



SANDTRACK

Alimentação artificial de praias: uma metodologia integrada de suporte à
gestão litoral

POCI-01-0145-FEDER-031779

Tarefa 4 – Morfodinâmica de alimentações de praia

Relatório IX

Implementação do modelo hidrodinâmico – Delft3D

Cofinanciado por:



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional

Autores:

Soraia Romão ^{1,2}

¹ IDL – Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

² CESAM – Centro de Estudos do Ambiente e do Mar, Universidade de Aveiro

Outubro de 2020

Termos de referência

O presente relatório foi realizado no âmbito do projeto Sandtrack, financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (contrato PTDC/CTA-GEO/31779/2017). Este documento é o primeiro relatório de progresso da Tarefa 4 que corresponde à modelação morfodinâmica de alimentações artificiais com o modelo Delft3D.

Este documento descreve a primeira fase da implementação do modelo numérico a um caso de estudo, com a compilação de dados batimétricos e topográficos da zona de estudo e a construção da malha numérica.

Objetivo

O objetivo desta tarefa é a modelação morfodinâmica de alimentações de praias e o seguimento de partículas marcadas com o modelo Delft3D a escalas temporais curtas e sazonais. O estudo inclui, ainda, a aplicação de diferentes fórmulas de transporte para sedimentos heterogéneos.

Este relatório tem como objetivo descrever as atividades realizadas até ao momento no âmbito da Tarefa 4, nomeadamente, a preparação das malhas numéricas, compilação e preparação de dados batimétricos e de condições fronteira, configuração do modelo hidrodinâmico e validação do nível do mar.

Agradecimentos

Agradecimentos a Américo Soares Ribeiro pela ajuda na construção das grelhas para as malhas do modelo. À APA, no âmbito do programa COSMO, pelo fornecimento das batimetrias e ao porto de Aveiro pela cedência de dados do marégrafo da Barra.

Ao projeto “SandTrack”, “PTDC/CTA-GEO/31779/2017”, financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), através do Programa Operacional Regional de Lisboa e do Programa Operacional Competitividade e Internacionalização e por fundos nacionais através da FCT/MCTES

Conteúdo

Termos de referência	3
Objetivo	3
Agradecimentos	3
1 Introdução	5
2 Compilação de dados	6
2.1 Dados topo-batimétricos	6
2.2 Dados hidrodinâmicos.....	7
3 Implementação do modelo	8
3.1 O modelo – Delft3D.....	8
3.2 Construção da grelha numérica	9
3.3 Construção da malha batimétrica	10
3.4 Modelo hidrodinâmico – Módulo FLOW.....	11
4 Validação	12
5 Conclusões.....	18
5.1 Trabalho futuro	18
6 Referências.....	19

1 Introdução

A Tarefa 4 do projeto Sandtrack tem como objetivo a aplicação do modelo Delft3D para estudar a evolução morfológica de alimentações de praia em diferentes cenários. Esta tarefa esta dividida em duas subtarefas, a primeira refere-se à implementação do modelo à zona de estudo, o litoral de Aveiro, e a segunda subtarefa corresponde à definição e implementação de cenários no modelo preparado na primeira parte já calibrado e validado.

O modelo será calibrado e validado com os dados de parâmetros hidrodinâmicos medidos durante a campanha de traçadores (Relatório V), pelo ADP/ADCP, ECM e PT. A zona de estudo será simulada para diferentes cenários de alimentação de praia. O estudo do impacto das alimentações de praia no *nearshore* será baseado num conjunto de cenários de alimentação que contemplam diferentes geometrias e profundidades. De modo a avaliar a importância da granulometria dos sedimentos utilizados na alimentação na sua evolução, os cenários a definir terão, também, em consideração sedimentos com granulometrias mais finas e mais grosseiras que as areias nativas.

O presente relatório foca-se na implementação da componente de hidrodinâmica com o modelo Delft3D, desenvolvido por WL|Delft Hydraulics em cooperação com Delft University of Technology. Nos próximos capítulos serão abordados os trabalhos realizados até ao momento nesta tarefa, onde se inclui a aquisição e preparação de dados para a batimetria e condições fronteira do modelo, a construção da malha numérica, o setup do modelo hidrodinâmico e a validação dos resultados do modelo para a elevação da superfície do mar associada à maré.

Cofinanciado por:



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional

2 Compilação de dados

2.1 Dados topo-batimétricos

Para a construção das malhas do modelo são necessários dados de batimetria e topografia. Consideraram-se as seguintes fontes de dados:

- Programa COSMO da Agência Portuguesa do Ambiente (APA) para a praia emersa e praia imersa até aos 12 m de profundidade. Estes dados estão no sistema de coordenadas ETRS 89 e referenciados ao zero hidrográfico (ZH). A resolução horizontal dos dados varia de 0.5 m na praia emersa e 2 m na praia submersa. O primeiro levantamento utilizado data de julho/agosto de 2018 (<https://cosmo.apambiente.pt/data>);
- Batimetria adquirida pela Universidade de Aveiro (UA) em 2015. Estes dados permitem colmatar uma lacuna no levantamento costeiro do COSMO entre o Areão e Poço da Cruz. Os dados estão referenciados ao NMM e no sistema de coordenadas Datum 73;
- EMODNET (versão de 2018), dados batimétricos para as zonas mais profundas. Estes dados têm uma resolução horizontal de 115 m, o nível de referência é o nível medio do mar (NMM) e o sistema de coordenadas é WGS84 (<https://portal.emodnet-bathymetry.eu/>). Estes dados foram usados nas zonas mais profundas e junto à costa nas zonas mais afastadas da área de estudo, onde não há necessidade de uma boa resolução e, também, devido à escassez de dados.

A Figura 1 apresenta os conjuntos de dados utilizados e a distribuição espacial de cada um. As diferentes fontes de dados foram convertidas para um único sistema de coordenadas e referencial altimétrico. Utilizou-se o sistema de coordenadas WGS84 e referenciado ao NMM. No software ArcGis (ESRI), versão 10.6.1, eliminou-se as áreas sobrepostas entre os vários conjuntos de dados, dando preferência ao levantamento do programa COSMO, seguido pelo levantamento da UA e por último os dados do EMODNET.

