TÉCNICO LISBOA

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

JORNADAS DE ENGENHARIA HIDROGRÁFICA 2016

PROPAGAÇÃO DE ONDAS EM CANAL DE LARGURA VARIÁVEL MODELAÇÃO NUMÉRICA

DIOGO R.C.B. NEVES
ANTÓNIO A. PIRES SILVA
CONCEIÇÃO J.E.M. FORTES
JORGE S. G. MATOS

Motivação

Em canal de ondas:

- Avaliar e quantificar a influência do estreitamento longitudinal na propagação de ondas de superfície, utilizando um modelo numérico.

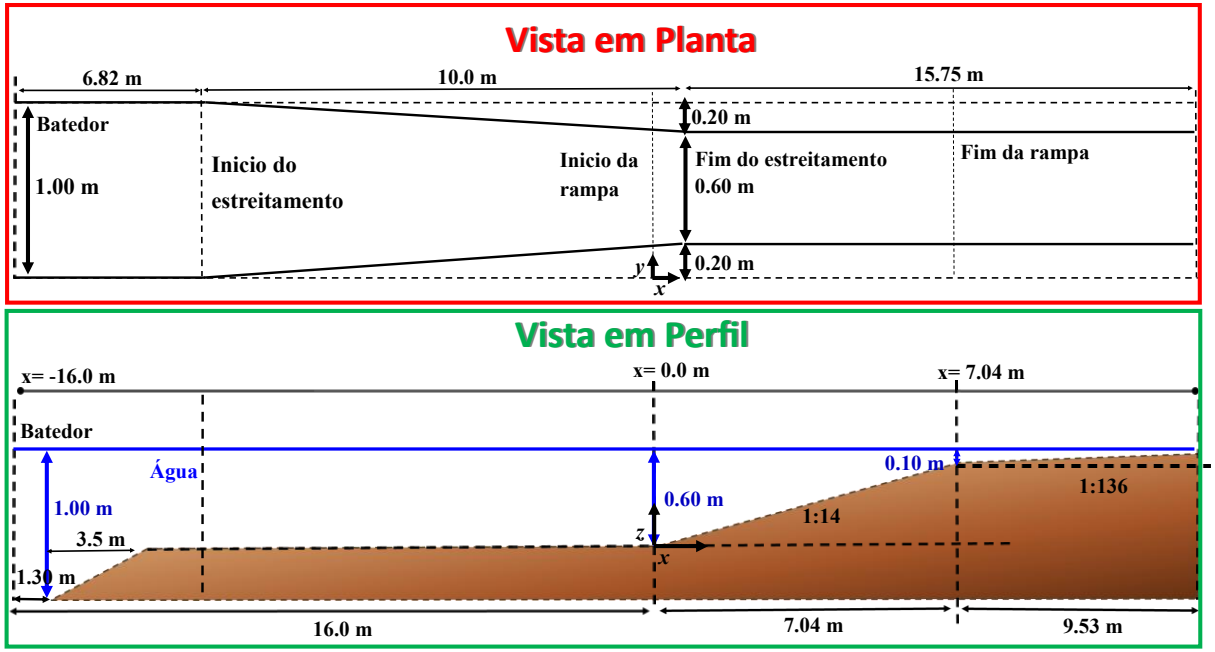
- Verificar a necessidade de efectuar simulações numéricas 3D para uma situação de estreitamento longitudinal.

- Contribuir para avançar o estudo de propagação de ondas de fronteiras laterais variáveis.

Caso de Estudo

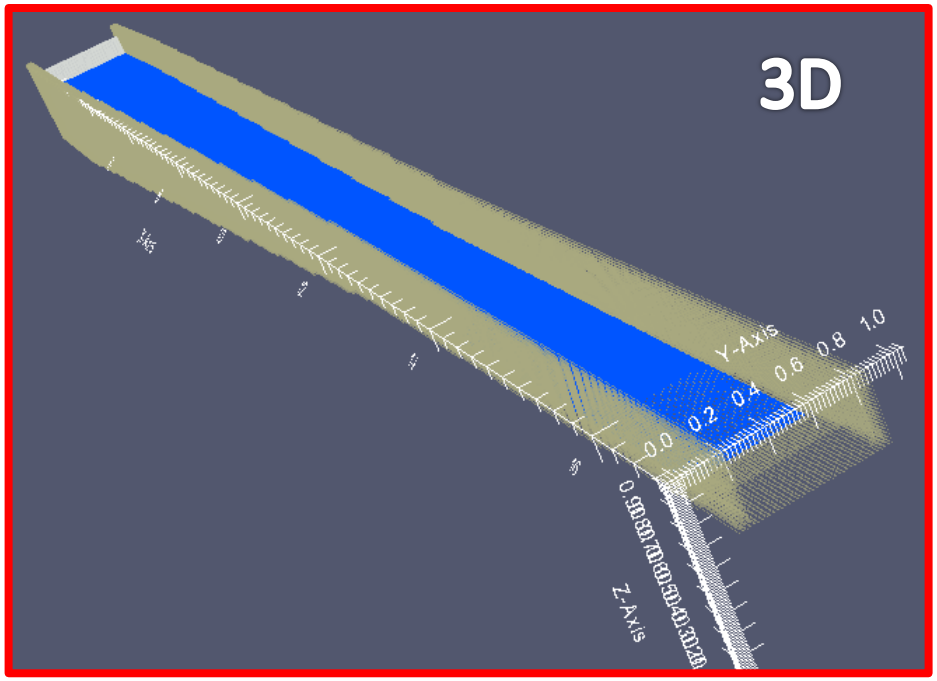
Geometria do canal:

