



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

MONITORIZAÇÃO DA HIDRODINÂMICA DA ABERTURA E APROFUNDAMENTO DOS CANAIS DA ZONA INFERIOR DA LAGOA DE ÓBIDOS

Relatório 1 – Caracterização da situação inicial

Agência Portuguesa do Ambiente, I.P.

Lisboa • julho de 2015

I&D HIDRÁULICA E AMBIENTE

RELATÓRIO 235/2015 – **DHA/NEC**

Título

MONITORIZAÇÃO DA HIDRODINÂMICA DA ABERTURA E APROFUNDAMENTO DOS CANAIS DA ZONA INFERIOR DA LAGOA DE ÓBIDOS

Relatório 1 – Caracterização da situação inicial

Autoria

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E AMBIENTE

Paula Freire

Investigadora Auxiliar, Núcleo de Estuários e Zonas Costeiras

André B. Fortunato

Investigador Principal com Habilitação, Núcleo de Estuários e Zonas Costeiras

Luís Portela

Investigador Auxiliar, Chefe do Núcleo de Estuários e Zonas Costeiras

Alberto Azevedo

Bolseiro Pós-Doutoramento, Núcleo de Estuários e Zonas Costeiras

Colaboração

Luís Simões Pedro

Técnico Superior, Núcleo de Estuários e Zonas Costeiras

Ana Cristina Gonçalves Mendes

Especialista de Informática, Grupo de Tecnologias da Informação em Água e Ambiente

João Luís Gomes

Bolseiro de Iniciação à Investigação Científica, Grupo de Tecnologias da Informação em Água e Ambiente

Copyright © LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, I. P.

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA

e-mail: lnec@lnec.pt

www.lnec.pt

Relatório 235/2015

Proc. 0604/121/19726

MONITORIZAÇÃO DA HIDRODINÂMICA DA ABERTURA E APROFUNDAMENTO DOS CANAIS DA ZONA INFERIOR DA LAGOA DE ÓBIDOS.

Relatório 1 – Caracterização da situação inicial

Resumo

Apresentam-se e discutem-se os resultados do Programa de Monitorização na fase pré-obra, referente ao estudo *Monitorização da Hidrodinâmica da Abertura e Aprofundamento dos Canais da Zona Inferior da Lagoa de Óbidos*, com vista à caracterização da situação inicial. Os dados adquiridos incluem um levantamento topo-hidrográfico e um ortofotomapa, dados de agitação marítima, níveis do mar na zona da Lagoa e níveis no seu interior. Os resultados evidenciam forte assoreamento da zona inferior da Lagoa, traduzido num claro predomínio das áreas situadas acima do Zero Hidrográfico. O canal de embocadura, situado no terço central da Lagoa, reflete a intervenção recente com vista à sua abertura, apresentando-se pouco desenvolvido. Este assoreamento traduz-se em amplitudes de maré muito reduzidas no interior da laguna (cerca de 10% da amplitude no mar), em que as principais variações de níveis ocorrem numa escala de tempo quinzenal. Simultaneamente, a Lagoa de Óbidos apresenta-se muito dominada pela enchente.

Palavras-chave: Evolução Morfológica / Hidrodinâmica / Assoreamento / Dominância de Enchente

HYDRODYNAMIC MONITORING OF THE OPENING AND CHANNELS DREDGING OF THE LOWER ZONE OF ÓBIDOS LAGOON.

Report 1 – Characterisation of the reference situation

Abstract

The first results of the Monitoring Program implemented in the scope of the study *Hydrodynamic Monitoring of the Opening and Channels Dredging of the Lower Zone of Óbidos Lagoon* are presented and discussed. The data acquired include a topo-hydrographic survey and an orthophoto, wave climate data, sea water levels in the lagoon area and water levels inside the lagoon. Results show a strong infilling of the downstream sector of the Lagoon, where the areas with average depths above chart datum are dominant. The inlet channel is situated at the central third of the sandy barrier and is poorly developed reflecting its recent artificial opening. The tidal range inside of the Lagoon is reduced due to infilling (circa 10% of the tidal range at the sea) and its major variation occurs in a fortnightly time scale. At the same time, the Óbidos Lagoon is strongly flood dominated.

Keywords: Morphologic Evolution / Hydrodynamics / Infilling / Flood Dominance

Índice

1	Introdução e Objetivos	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Objetivos e estrutura do relatório	1
2	Lagoa de Óbidos	3
2.1	Localização e enquadramento geográfico	3
2.2	Morfologia e conteúdo sedimentar	4
2.3	Agitação marítima, maré e hidrologia	7
3	Descrição dos Dados e Metodologia de Análise	10
3.1	Condições da embocadura e desenvolvimento dos trabalhos de monitorização	10
3.2	Deteção remota	11
3.3	Topo-hidrografia	13
3.4	Hidrodinâmica	14
3.4.1	Agitação marítima	14
3.4.2	Níveis no mar	15
3.4.3	Níveis na Lagoa de Óbidos	16
4	Caracterização Morfológica	18
4.1	Cartografia dos elementos morfosedimentares	18
4.2	Topo-hidrografia	19
5	Caracterização da Hidrodinâmica	24
5.1	Março de 2015	24
5.2	Abril de 2015	25
5.3	Maio de 2015	28
6	Conclusões e Recomendações	31
	Referências Bibliográficas	33

Índice de figuras

Figura 2.1 – Localização da Lagoa de Óbidos.....	3
Figura 2.2 – Zonas superior e inferior da Lagoa de Óbidos. Extraído de [1].....	4
Figura 2.3 - Caracterização granulométrica do tipo de sedimentos presentes na lagoa (IPIMAR,2002). Extraído de [2].....	5
Figura 2.4 - Composição dimensional (A) e diâmetro mediano da fração grosseira dos sedimentos (B), com base numa amostragem realizada entre 26 e 30 de Agosto de 2010. Base geográfica: ArcGis OnLine, ESRI (IGP 2005). Extraído de [1].....	6
Figura 2.5 – Características da agitação marítima em frente à Lagoa de Óbidos ao longo de um ano: altura significativa, direção e período de pico. A linha central a negro indica o valor médio, a mancha a cinzento escuro a média mais ou menos o desvio padrão, e a mancha mais clara os limites dos valores observados em 57 anos. Adaptado de [6].....	7
Figura 2.6 – Amplitudes da principal constituinte de maré (M2) ao longo de 2001 e 2002 (Fonte: [5]).....	8
Figura 2.7 - Identificação das sub-bacias hidrográficas drenantes para a Lagoa de Óbidos e suas características. Extraído e adaptado de [2].....	9
Figura 2.8 – Caudais característicos em regime modificado da bacia do rio Arnóia. Extraído e adaptado de [7].....	9
Figura 3.1 – Aspetos da embocadura da Lagoa de Óbidos fechada em 17 de abril de 2015.....	10
Figura 3.2 – Aspetos da abertura da Lagoa de Óbidos em 23 de abril 2015. Extraído e adaptado de http://www.surfertoday.com/bodyboarding/11760-portugals-newest-natural-standing-wave	11
Figura 3.3 – Ortofotomapa correspondente à situação de referência. O retângulo a vermelho corresponde à área de monitorização da evolução morfológica.....	12
Figura 3.4 – Exemplos de algumas classes de <i>clustering</i> obtidas.....	13
Figura 3.5 - Exemplo de tratamento dos dados de agitação marítima na boia da Nazaré (MONICAN02): a) altura significativa; b) período de pico; c) direção média.....	14
Figura 3.6 - Tratamento dos dados de níveis do marégrafo de Peniche.....	15
Figura 3.7 - Previsão da amplitude de maré na costa Portuguesa através do modelo regional do LNEC: a) malha e domínio de cálculo do modelo; b) amplitude de maré em Peniche em 2015.....	16
Figura 3.8 - Marégrafo instalado no Cais da Foz do Arelho.....	17
Figura 4.1 – Principais elementos morfosedimentares da zona inferior da Lagoa de Óbidos na situação de referência (9 de maio 2015). Imagem original no canto superior direito.....	19
Figura 4.2 - Levantamento topo-hidrográfico da zona inferior da lagoa em setembro de 2004.....	21
Figura 4.3 - Levantamento topo-hidrográfico da zona inferior da lagoa em abril de 2015.....	22
Figura 4.4 - Comparação de levantamentos: 2015-2004.....	23
Figura 5.1 - Nível do mar em março de 2015: a) nível; b) sobre-elevação; c) amplitude de maré.....	24
Figura 5.2 - Agitação marítima em março de 2015: a) altura significativa; b) período de pico; c) direção média (a linha a tracejado indica a normal à praia).....	25
Figura 5.3 - Nível do mar em abril de 2015: a) nível; b) sobre-elevação; c) amplitude de maré.....	26
Figura 5.4 - Agitação marítima em abril de 2015: a) altura significativa; b) período de pico; c) direção média (a linha a tracejado indica a normal à praia).....	26
Figura 5.5 - Níveis na Lagoa de Óbidos (Cais da Foz do Arelho) em abril de 2015: a) nível total; b) nível médio; c) amplitude de maré.....	27

Figura 5.6 - Propagação da maré para o interior da Lagoa de Óbidos em abril de 2015: a) quociente entre a amplitude nas estações do Cais do Arelho e Peniche; b) assimetria da maré	27
Figura 5.7 - Nível do mar em maio de 2015: a) nível; b) sobre-elevação; c) amplitude de maré	28
Figura 5.8 - Agitação marítima em maio de 2015: a) altura significativa; b) período de pico; c) direção média (a linha a tracejado indica a normal à praia)	29
Figura 5.9 - Níveis na Lagoa de Óbidos (Cais da Foz do Arelho) em maio de 2015: a) nível total; b) nível médio; c) amplitude de maré.....	29
Figura 5.10 - Propagação da maré para o interior da Lagoa de Óbidos em maio de 2015: a) quociente entre a amplitude nas estações do Cais do Arelho e Peniche; b) assimetria da maré	30

1 | Introdução e Objetivos

1.1 Enquadramento

Com vista ao acompanhamento da empreitada de Abertura e Aprofundamento dos Canais da Zona Inferior da Lagoa de Óbidos, a Agência Portuguesa do Ambiente, I.P. (APA) solicitou ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P. (LNEC) a apresentação de uma Proposta de Trabalhos para implementação e execução de um Programa de Monitorização da evolução das condições hidrodinâmicas e morfológicas da Lagoa no período de execução daquela obra, que foi adjudicada ao LNEC em 7 de abril de 2015. O Programa de Monitorização teve o seu início em 16 de abril de 2015 e a empreitada em 8 de maio de 2015.