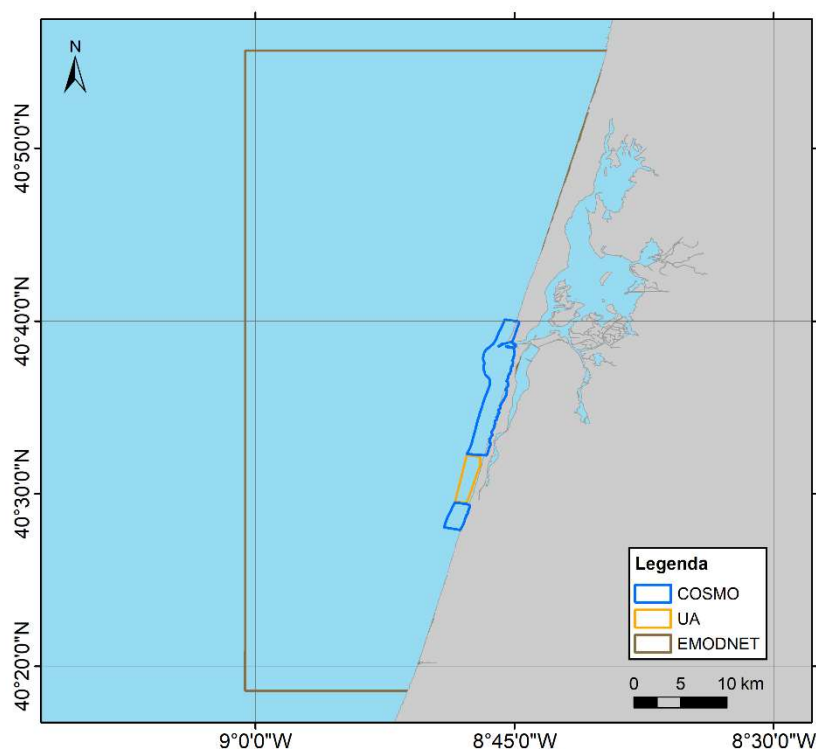


Figura 1. Abrangência dos conjuntos de dados batimétricos utilizados para construção da malha batimétrica.

2.2 Dados hidrodinâmicos

O módulo Flow do modelo DELFT3D é forçado nas fronteiras abertas com a maré e na secção da Ria com a descarga da mesma. A condição de maré é proveniente do modelo global de maré TPXO (Egbert & Erofeeva, 2002), versão 8.0, criada a partir do programa DelftDashBoard. Os constituintes astronómicos da maré são fornecidos ao modelo de acordo com a Tabela I.

Tabela I. Constituintes de maré e respetivas amplitudes e fases fornecidas ao modelo hidrodinâmico nas fronteiras abertas.

Constituintes	Amplitude (m)	Fase (°)
M2	1.0322036e+000	7.3190184e+001
S2	3.6272156e-001	1.0136727e+002
N2	2.2021343e-001	5.5414656e+001
K2	1.0088130e-001	9.7574479e+001
K1	7.0303568e-002	6.3654101e+001
O1	6.1073726e-002	3.2031455e+002
P1	2.0615528e-002	5.0906141e+001
Q1	1.9104973e-002	2.6399099e+002
MF	3.0000000e-003	1.8000000e+002
MM	2.2360680e-003	2.0656505e+002
M4	8.5440037e-003	2.0055605e+002
MS4	3.0000000e-003	2.7000000e+002
MN4	2.8284271e-003	1.3500000e+002

A descarga da Ria de Aveiro considerada no modelo, foi obtida através de uma implementação de um modelo hidrodinâmico operacional da Ria de Aveiro (MOHID). Esta implementação considera valores constantes de caudais dos principais rios que desaguam na laguna. Do modelo operacional da Ria de Aveiro, extraiu-se informação para calcular o caudal numa secção perpendicular ao canal, próxima ao triângulo divisor de maré (Figura 2). A partir da velocidade e altura da coluna de água para cada célula do modelo operacional calculou-se o caudal, representado na Figura 2.

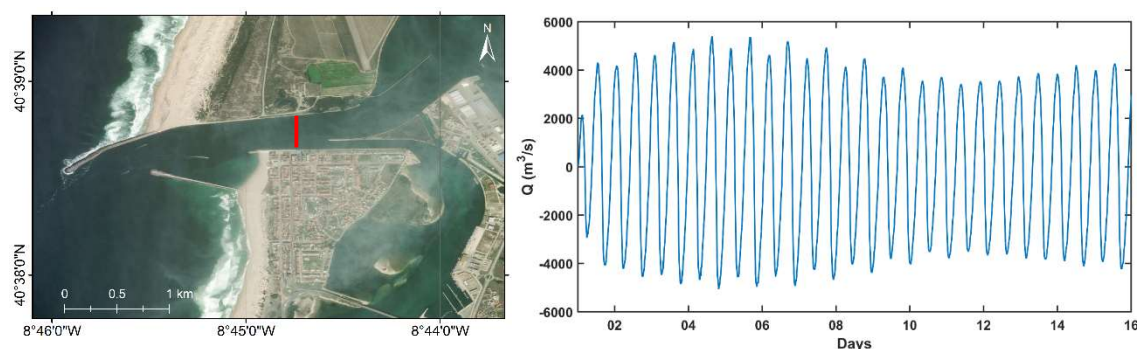


Figura 2. Descarga na secção da Ria de Aveiro para o período de 1 a 16 de julho 2019.

3 Implementação do modelo

O modelo utilizado é o Delft3D e o presente relatório faz apenas referência ao módulo FLOW que integra a componente hidrodinâmica associada à propagação da onda de maré. Neste trabalho, é utilizada a versão 4.04.01 do Delft3d. Ao longo deste capítulo é feita uma breve descrição do modelo, e é apresentada a implementação do modelo, que inclui a construção da malha numérica e a configuração do modelo hidrodinâmico e por fim é feita a validação do modelo para a elevação da superfície do mar associada à maré

3.1 O modelo – Delft3D

O modelo Delft3D FLOW é constituído por um conjunto de módulos que permitem a simulação 2D e 3D de processos hidro e morfodinâmicos e do transporte sedimentar. O modelo resolve as equações de Navier Stokes para um fluido incompressível, considerando as suposições para águas pouco profundas e de Boussinesq. Em 2D, na equação do momento, as acelerações verticais são negligenciadas, resolvendo a equação da pressão hidrostática. Em 3D as velocidades verticais são calculadas pela equação da continuidade (Lesser et al., 2004). Numa configuração 3D, o Delft3D apresenta duas opções para a direção vertical, o sistema de coordenadas Z e o sistema de coordenadas σ . A Figura 3 apresenta as diferenças das grelhas verticais entre os dois sistemas de coordenadas. Em coordenadas σ , o número de camadas é sempre o mesmo, independentemente da profundidade e as camadas acompanham a variação do fundo e da superfície livre. Em coordenadas Z, as camadas são horizontais e paralelas entre si, não acompanham a variação do fundo nem da superfície livre, sendo, geralmente, representadas em “escada” (Deltares, 2018).

