



XII CPGZC

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

Zonas Costeiras Inteligentes

CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA DE ONDAS E PERIGOS COSTEIROS DA CIDADE DA BEIRA - MOÇAMBIQUE



Rogério A. Cuinhane · Conceição J. Fortes · Rui Capitão · Liliana Pinheiro

NOVA School of Science and Technology (FCT NOVA) — MARE/ARNET · LNEC, Lisboa

47

anos (1979–2025)

136 016

*registos tri-horários
(ERA5)*

2000-400-200

resolução SWAN



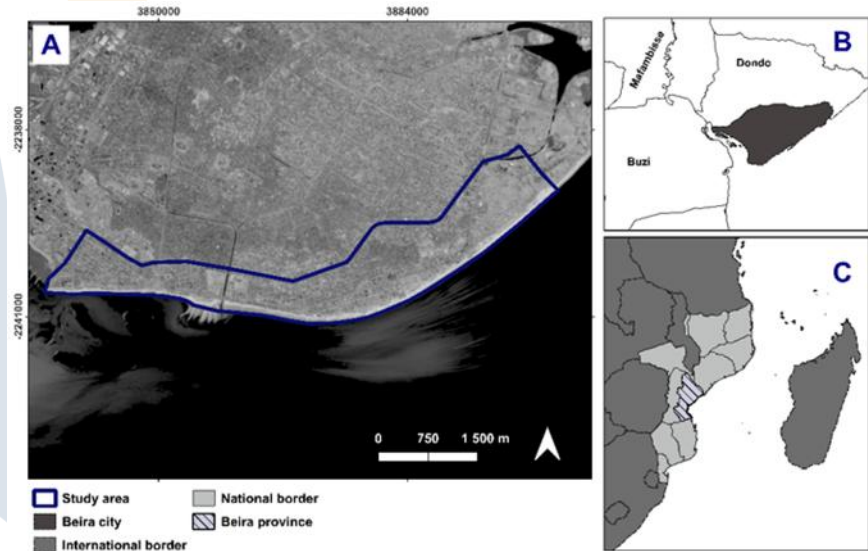
XII CPGZC

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

Zonas Costeiras Inteligentes

Area de estudo

- Moçambique tem ~2 700 km de costa, na sua maioria abaixo dos 20 m de altitude, e é atingido por 1–2 ciclones de categoria 2–4 por ano (entre janeiro e abril).
- A Beira — 2^a maior cidade do país e situa-se numa planície deltaica baixa
- Ciclone Idai (março de 2019) expôs de forma dramática esta vulnerabilidade.





XII CPGZC

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

Zonas Costeiras Inteligentes

Gaps

- **Caracterização quantitativa curta**
- **Estudos precedentes com baixa cobertura espacial (1.25° e 1°)**





XII CPGZC

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

Zonas Costeiras Inteligentes

Objetivos

- 1. Caracterizar o clima de ondas ao largo e junto à costa (ERA5, 47 anos)**
- 2. Estimar alturas de onda extremas e respectivos períodos de retorno (TR 100 anos)**
- 3. Calcular níveis máximos de inundação (runup empírico + perfis de praia GPS)**
- 4. Validar o modelo com observações do Ciclone Idai (14 e 15 março 2019)**

