



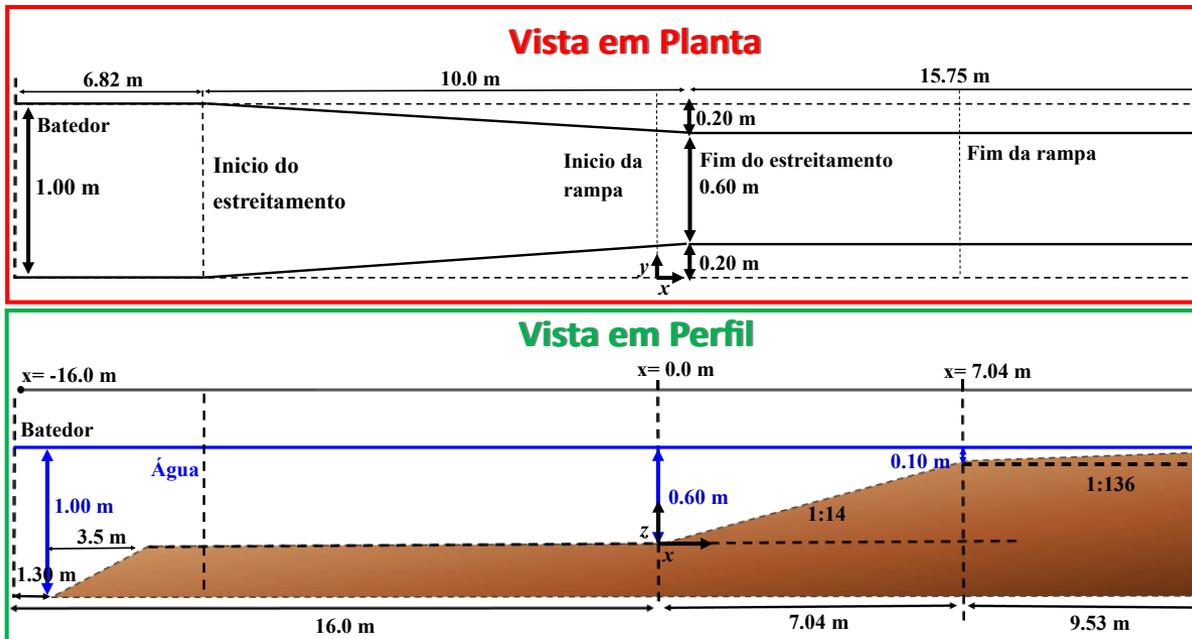
## Em canal de ondas:

- 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

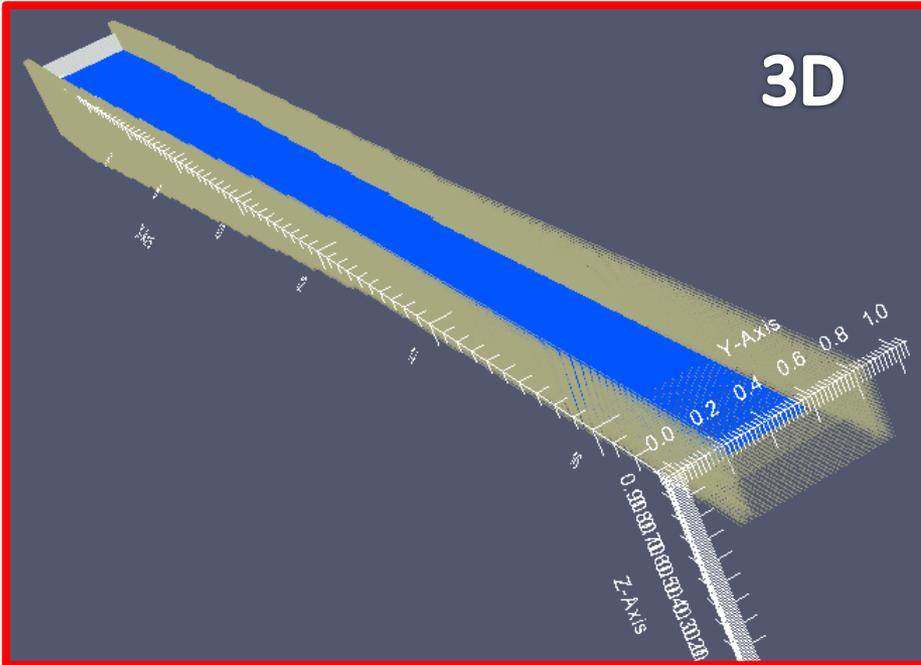
## Geometria do canal:

- 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.