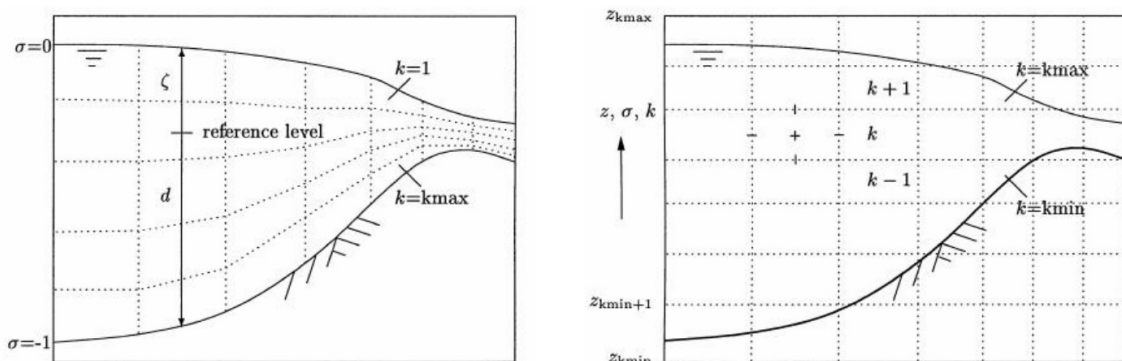


Figura 3. Exemplo de uma grelha vertical em coordenadas σ (à esquerda) e em coordenadas Z (à direita) (Deltares, 2018).

O DELFT3D é aplicado na simulação de correntes, ondulação, transporte sedimentar e morfologia. A componente de ondas é simulada pelo módulo WAVE do DELFT3D, que calcula a altura significativa das ondas, período, direção e velocidade e correntes induzidas pela ondulação.

A Figura 4 apresenta a configuração esquemática de funcionamento do modelo Delft3D com o módulo morfodinâmico e ondas online. De acordo com esta representação, para esta tarefa, inicialmente é feita a implementação do módulo de hidrodinâmica com o FLOW, que inclui a construção da malha batimétrica, imposição de condições fronteira e configuração do modelo. De seguida será implementado as ondas com o módulo WAVE que corre online com o módulo FLOW. Para a simulação das ondas é fundamental, assim como na hidrodinâmica, estabelecer a malha numérica e batimetria e condições fronteira, condições de onda com informação da altura significativa, período e direção ou em forma de espectros de ondas, poderá também ser

adicionado informação de vento e pressão nas fronteiras do modelo. A terceira componente corresponde à morfodinâmica, onde é calculado o transporte sedimentar e feita a atualização da batimetria do fundo. Este módulo corre sobre o módulo hidrodinâmico, portanto, a malha numérica e batimetria estão previamente definidas, além disso, entram em consideração com a granulometria dos sedimentos, que pode ser uniforme ou variável e com a espessura de sedimentos disponível.

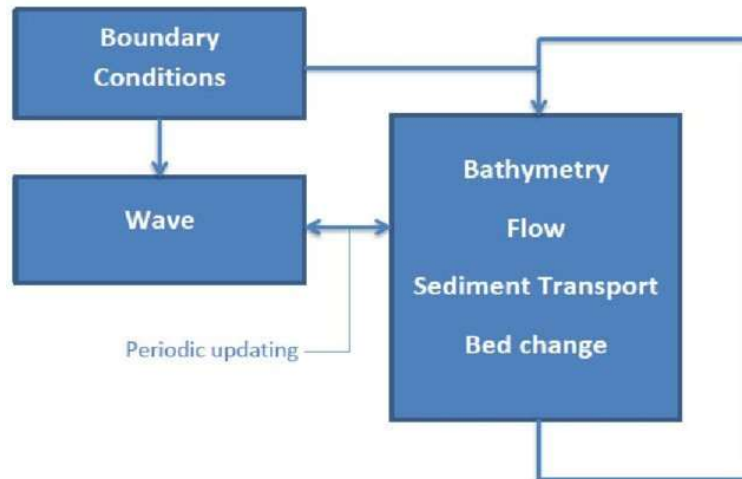


Figura 4. Diagrama de configuração do modelo Delft3D com morfodinâmica e ondas online (Stark, 2012).

Além do conjunto de módulos de simulação, o modelo Delft3D inclui softwares adicionais úteis na configuração do modelo tais como o RGFGRID e QUICKIN fundamentais na construção das malhas numérica e batimétrica e o QuickPlot, uma ferramenta de pós-processamento.

3.2 Construção da grelha numérica

Foram desenhadas duas configurações de grelhas, uma grelha retangular e uma grelha curvilínea. A grelha curvilínea foi construída com base na metodologia adotada no projeto “Elaboração do estudo de cenários de dragagens e locais de deposição de sedimentos na embocadura da barra do porto da figueira da foz” (Universidade de Aveiro, 2017). Este tipo de grelha permitem ter uma maior resolução na área de estudo junto à costa e uma baixa resolução em áreas distantes próximo das fronteiras. As grelhas curvilíneas são mais vantajosas do que as grelhas retangulares em zonas costeiras mais complexas, o que no caso em questão poderá não ser significativo, uma vez que a linha de costa é retilínea e sem acidentes morfológicos significativos (Dykes, 2003). No entanto, as duas configurações foram testadas e os resultados comparados entre si de forma a escolher a configuração mais adequada.

O módulo RGFGRID é uma aplicação do Delft3D, que permite construir grelhas ortogonais de forma relativamente simples. Alguns aspetos importantes a considerar na construção de grelhas são (Deltares, 2018):

- Ortogonalidade – inferior a 0.04 no interior da área do modelo e até 0.1 fora da área do modelo;
- Suavidade (*smoothness*) – inferior a 1.1 na área de interesse e até 1.4 nas áreas mais distantes;
- Proporção das células – entre 0.5 e 2.

As grelhas retangular e curvilínea geradas têm ambas espaçamento variável em x e em y, com uma resolução que varia entre 25 m na área de estudo e 200 m nas zonas mais afastadas e ao largo, conforme representado na Figura 5. Quando à dimensão, apresentada na Tabela II, a

grelha curvilínea tem um maior número de células comparativamente à grelha retangular, no entanto, quando se “adicionar” a batimetria, e considerar apenas as células ativas, o número de células será muito semelhante nas duas malhas.