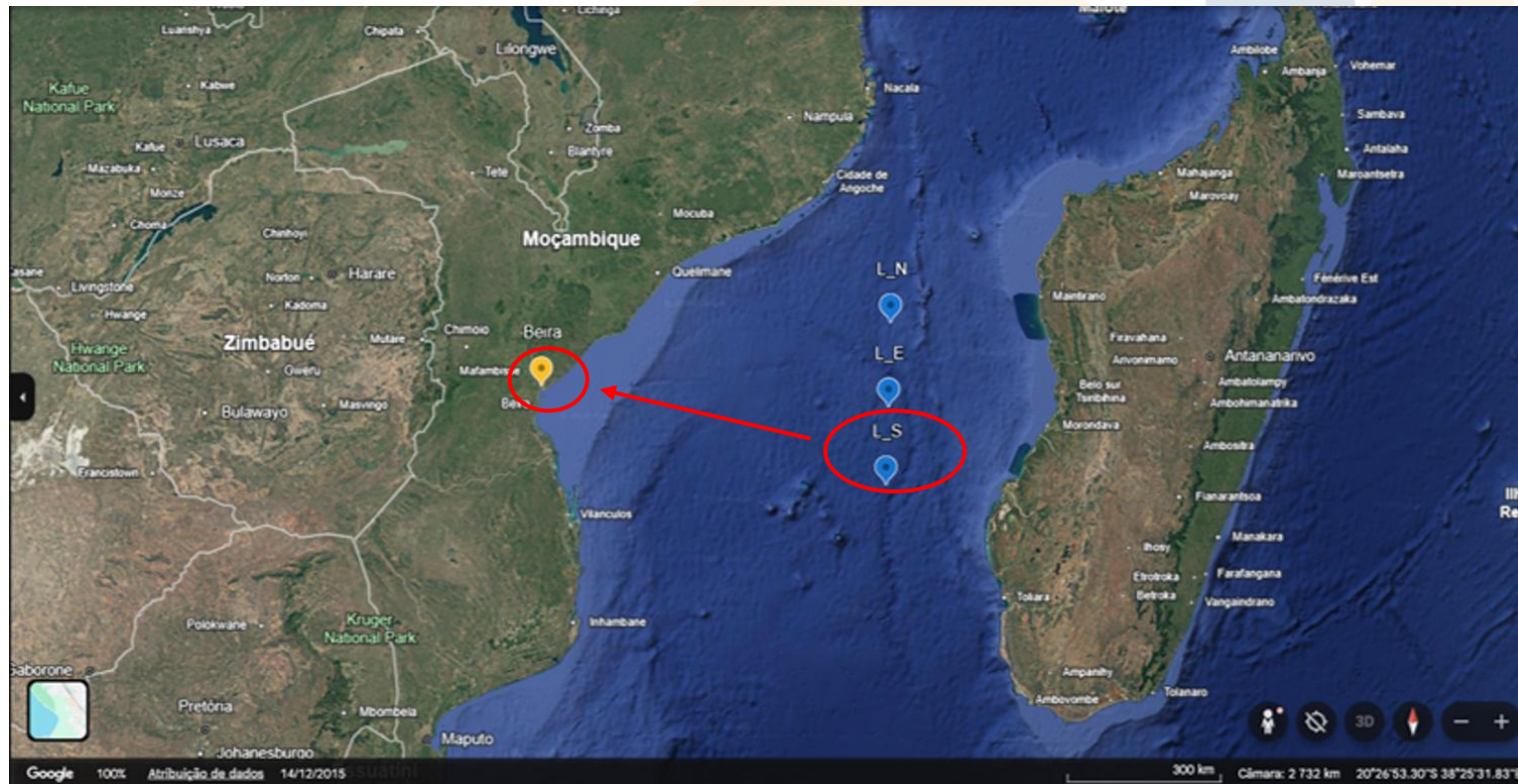


XII CPGZC

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

Zonas Costeiras Inteligentes

Dados: Agitação Marítima (ERA5) Largo (L_S)



Condições

Dados/Fontes

■ **Fronteira**

**L_S(21°28'15" S;
41°14'06" E).**

R.Temporal

**1979 –2025 (
136.016)**

R. Espacial

**~0,25° (≈31 km);
trihoraria.**

Parâmetro

Hs (m), Tp (s) Dir (°)



XII CPGZC

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

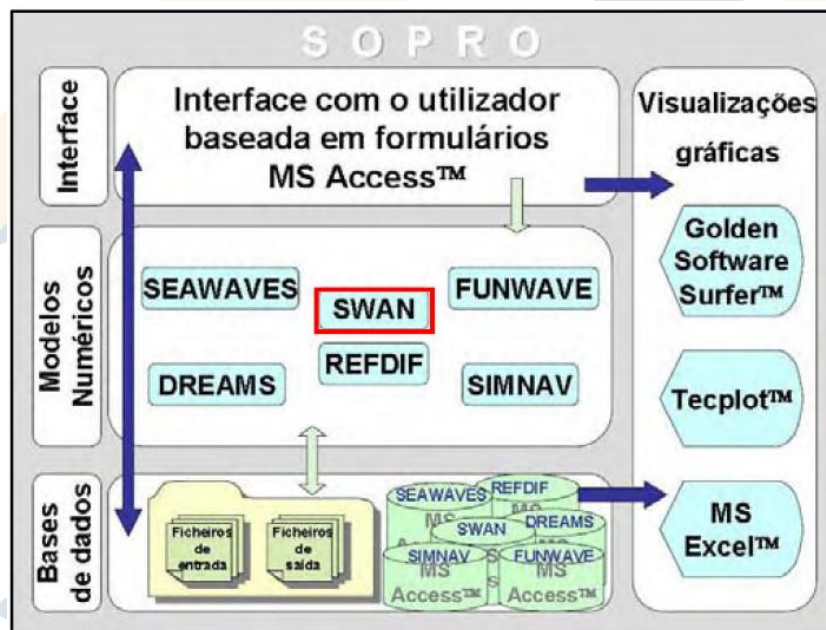
Zonas Costeiras Inteligentes

Metodológia: Propagação de offshore para Nearshore

3

COSTA

8 pontos de
transferência do Largo
a Costa (P1-P8).
RTK-GPS diferencial,
fev. 2026
Fórmulas empíricas de
espraçamento (Perfis
de Praia (P1-P8))



Fortes et al., 2006

1

AO LARGO (L_S)

Reanálise ERA5
1979–2025
0,25° · 3/3h

2

PROPAGAÇÃO

Modelo SWAN +
interface SOPRO
3 malhas
aninhadas:
2000→400→200 m
Batimetria GEBICO
2024

