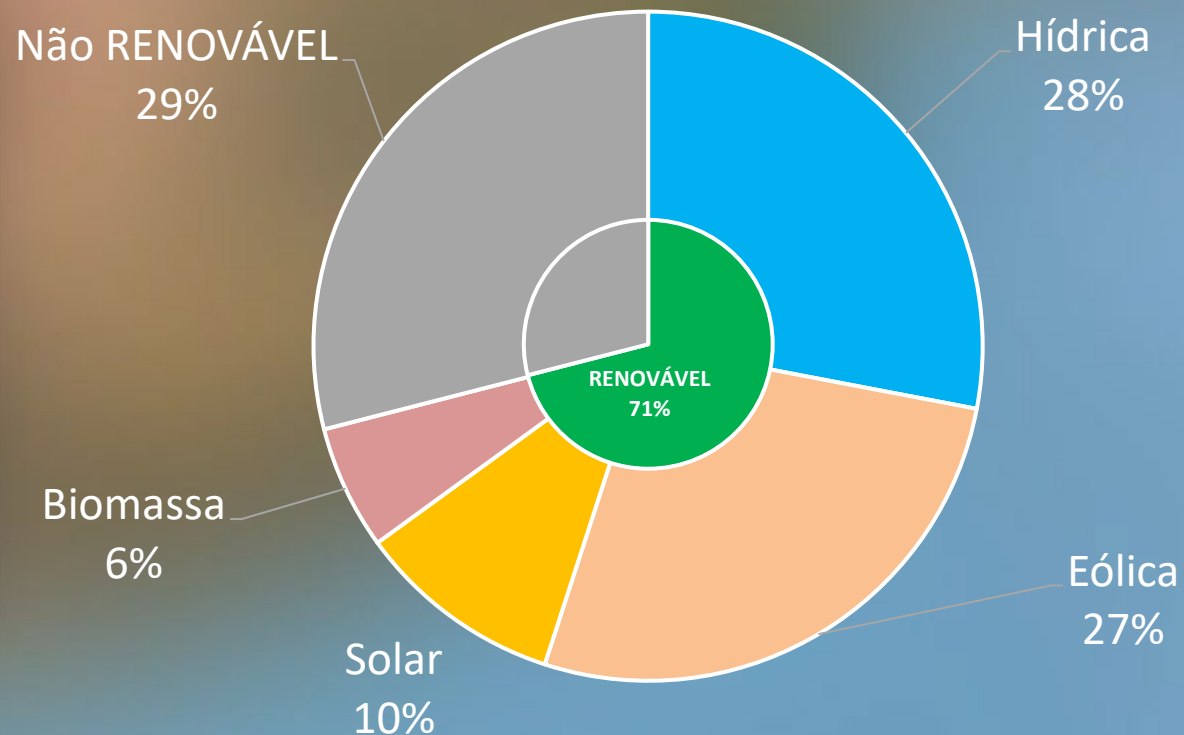
Produção renovável



06 JANEIRO 2025

Recorde de produção de renováveis abastece 71% do consumo de eletricidade em 2024

Produção de energia 2024



PRODUÇÃO DE ENERGIA 2025

MAIO 25

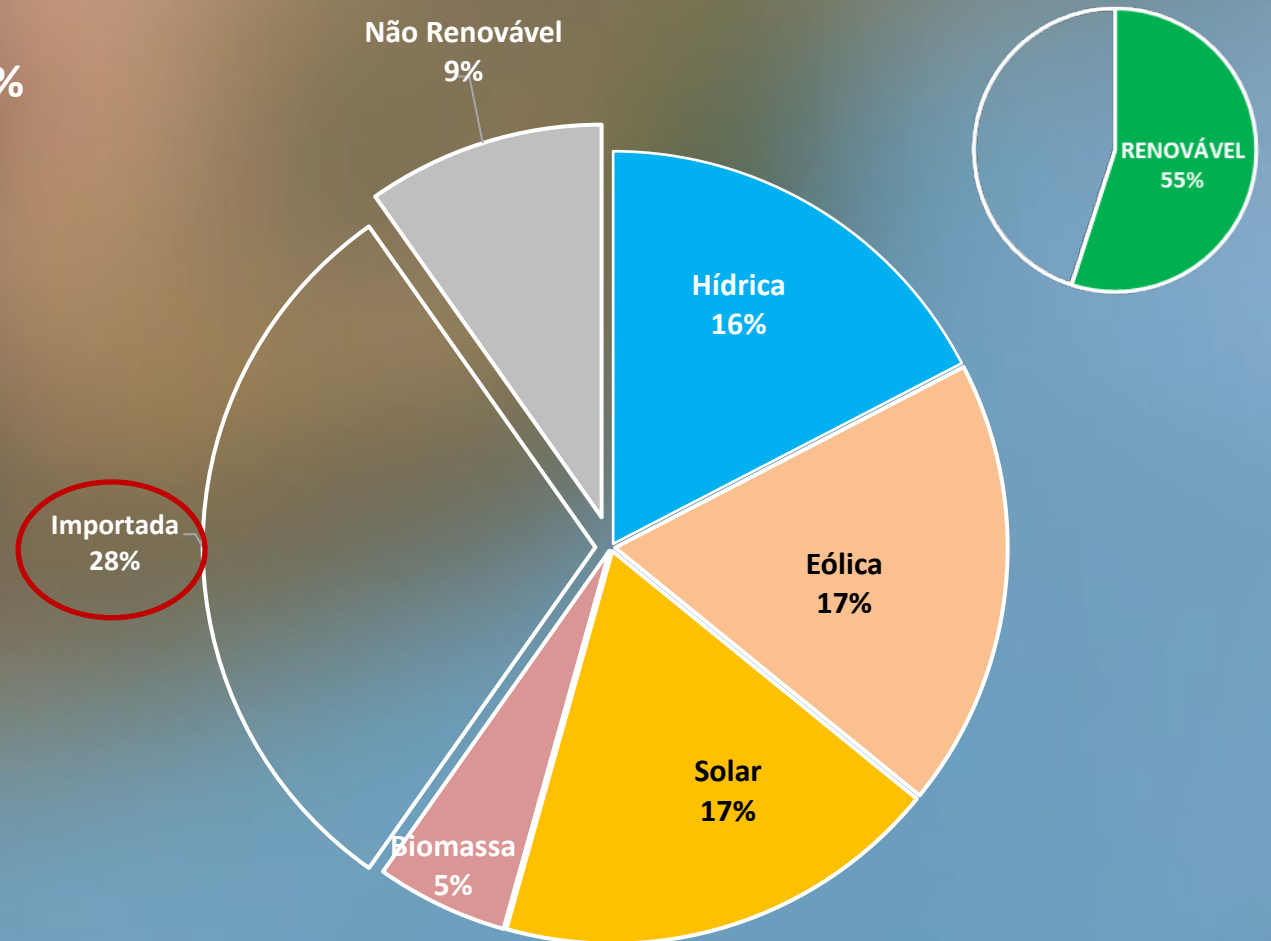


Importada 6%



datahub.ren.pt

Produção renovável JUNHO 2025
(55% do consumo total de eletricidade em PT)