O Programa de Monitorização implementado tem os seguintes objetivos: a) caracterizar a situação de referência pré-obra, da hidrodinâmica de maré e morfológica; b) acompanhar a evolução da Lagoa, nomeadamente através da monitorização da evolução dos níveis de água no interior da Lagoa e da evolução morfológica das zonas emersas, da topo-hidrografia e posição dos canais, da barra e do cordão dunar frontal; c) avaliar e interpretar os padrões de sedimentação durante o tempo de execução do projeto, no sentido de estimar eventuais volumes de dragagens de manutenção no futuro; d) identificar a existência e/ou a tendência para a alteração do equilíbrio lagunar, designadamente situações críticas de assoreamento; e) definir ações ou medidas a tomar, no imediato ou no futuro, de modo a minimizar ou corrigir atempadamente os fatores geradores de impactes negativos.

1.2 Objetivos e estrutura do relatório

No presente relatório apresentam-se e discutem-se os resultados do Programa de Monitorização correspondentes à fase pré-obra, em cumprimento dos objetivos da **Tarefa 2 - Caracterização da situação de referência** da Proposta de Trabalhos.

Com base no levantamento topo-hidrográfico e no ortofotomapa realizados antes do início da obra e nos dados de níveis registados no interior da Lagoa disponíveis até ao momento (abril-maio de 2015), os objetivos da referida tarefa são:

- Caracterização da maré no interior da Lagoa;
- Cartografia dos principais elementos morfológicos, incluindo o posicionamento da aberta no cordão dunar frontal e o desenvolvimento do delta de enchente;
- Caracterização topo-hidrográfica dos canais, zonas emersas, barra e cordão dunar frontal;
- Interpretação do estado da Lagoa.

Este relatório está organizado em 5 secções para além da presente introdução. Na secção 2 são apresentadas as características morfosedimentares e hidrodinâmicas da Lagoa de Óbidos, seguindo-se, na secção 3, a descrição dos dados de monitorização na fase pré-dragagem e da metodologia de

análise dos mesmos. Os resultados topo-hidrográficos e de deteção remota, e da hidrodinâmica são apresentados e discutidos nas secções 4 e 5, respetivamente. Na secção 6 apresentam-se as principais conclusões e recomendações.

2 | Lagoa de Óbidos

2.1 Localização e enquadramento geográfico

A Lagoa de Óbidos localiza-se na costa ocidental Portuguesa, entre o promontório da Nazaré e a península de Peniche, junto à Foz do Arelho (Figura 2.1), pertencendo administrativamente aos Concelhos de Caldas da Rainha (a norte) e de Óbidos (a sul). Trata-se de uma laguna de forma alongada perpendicularmente à costa e orientação geral NW-SE. A ligação ao oceano é feita através de um canal de embocadura divagante (conhecido por “aberta”), mantido artificialmente, que corta um cordão litoral arenoso. Nesta zona a costa é essencialmente linear, estando a embocadura da Lagoa limitada a norte por arribas ativas, e a sul por cerca de 10 km de praia arenosa contínua até ao Baleal.



Figura 2.1 – Localização da Lagoa de Óbidos

2.2 Morfologia e conteúdo sedimentar

A Lagoa de Óbidos apresenta uma área molhada de aproximadamente 6 km², apresentando o corpo da laguna uma largura e comprimento máximos de 1,8 km e 4,5 km, respetivamente. A jusante, o cordão litoral que se desenvolve paralelo à linha de costa (orientação aproximada NE-SW) tem uma extensão máxima de 1,6 km, limitado a norte pelas arribas da Cruz do Facho (87 m de altitude) e a sul pela Rocha do Gronho (55 m de altitude). Para montante, o corpo lagunar central prolonga-se por dois braços principais, o Braço da Barrosa na margem direita, onde conflui o rio da Cal, e o Braço do Bom Sucesso na margem esquerda, onde desagua a Vala do Ameal (Figura 2.2). A norte deste último encontra-se a Poça das Ferrarias que constitui uma pequena baía ligada ao corpo lagunar por um canal estreito. Na zona central desagua o principal afluente da Lagoa, o rio Real no qual conflui o rio Arnóia. Considerando a morfologia e conteúdo sedimentar podem-se distinguir duas zonas distintas da laguna, a zona inferior e a zona superior (Figura 2.2).

A zona inferior estende-se desde a embocadura até cerca de 2,1 km a montante, onde se dá a passagem de fundos arenosos para fundos de natureza essencialmente vasosa (Figura 2.3). Esta zona caracteriza-se por uma variabilidade morfológica elevada resultante da ação da agitação marítima e correntes de maré, expressa sobretudo na evolução dos bancos arenosos que constituem o delta de enchente e dos dois canais de maré principais, que condiciona a posição da aberta no cordão litoral. Refere-se ainda a existência de um delta de vazante mas com expressão reduzida. Ao longo do corpo lagunar encontram-se junto às margens depósitos de sedimento não consolidado (areia e cascalho) que se dispõem superiormente aos rasos de maré formando pequenas praias. As características granulométricas principais dos sedimentos desta zona da laguna são apresentadas na Figura 2.4.



Figura 2.2 – Zonas superior e inferior da Lagoa de Óbidos. Extraído de [1]

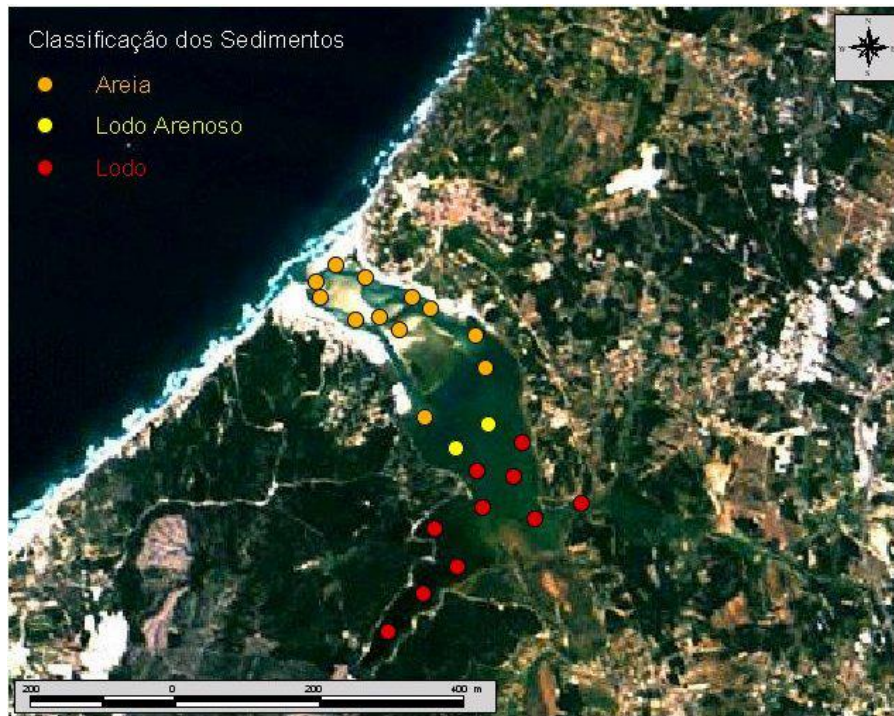


Figura 2.3 – Caracterização granulométrica do tipo de sedimentos presentes na lagoa (IPIMAR,2002). Extraído de [2]

A zona superior da laguna é caracterizada pela presença de sedimentos mais finos e morfologias a eles associadas. Ao longo da margem esquerda, particularmente no Braço do Bom Sucesso, na foz do rio Real e no Braço da Barrosa, encontram-se manchas de sapal de substrato vasoso ou arenovasoso, limitadas inferiormente por rasos de maré da mesma natureza. A fração silto-argilosa dos sedimentos (diâmetros inferiores a $63 \mu\text{m}$) é dominante, sendo tipicamente superior a 80% do peso da amostra total [3]. A zona superior da Lagoa apresenta uma tendência marcada para o assoreamento que resulta das condições propícias para a deposição de sedimentos finos provenientes dos cursos de água afluentes. Destaca-se o delta do rio Real, cujo crescimento tem sido evidente nas últimas décadas ([1]; [4]).

