



XII CPGZC

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

Zonas Costeiras Inteligentes

EVOLUÇÃO DO DANO NA SECÇÃO DA CABEÇA DE UM QUEBRA-MAR

*Rute Lemos¹; Ana Mendonça¹; Conceição Fortes¹; Carolina Martinez¹; Tiago Lopes³ Lucas Brito²;
Bruno Pereira³; Helder Girão³*

¹ LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil

² ISEL - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa

³ ISEC - Instituto Superior de Educação e Ciências

RESUMO



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

- Introdução
- Objetivos
- Ensaaios em modelo físico
- Avaliação do dano
- Resultados
- Conclusões

INTRODUÇÃO

- ❑ A cabeça dos quebra-mares de taludes constitui uma das zonas mais frágeis em termos de estabilidade do manto de proteção
- ❑ Validação da sua estabilidade hidráulica em modelos físicos.
- ❑ Diferentes metodologias de avaliação do dano
 - ❑ Contagem de blocos
 - ❑ Obtenção de perfis com perfilador
 - ❑ Levantamentos 3D



INTRODUÇÃO

- Dependendo da profundidade a que o quebra-mar é fundado, o dano e a eventual rotura podem
 - Ter início ao longo do talude, caso as ondas não sejam limitadas pela profundidade e a rebentação ocorra sobre o talude.
 - No pé do talude, caso a estrutura seja construída em águas pouco profundas
- No âmbito do projeto ProCoast-3D, foi realizado um estudo em modelo físico tridimensional cujo caso de estudo foi o quebra-mar do porto da Ericeira



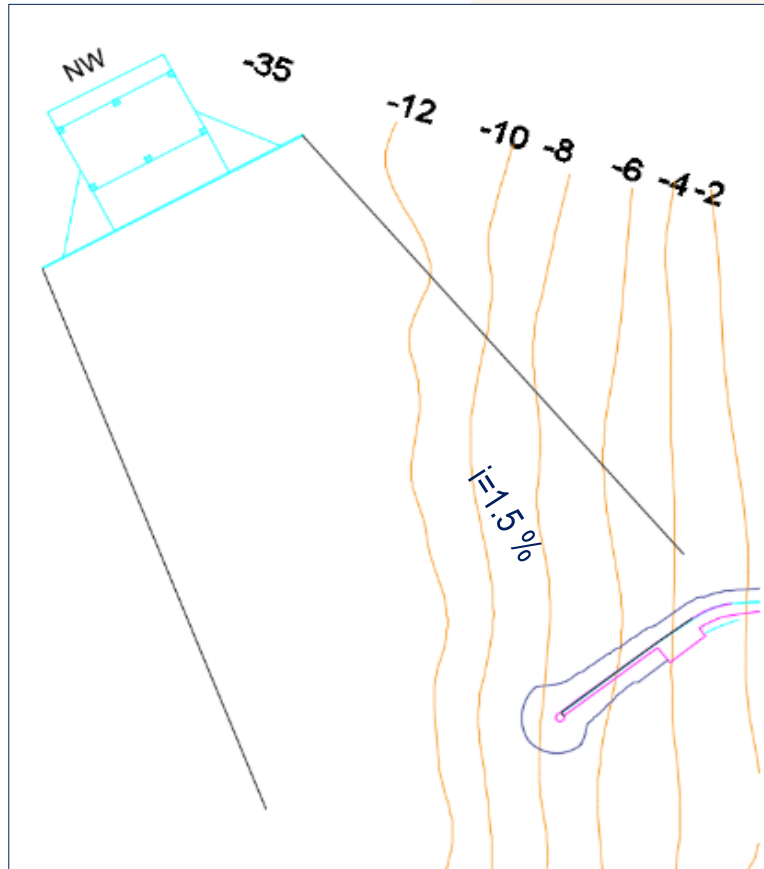
ENSAIOS EM MODELO FÍSICO

- Escala: 1:65
- Talude a 2:3
- Tronco: Tetrápodos de 30 t
 - $D_n=0.034$ m
 - Porosidade=0.45
- Cabeça: Cubos Antifer de 55 t
 - $D_n=0.042$ m
 - Porosidade=0.30