Grandes nrs Barragens

Barragens e açudes



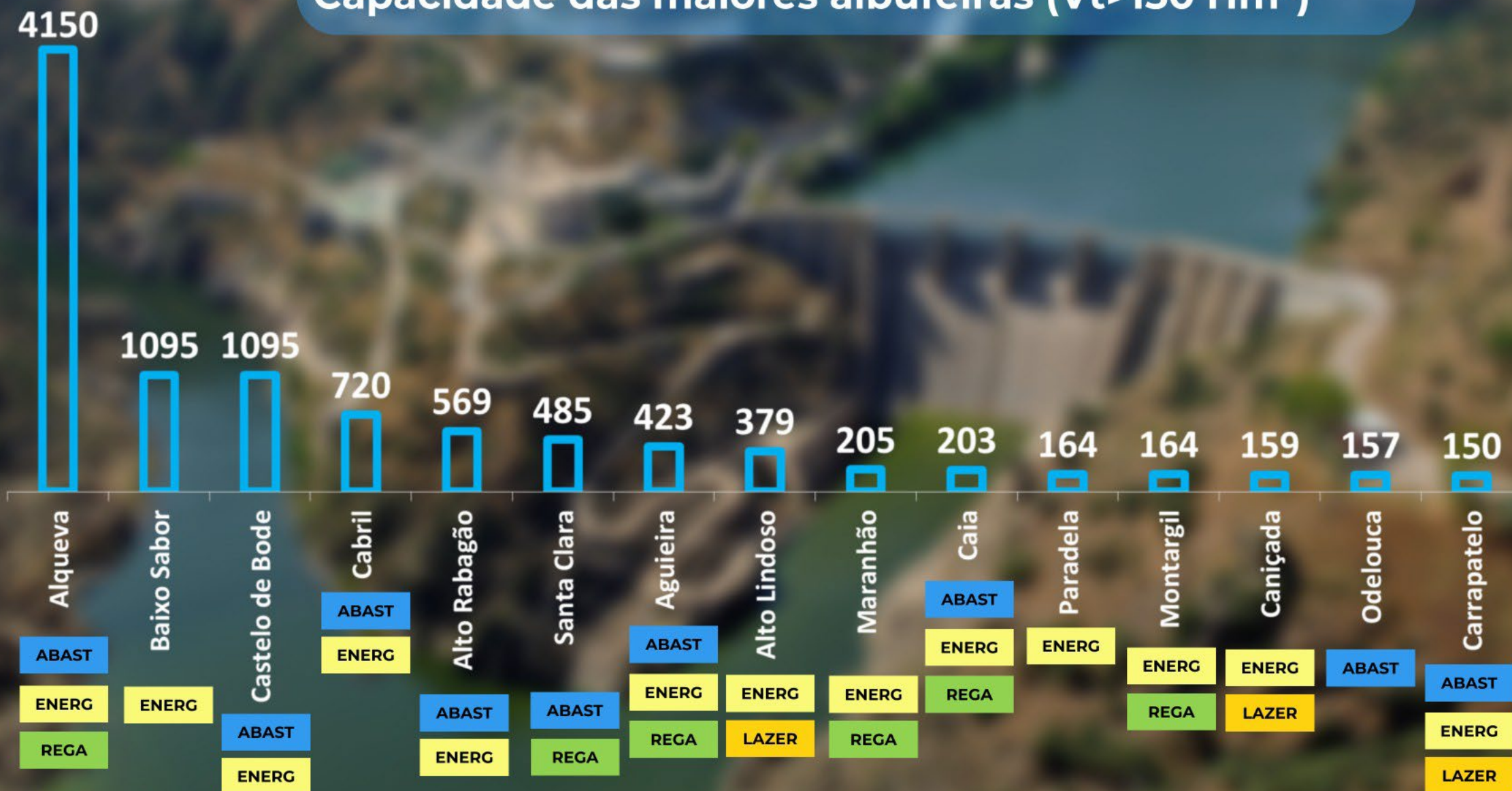
**MAPA GRANDES BARRAGENS
SUJEITAS AO RSB**

Número total de barragem e açudes identificados por RH



Fonte: PGRH (3º ciclo)

Capacidade das maiores albufeiras ($V_t > 150 \text{ Hm}^3$)



(valores em Hm^3)
FONTE: SNIRH

Exemplos de Empreendimentos de Fins Múltiplos (EFM):

Barragem Girabolhos*

*com a constituição do EFM do Mondego

(regularização hidráulica da bacia do rio Mondego)

Barragem Alvito (Ocreza)

(caudais ambientais em estiagem e independência de caudais Espanha)

Barragem Alportel

(Controlo de cheias de Tavira e utilização do setor agrícola - RCM 80/2024)

Estudos para avaliar a
viabilidade da construção:

14
BARRAGENS
PREVISTAS
ATÉ 2040

+ 508
hm³
REFORÇO
RESERVAS ÁGUA

5. MACIEIRAS

6. BOAVISTA

7. FAGILDE

10. FARGELA

14. ALPORTEL



1. LAÇA

2. SANTULHÃO

3. CEREJAL

4. VEIGA

8. GIRABOLHOS

9. ALVITO (OCREZA)

11. TERGES E COBRES

12. CARREIRAS

13. FOUPANA

+

Alteamento e aumento da capacidade de barragens existentes

=> + 47 hm³

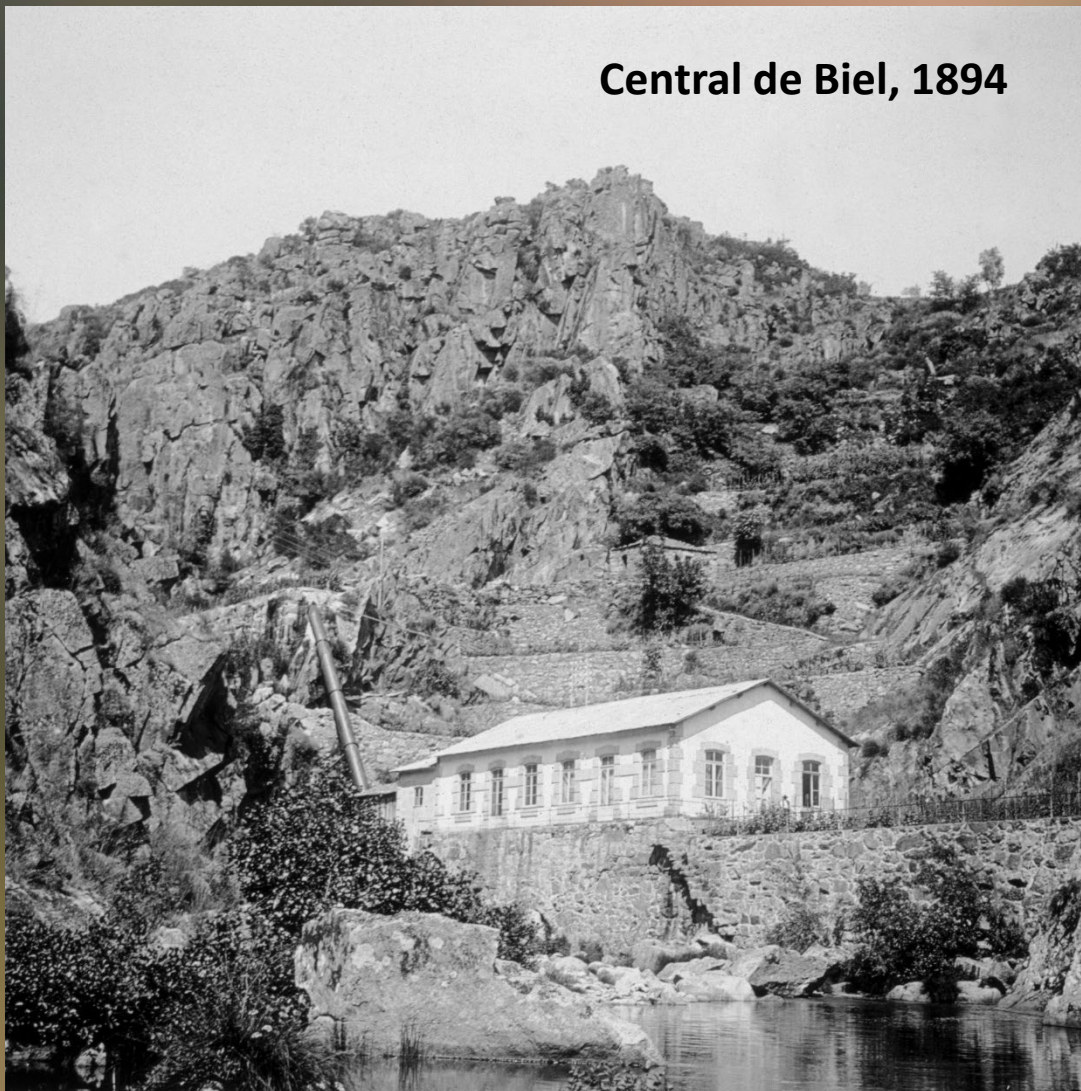
=> 240 milhões de euros

Barragens da Vigia, Marechal Carmona, Meimoa, Pedrógão, Pinhão, Vila Chã, Sambade, Valtorno, Lucefecit, Alvito, Lapão, Odelouca



CENTRAIS HIDROELÉTRICAS

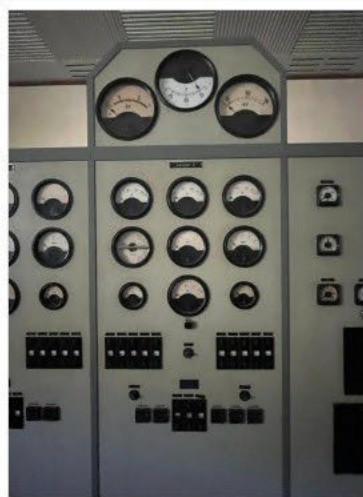
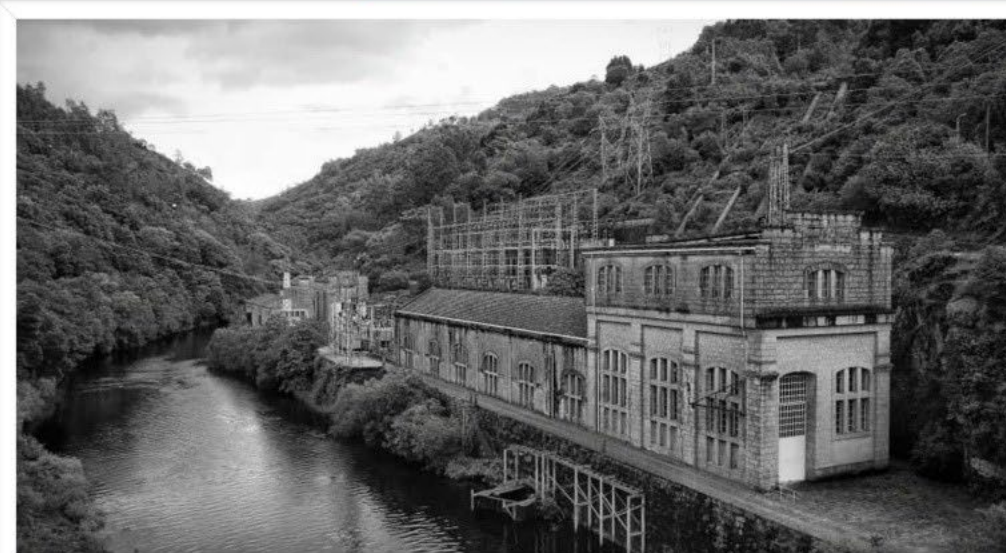
Primeira central hidroelétrica do país e marco importante na história da energia em Portugal



1894

Central do Biel

- **1894 – Entrada em funcionamento**
 - Primeira central hidroelétrica portuguesa.
 - Localização: Vila Real, no rio Corgo
- **1926 – Encerramento**
 - Fim da atividade da *Central do Biel* (operação 32 anos).



1ª CENTRAL HIDROELÉTRICA
(Concessão 1907)
Paradamonte/ LINDOSO

1907

Braga
Porto

An aerial photograph showing the Venda Nova Dam, a long concrete structure spanning a river valley. The river is a deep blue, and the surrounding hills are covered in green vegetation. In the foreground, a small village with red-roofed houses is visible. A large orange circular graphic with the year '1951' is positioned on the right side of the image.

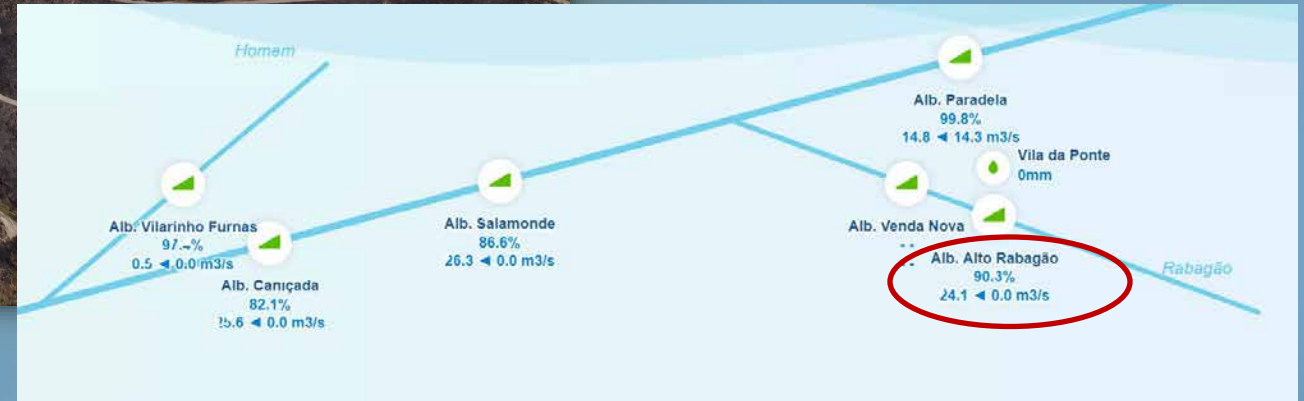
1951

- Barragem **Venda Nova** (rio Rabagão), alimenta a Central de Vila Nova
- Data construção: 1951 e é considerada a **mais antiga de Portugal**, juntamente com **Castelo de Bode**

1ª central hidroelétrica REVERSÍVEL



Alto Rabagão (1964)