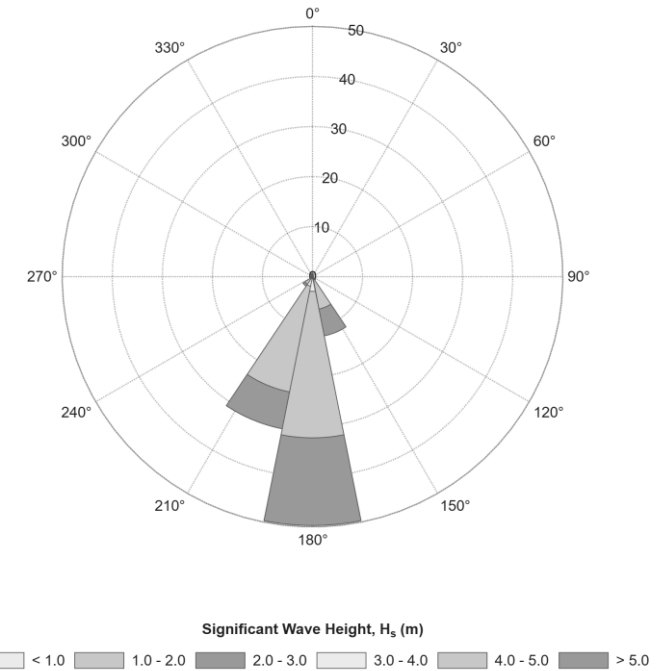
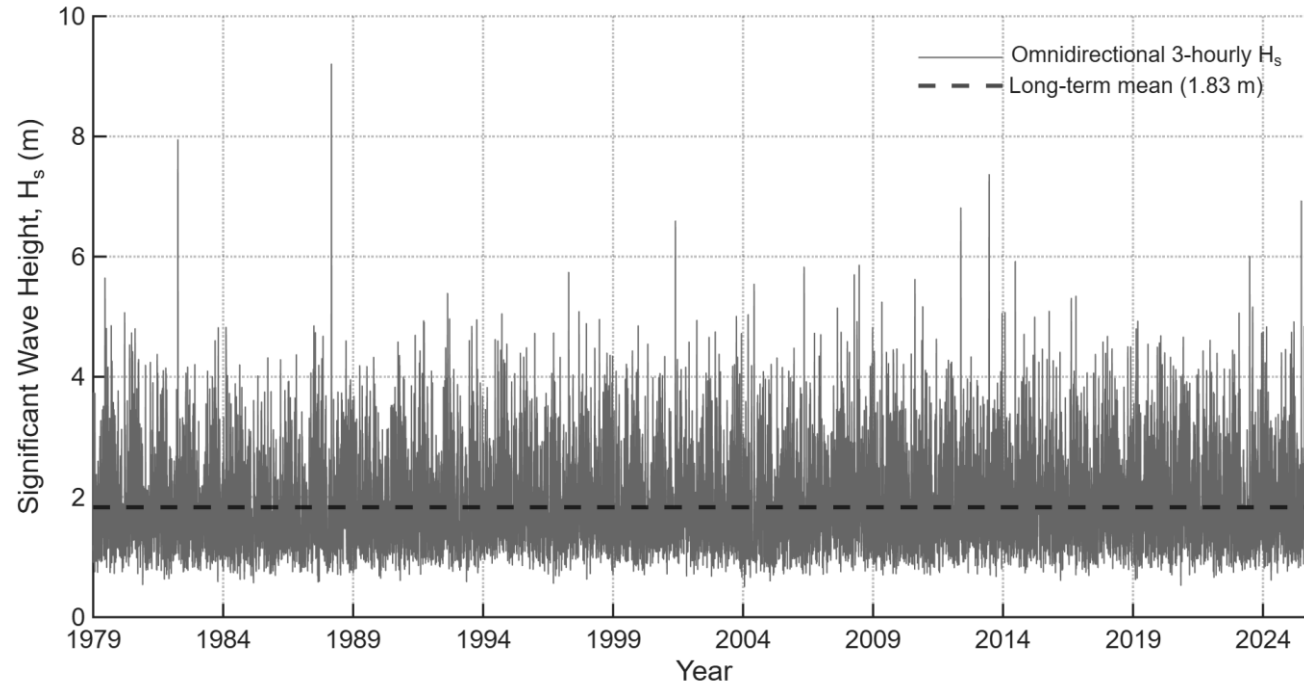


XII CPGZC

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

Zonas Costeiras Inteligentes

Resultados: offshore (L_S), 1979–2025)



1,83 m

9,21 m

11,7 s

150°–180°

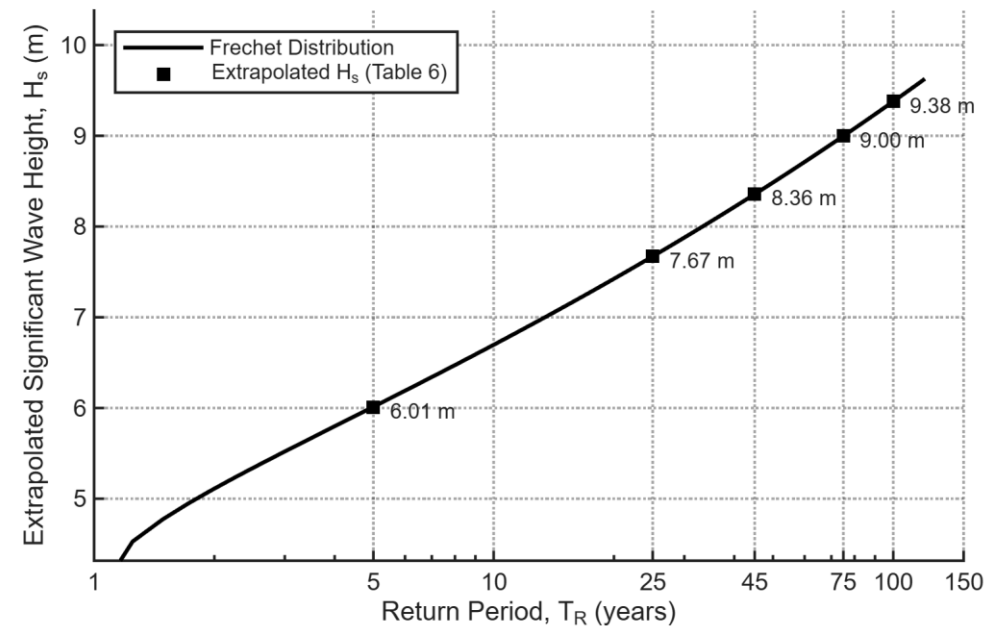
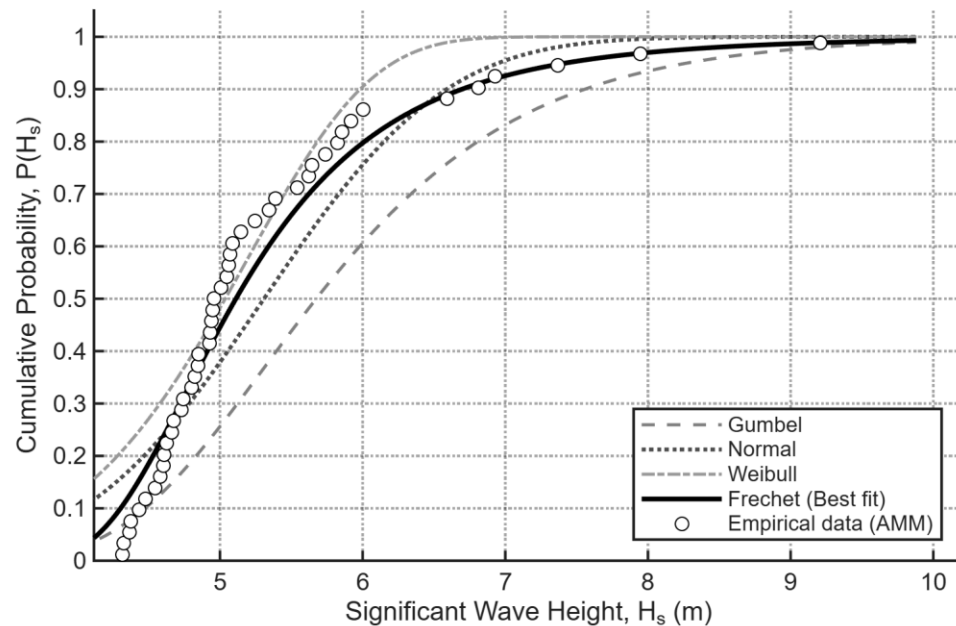


