



universidade de aveiro
theoria poiesis praxis

<http://sandtrack.web.ua.pt>



SANDTRACK

Alimentação Artificial das Praias:
uma Metodologia Integrada de
Suporte à Gestão Litoral

Relatório de Síntese



Título

SandTrack - Alimentação Artificial das Praias: uma Metodologia Integrada de Suporte à Gestão Litoral Relatório de Síntese

Coordenadores

Paulo Alves da Silva, Joaquim Pais-Barbosa, Rui Taborda, Aurora Rodrigues, Carlos Coelho

Autores

Paulo Alves da Silva, Joaquim Pais-Barbosa, Rui Taborda, Aurora Rodrigues, Margarida Ferreira, Ana Filipa Fernandes, Daniela Rato, Soraia Romão, Carlos Coelho, João Cascalho, Sandra Silva, Tiago Abreu, Paulo Baptista, Cristina Bernardes, João Duarte, Eric Font, Angela Fontán-Bouzas, Cristina Lira, Joaquim Pombo, Mónica Ribeiro, Ana Nobre Silva, André Vinhas

Design gráfico

Maria Botelho

Impressão

Orgal Impressores

Edição

UA Editora
Universidade de Aveiro
Serviços de Biblioteca, Informação Documental e Museologia
1ª edição – Maio 2022

Tiragem

50 exemplares

ISBN

978-972-789-757-5

Depósito legal

502005/22

DOI

<https://doi.org/10.48528/ryqm-bs65>



Projeto SandTrack, PTDC/CTA-GEO/31779/2017, financiado pelo FEDER através do COMPETE2020 - Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (POCI), e por fundos nacionais (OE) através da FCT/MCTES.



Instituições apoiantes:



Índice

1.	ENQUADRAMENTO	P. 13
2.	ATIVIDADES DO PROJETO SANDTRACK	P. 15
2.1.	Campanha de Campo - 8 a 12 de julho de 2019	P. 15
2.1.1.	Introdução	P. 15
2.1.2.	Preparação dos sedimentos (traçadores fluorescentes e magnéticos)	P. 16
2.1.3.	Injeção dos traçadores e instalação de equipamentos	P. 18
2.1.4.	Medição dos parâmetros hidrodinâmicos	P. 18
2.1.5.	Medições e Amostragem	P. 19
2.1.5.1.	Amostras de Sedimento de Fundo	P. 19
2.1.5.2.	Medições do Campo Magnético	P. 21
2.1.5.3.	Medição da Concentração de Traçadores Fluorescentes	P. 23
2.2.	Modelação Numérica das Alimentações de Praia - Curto e Médio Termo	P. 24
2.2.1.	Delft3D	P. 24
2.2.2.	Definição de Cenários	P. 25
2.3.	Modelação Numérica das Alimentações de Praia - Longo Termo	P. 26
2.3.1.	LTC - Long Term Configuration	P. 27
2.3.2.	CS - Model	P. 28
3.	SÍNTESE DE RESULTADOS	P. 32
3.1.	Dinâmica Sedimentar	P. 32
3.1.1.	Parâmetros Hidrodinâmicos	P. 32
3.1.2.	Traçador Magnético	P. 35
3.1.3.	Traçadores Fluorescentes	P. 38
3.1.4.	Síntese	P. 43
3.2.	Modelação Numérica das Alimentações - Curto e Médio Termo	P. 44
3.2.1.	Validação	P. 44
3.2.2.	Cenários	P. 45
3.2.3.	Síntese	P. 47
3.3.	Modelação Numérica das Alimentações - Longo Termo	P. 47

3.3.1.	LTC - Long Term Configuration	P. 48
3.3.2.	CS - Model	P. 48
3.3.3.	Síntese	P. 50
4	PUBLICAÇÕES	P. 52
4.1.	Livros ou capítulos de livros	P. 52
4.2.	Revistas Internacionais	P. 52
4.3.	Comunicações em Encontros Científicos Internacionais	P. 53
4.4.	Comunicações em Encontros Científicos Nacionais	P. 54
4.5.	Dissertações de Doutoramento	P. 55
4.6.	Dissertações de Mestrado	P. 55
4.7.	Trabalhos de Final de Licenciatura	P. 55
4.8.	Relatórios	P. 56

Índice de Figuras

Figura 1	Área de estudo do projeto SANDTRACK.	P. 10
Figura 2	Localização dos pontos de injeção dos traçadores, da posição dos ADCP e ADP e área do levantamento topográfico no domínio intermareal; b) Sistema Inshore e c) monociclo com antena GPS	P. 16
Figura 3	Localização das amostras estudadas para caracterização dos sedimentos na Praia da Costa Nova e do depósito existente na ZALI do Porto de Aveiro	P. 17
Figura 4	Preparação dos traçadores: a) e b) fluorescentes laranja e verde; e c) magnéticos	P. 17
Figura 5	a) Equipa de mergulhadores e deposição dos traçadores b) laranja e c) magnético	P. 18
Figura 6	Deposição do traçador verde	P. 18
Figura 7	Equipamentos de medição de parâmetros hidrodinâmicos submarina: a) ADCP e b) ADP	P. 19
Figura 8	Equipamentos de medição de parâmetros hidrodinâmicos colocados na praia emersa	P. 19

Figura 9	O colhedor Petite Ponar, b - utilizado na amostragem subaquática (a) e localização das amostras na praia submarina(b) e na praia subaérea (c); fotografia de um testemunho vertical com 20 cm de comprimento. e seu seccionamento (d)	P. 20
Figura 10	Medições magnetómetro marinho (a) dia 09 de julho de 2019 (b) dia 11 de julho de 2019 e (b) dia 12 de julho de 2019	P. 21
Figura 11	Medições na praia emersa: Campo magnético – magnetómetro G858 (a, b e c) e Suscetibilidade magnética – Sensor anelar MS2D (d, e e f)	P. 22
Figura 12	Sensor MS2B	P. 22
Figura 13	Dispositivo com luz Ultravioleta para aquisição de imagem	P. 25
Figura 14	Domínios considerados na modelação nas componentes de ondas e hidrodinâmica (esquerda). Batimetria do domínio D2 com a localização dos equipamentos utilizados na validação do modelo (direita).	P. 24
Figura 15	Domínio de modelação: trecho Barra-Vagueira: linha de costa (a); batimetria e topografia - elevação em relação ao ZH (b)	P. 27
Figura 16	Identificação dos locais de deposição dos sedimentos em planta contemplados nos cenários do modelo LTC	P. 28
Figura 17	Esquema do perfil transversal de praia utilizado pelo CS-Model (adaptado de Marinho, 2018)	P. 29
Figura 18	Localização dos perfis transversais selecionados e levantamentos dos perfis transversais de praia COSMO para calibração do CS-Model no trecho costeiro Barra-Vagueira	P. 29
Figura 19	Parâmetros hidrodinâmicos medidos durante a campanha: (a) elevação da superfície livre da água, (b) a altura significativa da onda, (c) o período médio e de pico (d) a direção de propagação das ondas (e) velocidade medida junto ao fundo. As barras verticais amarelas representam os dias em que se realizaram as amostragens na praia submarina (excetua-se a de 7 de agosto) e a verde as amostragens da praia emersa	P. 33
Figura 20	Medições do sensor de pressão (PT) e do correntómetro eletromagnético (ECM) entre os dias 9 e 11 de julho: (a) H_s , (b) h , (c) V_x e V_y , (d) θ	P. 34
Figura 21	a) Campo magnético no dia 11 de julho, b) campo magnético no dia 12 de julho e c) comparação das interpolações dos dados processados dos dias 11 e 12 de julho. (os pontos de injeção do traçador magnético estão indicados a verde e a vermelho)	P. 35
Figura 22	Valores de medição da SM ($SI \times 10^{-5} / g$) em: a) amostras de referência de julho b) 9 de julho; c) 11 de julho; d)12 de julho; e) 22 de julho; f) 7 de agosto	P. 36
Figura 23	Distribuição das anomalias do campo magnético na praia emersa: a) dia 9 de julho; b) dia 10 de julho; e c) comparação entre os levantamentos de 9 e 10 de julho	P. 37

Figura 24	Distribuição espacial da concentração do traçador verde (os valores correspondem à razão entre pixéis fluorescentes e número total de pixéis de cada imagem): a) Amostragem I - 10 de julho; (04:00); b) Amostragem II - 10 de julho; (16:00) c) Amostragem III - 11 de julho; (05:00). Os pontos representam os locais das amostras	P. 39
Figura 25	Distribuição espacial da concentração (pixéis fluorescentes/pixéis totais) do traçador laranja: a) Amostragem de 09/07/2019; b) Amostragem de 11/07/2019; c) Amostragem de 12/07/2019; d) Amostragem de 07/08/2019. Os pontos representam a localização das amostras	P. 40
Figura 26	Localização dos centros de massa das amostras obtidas – Traçador Laranja	P. 42
Figura 27	Comparação dos resultados do modelo (linhas e vetores a preto) com os dados registados pelo ADCP (linhas e vetores a vermelho) para: a) o nível do mar, b) velocidade média da corrente na vertical, c) altura da onda, d) período de pico e e) direção da onda	P. 44
Figura 28	Comparação dos resultados do modelo (linhas e vetores a preto) com os dados registados (linhas e vetores a vermelho): a) elevação da superfície livre (PT); b) velocidade média da corrente (ECM). O período temporal de comparação é desde as 12h do dia 9 de julho de 2019 e as 12h do dia 11 de julho de 2019	P. 45
Figura 29	Batimetrias de a) referência e b) da alimentação e c) diferença entre ambas. Resultados do modelo para o cenário C1 para d) - f) a altura da onda e g) - i) transporte sedimentar total. O polígono a tracejado preto corresponde ao local da alimentação e as linhas a cinzento são as isóbatas. As diferenças correspondem à diferença entre os valores calculados com alimentação e a situação de referência	P. 46
Figura 30	Resultados das simulações dos cenários considerados - modelo LTC	P. 48
Figura 31	Evolução dos parâmetros morfológicos dos perfis transversais, para os diferentes cenários de deposição no perfil (Duna, Praia ou Barra); (a, b) Posição do pé da duna do lado de mar (YS); (c) Posição da berma (YB); (d, e) Largura da berma	P. 49

Índice de Tabelas

Tabela 1	Estados de mar representativos da costa portuguesa considerados nos cenários a simular (IH, 1990)	P. 25
Tabela 2	Cenários considerados nas simulações do modelo LTC. O cenário de referência está indicado a amarelo	P. 28
Tabela 3	Cenários considerados nas simulações do CS - Model. O cenário de referência está indicado a amarelo	P. 30
Tabela 4	Estimativa das taxas de transporte dos traçadores fluorescentes	P. 42



SANDTRACK



SUMÁRIO



Parceria

SANDTRACK - Alimentação artificial das praias: uma metodologia integrada de suporte à gestão litoral, POCI-01-0145-FEDER-031779

O Projeto SANDTRACK - Alimentação artificial das praias: uma metodologia integrada de suporte à gestão litoral, POCI-01-0145-FEDER-031779, foi realizado por três instituições de referência no panorama da investigação e inovação em Portugal, na área do mar e das zonas costeiras: a Universidade de Aveiro, instituição proponente, através do Laboratório Associado Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM) e da Unidade de Investigação Riscos e Sustentabilidade na Construção (RISCO), a Faculdade de Ciências de Universidade de Lisboa, através do Laboratório Associado Instituto Dom Luiz (IDL), e o Instituto Hidrográfico. Estas instituições, têm grande experiência em estudos no ambiente marinho e costeiro nos domínios da dinâmica costeira e sedimentar, da oceanografia e da morfologia de zonas costeiras arenosas.

Objetivos Principais

A alimentação artificial de praias representa uma intervenção de defesa costeira baseada na natureza e eficaz contra a erosão costeira que, em princípio, preserva os valores recreativos da praia. Para ser eficiente, a alimentação artificial deve, no entanto, ser projetada de acordo com os processos que determinam a sua evolução espaço-temporal. É precisamente neste desiderato que se enquadra a linha de investigação do projeto SANDTRACK, contribuindo para a otimização das intervenções de alimentação artificial e para uma gestão mais eficiente da zona costeira.

O projeto SANDTRACK teve como objetivo principal o desenvolvimento de uma abordagem multidisciplinar inovadora, que combinou o uso de traçadores fluorescentes e magnéticos com a modelação numérica a curto, médio e longo termo, para quantificar o transporte de sedimentos e cujos resultados permitem melhorar a eficácia das alimentações artificiais efetuadas na zona submersa da praia.

Neste relatório é apresentada uma sùmula das atividades desenvolvidas e uma síntese dos resultados obtidos ao longo do projeto, que decorreu entre agosto de 2018 e fevereiro de 2022.

Área de Estudo

A área de estudo, localizada no distrito de Aveiro (Figura 1), compreende um sistema de praia-duna de baixa altitude que se estende desde a embocadura da Ria de Aveiro até à Praia da Vagueira. Este trecho costeiro, com uma extensão de 9 km, tem orientação NNE-SSW, e pertence à célula costeira 1 (sub-célula 1b), de acordo com a classificação estabelecida por Santos *et al.* (2017). Nesta área existem várias obras de defesa costeira, contando-se 6 esporões e 2 estruturas longitudinais aderentes, sendo frequentes as alimentações artificiais realizadas numa tentativa de estabilizar a posição da linha de costa e reduzir a vulnerabilidade em galgamento/inundação da praia (Pinto *et al.*, 2018).



Figura 1 - Área de estudo do projeto SANDTRACK.

Estes processos derivam do grau de exposição deste troço costeiro aos efeitos dos agentes oceanográficos, sendo de destacar a agitação marítima e a maré. O clima de agitação ao largo da costa de Aveiro caracteriza-se por uma altura significativa média das ondas (H_s) de 2,36 m, com um valor médio mensal de 1,77 m durante o verão e de 3,04 m durante o inverno (Silva *et al.*, 2020). O período de pico médio (T_p) é de 10,7 s, variando entre 8,7 e 12,3 s durante o verão e inverno, respetivamente. A direção média da onda é predominantemente de NW (71%), com um valor médio de 310,5° e valor médio mensal a variar entre 298° e 324°. O número de tempestades ($H_s > 4,5$ m) é, em média, de 15 por ano, com duração média de 27 horas e valor médio de $H_{smax} = 5,6$ m. As marés são semi-diurnas, variando de 1,2 m a 3,6 m durante as marés mortas e vivas, respetivamente.



Referências

Pinto, C.A., Silveira, T.M., Teixeira, S.B. (2018). Alimentação artificial de praias na faixa costeira de Portugal Continental: Enquadramento e retrospectiva das intervenções realizadas (1950-2017). Relatório Técnico. Agência Portuguesa do Ambiente. 60p.

Santos, F.D., Lopes, A. M., Moniz, G., Ramos, L., Taborda, R. (2017). Grupo de Trabalho do Litoral: Gestão da Zona Costeira: O desafio da mudança. Filipe Duarte Santos, Gil Penha-Lopes e António Mota Lopes (Eds.), Lisboa. 396p. ISBN: 978-989-99962-1-2.

Silva, P. A., Monteiro, N., Oliveira, T., Abreu, T., Coelho, C., Lima, M., Carvalho, R. (2021). Estudo de Viabilidade da Transposição Aluvionar das Barras de Aveiro e da Figueira da Foz. Relatório Intercalar 2. Tarefa 3 – Aveiro. Agência Portuguesa do Ambiente. 65p.





1

ENQUADRAMENTO.

Alimentação Artificial das Praias:
Uma Metodologia Integrada de Suporte à Gestão Litoral



1. Enquadramento

A quantificação das variações morfo-sedimentares em intervenções de alimentação artificial é, numa abordagem clássica, realizada através de levantamentos topo-batimétricos. No entanto, a baixa resolução temporal desses levantamentos tem dificultado a descrição das mudanças que ocorrem na praia e a compreensão dos processos de transporte sedimentar que determinam a sua evolução.

A utilização de traçadores sedimentares para avaliar o transporte sedimentar é considerada uma ferramenta complementar valiosa, mas apresenta algumas desvantagens relacionadas com logística e métodos de amostragem. Por outro lado, a complexidade dos processos físicos nas zonas costeiras (associados à transformação das ondas), bem como as alterações morfológicas que ocorrem a pequenas escalas de tempo e determinam o perfil da praia, e a longo termo, que determinam a evolução da linha de costa, dificultam a previsão precisa da evolução das alimentações de praia com modelos numéricos morfodinâmicos existentes.

O projeto SANDTRACK desenvolveu uma abordagem multidisciplinar inovadora, combinando o uso de traçadores fluorescentes e magnéticos com a modelação numérica, para quantificar o transporte de sedimentos e melhorar a eficiência das alimentações artificiais efetuadas na zona submersa da praia. A medição das anomalias magnéticas geradas por traçadores magnéticos não requer *a priori* o acesso a amostras reais, o que apresenta uma vantagem considerável sobre a utilização dos traçadores fluorescentes.

A metodologia do projeto SANDTRACK assentou em:

- i. avaliar as taxas de transporte de sedimentos na zona de estudo usando traçadores magnéticos e traçadores fluorescentes;
- ii. aplicar o modelo morfodinâmico DELFT3D, o modelo de evolução da linha de costa - LTC e o modelo de evolução do perfil transversal CS-Model, para melhor compreender a dinâmica sedimentar da zona de estudo e descrever a evolução de alimentações de praia em diferentes cenários conceptuais a diferentes escalas temporais.

Nesta medida, o projeto foi estruturado em 5 atividades:

- **ATIVIDADE 1.** Componente de laboratório e preparação dos traçadores;
- **ATIVIDADE 2.** Programa de monitorização: Fase 1 - Testes de campo;
- **ATIVIDADE 3.** Programa de monitorização: Fase 2 - Processamento de dados;
- **ATIVIDADE 4.** Morfodinâmica das alimentações de praia;
- **ATIVIDADE 5.** Modelação numérica da evolução da linha de costa em cenários de alimentação.

Os resultados do projeto foram divulgados, através da criação de uma página (<http://sandtrack.web.ua.pt/pt>) e das publicações apresentadas na secção 4 do presente relatório.



2

ATIVIDADES DO PROJETO SANDTRACK.