Fonte EDP

Portugal - Centrais Hidroelétricas

NOME	ANO	SISTEMA	TIPO	OPERADOR	POTÊNCIA TOTAL
	Start				(MW)
Alto Lindoso	1992	Rio Lima	Albufeira	EDP Gestão da Produção	634
Touvedo	1993	Rio Lima	Albufeira	EDP Gestão da Produção	22
Vila Nova - Venda Nova	1951	Rio Rabagão	Albufeira	EDP Gestão da Produção	87
Vila Nova - Paradela	1956	Rio Cávado	Albufeira	EDP Gestão da Produção	56
Salamonde	1953	Rio Cávado	Albufeira	EDP Gestão da Produção	44
Vilarinho das Furnas U1	1972	Rio Homem	Albufeira	EDP Gestão da Produção	68
Cançada	1954	Rio Cávado	Albufeira	EDP Gestão da Produção	62
Miranda	1960	Rio Douro	Fio de água	Movhera	177
Miranda II	1995	Rio Douro	Fio de água	Movhera	193
Picote	1958	Rio Douro	Fio de água	Movhera	186
Picote II	2011	Rio Douro	Fio de água	Movhera	241
Bemposta	1964	Rio Douro	Fio de água	Movhera	239
Bemposta II	2011	Rio Douro	Fio de água	Movhera	187
Pocinho	1983	Rio Douro	Fio de água	EDP Gestão da Produção	173
Valeira	1976	Rio Douro	Fio de água	EDP Gestão da Produção	247
Vilar-Tabuaço	1965	Rio Távora	Albufeira	EDP Gestão da Produção	65
Régua	1973	Rio Douro	Fio de água	EDP Gestão da Produção	177
Varosa U1	1934	Rio Varosa	Albufeira	EDP Gestão da Produção	11
Varosa U2	1934	Rio Varosa	Albufeira	EDP Gestão da Produção	8
Varosa U3	1934	Rio Varosa	Albufeira	EDP Gestão da Produção	6
Carrapatelo	1971	Rio Douro	Fio de água	EDP Gestão da Produção	190
Crestuma-Lever	1985	Rio Douro	Albufeira	EDP Gestão da Produção	117
Ribeiradio	2013	Rio Vouga	Albufeira	EDP Gestão da Produção	75
Caldeirão	1994	Rib ^a Caldeirão	Albufeira	EDP Gestão da Produção	41
Ponte de Jugais (U2)	1923	Rio Alva	Fio de água	EDP Gestão da Produção	13
Vila Cova	2001	Rio Alva	Fio de água	EDP Gestão da Produção	23
Cabril	1954	Rio Zêzere	Albufeira	EDP Gestão da Produção	94
Bouçã	1955	Rio Zêzere	Albufeira	EDP Gestão da Produção	50
Castelo de Bode	1951	Rio Zêzere	Albufeira	EDP Gestão da Produção	138
Fratel	1974	Rio Tejo	Fio de água	EDP Gestão da Produção	137
Pracana (U1, U2)	1993	Rio Ocreza	Albufeira	EDP Gestão da Produção	16
Pracana (U3)	1993	Rio Ocreza	Albufeira	EDP Gestão da Produção	25
Belver (U1,U2, U3,U4)	1951	Rio Tejo	Fio de água	EDP Gestão da Produção	32
Belver (U5)	1951	Rio Tejo	Fio de água	EDP Gestão da Produção	64
Belver (U6)	1951	Rio Tejo	Fio de água	EDP Gestão da Produção	141
Pedrogão	2006	Rio Guadiana	Fio de água	EDP Gestão da Produção	10
Alto Tâmega	2020	Rio Tâmega	Albufeira	IBERDROLA	160
Daivões	2020	Rio Tâmega	Albufeira	IBERDROLA	118
Ribeira dos Socorridos	1994	Ribeira dos Socorridos	Fio de água	EEM	24
Calheta III	2020	Paul da Serra	Albufeira	EEM	30

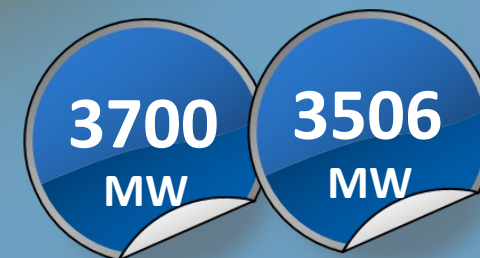
4380
MW

Nota: Valores meramente indicativos. Não dispensa a consulta das fontes originais de informação; estes dados podem conter erros, omissões ou estar desatualizados.