ENSAIOS EM MODELO FÍSICO

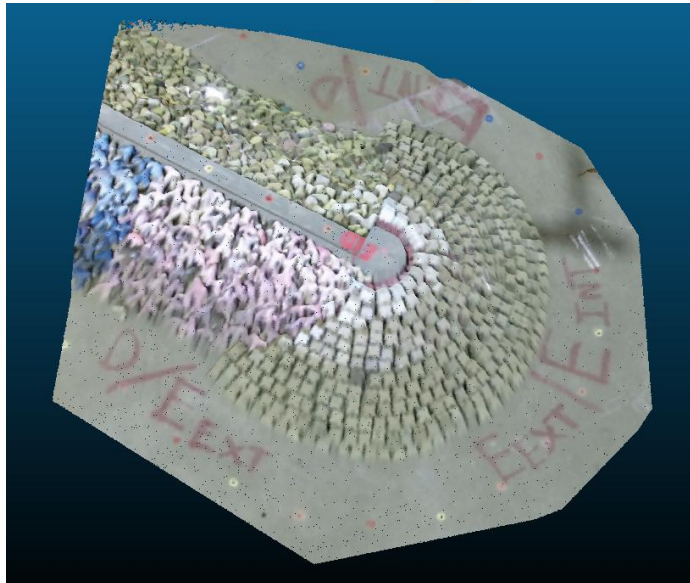
- Ensaios realizados num dos tanques de ondas do LNEC
 - *Sistema de geração de ondas tipo pistão*
 - *Batedor com uma pá com 6 m de largura*



ENSAIOS EM MODELO FÍSICO

Avaliação do dano

- Levantamentos tridimensionais
 - início da série de ensaios
 - no final de cada ensaio
- Sensor de posição Kinect V2



- Contagem de blocos removidos

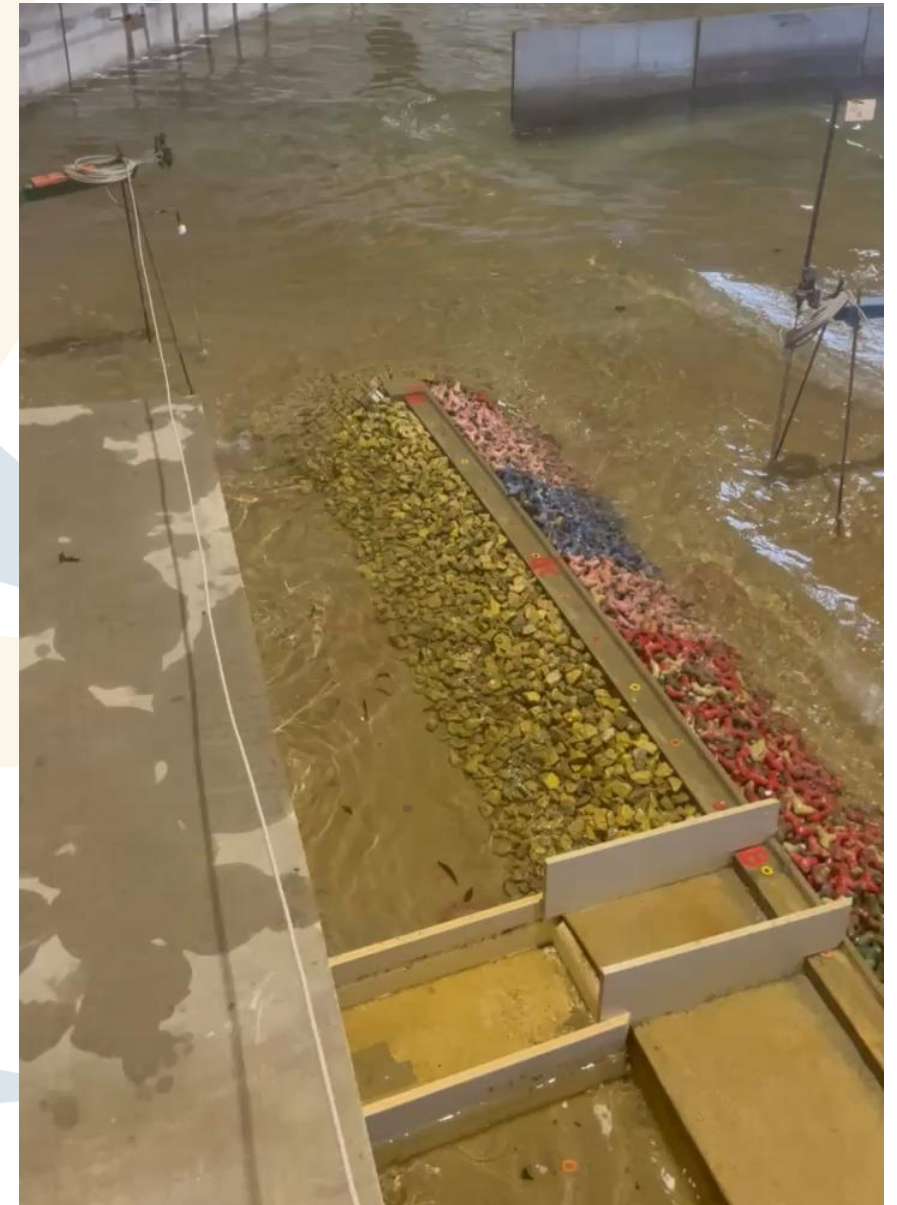
ENSAIOS EM MODELO FÍSICO

Condições de ensaio

- As condições de ensaio avaliadas são equivalentes a:
 - Nível de preia-mar (PM) e Nível de preia-mar com sobrelevação (PMS)
 - $T_p=14$ s and $T_p=16$ s
 - $H_s = 5$ m, 6 m e 7 m
 - Direção de agitação: NW
 - *Alguma obliquidade*