Alimentação Artificial das Praias:
Uma Metodologia Integrada de Suporte à Gestão Litoral



2. Atividades do Projeto Sandtrack

2.1. Campanha de Campo - 8 a 12 julho de 2019

2.1.1. Introdução

No âmbito das Atividades 1, 2 e 3 do projeto, foi realizada uma campanha de campo conjunta entre o CESAM / RISCO & Universidade de Aveiro (UAveiro), IDL & Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL) e o Instituto Hidrográfico (IH) na Praia da Costinha, localizada 1,5 km a sul da praia da Costa Nova, entre os dias 8 e 12 de julho de 2019. Esta campanha teve como objetivo a recolha de um conjunto de dados para:

- Avaliar a deslocação espaço-temporal de areias marcadas com traçadores magnéticos e fluorescentes e as taxas de transporte correspondentes;
- Caracterizar o transporte sedimentar nas direções transversal e longitudinal no perfil ativo de praia, em especial as trocas sedimentares entre os domínios submarino e subaéreo da praia;
- Validar a metodologia desenvolvida para a deteção dos traçadores magnéticos.

A campanha consistiu na colocação de traçadores magnéticos e fluorescentes, em dois locais da praia (Figura 2a): na praia submarina – traçador laranja e traçador magnético, e na zona intermareal – traçador verde. Posteriormente, foram colhidas amostras de areia de fundo, e feitas medições do campo magnético e da suscetibilidade magnética de modo a avaliar a evolução espaço-temporal dos traçadores. Foram também efetuadas medições da agitação marítima e das correntes utilizando diferentes equipamentos oceanográficos, bem como realizados 4 levantamentos topográficos do domínio subaéreo com recurso ao sistema Inshore (Baptista *et al.*, 2011) e GPS RTK (Figura 2b, 2c).

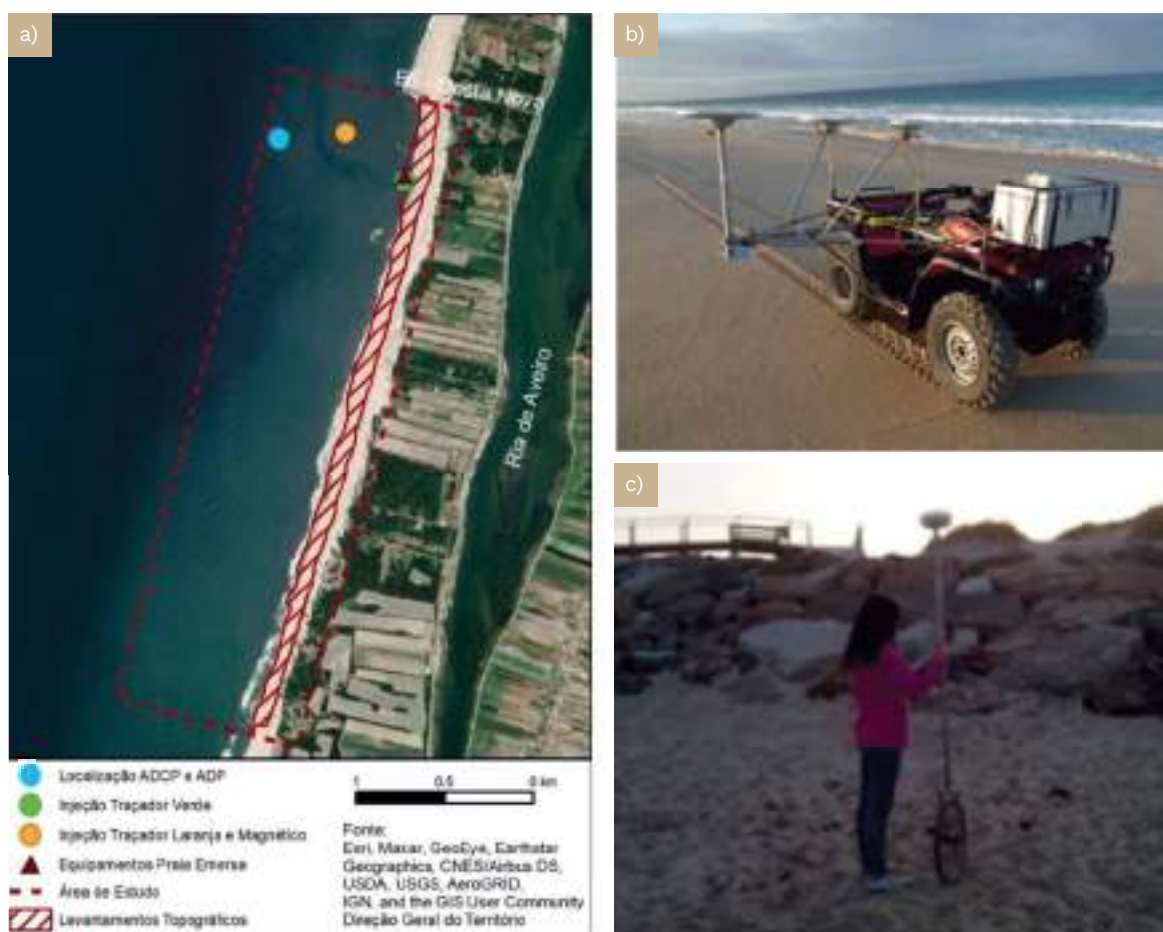


Figura 2 - a) Localização dos pontos de injeção dos traçadores, da posição dos ADCP e ADP e área do levantamento topográfico no domínio intermareal; b) Sistema Inshore e c) monociclo com antena GPS.

2.1.2. Preparação dos Sedimentos (Traçadores Fluorescentes e Magnéticos)

Os traçadores foram preparados com inertes à data existentes na Zona de Atividades Logísticas e Industriais (ZALI) do Porto de Aveiro. Antes da campanha foi efetuada uma análise textural dos sedimentos, através da realização de ensaios granulométricos, com o objetivo de avaliar e comparar a textura das areias existentes na ZALI com os sedimentos da praia da Costa Nova, local da experiência de traçadores (Figura 3).

A comparação entre os sedimentos amostrados revelaram que, do ponto de vista textural, as duas amostras eram similares, apesar dos sedimentos do depósito do Porto de Aveiro apresentarem em geral uma fração grosseira mais significativa, provavelmente por resultarem das dragagens do canal da ria de Aveiro.





Figura 3 - Localização das amostras estudadas para caracterização dos sedimentos na Praia da Costa Nova e do depósito existente na ZALI do Porto de Aveiro.

Nessa medida, um total de 2,5 toneladas de sedimento retirado do depósito Porto de Aveiro foi marcado da seguinte forma: 1 tonelada de sedimento foi pintado com tinta fluorescente laranja, 0,5 toneladas com tinta fluorescente verde e 1 tonelada com tinta magnética.

O processo de marcação do sedimento com as diferentes tintas foi efetuado com o recurso a três betoneiras (Figura 4). A marcação com tinta fluorescente teve em consideração a pesagem de vários volumes de sedimento com 50 kg. Cada volume foi colocado numa betoneira juntamente com 0,8 L de tinta fluorescente (ATOMLAC) e 1,2 L de diluente. Já na marcação do sedimento com tinta magnética teve em conta a pesagem de uma massa 60 kg, que foi colocada numa betoneira, adicionando-se 3,6 litros de tinta magnética (ALP). A adição das tintas fluorescentes e magnética, foi realizada lentamente, para garantir a eficiência do processo de mistura e evitar a formação de agregados.



Figura 4 - Preparação dos traçadores: a) e b) fluorescentes laranja e verde; e c) magnéticos.

2.1.3. Injeção dos Traçadores e Instalação de Equipamentos

Os sedimentos marcados com tinta fluorescente cor de laranja e com tinta magnética foram colocados na manhã do dia 9 de julho de 2019, a uma profundidade de 6 m (NMM), em duas zonas contíguas cada uma com dimensões 6×5×0,02 m, delimitadas com perfis de alumínio, por uma equipa de mergulhadores profissionais (Xavisub) (Figura 5; http://sandtrack.web.ua.pt/pt/trabalho%20de%20campo/Espalhamento_Areia_Marcada.mp4). Foram depositados:

- 1 000 kg de traçador fluorescente laranja (TRL); e
- 1 000 kg de traçador magnético (TRM)

que corresponde a um volume de 0,63 m³ cada, considerando uma porosidade de 0,4 e densidade 2 650 kg/m³.



Figura 5 - a) Equipa de mergulhadores e deposição dos traçadores b) laranja e c) magnético.

O traçador verde foi colocado na zona entre marés à cota 0 m (NMM), na tarde do dia 9 de julho de 2019, numa área correspondente a um polígono com dimensões 2×3×0,075 m (a altura da zona de injeção variou entre 5 e 10 cm) (Figura 6). Nesta posição foram depositados:

- 500 kg de traçador fluorescente verde (TRV)

que corresponde a um volume de 0,31 m³, considerando uma porosidade de 0,4 e uma densidade de 2 650 kg/m³.



Figura 6 - Deposição do traçador verde.

2.1.4. Medição dos Parâmetros Hidrodinâmicos

Na praia submarina, a uma profundidade de cerca de 10 m (NMM), foram colocados um ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) - RDI WorkHorse Sentinel 1 200 kHz - (Figura 7a; http://sandtrack.web.ua.pt/pt/trabalho%20de%20campo/Instalacao_Correntometros.mp4) e um ADP (Acoustic Doppler Profiler) - SONTEK (Figura 7b; http://sandtrack.web.ua.pt/pt/trabalho%20de%20campo/Instalacao_Correntometros.mp4). Estes equipamentos foram instalados em estruturas rígidas fundeadas no dia 8 de julho às 15h00.



Figura 7 - Equipamentos de medição de parâmetros hidrodinâmicos submarina: a) ADCP e b) ADP.

Numa estrutura instalada na praia emersa foram colocados, no dia 9 julho às 16h00, dois sensores de pressão PT (modelo *Level Troll 400*) e um correntómetro eletromagnético *Infinity ECM* (Figura 8).



Figura 8 - Equipamentos de medição de parâmetros hidrodinâmicos colocados na praia emersa.

2.1.5. Medições e Amostragem

2.1.5.1 Amostras de Sedimento de Fundo

Nos dias subsequentes à injeção dos traçadores, foram efetuadas colheitas de amostras de sedimento, ao longo de toda a área de estudo. Na secção submarina da praia, a colheita foi realizada a bordo da embarcação *Nereide* (CESAM) e da embarcação salva-vidas (ISN), utilizando um colhedor *Petite Ponar* (Figura 9a). No total, foram executadas 5 campanhas de amostragem, entre 9 de julho e 7 de agosto, tendo sido obtidas 111 amostras de sedimentos de fundo (Figura 9b).

Na praia emersa, foram colhidas 334 amostras de sedimentos em 3 campanhas realizadas nas três baixa-mar seguintes à colocação de traçador, estando distribuídas ao longo de 21 perfis perpendiculares à linha de costa (Figura 9c). A malha de amostragem variou entre 25 m de espaçamento, entre os perfis próximos ao ponto de injeção, acabando por se tornar mais espaçada com intervalos de 50 m, 100 m e 500 m nos perfis de amostragem mais afastados. Ao longo de um perfil as amostras foram colhidas com intervalos de 15 m desde a cabeça do perfil até aos 60 m. Em cada ponto de amostragem foi colhido um testemunho vertical de cerca de 20 cm de comprimento, posteriormente segmentado em intervalos de 5 cm (Figura 9d).



Figura 9 – a) Colhedor Petite Ponar utilizado na amostragem subaquática; b) Localização das amostras na praia submarina; c) Praia subaérea; d) Fotografia de um testemunho vertical com 20 cm de comprimento e seu sectionamento

2.1.5.2. Medições do campo magnético

Após a colocação do traçador magnético foram realizadas medições do campo magnético e da suscetibilidade magnética para validação da metodologia utilizada na detecção do traçador magnético. A suscetibilidade magnética foi também medida nas amostras de sedimento colhidas durante a campanha.

Na praia submarina, a medição do campo magnético foi realizada com recurso ao magnetómetro marinho de precessão protónica, de efeito *Overhauser*, *SEASPY da Marine Magnetics*, rebocado a partir de um bote. As medições foram registadas em modo contínuo, a uma taxa de 1 Hz, em perfis paralelos à linha de costa, antes e após a colocação do traçador, totalizando 29 fiadas (Figura 10a, 10b e 10c).

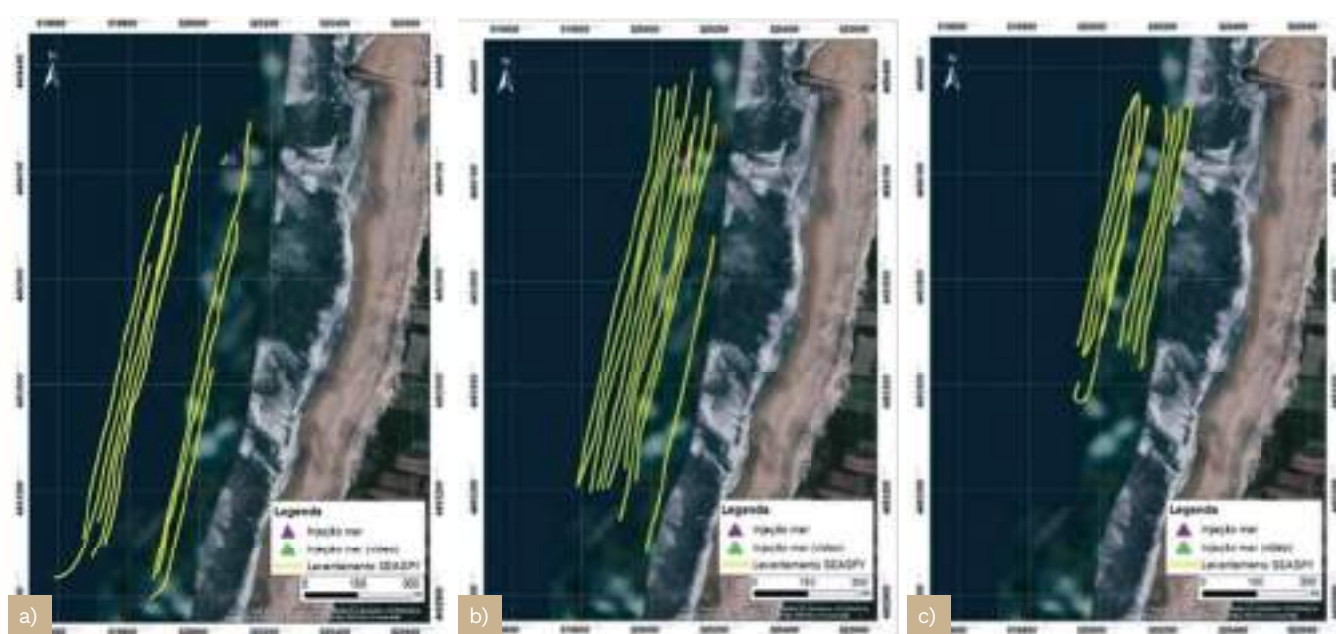


Figura 10 – Medições magnetómetro marinho (a) dia 09 de julho de 2019 (b) dia 11 de julho de 2019 e (c) dia 12 de julho de 2019.

A medição do campo magnético na praia emersa foi efetuada, durante as baixa-mar diurnas, com o magnetómetro terrestre de vapor de Césio G858 em modo contínuo a uma taxa de 1 Hz, em perfis paralelos à linha de costa (Figura 11a, 11b e 11c). Estas medições foram complementadas com medições da suscetibilidade magnética com o sensor anelar MS2D (Figura 11d, 11e, 11f).

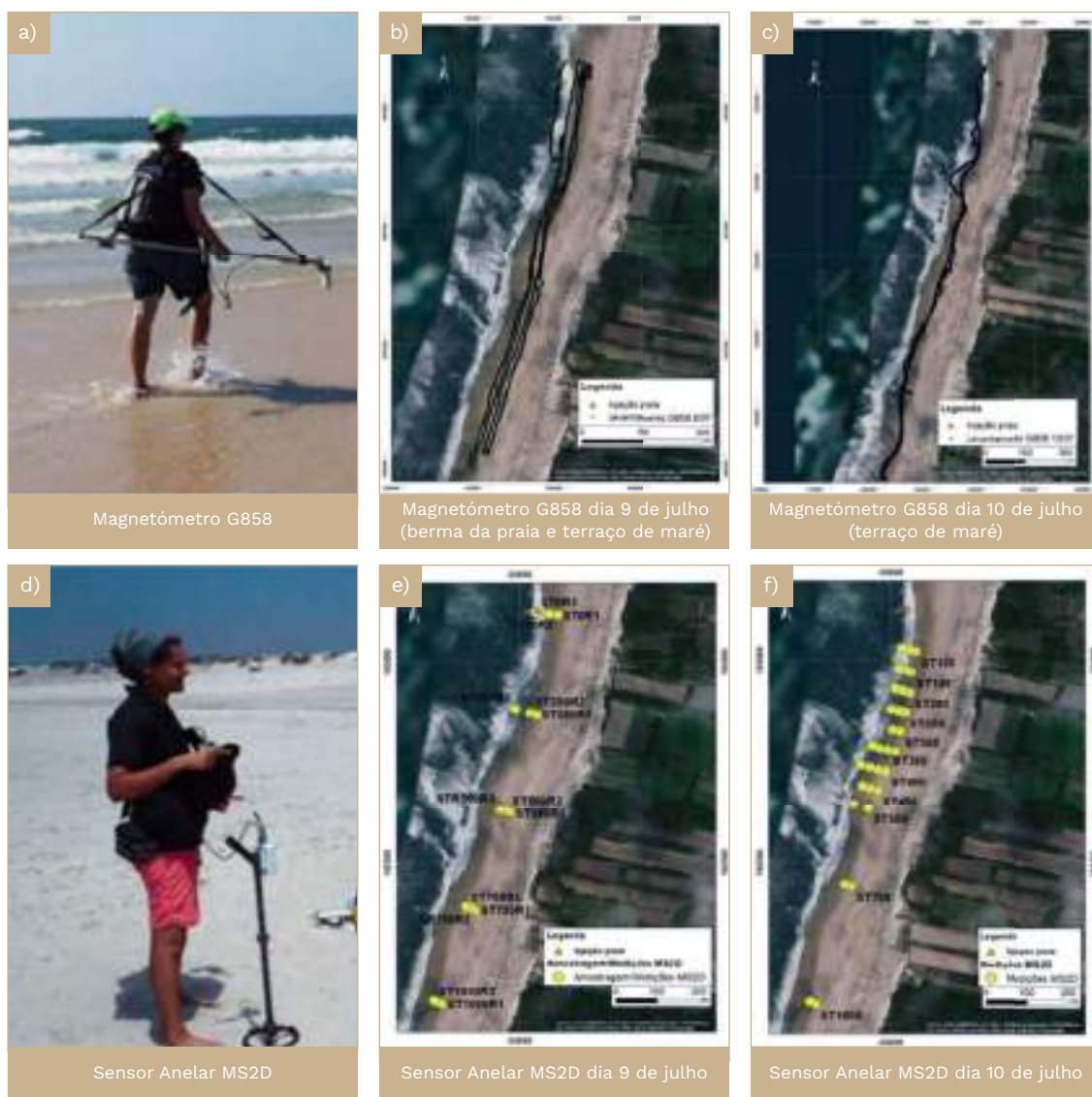


Figura 11 – Medições na praia emersa: Campo magnético – magnetómetro G858 (a, b e c) e Suscetibilidade magnética – Sensor anelar MS2D (d, e e f).