XII CPGZC

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

Zonas Costeiras Inteligentes

Distribuição de Fréchet: onda centenária de 9,38 m



- Método dos Máximos Anuais (47 valores)
- 5 distribuições testadas: Gumbel, Fréchet, Normal, Exponencial, Weibull

- Seleção pelo parâmetro combinado c (r , erro-padrão, Kolmogorov-Smirnov)
- Fréchet: $r = 0,979$ • melhor ajuste

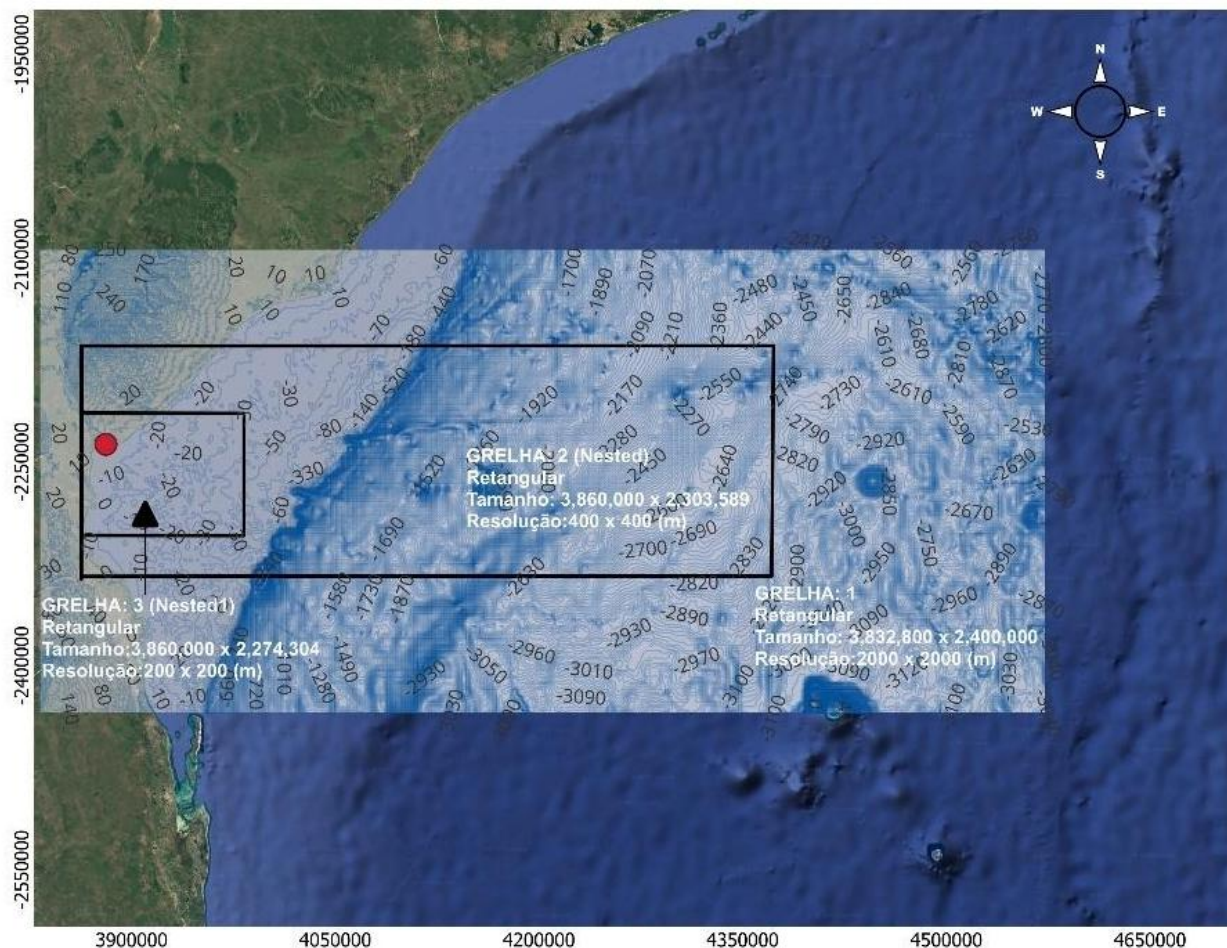


XII CPGZC

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

Zonas Costeiras Inteligentes

SWAN-SOPRO: três grelhas aninhadas



Grelha 1: 2000 m · 740 × 340 km

Grelha 2: 400 m · 320 × 100 km

Grelha 3: 200 m · 70 × 35 km

- **Batimetria:** GEBCO 2024
- **8 Pontos de Resultados**
P1–P8
- **Espectro:** JONSWAP, 31
frequências × 90 direções