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL



ENSAIOS EM MODELO FÍSICO

□ Três séries de ensaios

Série A

- Cada condição de ensaio foi testada até à estabilização dos danos, numa sequência com intensidade crescente
- Ensaio de longa duração
- A estrutura foi exposta à agitação até à ruína – **56 ensaios**

Séries B e C

- Cada condição de agitação teve uma duração bem definida.
- A série B foi realizada com intensidade crescente - **15 ensaios**
- A série C foi realizada com intensidade decrescente - **6 ensaios** (interrompida devido a ruína)

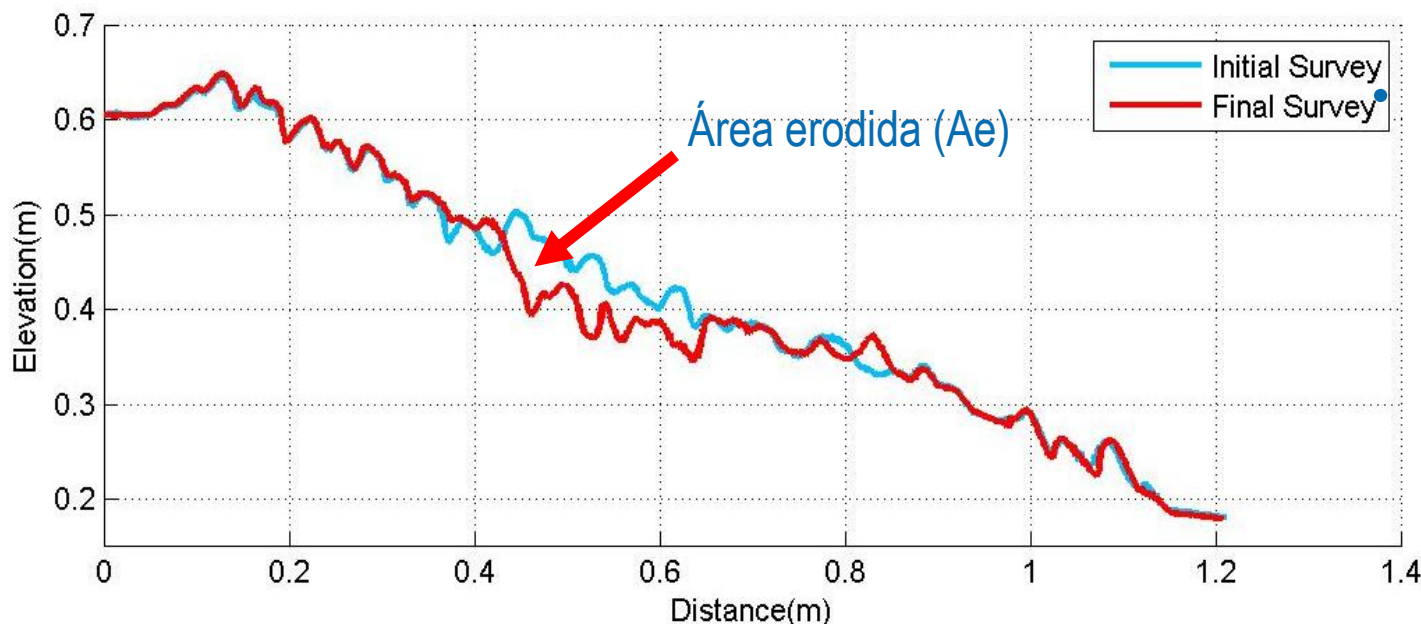
OBJETIVOS

- ❑ Avaliar a evolução do dano na cabeça do quebra-mar sob estados de agitação correspondentes a condições de tempestade de intensidade e duração variáveis.
- ❑ Avaliar a evolução do dano através de:
 - ❑ Método tradicional
 - Contagem de blocos
 - ❑ Levantamentos 3D do modelo do quebra-mar
 - Determinação do volume erodido e estimativa do número de blocos removidos
 - Obtenção de perfis, determinação da área erodida e parâmetro adimensional do dano (S) baseado na área erodida
 - Determinação da profundidade erodida, E_d

QUANTIFICAÇÃO DO DANO

❑ Parâmetro adimensional do dano (S)

- Relação entre a área erodida (A_e) de um perfil e o quadrado do diâmetro nominal do bloco (Dn_{50})
 - $S = A_e / Dn_{50}^2$



