

Lisboa, 5 de junho de 2021

Inundação por tsunami de origem sísmica na cidade de Lisboa

Simulação determinística



Rui M.L. Ferreira^(*) Daniel Conde^(*)

^(*) Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

Mapa da perigosidade de inundação por tsunami de origem sísmica na cidade de Lisboa

Trabalho realizado para a CML por uma equipa multidisciplinar coordenada pela professora **Maria Ana Baptista do Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.**

A equipa envolveu três instituições:



- O Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA),



- O Instituto Dom Luiz da Universidade de Lisboa, e



- O Instituto Superior Técnico

Equipa

CERIS : Civil Engineering Research
and Innovation for
Sustainability



Sendai Framework

(“understanding”, “build back better”)

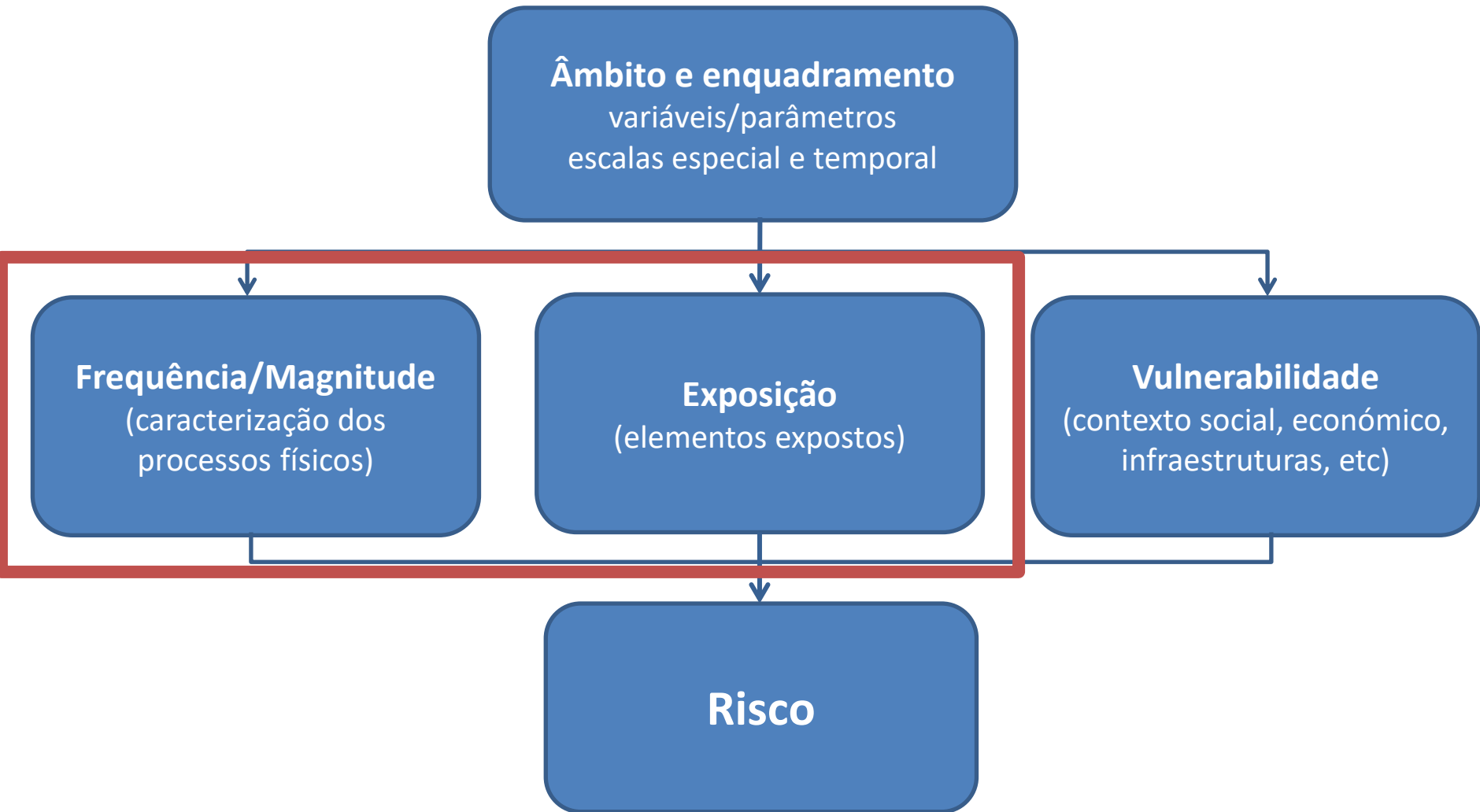
A nossa contribuição:

Desenvolvimento de ferramentas baseadas na física dos processos de transporte (hidrodinâmica e transporte de sólidos)

Aplicação dessas ferramentas no contexto do planeamento ou resposta operacional

Ciclo da **gestão do risco de desastres naturais**
(adaptado de Aguirre-Ayerbe et al. 2018 Nat Haz Earth Syst Sci)

Mapa da perigosidade de inundação por tsunami de origem sísmica na cidade de Lisboa



Mapa da perigosidade de inundação por tsunami de origem sísmica na cidade de Lisboa – permite respostas a

- **Que rotas de fuga?**
- **Que pontos de encontro? A que cotas? Em edifícios? Quais?**
- **A que cotas se podem colocar equipamentos críticos?**
- **Há infraestruturas viárias em risco (comboio, metropolitano, etc)?**
- **Há património exposto?**
- **E a “minha” rua?**

Simulação matemática da inundação por tsunami de origem sísmica na cidade de Lisboa






Definição dos elementos de base
(batimetria, altimetria, geometria do edificado)

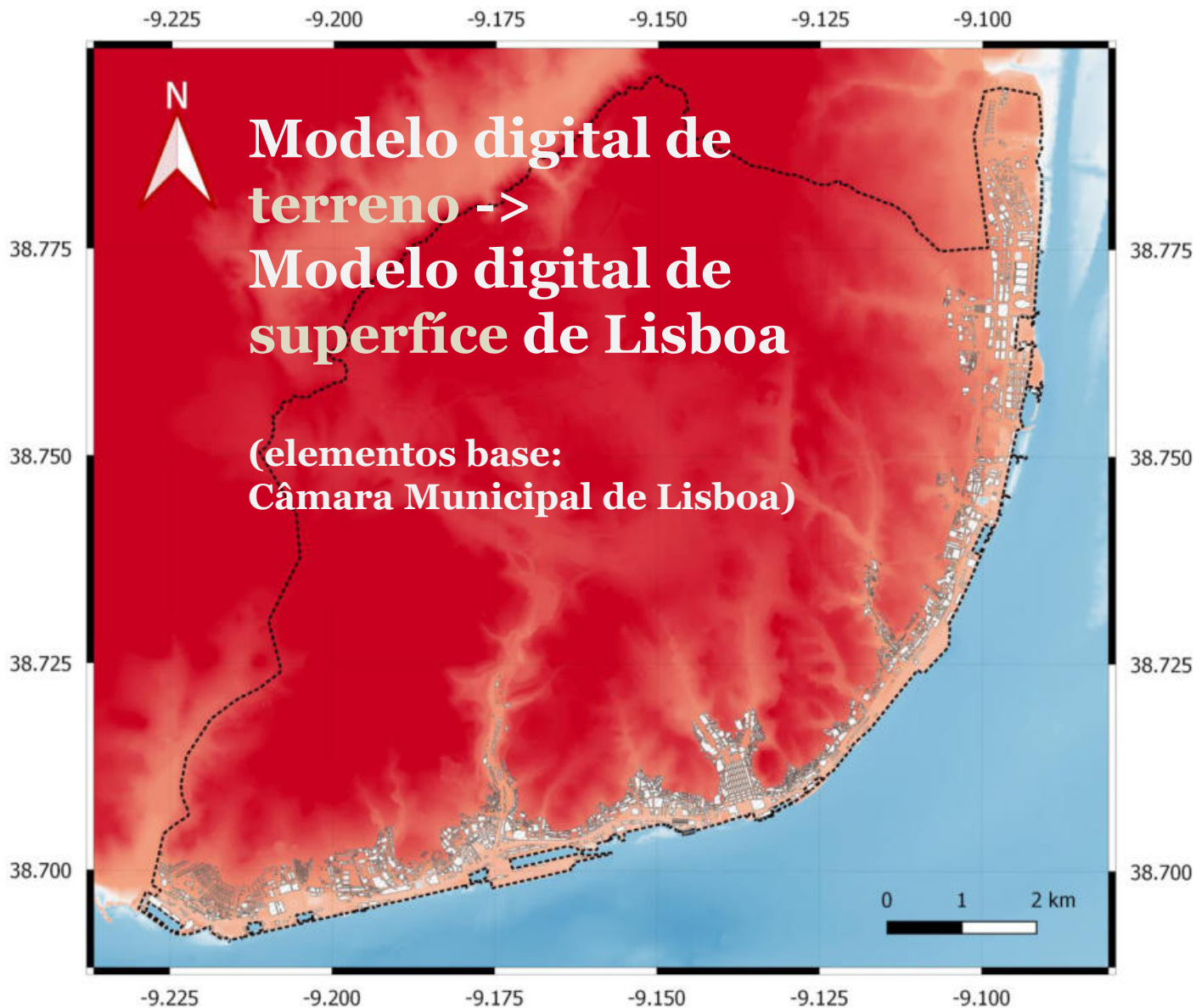
Simulação determinística

elementos de base – MDT de elevada precisão

Legenda

Elevação do Terreno

-  -100
-  -5
-  0
-  5
-  100

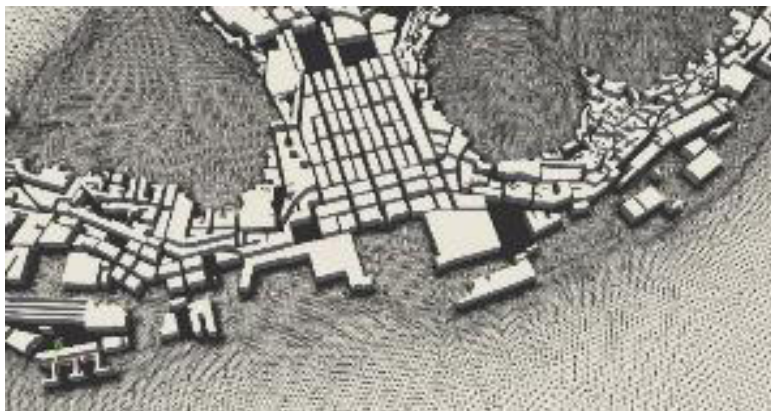
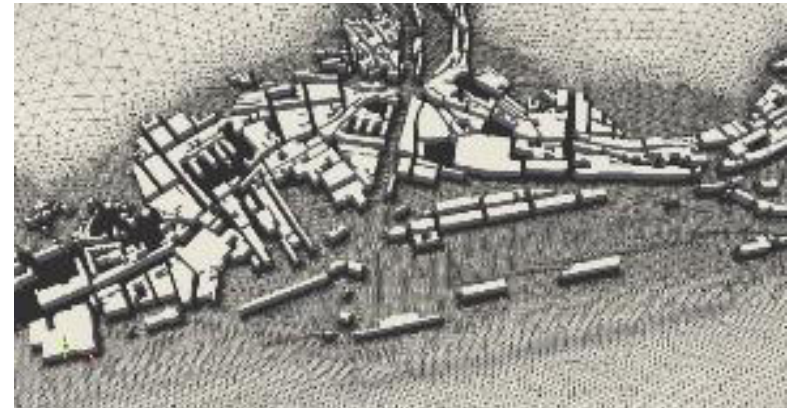