XII CPGZC

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

Zonas Costeiras Inteligentes

Resultados: Pontos Nearshore (p1-p8)



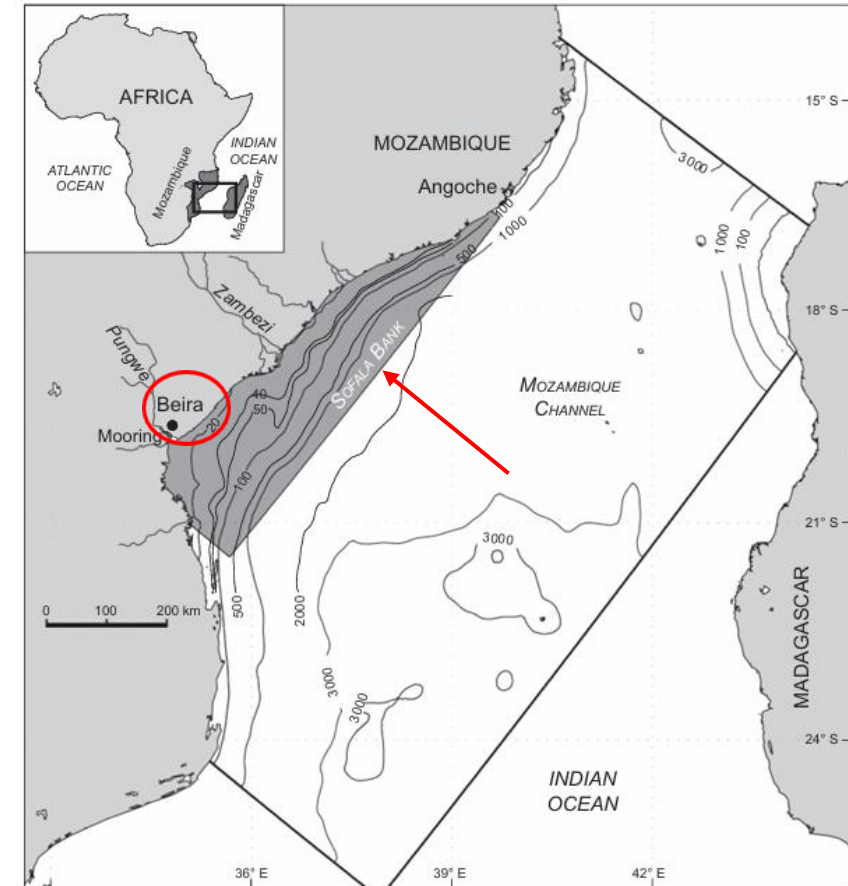
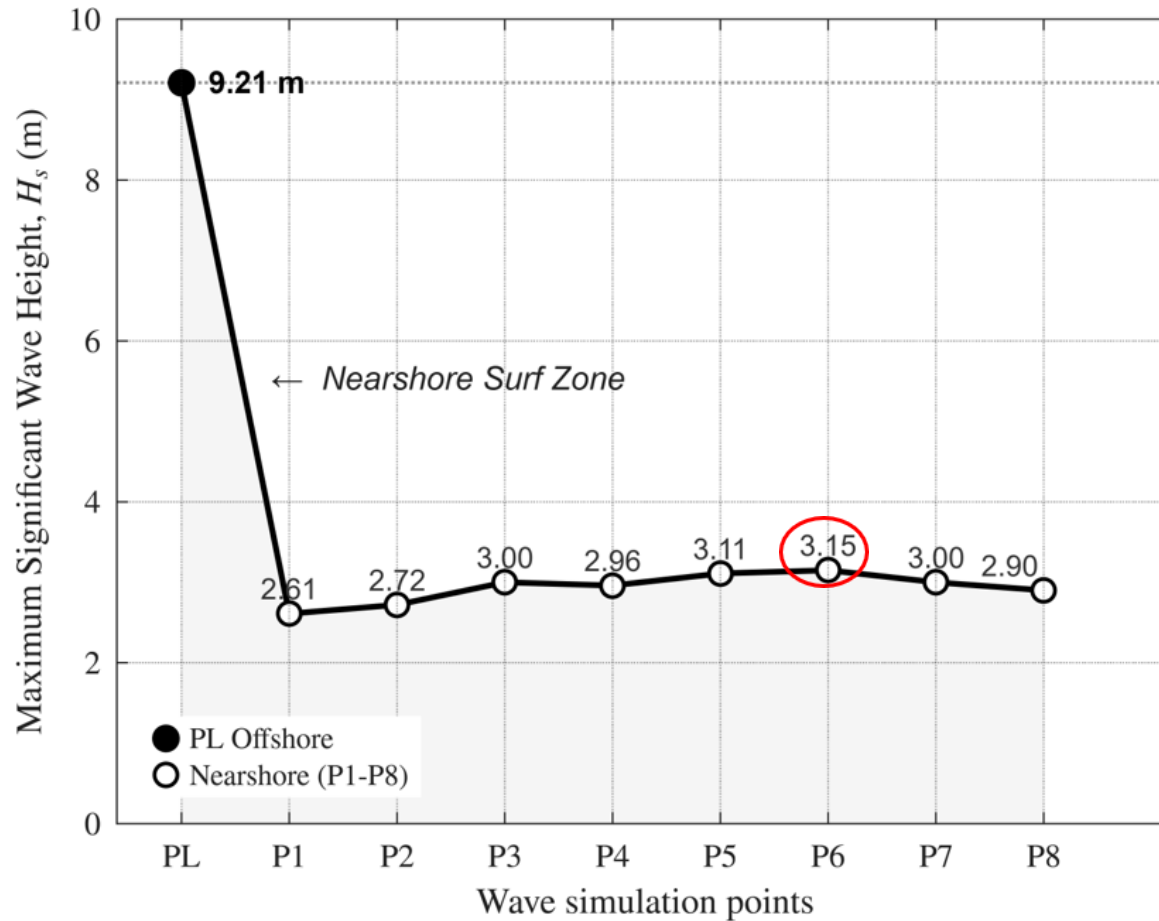