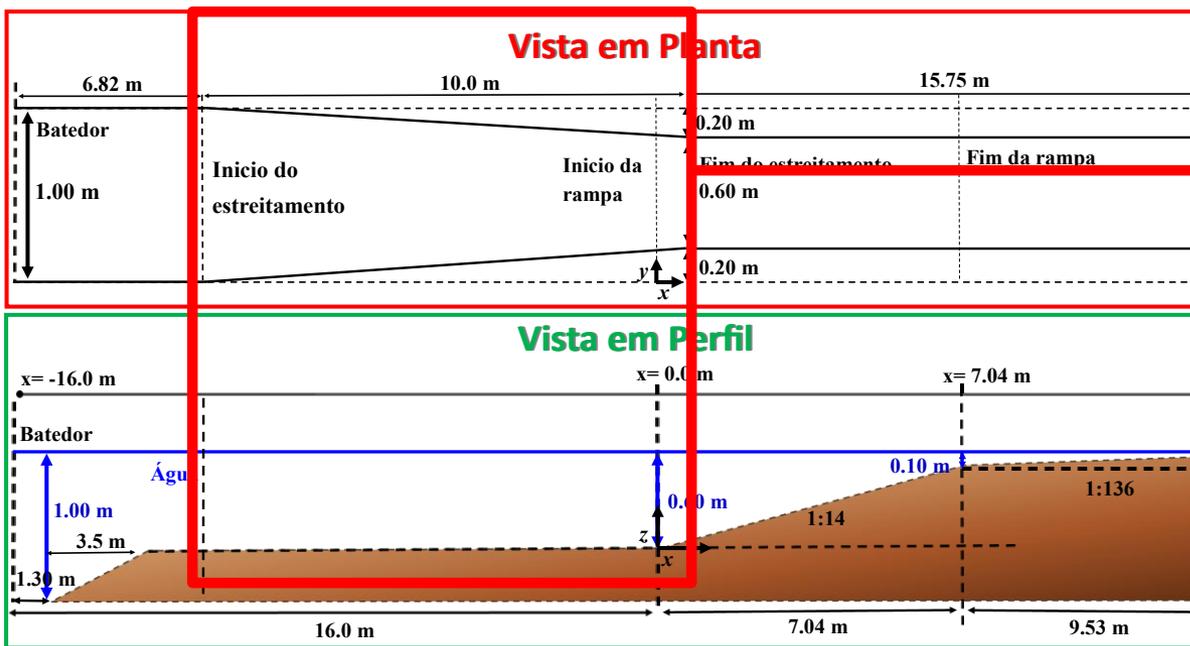


# Caso de Estudo

## Características da onda gerada:

- Onda regular.
- Tipo de rebentação mergulhante.

<b>Período</b>	<b><math>T_0</math> (s)</b>	<b>4.5</b>
<b>Altura</b>	<b><math>H_0</math> (m)</b>	<b>0.1</b>
Comprimento de onda	$L_0$ (m)	10.7
Coefficiente de empolamento	$K_s$	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	$\Omega_b$	1.5365
Índice de rebentação	$\gamma_b$	1.2226
Iribarren	$\xi_0$	0.7347
Local da rebentação (estimado)	$x$	a 0.8 m do fim da rampa