Modelo digital de superfície de Lisboa – descrição espacial à escala da rua/edifício

Pedrouços - Belém



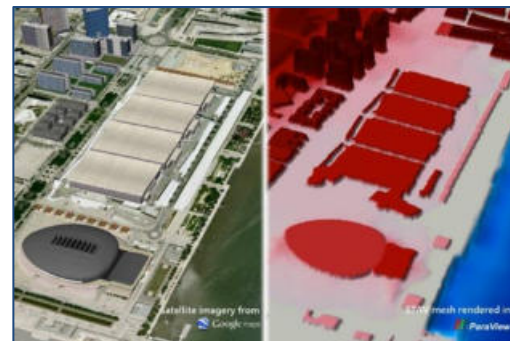
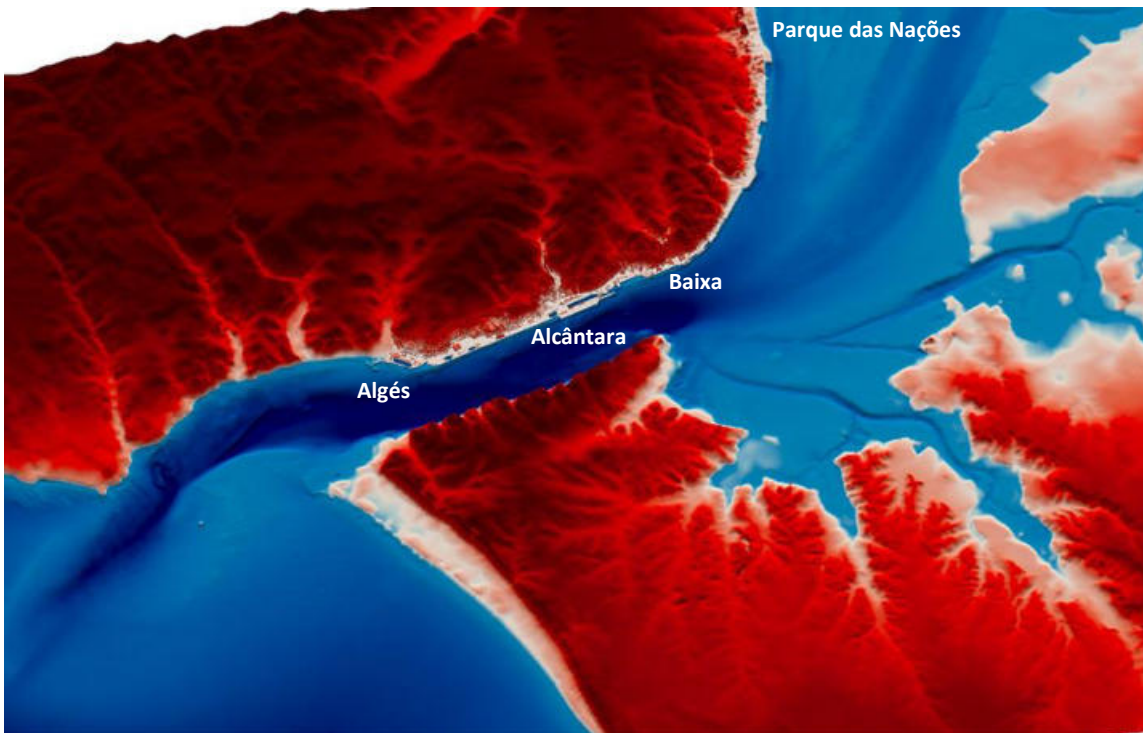
Alcântara



Baixa

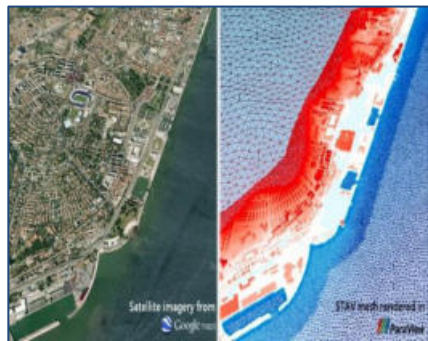


Parque das Nações



Parque das Nações

DTM – resolução de 1 m,
precisão de 5 cm



Algés



Alcântara (Harbour)



Baixa

Simulação matemática da inundação por tsunami de origem sísmica na cidade de Lisboa

(Condições iniciais e de fronteira)

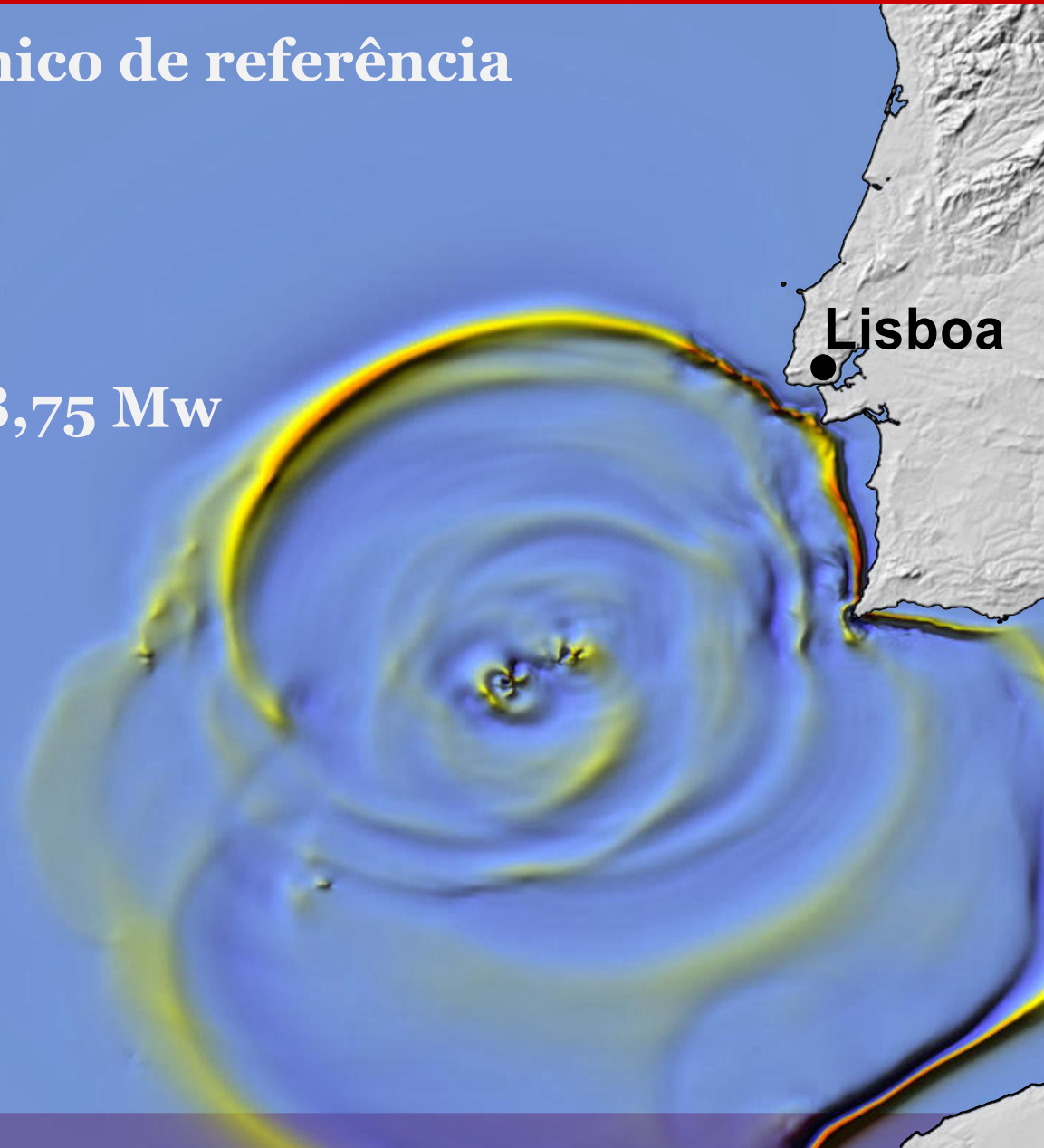
Cenários de nível do mar, maré, sobrelevações atmosféricas

Cenário tsunamigénico de referência



Sismo de magnitude **8,75 Mw**

Falhas da Ferradura e
Marquês de Pombal





Nível do mar

2019 (agora)

2050

2100

Cenários de preia mar,
baixa mar +
sobreelevação
meteorológica

Cascais Canyon

Lisboa Canyon

Image Landsat
© 2015 Google

Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO

Google earth



INSTITUTO
DOM LUIZ



CENÁRIO	NÍVEL MÍNIMO m	NÍVEL MÁXIMO m
NOAA2100_PMMAXSM	4.98	5.84
NOAA2100_PMAV	3.85	4.71
NOAA2100_BMAV	0.85	1.07
NOAA2050_PMMAXSM	2.18	3.04
NOAA2050_PMAV	2.04	2.90
NOAA2050_BMAV	-0.95	-0.73
MODFc2100_PMMAXSM	3.52	4.38
MODFc2100_PMAV	2.39	3.25
MODFc2100_BMAV	-0.61	-0.39
MODFc2050_PMMAXSM	2.82	3.68
MODFc2050_PMAV	1.69	2.55
MODFc2050_BMAV	-1.31	-1.09

Image Landsat
© 2015 Google

Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGS

Nível do mar

Camões Bank

2050

2100

Projeções
NOAA e
Faculdade de
Ciências da UL

Cascais Canyon

Lisboa Canyon

Simulação matemática da inundação por tsunami de origem sísmica na cidade de Lisboa

Modelo numérico e simulações

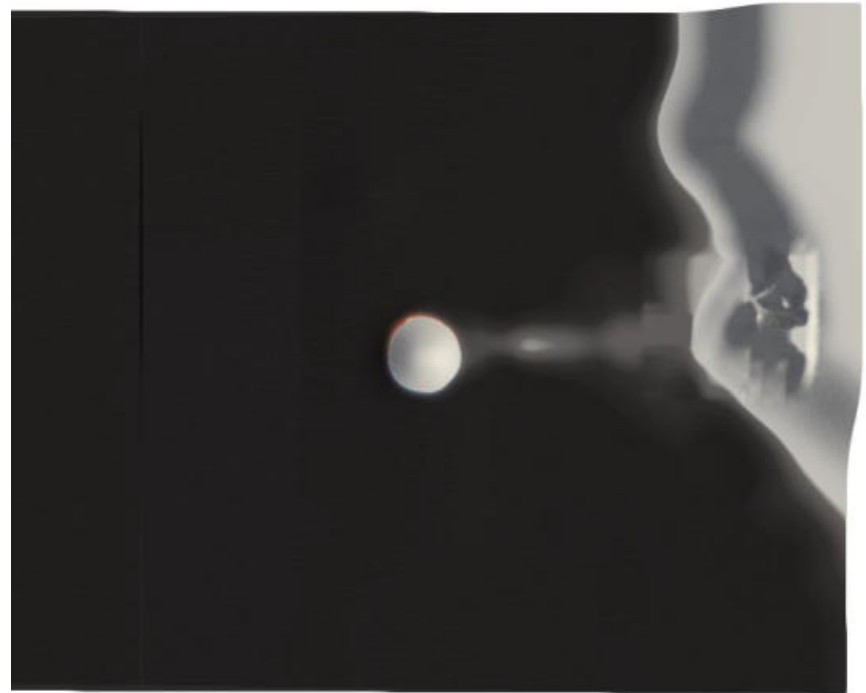
Equipa**CERIS** : Civil Engineering Research
and Innovation for
Sustainability

