



XII CPGZC

XII CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS
COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA

Zonas Costeiras Inteligentes

DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTAS DE MODELAÇÃO HIDRODINÂMICA E MORFODINÂMICA PARA APOIO À PREVISÃO E ALERTA NO ESTUÁRIO DO RIO CÁVADO E ZONA COSTEIRA ADJACENTE

Autores:

Miguel Pereira¹, José Pinho¹

1. Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil / Centro
do Território, Ambiente e Construção - CTAC, Guimarães, Portugal, email:
pg55761@alunos.uminho.pt, jpinho@civil.uminho.pt

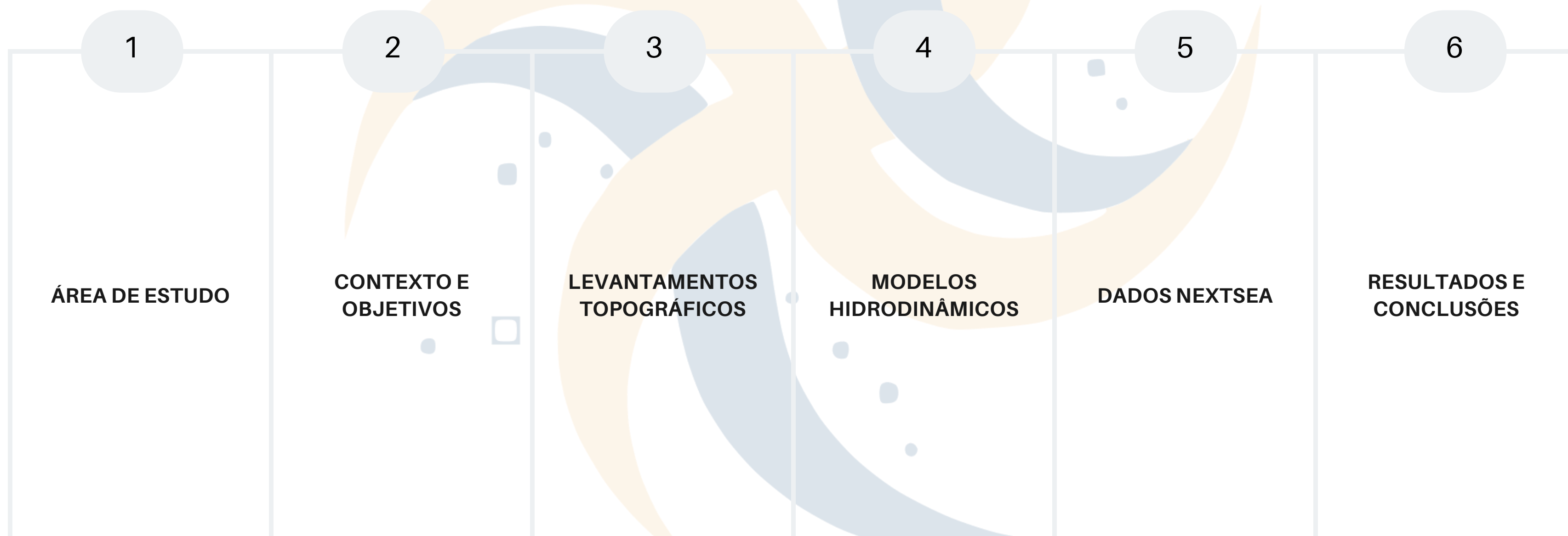


XII CPGZC

XII CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS
COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA

Zonas Costeiras Inteligentes

Conteúdo





XII CPGZC

XII CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS
COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA

Zonas Costeiras Inteligentes

Área de estudo — Praia de Ofir e Estuário do rio Cávado



Localização:

- Faixa costeira do concelho de Esposende
- Margem sul da embocadura do rio Cávado
- Costa noroeste de Portugal

Localização da Praia de Ofir e do estuário do rio Cávado, Esposende.



XII CPGZC

XII CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS
COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA

Zonas Costeiras Inteligentes

Contexto e objetivos

Sistema Costeiro-estuarino complexo

Interação entre maré, caudal fluvial, agitação marítima e morfologia



Sistema sujeito a elevada variabilidade

Alterações na embocadura, circulação e morfologia



Necessidade de caracterização e modelação integrada



Base futura para previsão e alerta

Objetivo geral

Desenvolver ferramentas de caracterização e modelação do sistema Cávado-Ofir, como base para futuras aplicações de previsão hidrodinâmica e alerta.

Caracterização morfológica

Avaliar a evolução recente da Praia de Ofir através da comparação de perfis transversais.