• Perfiladores

- Obtenção de perfis discretos

Levantamentos 3D

- Obtenção de nuvens de pontos, passíveis de serem “fatiadas”
- *Perfis em qualquer ponto de interesse, definido no pós-processamento*

OU

- Cálculo do volume erodido e obtenção de uma área erodida média

$$\overline{A_e} = V_e / L_{\text{seção}} \quad \overline{S} = \overline{A_e} / Dn_{50}^2$$

❑ Cálculo do volume erodido e obtenção de um nº equivalente de blocos removidos

QUANTIFICAÇÃO DO DANO

Metodologia

Levantamentos 3D do modelo antes de cada série de ensaios (T0) e após cada ensaio intermédio, com água (T1, T2, ... ,Tn)



Extração de perfis



Determinação da Área erodida (*Ae*) em vários perfis



Determinação do parâmetro adimensional do dano em cada perfil

$$S = Ae / Dn^2$$



Determinação do Volume Erodido (VE)
(por comparação de nuvens de pontos)

Com correção do VE devido à porosidade
(Volume dos blocos removidos)

$$VE_b = VE * (1 - Porosidade)$$



Número Equivalente de blocos removidos

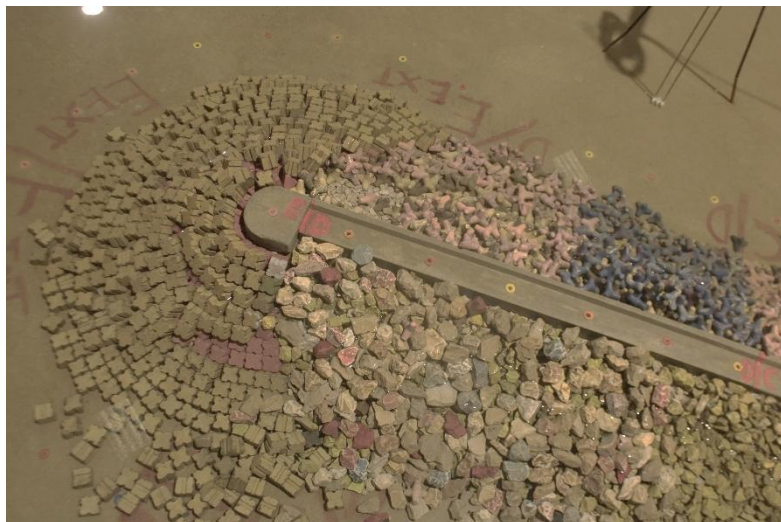
$$NE_b = VE_b / V_b$$

RESULTADOS

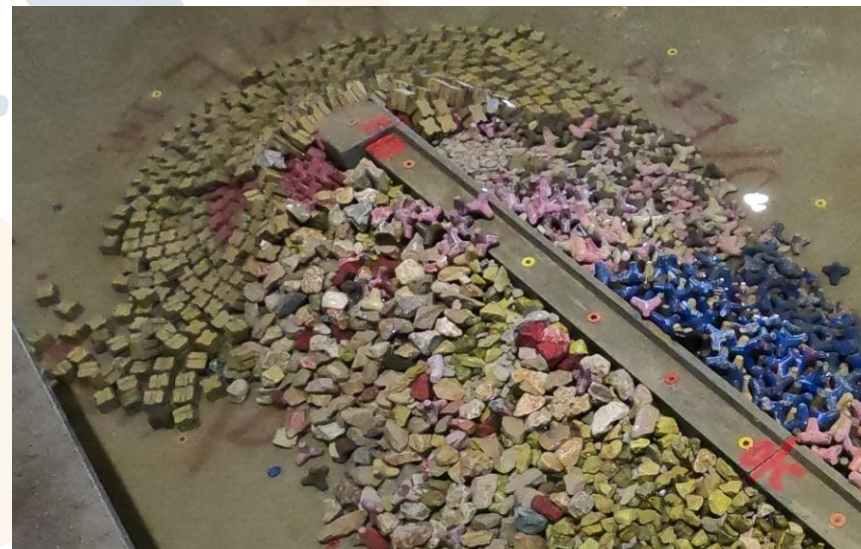


LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Final da Série A

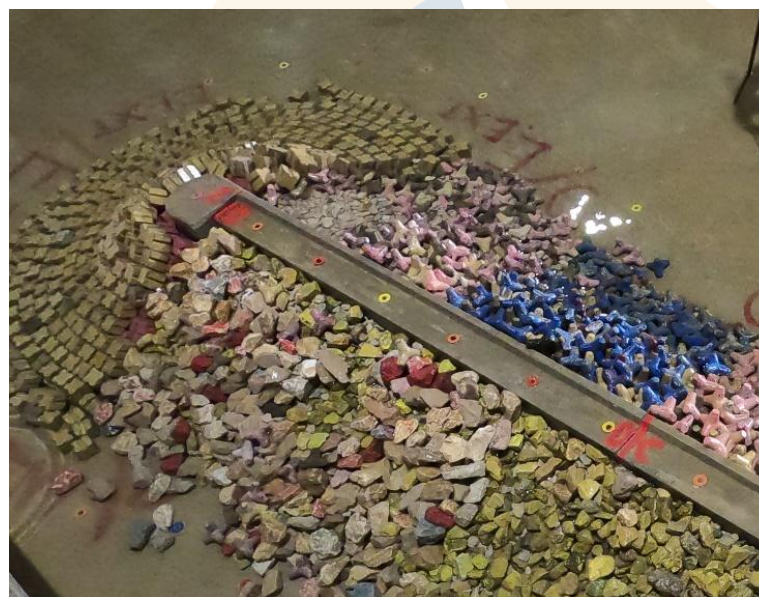


Final da Série B



Todas as séries:

Ruína no setor interior da cabeça, com início no pé do talude

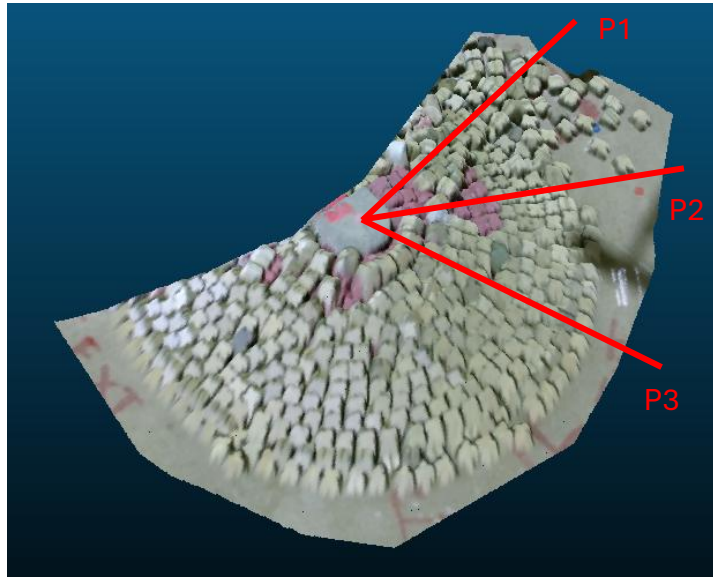


Série C:

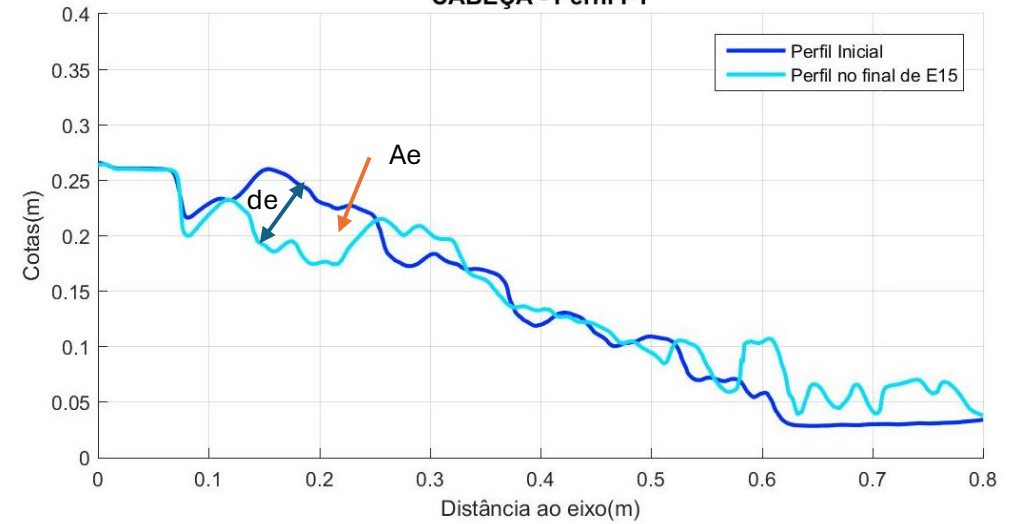
Ensaio interrompido por ruína do tronco adjacente à cabeça no final dos testes com $T_p=16$ s, associado a PMS