Monai Valley, Hokkaido-Nansei-Okai
tsunami de 1993

HiSTAV

ferramenta de
simulação numérica

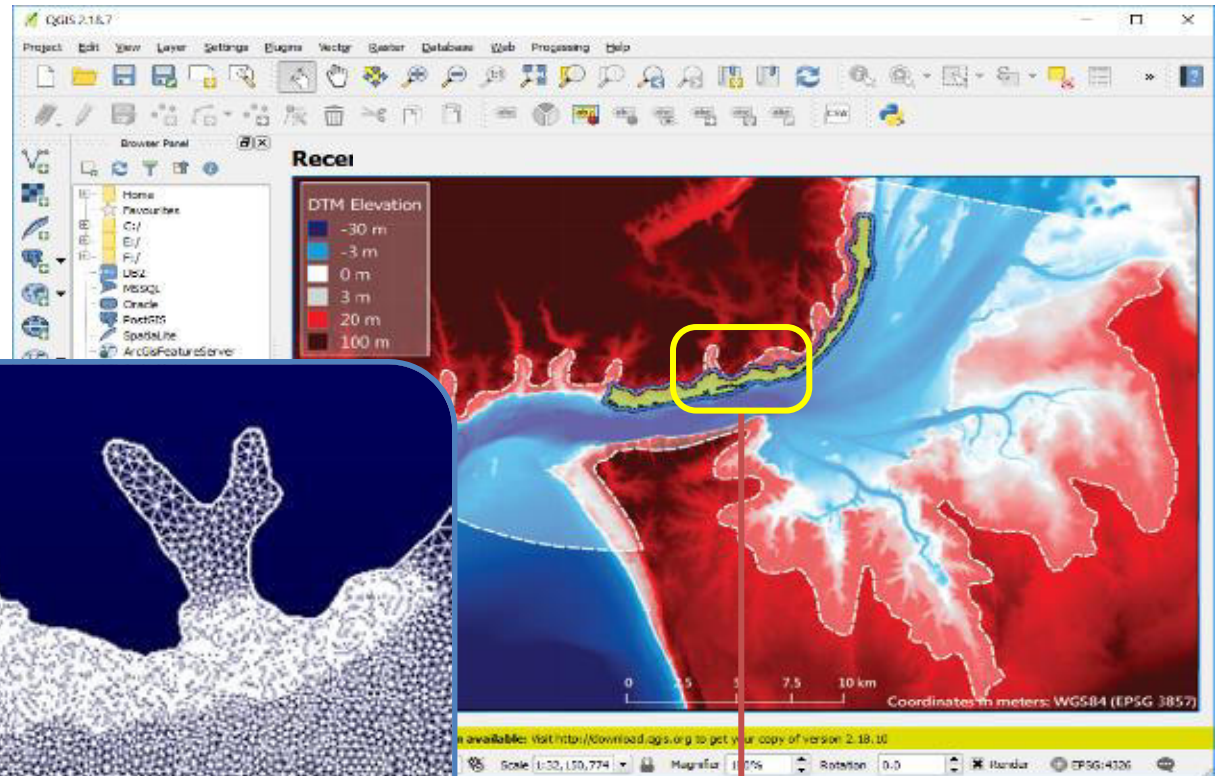
tsunami



- Conde, D.A.S.; Telhado, M.J.; Viana Baptista, M.A. & Ferreira R. M. L. (2015). Severity and exposure associated with tsunami actions in urban waterfronts: the case of Lisbon, Portugal, *Natural Hazards*, 79: 2125, Springer.
- Conde, D.; Canelas, R.B. and Ferreira, R.M.L. (2020) A unified object-oriented framework for CPU+GPU hyperbolic solvers. *Advances in Engineering Software*.

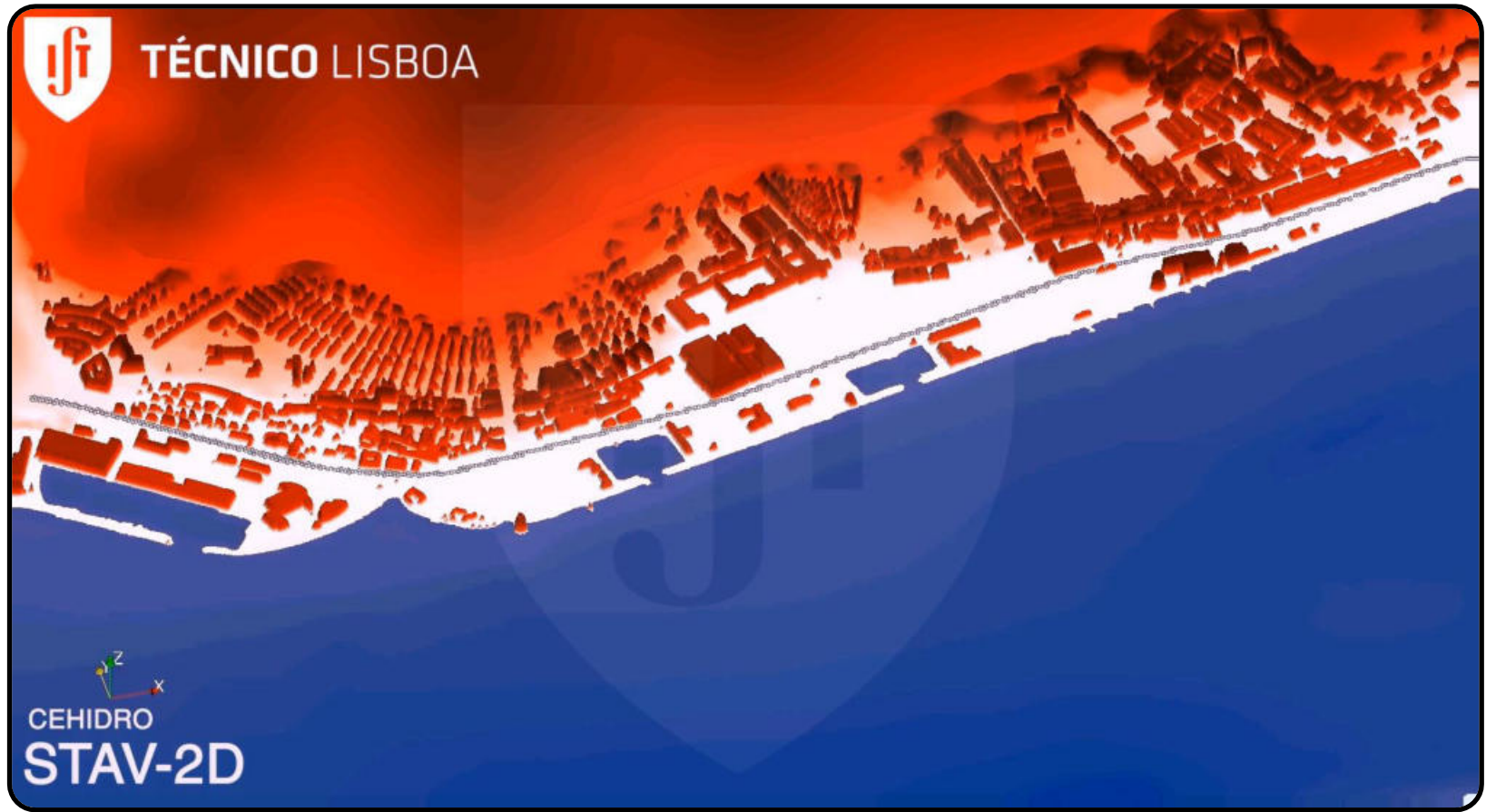
Discretização, concatenação da informação física e numérica

1.2 milhões de triângulos
 – os menores com 1,5 m de lado





**Tsunami originado por sismo 8.75 Mw (HS+MP);
nível do mar de 2019, preia-mar de águas vivas**





24.0 min

Tsunami originado por sismo 8.75 Mw (HS+MP); nível do mar de 2019, preia-mar de águas vivas
 Tempos referidos à passagem no Bugio



25.0 min

Tsunami originado por sismo 8.75 Mw (HS+MP); nível do mar de 2019, preia-mar de águas vivas
 Tempos referidos à passagem no Bugio



26.0 min

Tsunami originado por sismo 8.75 Mw (HS+MP); nível do mar de 2019, preia-mar de águas vivas
 Tempos referidos à passagem no Bugio



27.0 min

Tsunami originado por sismo 8.75 Mw (HS+MP); nível do mar de 2019, preia-mar de águas vivas
 Tempos referidos à passagem no Bugio



28.0 min

Tsunami originado por sismo 8.75 Mw (HS+MP); nível do mar de 2019, preia-mar de águas vivas
 Tempos referidos à passagem no Bugio



29.0 min

Tsunami originado por sismo 8.75 Mw (HS+MP); nível do mar de 2019, preia-mar de águas vivas
 Tempos referidos à passagem no Bugio



30.0 min

Tsunami originado por sismo 8.75 Mw (HS+MP); nível do mar de 2019, preia-mar de águas vivas
 Tempos referidos à passagem no Bugio



31.0 min

Tsunami originado por sismo 8.75 Mw (HS+MP); nível do mar de 2019, preia-mar de águas vivas
 Tempos referidos à passagem no Bugio