Modelação hidrodinâmica

Desenvolver e analisar um modelo em Delft3D FM do sistema Cávado-Ofir e avaliar a sua resposta a diferentes condições de maré.



XII CPGZC

XII CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS
COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA

Zonas Costeiras Inteligentes

Levantamentos topográficos e dados de referência

10 abril 2017 — Gomes

Levantamento topográfico de referência realizado na Praia de Ofir.

21 agosto 2025 — COSMO

Dados topobatimétricos utilizados como referência intermédia.

16 maio 2026 — Campanha de campo

Primeira campanha para caracterização morfológica recente.

18 julho 2026 — Campanha de campo

Repetição do levantamento para análise da evolução recente.



Localização dos três perfis transversais analisados na Praia de Ofir.



Equipamento utilizado nas campanhas:
Trimble GeoXR



XII CPGZC

XII CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS
COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA

Zonas Costeiras Inteligentes

Processamento e uniformização dos perfis



Distribuição dos pontos levantados em maio de 2026.

Seleção dos pontos mais próximos de cada Perfil



Projeção dos pontos sobre a linha dos Perfis



Exportação e organização em CSV (X, Y, Z)



Ordenação e cálculo da distância acumulada



$$D_i = D_{i-1} + \sqrt{(X_i - X_{i-1})^2 + (Y_i - Y_{i-1})^2}$$



Uniformização altimétrica



DGPS – correção da altura da antena
COSMO – conversão ZH → NMM



Comparação gráfica

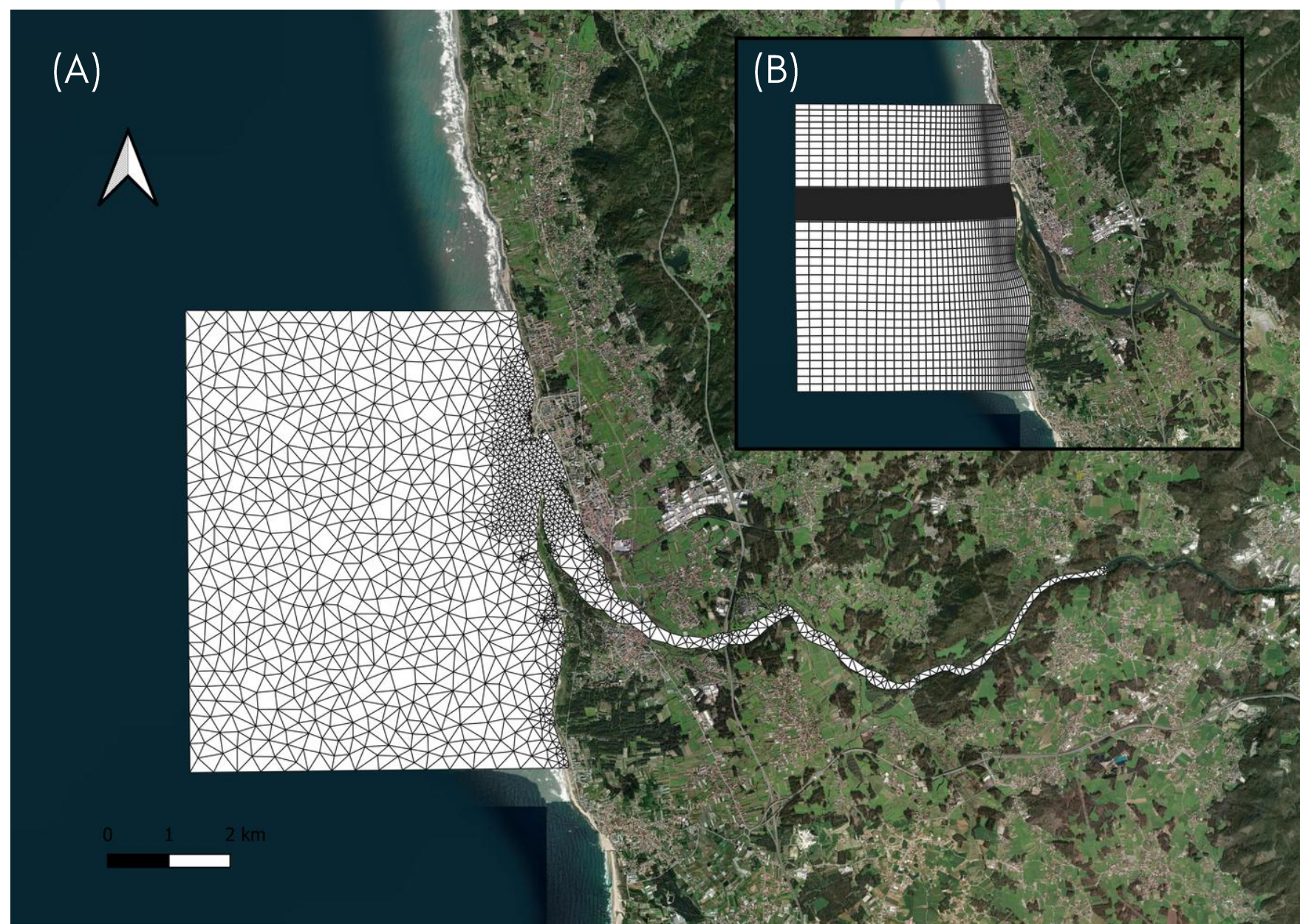


XII CPGZC

XII CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS
COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA

Zonas Costeiras Inteligentes

Domínio e Malha dos Modelos Hidrodinâmico



(A) Malha não estruturada do domínio Cávado-Ofir; (B) modelo oceânico previamente desenvolvido, utilizado como base de enquadramento para o modelo local.