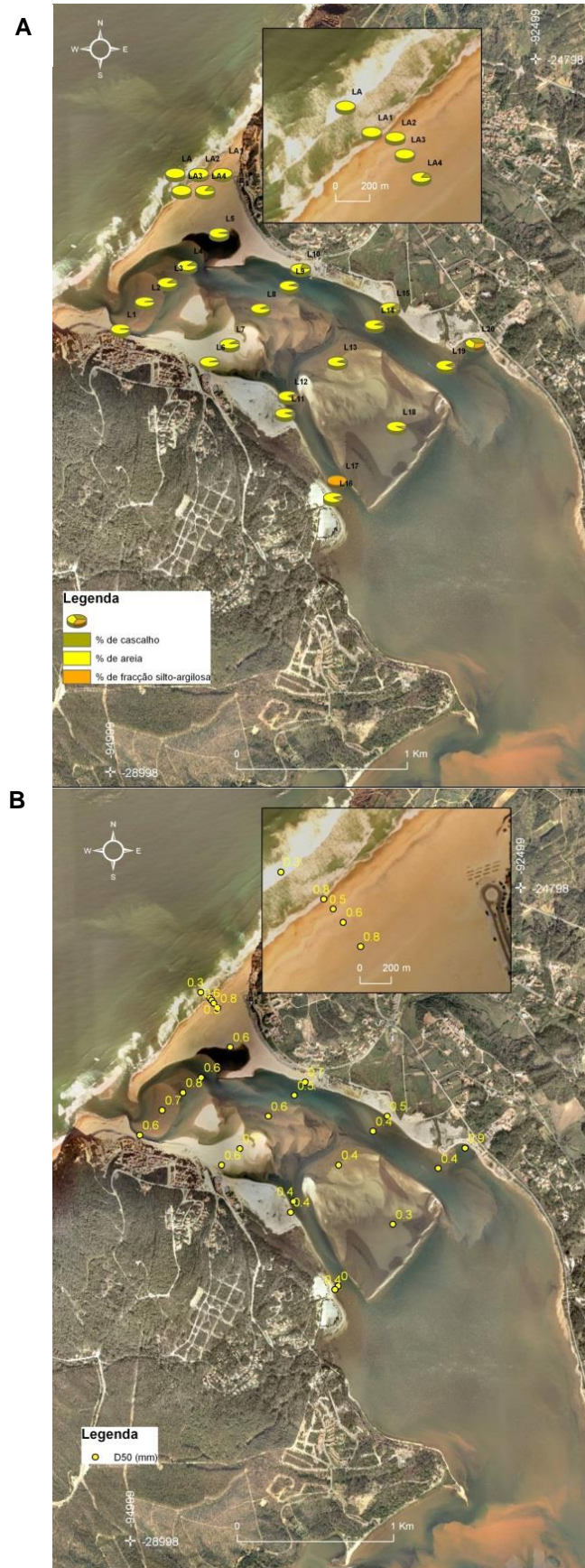


Figura 2.4 – Composição dimensional (A) e diâmetro mediano da fração grosseira dos sedimentos (B), com base numa amostragem realizada entre 26 e 30 de Agosto de 2010. Base geográfica: ArcGis OnLine, ESRI (IGP 2005).
Extraído de [1]

2.3 Agitação marítima, maré e hidrologia

A agitação marítima em frente à Lagoa de Óbidos é severa, com a altura significativa ao largo a exceder 2,5 m durante 20% do tempo. A agitação apresenta uma forte sazonalidade, com alturas significativas e períodos maiores no inverno do que no verão (Figura 2.5). No inverno as ondas vêm também mais rodadas a sul relativamente ao verão.

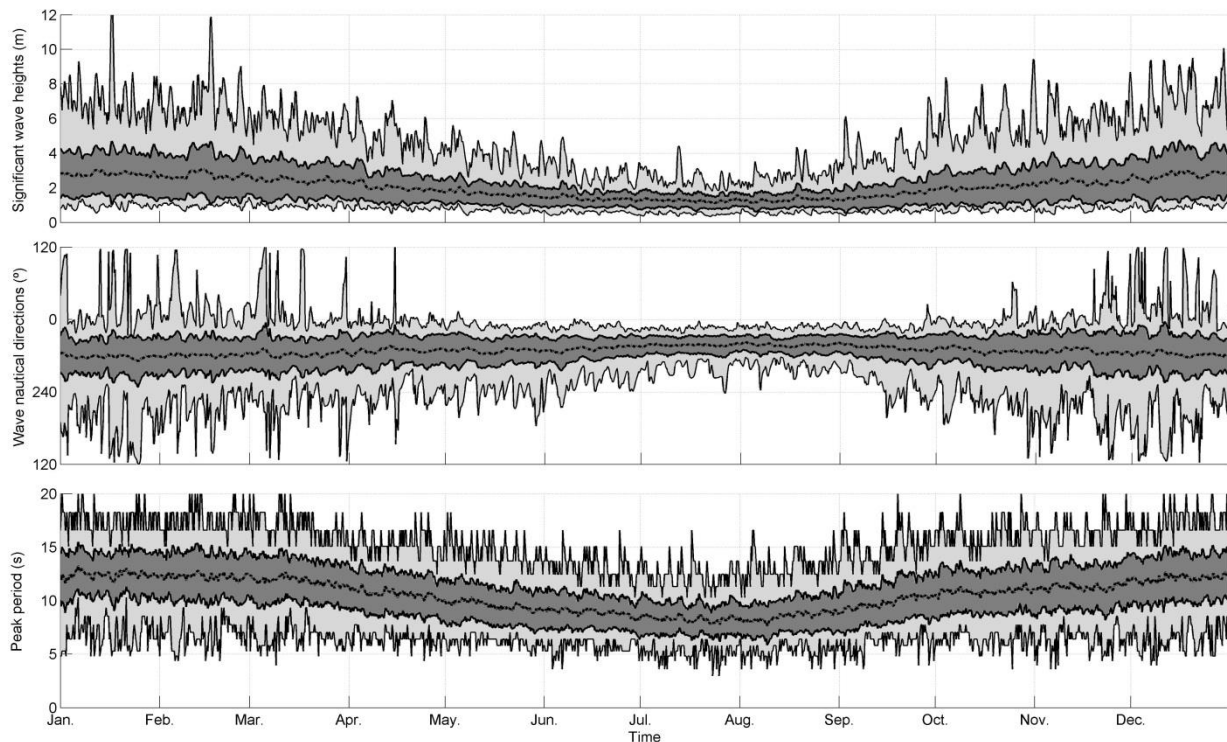


Figura 2.5 – Características da agitação marítima em frente à Lagoa de Óbidos ao longo de um ano: altura significativa, direção e período de pico. A linha central a negro indica o valor médio, a mancha a cinzento escuro a média mais ou menos o desvio padrão, e a mancha mais clara os limites dos valores observados em 57 anos. Adaptado de [6]

Como em toda a costa Portuguesa, o regime de marés em frente à Lagoa de Óbidos é semi-diurno e meso-tidal, com amplitudes entre cerca de 1 m em maré morta e 4 m em maré viva. A M2 (lunar semi-diurna) é a principal constituinte da maré, com uma amplitude da ordem de 1 m. As marés são fortemente atenuadas ao penetrarem na laguna. Esta atenuação está fortemente dependente do estado da embocadura. Análises anteriores mostraram um comportamento sazonal da maré no interior da laguna, associado ao maior ou menor assoreamento da embocadura ([5]; Figura 2.6). Durante o inverno marítimo, a ação da agitação marítima tende a colmatar a embocadura, o que reduz a amplitude da maré no interior da laguna; a situação inverte-se no verão marítimo, quando as correntes de maré alargam a embocadura e aumentam a amplitude da maré no interior da laguna.