XII CPGZC

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

Zonas Costeiras Inteligentes

O Banco de Sofala como “filtro natural” de energia



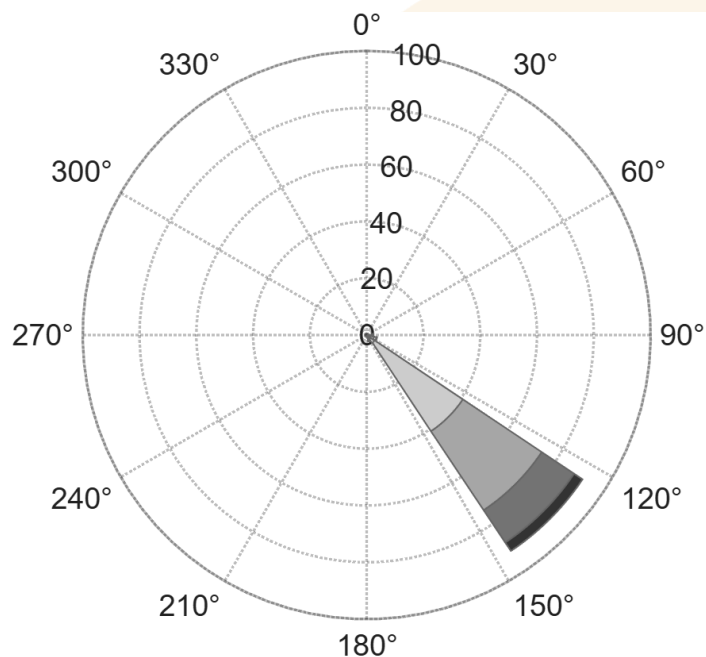


XII CPGZC

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

Zonas Costeiras Inteligentes

Rotação e estreitamento direcional junto à costa



~131°

- Amplitude reduzida ao arco SE
- Direção média (SE), desvio de ~55°
- *Exposição SE de toda a Frente Índica.*

Significant Wave Height at P6, H_s (m)



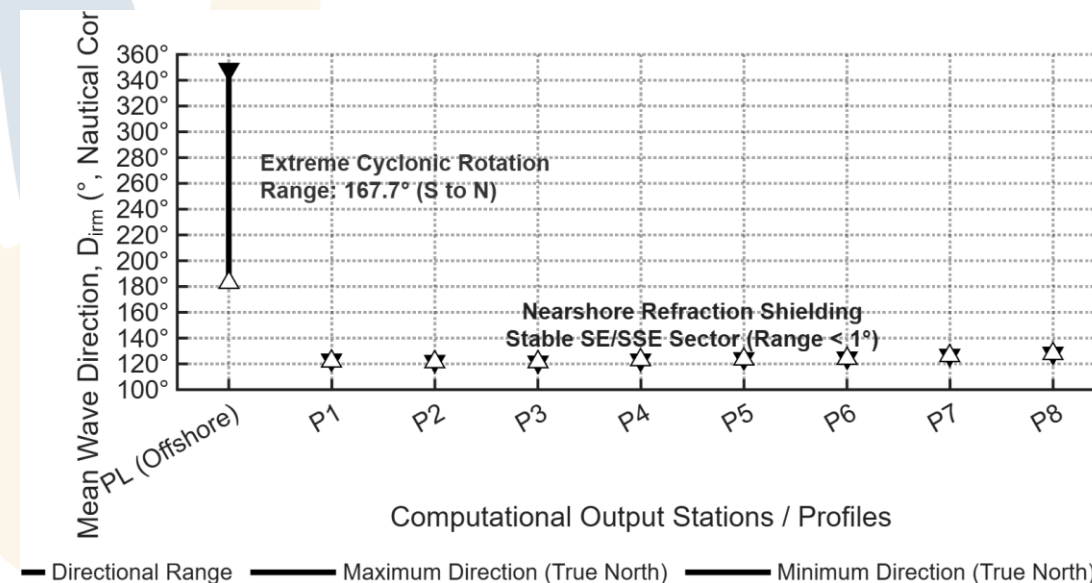
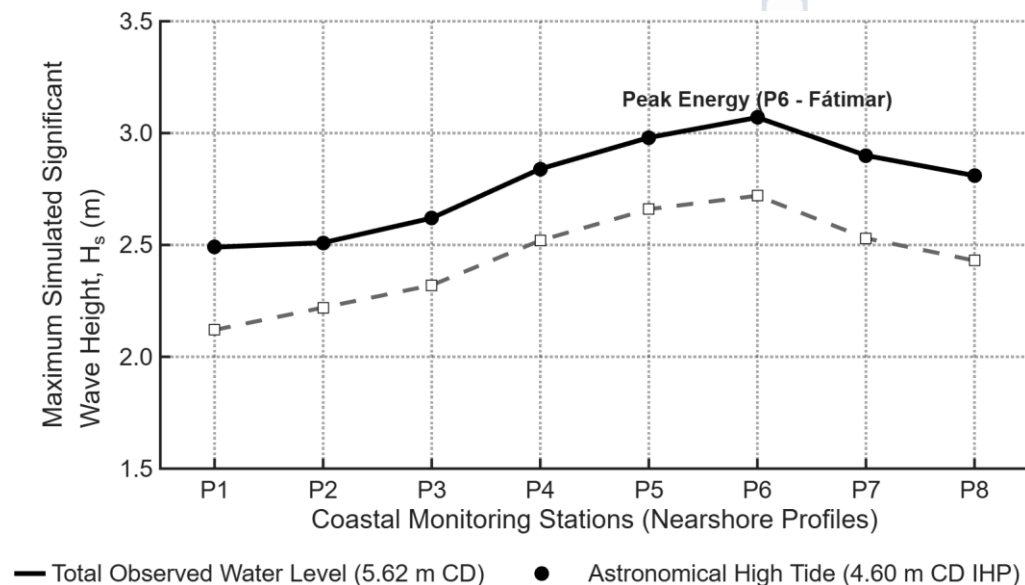