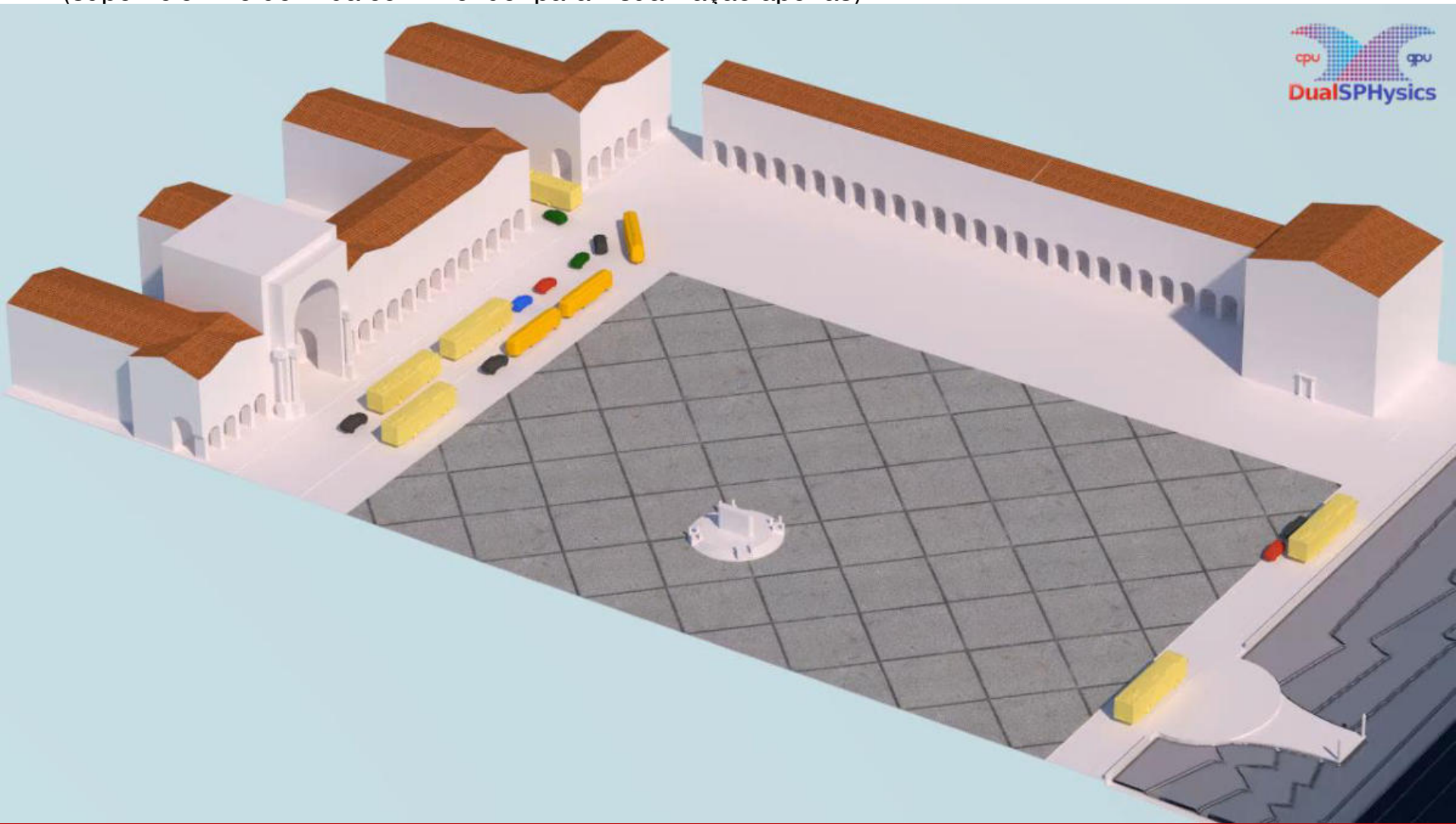


33.0 min

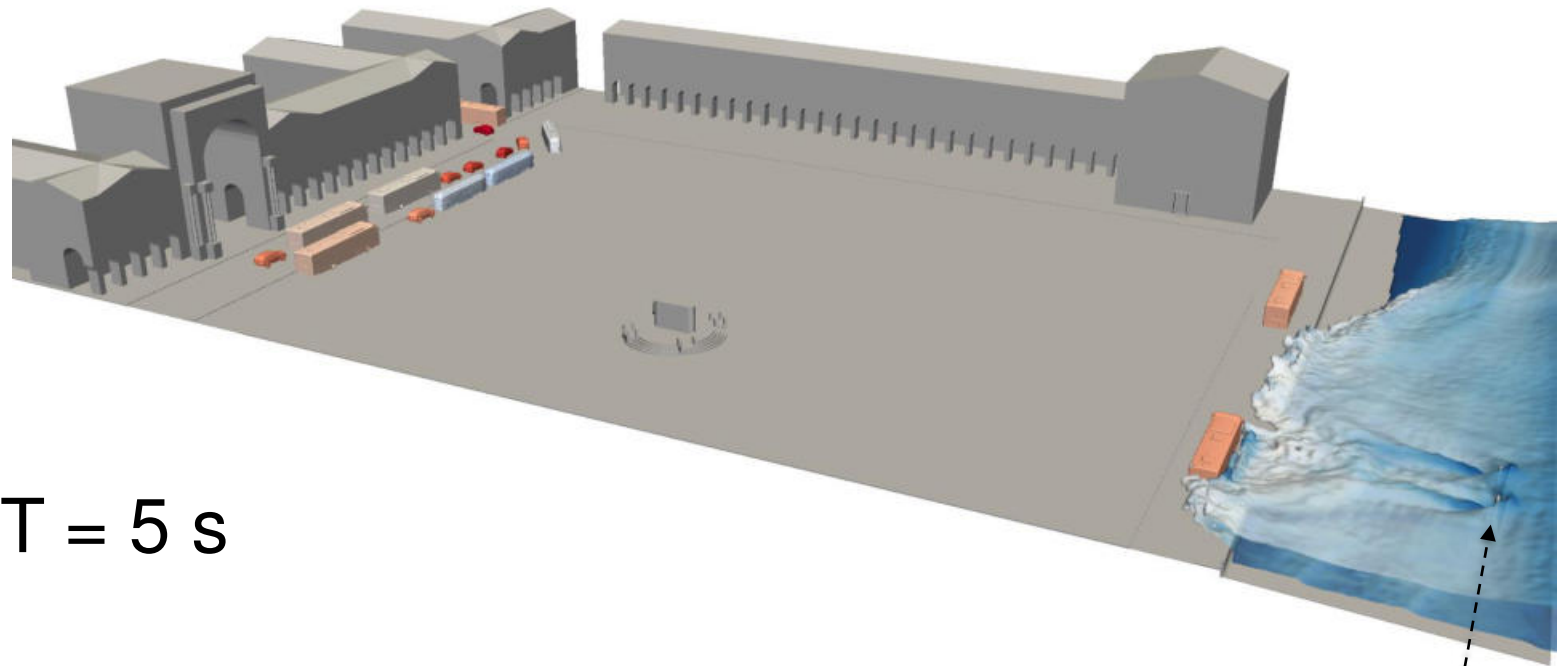
Tsunami originado por sismo 8.75 Mw (HS+MP); nível do mar de 2019, preia-mar de águas vivas
 Tempos referidos à passagem no Bugio

simulação 3D de DualSPHysics, Praça do Comércio

(superfície livre definida com Blender para visualização apenas)



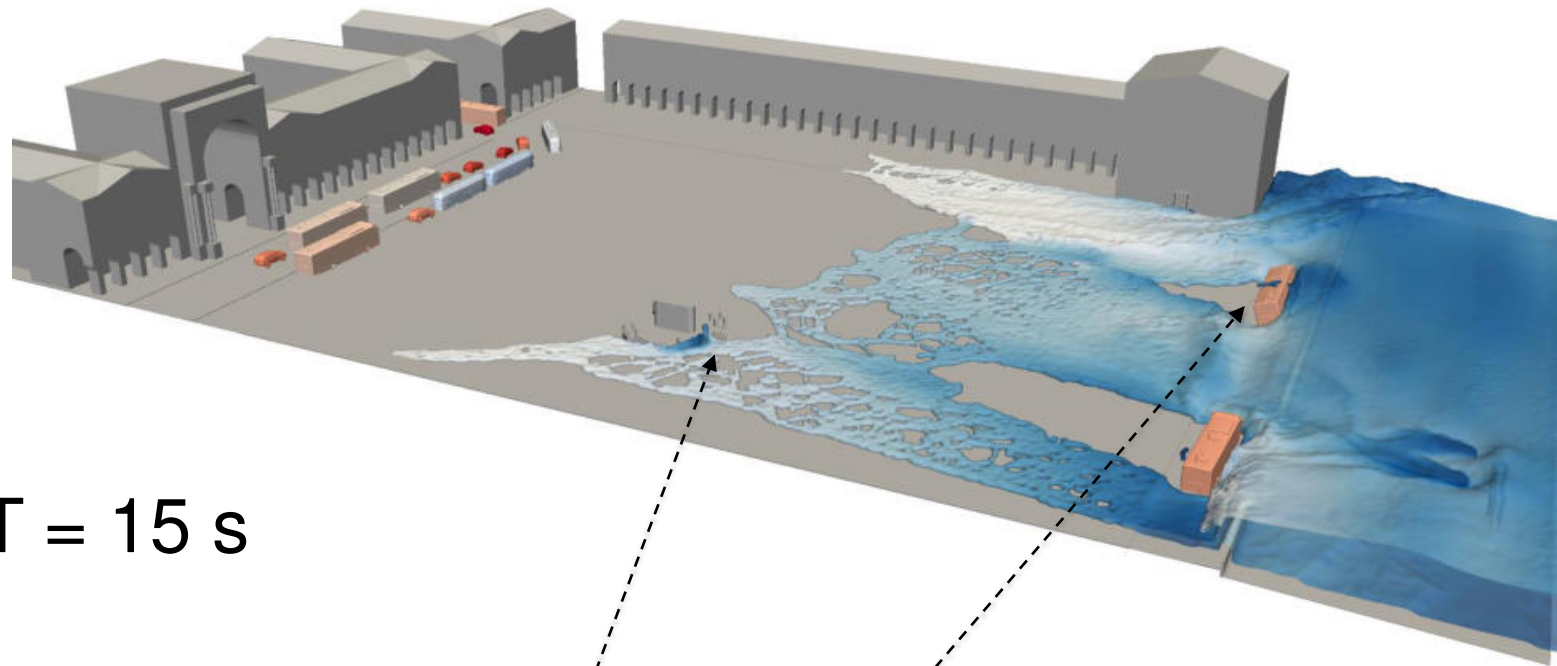
Praça do Comércio, #1/4



$T = 5 \text{ s}$

A onda incidente tem a direção 20° NE , obtida pelas simulações 2D.
 Notam-se as esteiras no Cais das Colunas.