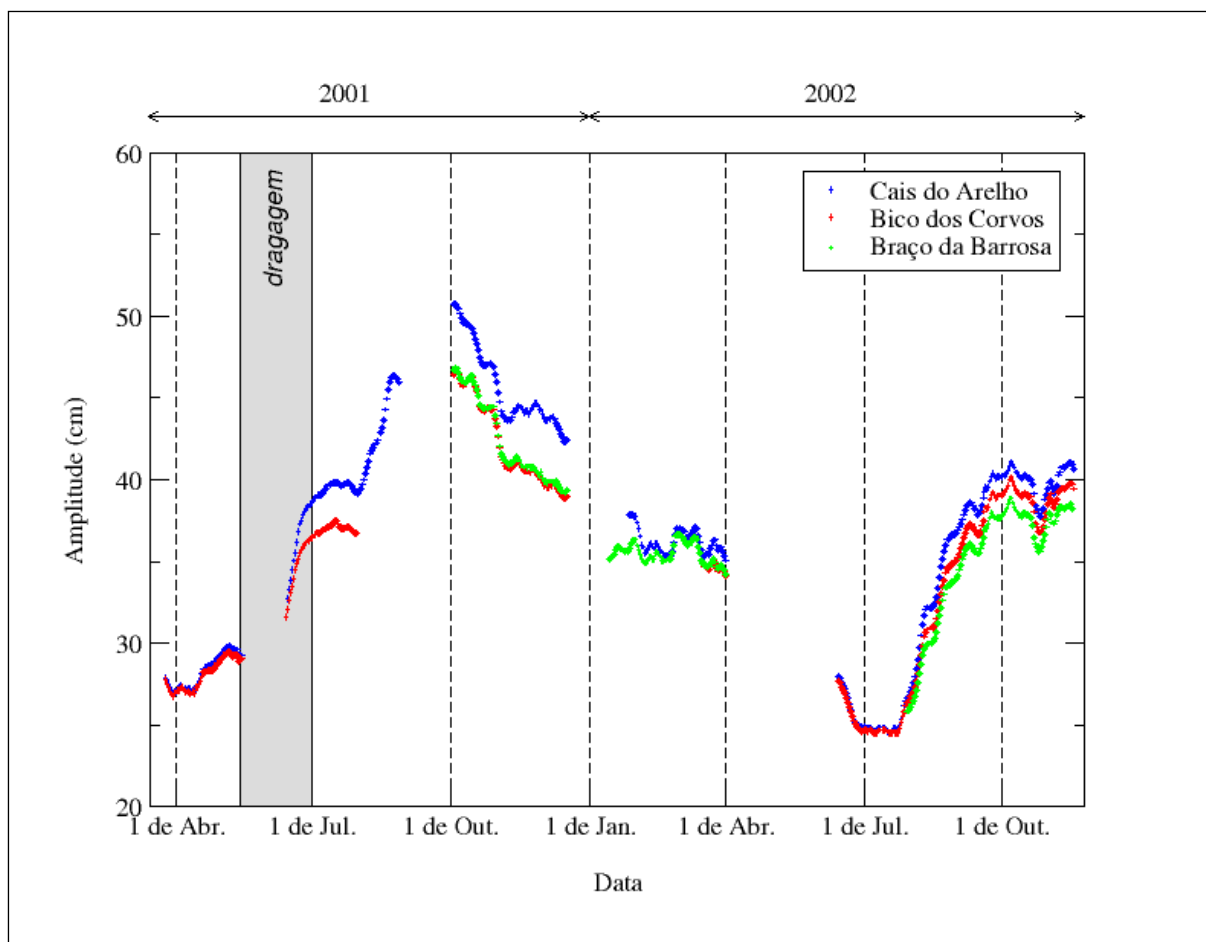


Figura 2.6 – Amplitudes da principal constituinte de maré (M2) ao longo de 2001 e 2002 (Fonte: [5])

A bacia hidrográfica drenante para a Lagoa estende-se por uma área com 440 km² e 109 km de perímetro ([2]), sendo dominada pelas bacias dos rios Real e Arnóia (Figura 2.7). Para além destes, afluem diretamente à Lagoa o Rio da Cal, a Vala do Ameal, a Ribeira das Ferrarias, e o rio Borraça. As afluições correspondentes aos rios Real, Arnóia e da Cal apresentam valores significativos só no Inverno, chegando a registar cheias em anos de maior pluviosidade, e a grande maioria das linhas de água seca nos meses estivais ([2]). Na Figura 2.8 mostram-se valores de caudais característicos em regime modificado para as estações hidrométricas na bacia do rio Arnóia, apresentados no Plano de Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Oeste ([7]). Esta fonte chama a atenção para a diminuta quantidade de dados hidrométricos que pode condicionar a análise destes resultados.

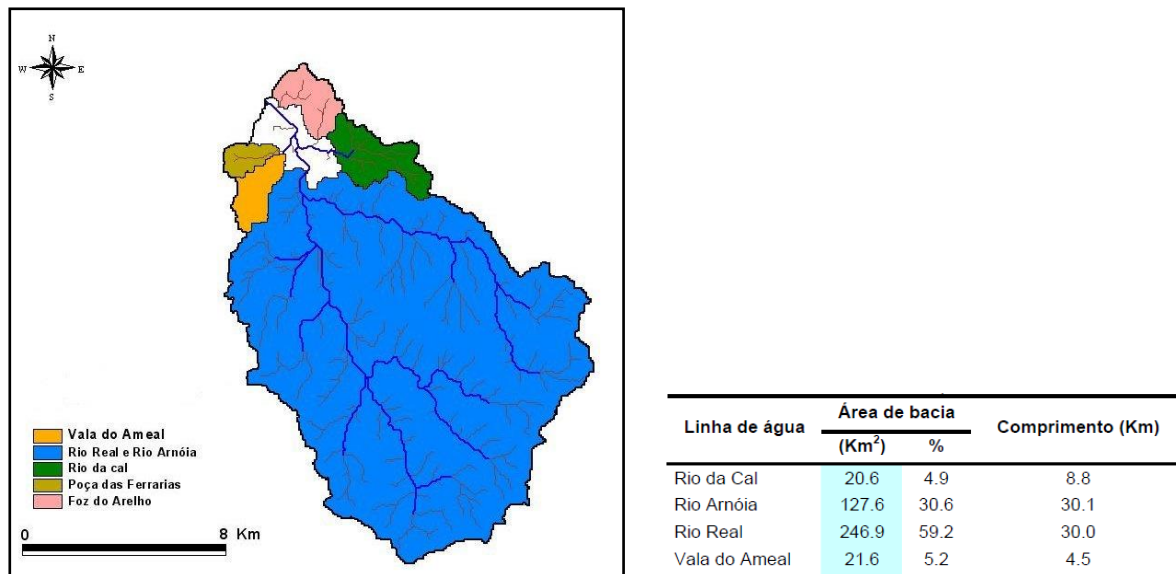


Figura 2.7 – Identificação das sub-bacias hidrográficas drenantes para a Lagoa de Óbidos e suas características. Extraído e adaptado de [2]

Bacia	Estação	N.º anos de Registos	Caudais Característicos (m ³ /s)				Duração do Módulo (dias)
			Máximo (10 dias)	Mediano (180 dias)	Estiagem (355 dias)	Modular	
Rio Arnóia	Gaeiras (17C/05H)	2	1,72	0,04	0	0,20	59
Rio Arnóia	Óbidos (17C/03H)	2	4,74	0,48	0,11	0,98	117
Rio Arnóia	Ponte Óbidos (17C/04H)	6	2,58	0,39	0,09	0,6	93

Figura 2.8 – Caudais característicos em regime modificado da bacia do rio Arnóia. Extraído e adaptado de [7]

3 | Descrição dos Dados e Metodologia de Análise

3.1 Condições da embocadura e desenvolvimento dos trabalhos de monitorização

Referem-se aqui as condições da embocadura da Lagoa que antecederam a situação pré-dragagem, que teve o seu início em 8 de maio de 2015, e o desenvolvimento dos trabalhos de monitorização que decorrem desde 16 de abril de 2015.

Evolução da embocadura da Lagoa:

- A ligação ao mar da Lagoa de Óbidos fechou progressivamente no início do mês de março de 2015, tendo sido reposta através de uma intervenção de emergência promovida pela APA em 24 de março. Ocorreu novo fecho da embocadura a 15 de abril 2015 (Figura 3.1), tendo o canal sido aberto artificialmente em 24 de abril de 2015 (Figura 3.2).