→ Zona de estreitamento

## Modelo numérico:

OpenFoam

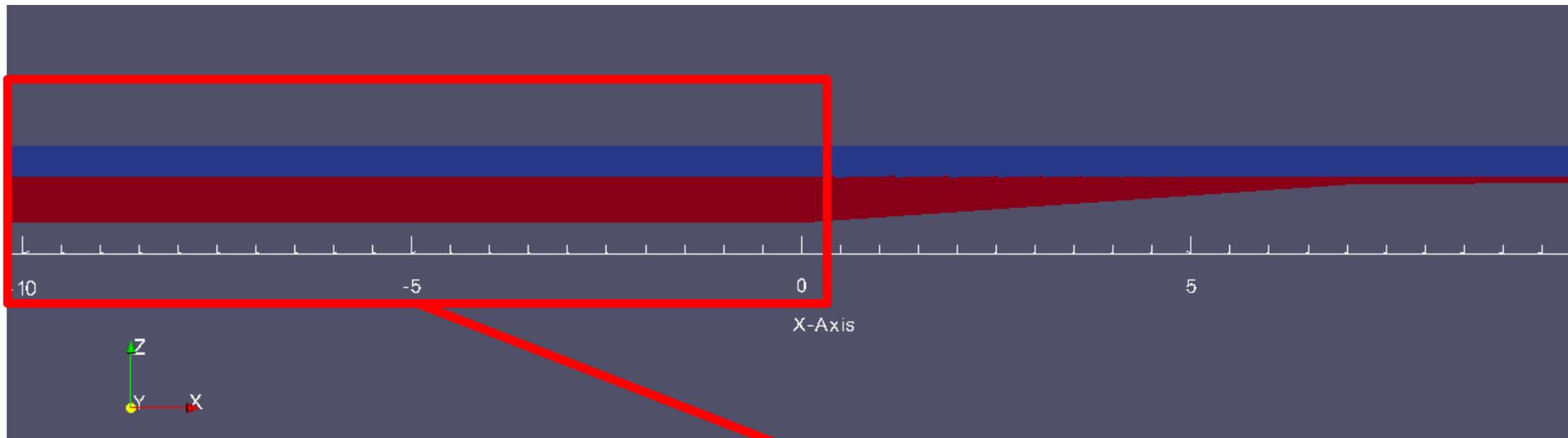


- Formulação euleriana das equações do movimento.
- Baseado nas equações RANS (*Reynolds-Averaged Navier-Stokes*).
- Multifase.
  - Utiliza um método VOF (*Volume of Fluid*).
- Código de acesso livre (*Open Source*).
- Facilmente paralelizável.
- Suporta vários tipos de malhas computacionais.
- Admite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

## Implementação do modelo numérico:

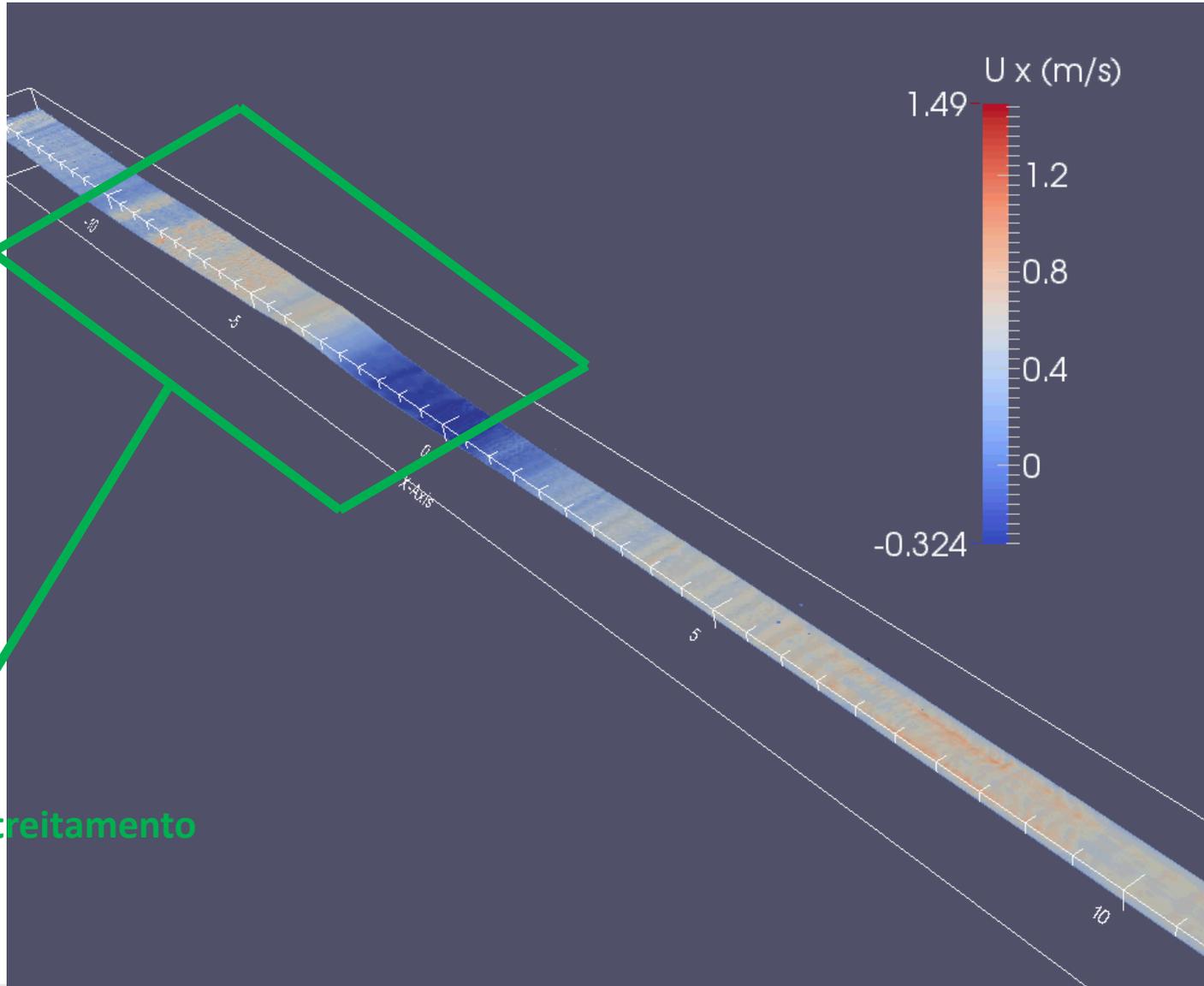
- Foi aplicado o solver IHFOAM (Higuera et al., 2014) para
  - resolver as equações RANS no volume de discretização,
  - efectuar vários tipos de geração de onda.
    - Neste trabalho a onda gerada foi uma onda regular através de um perfil de velocidades na posição do batedor em repouso.
- As condições 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.