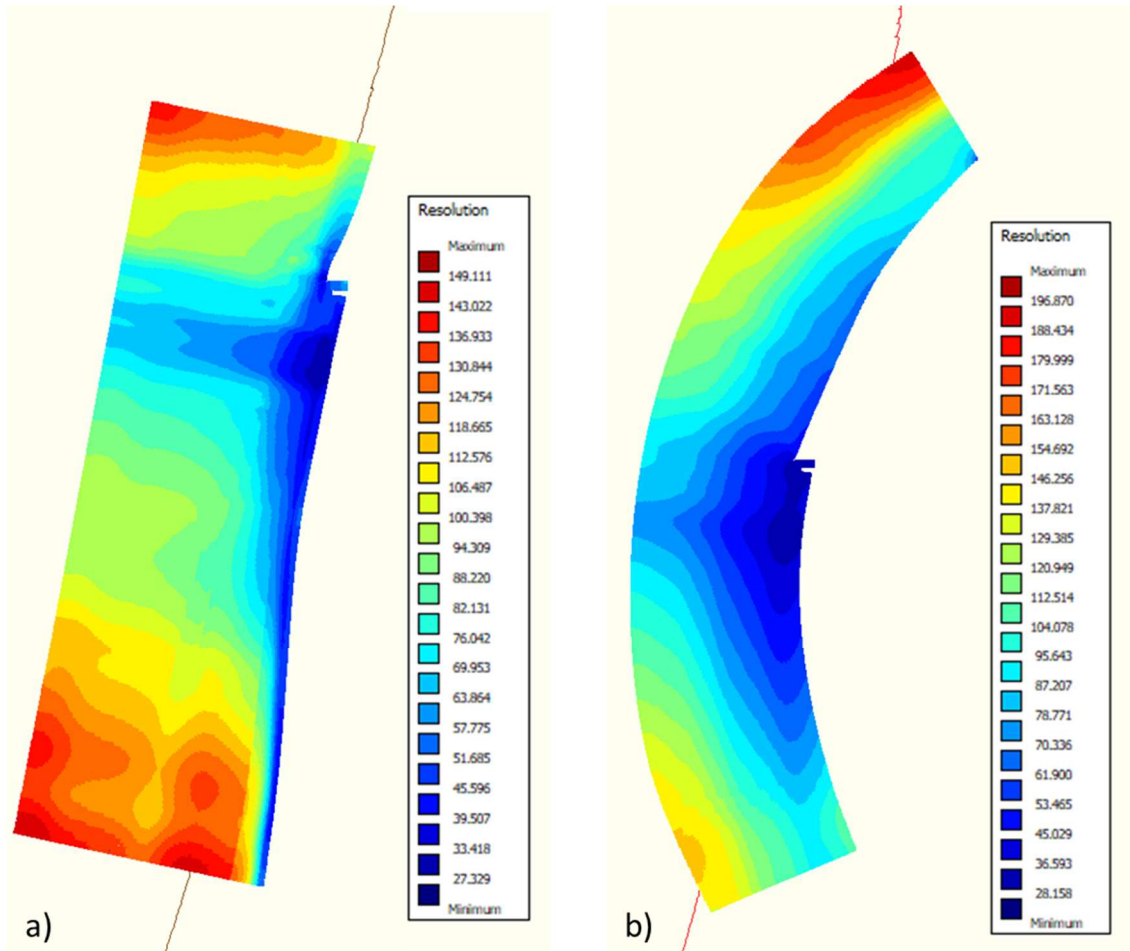


Figura 5. Resolução espacial das grelhas retangular e curvilínea.

Tabela II. Dimensão das grelhas retangular e curvilínea construídas para a área de estudo.

	Retangular	Curvilínea
Nº células em M	206	701
Nº células em N	504	197
Nº elementos na grelha	99760	120307

3.3 Construção da malha batimétrica

Após a construção das grelhas, preparou-se os dados batimétricos para construção da malha batimétrica. A interpolação da batimetria para malha batimétrica é realizada no modulo Quickin do Delft3D. O Quickin tem dois métodos de interpolação, a média na célula e triangular. O método a escolher depende sobretudo da resolução dos pontos a interpolar. Nesta situação o tipo de interpolação considerado foi a interpolação triangular. Após realizar a interpolação e eliminar as células sem informação o número de células ativas é menor do que o número de células da grelha (Tabela III). Esta questão é importante porque é um dos fatores que influenciam o tempo de corrida da simulação.

Tabela III. Número de elementos ativos das malhas numéricas.

	Retangular	Curvilínea
Nº elementos na malha	84427	87556

A Figura 6 apresenta as malhas batimétricas criadas. As profundidades variam entre -3 e 60 m. Aplicou-se um *smoothing* na batimetria para eliminar variações abruptas na batimetria que poderiam posteriormente criar instabilidades ao modelo.