Preparação do contorno do domínio



Verificação do seu sistema de coordenadas e geometria

EPSG:32629 · união de geometrias válidas · seleção do polígono



Tratamento do contorno

Cálculo do comprimento, avaliação e correção dos segmentos



Geração da malha – Triangle

Preservação do contorno · área máxima · ângulo mínimo



Refinamento local

Redução da área máxima dos elementos na zona de transição



Controlo de qualidade da malha

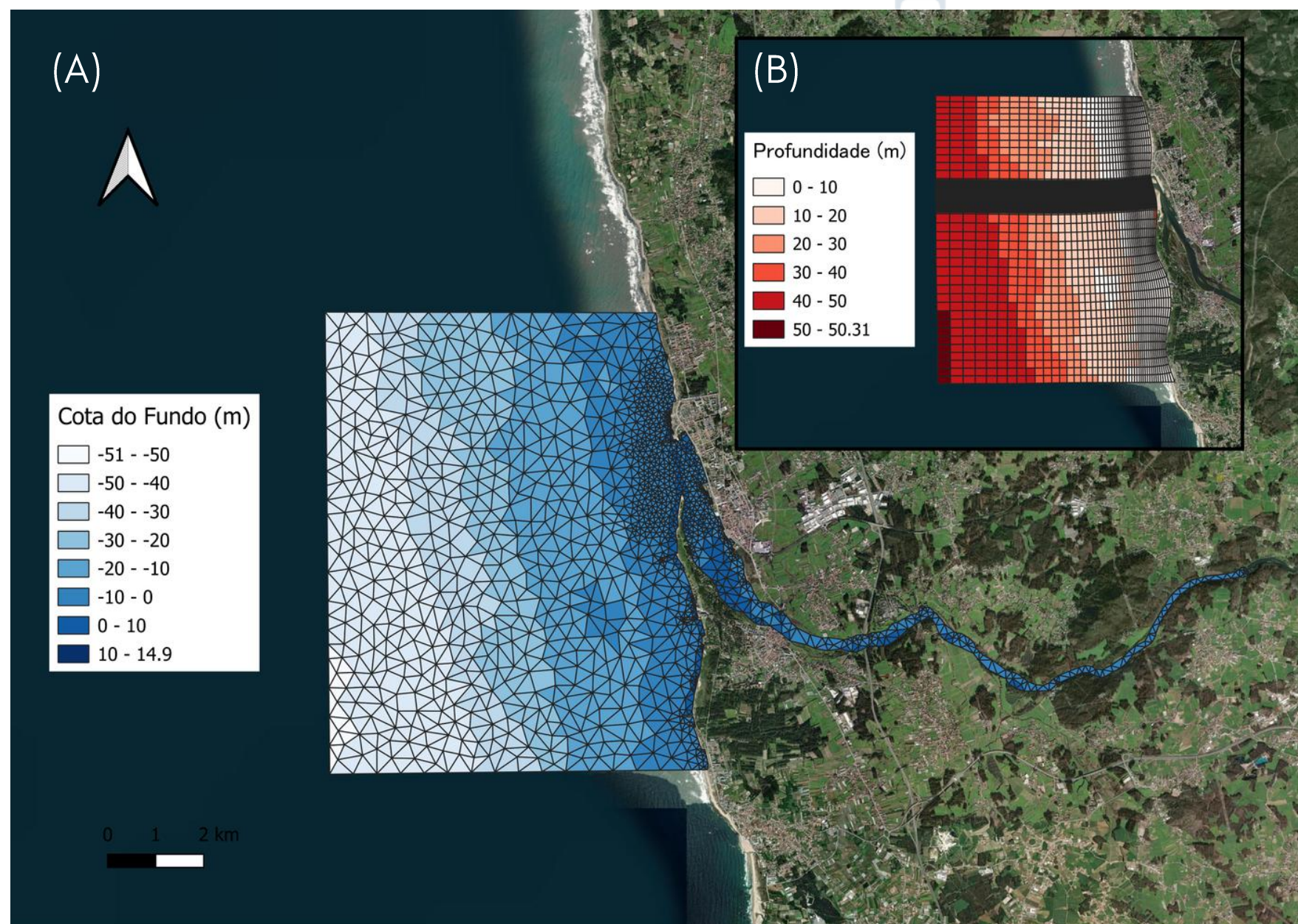


XII CPGZC

XII CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS
COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA

Zonas Costeiras Inteligentes

Batimetria dos modelos



(A) Batimetria integrada do modelo Cávado-Ofir; (B) batimetria do modelo oceânico previamente desenvolvido.

Fontes topobatimétricas

COSMO · GEBCO · Batimetria estuarina



Uniformização das cotas

Batimetria Estuarina e GEBCO: $Z = -\text{Dep}$



Integração topobatimétrica

Superfície regular de 10 m · Prioridade ao COSMO



Transferência para a malha

Atribuição de cotas a faces e nós



Correções de continuidade hidráulica

Identificação de Trechos secos/problemáticos e atribuição de uma profundidade mínima $Z = -2$ m