Para aferir as medições efetuadas com os sensores anteriores, foi medida a suscetibilidade magnética de amostras de sedimento colhidas nos setores emerso e submerso da praia, utilizando o sensor MS2B (Figura 12).



Figura 12 – Sensor MS2B



2.1.5.3. Medição da Concentração de Traçadores Fluorescentes

As amostras de sedimentos colhidas na praia emersa e submarina foram processadas em laboratório. Este processamento inclui a sua lavagem com água doce, secagem durante 48 horas numa estufa a 60° C. Posteriormente, todas as amostras foram pré-visualizadas com luz ultravioleta para se detetar a presença de partículas de traçador fluorescente. As amostras que revelaram a presença de traçador foram fotografadas à luz UV (Figura 13), e, cada imagem obtida foi analisada em MATLAB, utilizando o programa *SedPhoto.m* (<http://sandcode.rd.ciencias.ulisboa.pt/ImageAnalysis.html>) para identificar, contar e calcular a concentração de partículas fluorescentes em cada amostra de sedimento.

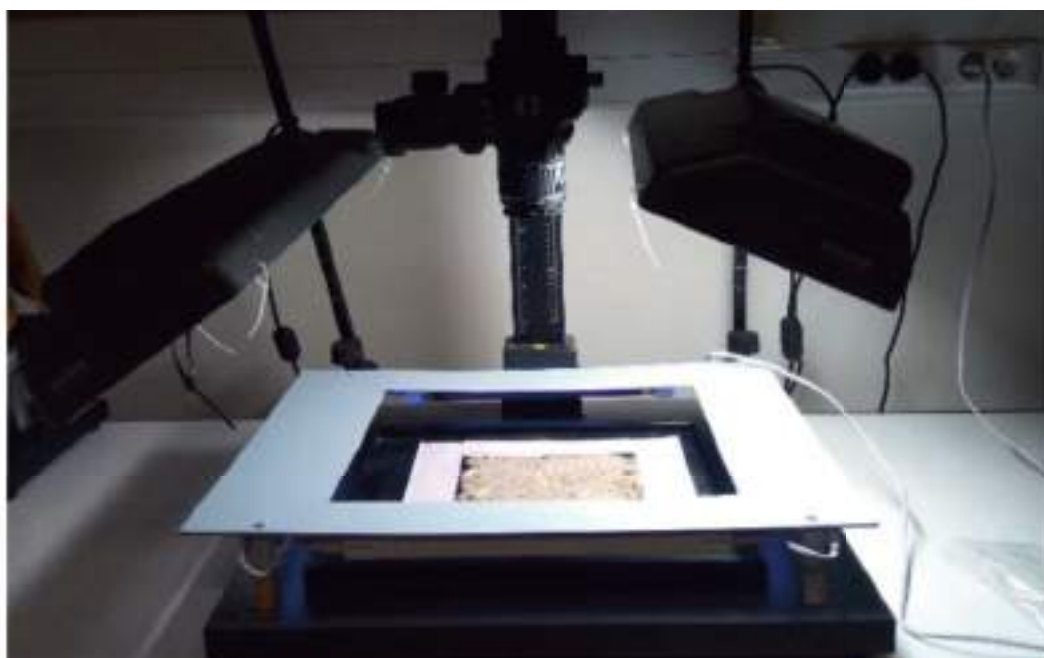


Figura 13 – Dispositivo com luz Ultravioleta para aquisição de imagem.

Referências

- Baptista, P., Bernardes, C., Cunha, T.R. 2011. The validation analysis of the INSHORE system - a precise and efficient coastal survey system. *Environmental Monitoring Assessment* 179, 589- 604. doi: 10.1007/s10661-010-1765-0.

2.2. Modelação Numérica das Alimentações de Praia - Curto e Médio Termo

A modelação numérica da evolução morfológica de alimentações de praia a curto e médio termo (dias a meses) foi desenvolvida no âmbito da Atividade 4 tendo como base o modelo Delft3D. Inicialmente implementou-se o modelo na zona de estudo, definiram-se os dados de entrada para forçamento do modelo e efetuou-se a sua calibração e validação através da comparação com os dados recolhidos na campanha de campo. Posteriormente, numa segunda fase, definiram-se os cenários e analisaram-se as soluções do modelo tendo em vista uma melhor compreensão da evolução das alimentações artificiais na praia submarina do litoral de Aveiro.

2.2.1. DELFT3D

O modelo Delft3D (Deltares, 2018) é um conjunto de módulos que permitem simular a 2D e 3D processos hidro e morfodinâmicos relacionados com o transporte sedimentar.

O modelo resolve as equações de Navier Stokes para um fluido incompressível, considerando os pressupostos de águas pouco profundas e de Boussinesq (módulo FLOW). A componente de ondas é simulada pelo módulo WAVE, que calcula a altura significativa das ondas, período, direção de propagação e as correntes induzidas pelas ondas. Na componente morfodinâmica é calculado o transporte sedimentar por diferentes formulações e feita a atualização da batimetria do fundo. Este módulo corre acoplado ao módulo hidrodinâmico FLOW.

A Figura 14 representa a malha computacional considerada na qual foi projetada a batimetria compilada com base:

- (i) no levantamento topo-batimétrico do Programa COSMO da Agência Portuguesa do Ambiente (APA) para a praia emersa e praia submarina até aos 12 m de profundidade de junho de 2019 (<https://cosmo.apambiente.pt/data>);
- (ii) na batimetria adquirida pela Universidade de Aveiro (UA) em 2015, que permite colmatar a lacuna do levantamento costeiro do COSMO entre o Areão e Poço da Cruz;
- (iii) nos dados batimétricos da EMODNET (versão de 2018) para as zonas mais profundas.

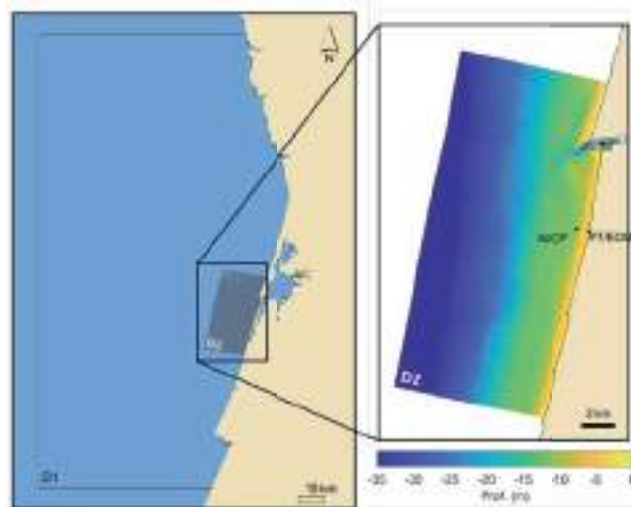


Figura 14 – Domínios considerados na modelação nas componentes de ondas e hidrodinâmica (esquerda). Batimetria do domínio D2 com a localização dos equipamentos utilizados na validação do modelo (direita).

O **módulo FLOW** do modelo DELFT3D foi forçado nas fronteiras abertas oceânicas com a maré e, na secção da embocadura da Ria de Aveiro, com o caudal da mesma. A condição de maré é proveniente do modelo global de maré TPXO (Egbert e Erofeeva, 2002). A descarga da Ria de Aveiro considerada é proveniente do modelo hidrodinâmico MOHID, implementado em modo operacional pela HIDROMOD (hidromod.com) para a Ria de Aveiro. Para o forçamento atmosférico do modelo consideram-se as componentes u e v do vento e a pressão atmosférica ao nível médio do mar do modelo WRF de 12 km, disponibilizados pela MeteoGalicia (www.meteogalicia.gal). O modelo hidrodinâmico corre em 3D com 12 camadas verticais, com maior resolução junto ao fundo e à superfície.

O **módulo WAVE** é composto por duas malhas batimétricas, de acordo com a Figura 14. O domínio D1 tem uma resolução espacial de 1 km e o domínio D2, que corresponde à malha utilizada no módulo FLOW, tem uma resolução espacial variável, desde 25 m junto à costa a 200 m junto das fronteiras abertas. As condições de onda que forçam o modelo são provenientes do modelo de ondas global de reanálises do *Copernicus Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS).

Na componente do transporte sedimentar e morfodinâmica foi considerada a formulação de transporte de van Rijn (2007), que utiliza a assimetria onda determinada pela formulação de Isobe e Horikawa (1982). As características do sedimento correspondem às dimensões da areia utilizada para os traçadores ($D_{50} = 294 \mu\text{m}$, $D_{90} = 472 \mu\text{m}$ e $D_{10} = 184 \mu\text{m}$).

O modelo foi validado com os dados hidrodinâmicos adquiridos durante a campanha de campo. Os dados medidos pelo ADCP permitiram validar as ondas (altura significativa, período de pico e direção), o nível do mar e as correntes ao longo da coluna de água, para o intervalo temporal de 8 a 15 de julho de 2019. Próximo da costa, na zona intermareal, os dados registados pelo PT e pelo ECM permitiram validar os resultados numéricos da elevação da superfície livre e das correntes, respetivamente. Neste caso, a validação foi efetuada para 4 ciclos de maré entre 9 e 11 de julho de 2019.

2.2.2. Definição de Cenários

As simulações realizadas com o modelo Delft3D consideraram, como exemplo, a alimentação artificial realizada na Costa Nova entre junho e setembro de 2020 (Mendes *et al.*, 2021; Pinto *et al.*, 2022). Esta intervenção incluiu a deposição de $2,2 \times 10^6 \text{ m}^3$ de sedimentos na praia submarina entre 4 e 8 m (ZH), do que resultou um aumento do nível médio do fundo de 3 a 4 m. Estudou-se o efeito desta alimentação artificial nos campos de ondas, correntes e de transporte sedimentar para 5 estados de mar característicos da costa ocidental portuguesa, apresentados na Tabela 1. Para tal, compararam-se os resultados das simulações para uma situação de referência, sem a alimentação, com os obtidos após a alimentação. Os dados batimétricos que caracterizam a situação de referência correspondem aos do levantamento do COSMO de junho de 2020 e para a situação com a alimentação considerou-se o levantamento do Porto de Aveiro de setembro de 2020 na zona do vazadouro.

Tabela 1 – Estados de mar representativos da costa portuguesa considerados nos cenários a simular (IH, 1990).

Cenário	Estado de mar	H_s (m)	T_p (s)	Rumo ($^\circ$)
C1	Mar de Noroeste	2.5	9	315
C2	Mar de Sudoeste	4	10	225
C3	Mar de Oeste	8	16	270
C4	Mar de Fora	2	14	315
C5	Mar Banzeiro	0.5	6	293

Referências

- IH (1990). Roteiro da Costa de Portugal. 2a. Lisboa: Instituto Hidrográfico.
- 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).
- Isobe, M. & Horikawa, K. (1982). Study on water particle velocities of shoaling and breaking waves. *Coastal Engineering in Japan* 25:109–123.
- Mendes, D., Pais-Barbosa, J., Baptista, P., Silva, P.A., Bernardes, C., Pinto, C. (2021). Beach Response to a Shoreface Nourishment (Aveiro, Portugal). *J. Mar. Sci. Eng.*, 9, 1112. <https://doi.org/10.3390/jmse9101112>
- Pinto, C., Taborda, R., Andrade, C., Baptista, P., Silva, P.A., Mendes, D., Pais-Barbosa, J. (2022). Morphological development and behaviour of a shoreface nourishment in the Portuguese western coast, *J. Mar. Sci. Eng.*, 10, 146. <https://doi.org/10.3390/jmse10020146>
- 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.
- Deltares (2018). Delft3D-Flow. In User Manual. Deltares.

2.3. Modelação Numérica das Alimentações de Praia - Longo Termo

A modelação numérica das alimentações artificiais de praia a longo termo foi desenvolvida no âmbito da Atividade 5 e teve como principal objetivo avaliar a evolução de alimentações artificiais em diferentes cenários. Os cenários contemplaram diferentes volumes, frequência e localização das alimentações artificiais. Em cada caso, foram calculados os valores de diferentes indicadores para a evolução da posição da linha de costa e do perfil transversal, e através da sua tendência foi avaliada a eficácia das alimentações artificiais conceptualizadas.

Foram aplicados dois modelos:

- o modelo numérico de evolução da posição da linha de costa - LTC - *Long Term Configuration* (Coelho, 2005)
- o modelo de evolução do perfil transversal de praia CS – *Model* (Larson et al., 2016).

Foi também desenvolvido um método que integra de modo automático, os efeitos relacionados com a subida do nível médio da água do mar, alimentações artificiais de sedimentos e efeitos do transporte sólido longitudinal na evolução da morfologia dos perfis transversais de praia, representados no CS-Model (Larson et al., 2016).

Os modelos numéricos utilizados passaram por um processo de configuração do domínio de cálculo e dos perfis transversais tipo, e pela definição do clima de agitação. Os modelos foram calibrados e validados mediante a comparação com dados de recuo da linha de costa reportados em Lira et al., (2016) e dados de alimentação artificial descritos em Pinto et al. (2018) - Modelo LTC - e através da comparação da evolução dos parâmetros morfológicos dos perfis transversais (posição do pé da duna

do lado do mar, posição da berma e largura da berma) da praia da Costa Nova e da praia da Vagueira, com recurso a levantamentos realizados entre 07/08/2018 e 28/10/2019, no âmbito do programa COSMO (2020) - CS-Model. As simulações avaliaram um total de 10 cenários de alimentação artificial de sedimentos, para um período de 30 anos.

2.3.1. LTC - Long Term Configuration

A definição da posição da linha de costa na área de estudo foi realizada com base nos levantamentos realizados em julho de 2018, no âmbito do programa COSMO (2020). A partir da posição da linha de costa foi construída uma malha topo-hidrográfica regular segundo duas direções ortogonais (Oeste-Este e Sul-Norte) com 20 m de resolução (Figura 15).

O clima de agitação considerado nas simulações avaliou três séries de agitação marítima produzidas por modelos numéricos. A primeira série considerada, designada como histórica, permitiu caracterizar o clima de agitação passado, contemplando 45 anos de registos (1960 a 2005). As séries futuras correspondem às séries de 20 anos de registos (2026 a 2045) de ondas RCP4.5 e RCP8.5, geradas no âmbito do projeto MarRisk (2017). Considerou-se também uma taxa para a subida do nível médio da água do mar selecionada com base no estudo dos valores indicados pela Agência Europeia do Ambiente.

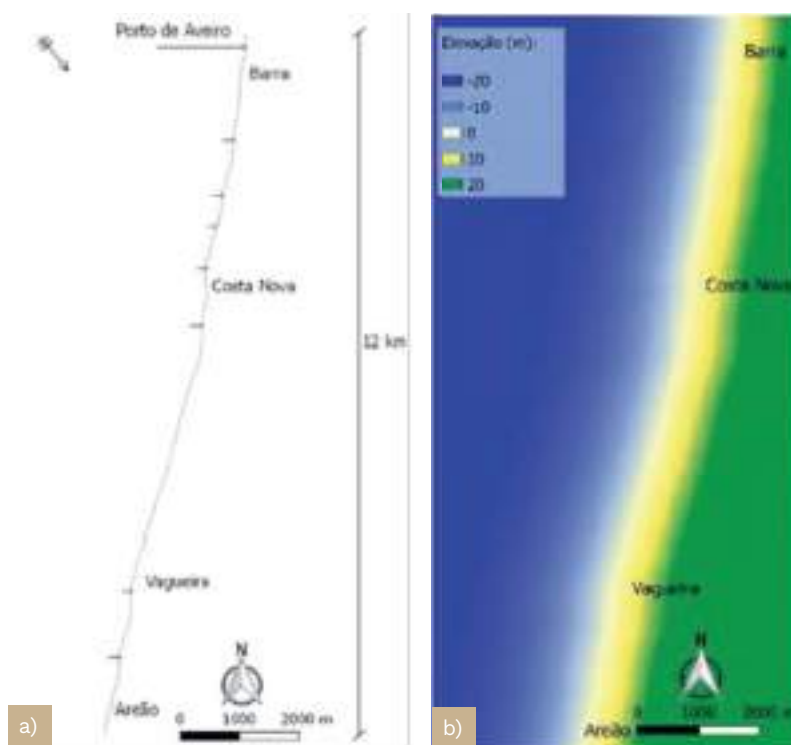


Figura 15 –Domínio de modelação: trecho Barra-Vagueira: linha de costa (a); batimetria e topografia - elevação em relação ao ZH (b)

Para o modelo LTC foram definidos um conjunto de cenários tendo em consideração o volume, a frequência e a localização da alimentação artificial (Tabela 2 e Figura 16), com o objetivo de compreender se é mais vantajoso, a nível de evolução da posição da linha de costa, realizar deposições de baixa magnitude em intervalos de tempo regulares ou intervenções de maior magnitude, mas mais espaçadas no tempo.

Tabela 2 – Cenários considerados nas simulações do modelo LTC. O cenário de referência está indicado a amarelo.