Portugal - Centrais Hidroelétricas

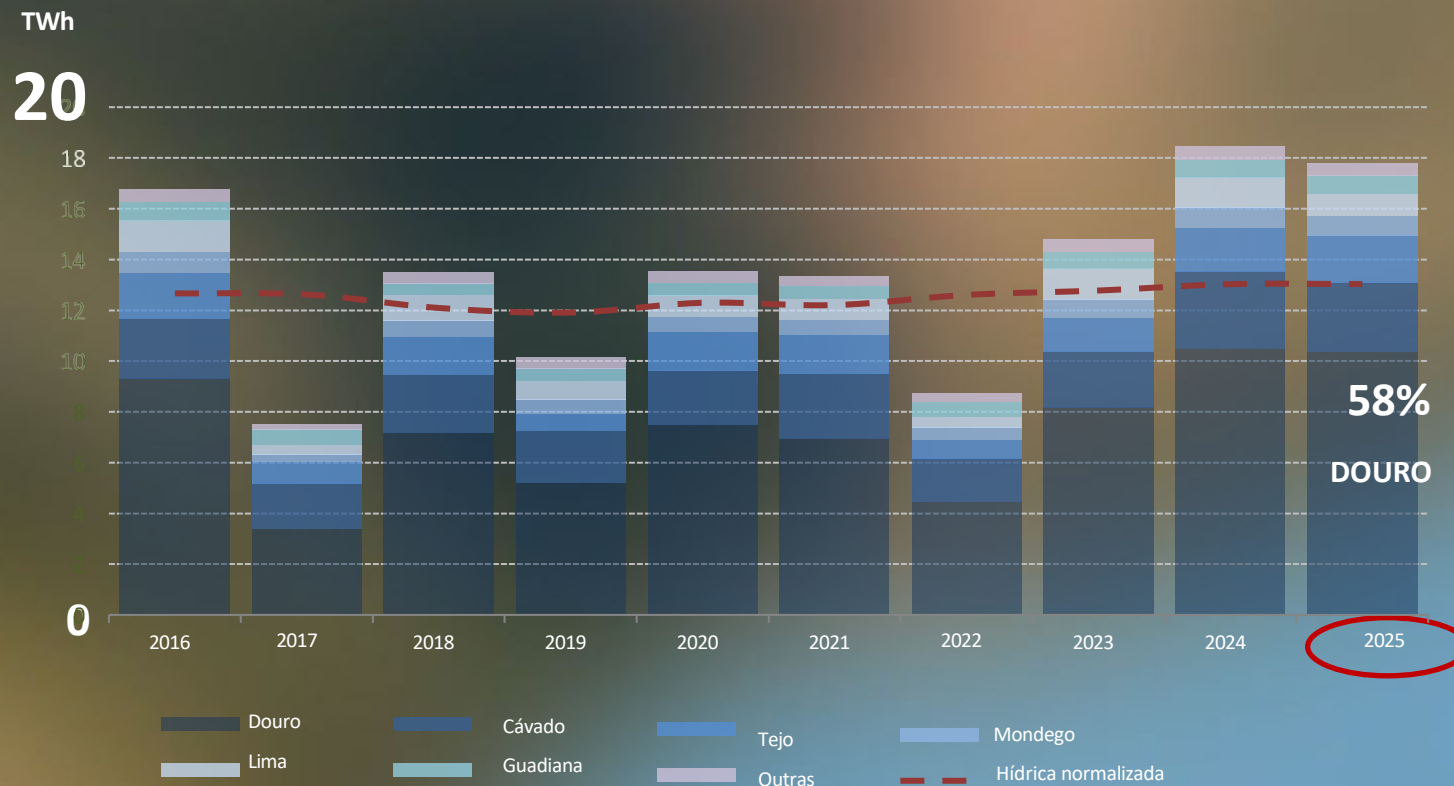
Central de Bombagem

NOME	ANO Start	SISTEMA	Operador	POTÊNCIA TOTAL	
				Turbine Mode	Pump Mode
Alto Rabagão	1964	Rio Rabagão	EDP Gestão da Produção	66	62
Frades I	2005	Rio Rabagão	EDP Gestão da Produção	188	191
Frades II	2017	Rio Rabagão	EDP Gestão da Produção	779,6	799
Salamonde II	2015	Rio Cávado	EDP Gestão da Produção	222,7	220
Vilarinho das Furnas U2	1987	Rio Homem	EDP Gestão da Produção	82,5	80
Torrão	1988	Rio Tâmega	EDP Gestão da Produção	137	140
Agueira	1981	Rio Mondego	EDP Gestão da Produção	330	276
Alqueva I	2004	Rio Guadiana	EDP Gestão da Produção	255,6	240
Alqueva II	2012	Rio Guadiana	EDP Gestão da Produção	255,6	240
Foz Tua	2015	Rio Tua	Movhera	262,7	247,6
Baixo Sabor	2016	Rio Sabor	Movhera	151	148,4
Feiticeiro	2015	Rio Sabor	Movhera	35,2	36
Gouvães	2022	Rio Torno	IBERDROLA	880	800
Calheta III	2019	Ribeira da Calheta	EEM	30	15,3
Socorridos	1994	Ribeira dos Socorridos	EEM	24	10,4



Nota: Valores meramente indicativos. Não dispensa a consulta das fontes originais de informação; estes dados podem conter erros, omissões ou estar desatualizados.

Produção Hídrica por Bacia Hidrográfica



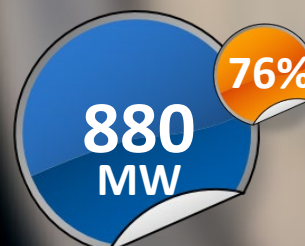
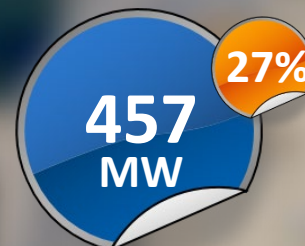
No ano móvel de JUNHO de 2024 a MAIO de 2025, a bacia hidrográfica do rio Douro foi responsável por 58% da produção hídrica.



Potência Máxima

dos quais são de
BOMBAGEM

HÍDRICA



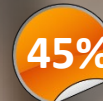
POTÊNCIA MÁXIMA (VALORES TOTAIS)



HÍDRICA



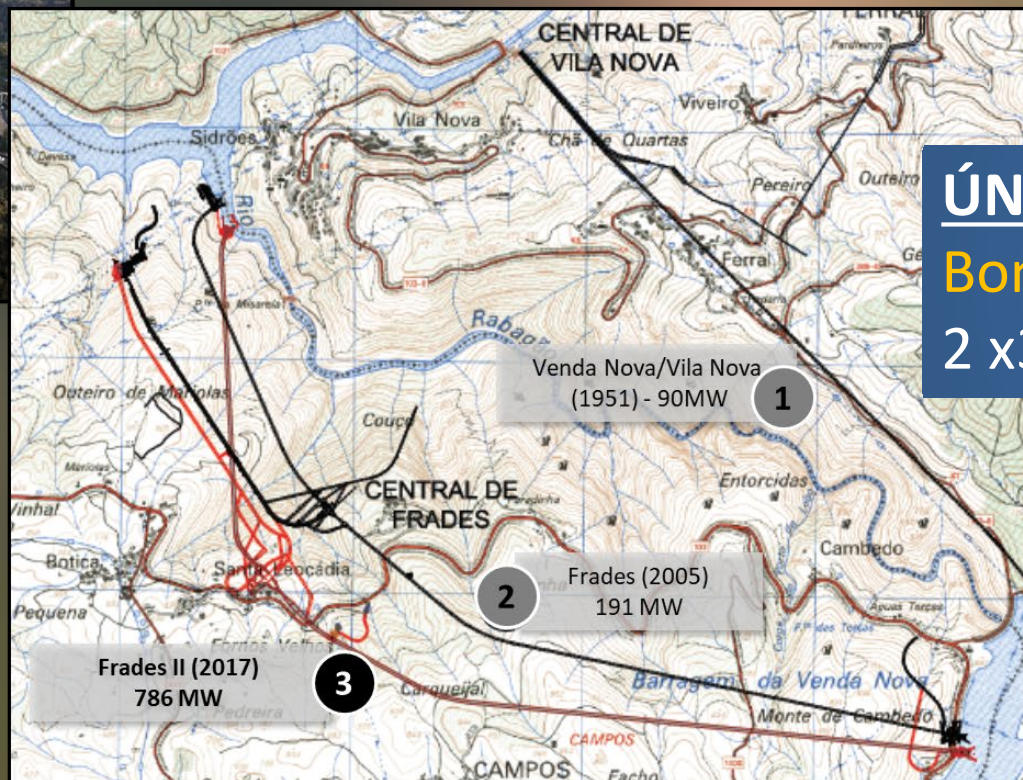
dos quais são de
BOMBAGEM



Central Hidroelétrica de Frades II / Vila Nova III



Salomonde



dinheiro vivo

Turbinas inovadoras dão energia limpa equivalente a grupo nuclear em 80 segundos

ÚNICA EM PORTUGAL:
Bombagem/velocidade variável
2 x330-390 MW*



Venda Nova



X 2

*Em bomba - 2 x 300-390 MW (maiores grupos deste tipo na Europa) - Maior flexibilidade que os grupos convencionais, que bombam a potência fixa

para injetar na rede Em turbina



EXEMPLOS MAIS RECENTES DE PRODUÇÃO HIDROELÉTRICA:

**SISTEMA ELETROPRODUTOR
DO TÂMEGA (SET)**

**1500
M€**
investimento

"gigabateria do
Tâmega"



PORTUGAL

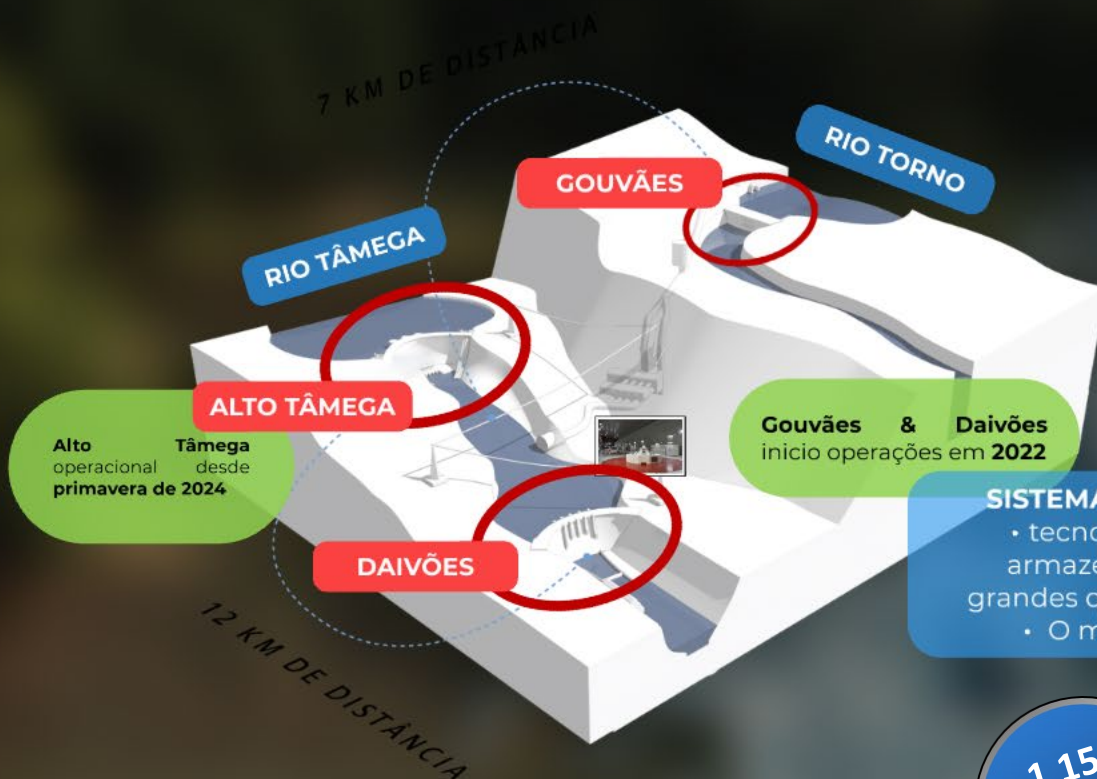


1º prémio na categoria
"Barragens e Produção de Energia Hidroelétrica"