- O canal de ondas numérico que foi utilizado nas simulações reproduz as características do canal de ondas COI3 de 32.57m do Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

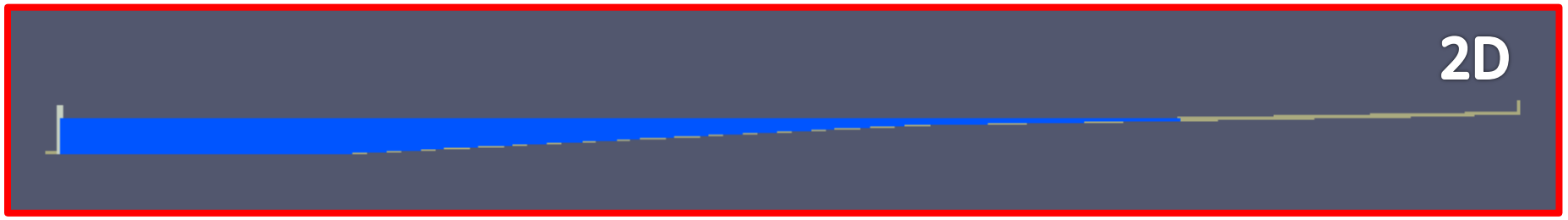


Caso de Estudo

Simulações numéricas:



- 2D (plano XZ)
  - Células de 0.015 x 0.015m num total de 86 840.
- 3D (XYZ)
  - Células de 0.015 x 0.015 x 0.015m num total de 4 342 000.

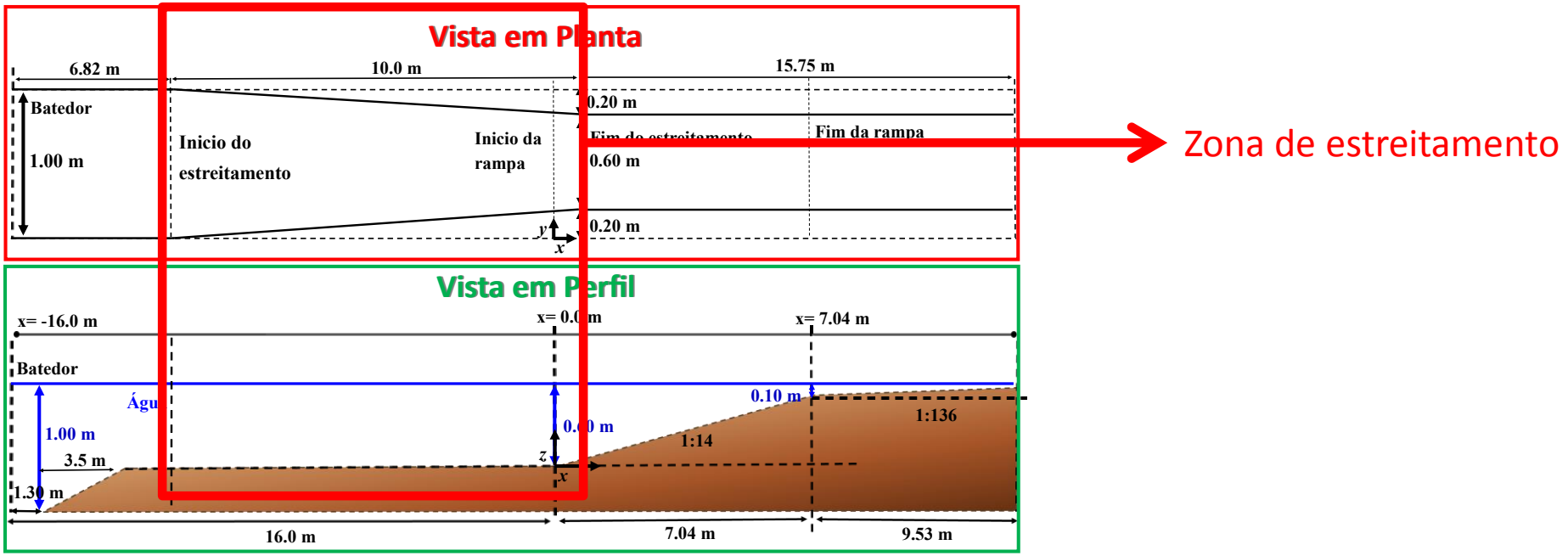


Caso de Estudo

Características da onda gerada:

- Onda regular.
- Tipo de rebentação mergulhante.