## 2D



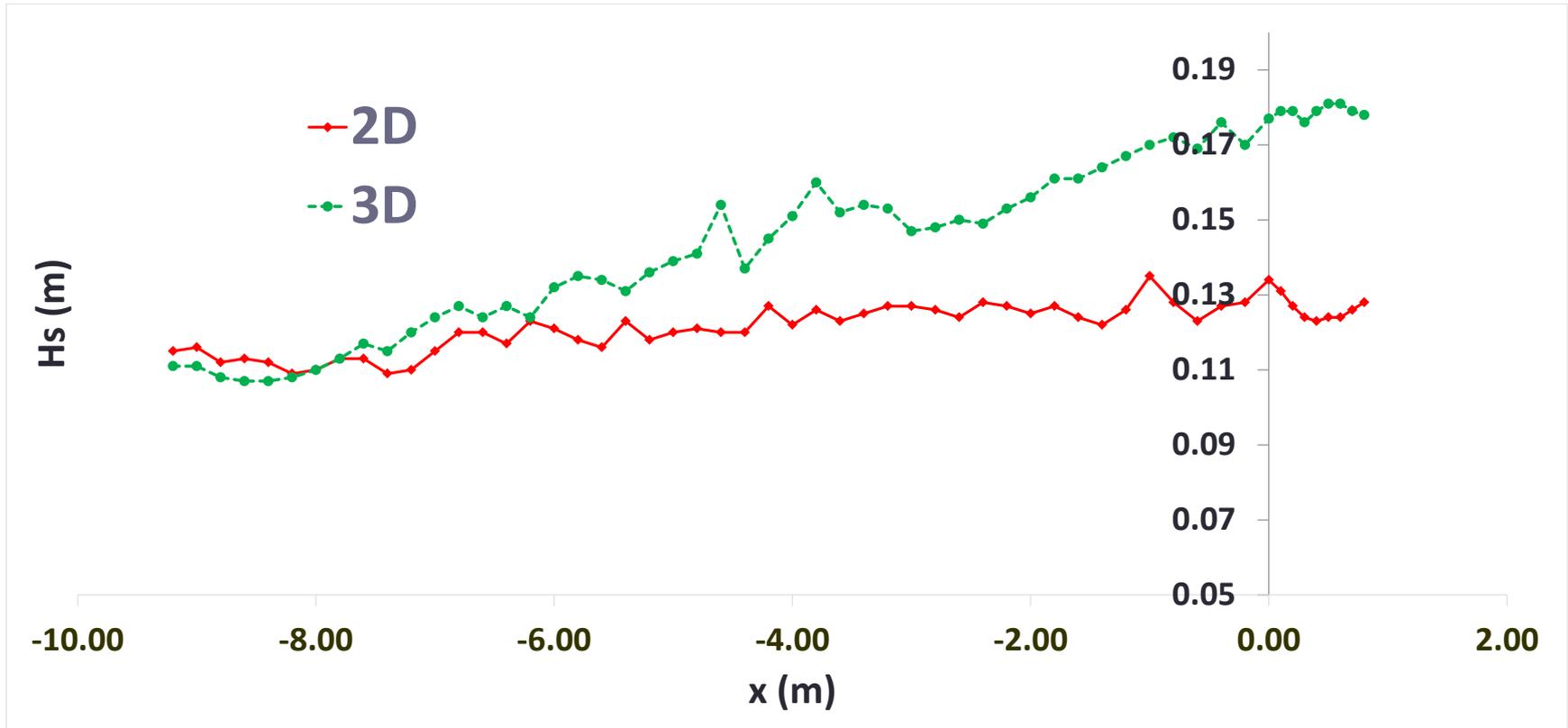
Zona de estreitamento

3D



# Resultados