QUANTIFICAÇÃO DO DANO

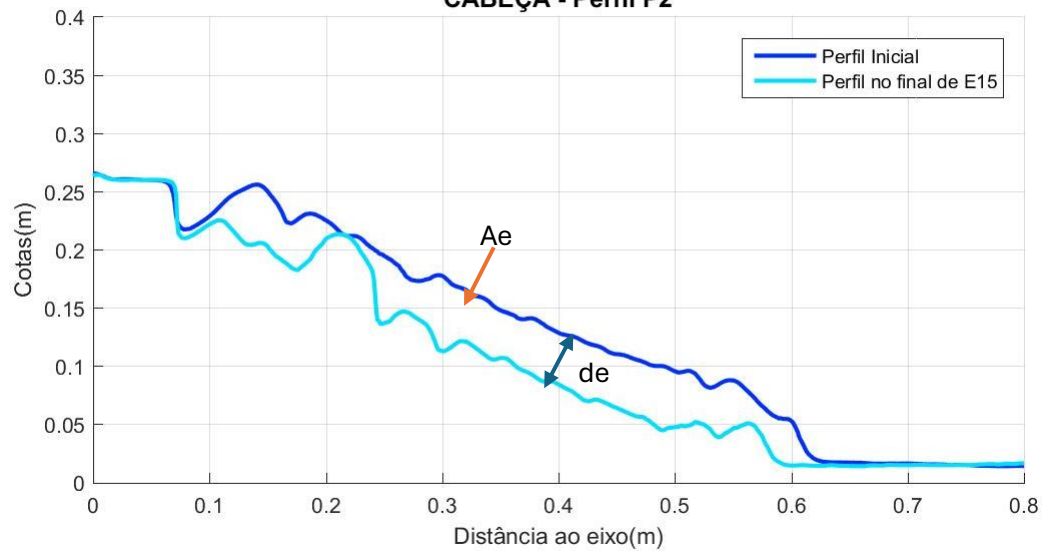
Obtenção de perfis



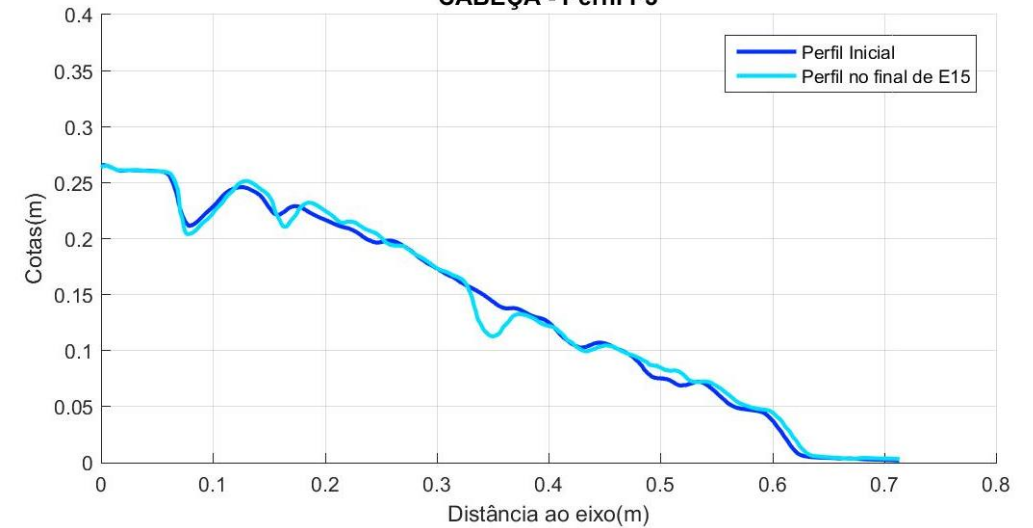
CABEÇA - Perfil P1



CABEÇA - Perfil P2



CABEÇA - Perfil P3



QUANTIFICAÇÃO DO DANO

Para os 3 perfis: Comparação entre os levantamentos inicial e final

Área e profundidade erodida → Parâmetros S e E

Perfil	A_e (m ²)	S A_e/D_n^2	Max_de (m)	E Max_de/ D_n
1	0.006	3.98	0.061	1.53
2	0.020	12.79	0.054	1.35
3	0.001	0.57	0.027	0.68