Período	T_0 (s)	4.5
Altura	**H_0 (m)**	**0.1**
Comprimento de onda	L_0 (m)	10.7
Coeficiente de empolamento	Ks	0.6880
Declividade	H/L	0.0093
Altura na rebentação (estimado)	H_b (m)	0.1537
Profundidade na rebentação	d_b (m)	0.1256
Índice de altura de onda na rebentação	Ω_b	1.5365
Índice de rebentação	γ_b	1.2226
Iribarren	ξ_0	0.7347
Local da rebentação (estimado)	x	a 0.8 m do fim da rampa



Caso de Estudo

Modelo numérico:

OpenFoam

- Formulação euleriana das equações do movimento.
- Baseado nas equações RANS (*Reynolds-Averaged Navier-Stokes*).
- Multifase.
  - Utiliza um método VOF (*Volume of Fluid*).
- Código de acesso livre (*Open Source*).
- Facilmente paralelizável.
- Suporta vários tipos de malhas computacionais.
- Admite vários esquemas de cálculo numérico.
- Permite a aplicação de diferentes modelos de turbulência.

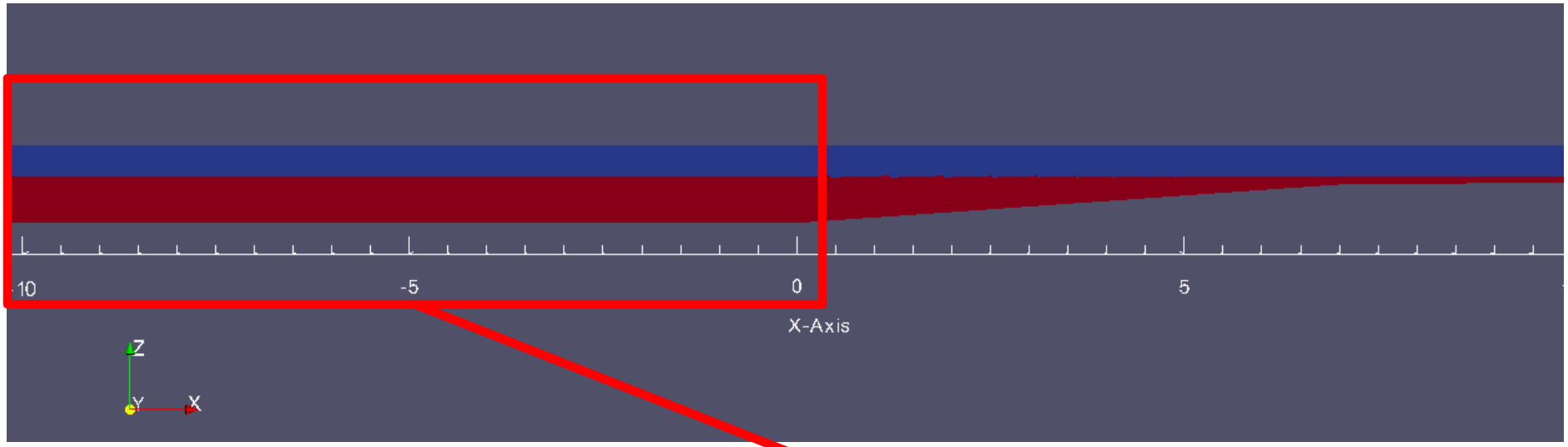
Caso de Estudo

Implementação do modelo numérico:

- Foi aplicado o solver IHFOAM (Higuera et al., 2014) para
  - resolver as equações RANS no volume de discretização,
  - efectuar vários tipos de geração de onda.
    - Neste trabalho a onda gerada foi uma onda regular através de um perfil de velocidades na posição do batedor em repouso.
- As condições do domínio computacional são idênticas ao experimental.
- As simulações numéricas corresponderam a 50s de propagação de ondas (para ter 10 ondas).
- O passo de tempo de cálculo foi ajustado de forma automática durante a simulação para se obter um número de *Courant* máximo de 0.5.
- Não foi aplicado qualquer modelo de turbulência porque a zona de estudo (estreitamento) é anterior à rebentação da onda.
- Para o cálculo foram utilizados 64 processadores no cluster do LNEC (Medusa).
  - Simulação 2D demorou 2h.
  - Simulação 3D demorou 3 dias.