Volumes m ³ / ano)	Frequência	Locais de deposição
100 000	250 000 m ³ de meio em meio	Norte Nosta Nova - Barra (N CB)
300 000	500 000 m ³ por ano	Costa Nova - Barra (CB)
500 000	1 000 000 m ³ de 2 em 2 anos	Sul Costa Nova - Barra (S CB)
700 000	2 000 000 m ³ de 4 em 4 anos	Extremo Sul (Extremo S)

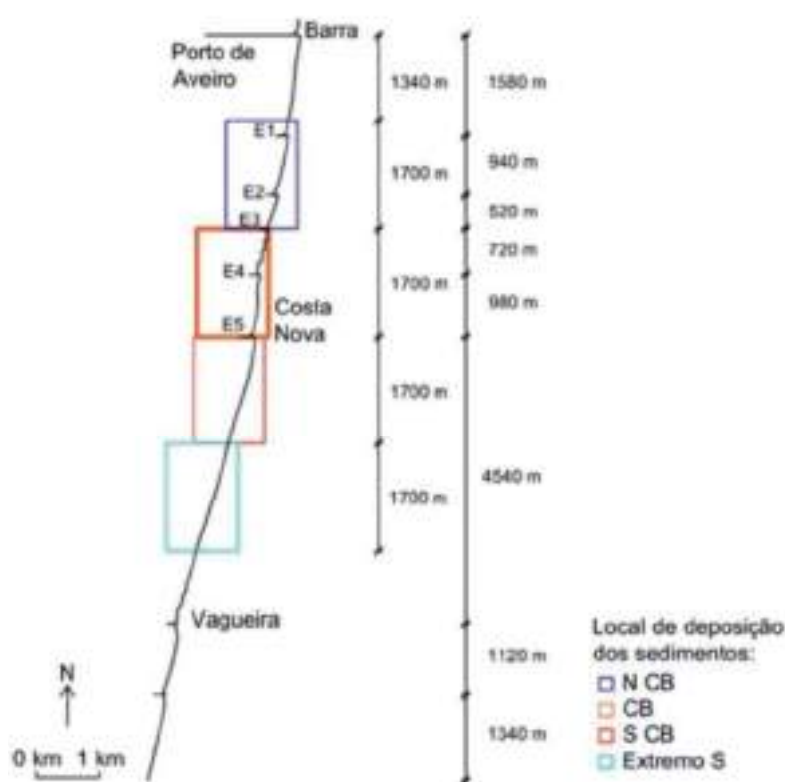


Figura 16 – Identificação dos locais de deposição dos sedimentos em planta contemplados nos cenários do modelo LTC.

2.3.2. CS- MODEL

A aplicação do modelo, começou pela representação de uma aproximação do perfil transversal de praia de acordo com o esquema utilizado pelo modelo (Figura 17), definindo os seguintes parâmetros: altura da duna (S), localização do pé da duna do lado de terra e do lado de mar (Y_L e Y_S respetivamente), posição da crista da berma (Y_B), volume da barra (V_B), altura da berma (D_B), inclinações das faces da duna (β_L e β_S), inclinação da berma (β_F) e profundidade de fecho (D_C) (Marinho, 2018).

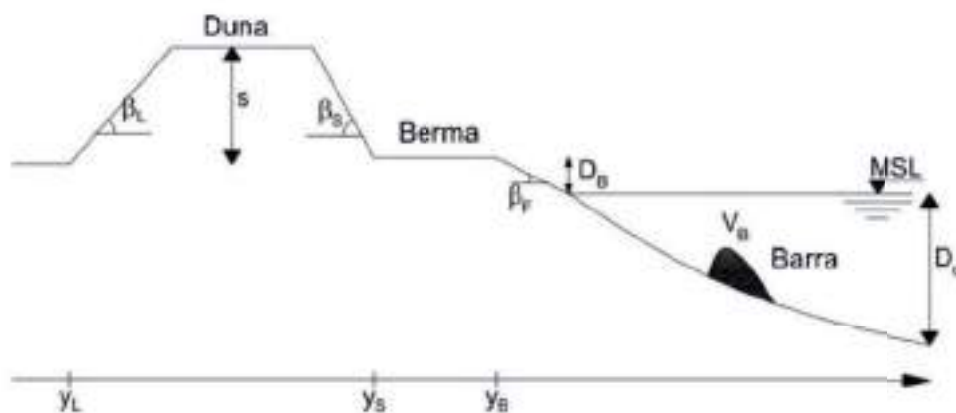


Figura 17 – Esquema do perfil transversal de praia utilizado pelo CS-Model (adaptado de Marinho, 2018)

O estudo da evolução do perfil transversal de praia no trecho costeiro Barra-Vagueira foi realizado para dois perfis de praia: o perfil da praia da Costa Nova e o perfil da praia da Vagueira (perfil localizado a norte da zona urbana da Vagueira). A esquematização inicial dos perfis e calibração do modelo foi realizada com base em 6 levantamentos de perfil emerso de praia disponibilizados no âmbito do programa COSMO (2020), compreendendo um espaçamento temporal de aproximadamente 1 ano e três meses (Figura 18).

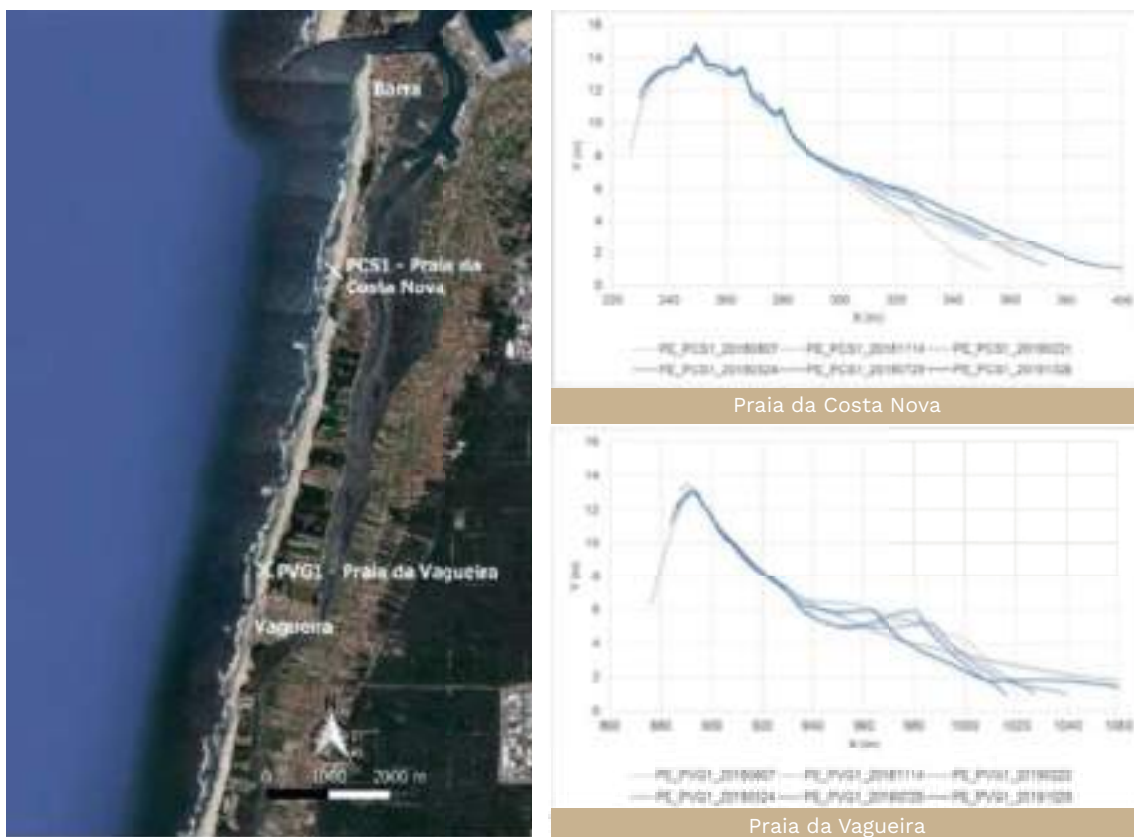














Figura 18 – Localização dos perfis transversais selecionados e levantamentos dos perfis transversais de praia COSMO para calibração do CS-Model no trecho costeiro Barra-Vagueira



Para além disso, foram também definidos parâmetros relacionados com as características dos sedimentos e com a caracterização do processo de transporte eólico dos sedimentos para a duna. Para o clima de agitação, como input do modelo, fez-se coincidir o clima de agitação com o período dos levantamentos de perfil emerso, ou seja, de 7 de agosto de 2018 a 31 de dezembro de 2019, tendo-se utilizado os registos de ondas geradas através do modelo de ondas *WaveWatchIII*. O nível de maré foi definido como constante e igual a 2 m, valor referido ao ZH.

As simulações realizadas com o modelo *CS-Model* tiveram em consideração um conjunto de cenários onde se avaliou o volume das alimentações e diferentes locais de deposição na evolução do perfil (Tabela 3).

Tabela 3 – Cenários considerados nas simulações do *CS - Model*. O cenário de referência está indicado a amarelo.

Volume (m ³ /ano)	Locais de deposição (Perfil transversal)		
	Duna	Praia	Barra Submersa
100 000			
300 000			
500 000			
700 000			

Referências

- Coelho, C. (2005). Riscos de Exposição de Frentes Urbanas para Diferentes Intervenções de Defesa Costeira. Tese de Doutoramento. Universidade de Aveiro, 404 p.
- COSMO (2020). Dados de Monitorização. Programa de Monitorização da Faixa Costeira de Portugal Continental - COSMO, APA - Agência Portuguesa do Ambiente. <https://cosmo.apambiente.pt/data> (visitado em maio de 2020).
- Larson, M., Palalane, J., Fredriksson, C., Hanson, H. (2016). Simulating cross-shore material exchange at decadal scale. Theory and model component validation. *Coast. Eng. J.*, 116, 57-66 pp.
- Lira, C., Silva, A., Taborda, R., Andrade, C. (2016). Coastline Evolution of Portuguese Low-Lying Sandy Coast in the Last 50 years: an integrated approach. *Earth System Science Data Discussions* 8 (1), 265-278. doi:10.5194/essd-2016-5.
- Marinho, B. (2018). Artificial Nourishments as a Coastal Defense Solution: Monitoring and Modelling Approaches. Tese de doutoramento, Universidade de Aveiro Aveiro, Aveiro, Portugal. 49
- MarRisk (2017). Adaptação Costeira às Alterações Climáticas: conhecer os riscos e aumentar a resiliência. Projeto de investigação financiado através do programa EP-INTERREG V A Espanha/Portugal (POCTEP).
- Pinto, C., Silveira, T., Teixeira, S. (2018). Alimentação Artificial de Praias na Faixa Costeira de Portugal Continental: Enquadramento e Retrospectivas das Intervenções Realizadas (1950-2017). Relatório Técnico. Agência Portuguesa do Ambiente.



3

SÍNTESE DE RESULTADOS.

Alimentação Artificial das Praias:
Uma Metodologia Integrada de Suporte à Gestão Litoral



3. Síntese de Resultados

3.1. Dinâmica Sedimentar

A dinâmica sedimentar no litoral de Aveiro foi caracterizada para uma situação de verão observada durante a campanha de campo a partir das medições dos parâmetros hidrodinâmicos e do movimento dos traçadores.

3.1.1. Parâmetros Hidrodinâmicos

A caracterização das condições hidrodinâmicas foi realizada tendo em consideração as condições ao largo e as condições registadas pelos diversos equipamentos de medição, instalados na zona de estudo (ponto 2.1.4.).

Na Figura 19 são apresentados os valores da elevação da superfície livre da água, a altura significativa da onda, o período médio e a direção de propagação das ondas medidas na boia ondógrafo de Leixões oceânica (Alfredo Ramalho) e pelo ADCP. As condições locais da agitação apresentam características diferentes das medidas ao largo, em particular no que respeita à altura de onda e direção, parâmetros com maior influência na interação com as condições morfológicas locais. A agitação marítima local caracteriza-se por um H_s máximo de 1,2 m, período médio a variar entre 4,3 e 7,7 s e a direção quadrante oeste-noroeste. A Figura 19e) ilustra a evolução temporal do vetor velocidade da corrente medida pelo ADCP no nível mais próximo do fundo (entre 1,5 e 2 m do leito de fundo). Entre o dia 8 e 12 de julho o vetor velocidade apresenta uma oscilação na direção SW-NE que está associada à corrente de maré e a partir do dia 12 até ao final do registo, as velocidades têm a direção e sentido predominante para N e NE e estão associadas à ação do vento.

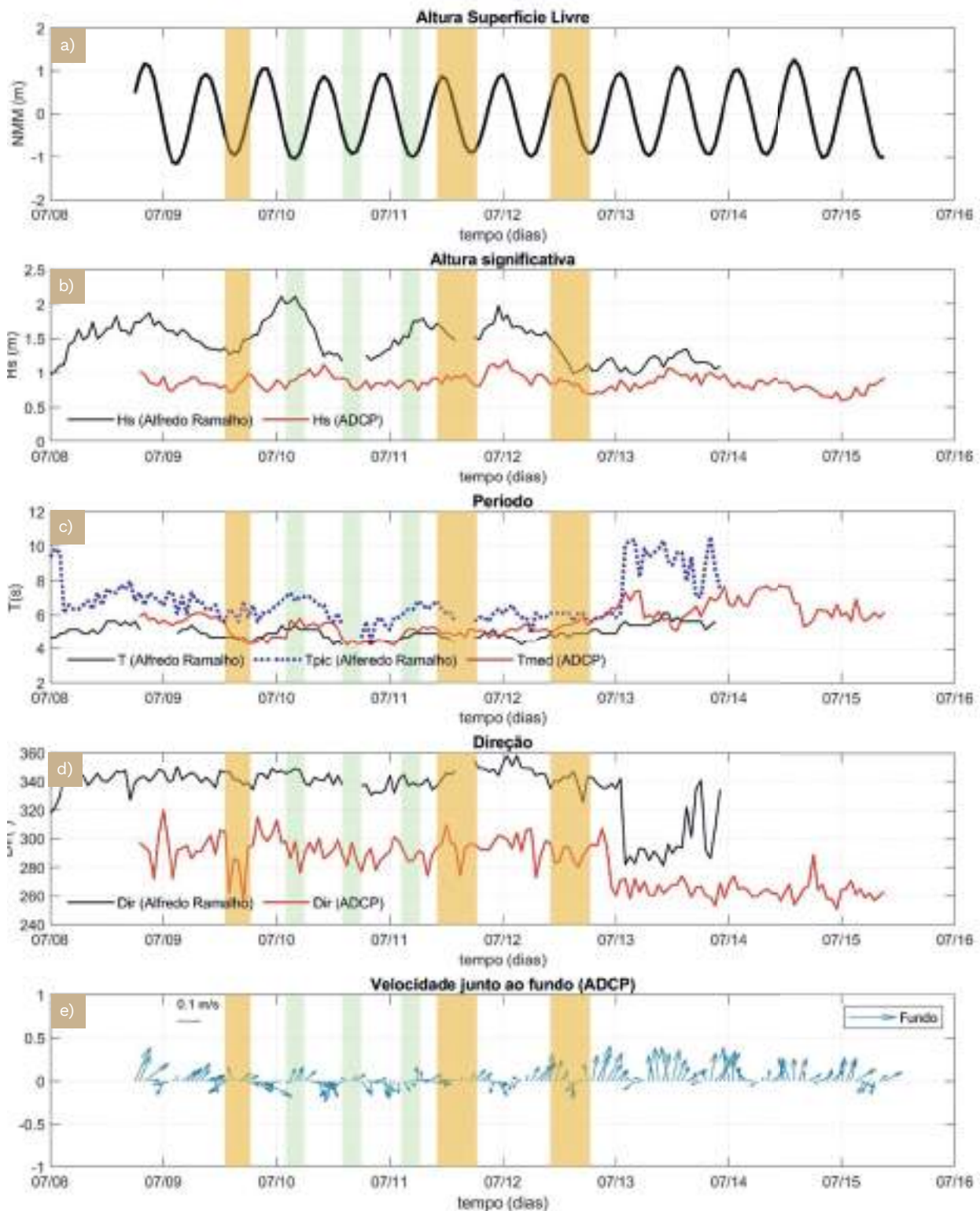


Figura 19 – Parâmetros hidrodinâmicos medidos durante a campanha: (a) elevação da superfície livre da água, (b) a altura significativa da onda, (c) o período médio e de pico (d) a direção de propagação das ondas (e) velocidade medida junto ao fundo. As barras verticais amarelas representam os dias em que se realizaram as amostragens na praia submarina (excetua-se a de 7 de agosto) e a verde as amostragens da praia emersa.

O processamento dos dados medidos na zona intermareal, pelos sensores de pressão (PT) e pelo correntómetro eletromagnético (ECM) entre os dias 9 e 11 de julho, foi feito segundo a metodologia descrita em Fernandez *et al.* (2016). A Figura 20 ilustra os resultados obtidos para a altura significativa da onda H_s , a profundidade, h , as componentes da velocidade longitudinal, V_x , e transversal, V_y , à praia e o ângulo de incidência das ondas, θ . Ao longo do tempo de observação, e em função da maré, o local onde foi instalada a estrutura (Figura 8) ora está coberto ora descoberto de água, pelo que os valores registados pelos sensores apenas cobrem o período em que se encontram imersos.