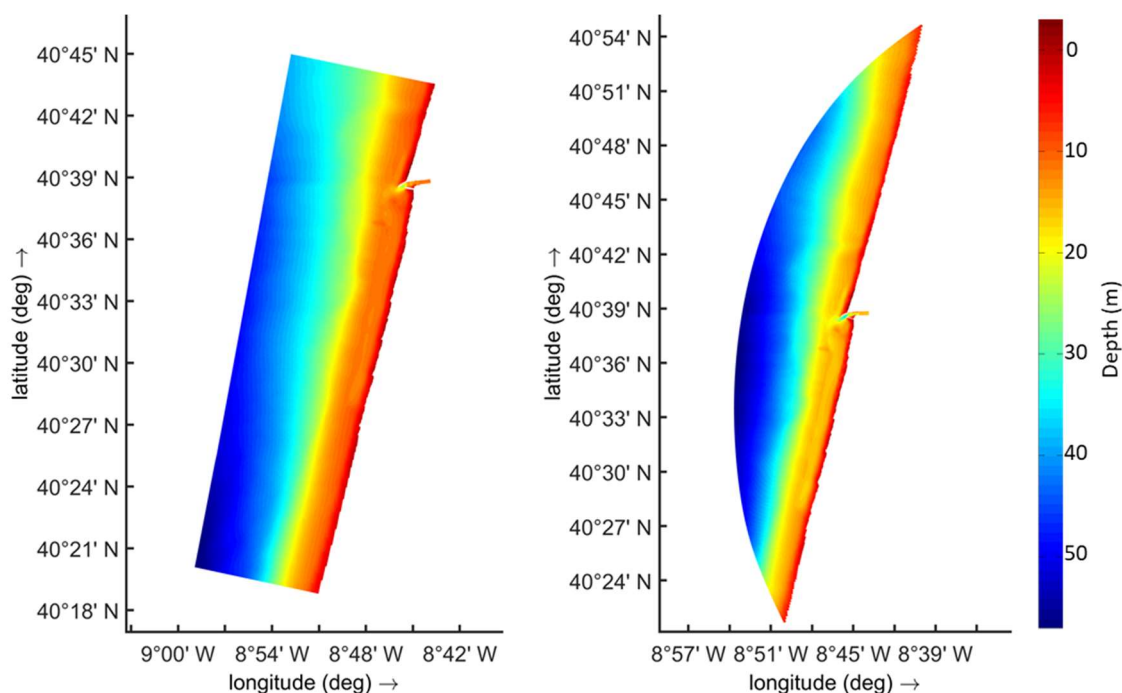


Figura 6. Malhas batimétricas para das grelhas retangular (à esquerda) e curvilínea (à direita).

3.4 Modelo hidrodinâmico – Módulo FLOW

Esta secção descreve a configuração do modelo hidrodinâmico. A mesma configuração foi aplicada à malha retangular e à malha curvilínea. Em ambas foi considerado a configuração 2D e 3D do modelo. No caso 3D, a dimensão vertical é descrita por 12 camadas sigma e a espessura de cada é uma percentagem fixa da altura da coluna de água. A distribuição vertical das camadas considera uma maior resolução junto ao fundo, assim como à superfície. Da superfície para o fundo, a distribuição das camadas é 2.0%, 3.2%, 5.0%, 7.9%, 12.4%, 19.6%, 19.6%, 12.4%, 7.9%, 5.0%, 3.2%, 1.8%.

O passo temporal da simulação é de 30 s e o período de simulação é de 1 a 16 de julho de 2019, com 30 dias (junho 2019) de aquecimento do modelo. As condições iniciais são impostas por *Restart file*, a partir do último momento da simulação de aquecimento. O domínio computacional é limitado por três fronteiras abertas oceânicas (norte, oeste e sul) no caso da malha retangular (como exemplificado na Figura 7) e uma fronteira oceânica na malha curvilínea, onde a maré é imposta. As fronteiras abertas são forçadas pelo nível de água astronómico correspondente à maré de acordo com a Tabela I.

No canal de acesso à Ria de Aveiro, junto à fronteira este do domínio, é colocada uma descarga que corresponde ao caudal da Ria (Figura 2), de acordo com a Figura 7.

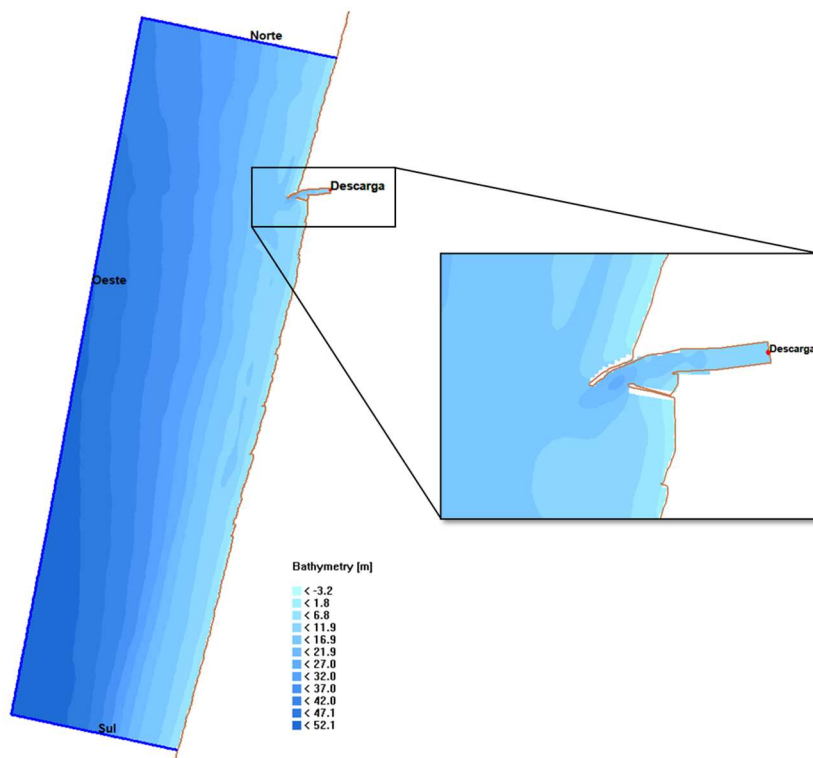


Figura 7. Localização das fronteiras abertas na malha retangular (linhas azuis) e estação onde é imposta a descarga da Ria (ponto vermelho).

A rugosidade de fundo é calculada automaticamente, em cada momento para todo o domínio, utilizando a funcionalidade *trachytopo* com a fórmula simplificada de van Rijn (van Rijn, 2007). Esta funcionalidade permite a utilização de diferentes tipos de formulações e para diferentes localizações do domínio computacional, além de considerar a variação da profundidade e o tipo de sedimentos. Foi definido um valor uniforme para a viscosidade horizontal e vertical de $10 \text{ m}^2/\text{s}$ e $1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, respetivamente. Na implementação em 3D, a turbulência considera o modelo $\kappa\text{-}\epsilon$.

4 Validação

Nesta secção serão apenas apresentados os resultados obtidos para a malha retangular, uma vez que não se obteve diferenças entre as duas malhas numéricas. Os resultados do modelo serão comparados com os dados obtidos no campo durante a experiência de traçadores, realizada em julho de 2019 e com os dados do marégrafo, disponibilizados pelo Porto de Aveiro.

Para validação do modelo, extraíram-se séries temporais em 3 pontos que correspondem à localização do marégrafo (situado no interior do canal de acesso ao porto de Aveiro), do ADCP/ADCP (instalados a cerca de 10 m de profundidade) e do PT (instalado na praia ao NMM), como representado na Figura 8. O intervalo temporal para comparação dos resultados depende do intervalo de medição dos vários instrumentos.