Resultados

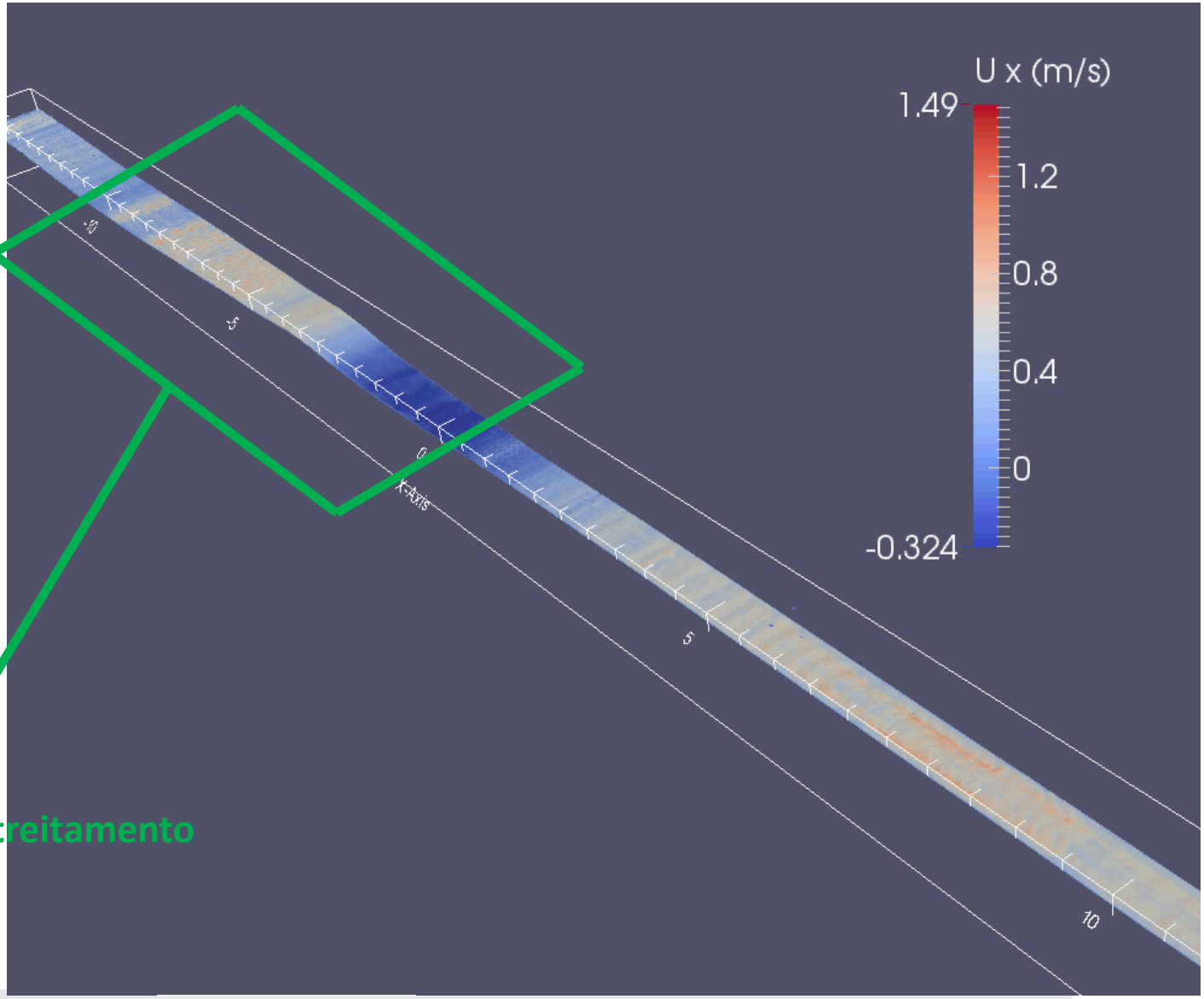
2D



Zona de estreitamento

Resultados

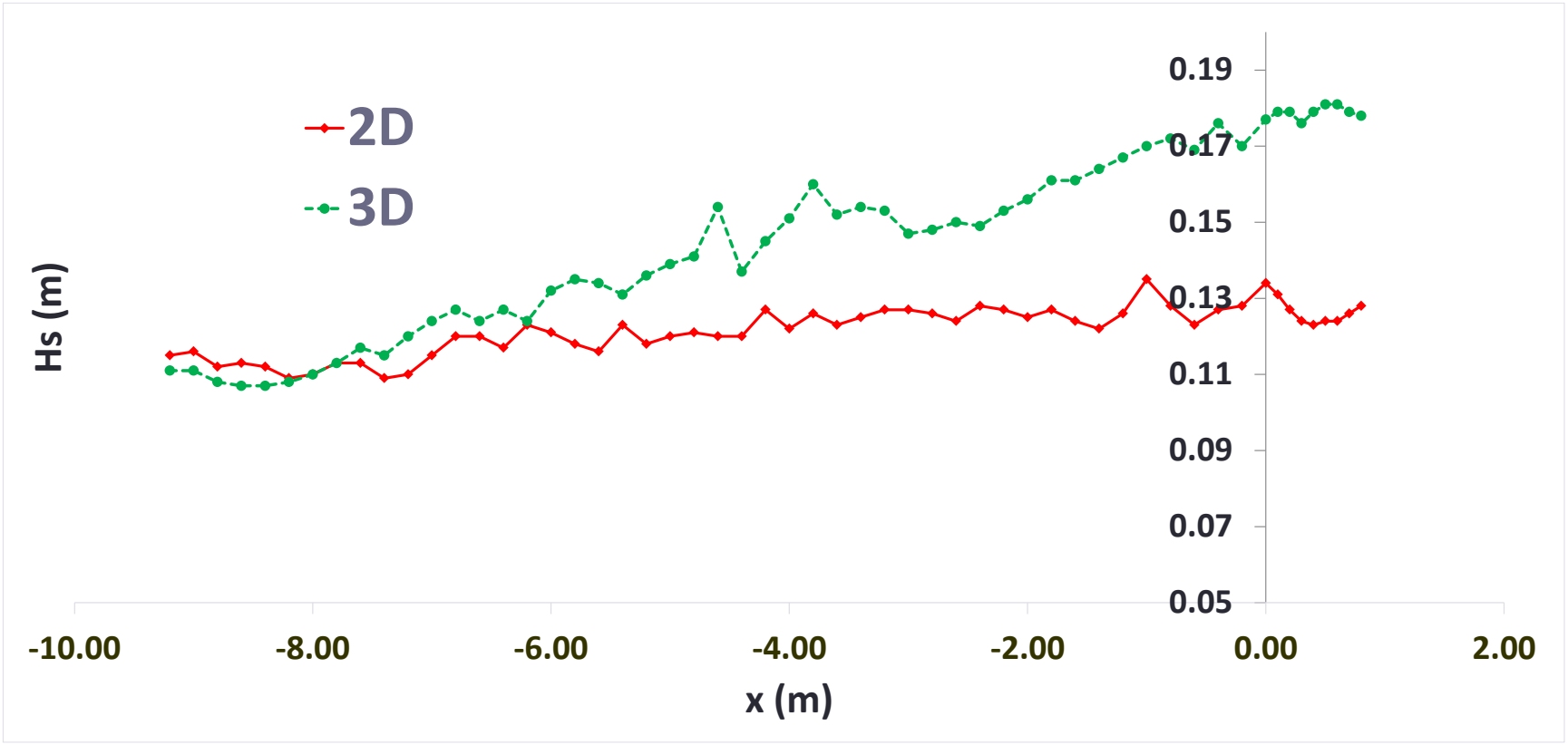