Notícia

08.02.2025

**Iberdrola: Sistema Eletroprodutor do
Tâmega conquista prémio de
qualidade da APRH**



Alto Tâmega
operacional desde
primavera de 2024

Gouvães & Daivões
início operações em 2022

SISTEMA DE BOMBAGEM
• tecnologia que permite
armazenar eficientemente
grandes quantidades de energia
• O maior em Portugal

**1 158
MW**

**880
MW**

reversível

**3
CENTRAIS**

**1,766
GW h**

**1,7 M
pessoas
(abast. 24hr)**

Aproveitamento Hidroelétrico de

DAIVÕES

Sistema Eletroprodutor do Tâmega



118
mW

(2+1 grupos)

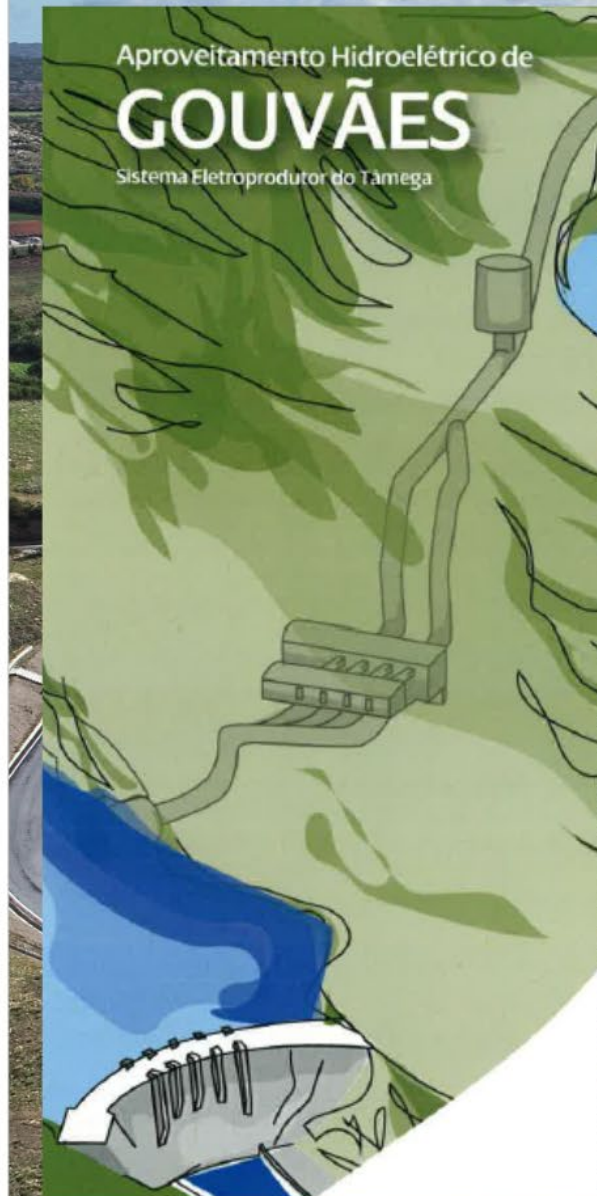
AH Daivões

- Barragem – Arco Gravidade
- Altura barragem **77.5m**
- Área albufeira **340 ha**
- Volume de albufeira **56,2 hm³**

Aproveitamento Hidroelétrico de

GOUVÃES

Sistema Eletroprodutor do Tâmega



AH Gouvães

- Aproveitamento de Bombagem
- Área albufeira **176 ha**
- Volume de albufeira **13,7 hm³**

RIO TORNO



657m
(queda estática)

880
MW

(4 grupos)

Aproveitamento Hidroelétrico de

ALTO TÂMEGA

Sistema Eletroprodutor do Tâmega



AH ALTO TÂMEGA

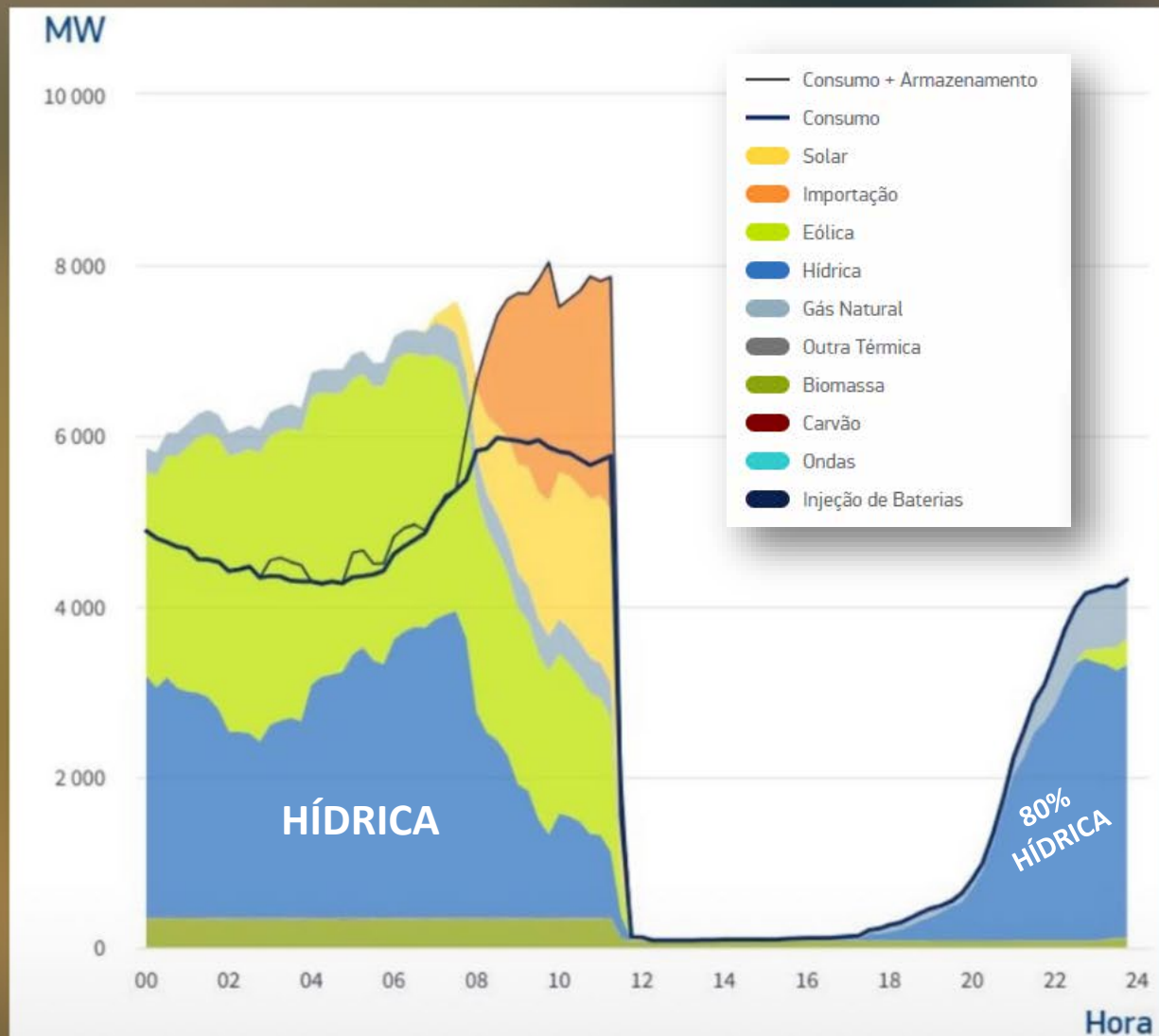
- **160 MW** (2 grupos)
- Barragem – Abóbada
- Altura barragem **104,5 m**
- Área albufeira **468 ha**
- Volume de albufeira **132 hm³**