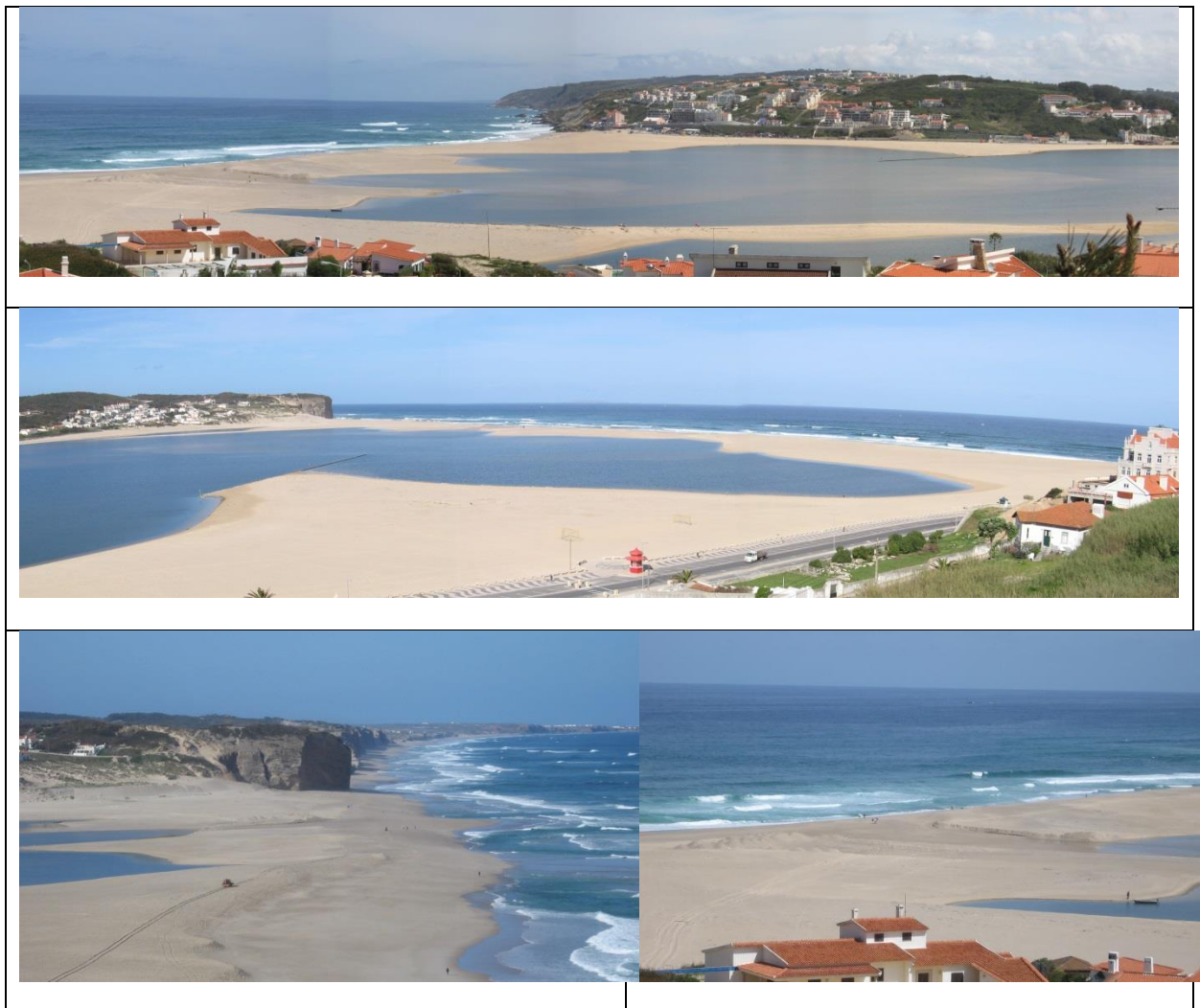


Figura 3.1 – Aspetos da embocadura da Lagoa de Óbidos fechada em 17 de abril de 2015



Figura 3.2 – Aspetos da abertura da Lagoa de Óbidos em 23 de abril 2015. Extraído e adaptado de <http://www.surfertoday.com/bodyboarding/11760-portugals-newest-natural-standing-wave>

Monitorização:

- Os níveis na Lagoa começaram a ser monitorizados em 16 de abril de 2015;
- O levantamento topo-hidrográfico foi realizado entre 15 e 30 de abril de 2015;
- O voo para aquisição do ortofotomapa foi realizado em 9 de maio de 2015, com o intervalo horário das 13:02:16 às 13:03:30. Este instante corresponde a cerca de uma hora após a baixa-mar, sendo o nível em Peniche de cerca de 1,35 m (ZH) (<http://ariel.lnec.pt/node/41>). No interior da Lagoa o nível observado neste instante é de 3,02 m (ZH).

3.2 Deteção remota

O ortofotomapa da Lagoa de Óbidos obtido na situação pré- dragagem foi realizado a 9 de maio de 2015 pela empresa SOCARTO, Sociedade de Levantamentos Topo-Cartográficos, Lda. Este levantamento cobre a totalidade da Lagoa (Figura 3.3) e apresenta uma resolução final de 0,50 m por *pixel* e uma resolução radiométrica de 8 bits por cada faixa espectral. A imagem orto retificada resultante corresponde a uma composição colorida definida pelas 3 bandas espectrais correspondentes ao vermelho, verde e azul. O ortofotomapa foi fornecido ao LNEC no sistema de referência ETRS89-TM06. A cartografia dos elementos morfosedimentares foi efetuada para a zona alvo da monitorização, ou seja a zona inferior da Lagoa, indicada na Figura 3.3, entre o plano de água e a linha da demarcação do leito (linha da máxima preia-mar de águas vivas equinociais - LMPMAVE) disponibilizada pela APA ao LNEC no âmbito deste estudo. No caso do cordão litoral, este foi cartografado em toda a sua extensão.

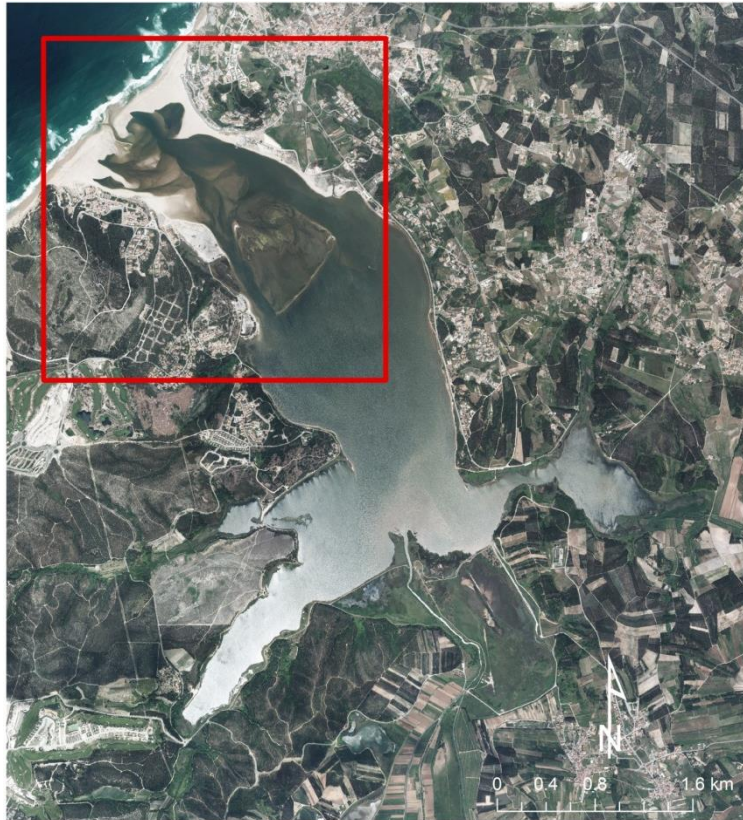


Figura 3.3 – Ortofotomapa correspondente à situação de referência. O retângulo a vermelho corresponde à área de monitorização da evolução morfológica

Numa fase anterior à cartografia dos elementos morfosedimentares, o ortofotomapa foi alvo de diversos processos de tratamento de imagem de forma a facilitar a identificação dos diferentes elementos da imagem. Procedeu-se assim à implementação de duas máscaras, sendo a primeira uma máscara de terra, correspondente aos níveis acima da LMPMAVE, e a segunda máscara correspondente à zona costeira exterior (definida pela linha de rebentação e o largo). A utilização destas máscaras permitiu a exclusão destas regiões na aplicação do algoritmo de *clustering* utilizado neste estudo (algoritmo *K-means*), melhorando assim a performance e qualidade dos resultados.

Antes da aplicação do algoritmo de *clustering*, foi ainda utilizado um filtro do tipo “passa-baixas”, para alisar a imagem e eliminar diversos picos de intensidade. Utilizou-se o filtro Bilateral que tem como base o filtro Gaussiano, mas tem em consideração a intensidade dos píxeis, não aplicando o filtro em zonas onde o gradiente de intensidade é elevado. Desta forma é possível preservar os contornos dos elementos da imagem eliminando as flutuações de intensidade de alta frequência.

Relativamente ao algoritmo *K-means*, foram também realizados diversos testes preliminares com o objetivo de determinar o número ideal de classes para a extração/distinção dos diversos elementos morfosedimentares presentes no ortofotomapa. Concluiu-se que com 7 classes se conseguia a melhor distinção entre os diferentes elementos (e.g. água, zonas pouco profundas, areia molhada e

areia seca). Estas 7 classes foram posteriormente analisadas e interpretadas de forma a classificar eficientemente todos os elementos morfosedimentares observados no ortofotomapa.

Os resultados da análise de imagem (em formato *raster*) foram integrados no programa ArcGIS e transformados em polígonos (Figura 3.4), cuja análise conjunta e interpretação com base no ortofotomapa permitiram a delimitação das formas morfosedimentares mais importantes. Devido ao nível de água elevado no interior da Lagoa no momento da imagem (3,02 m ZH), parte de algumas destas formas estão submersas, embora bem visíveis na imagem. Assim, foram cartografados os seguintes elementos morfosedimentares: (1) cordão litoral, delimitado pela linha de contacto entre a areia seca e molhada; (2) bancos do delta de enchente, emersos e submersos; (3) bancos do delta de vazante, quase na sua totalidade submersos; (4) leito arenoso ao longo da faixa marginal, delimitado pela linha de contacto entre a areia seca e molhada. Os resultados são apresentados e discutidos na secção 4.



Figura 3.4 – Exemplos de algumas classes de *clustering* obtidas

3.3 Topo-hidrografia

O levantamento topo-hidrográfico da situação inicial, anterior à intervenção promovida pela APA, foi realizado pelo Instituto Hidrográfico em abril de 2015, à escala 1 : 2000. Cobre a zona inferior da Lagoa, com uma área de cerca de 2,7 km², objeto da monitorização.

O levantamento foi realizado no sistema de projeção PT-TM06, datum ETRS89, com profundidades referidas ao Zero Hidrográfico (ZH), situado 2 m abaixo do nível médio do mar adotado (NMA). Foi utilizado um sondador de feixe simples (levantamento de ordem 1b), tendo sido disponibilizados cerca de 37600 pontos sondados.

Este levantamento de 2015 foi comparado com um levantamento de setembro de 2004, realizado pelo Instituto Hidrográfico para o Instituto da Água. O levantamento de 2004 cobre a totalidade da

Lagoa e a faixa marítima adjacente, mas no presente relatório é apenas analisada a zona inferior da Lagoa, coincidente com o levantamento de 2015.

Para a referida comparação, foi necessário proceder à uniformização do sistema de coordenadas, tendo sido utilizado o sistema PT-TM06-ETRS89. Como nível de referência, adotou-se o Zero Hidrográfico (ZH), considerando-se as cotas positivas acima do ZH (convenção simétrica da utilizada pelo Instituto Hidrográfico).