3D



Zona de estreitamento

Resultados

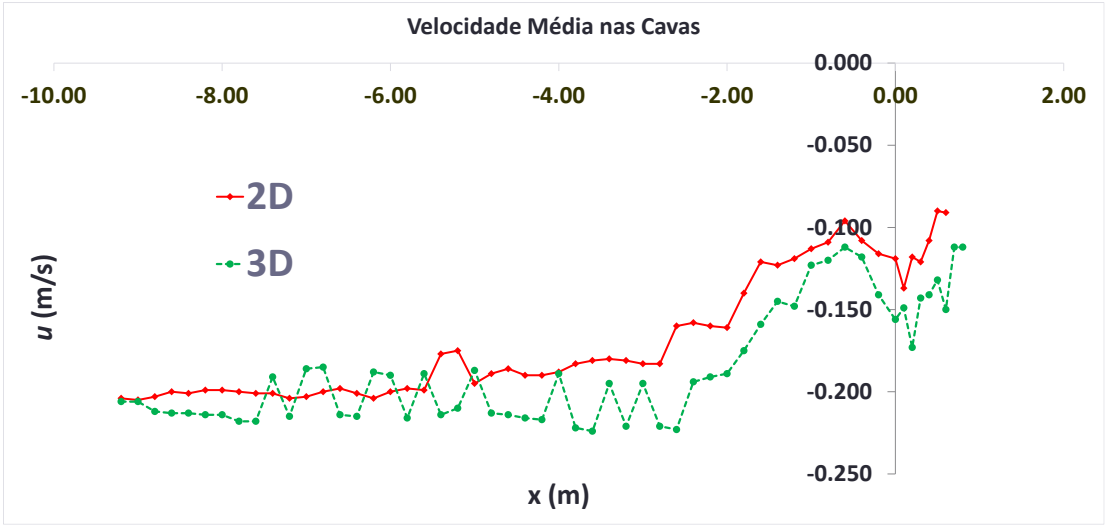
Altura de onda Significativa (Hs):