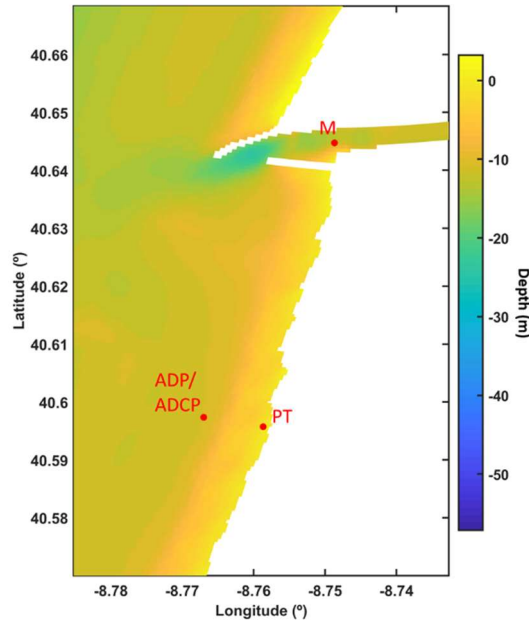


Figura 8. Localização dos instrumentos de medição utilizados para validação do modelo.

Para análise quantitativa dos resultados foram calculados os seguintes parâmetros estatísticos:

- Erro médio quadrático, RMSE (Root mean square error):

$$RMSE = \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_{i_{obs}} - x_{i_{model}})^2 \right\}^{\frac{1}{2}}$$

Onde N corresponde ao número de elementos e x_{obs} e x_{model} representam os dados observados e os dados simulados, respetivamente.

- Parâmetro Skill

$$Skill = 1 - \frac{\sum |x_{model} - x_{obs}|^2}{\sum (|x_{model} - \bar{x}_{obs}| + |x_{obs} - \bar{x}_{obs}|)^2}$$

- Bias

$$Bias = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_{i_{obs}} - x_{i_{model}})$$

- Índice de dispersão, SI (Scatter index)

$$SI = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^N \left((x_{i_{model}} - \bar{x}_{model}) - (x_{i_{obs}} - \bar{x}_{obs}) \right)^2}{\sum_{i=1}^N x_{i_{obs}}^2} \right\}^{\frac{1}{2}}$$

Onde \bar{x}_{model} e \bar{x}_{obs} correspondem à média da série simulada e observada, respetivamente.

As Figuras Figura 9 a Figura 12 apresentam a comparação das séries temporais do nível do mar medido pelos vários instrumentos com os resultados do modelo. Em geral, observa-se que o modelo reproduz bem o nível do mar para o período analisado. Verificam-se algumas diferenças na Figura 9, na comparação com os dados do marégrafo, em que o modelo sobrestima a amplitude da maré, sobretudo na baixa-mar. Por outro lado, na comparação do nível do mar com o registo do PT, que se encontra mais próximo da costa, verifica-se que o modelo tal como o instrumento, na baixa-mar ficam sem água. Na preia-mar, a diferença que se observa (o modelo subestima a altura do nível do mar) está possivelmente associada ao setup das ondas, que se poderá confirmar quando for acoplado o módulo Wave ao modelo.

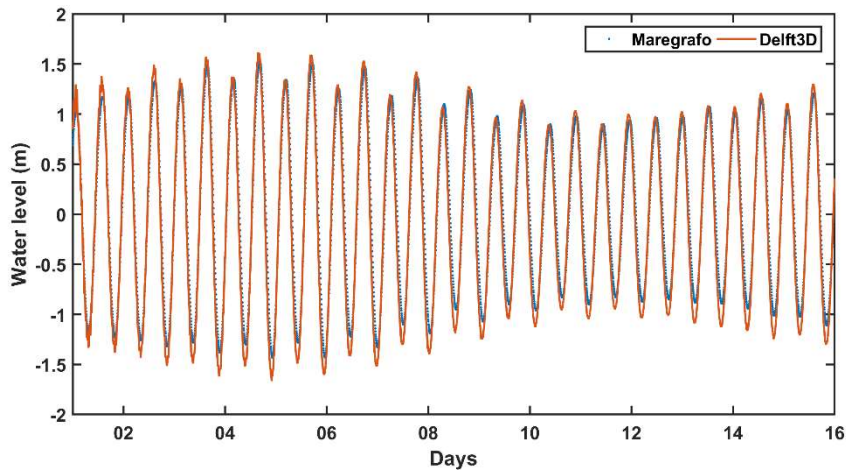


Figura 9. Comparação da série temporal do marégrafo com os resultados do modelo para o intervalo de 1 a 16 de julho de 2019.

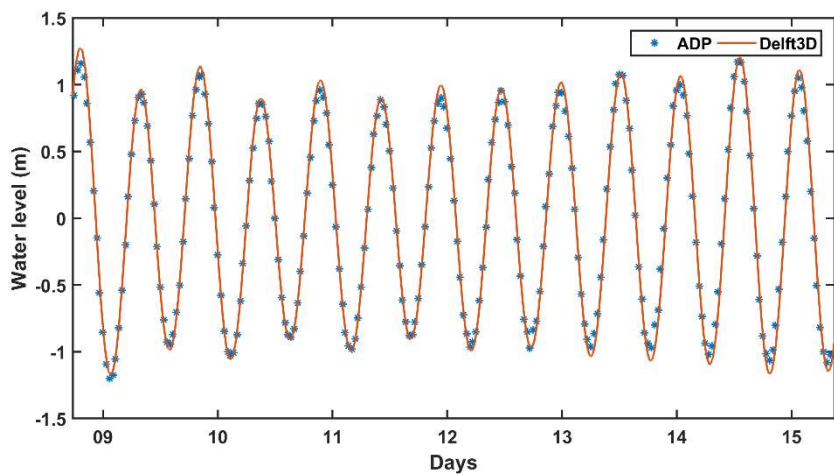


Figura 10. Comparação da série temporal do ADP com os resultados do modelo para o intervalo de 8 a 15 de julho de 2019.