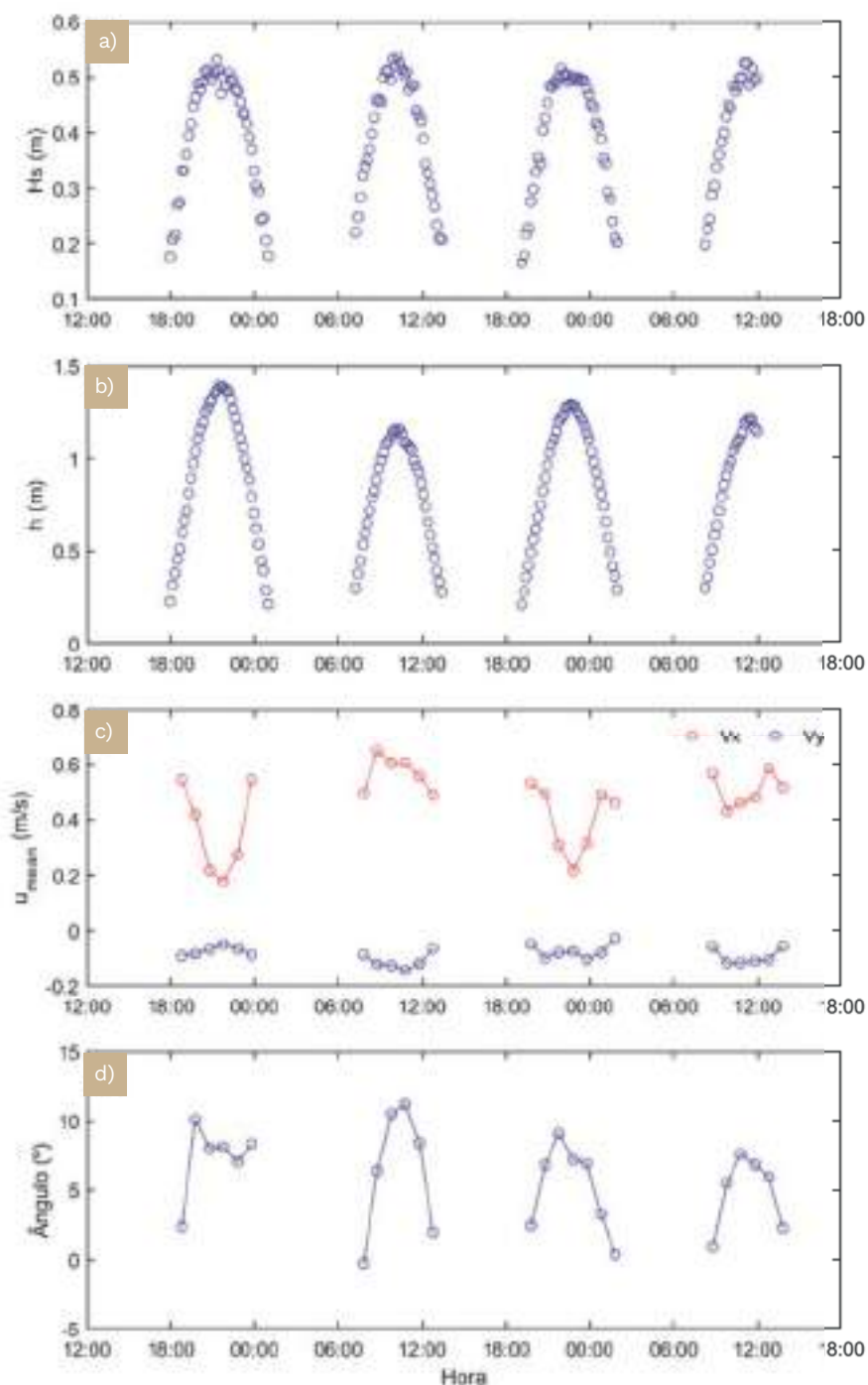


Figura 20 – Medições do sensor de pressão (PT) e do correntómetro eletromagnético (ECM) entre os dias 9 e 11 de julho: (a) H_s , (b) h , (c) V_x e V_y , (d) θ .

Os resultados obtidos mostram que a altura da onda medida no local onde foi colocado o sensor de pressão tem um valor máximo medido em preia-mar de cerca de 0,5 m. Para esta fase da maré o sensor encontrava-se geralmente na zona de pré-rebentação, enquanto todos os outros registos foram medidos na zona de rebentação da onda (Figura 20a e 20b).

No que concerne aos valores das componentes da velocidade medidas pelo ECM, verifica-se que componente longitudinal da velocidade V_x apresentou sempre valores positivos, isto é, no sentido norte – sul, com uma intensidade máxima de 0,6 m/s, a que correspondem ângulos de incidência (ângulo entre a direção de propagação das ondas e a perpendicular à linha de costa) entre 0 e 10° (Figura 20c e d). A componente transversal da velocidade, V_y , apresentou valores negativos (dirigida para o largo) e corresponde à corrente de retorno observada junto ao fundo na zona de rebentação (Figura 20c).

3.1.2. Traçador Magnético

O processamento dos dados obtidos com o magnetómetro marinho e terrestre foram alvo de um conjunto de correções de posicionamento e correção temporal da variação do campo externo do campo magnético terrestre, tendo sido os resultados finais interpolados com recurso ao método Inverse Distance Weighting, com uma malha de 20 m, ARCGIS da ESRI®.

A Figura 21 mostra os resultados da distribuição das anomalias do campo magnético medidos na praia submarina, correspondentes a cada levantamento do magnetómetro marinho – *SeaSpy*.

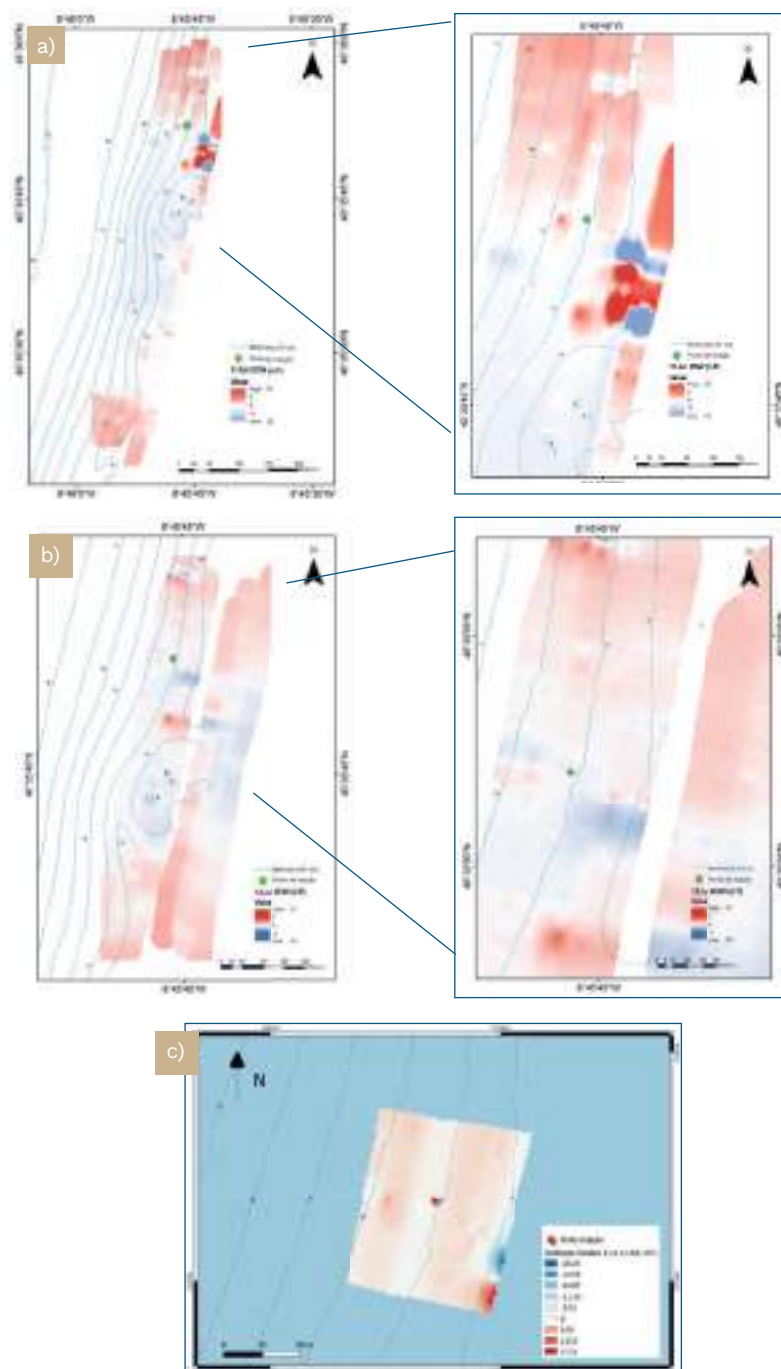


Figura 21 – a) Campo magnético no dia 11 de julho, b) campo magnético no dia 12 de julho e c) comparação das interpolações dos dados processados dos dias 11 e 12 de julho. (os pontos de injeção do traçador magnético estão indicados a verde e a vermelho).

Foi realizada uma análise comparativa entre os dois levantamentos a fim de verificar alguma variação das anomalias, sendo de referir:

- Em todos os dados processados verificou-se um ruído de base na ordem dos 1 a 3 nT, com algumas anomalias pontuais, nomeadamente uma anomalia de grande amplitude a cerca de 60 m para SE do local de injeção (Figura 21a);
- A comparação entre os dias 11 e 12 de julho (Figura 21c), mostra uma pequena alteração de amplitude de sinal, na ordem dos 3 nT, localizada a cerca de 36 m para W do local de injeção.

Os valores da suscetibilidade magnética, SM, medidos nas amostras de sedimento de fundo com o sensor MS2B são apresentadas na Figura 22.

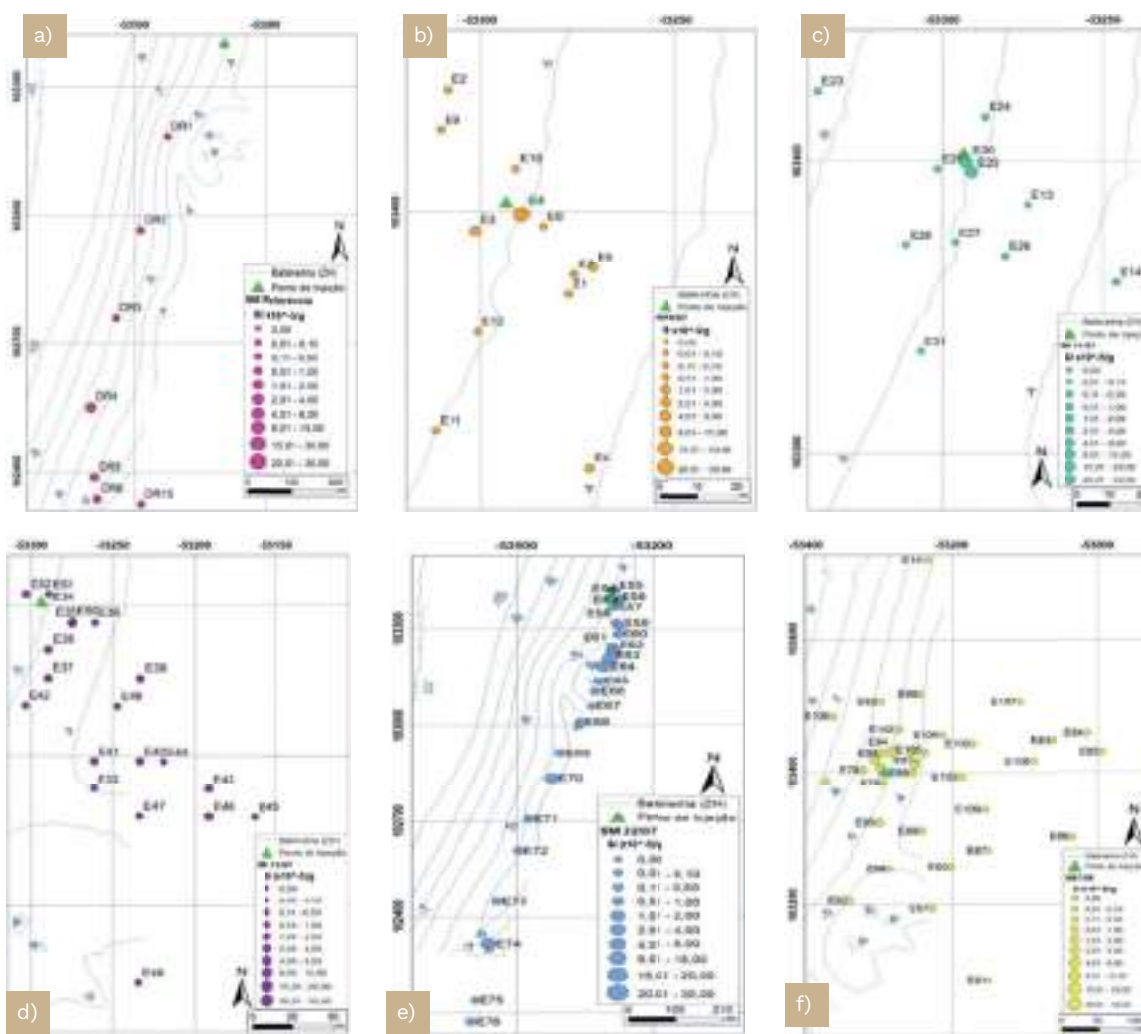


Figura 22 – Valores de medição da SM (SI x 10⁻⁵ / g) em: a) amostras de referência de julho b) 9 de julho; c) 11 de julho; d) 12 de julho; e) 22 de julho; f) 7 de agosto.

Da análise das medições realizadas conclui-se que:

- Os valores obtidos das medições realizadas durante a campanha e no laboratório não mostraram diferenças significativas entre as duas abordagens. Isto significa que o sensor MS2B poderá ser uma opção viável para a medição in situ da SM dos sedimentos;
- Alguns dos valores mais elevados de suscetibilidade magnética não parecem indicar obrigatoriamente a presença de traçador magnético. A visualização à lupa das amostras com SM elevada foi determinante para confirmar, ou infirmar, a presença do traçador magnético. Este facto é mais visível nas amostras sedimentares colhidas após a campanha a 22 de julho e a 7 de agosto e pode estar relacionado com outros fatores, nomeadamente a presença de outras partículas naturais com assinaturas magnéticas;
- A variação espacial e temporal do sedimento nativo, com maior ou menor presença de minerais pesados, impossibilitou a definição de um sinal base para a deteção de traçador magnético aplicável a toda a amostragem. Não obstante, a medição da SM nos dias 9, 11 e 12 permitiu acompanhar a difusão do traçador magnético até 21 m para SE.

À semelhança da praia submarina foi realizada a interpolação dos dados obtidos do campo magnético para os levantamentos realizados com o magnetómetro terrestre – G858 (Figura 23). Em todos os dados processados, verificou-se um ruído de base na ordem dos 4 a 5 nT de amplitude e de baixo comprimento de onda, com algumas anomalias pontuais de maior amplitude variáveis no tempo. A elevada frequência nos valores registados pode-se dever à própria topografia da praia e ao vento que, sendo forte, aumenta a instabilidade do sensor durante a medição. Esta poderá ser a razão pela qual se verifique um registo diferente entre os dois dias de levantamento.



Figura 23 – Distribuição das anomalias do campo magnético na praia emersa: a) dia 9 de julho; b) dia 10 de julho; e c) comparação entre os levantamentos de 9 e 10 de julho.

Relativamente aos resultados da suscetibilidade magnética na praia emersa, as medições foram realizadas em perfis alternados, uma vez que, com a observação à luz negra, não foi detetado traçador fluorescente laranja nas amostras sedimentares e se assumiu que o comportamento do traçador laranja seria idêntico ao traçador magnético, não tendo chegando à praia.

Da análise dos resultados conclui-se que:

- As amostras que apresentavam valores muito elevados de SM não indicam obrigatoriamente a presença de traçador magnético;
- A visualização das amostras à lupa binocular, das amostras com maior valor de SM, indica a presença de minerais pesados com maior dimensão, demonstrando que a SM dos sedimentos depende não só da presença de traçador magnético, como também da composição mineralógica e da dimensão dessas partículas.

No que concerne ao sensor MS2D os valores medidos têm, no geral, uma suscetibilidade magnética baixa e positiva, variando entre 2,8 e 9,0 SI x 10⁻⁵ / g.

As medições da SM com o sensor MS2D e MS2B, nas mesmas amostras, não mostram nenhuma concordância entre valores, exceto os seus valores máximo e mínimo que correspondem à mesma amostra. Esta conclusão era expectável devido ao volume de amostra que foi medido por cada sensor.

3.1.3. Traçadores Fluorescentes

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos para o movimento dos traçadores injetados na praia emersa e submarina e calculadas as respetivas taxas de transporte sedimentar.

Os valores das concentrações de traçador verde (praia emersa) medidos em cada amostra foram interpolados em ambiente SIG com recurso ao método de interpolação *Inverse Distance Weighting*, malha de 0,1 m. A Figura 24 mostra os mapas da distribuição espacial da concentração de traçador correspondentes às três amostragens, realizadas em situação de BM: a) Amostragem I - 10 de julho; (04:00) b) Amostragem II - 10 de julho; (16:00) e c) Amostragem III - 11 de julho (05:00).

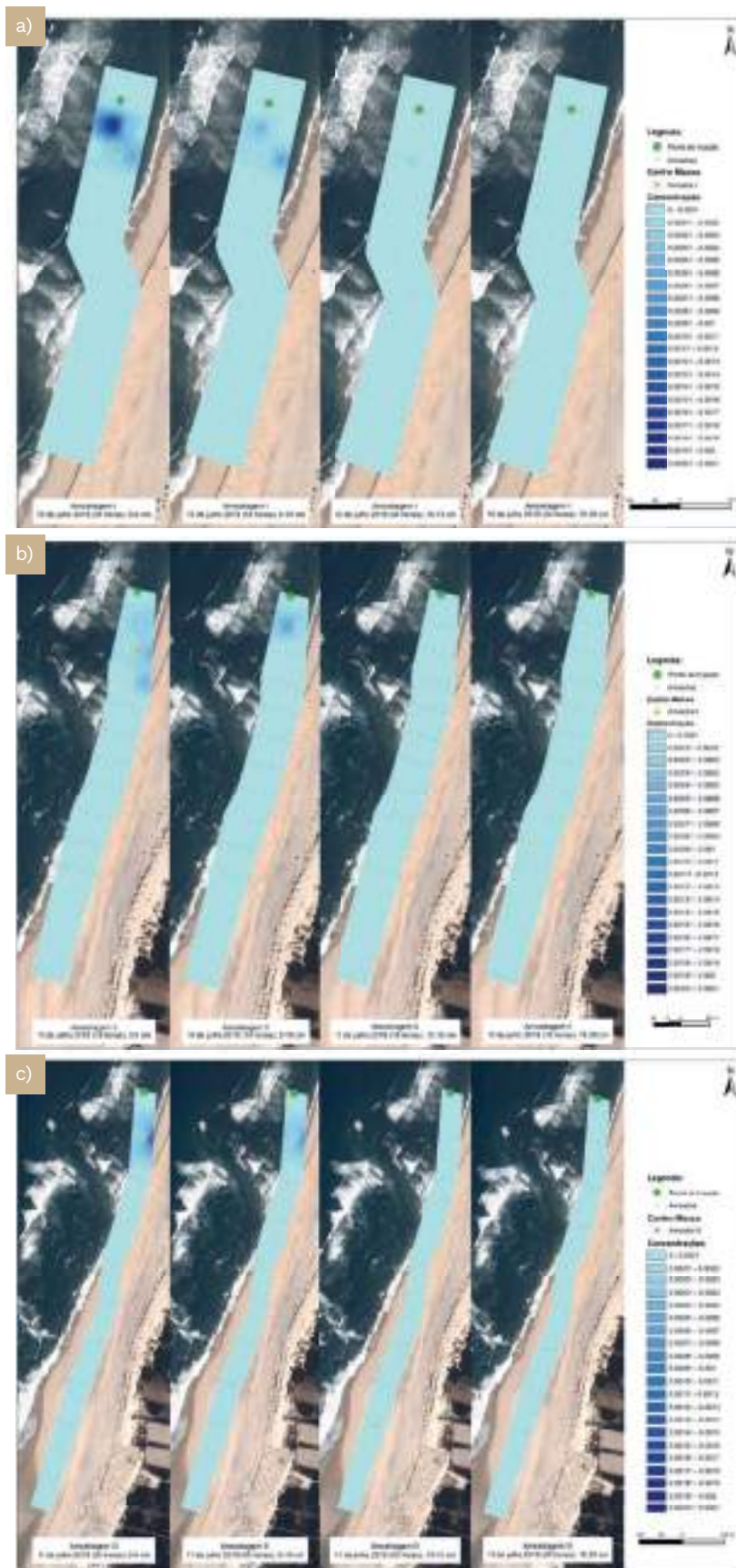


Figura 24 – Distribuição espacial da concentração do traçador verde (os valores correspondem à razão entre pixels fluorescentes e número total de pixels de cada imagem): a) Amostragem I - 10 de julho; (04:00); b) Amostragem II - 10 de julho; (16:00) c) Amostragem III - 11 de julho; (05:00). Os pontos representam os locais das amostras.