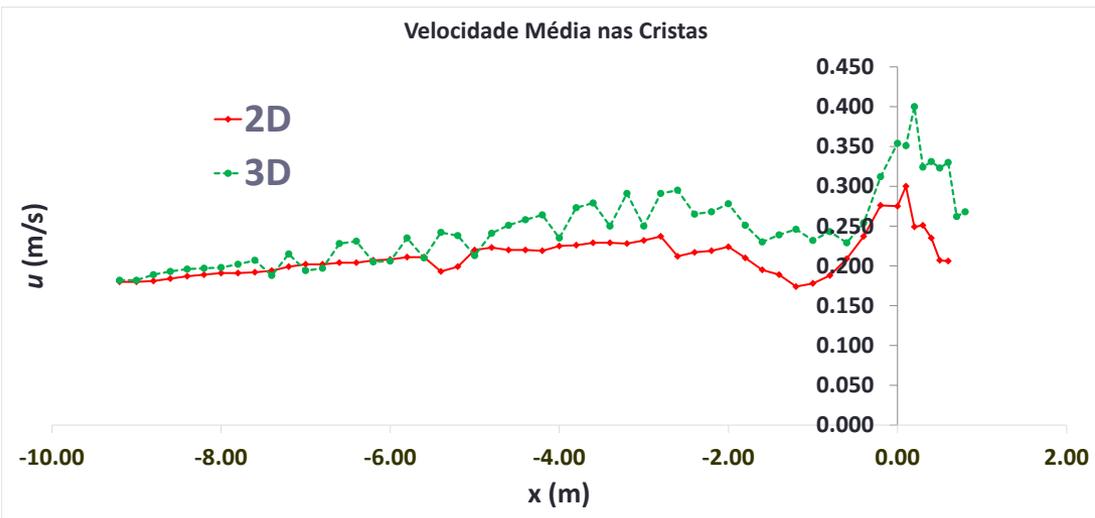
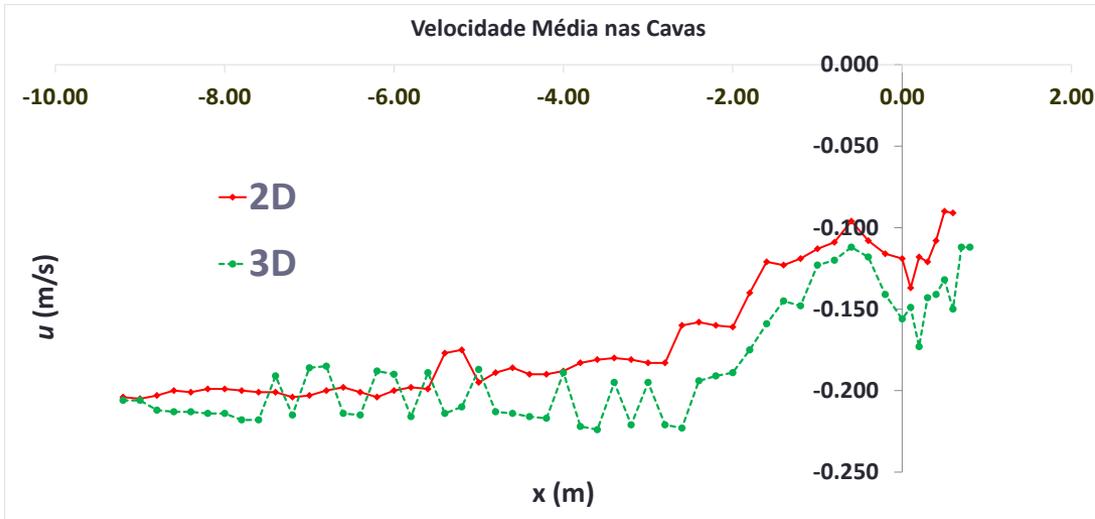
## Altura de onda Significativa (Hs):