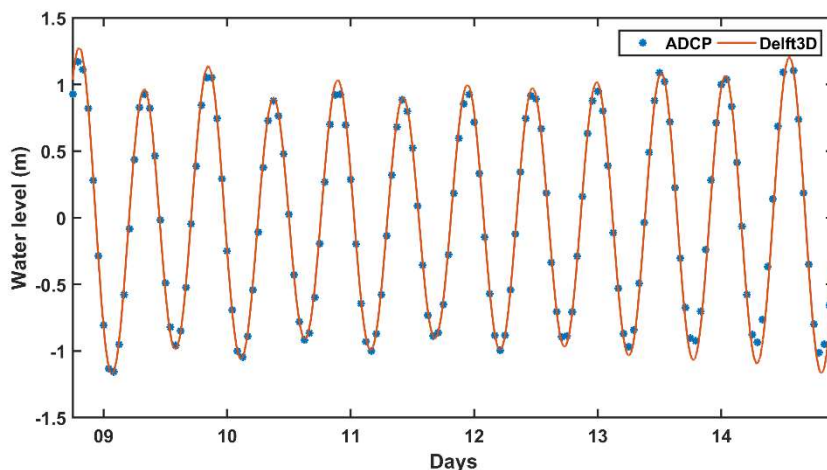


Figura 11. Comparação da série temporal do ADCP com os resultados do modelo para o intervalo de 8 a 15 de julho de 2019.

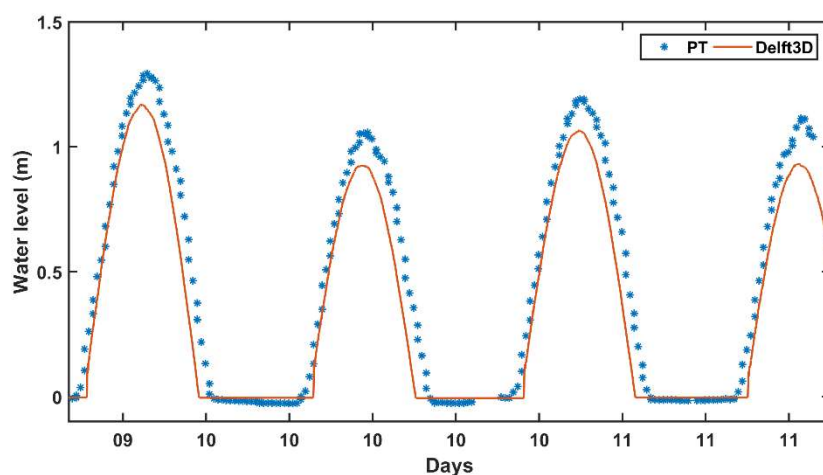


Figura 12. Comparação da série temporal do PT com os resultados do modelo para o intervalo de 8 a 11 de julho de 2019.

A Tabela IV apresenta as análises realizadas as comparações realizadas entre o modelo e os instrumentos de medida. As diferenças entre as observações e os resultados do modelo apresentam valores entre 0.064 e 0.196 m, sendo que os melhores ajustes são com os dados do ADP e do ADCP. O mesmo se conclui quando se analisa o parâmetro Skill, onde se obteve valores superiores a 0.99.

Tabela IV. Análise estatística de validação do nível do mar simulado.

	Marégrafo	ADP	ADCP	PT
RMSE (m)	0.196	0.073	0.064	0.146
Bias	0.078	-0.007	-0.002	0.113
Skill	0.987	0.997	0.998	0.972
SI	0.221	0.102	0.089	0.145

Considera-se que o modelo consegue reproduzir de forma satisfatória o nível do mar. No que diz respeito ao campo de velocidades, numa primeira análise compararam-se os valores da velocidade média calculados pelo modelo, as componentes u e v e a magnitude, com os dados registados pelo ADP. De salientar que esta implementação apenas tem a maré, logo, as

velocidades são apenas as induzidas pela maré. A Figura 13 apresenta a comparação da componente horizontal da velocidade média na coluna de água, do modelo e do ADP. O padrão das velocidades associado à propagação da maré está presente na série analisada, no entanto, a magnitude é inferior à registrada.

As Figura 14 e Figura 15 comparam a solução do modelo na configuração 3D com as medições efetuadas das componentes u e v da velocidade, na vertical. O modelo 3D descreve 12 camadas verticais e o ADP foi configurado com 25 camadas verticais. Para os dados medidos pelo ADP observa-se que, além das correntes induzidas pela maré e pelas ondas, verifica-se uma contribuição significativa do vento, sobretudo nas camadas superficiais. Os resultados do modelo subestimam as velocidades, uma vez que não incluem as correntes induzidas pelas ondas. Contudo, esta análise permite verificar a contribuição do vento nas correntes. Pelo que poderá ser uma componente a incluir no modelo.

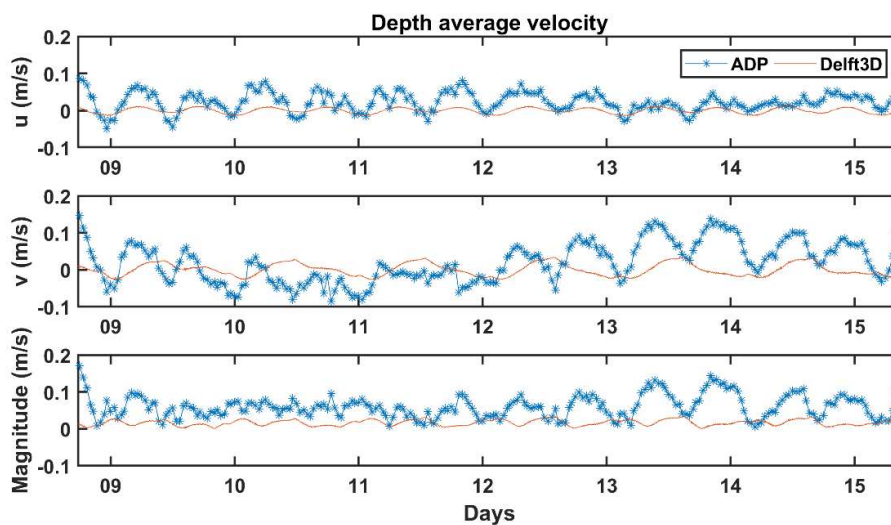


Figura 13. Comparação das componentes u e v e magnitude da velocidade horizontal, integrada na vertical, do modelo com o ADP.