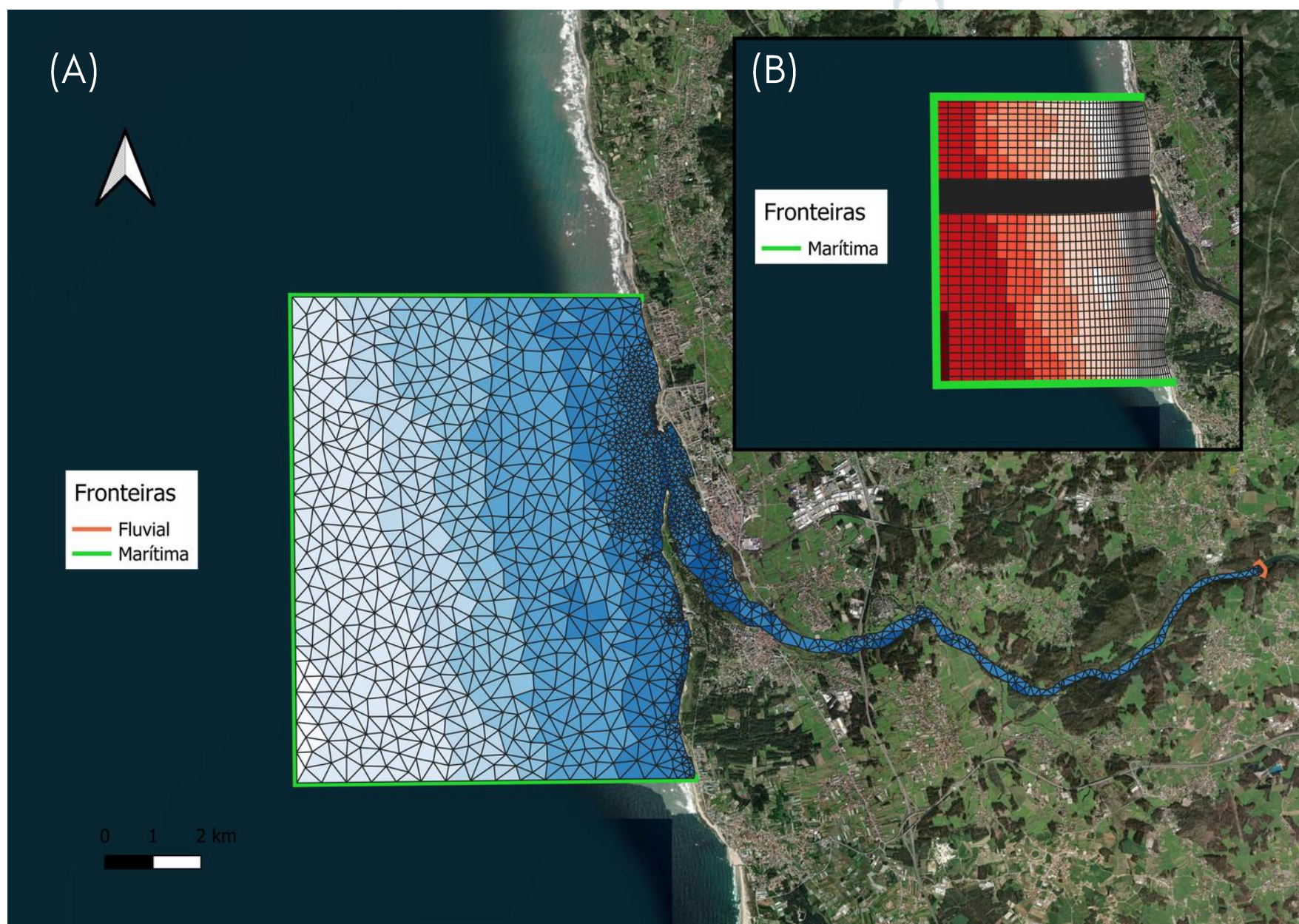


XII CPGZC

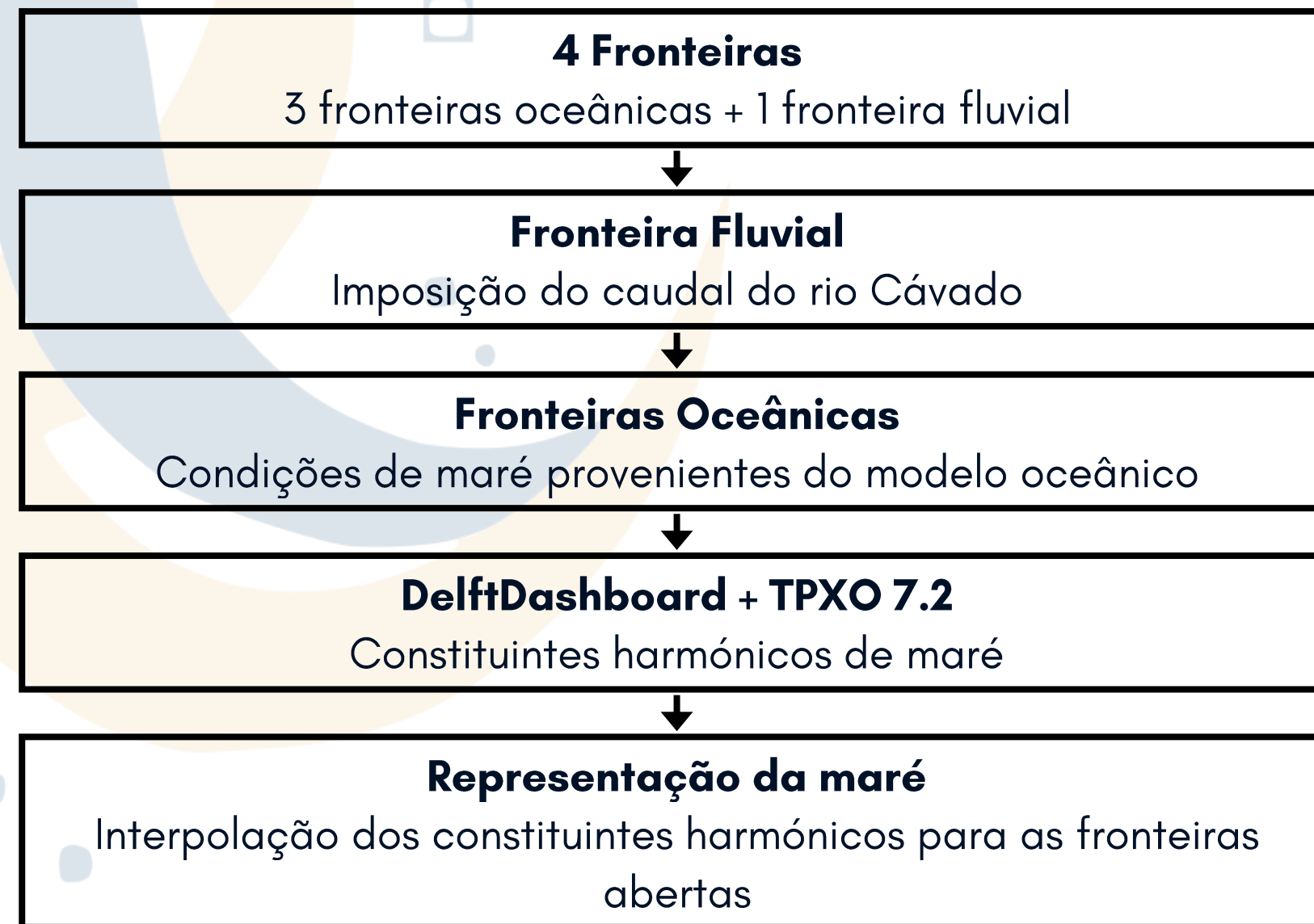
XII CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS
COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA

Zonas Costeiras Inteligentes

Condições Fronteira e Maré



(A) Condições de fronteira do modelo Cávado-Ofir; (B) fronteiras oceânicas do modelo previamente desenvolvido.