- 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:

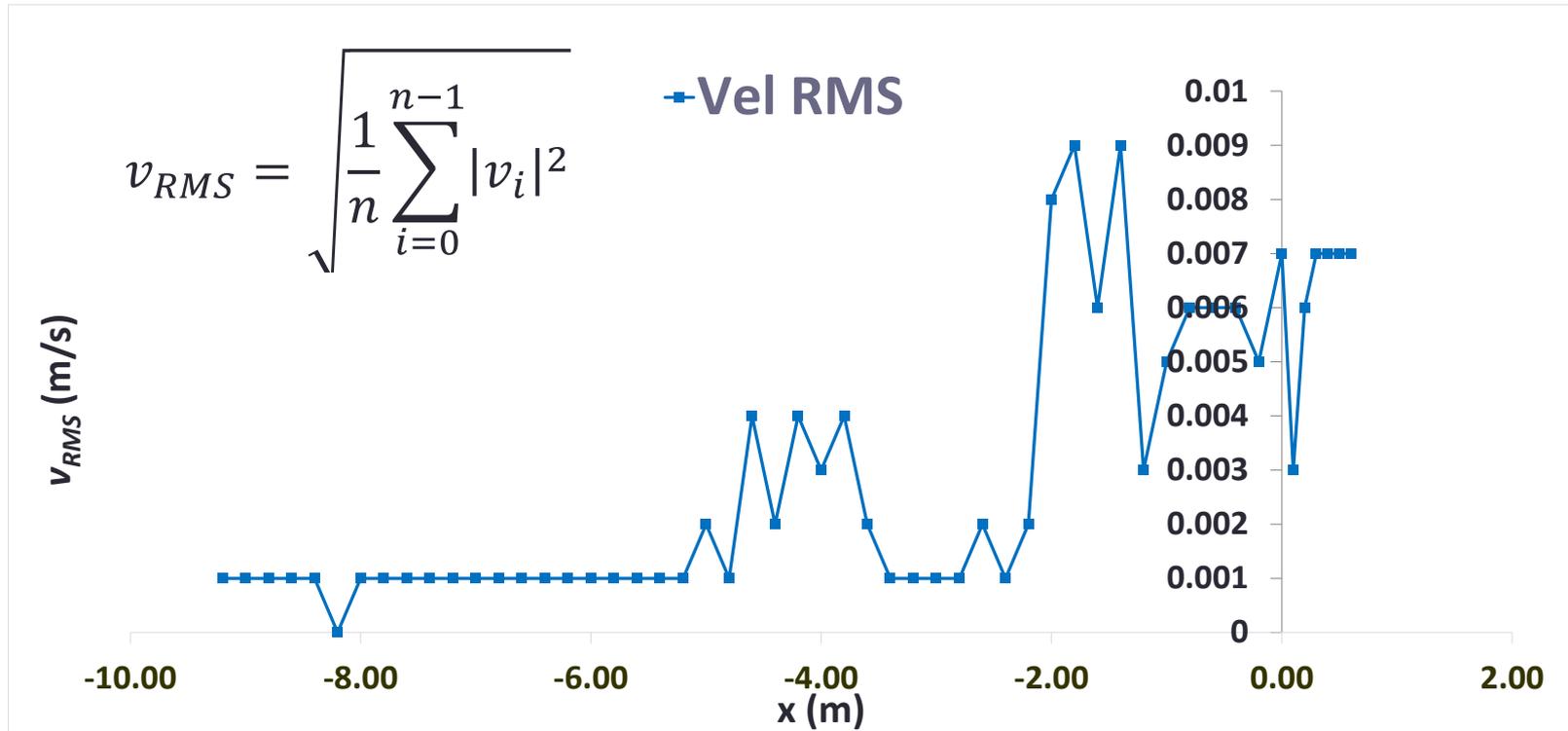


- O campo das velocidades associado à simulação 3D apresenta uma maior amplitude de valores.
- No caso 3D as velocidades nas cavas com maiores valores negativos e nas cristas com valores positivos mais elevados.
- O caso 3D reflecte o aumento da altura de onda e a assimetria que começa a