XII CPGZC

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

Zonas Costeiras Inteligentes

Hindcast de 14–15 de março de 2019



3,62 m → 3,07 m

Gradiente H_s largo–costa (P6), fiel ao filtro do Banco de Sofala

20,4 s → 12,0 s

Tp decresce por atrito e rebentação — assinatura de sistema de grande escala

183° → 348°

Rotação de 167° ao largo: passagem do olho do ciclone sobre o Porto da Beira

–12,2%

Redução sistemática de H_s por 1,02 m de variação no nível de maré (sensibilidade)



XII CPGZC

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

Zonas Costeiras Inteligentes

NMI- 8 formulações empíricas de espraiamento 8 perfis de Praia P1-P8

Guza & Thornton (1982)

Hunt (1959)

Holman (1986)

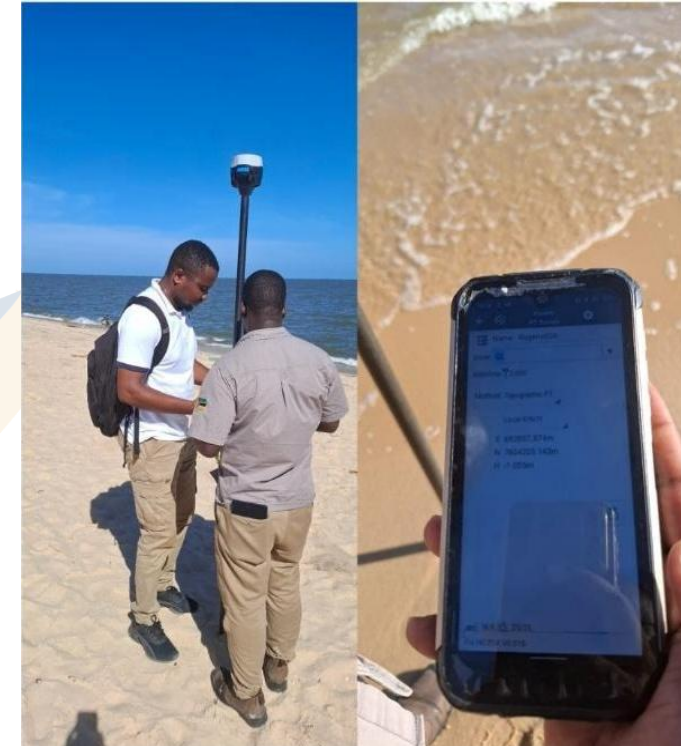
Nielsen & Hanslow (1991)

Ruggiero et al. (2001)

Stockdon et al. (2006)

Teixeira 1 (2009)

Teixeira 2 (2009)