XII CPGZC

XII CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS
COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA

Zonas Costeiras Inteligentes

Preparação dos dados observados para avaliação do modelo

Dados da rede de monitorização Nextsea



Seleção da Janela Conservadora (01/04/2026 a 11/04/2026)



Remoção de registos inválidos e regularização de 10 / 10 min



$$P_{\text{hidro}}(t) = P_{\text{abs}}(t) - P_{\text{atm}}(t)$$



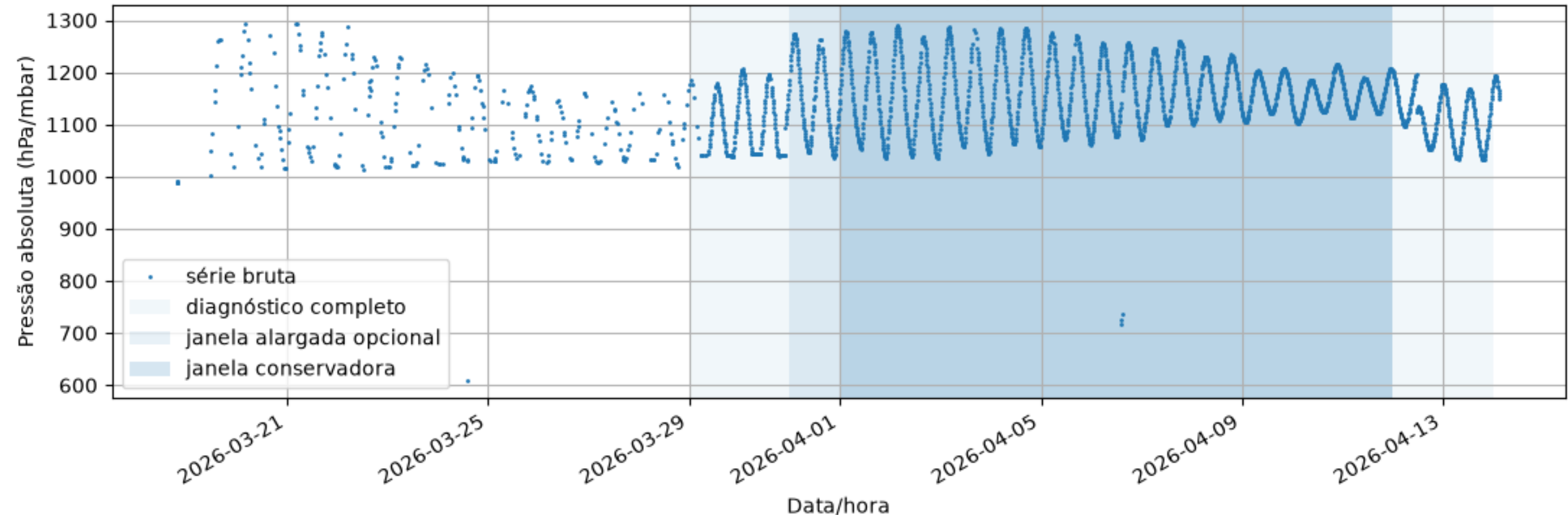
Com os valores da P_{hidro} , g e ρ



Altura de água acima do sensor



Localização Estação NEXTSEA



Série temporal de pressão absoluta da estação NextSea e definição da janela de análise.