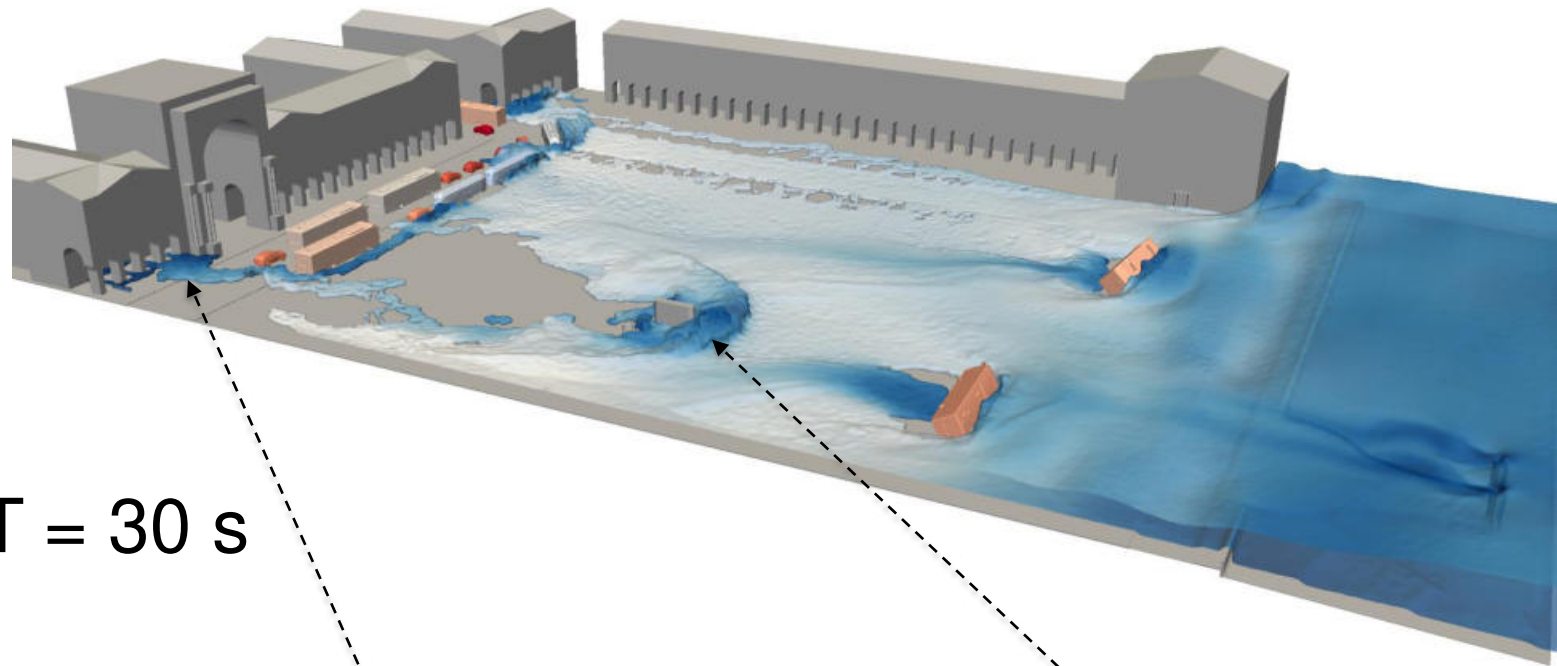
Praça do Comércio, #2/4



$T = 15 \text{ s}$

Swash na Praça do Comércio atinge estátua de D. José I
 Autocarros começam a ser deslocados.

Praça do Comércio, #3/4



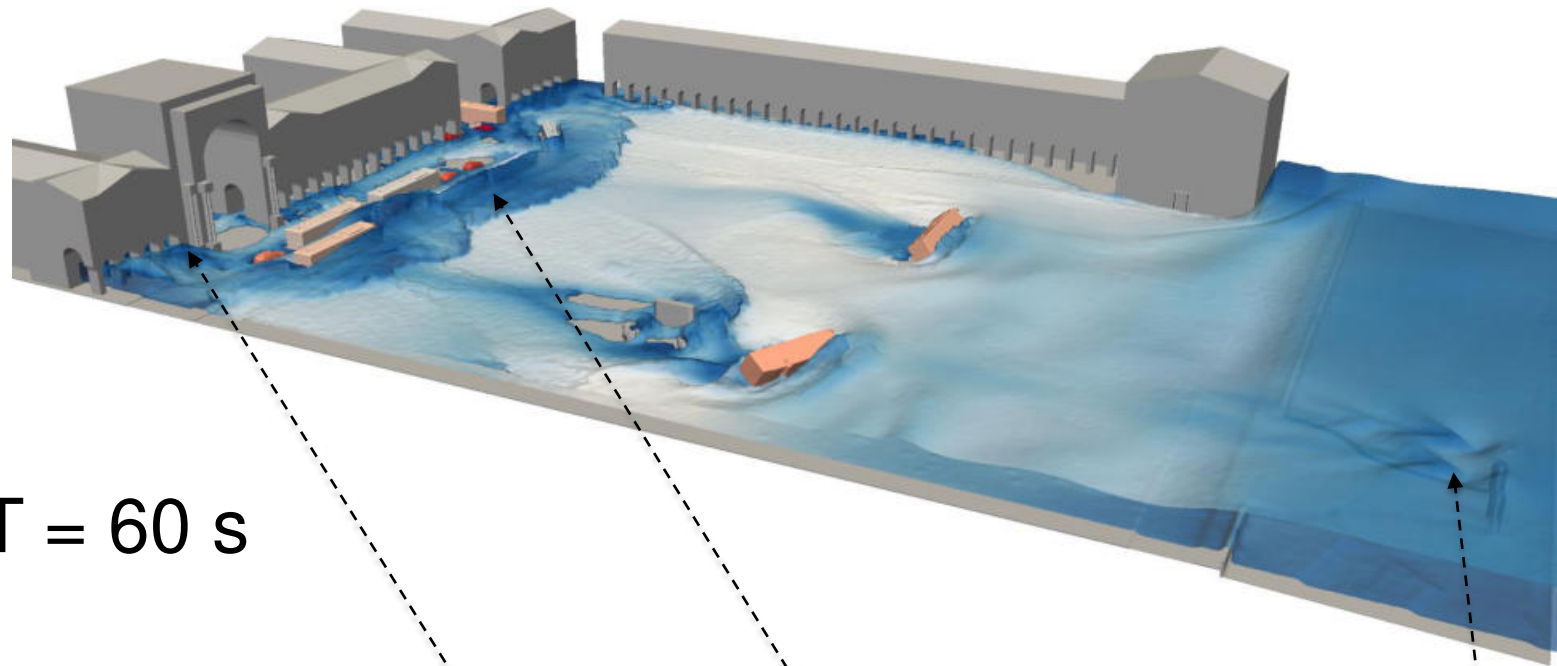
$T = 30 \text{ s}$

Swash atravessa a totalidade da Praça do Comércio.

Onda de choque à medida que a pressão aumenta em frente da estátua.

(velocidade da onda aprox. 4 m/s)

Praça do Comércio, #4/4



$T = 60 \text{ s}$

Arcadas inundadas. Formação de ressaltos.

Veículos deslocados em toda a praça.
Esteiras submersas no Cais das Colunas

Simulação matemática da inundação por tsunami de origem sísmica na cidade de Lisboa