desenvolver-se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

# Resultados

## Velocidades $v$ - transversais:

- Valor médio quadrático (*RMS*)

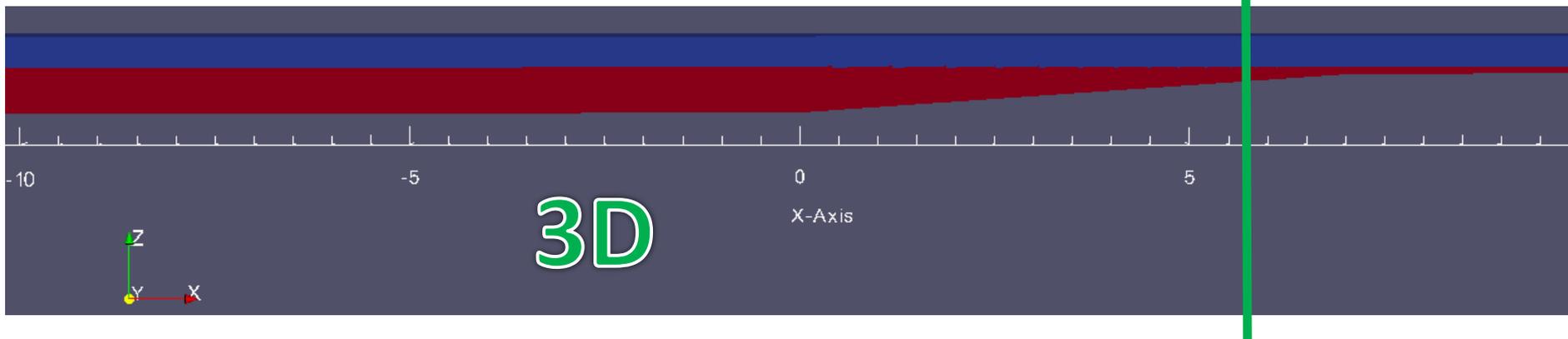
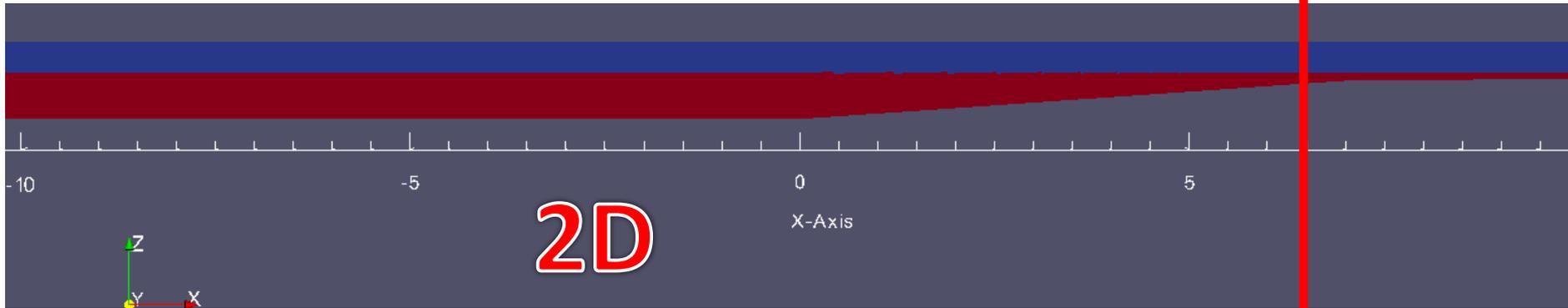


- O aumento do valor médio quadrático à medida que se avança no estreitamento indica um efeito tridimensional que não pode ser capturado por uma simulação 2D.