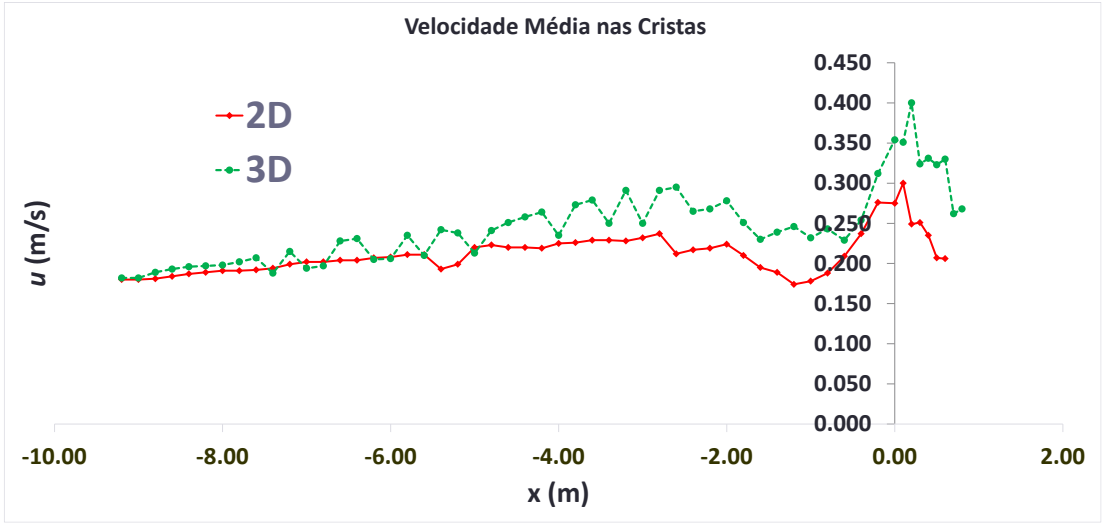


- Do meio do estreitamento até ao final deste existe um aumento médio de altura de onda de 29%.
- Variação máxima de 46% no final da secção de estreitamento.

Resultados

Velocidades *u* - longitudinais:





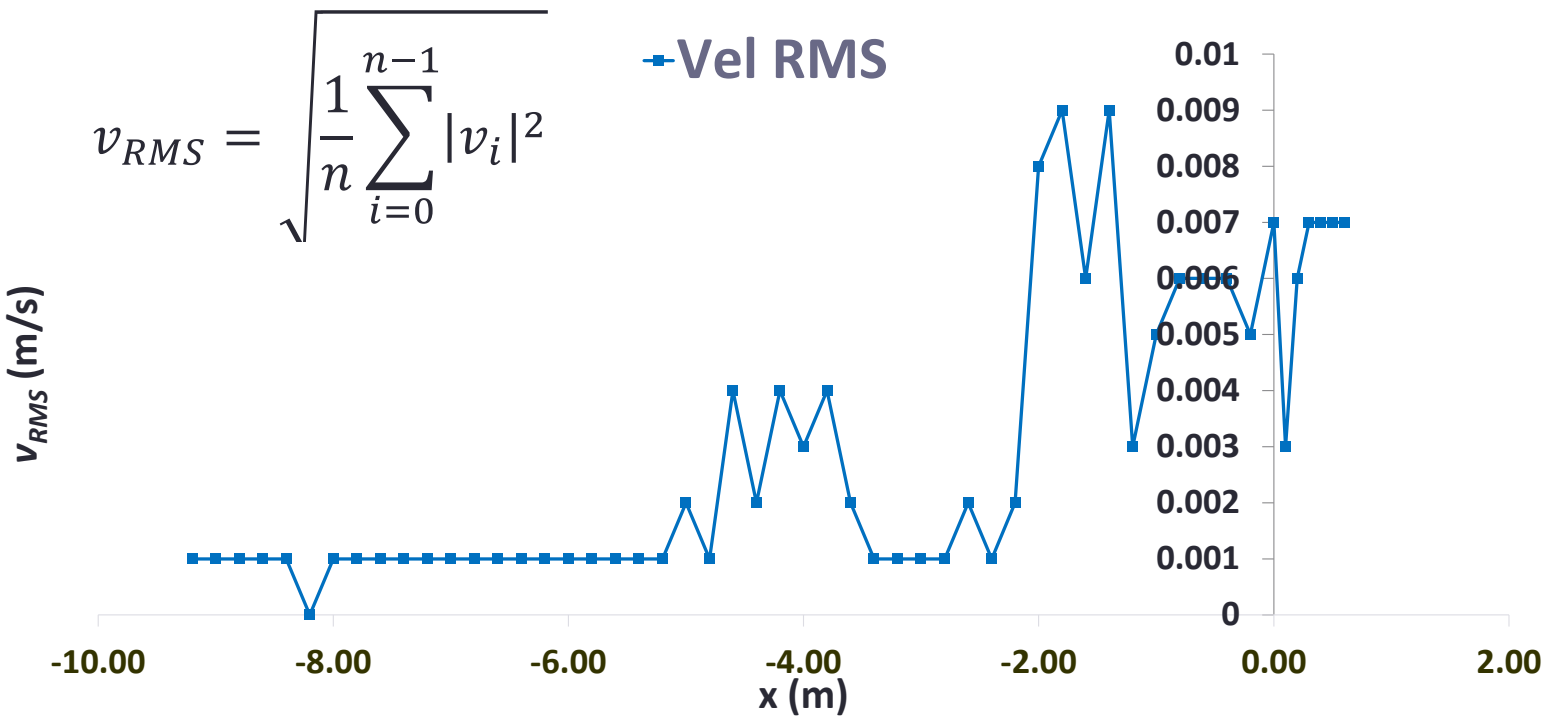
- O campo das velocidades associado à simulação 3D apresenta uma maior amplitude de valores.
- No caso 3D as velocidades nas cavas com maiores valores negativos e nas cristas com valores positivos mais elevados.
- O caso 3D reflecte o aumento da altura de onda e a assimetria que começa a desenvolver-se na parte final do estreitamento.