Elementos fornecidos à CML

Simulação determinística

Cenário NOAA, 2100, preia-mar de águas vivas com sobrelevação meteorológica

Legenda

NOAA2100_PMmaxSM

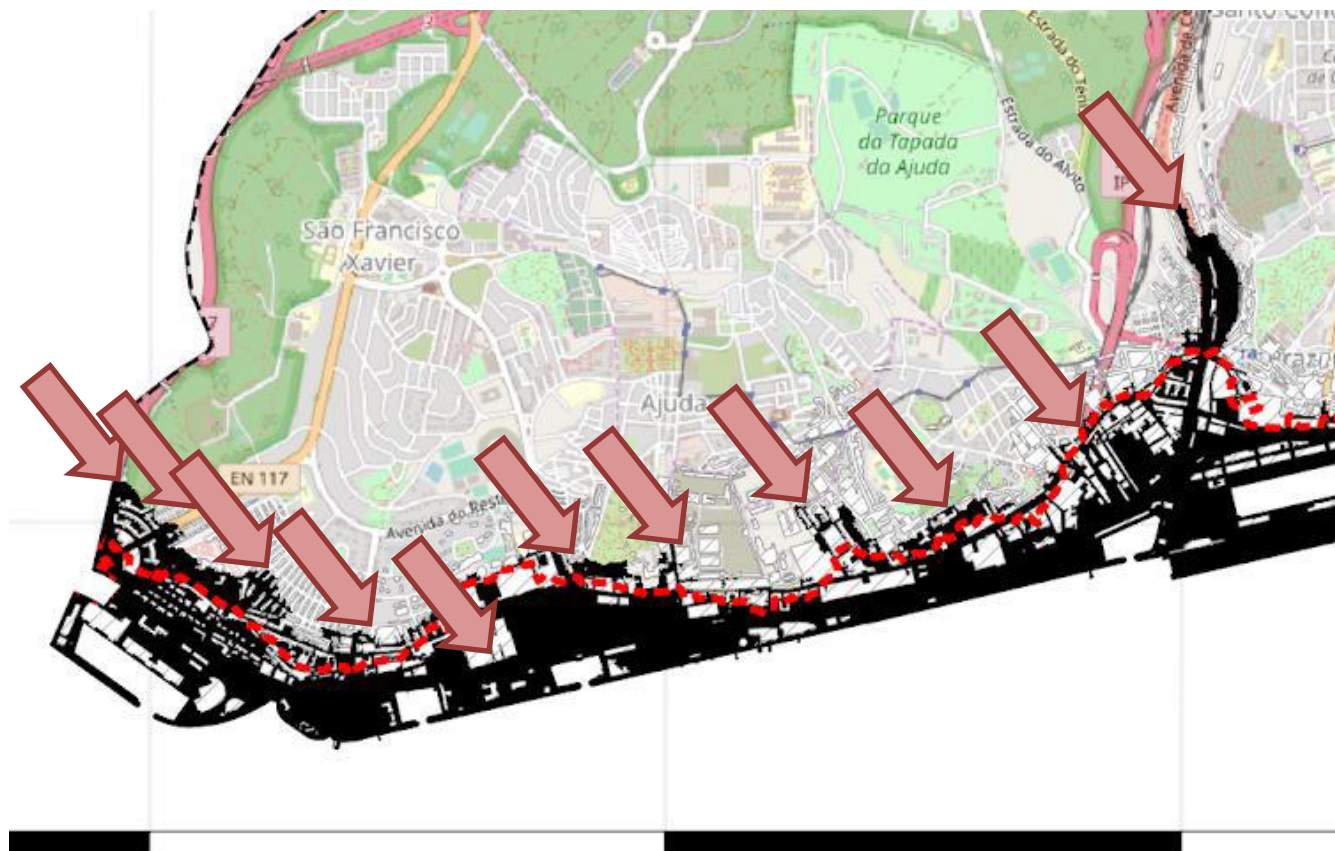
Inundação

- Seco
- Inundado



Extensão da inundação

Pedrouços - Belém - Alcântara



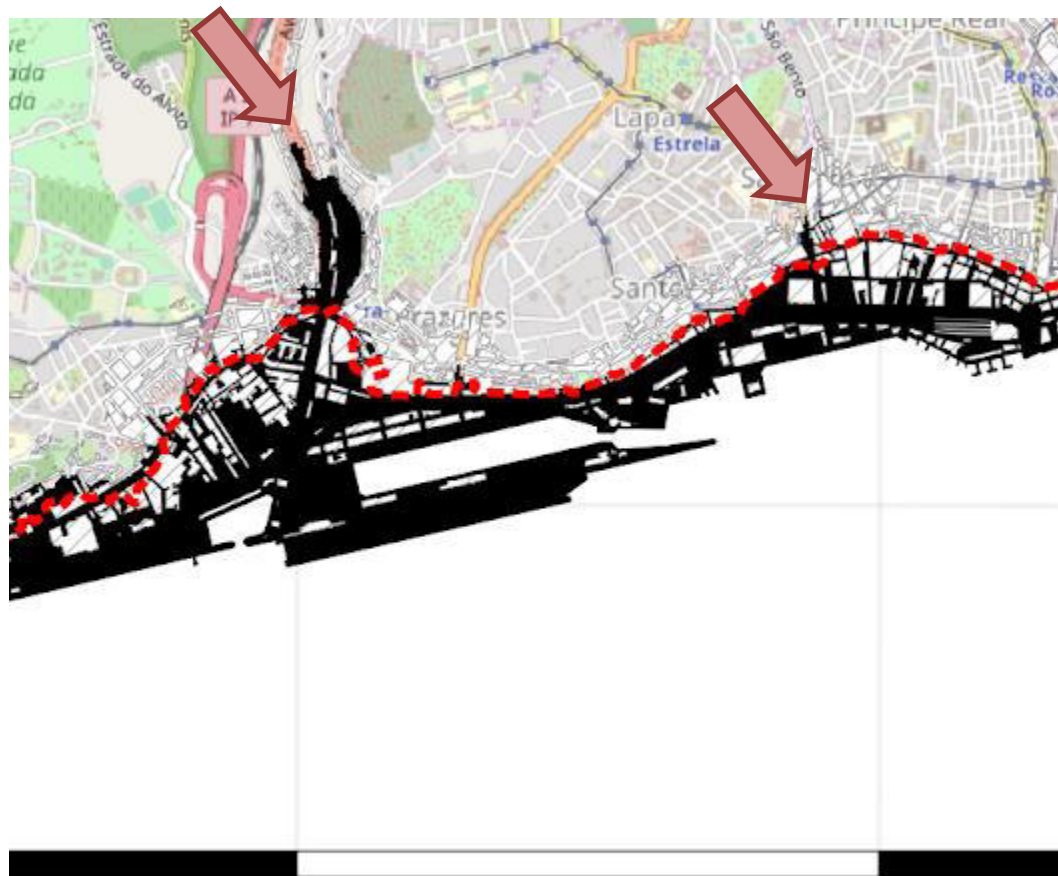
Extensão da
inundação

-9.225

-9.200

-9.175

Alcântara – Porto de Lisboa - Santos

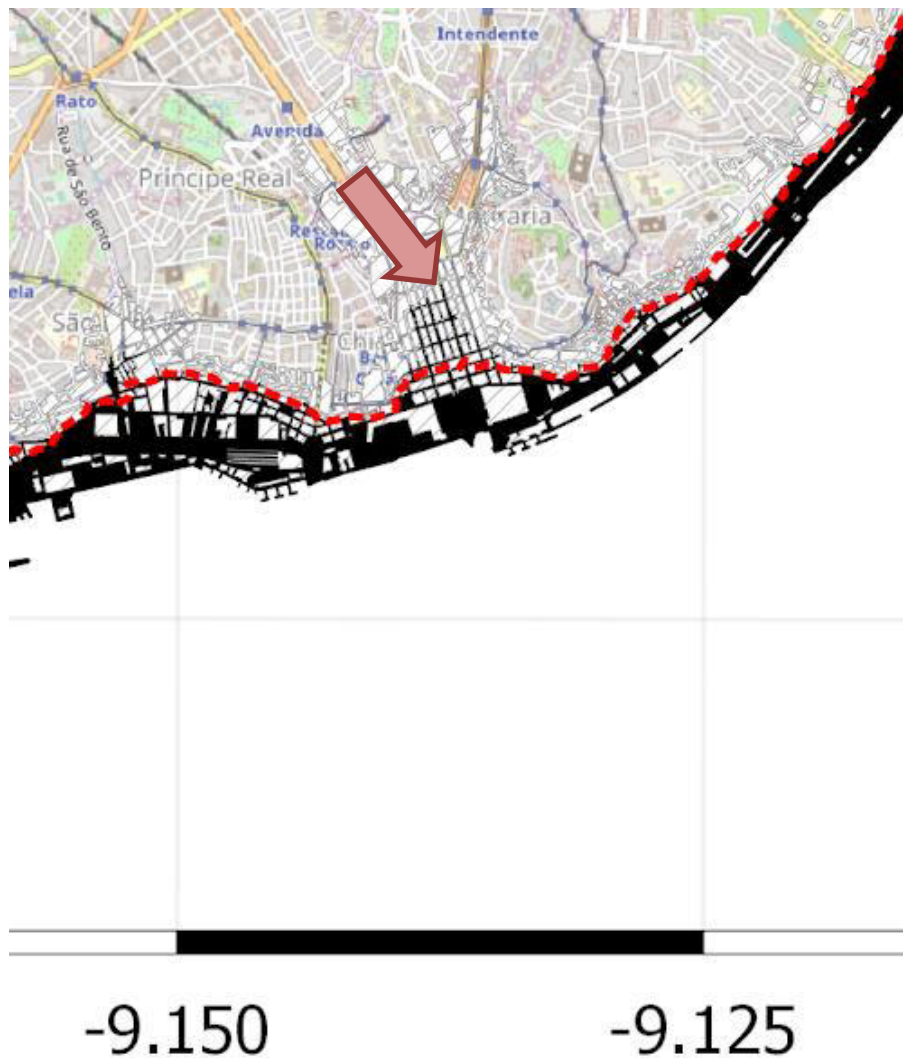


Extensão da
inundação

-9.175

-9.150

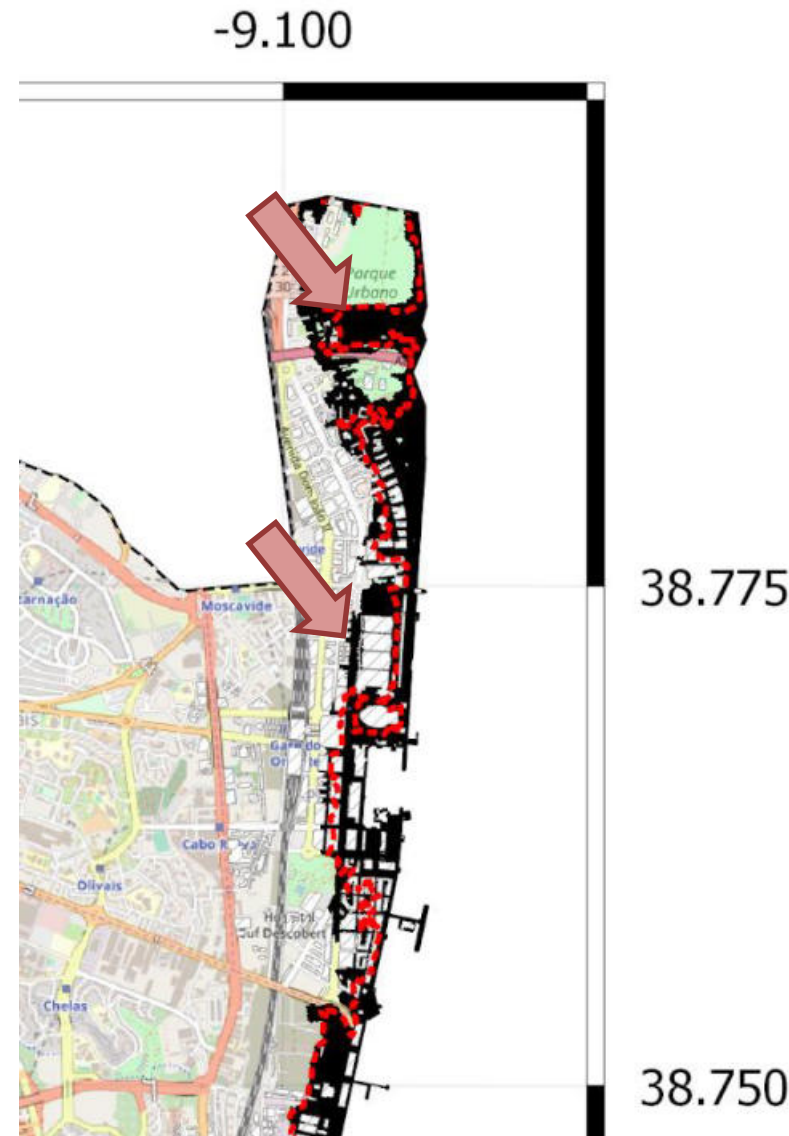
Cais do Sodré – Baixa - Xabregas



Extensão da
inundação

Parque das Nações - Trancão

Extensão da
inundação



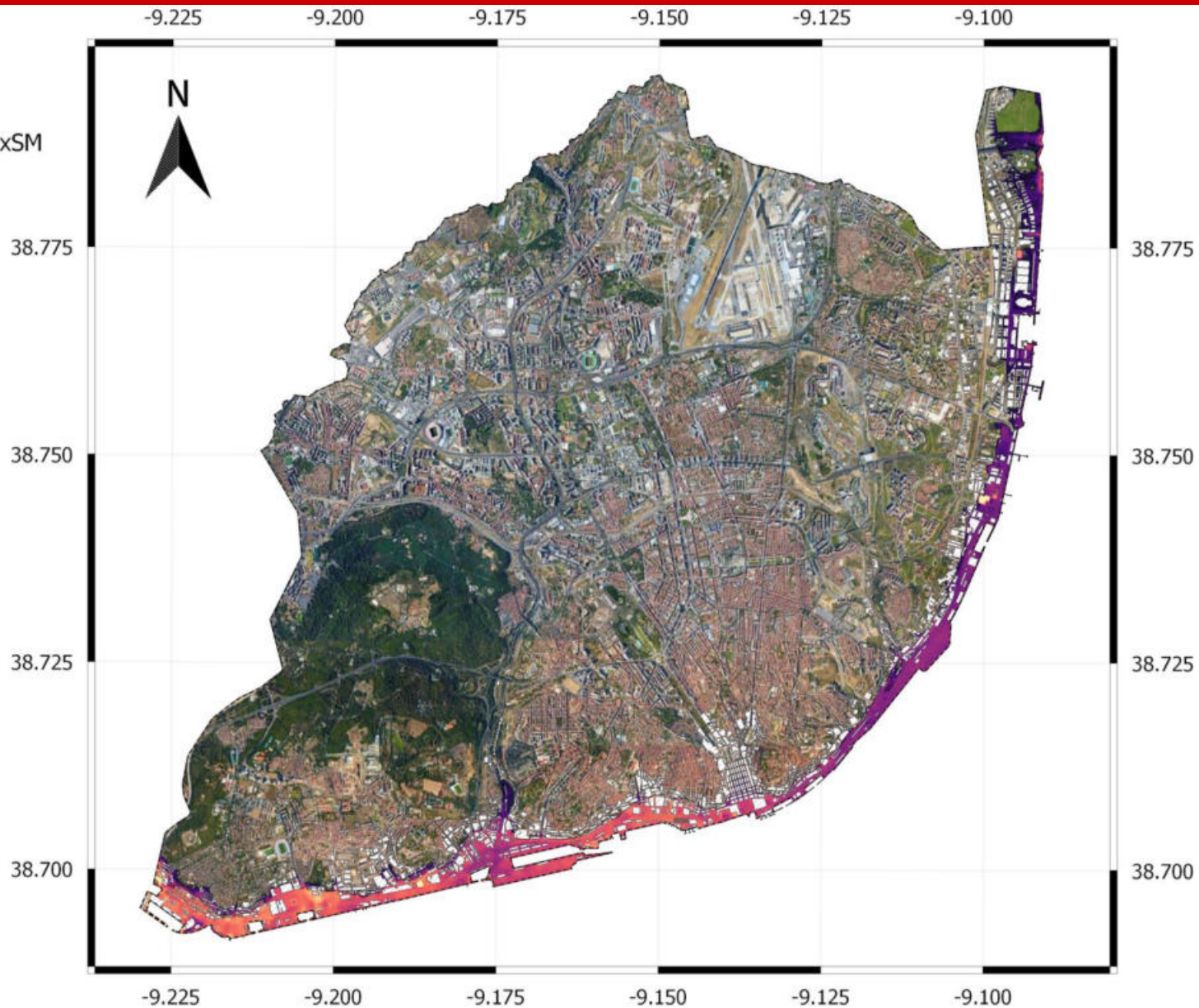
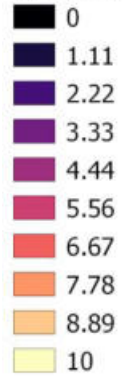
Simulação determinística