Utilizou-se o programa Surfer (versão 8.04) para criar malhas com passo espacial de 10 m nas direções N-S e E-W (287 linhas x 307 colunas), pelo método de *kriging*. Com base nestas malhas, foi analisada a topo-hidrografia atual, calculada a evolução da cota média entre 2004 e 2015 e analisada a distribuição espacial das variações volumétricas ocorridas.

3.4 Hidrodinâmica

3.4.1 Agitação marítima

A agitação marítima na zona da Lagoa de Óbidos foi determinada na boia ondógrafo mais próxima, MONICAN2, localizada na Nazaré (Figura 2.1). Estes dados são medidos pelo Instituto Hidrográfico e disponibilizados com um intervalo de 1 hora, através do sítio *emodnet* (<http://www.emodnet.eu/>). Desenvolveu-se um *script* que diariamente faz o *download* dos dados e os carrega numa base de dados no LNEC. Os dados são posteriormente filtrados para eliminar pequenas flutuações e interpolados com um passo de cálculo de 10 minutos (Figura 3.5). Apenas se analisaram os dados a partir de março de 2015.

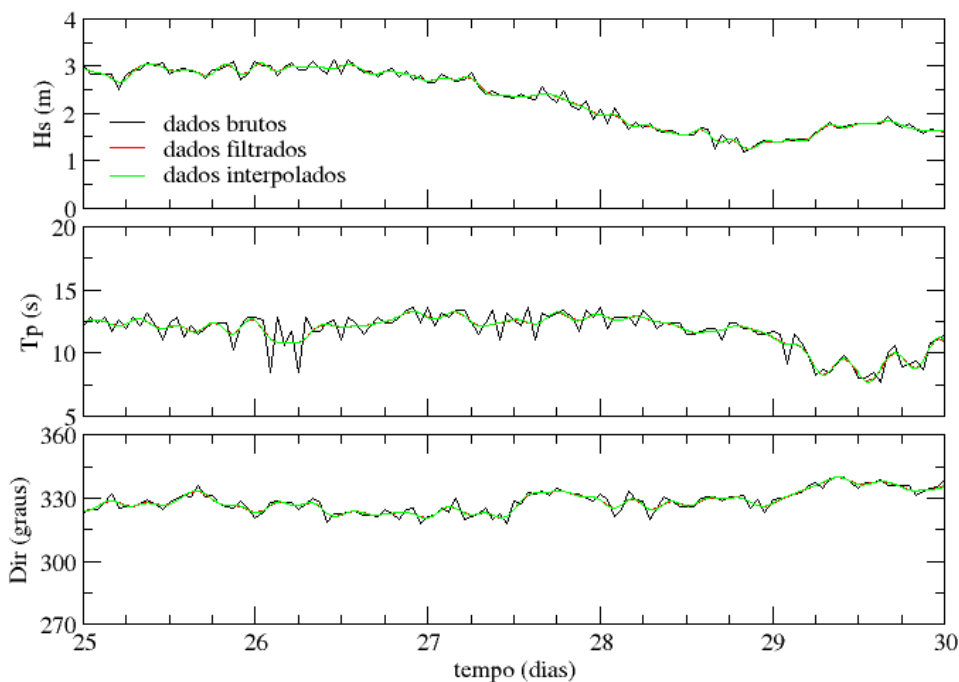


Figura 3.5 – Exemplo de tratamento dos dados de agitação marítima na boia da Nazaré (MONICAN02): a) altura significativa; b) período de pico; c) direção média

3.4.2 Níveis no mar

Os níveis do mar na zona da Lagoa de Óbidos foram determinados na estação maregráfica mais próxima, localizada em Peniche (Figura 2.1). Estes dados são medidos pelo Instituto Hidrográfico com um intervalo de aquisição de 1 minuto, e disponibilizados através do sítio *emodnet* (<http://www.emodnet.eu/>). Uma vez que estes dados só estão disponíveis durante 2 meses, desenvolveu-se um *script* que diariamente faz o *download* dos dados e os carrega numa base de dados no LNEC. Os dados são posteriormente filtrados para eliminar o sinal de ondas infragravíticas e interpolados com um passo de cálculo de 10 minutos (Figura 3.6). A base de dados tem os dados disponíveis a partir de 7 de março de 2015.

De forma a colmatar lacunas na série de dados associadas a falhas no equipamento de medição, utilizam-se também os resultados do modelo operacional do LNEC [8] na mesma estação (disponível em <http://ariel.lnec.pt/node/41>). Este modelo cobre uma parte significativa do Atlântico NE (Figura 3.7a) e produz diariamente previsões do nível do mar, devido à maré e agentes atmosféricos. Não se descreve aqui a validação do modelo, uma vez que a comparação dos dados e resultados do modelo em Peniche apresentada na secção 5 | atestam da sua precisão. O mesmo modelo permite também prever o nível e a amplitude de maré (Figura 3.7b). Através da diferença entre o nível do mar e o nível de maré determina-se a sobre-elevação de origem meteorológica.

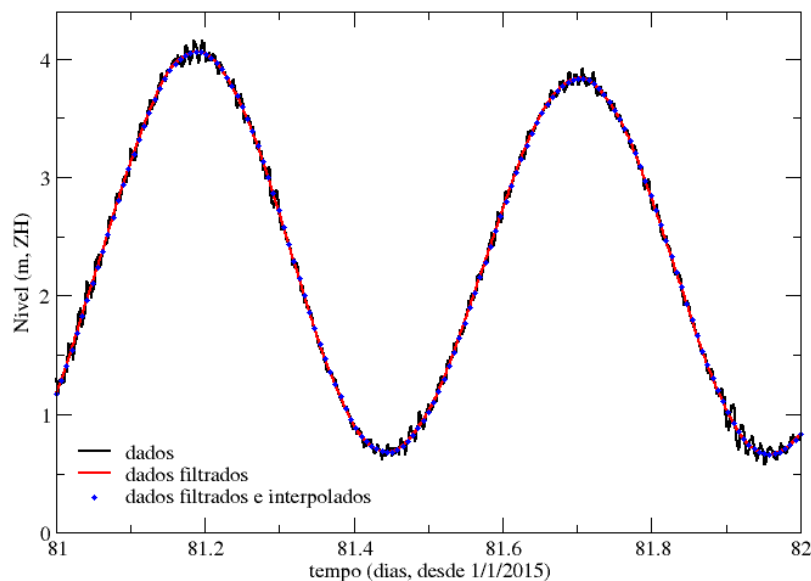


Figura 3.6 – Tratamento dos dados de níveis do marégrafo de Peniche



Figura 3.8 – Marégrafo instalado no Cais da Foz do Arelho

4 | Caracterização Morfológica

4.1 Cartografia dos elementos morfosedimentares

Apresentam-se na Figura 4.1 os principais elementos morfosedimentares da zona inferior da Lagoa de Óbidos, correspondentes à situação de referência (dia 9 de maio de 2015, aproximadamente às 9h00). Como já referido, nesta situação o nível de água no interior da Lagoa é relativamente elevado (3,02 m ZH), o que limita a extensão das áreas cartografadas.

Este setor da Lagoa caracteriza-se pela presença de formas morfológicas resultantes da ação da agitação marítima e das correntes de maré, cujo conteúdo sedimentar é sobretudo de natureza arenosa. Destaca-se o cordão litoral que separa a laguna do oceano, com uma área aproximada de 0,23 km² e uma largura máxima de cerca de 240 m. O cordão é cortado no seu terço central pelo canal de embocadura, situado a cerca de 674 m da Rocha do Gronho. O canal de embocadura apresenta-se pouco desenvolvido, com largura máxima de 40 m, cuja geometria reflete a abertura por meios mecânicos que ocorreu 17 dias antes da imagem analisada. Do lado do oceano, o canal de embocadura termina num delta de vazante pouco desenvolvido, cuja área é cerca de 0,02 km².

O delta de enchente é extenso, constituído por bancos arenosos progradantes para o interior da laguna até à crista arenosa descontínua denominada por Coroa ou banco do Arinho. Estes bancos estendem-se sobretudo na metade sul da Lagoa e apresentam uma área total de aproximadamente 0,31 km², em que cerca de 0,28 km² corresponde, na presente situação, a área submersa. O conjunto de bancos é cortado por dois canais de maré principais, estando o canal a norte relativamente bem delimitado, enquanto o canal a sul se encontra muito assoreado como será discutido na análise da topo-hidrografia apresentada em 4.2.

Ao longo da zona marginal da Lagoa, observam-se formas de acumulação de sedimentos de natureza arenosa formando pequenas praias que diminuem de largura para montante. A área total destas formas, incluídas na designação leito arenoso, é de 0,12 km².