Resultados

Velocidades *v* - transversais:

- Valor médio quadrático (*RMS*)

$$v_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n-1}|v_i|^2}$$

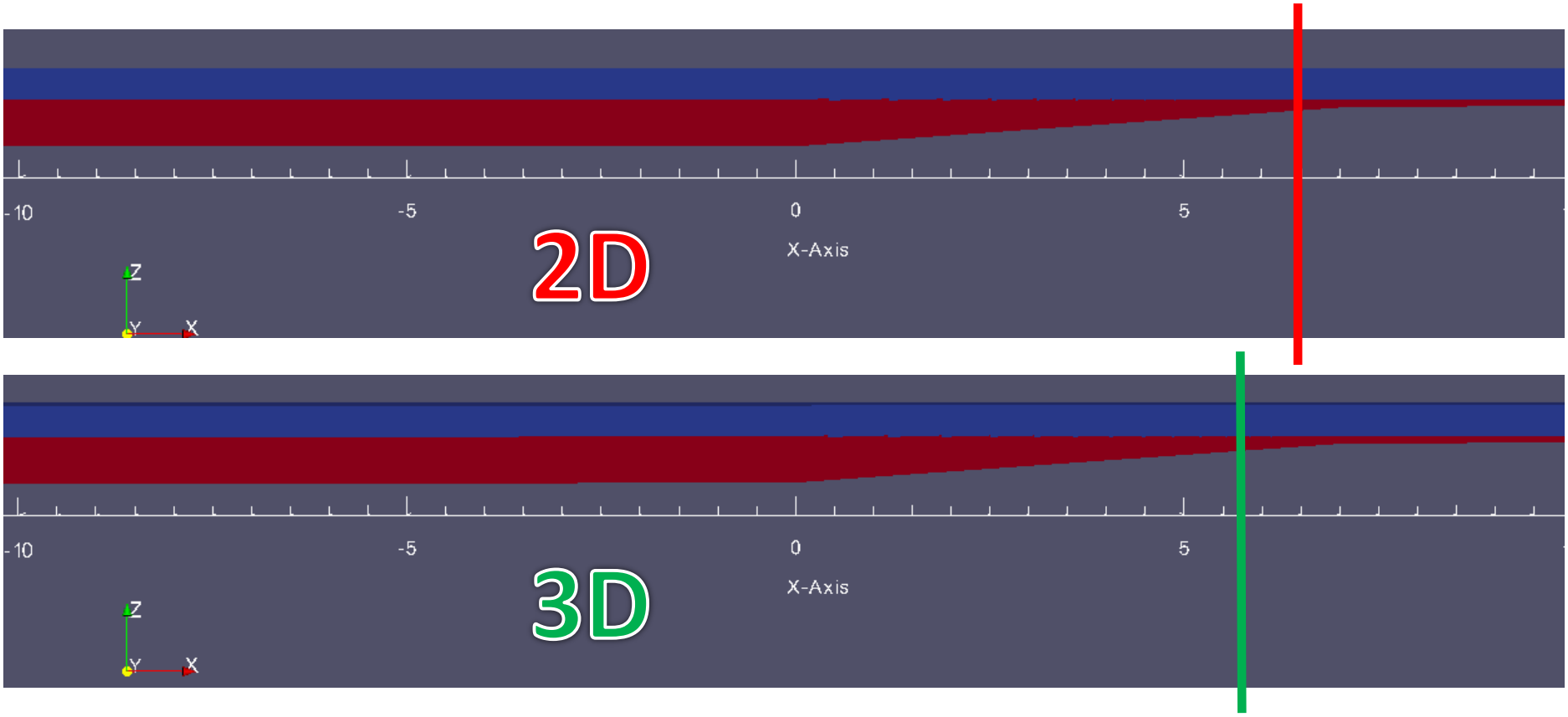


- O aumento do valor médio quadrático à medida que se avança no estreitamento indica um efeito tridimensional que não pode ser capturado por uma simulação 2D.

Resultados

Influência na rebentação de onda :

Local de rebentação (2D)