Cenário NOAA, 2100, preia-mar de águas vivas com sobrelevação meteorológica

Legenda

NOAA2100_PMmaxSM

Profundidade [m]



Envolvente da profundidade da inundação

Simulação determinística

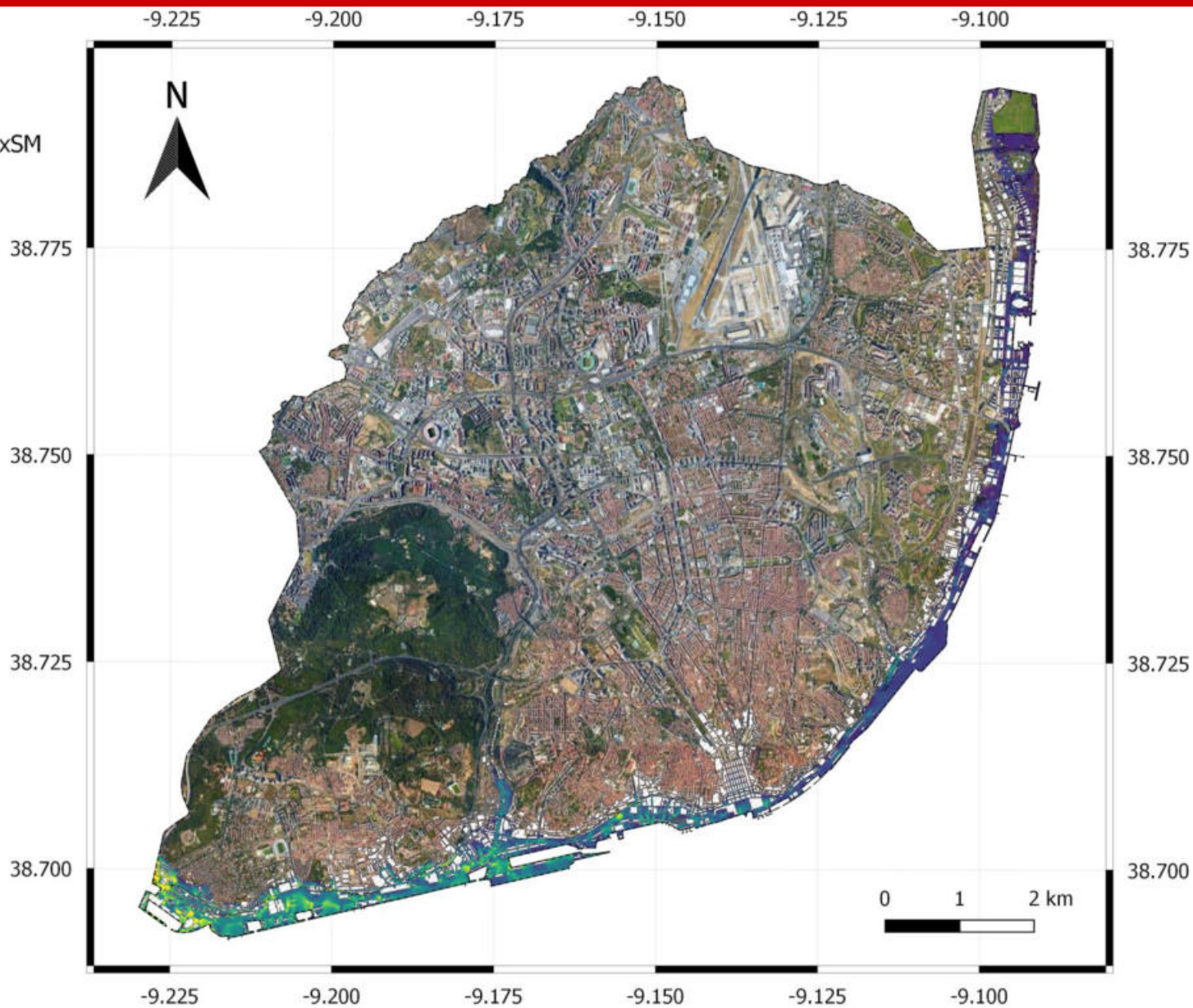
Cenário NOAA, 2100, preia-mar de águas vivas com sobrelevação meteorológica

Legenda

NOAA2100_PMmaxSM

Velocidade [m/s]

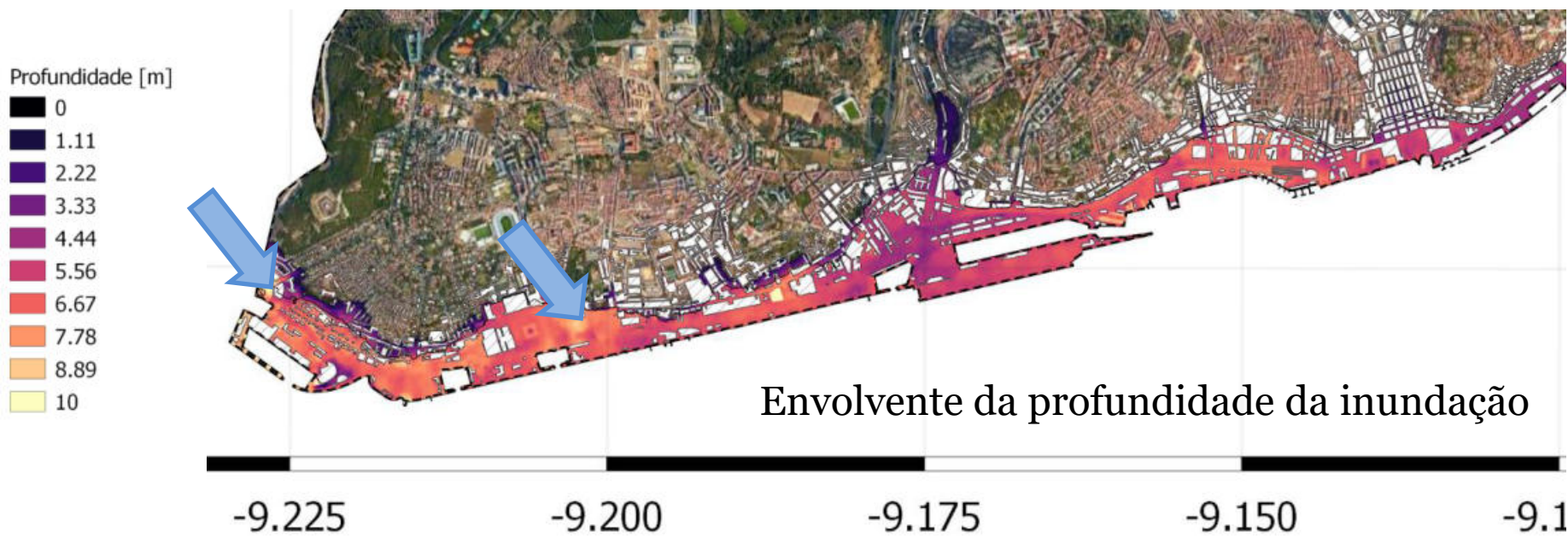
- 0.1
- 1.2
- 2.3
- 3.4
- 4.5
- 5.6
- 6.7
- 7.8
- 8.9
- 10



Envolvente da
velocidade da
corrente

Simulação determinística

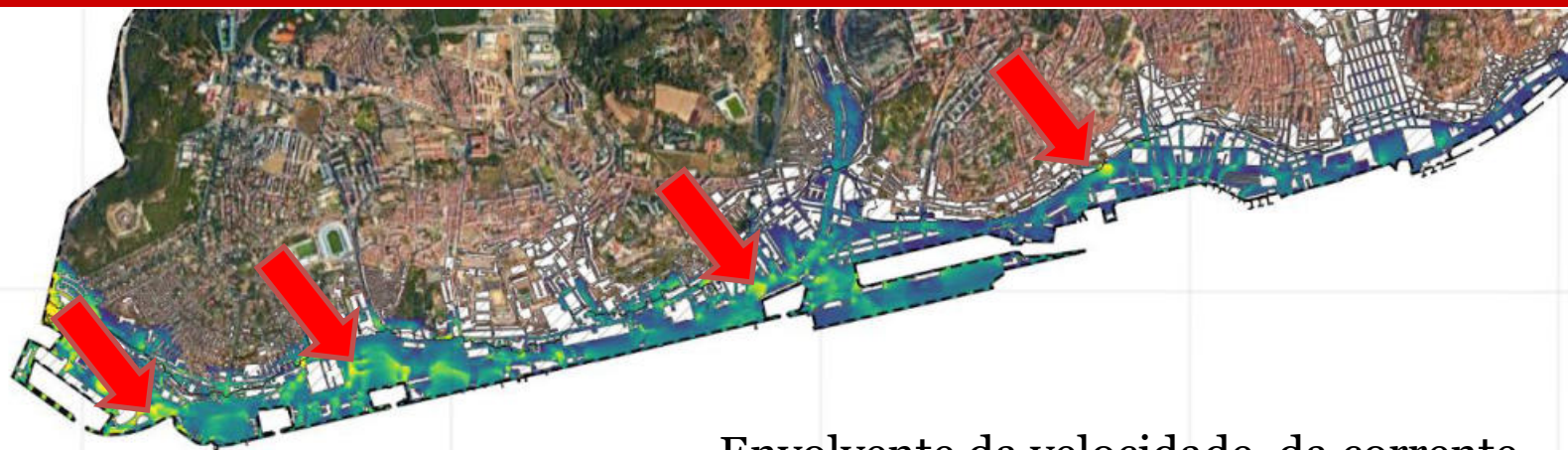
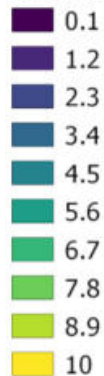
Cenário NOAA, 2100, preia-mar de águas vivas com sobrelevação meteorológica



Simulação determinística

Cenário NOAA, 2100, preia-mar de águas vivas com sobrelevação meteorológica

Velocidade [m/s]



Envolvente da velocidade da corrente

-9.225

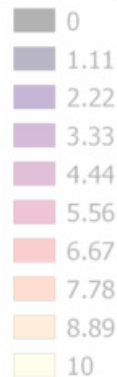
-9.200

-9.175

-9.150

-9.1

Profundidade [m]