Para cada distribuição foi calculada a posição do centro de massa da concentração do traçador. A distância entre o centro de massa e o ponto de injeção foi de 49 m para a Amostragem I, de 105 m para a Amostragem II e de 113 m para a Amostragem III. Verifica-se, assim, que o centro de massa se deslocou, no sentido norte-sul.

A Figura 25 representa as distribuições da concentração de traçador laranja injetado na praia submarina para os dias das amostragens (9, 11, 12 julho e 7 agosto).



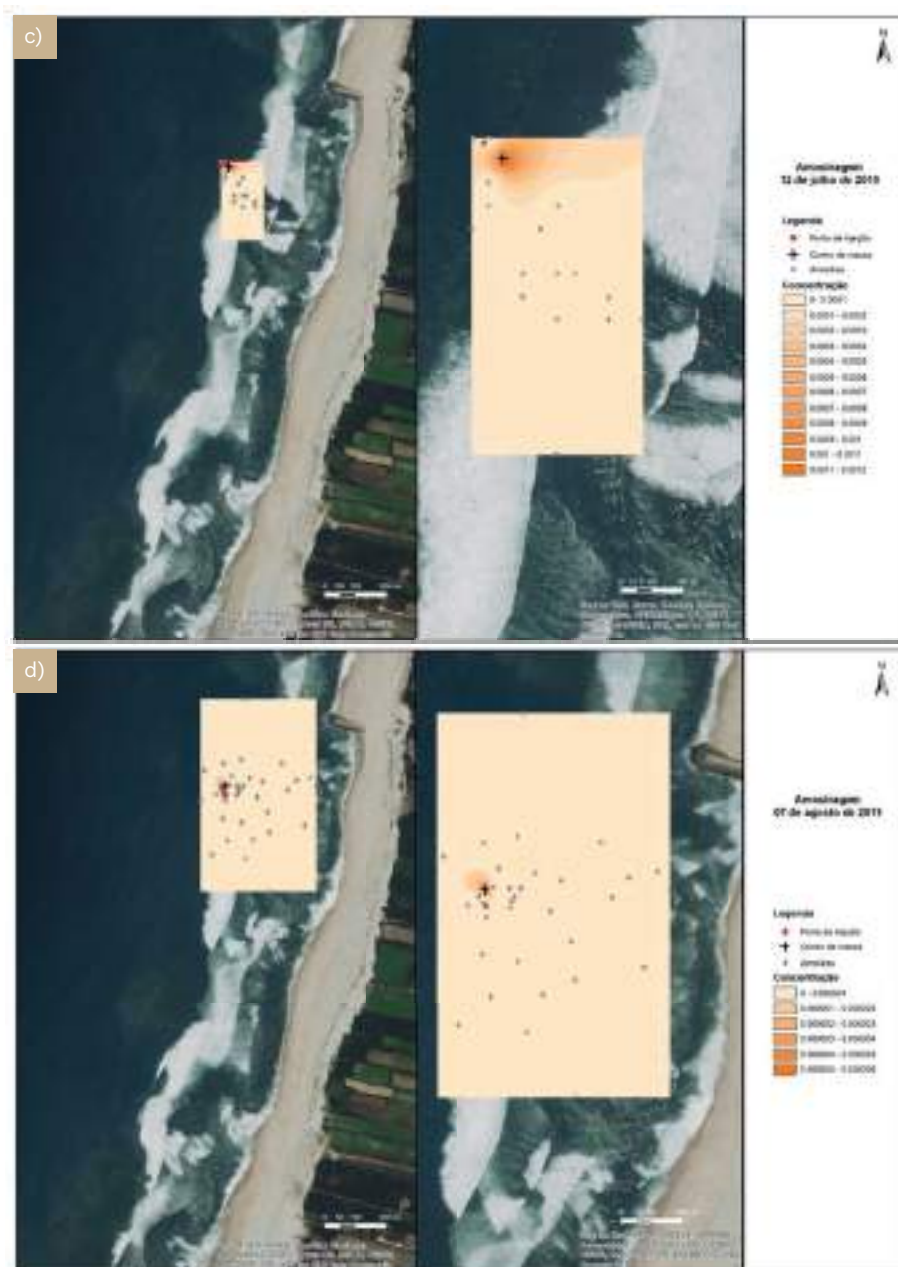


Figura 25 – Distribuição espacial da concentração (pixéis fluorescentes/pixéis totais) do traçador laranja: a) Amostragem de 09/07/2019; b) Amostragem de 11/07/2019; c) Amostragem de 12/07/2019; d) Amostragem de 07/08/2019. Os pontos representam a localização das amostras.

Para cada levantamento foram determinados os centros de massa das distribuições. A distância entre o centro de massa e o ponto de injeção é de cerca de 8 m, 6 m e 19 m para as amostragens de 9, 11 e 12 de julho, respetivamente, verificando-se que em geral, que o centro de massa do traçador laranja deslocou-se para sul e para terra (este) (Figura 26).

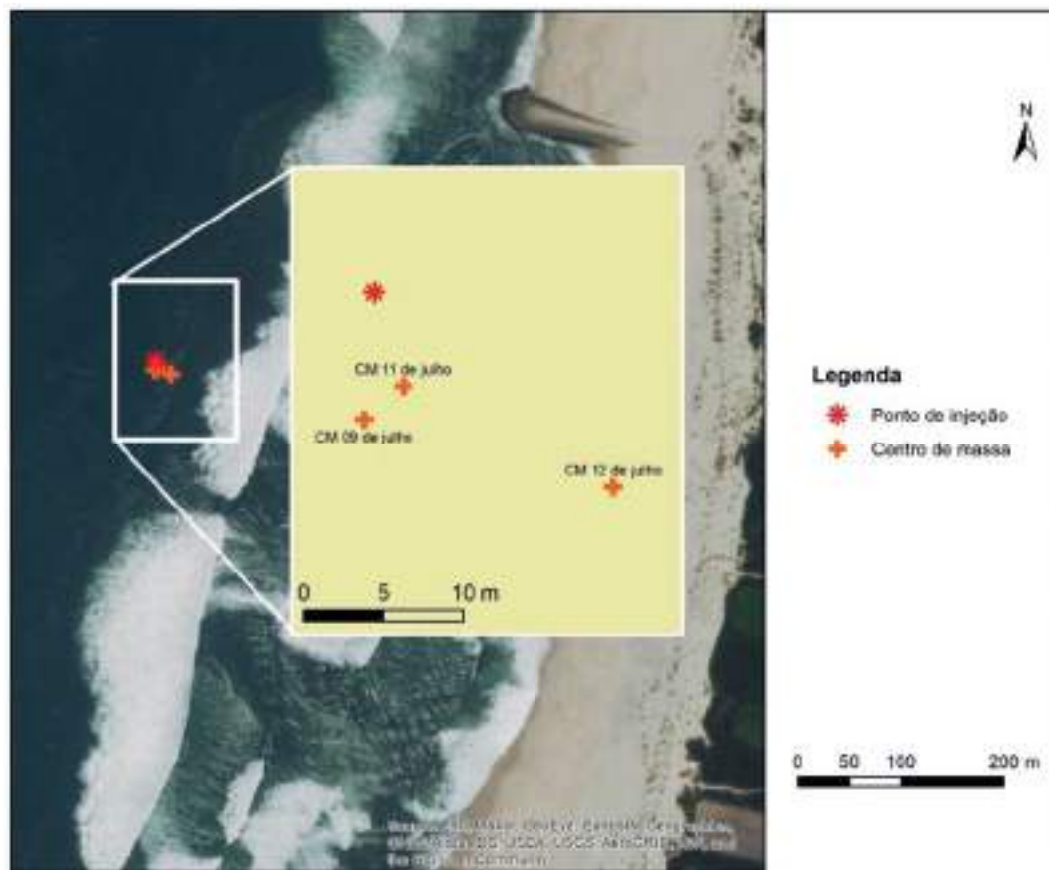


Figura 26 – Localização dos centros de massa das amostras obtidas – Traçador Laranja.

Com base nos valores da velocidade do centro de massa determinados para ambos os traçadores e na profundidade de mistura, foram estimadas as taxas de transporte sedimentar na praia emersa e imersa (Tabela 4). A profundidade de mistura na praia foi determinada a partir de medições e na praia submarina recorrendo à formulação de Harris e Wiberg (1997).

Tabela 4 – Estimativa das taxas de transporte dos traçadores fluorescentes.

Praia emersa	Velocidade do centro de massa (m/s)		Profundidade de mistura (m)	Taxa de Transporte (m ² /s)	
	Longilitoral	Transversal		Longilitoral	Transversal
Amostragem I	1,53E-03	3,14E-04	0,113	1,73E-04	3,55E-05
Amostragem II	1,62E-03	4,00E-04	0,1125	1,82E-04	4,50E-05
Amostragem III	1,10E-03	4,31E-04	0,105	1,15E-04	4,53E-05
Praia submersa	X	Y	-	X	Y
09-7-2019					
11-7-2019	1,084E-05	-3,368E-05	0,045	4,880E-07	-1,515E-06
12-7-2019	5,580E-05	-4,545E-05	0,045	2,511E-06	-2,045E-06

3.1.4. Síntese

- Os resultados da avaliação da dispersão dos traçadores fluorescentes, permitiram constar que o transporte de sedimentos na praia emersa processou-se de norte para sul em resultado do rumo da agitação marítima observada no período em análise (NNW ao largo), a qual gera uma corrente litoral naquela direção (Figura 20c).
- A magnitude da deriva litoral calculada ($Q_s = 44,0 \times 10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{mês}^{-1}$) tem a mesma ordem de grandeza do que o transporte potencial médio calculado para o mês de julho nos últimos 20 anos ($Q_s = 82,4 \times 10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{mês}^{-1}$; *Silva et al.*, 2020). A componente transversal do transporte tem um valor cerca de uma ordem de grandeza inferior à da componente longitudinal e é positiva, isto é, dirigida para terra, contribuindo para formação ou reforço das bermas de praia.
- O movimento do centro de massa da distribuição de traçador laranja mostra que, para as condições hidrodinâmicas observadas durante a campanha, o transporte sedimentar na praia submarina processa-se, no geral, para terra e na direção sul (Figura 25). Estes resultados são coerentes com os valores da SM medidos nas amostras sedimentares. Este transporte parece resultar sobretudo da ação das ondas que localmente têm essa direção de propagação (Figura 19d). A influência das correntes médias no transporte far-se-á sentir na componente em suspensão e implica uma difusão das areias marcadas até ao dia 12 de julho e posteriormente o seu transporte preferencialmente na direção NE. Contudo, não foram efetuadas amostragens de sedimentos de fundo imediatamente posteriores ao dia 12 de julho que permitam validar esta hipótese.
- Não há evidência experimental que os sedimentos marcados injetados na praia submarina tenham chegado à praia emersa durante o período de amostragem.
- Os valores estimados para as taxas de transporte na praia submarina na direção norte-sul e oeste-este, são da mesma ordem de grandeza, mas são significativamente inferiores às taxas de transporte estimadas na zona intermareal: 2 a 3 ordens de grandeza inferiores para a componente norte-sul/longitudinal e uma ordem de grandeza para a componente oeste – este/transversal.
- Os resultados da utilização dos traçadores magnéticos não foram conclusivos e não permitiram validar esta metodologia para os objetivos estabelecidos. No entanto, esta abordagem deve continuar a ser afinada e, em futuras aplicações, identifica-se como obrigatório o estabelecimento do valor de referência para a SM do sistema que se encontrar em estudo. Essa linha de base será definida a partir da caracterização textural e mineralógica prévia.
- No caso da área estudada, a presença de minerais pesados em frações mais grosseiras dos sedimentos, impossibilitou a deteção de traçador magnético através da medição da SM e os cálculos de transporte efetuados a partir destes valores não oferecem confiança (valores sub ou sobre estimados);
- Como metodologia, a deteção remota de traçadores magnéticos, ou seja, a medição da anomalia magnética causada pela sua presença e a sua variação ao longo do tempo, carecem de estudos posteriores e, eventualmente, ser objeto de modelação, de forma a compreender eventuais constrangimentos e melhorar a previsão da aplicação deste sinal a problemas concretos da gestão litoral.
- Os resultados sugerem que as alimentações de praia efetuadas na praia submersa em condições de verão marítimo tendem a deslocar-se para a praia decorrentes dos processos de transporte associados às ondas.

Referências

- Fernández-Fernández, S., Baptista, P., Martins, V., Silva, P., Abreu, T., Pais-Barbosa, J., Bernardes, C., Miranda, P., Rocha, M., Santos, F., Bernabeu, A., and Rey, D., (2016). Longshore Transport Estimation on Ofir Beach in Northwest Portugal: Sand-Tracer Experiment. *J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng.*, 10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000319, 04015017.
- Harris, C. K. and Wiberg, P. L. (1997). Approaches to quantifying long-term continental shelf sediment transport with an example from the Northern California STRESS mid-shelf site. *Continental Shelf Research*, 17(11):1389–1418.
- Silva, P.A.; Monteiro, N., Oliveira, T., Abreu, T., Coelho, C., Lima, M., Carvalho, R., (2021). Estudo de Viabilidade da Transposição Aluvionar das Barras de Aveiro e da Figueira da Foz. Relatório Intercalar 2. Tarefa 3—Aveiro; Universidade de Aveiro/Agência Portuguesa do Ambiente: Amadora, Portugal, 65p.

3.2. Modelação Numérica das Alimentações - Curto e Médio Termo

As simulações realizadas com o modelo DELFT3D permitiram compreender as alterações na hidrodinâmica e transporte sedimentar decorrentes das alimentações artificiais a curto e médio termo e como estas evoluem com diferentes estados de mar.

3.2.1. Validação

A Figura 27 apresenta a comparação dos resultados obtidos pelo modelo e os dados medidos pelo ADCP. Verifica-se um bom ajuste entre os dois conjuntos de dados para os 5 parâmetros analisados: a variação do nível do mar associada à maré é devidamente reproduzida pelo modelo; a velocidade média da corrente na coluna de água simula o padrão geral das correntes medidas pelo ADCP; o modelo simula a evolução dos parâmetros da ondulação no tempo, nomeadamente, consegue reproduzir o aumento do período de pico e a mudança do rumo das ondas mais para oeste a partir do dia 13 de julho.

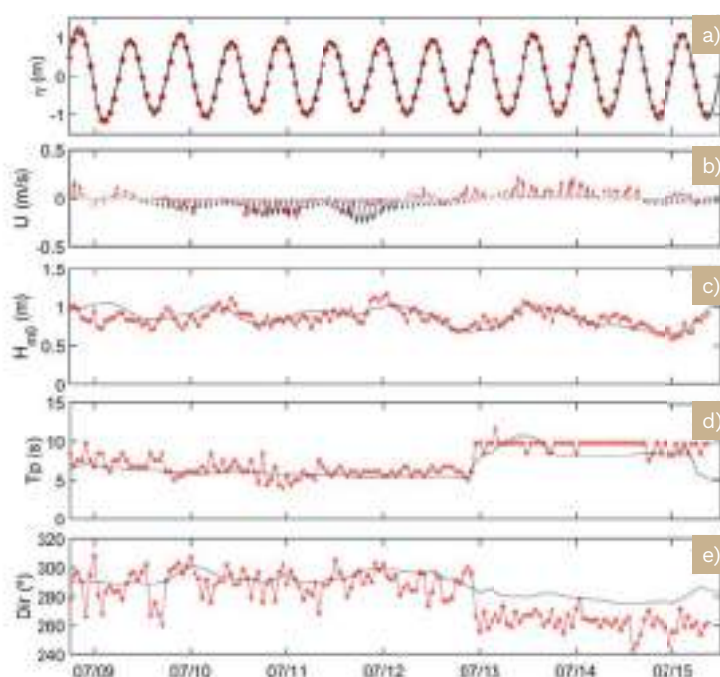


Figura 27 – Comparação dos resultados do modelo (linhas e vetores a preto) com os dados registados pelo ADCP (linhas e vetores a vermelho) para: a) o nível do mar, b) velocidade média da corrente na vertical, c) altura da onda, d) período de pico e e) direção da onda.



A Figura 28 compara os resultados numéricos com os dados registados pelos instrumentos instalados na praia. Tanto o PT como o ECM foram instalados próximo do nível médio do mar e, portanto, no decurso do tempo estão intermitentemente imersos ou emersos, devido à maré. Verifica-se que o modelo reproduz bem a fase da maré, no entanto, subestima a elevação da superfície livre em cerca de 15 cm em preia-mar. Quando se comparam os dados das correntes no local do ECM, verifica-se que o modelo reproduz bem tanto a direção como a intensidade da corrente durante a preia-mar.

Face aos resultados apresentados considera-se que o modelo está validado para a zona de estudo relativamente à propagação das ondas e da hidrodinâmica local.