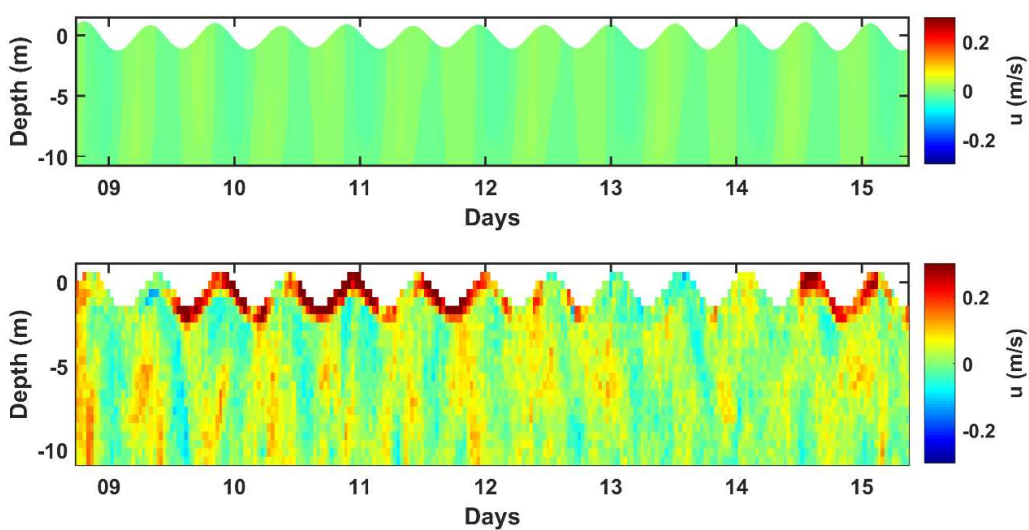


Figura 14. Comparação da componente u da velocidade, na vertical, entre o modelo (em cima) e o ADP (em baixo).

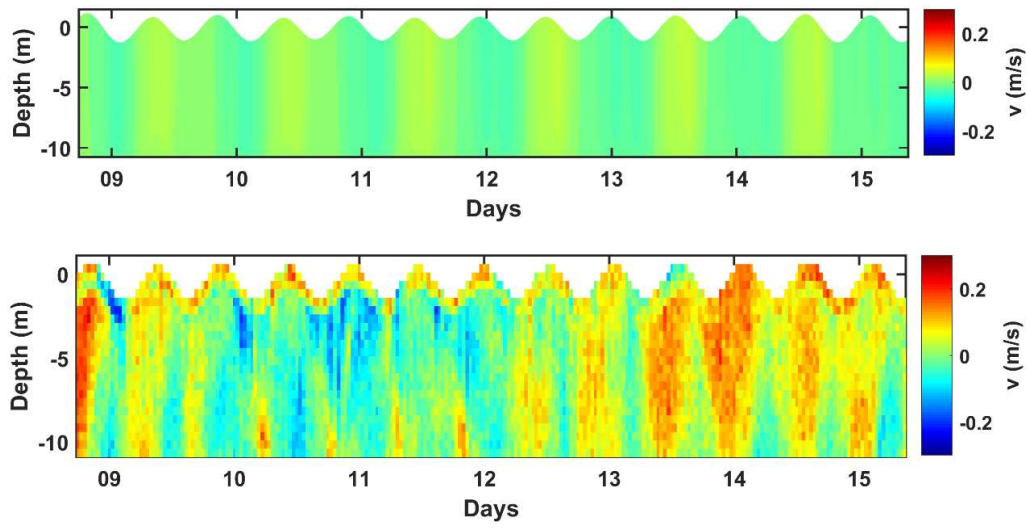


Figura 15. Comparação do componente v da velocidade, na vertical, entre o modelo (em cima) e o ADP (em baixo).

5 Conclusões

Este relatório descreveu a implementação do modelo Delft3D, nomeadamente, a componente hidrodinâmica para o litoral de Aveiro. Esta tarefa envolveu a aquisição de dados para construção das malhas batimétricas e para forçamento do modelo. A utilização dos dados topobatimétricos do programa COSMO que apresentam elevada resolução para a zona costeira permitiu criar modelos de terreno com uma boa descrição da zona de estudo e das morfologias presentes. Espera-se que estes dados sejam uma mais valia na modelação morfodinâmica da zona de estudo e na comparação com os dados de campo.

Construíram-se 2 malhas numéricas uma retangular e uma curvilínea, para avaliar a que melhor se adequa à zona de estudo. Das duas malhas construídas não se verificou, até agora diferenças nos resultados do modelo, apenas uma diferença de 1 a 2 h de tempo de corrida para 15 dias de simulação para a malha curvilínea. Possivelmente, as diferenças entre ambas serão mais significativas nas correntes e quando se acoplar o modelo de ondas.

Numa primeira fase validou-se o modelo para a elevação da superfície do mar associada a propagação da maré. Conclui-se que o modelo consegue resolver bem a propagação da maré, onde se obteve valores de RMSE entre 6 e 20 cm para os vários pontos analisados. Por outro lado, comparou-se os resultados do modelo para as velocidades com os dados obtidos durante a campanha pelo ADP e verificou-se uma contribuição importante do vento na estratificação das correntes na coluna de água. Pelo que, nas próximas tarefas ir-se-á incluir esta componente na modelação.

5.1 Trabalho futuro

As próximas tarefas a serem realizadas incluem:

- Acoplamento do modelo de ondas ao modelo hidrodinâmico
- Inclusão de dados atmosféricos, nomeadamente, o vento no forçamento do modelo
- Validação das correntes e ondas com os dados medidos pelo ADP/ADCP
- Determinação de fluxos para comparação com os dados obtidos na campanha de traçadores
- Implementação da componente de morfodinâmica.

6 Referências

- Deltares. (2018). Delft3D-Flow. In *User Manual*. Deltares.
- Egbert, G. D., & Erofeeva, S. Y. (2002). Efficient Inverse Modeling of Barotropic Ocean Tides. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 19(2), 183–204. [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(2002\)019<0183:EIMOBO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(2002)019<0183:EIMOBO>2.0.CO;2)
- Lesser, G. R., Roelvink, J. A., van Kester, J. A. T. M., & Stelling, G. S. (2004). Development and validation of a three-dimensional morphological model. *Coastal Engineering*, 51(8–9), 883–915. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2004.07.014>
- Stark, J. (2012). The influence of dredging activities on the morphological development of the Columbia River mouth. *Department of Hydraulic Engineering Section of Coastal Engineering, July 2012*, 199. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20219.62248>
- Universidade de Aveiro. (2017). *Elaboração do Estudo de Cenários de Dragagens e Locais de Deposição de Sedimentos na Embocadura da Barra do Porto da Figueira da Foz*. Relatório Preliminar. 141 pp.
- van Rijn, L. C. (2007). Unified View of Sediment Transport by Currents and Waves. I: Initiation of Motion, Bed Roughness, and Bed-Load Transport. *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(6), 649–667. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2007\)133:6\(649\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2007)133:6(649))