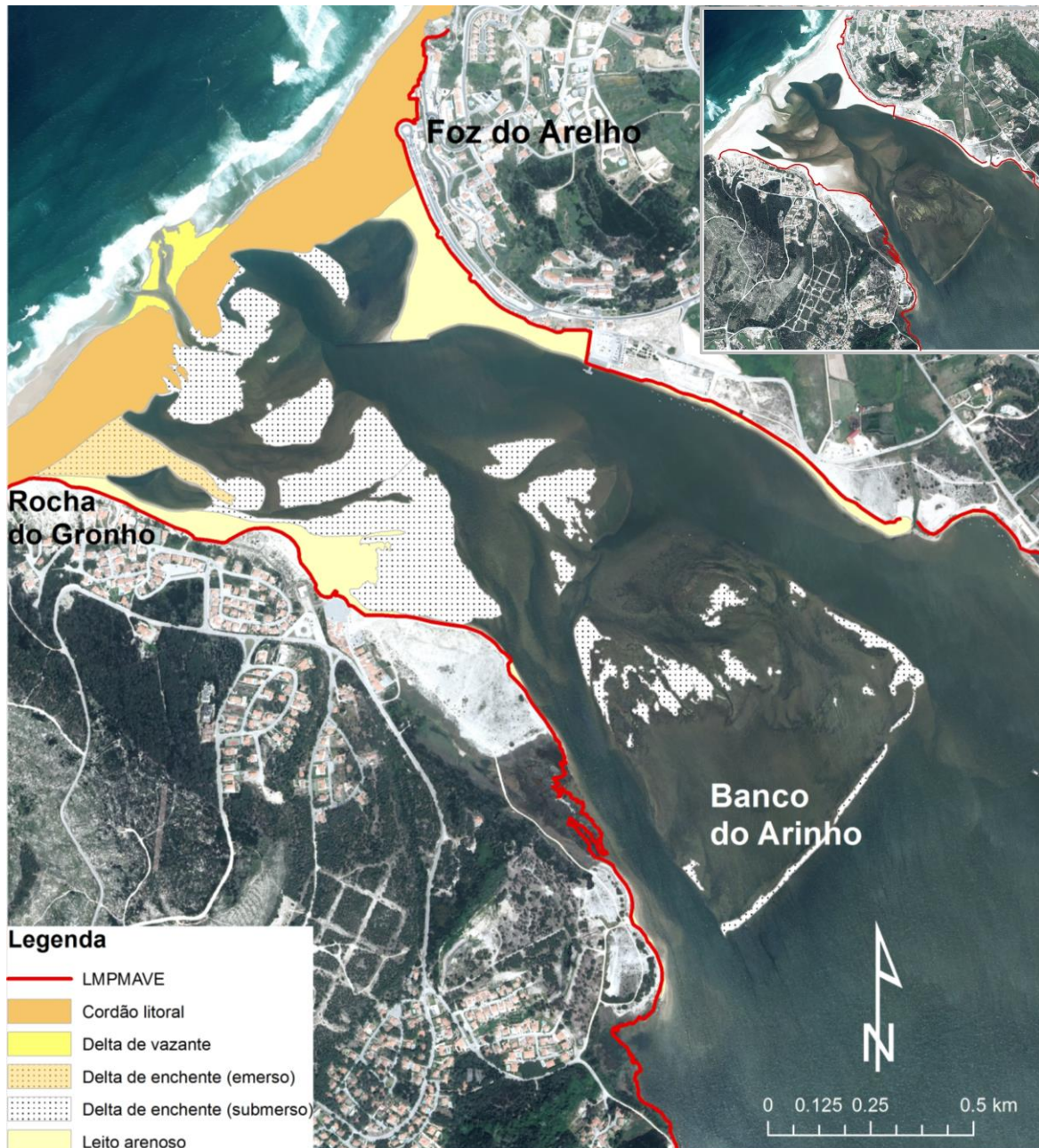


Figura 4.1 – Principais elementos morfosedimentares da zona inferior da Lagoa de Óbidos na situação de referência (9 de maio 2015). Imagem original no canto superior direito

4.2 Topo-hidrografia

Apresenta-se na Figura 4.2 a topo-hidrografia da lagoa em setembro de 2004 e na Figura 4.3 a topo-hidrografia na situação pré-dragagem, em abril de 2015.

A topo-hidrografia da lagoa em abril de 2015 caracteriza-se por um claro predomínio das áreas situadas acima do ZH (96,5%) relativamente às situadas abaixo do ZH (3,5%). As áreas acima e abaixo do NMA apresentam valores mais próximos (62,1% e 37,9%, respetivamente).

As cotas mais elevadas, associadas ao coroamento do cordão litoral e às margens do corpo litoral, atingem cerca de +9,8 m ZH. As maiores profundidades observadas, num fundão localizado junto ao dique de guiamento de estacas-prancha, atingem cerca de -5,7 m ZH.

Em geral, os bancos de areia apresentam cotas entre +2 m ZH e +3 m ZH. O canal Norte tem cotas entre -2 m ZH e +2 m ZH; a diretriz de projeto apresenta cotas superiores a +2 m ZH no trecho de 500 m de jusante. O canal Sul, muito assoreado, tem cotas segundo a diretriz de projeto entre 0 m ZH e +3 m ZH.

O coroamento do cordão litoral encontra-se maioritariamente entre as cotas +6 m ZH e +8 m ZH, com valores inferiores no trecho central. No momento do levantamento, o canal de embocadura apresentava-se fechado (cotas da ordem de +4 m ZH).

Apresenta-se na Figura 4.4 uma comparação dos levantamentos de 2004 e 2015, evidenciando a distribuição espacial das áreas de erosão e acumulação.

Os resultados obtidos indicam uma tendência de acumulação entre 2004 e 2015 correspondente a um volume total de 405 000 m³. Esta acumulação traduz-se por uma subida da cota média da área analisada de +2,26 m ZH em 2004 para +2,40 m ZH em 2015.

Um estudo anterior, abrangendo ambos os sectores da lagoa, inferior e superior, estimou a taxa de assoreamento entre 1917 e 1980 em cerca de 40 000 m³ ano⁻¹ [9,10]. Entre novembro de 2001 e outubro de 2002, o assoreamento da zona inferior foi estimado em 119 000 m³ [11]. Verificam-se oscilações significativas nas comparações entre levantamentos sucessivos [12], que podem ter diversas causas (e.g. limite da área abrangida na frente marítima). O valor obtido na presente comparação, relativo apenas à zona inferior da lagoa, da ordem de 38 000 m³ ano⁻¹, afigura-se plausível. Embora entre 2004 e 2015 tenham sido realizadas várias intervenções de dragagem, o material dragado teve como destino a deposição nas margens ou o reforço do cordão litoral, podendo considerar-se que se manteve no sistema.

A distribuição espacial das variações volumétricas, entre 2004 e 2015, revela acumulação no sector sul do cordão litoral e perda de sedimentos no sector norte do mesmo cordão, refletindo o posicionamento da abertura da lagoa a norte. A zona anteriormente ocupada pelo sector terminal do canal de maré é a principal zona de acumulação. Verifica-se também o assoreamento dos canais e, em particular, uma perda de importância do canal encostado à margem sul, que delimita o banco arenoso interior (não intervencionado durante este período, ao contrário do canal norte). Verificam-se pontualmente maiores profundidades em 2015 do que em 2004, por exemplo, junto ao dique de guiamento de estacas-prancha.

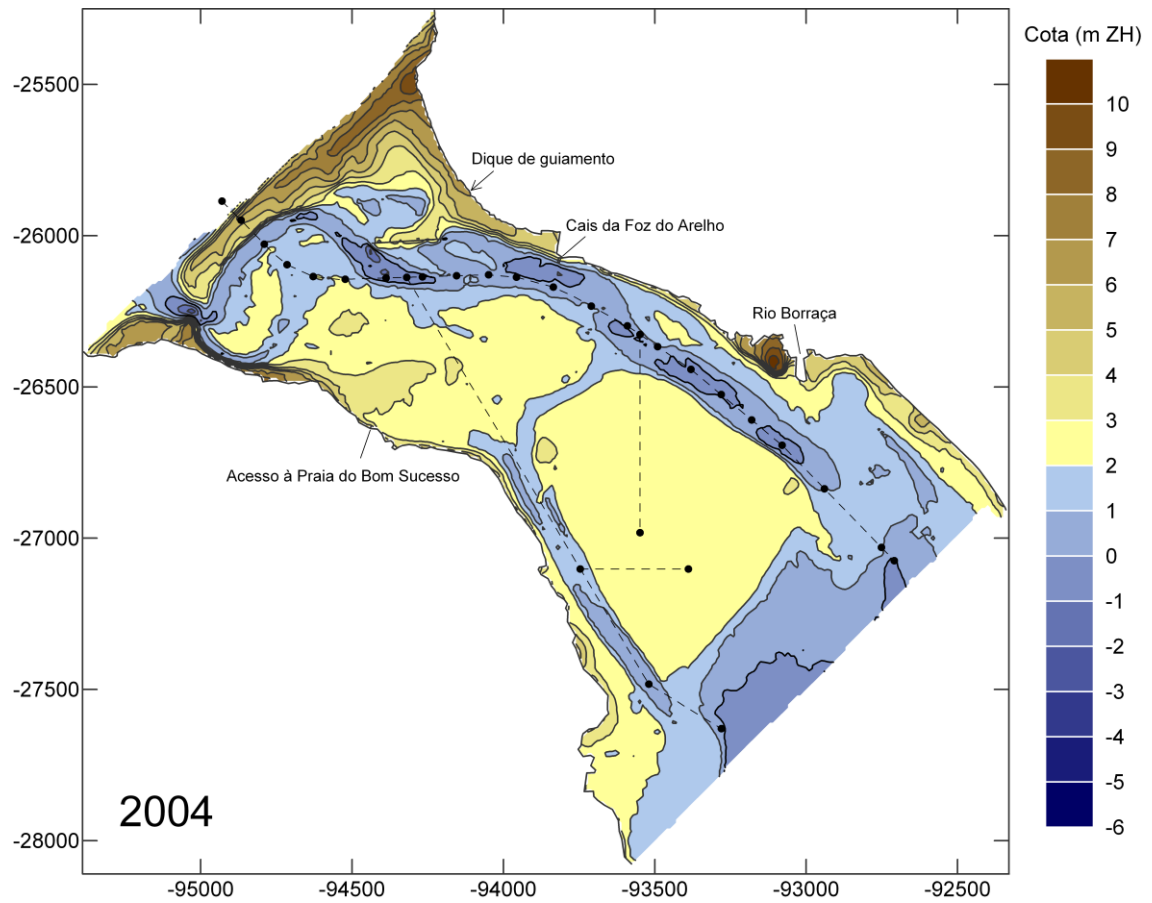


Figura 4.2 – Levantamento topo-hidrográfico da zona inferior da lagoa em setembro de 2004