Envolvente da profundidade da inundação

-9.225

-9.200

-9.175

-9.150

-9.1

Simulação determinística

Cenário NOAA, 2100, preia-mar de águas vivas com sobrelevação meteorológica

Legenda

NOAA2100_PMmaxSM

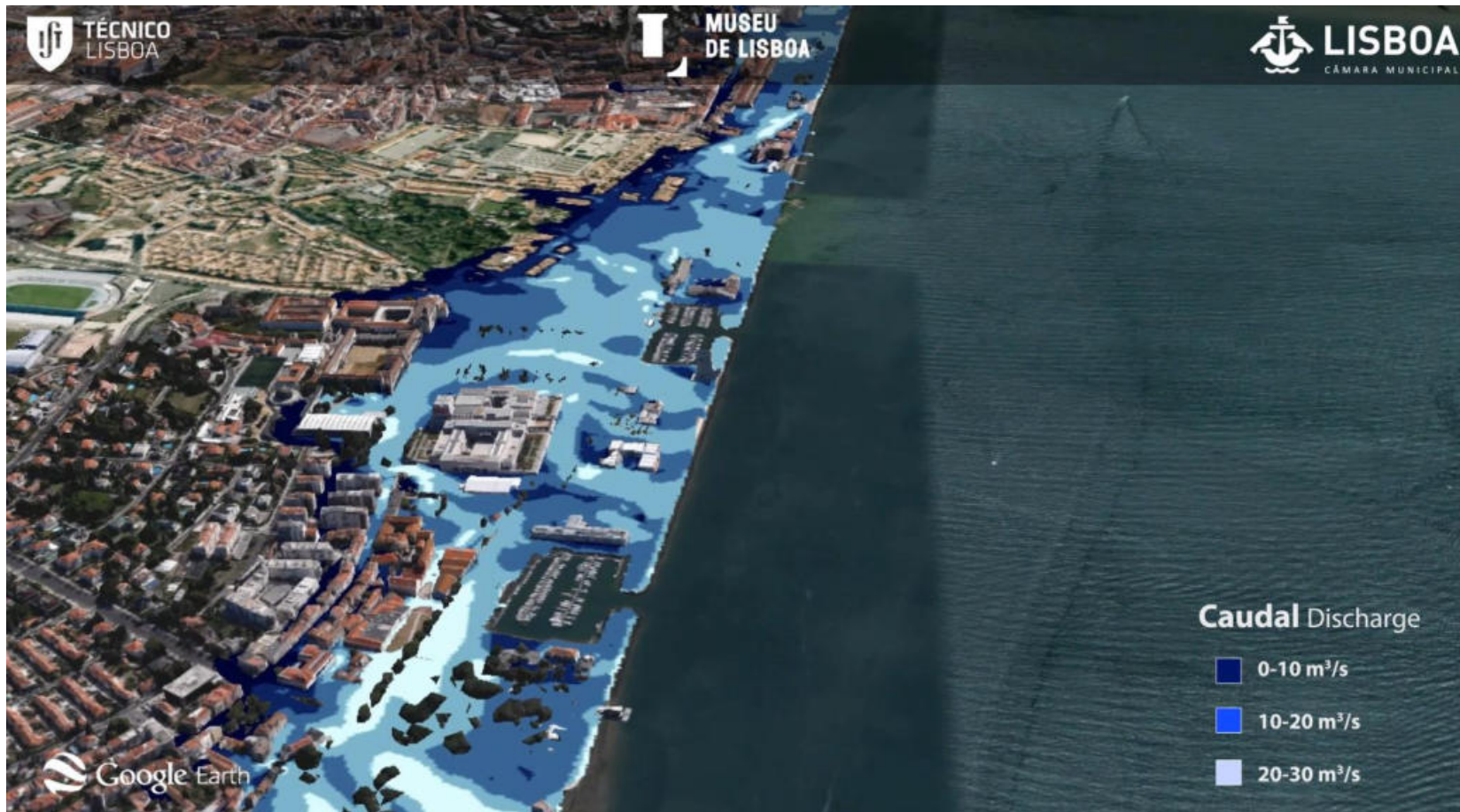
Nível de risco

- elevado
- muito elevado
- extremo



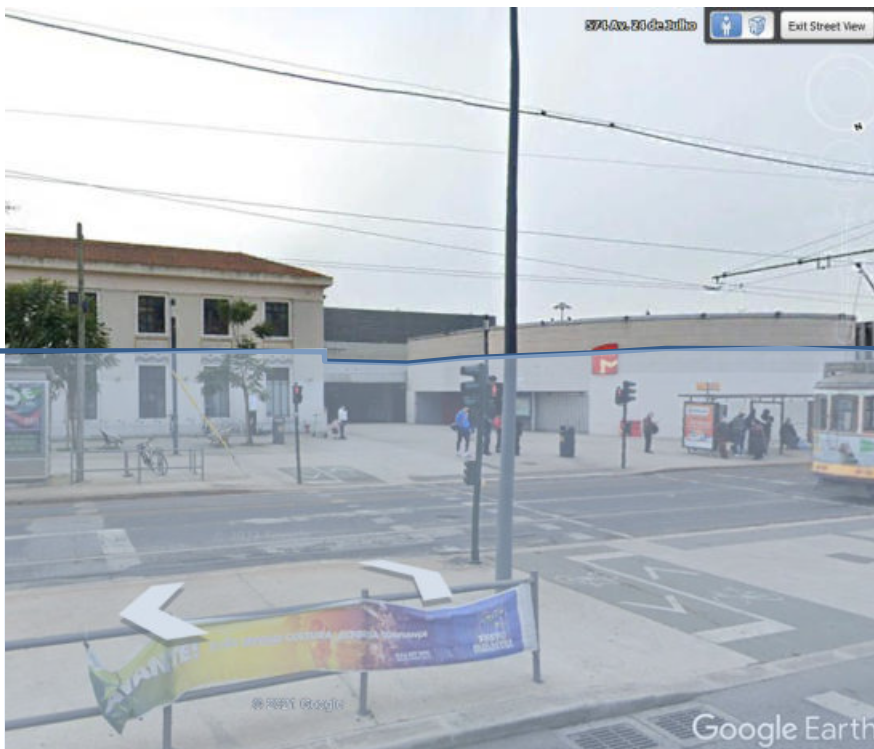
Índice de perigosidade (intensidade da corrente)

Índice de perigosidade (intensidade da corrente)



Considerações finais

- Regista-se máxima exposição entre Pedrouços/Belém (cotas profundidades máximas) e Alcântara (extensão máxima)
- Perigosidade extrema até Xabregas e no Parque das Nações
- Comboio e metropolitano severamente afectados



Nível acima dos 4 m no Cais do Sodré, durante 40 min

Considerações finais

- Equipamentos vulneráveis acima da Cota 10 – critério adequado para grande parte de Lisboa, agora e até 2050 (exceptua-se a zona de Pedrouços/Belém em 2050)
- Locais seguros na zona ocidental – F Champalimaud, MAAT, Hospital CUF, ... (atenção às grandes distâncias a percorrer e barreiras fícias – linha do comboio, etc)

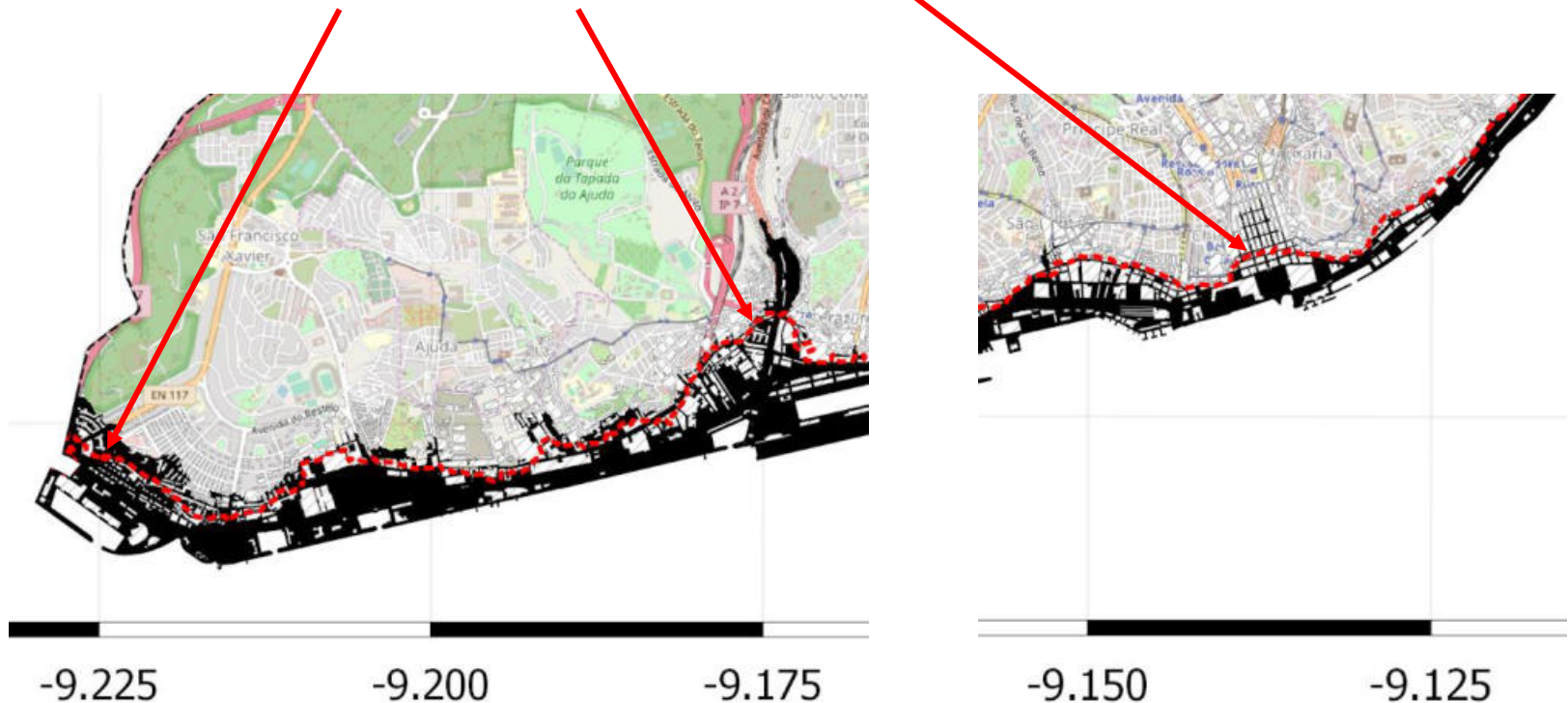
Considerações finais

- Inundação em 2050 e em 2100 – grande parte da zona ribeirinha de Lisboa pode já estar inundada pela subida das águas do mar

Considerações finais

- Inundação em 2050 e em 2100 – grande parte da zona ribeirinha de Lisboa pode já estar inundada pela subida das águas do mar

Inundação associada ao nível do mar em 2100 (preia-mar de águas vivas)



Obrigado pela atenção

Equipa Científica



Instituto Superior Técnico

Rui M.L. Ferreira

Daniel Conde

Agradece a:

Maria João Telhado, Luísa Coelho, Sofia Baltazar, Paulo Henriques, (CML)

Lucília Guerreiro, António Miranda, Joana Gomes (CML)

Marco Morais, Pedro Lourenço, Pedro Vieira (CML)

Susana Tibúrcio