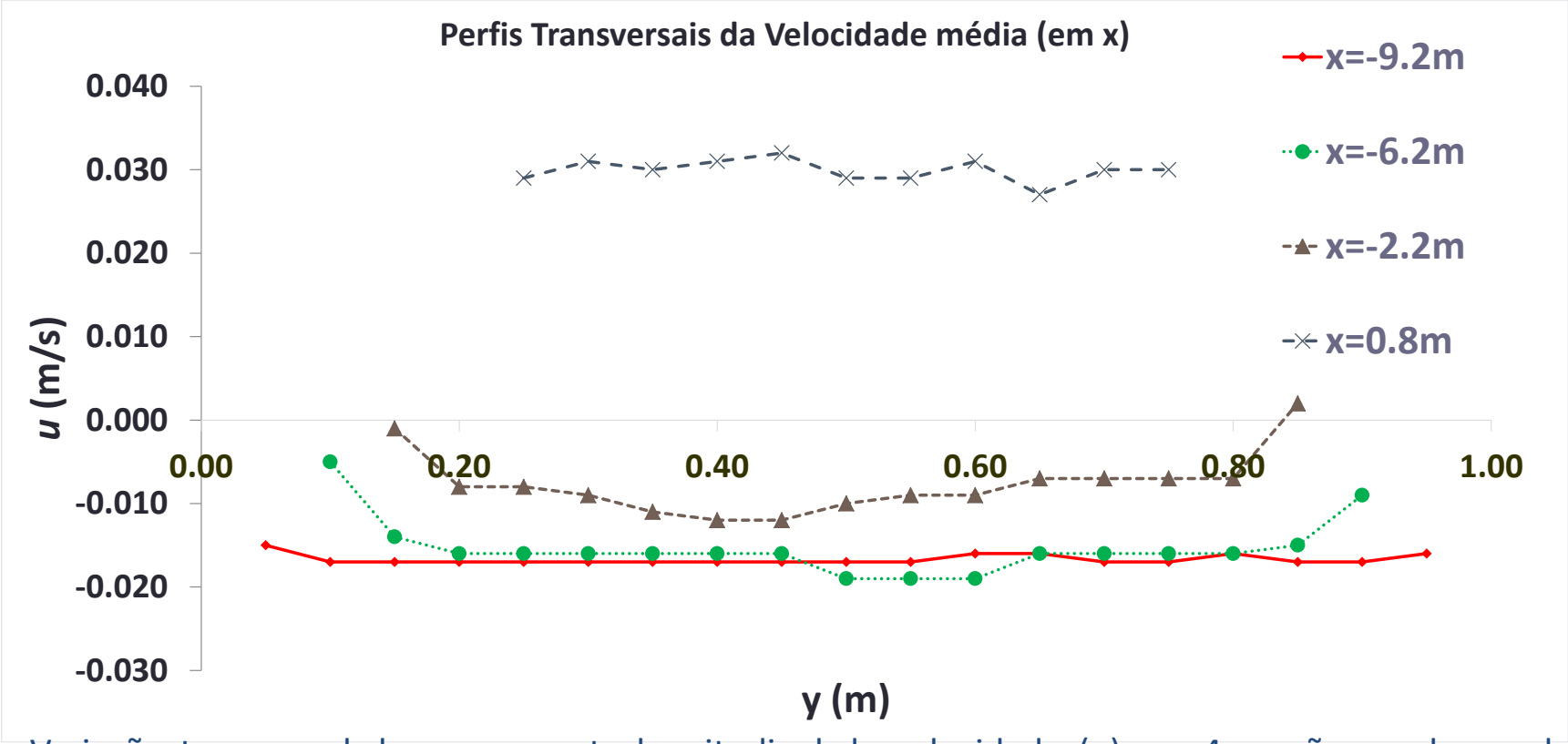
Local de rebentação (3D)

- Como seria de esperar o estreitamento influência também o local de rebentação na zona da rampa.
- Na simulação 3D a onda rebenta antes do caso 2D.

Resultados

Velocidades *u* longitudinais :

- Ao longo do eixo transversal do canal (**em Y**)



- Variação transversal da componente longitudinal da velocidade (*u*) em 4 secções ao longo do estreitamento do canal (3D).

- Nas secções de estreitamento (x = -6.2 m e x = -2.2m) as velocidades *u* reflectem, muito provavelmente, o efeito das paredes.

Conclusões

- Quantificou-se, para um caso específico, a variação de velocidades e alturas de onda entre um caso 3D e 2D.
- O trabalho aqui desenvolvido pôs em evidência a influência do estreitamento lateral de um canal na propagação de ondas.
- As simulações numéricas mostraram o efeito do estreitamento do canal na propagação das ondas.
    - Em particular, as alturas de onda exibem um aumento geral de 29%, chegando a atingir um máximo de 46%.
    - As velocidades apresentam efeitos na amplitude das velocidades entre as cristas e as cavas e no desenvolvimento de uma componente transversal do campo de velocidades.
- Para se simular numericamente a propagação de ondas no canal COI3 do LNEC é necessário efectuar simulações 3D.

Futuros desenvolvimentos

- Validar os resultados com os ensaios experimentais que estão a decorrer.

- Estudar vários tipos de estreitamento e alargamento, considerado vários tipos de ondas, para um estudo mais aprofundado da influência da variação das fronteiras laterais na propagação de ondas.

Agradecimentos

Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) o financiamento através da bolsa de doutoramento SFRH/BD/52483/2014.

TÉCNICO LISBOA

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

Obrigado pela atenção!

NATIONAL GEOGRAPHIC
Photograph by Freddy Cerdeira

2010 NATIONAL GEOGRAPHIC PHOTOGRAPHY CONTEST
© COPYRIGHT FREDDY CERDEIRA, ALL RIGHTS RESERVED.