A água salvou-nos mais uma vez!...

"O apagão ibérico..."

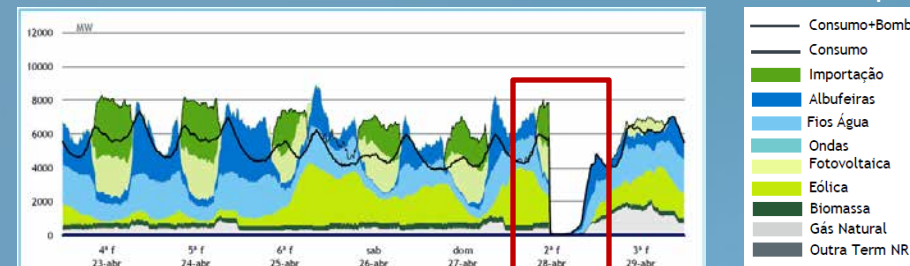
28 ABRIL 2025



Fonte: REN

- Mais de **80% do restabelecimento do sistema** foi assegurado por **fonte hídrica**.
- **"Black start": Castelo de Bode (hídrica) e Tapada do Outeiro (gás) foram chave na recuperação**, que agora vai ser alargado ao Baixo Sabor e Alqueva.
- **Bombagem hidroelétrica e a Giga Bateria do Tâmega (1158 MW) garantiram resposta rápida e estabilidade.**

datahub.ren.pt



28 abril 2025



DESAFIOS

Pontos Fortes e Fracos das Centrais Hidroelétricas

Pontos Fortes

- **Energia renovável e endógena**
- **Eficiência , flexibilidade operacional e capacidade de armazenamento**
- **Contributo para estabilidade da rede elétrica e serviços auxiliares** (black-start, reserva girante, etc.).
- **Formação de albufeiras para outros fins (fins múltiplos*)**

* Abastecimento público, irrigação de culturas, prevenção de cheias,...

Pontos Fracos

- **Impactes no regime e qualidade do rios, migração de peixes, retenção de materiais sólidos**
- **Custos elevados e longos períodos de construção**
- **Limitações geográficas e topográficas**
- **Possíveis limitações em períodos de seca hidrológica**

CENTRAIS REVERSÍVEIS:

- **Suportam picos de carga** ao disponibilizar **grandes quantidades de energia em intervalos muito curtos.**
- **Arranque quase instantâneo e fraca dependência de caudais naturais** asseguram **disponibilidade contínua de produção.**

=> AVALIAÇÃO VIABILIDADE AMBIENTAL E TÉCNICO-FINANCEIRA

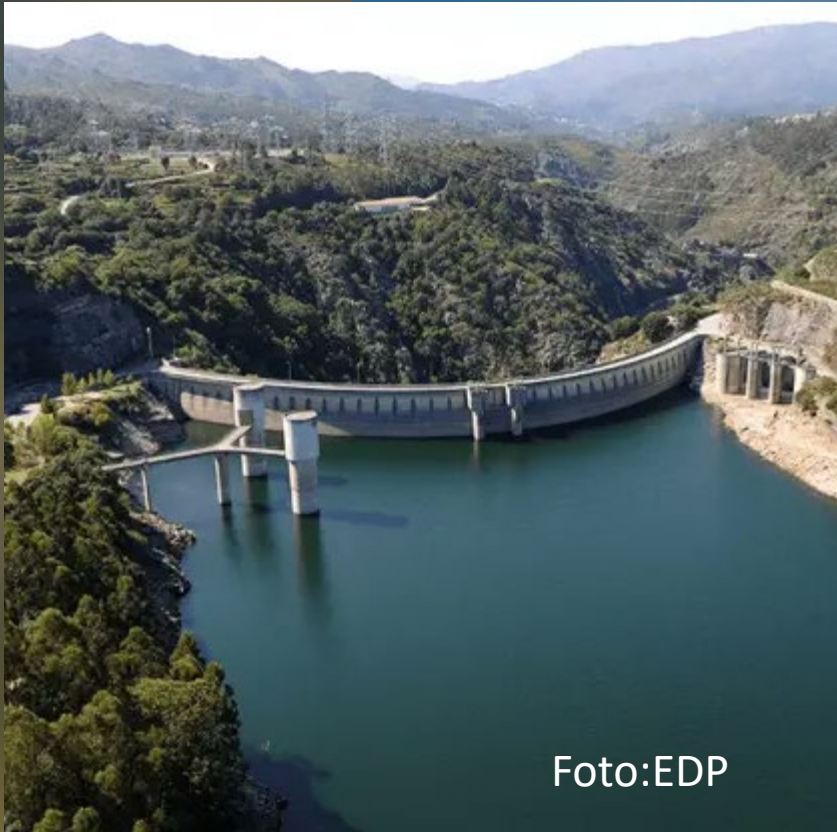


Foto:EDP

Potenciais Projetos Futuros

(BOMBAGEM)