# Resultados

Influência na rebentação de onda :

Local de rebentação (2D)



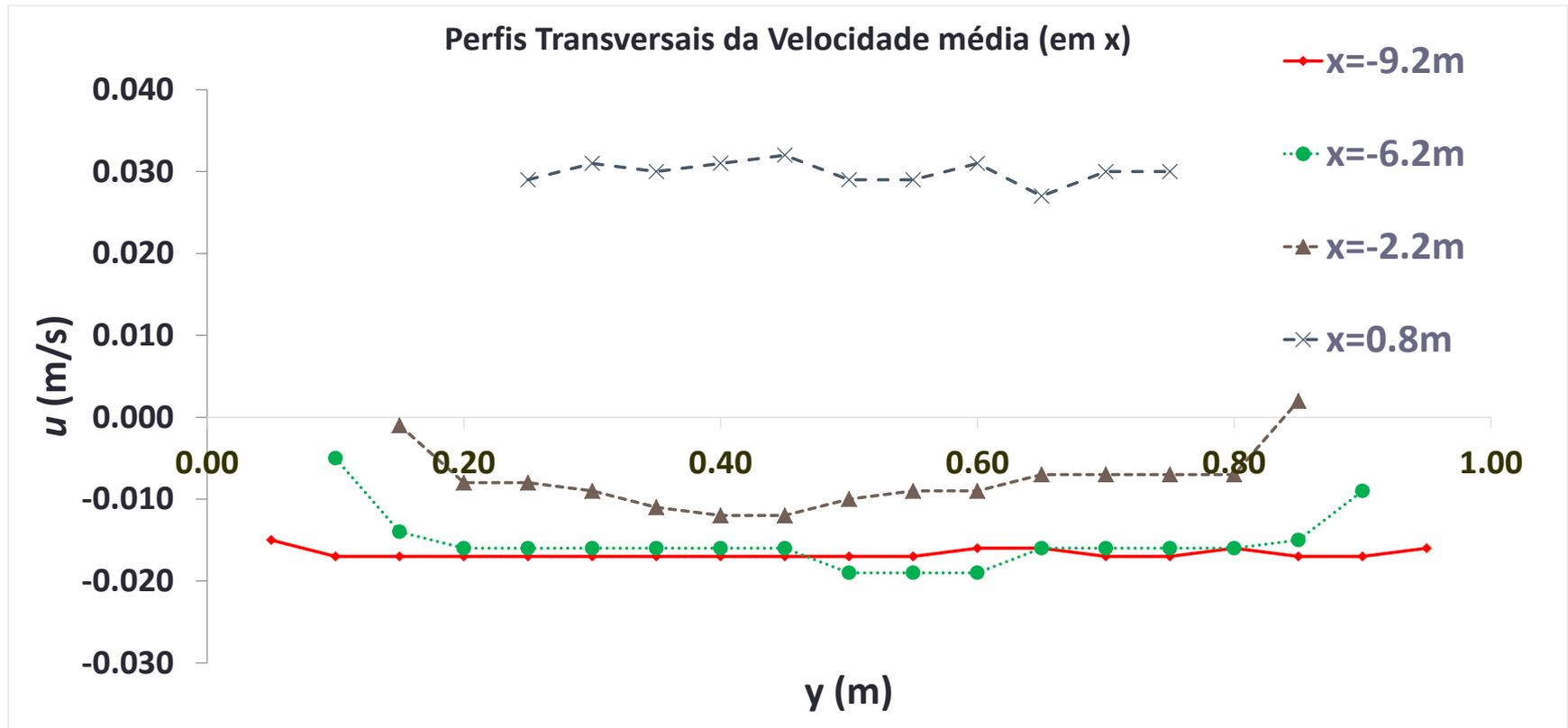
Local de rebentação (3D)

- Como seria de esperar o estreitamento influencia 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 ( $x = -6.2\text{ m}$  e  $x = -2.2\text{m}$ ) 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.

- 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.

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

**Obrigado pela atenção!**