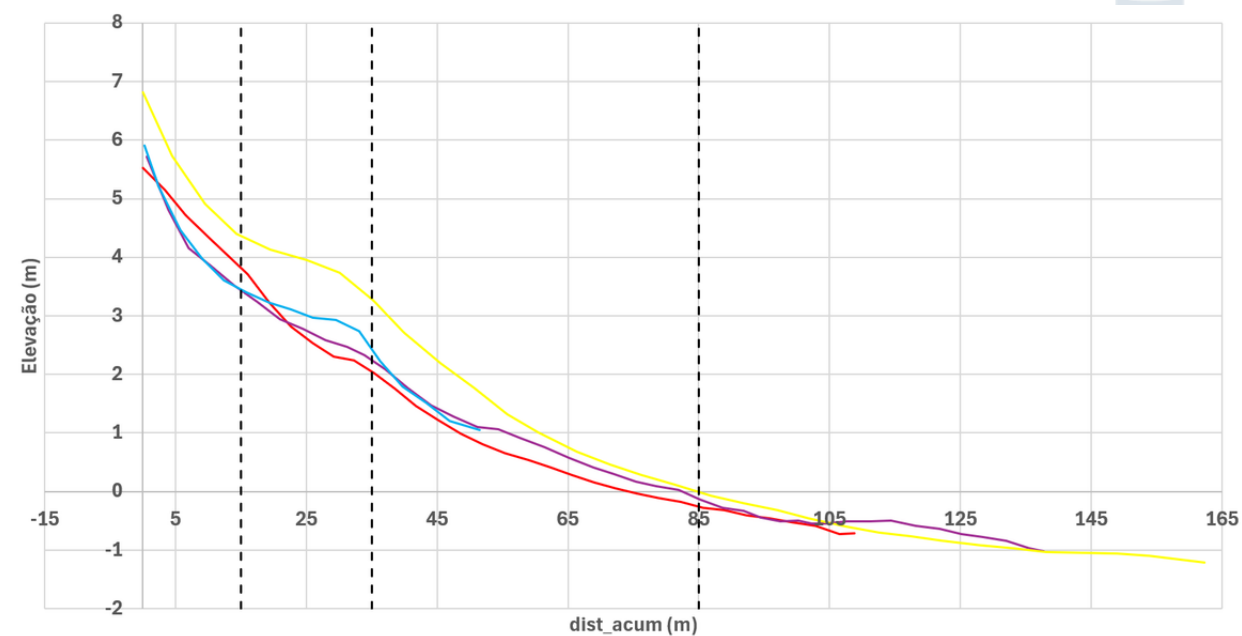
XII CPGZC

XII CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS
COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA