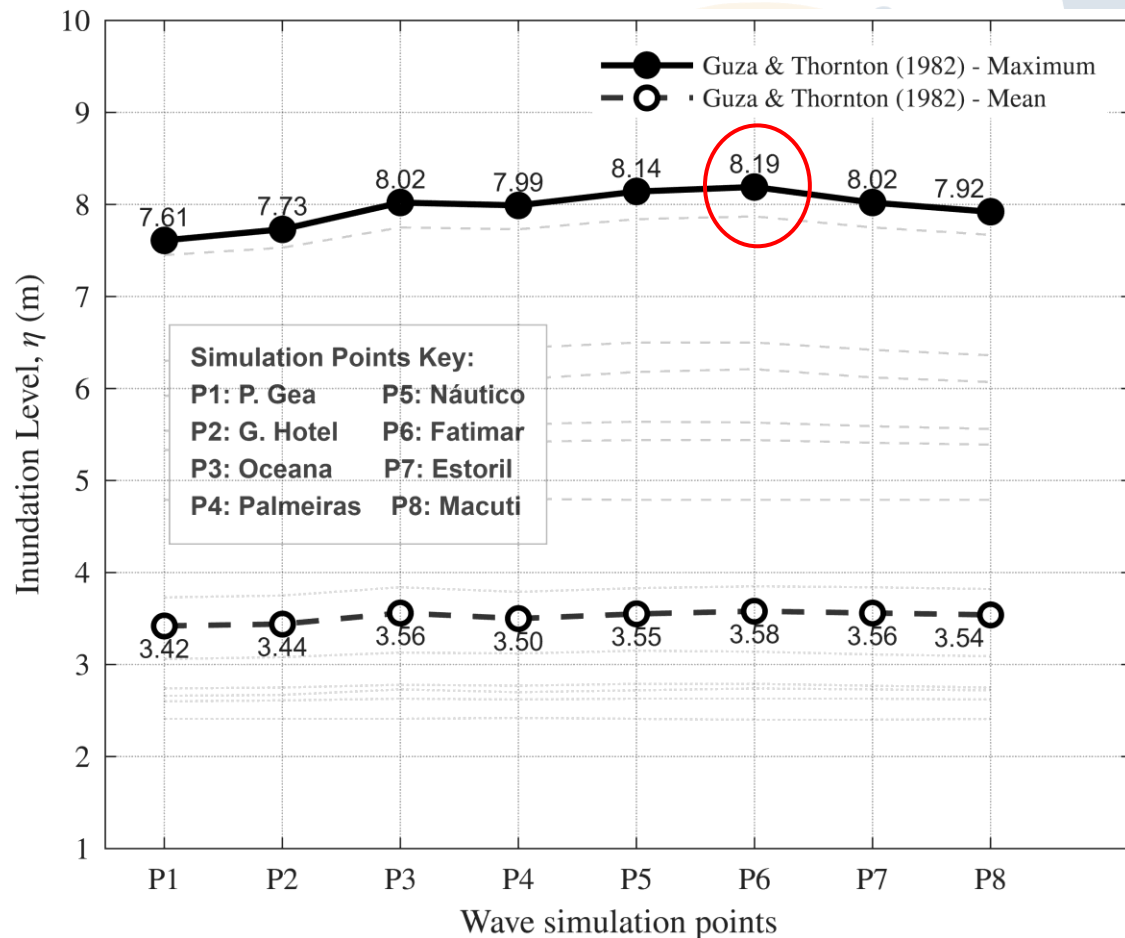


XII CPGZC

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

Zonas Costeiras Inteligentes

Praia de Fátimar (P6): o ponto de maior exposição costeira



8,19 m

- Cota máxima de inundação (ZH)
- *Gradiente de perigo Sul→Norte: Oceana (P3), Náutico (P5) e Fátima (P6) registam sempre as cotas mais elevadas.*

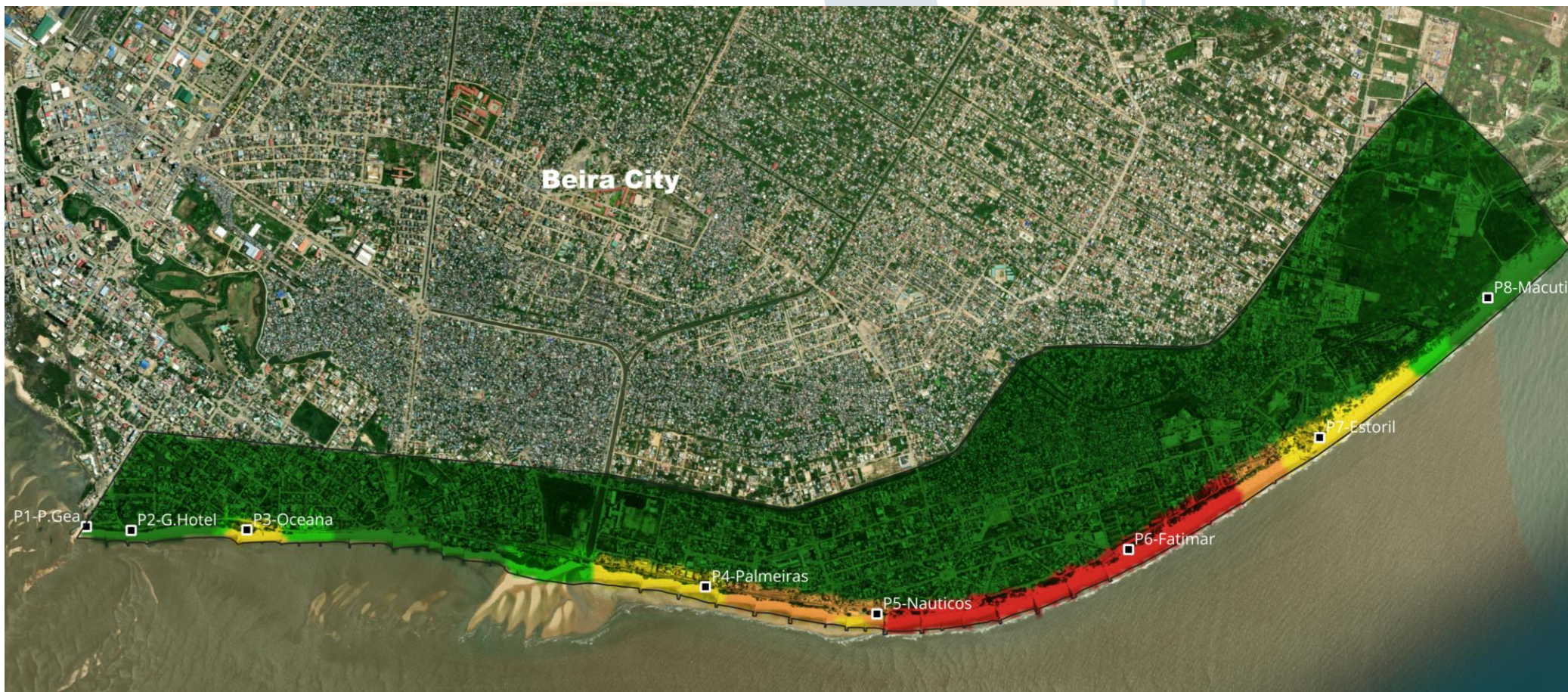


XII CPGZC

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

Zonas Costeiras Inteligentes

Risco de galgamento (Frente Indica da Beira)





XII CPGZC

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

Zonas Costeiras Inteligentes

Uma base empírica de alta resolução para a Beira

43% / 66%

Atenuação média e máxima de Hs pelo
Banco de Sofala

8,19 m ZH

Cota máxima de inundação — Praia de
Fátima, o ponto mais exposto

9,38 m → 3,10 m

Hs centenária: do largo à costa em P6

4 evidências

convergentes validam o modelo com o
Ciclone Idai

O Banco de Sofala constitui um ativo de defesa costeira natural, de custo zero e capacidade empiricamente quantificável — base para estratégias de adaptação fundamentadas na Frente Índica da Beira.



XII CPGZC

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

Zonas Costeiras Inteligentes

Obrigado

Pela

Atenção dispensada