$$\bar{S} = 5.8$$

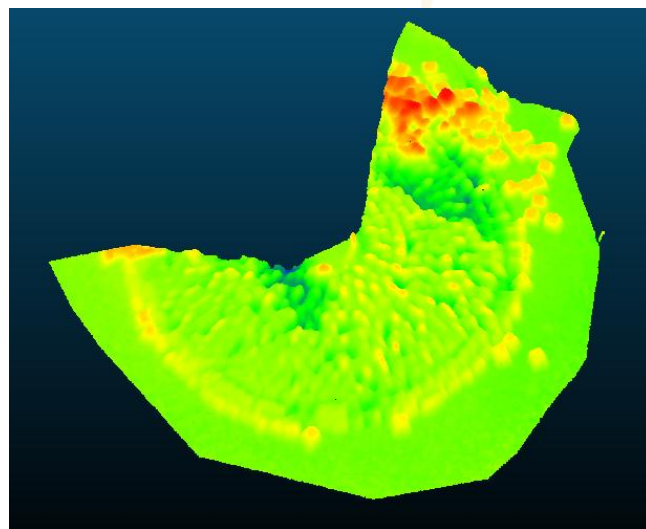
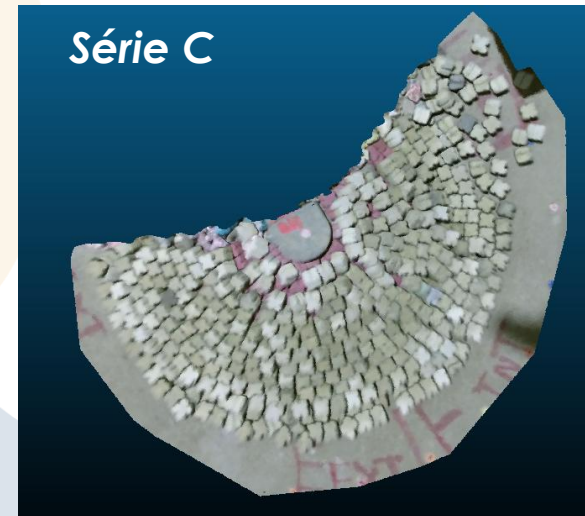
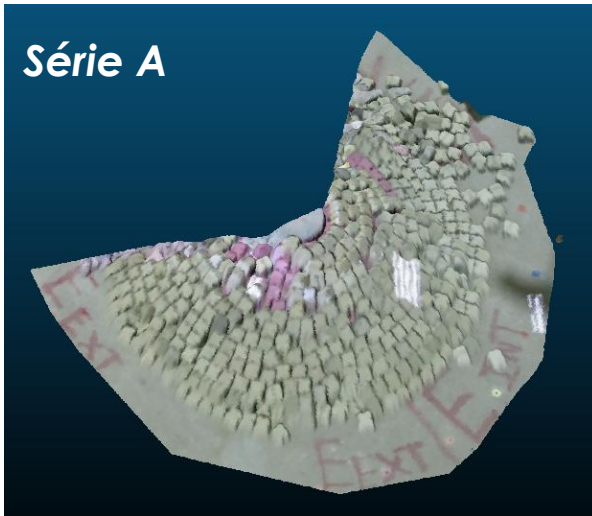
- É necessário fazer a média do dano S com o maior número de perfis possível
 - *De modo a reduzir a falta de contabilização de eventual dano existente entre perfis*
- Muito moroso, com possível heterogenidade do dano entre os vários perfis

QUANTIFICAÇÃO DO DANO

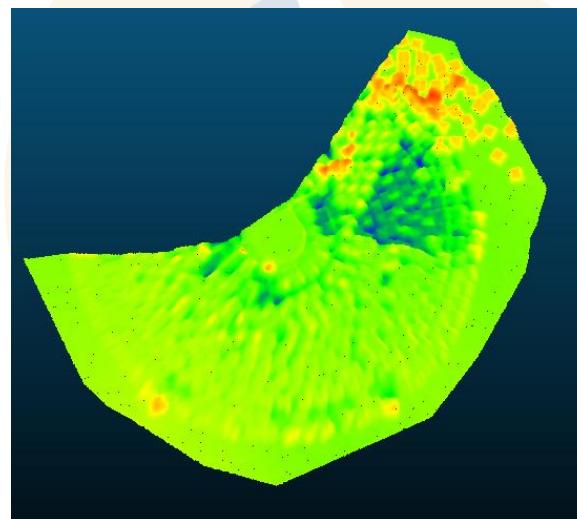
Nuvens de pontos e mapas de diferenças – Volume erodido



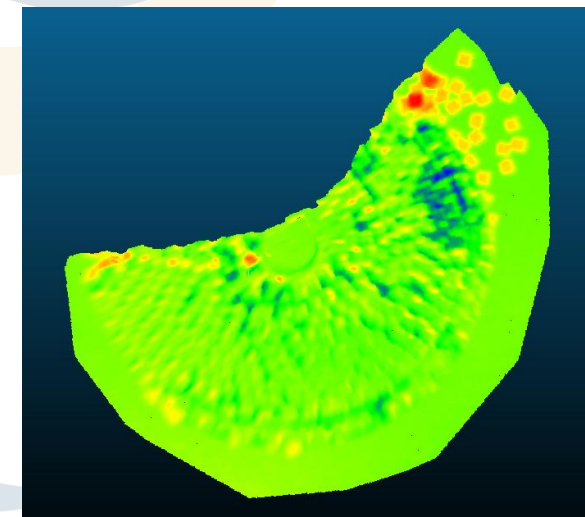
LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL



Quedas Estimadas: 87



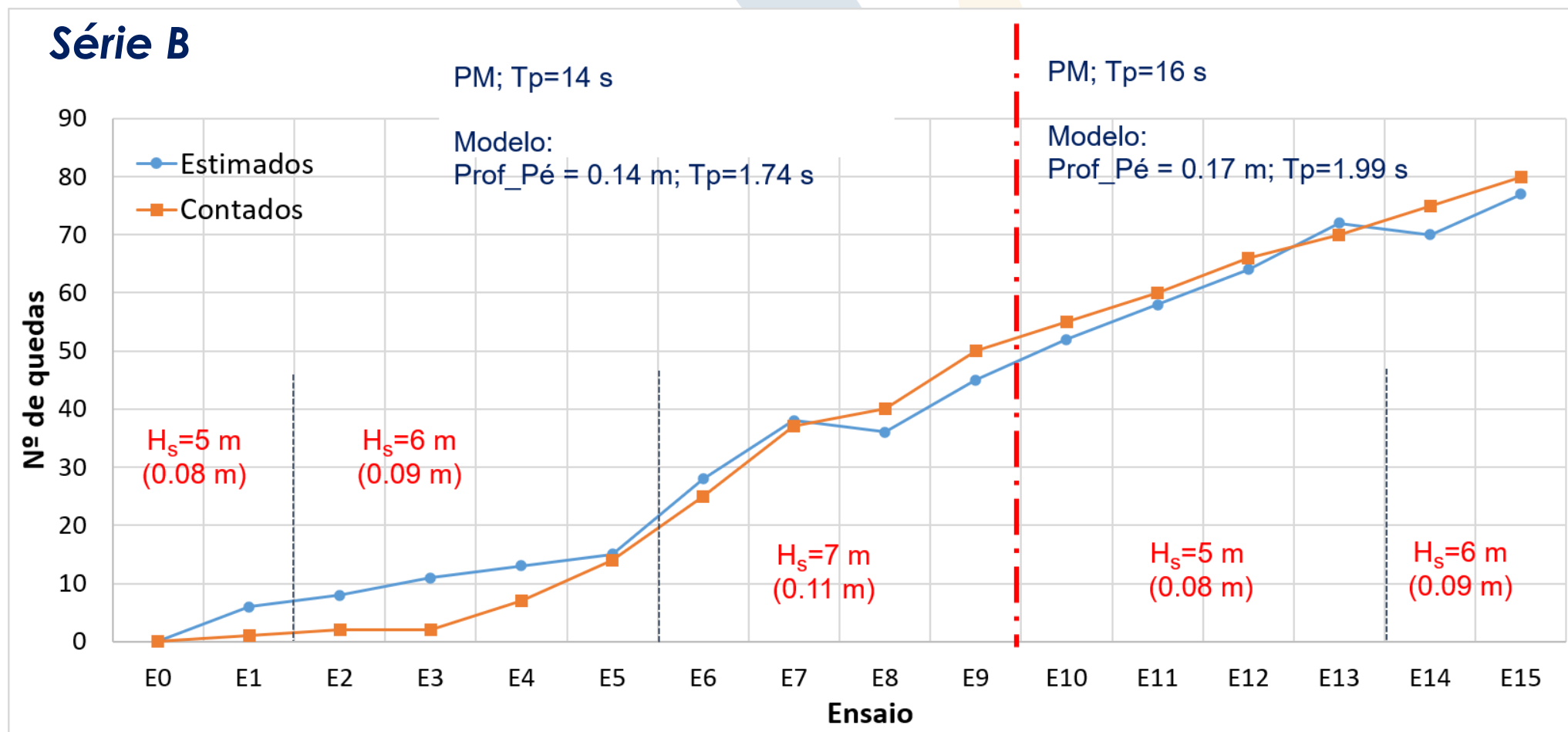
Quedas Estimadas : 73



Quedas Estimadas : 54

QUANTIFICAÇÃO DO DANO

Blocos contados vs Blocos estimados



- Níveis de dano menores: Ocorre sobrestimação
 - *A contagem visual é mais fidedigna*
- Aproximação com o aumento dos níveis de dano

CONCLUSÕES

- Nas três séries de ensaios foi atingido o grau de destruição com dificuldade na contagem de blocos
- **Método de quantificação do dano através da diferença de perfis**
 - Muito moroso, dada a necessidade de tratar um elevado número de perfis
 - Possível heterogenidade entre perfis.
- **Método de quantificação do dano a partir do volume erodido:**
 - Sobrestimação quando o nível de dano é baixo.
 - *A contagem visual é mais eficaz neste caso*
 - Convergência quando o dano aumenta
- Sugere a necessidade de metodologia mista (visual e levantamentos 3D)

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a:

- Projeto ProCoast 3D/CPISEC/PID/001/2023-24 financiado pelo ISEC-Lisboa
- Projeto COASTLIFE financiado pela FCT
- SAFEPORT e WISER - E2I- 2021-2027 do LNEC



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

**MUITO OBRIGADA PELA A
ATENÇÃO !**