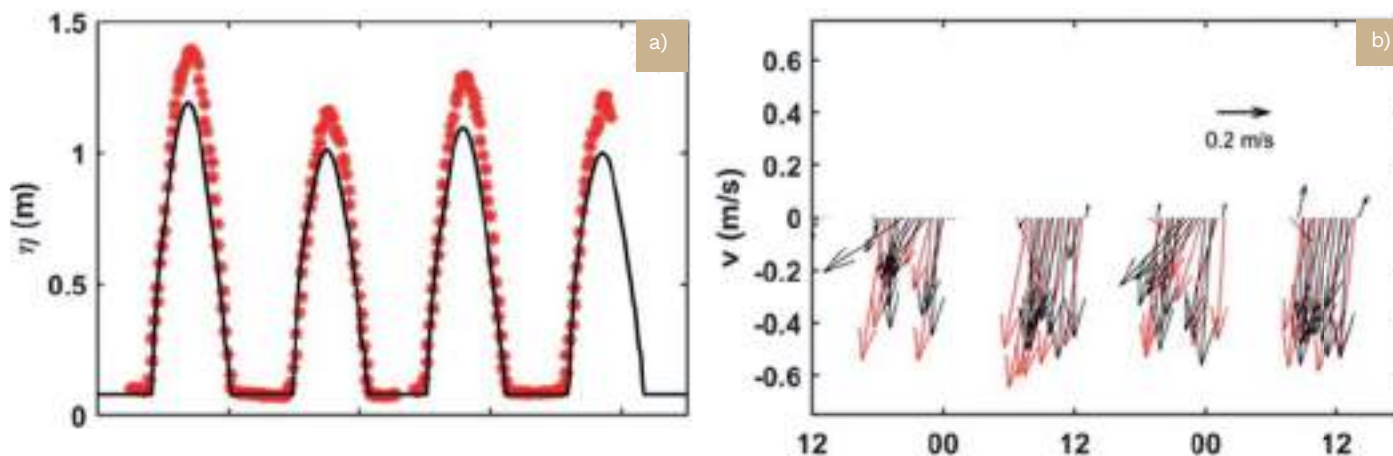


Figura 28 – Comparação dos resultados do modelo (linhas e vetores a preto) com os dados registados (linhas e vetores a vermelho): a) elevação da superfície livre (PT); b) velocidade média da corrente (ECM). O período temporal de comparação é desde as 12h do dia 9 de julho de 2019 e as 12h do dia 11 de julho de 2019.

3.2.2. Cenários

A Figura 29 apresenta os resultados obtidos para o cenário C1 - mar de noroeste - (Tabela 1), que é representativo da situação média observada durante o inverno marítimo. As batimetrias representadas na Figura 29 a e b representam a situação de referência e a batimetria após a operação de alimentação, efetuada entre junho e setembro de 2020.

Para estas condições de agitação, verifica-se que na zona do vazadouro a altura de onda aumentou, por empolamento, devido à redução da profundidade (Figura 29 f). No entanto, nas extremidades N e S da alimentação houve diminuição da altura da onda, o que pode estar relacionado com a direção de incidência da onda que cria zonas de sombra nestes locais. As Figura 29 g e h mostram o campo de transporte de sedimentos e evidenciam a predominância da deriva litoral que se processa de norte para sul. A presença da alimentação artificial traduz-se num aumento do transporte sedimentar na zona do vazadouro, o que contribui para a difusão da alimentação e o fornecimento de sedimentos para as zonas adjacentes. Na zona entre o vazadouro e a costa e na zona sul adjacente à alimentação verifica-se uma diminuição do transporte o que poderá potenciar a deposição de sedimentos nesta zona. Os resultados obtidos para o cenário C4 - mar de fora - são semelhantes aos apresentados.

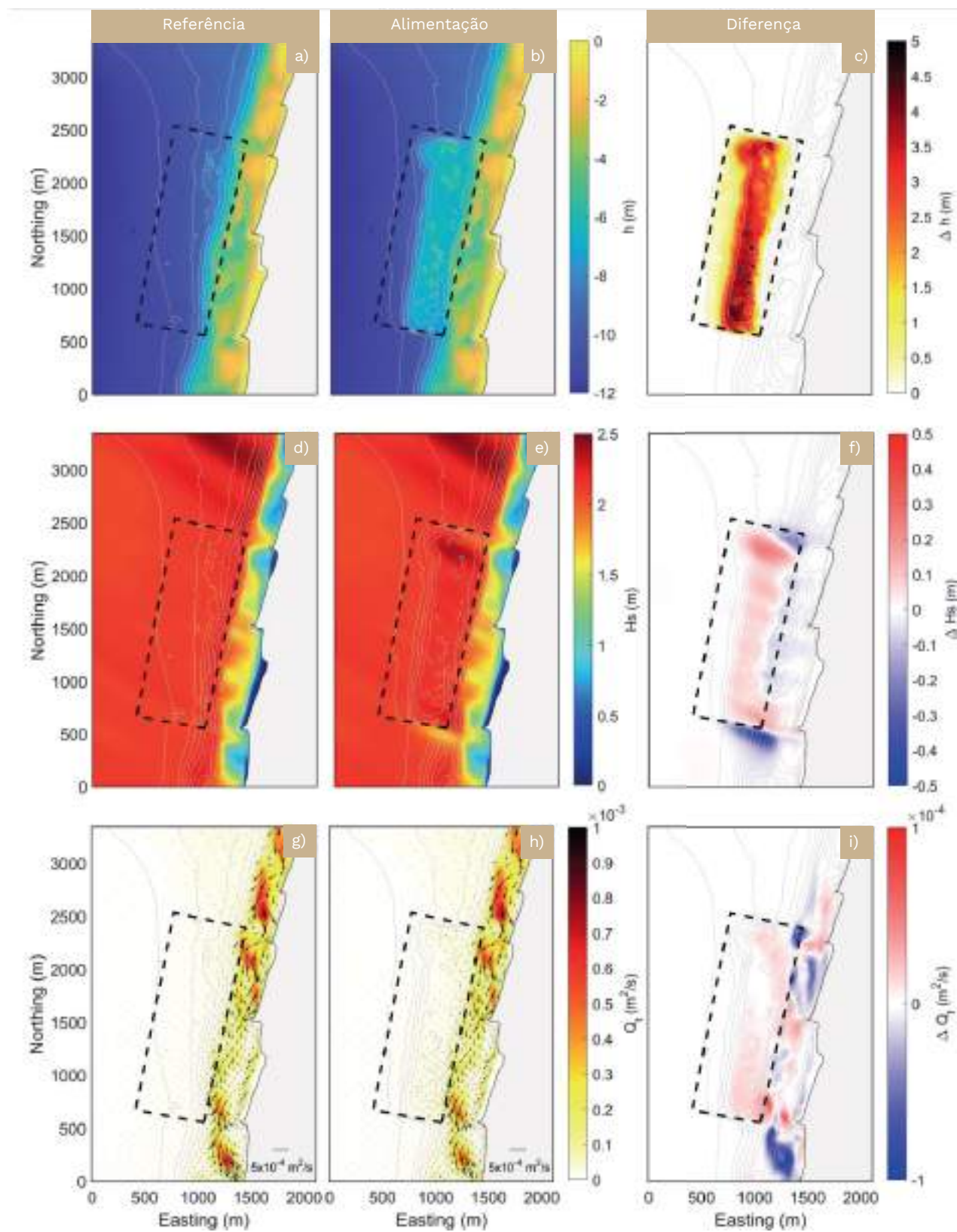


Figura 29 – Batimetrias de a) referência e b) da alimentação e c) diferença entre ambas. Resultados do modelo para o cenário C1 para d) - f) a altura da onda e g) - i) transporte sedimentar total. O polígono a tracejado preto corresponde ao local da alimentação e as linhas a cinzento são as isóbatas. As diferenças correspondem à diferença entre os valores calculados com alimentação e a situação de referência.

Para condições mais energéticas, nomeadamente altura de onda igual ou superior a 4 m (C2 e C3), os resultados sugerem que a alimentação apresenta uma função semelhante a um quebra-mar destacado, induzindo a rebentação da onda, e dissipando grande parte da sua energia. Para estas condições verifica-se um aumento significativo do transporte sedimentar sobre a alimentação, mas também uma significativa redução na zona adjacente para o lado da costa.

Em situações pouco energéticas, com alturas de onda inferior a 1 m, a alimentação parece ter pouco impacto tanto na altura da onda como no transporte sedimentar.

3.2.3. Síntese

- Os resultados obtidos na validação indicam que o modelo reproduz bem as ondas e a hidrodinâmica.
- As alimentações artificiais realizadas na praia submarina provocam uma alteração nos campos de ondas e de transporte sedimentar na zona intervencionada e áreas adjacentes.
- Condições de onda mais energéticas apresentam maior capacidade de remobilização da alimentação para as zonas adjacentes.
- A agitação incidente tem uma influência relevante na resposta da alimentação a curto e médio termo. Localmente, sugere a proteção da praia aquando eventos mais energéticos, além de contribuir para alimentar as zonas adjacentes por difusão da própria alimentação.

3.3. Modelação Numérica das Alimentações - Longo Termo

As simulações efetuadas com os modelos LTC e CS-Model possibilitaram avaliar o desempenho e a longevidade de intervenções de alimentação artificial de sedimentos, com o objetivo de mitigar os problemas de erosão que se fazem sentir a sul do Porto de Aveiro. O conjunto de cenários de alimentação artificial de sedimentos foi diferenciado, permitindo produzir considerações sobre a evolução da praia em função dos volumes depositados, da frequência das operações e do local de depósito dos sedimentos, na direção longitudinal e transversal.

3.3.1. LTC - Long Term Configuration

A Figura 30 representa as variações da área da praia subaérea entre a Barra e a Vagueira, que reflete áreas de acreção ou erosão (ganho ou perda de área em planta) calculados para um horizonte temporal de 30 anos para diferentes valores do volume, frequência e localização da alimentação artificial, conforme a Tabela 2 e a Figura 16. A simulação de referência considera um volume depositado de 500 000 m³ anual no setor entre a Costa Nova e a Barra (CB). Verifica-se que as opções correspondentes aos maiores volumes de sedimentos depositados, correspondem às soluções com melhor desempenho na perspetiva de mitigar os problemas de erosão a sotamar do Porto de Aveiro. Genericamente, entre os cenários avaliados, nenhum cenário elimina, na totalidade, as áreas erodidas no trecho, sendo a solução mais eficaz a deposição de 700 000 m³/ano de sedimentos (Figura 30a).

Em contrapartida, a localização dos sedimentos depositados apresenta uma tendência pouco definida e com impacto limitado (em termos globais, pequenas diferenças entre os diversos cenários) (Figura 30b).

Relativamente à frequência das operações, os resultados apontam como opção mais eficaz a realização de menos operações com volumes maiores (Figura 30c).

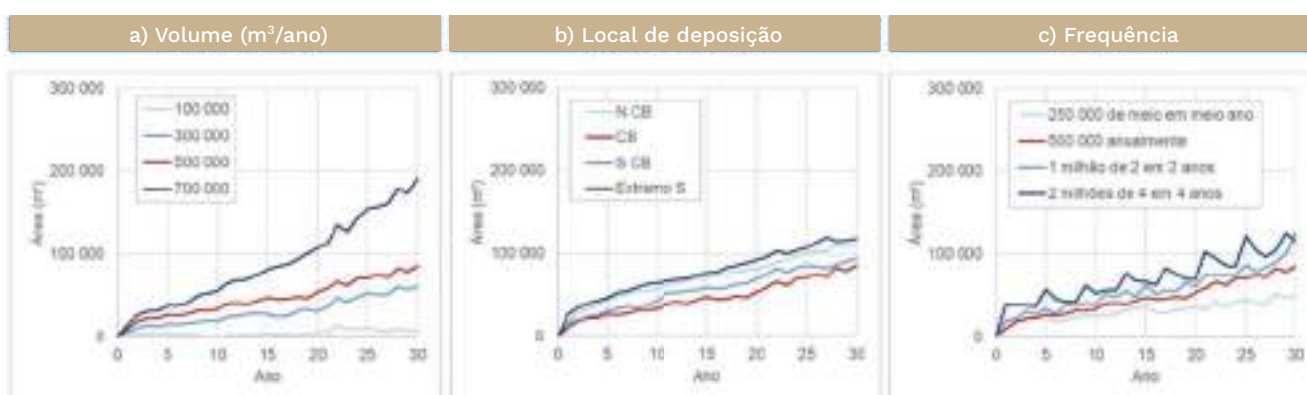


Figura 30 – Resultados das simulações dos cenários considerados - modelo LTC.

3.3.2. CS Model

A Figura 31 representa a evolução dos parâmetros morfológicos do perfil de praia (posição da crista da berma, do pé da duna e da largura da berma), para os diferentes cenários de deposição. O cenário de referência considera a deposição de 500 000 m³ na barra submersa (Tabela 3). A análise do comportamento do perfil transversal, confirmou que os maiores volumes de sedimentos depositados representam melhores comportamentos ao longo do tempo, induzindo um maior avanço da posição da berma do perfil.

Para os dois perfis transversais de praia estudados neste trabalho (Costa Nova e Vagueira) observa-se que a realização de intervenções de alimentação artificial de sedimentos conduz a evoluções distintas da morfologia dos perfis de praia. Estas diferenças podem dever-se às considerações de calibração de ambos os perfis, relacionadas com a inclinação da face da duna e da praia, bem como a profundidade de fecho, volume inicial da barra e parâmetro que caracteriza o processo de transporte eólico de sedimentos.

Para o perfil transversal da praia da Costa Nova conclui-se que as intervenções de alimentação servem diferentes propósitos, constatando-se que a deposição dos sedimentos na barra submersa e na praia são as soluções mais eficientes para aumentar a largura da berma (Figura 31e). A deposição dos sedimentos na duna reflete-se num aumento do volume da duna, aumentando a sua robustez (Figura 31a) mas não contribuí para o aumento da largura da berma (Figura 31e). No perfil da Vagueira não se observam ganhos tão significativos da largura de berma, como os observados para o perfil transversal da praia da Costa Nova (Figura 31f). A evolução do avanço do parâmetro YS (Figura 31b) é similar ao avanço de YB (Figura 31d) e, portanto, independente do local de deposição dos sedimentos no perfil transversal (facto confirmado pela sobreposição da linhas representativas do local de deposição), a deposição de sedimentos reflete-se sobretudo num aumento do volume da duna (Figura 31a).

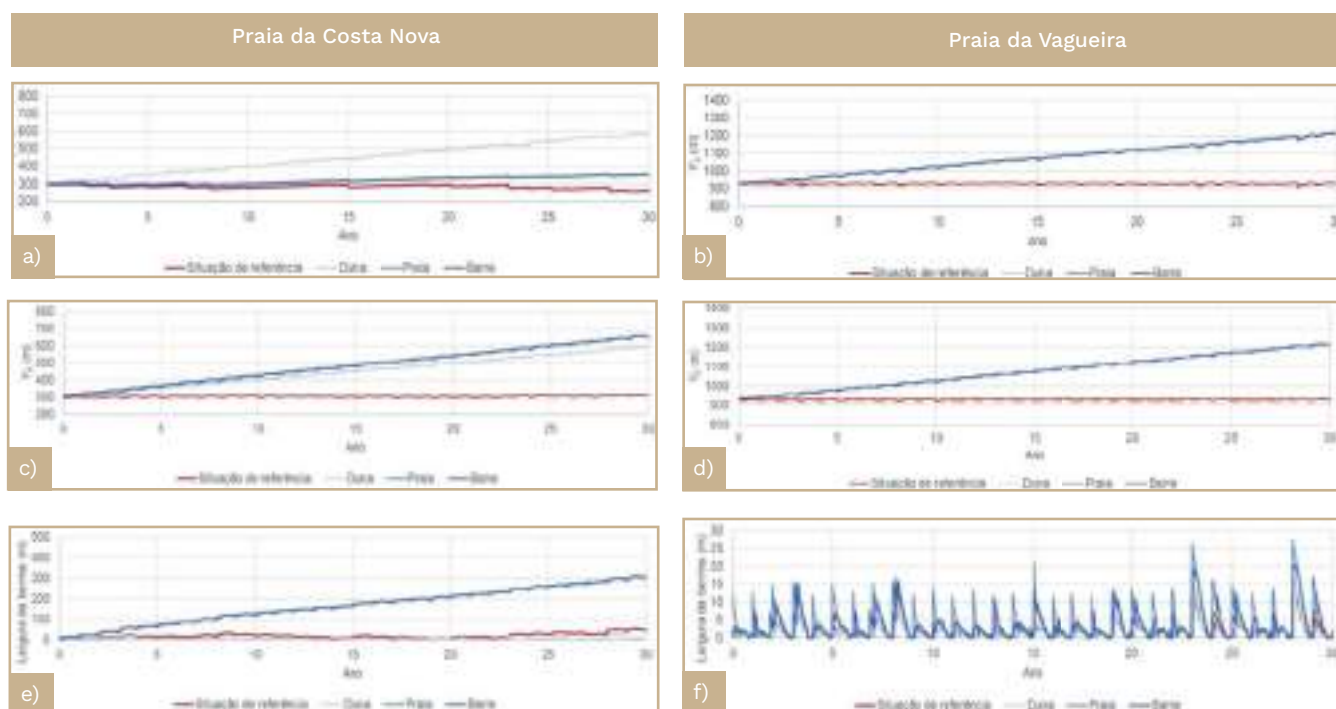


Figura 31 – Evolução dos parâmetros morfológicos dos perfis transversais, para os diferentes cenários de deposição no perfil (Duna, Praia ou Barra); (a, b) Posição do pé da duna do lado de mar (YS); (c) Posição da berma (YB); (d, e) Largura da berma.

A incorporação dos processos longitudinais na evolução do perfil transversal (consideração dos resultados do LTC nas simulações do CS-Model), mostra que a taxa de variação da posição da linha de costa devida ao gradiente de transporte sólido longitudinal pode ter um impacto significativo na evolução dos perfis transversais e condiciona o desempenho das alimentações artificiais de sedimentos. Em particular, para o perfil da Vagueira, verifica-se uma menor progradação da posição da berma e do pé da duna para o largo nos cenários de alimentação artificial, quando é considerada a combinação dos efeitos longitudinais na evolução dos perfis transversais. Este efeito resulta da taxa de variação da posição da linha de costa, que na Vagueira apresenta um valor considerável: recuo médio é de 0,9 m/ano.