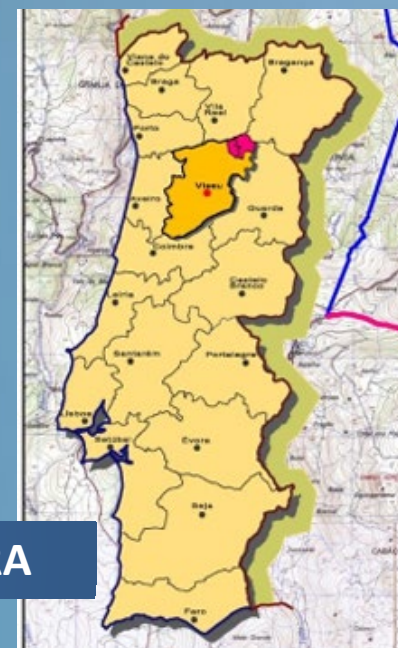
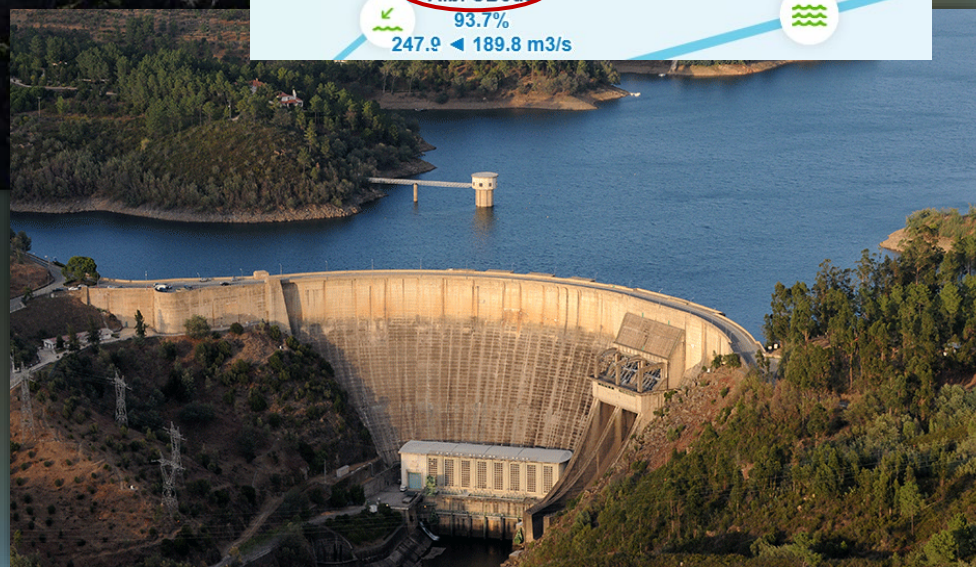
Projeto Bombagem no Alto Lindoso (revisitar)



- Projeto incluído no PNEC (300MW)
- Relevante para ajudar a cumprir as metas de armazenamento
- BH Lima (muito produtiva RH)

*Até 300 MW
Bombagem*

Cascata do Zêzere

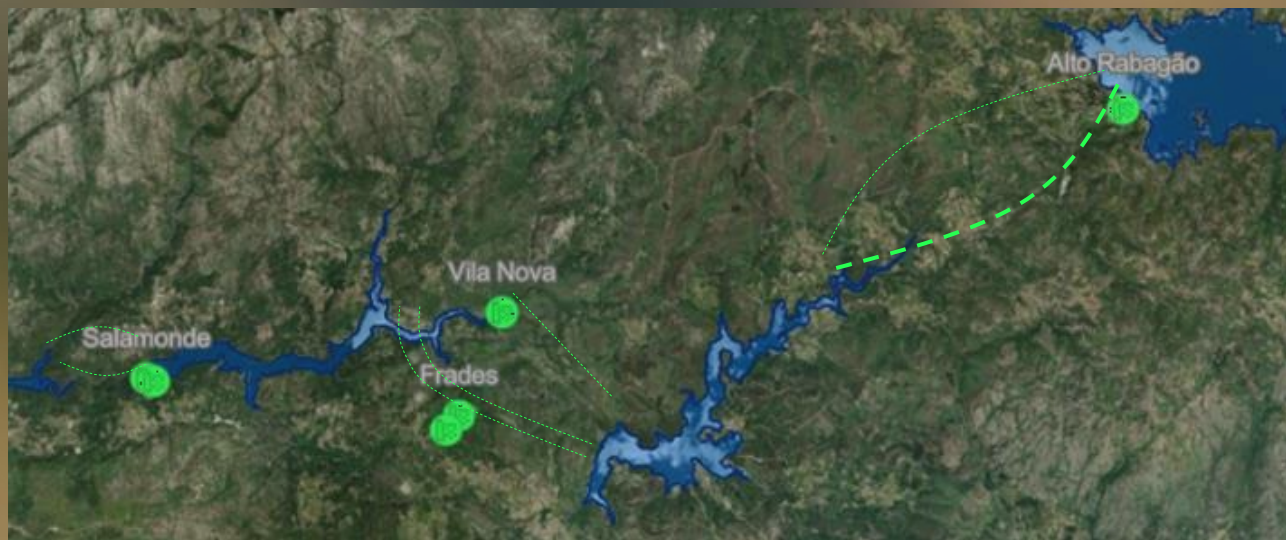


APROVEITAMENTO HIDROELÉCTRICO DE CARVÃO-RIBEIRA

Alto Rabagão

Reforço de potência no Alto Rabagão maximiza armazenamento de água e energia, robustecendo gestão hídrica e abastecimento elétrico

- O projeto de reforço de potência do Alto Rabagão **tira partido das barragens/albufeiras existentes de Alto Rabagão e Venda Nova** maximizando potencial de armazenamento de toda a cascata do Cávado e permitindo armazenamento de longa duração de água/energia (sem execução de novas barragens);
- Potencia equilíbrio e segurança de abastecimento do sistema elétrico e **reforça sinergias** com outros usos, nomeadamente em **contexto de seca – com eliminação do risco hidrológico**



A cascata do Rabagão-Cávado oferece condições orográficas ímpares para cascata de bombagem em Portugal (> 1 GW e até 415 hm³ de capacidade de armazenamento).

*A **bombagem** e o **armazenamento** de água potenciam as sinergias da água, da energia, do ambiente e da agricultura...*

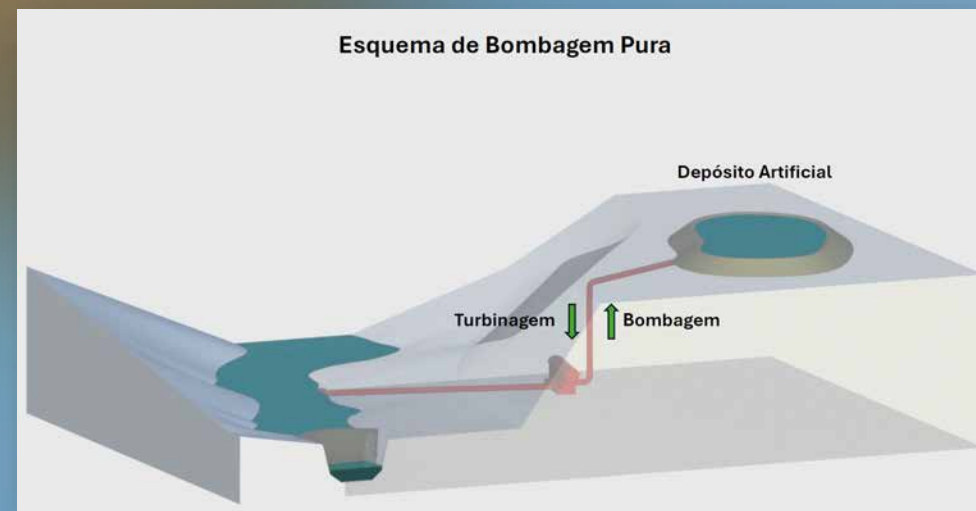


“Plano Nacional de Bombagem Hídrica”

(em articulação com as difentes entidades – REN, DGEG, ...)

Potenciais critérios de prioridade:

- Locais que permitam reaproveitamento de infraestruturas existente (minimização de impactes ambientais)
- Permitam desenvolvimento a curto prazo (PNEC2030)
- Permita Elevadas horas de armazenamento
- ...



Projetos FER | levantamento de dados (2021-2024)

Potência instalada/autorizada

CENTRAIS SOLARES FOTOVOLTAICAS

6246
MW

PARQUES EÓLICOS

905
MW

**CENTRO ELETROPRODUTORES HÍBRIDOS
(SOLAR + EÓLICO)**

110
MW



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

camiños
Galicia



Colexio de Enxeñeiros
de Camiños,
Canais e Portos

E-BOOK

XI ENCONTRO ENG. CIVIL

NORTE PORTUGAL — GALIZA

COM O APOIO



CCDR
NORTE