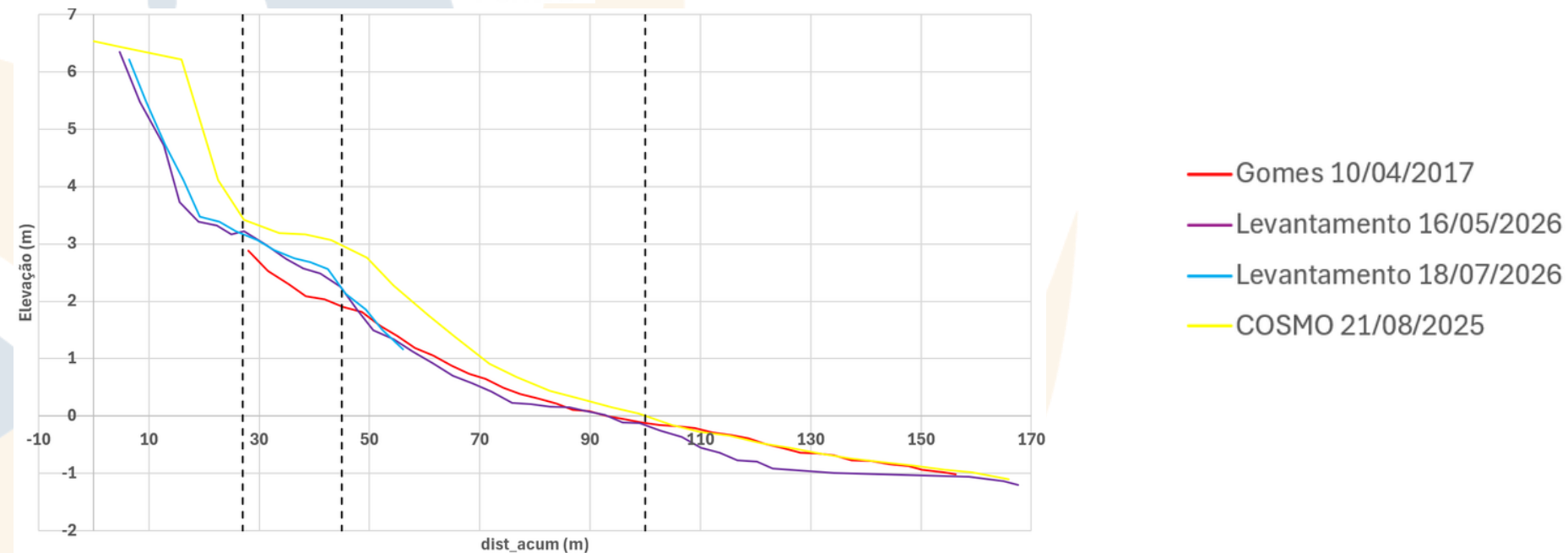
Zonas Costeiras Inteligentes

Evolução morfológica dos perfis da Praia de Ofir

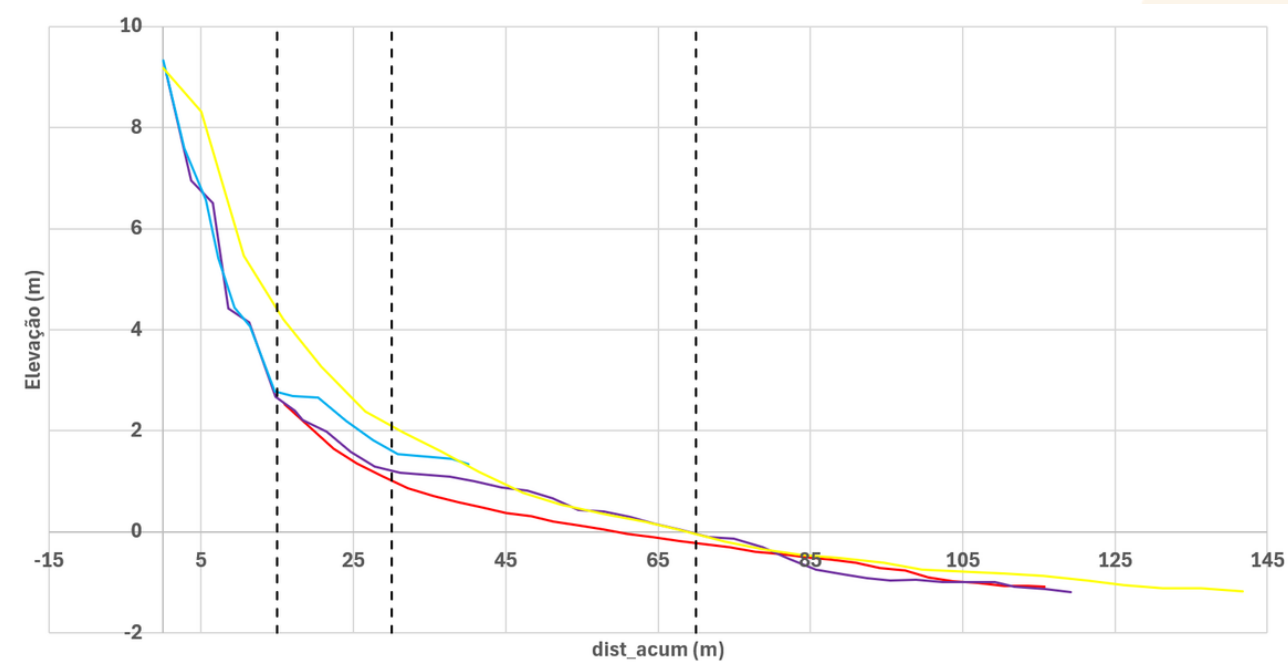
Perfil 1



Perfil 3



Perfil 2



- Maio e julho de 2026 apresentam elevada proximidade;
- COSMO 2025 apresenta, em geral, cotas superiores na praia emersa;
- As diferenças tendem a diminuir em direção à zona submersa;



XII CPGZC

XII CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS
COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA

Zonas Costeiras Inteligentes

Considerações finais e trabalho futuro

Conclusões Principais:

- A comparação dos perfis evidencia proximidade entre as campanhas de maio e julho de 2026.
- Os dados COSMO de 2025 apresentam, em geral, cotas superiores na praia emersa, com diferenças que diminuem em direção à zona submersa.
- Foi desenvolvido um modelo hidrodinâmico do sistema Cávado-Ofir e um modelo de agitação marítima, integrando informação topobatimétrica e diferentes condições de maré, sobre a qual serão desenvolvidas as etapas seguintes de avaliação, calibração e análise de cenários.

Trabalho Futuro

- Concluir a avaliação e calibração do modelo hidrodinâmico com os dados observados NextSea.
- Avaliar a resposta do sistema a diferentes cenários de maré, caudal e agitação marítima.
- Consolidar a integração entre a componente hidrodinâmica e o modelo de agitação.
- Desenvolver uma base para um sistema de previsão e alerta no estuário do rio Cávado.



XII CPGZC

XII CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS
COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA

Zonas Costeiras Inteligentes

Obrigado pela Atenção!

Questões?

Agradecimentos:

O presente trabalho beneficiou do apoio do Projeto MARUMinho, financiado pela Fundação Calouste Gulbenkian.