Os principais resultados produzidos pelo método proposto estão de acordo com resultados de monitorização realizados na área de estudo em que os perfis de praia analisados se localizam, o que permite ter confiança nos resultados produzidos pelo método proposto.

3.3.3. Síntese

- Os resultados obtidos indicam que no setor costeiro entre a Barra e a Vagueira as intervenções de alimentação artificial de sedimentos contribuem para mitigar os problemas de erosão costeira.
- Estima-se que maiores volumes de sedimentos depositados e operações mais espaçadas no tempo, correspondem a soluções com melhor desempenho a nível da evolução da posição da linha de costa.
- Para o perfil transversal da praia conclui-se que as intervenções de alimentação servem diferentes propósitos, constatando-se que a deposição dos sedimentos na barra submersa e na praia são as soluções mais eficientes para aumentar a largura da berma, enquanto na duna contribuem essencialmente para aumentar o seu volume.
- Para os perfis considerados (Costa Nova e Praia da Vagueira) verificou-se que a duna não é destruída em nenhum cenário em que se considere a realização de intervenções de alimentação artificial de sedimentos.



4

PUBLICAÇÕES.

Alimentação Artificial das Praias: uma Metodologia Integrada de Suporte à Gestão Litoral



4. Publicações

4.1. Livros ou Capítulos de Livros

- Abreu, T., Silva, P.A., Baptista, P., Bernardes, C., Fernández-Fernández, S., Ferreira, F., Fontán-Bouzas, Á (2022). Analysis of morphological changes at Aveiro coast (NW Portugal) between 2012 and 2018. *Advances in Natural Hazards and Volcanic Risks: Shaping a Sustainable Future - Proceedings of the 3rd International Workshop on Natural Hazards (NATHAZ22), Terceira Island - Azores 2022.*
- Silva, P.A., Monteiro, N., Oliveira, T., Abreu, T., Coelho, C. (2022). Annual and seasonal variability of the littoral drift at Aveiro, Northwest Coast of Portugal. *Proceedings of the 1st MedGU Annual Meeting (MedGU-21). Istanbul, Turkey, 25–28 November 2021. To be published in the Springer ASTI.*
- Abreu, T., Silva, P.A. Baptista, P., Pais-Barbosa, J., Fernández-Fernández, S., Ferreira, C., Matos, J. (2020). Analysis of nonlinear wave parameters on Ofir sandy beach (NW Portugal). *Advances in Natural Hazards and Hydrological Risks: Meeting the Challenge. Advances in Science, Technology & Innovation. Springer Nature Switzerland AG. pp 147-151* ISBN: 978 3 030 34396 5, DOI: 10.1007/978-3-030-34397-2_29.
- Abreu, T., Parreño-Mas, B., Pinto-Faria, J., (2020). Morphodynamics of an Embayed Beach in Majorca Island. *Advances in Natural Hazards and Hydrological Risks: Meeting the Challenge. Advances in Science, Technology & Innovation. Springer Nature Switzerland AG. pp 153-157* ISBN: 978 3 030 34396 5, DOI: 10.1007/978-3-030-34397-2_30.

4.2. Revistas Internacionais

- Lopez-Olmedilla, L, Almeida, LP., Figueiredo, S., Fontán-Bouzas, A., Silva, P.A., Alcántara-Carrió, J. (2022). Effect of alongshore sediment supply gradients on projected shoreline position under sea level rise (northwestern Portuguese coast). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2022.107876>
- Pombo, R., Fernández-Fernández, S., Baptista, P., Coelho C., Bernardes, C. (2022). Old forecasts Vs actual shoreline evolution: assessing model's performance and projections. *Coastal Engineering*, <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2022.104143>
- Pinto, C., Taborda, R., Andrade, C., Baptista, P., Silva, P.A., Mendes, D., Pais-Barbosa, J., (2022). Morphological development and behavior of a shoreface nourishment in the Portuguese western coast, *Journal Marine Science and Engineering*, *J. Mar. Sci. Eng.*, 10, 146. <https://doi.org/10.3390/jmse10020146>
- Mendes D., Pais-Barbosa J., Baptista P., Silva P.A., Bernardes C., Pinto C., (2021). Beach Response to a Shoreface Nourishment (Aveiro, Portugal). *Journal of Marine Science and Engineering*. 2021; 9(10):1112. <https://doi.org/10.3390/jmse9101112>.



- Guimarães, A., Coelho, C., Veloso-Gomes, F., Silva, P.A. (2021). 3D Physical Modeling of an Artificial Beach Nourishment: Laboratory Procedures and Nourishment Performance. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(6), 613, DOI:10.3390/jmse9060613.
- Ferreira, A.M., Coelho, C., 2021. Artificial Nourishments Effects on Longshore Sediments Transport, *J. Mar. Sci. Eng.* (2021), 9(3), 240; DOI:10.3390/jmse9030240
- Coelho, C., Ferreira, A.M., Marinho, B., (2020). Numerical Modelling of Artificial Sediment Nourishment Impacts, *Journal of Coastal Research* 95(sp1), 209-213, DOI:10.2112/SI95-0411
- Ferreira, C.C., Abreu, T., Silva, P.A., Bernabeu, A., Romão, S., Staudt, F., (2020). Sediment Transport with Mixed Sand in Nonlinear Regular Waves, *Journal of Coastal Research* 95(sp1), 408-411. DOI:10.2112/SI95-079.1
- Silva, A.N., Taborda, R., Castelle, B., Dodet, G., (2020). Wave Directional Spreading Importance on Sheltered Embayed Beaches, *Journal of Coastal Research* 95(sp1), 1536-1541. DOI:10.2112/SI95-296.1
- Abreu, T., Parreño-Mas, B., Pinto-Faria, J. (2020) Coastal management risk analysis of an embayed beach in Majorca island. *SN Applied Sciences*, 2:1535, DOI: 10.1007/s42452-020-03325-6

4.3. Comunicações em Encontros Científicos Internacionais

- Abreu, T., Silva, P.A., Baptista, P., Bernardes, C., Fernández-Fernández, S., Ferreira, F., Fontán-Bouzas, Á (2022). Analysis of morphological changes at Aveiro coast (NW Portugal) between 2012 and 2018. *Proceedings of the 3rd International Workshop on Natural Hazards (NATHAZ22)*. Terceira Island, Azores, May 26-27.
- Abreu, T., Silva, M.F., Vasconcelos, L., Torres-Toran, S. (2022). Equilibrium beach profile: La Garrofera beach case study. *Proceedings of the 3rd International Workshop on Natural Hazards (NATHAZ22)*. Terceira Island, Azores, May 26-27.
- Silva, P.A., Monteiro, N., Oliveira, T., Abreu, T., Coelho, C. (2021). Annual and seasonal variability of the littoral drift at Aveiro, Northwest Coast of Portugal. *1st MedGU Annual Meeting (MedGU-21)*. Istanbul, Turkey, 25–28 November 2021.
- Ferreira, M., Coelho, C., Silva, P.A. (2021). Efeito dos Processos Longitudinais e Transversais no Desempenho das Alimentações Artificiais de Sedimentos, *X Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa*, 6 a 10 de dezembro, 2021.
- Pais-Barbosa, J., Silva, P. A., Taborda, R., Rodrigues, A., Silva, S., Abreu, T., Baptista, P., Bernardes, C., Cascalho, J., Coelho, C., Duarte, J., Ferreira, M., Fernandes, F., Font, E., Fontán-Bouzas, A., Silva, A. N., Nolasco, R., Pombo, J., Lira, L. P., Rato, D., Ribeiro, M., Romão, S., Vinhas, A. (2021) - Metodologia Multidisciplinar para Suporte às Operações de Alimentação Artificial de Praias – Projeto SANDTRACK, *X Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa*, 6 a 10 de dezembro, 2021.
- Ferreira, M., Coelho, C., Silva, P. A. (2021); Coastal Erosion Mitigation Based on Artificial Nourishments and Sand Bypassing Systems: Barra – Vagueira, Portugal. *Coastal Dynamics 2021*, Delft, Netherlands 28 June - 2 July.
- Ferreira, C. C., Silva, P.A., Bernabeu, A., and Abreu, T., (2021). Fractional transport in mixed size sediment beds. *Coastal Dynamics 2021*, Delft, Netherlands. 28 June – 2 July.
- Romão, S., Silva, P. A., Rato, D., Cascalho, J., Silva, A. N., Taborda, R., Baptista, P., (2021). Measuring shoreface sediment transport at Costinha Beach, Aveiro. *Coastal Dynamics 2021*, Delft, Netherlands. 28 June - 2 July.



- Coelho, C., Ferreira, M., and Marinho, B. (2021). Numerical Modelling of Artificial Sediment Nourishment Impacts, International Coastal Symposium, ICS2021, Sevilla, 3-5 may.
- Ferreira, C. C., Abreu, T., Silva, P.A., Bernabeu, A., Romão, S., and Staudt, F., (2021). Sediment Transport with Mixed Sand in Nonlinear Regular Waves, International Coastal Symposium, ICS2021, Sevilla, 3-5 may.
- Silva, A. N., Taborada, R., Castelle, B. and Dodet, G., (2021). Wave Directional Spreading Importance on Sheltered Embayed Beaches, International Coastal Symposium, ICS2021, Sevilla, 3-5 may.
- Silva, P. A., Taborada, R., Silva, S., Fontan- Bouzas, A., Coelho, C., Bernardes, C., Batista, P., Nolasco, R., Abreu, T., Silva, A. N., Lira, C. P., Font, E., Cascalho, J., Romão, S., Costa, A., Rodrigues, A., Ferreira, F., Duarte, J., Pombo, J., Ribeiro, M., (2019). Sandtrack - Alimentação artificial das praias: uma metodologia integrada de suporte à gestão do litoral. IX Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, 14-16 maio Lisboa.
- Abreu, T., Silva, P A., Baptista, P., Pais-Barbosa, J., Fernandez-Fernandez, S. and Ferreira, C., (2019). Analysis of nonlinear wave parameters on Ofir sandy beach (NW Portugal), (2019). Advances in Natural Hazards and Hydrological Risks: Meeting the Challenge - Proceedings of the 2nd International Workshop on Natural Hazards (NATHAZ'19), Pico Island - Azores 2019.
- Abreu, T., Parreño-Mas, B., Pinto-Faria, J., (2019). Morphodynamics of an embayed beach in Majorca Island. Advances in Natural Hazards and Hydrological Risks: Meeting the Challenge - Proceedings of the 2nd International Workshop on Natural Hazards (NATHAZ'19), Pico Island - Azores 2019.
- Abreu, T., Silva, P.A., Baptista, P., Taborada, R., Silva, S., (2019). Gestão de zonas costeiras com recurso a alimentação artificial de praias, IX Encontro da Rede BRASPOR, Sagres, Vila do Bispo, Algarve (Portugal), 19-12 outubro 2019.

4.4. Comunicações em Encontros Científicos Nacionais

- Romão, S., Taborada, R., Silva, P.A., Baptista, P. (2022). Modelação da Evolução de Alimentações Artificiais de Praia em Resposta a Diferentes Cenários de Forçamento. 6ª Conferência sobre Morfodinâmica Estuarina e Costeira, MEC2022, Livro de Resumos, 2022, Lisboa - Portugal.
- Fernandes, A. F., Rato, D., Silva, S., Ribeiro, M., Taborada, R., Rodrigues, A., Romão, S., Vinhas, A., Pombo, J., (2020). Projeto Sandtrack - Novas abordagens com traçadores sedimentares. 6.As Jornadas de Engenharia Hidrográfica/1.as Jornadas Luso-Espanholas de Hidrografia, Instituto Hidrográfico, 3,4,5 de novembro 2020, Livro de Atas, 304-307.
- Romão, S., Taborada, R., Cascalho, J., Duarte, J. F., Rato, D., Silva, P. A., (2020). Avaliação do desgaste do pigmento em traçadores magnéticos. 6.as Jornadas de Engenharia Hidrográfica/1.as Jornadas Luso-Espanholas de Hidrografia, Instituto Hidrográfico, 3,4,5 de novembro 2020, Livro de Atas, 292-295.
- Rato, D., Cascalho, J., Taborada, R., Silva, P., Romão, S., Silva, A. N., Lira, C. P., (2019). Projecto SandTrack – resultados preliminares de uma experiência com traçador fluorescente, IX Congresso Jovens Investigadores em Geociências, LEG 2019, Estremoz, 23-24 novembro 2019, Livro de Atas, 51-54.
- Fernandes, F. Silva, S., Duarte, J. F., Pombo, J., Ribeiro, M., Bizarro, A. and Vinhas, A., (2019). Utilização da suscetibilidade magnética para a deteção de traçadores magnéticos em estudos de dinâmica sedimentar costeira. IX Congresso Jovens Investigadores em Geociências, LEG 2019, Estremoz Novembro de 2019, Livro de Atas, 91-94.



- Romão, S., Duarte, J., Taborda, R., Ferreira, C. C., Silva P. A., and Staudt, F., (2019). Magnetic Sediment Tracers: a new approach. 5ª Conferência sobre Morfodinâmica Estuarina e Costeira, MEC2019, Livro de Resumos, 2019, Lisboa – Portugal, 24 a 26 de junho de 2019. ISBN: 978-989-20-9612-4, pag 61-62
- Ferreira, C. C., Silva, P. A., Bernabeu, A. M., (2019). Image analysis of heterometric florescent sand, 5ª Conferência sobre Morfodinâmica Estuarina e Costeira, MEC2019, Livro de Resumos, 2019, Lisboa – Portugal, 24 a 26 de junho de 2019. ISBN ISBN: 978-989-20-9612-4, pag 53-54.
- Coelho, C., Ferreira, M., Marinho, B., (2019). Modelação numérica do impacto de alimentações artificiais de sedimentos, 5ª Conferência sobre Morfodinâmica Estuarina e Costeira, MEC2019, Livro de Resumos, 2019, Lisboa – Portugal, 24 a 26 de junho de 2019. ISBN ISBN: 978-989-20-9612-4., pag 7-8.
- Silva, P. A., Ferreira, C. C., Bernabéu, A., Romão, S., Taborda, R., Duarte, J., Abreu, T., (2019). Traçadores sedimentares aplicados ao estudo da dinâmica sedimentar na zona costeira. Encontro de Oceanografia, Peniche, 24-25 Maio 2019.

4.5. Dissertações de Doutoramento

- Caroline Costa Ferreira, (2022). “Transporte Sedimentar de Misturas Arenosas em Ambientes Costeiros”, Tese de Doutoramento do Programa Doutoral Do*Mar, Universidade de Aveiro. 195p

4.6. Dissertações de Mestrados

- Salgado, J. (2021). “Caracterização de balanços sedimentares face a alimentações artificiais: Casos de estudo de Aveiro e Figueira da Foz”. Tese de Mestrado em Energias Sustentáveis, Instituto Politécnico do Porto. 141p
- Laura Teresa Nobre Tubarão (2020). “Evolução morfológica e análise do impacto da agitação marítima no setor costeiro Poço da Cruz-Praia de Mira”, Mestrado em Ciências do Mar e da Atmosfera. Universidade de Aveiro. 74p

4.7. Trabalhos de Final de Licenciatura

- Rosana Cardoso (2020). “Agitação marítima e as suas consequências na corrente de deriva litoral e no transporte de areias”, Projeto da licenciatura em Meteorologia, Oceanografia e Geofísica, Universidade de Aveiro. 38p.
- Angelica Cedeno Domingez (2020). “Estudio del transporte sedimentario mediante trazadores en la playa de Patos (Vigo). Trabajo Fin de Grado en Ciencias del Mar, Universidad Catolica de Valencia. 65p.

4.8. Relatórios

- Pais-Barbosa, J., Baptista, P., Silva, P., (2021). Relatório XII – Análise Levantamentos Topográficos. Sandtrack ref: POCI-01-0145-FEDER-031779. 63p
- Rato, D., Silva, A. N., Cascalho, J., Pais-Barbosa, J., Taborda, R., Silva, P., (2021). Relatório XI - Processamento das amostras de traçador. Sandtrack ref: POCI-01-0145-FEDER-031779. 48p
- Fernandes, A., Silva, S., Pombo, J., (2020). Relatório X – Densidade de partículas. Sandtrack ref: POCI-01-0145-FEDER-031779. 18p.
- Romão, S. (2020). Relatório IX - Implementação do modelo hidrodinâmico – Delft3D. Sandtrack ref: POCI-01-0145-FEDER-031779. 19p.
- Ferreira, A., Coelho, C., (2021). Relatório VI – Relatório da tarefa 5. Sandtrack ref: POCI-01-0145-FEDER-031779. 52p
- Silva, S., Fernandes, A., Costa, A., Ribeiro, M., Cruz, C., Oliveira, J., Bizarro, A., Pombo, J., Francisco, J., (2020). Relatório VIII – Medição de propriedades magnéticas. Sandtrack ref: POCI-01-0145-FEDER-031779. 52p
- Silva, S., Fernandes, A., Fradique, C., Oliveira, J., (2020) - Relatório VII – Estudo da exequibilidade de realização de uma nova experiência ao largo de Troia: Levantamento de referência e teste de medição sinal magnético de 76.5 kg de traçador magnético e fluorescente. Sandtrack ref: POCI-01-0145-FEDER-031779. 15p.
- Silva, P., Baptista, P., Silva, S., Fernandes, A., Rato, D., Romão, S., Silva, A. N., Cascalho, J., e Taborda, R., (2019). Relatório V – Campanha de campo na Praia da Costinha, Aveiro. Sandtrack ref: POCI-01-0145-FEDER-031779. 49 p.
- Rato, D. e Romão, S. (2019). Relatório IV – Análise textural dos traçadores. Sandtrack ref: POCI-01-0145-FEDER-031779. 8 p.
- Rato, D. e Romão, S. (2019). Relatório III – Preparação de traçadores fluorescentes e magnéticos. Sandtrack ref: POCI-01-0145-FEDER-031779. 12 p.
- Rato, D. (2019). Relatório II - Análise textural de sedimentos. Sandtrack ref: POCI-01-0145-FEDER-031779. 12 p.
- Rato, D. (2019). Relatório I – Alimentações artificiais na praia da Costa Nova, Aveiro. Sandtrack ref: POCI-01-0145-FEDER-031779. 10 p.