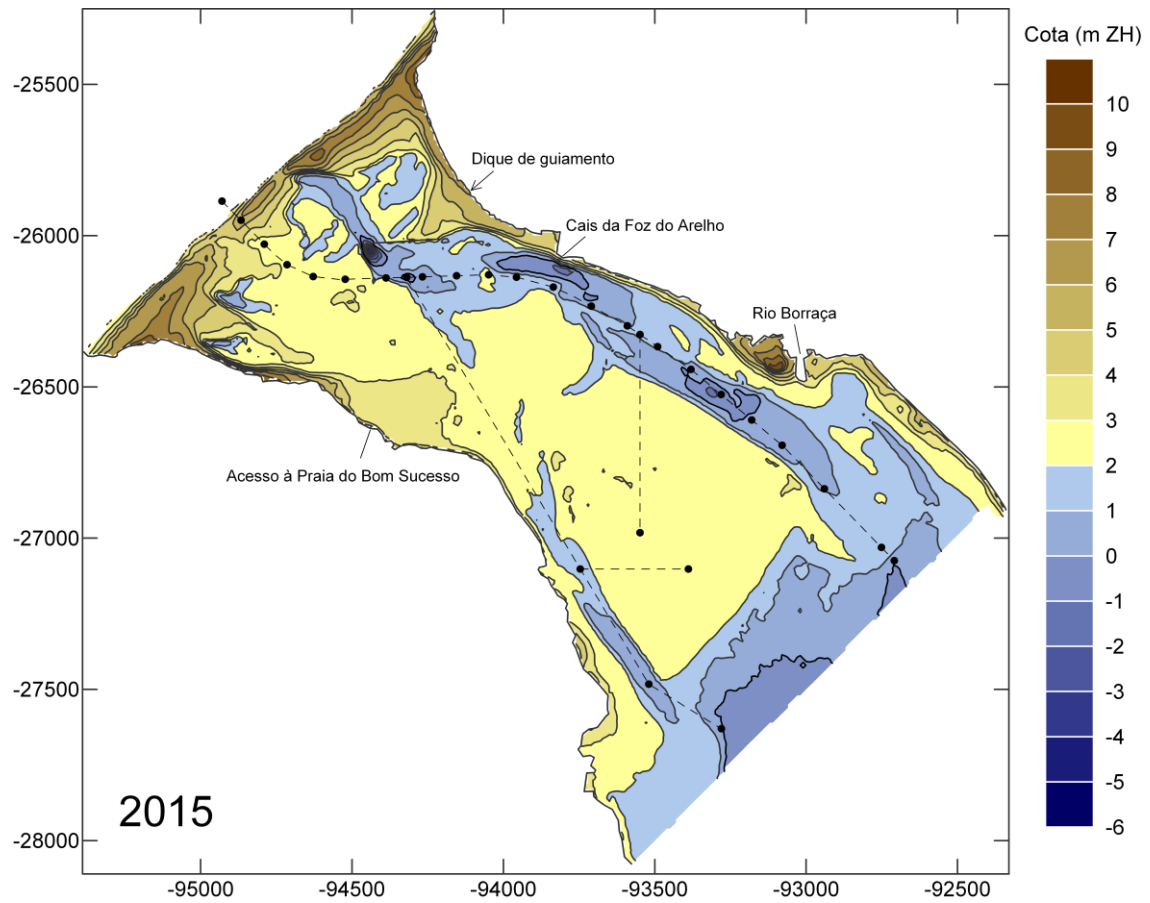


Figura 4.3 – Levantamento topo-hidrográfico da zona inferior da lagoa em abril de 2015

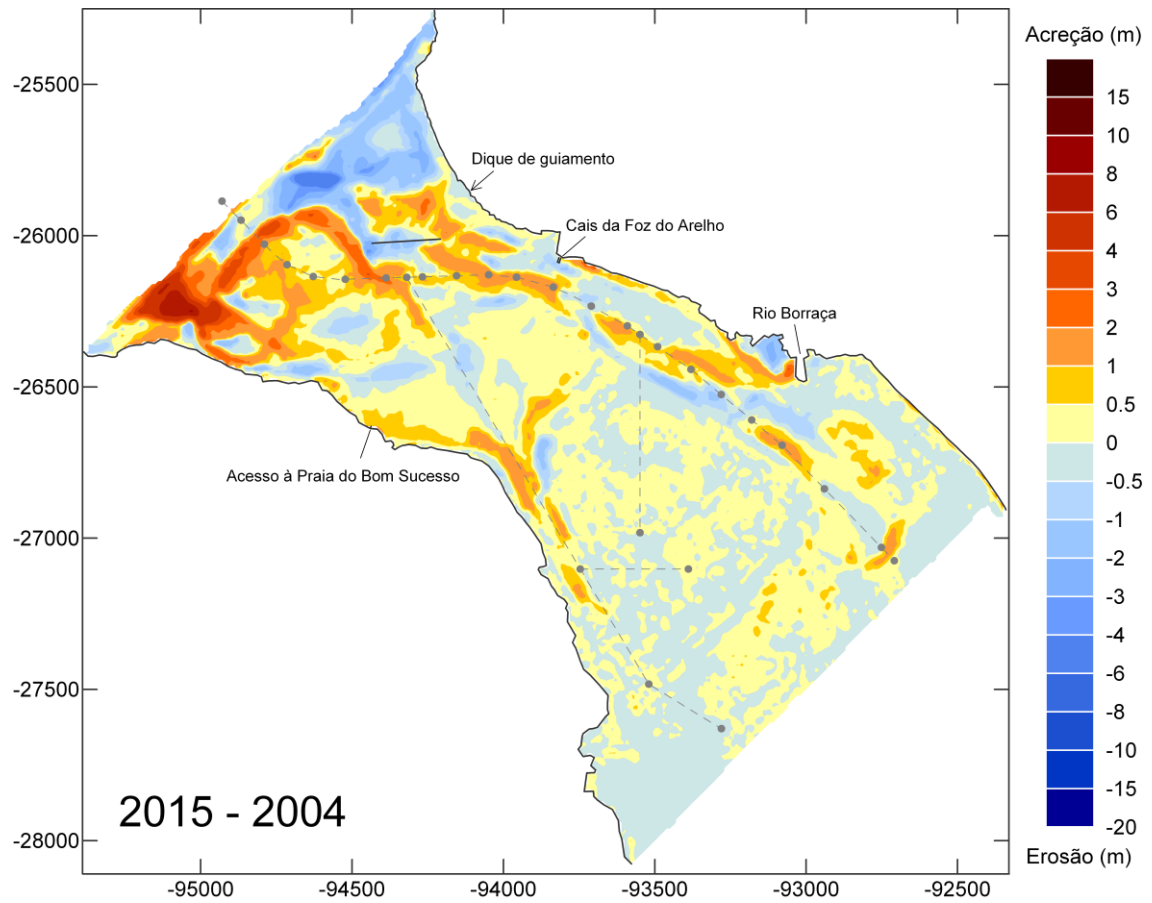


Figura 4.4 – Comparação de levantamentos: 2015-2004

5 | Caracterização da Hidrodinâmica

5.1 Março de 2015

O mês de março de 2015 ficou marcado por forçamentos muito intensos. As marés vivas (equinociais) tiveram amplitudes superiores a 3,5 m por volta de dia 20 (Figura 5.1). Simultaneamente, ocorreram temporais, caracterizados por sobre-elevações em Peniche da ordem de 10 cm (Figura 5.1) e uma agitação intensa. Infelizmente, não estão disponíveis dados de agitação nos dias de maior sobre-elevação. No entanto, as alturas significativas situaram-se tipicamente entre 2 e 4 m ao longo do mês, atingindo os 6 m no dia 24, com uma forte obliquidade de norte (Figura 5.2).

Este tipo de condições, de forte agitação marítima associada a sobre-elevações de origem meteorológica, é propício à colmatação das embocaduras [13] e poderá ter contribuído ao fecho da embocadura durante o mês de março. Em particular, o temporal ocorrido nos dias 13 e 14 poderá ter sido particularmente gravoso por ter ocorrido em marés mortas. Acresce que o inverno de 2014/15 ficou marcado por um avanço da linha de costa em várias partes do território nacional. É provável que este avanço tenha também contribuído significativamente para a colmatação da aberta. Apesar da abertura da laguna por meios mecânicos, em 24 de março, é provável que no fim de março a embocadura se apresentasse muito assoreada, com uma ligação ao mar muito ténue. Assim, embora não existam dados de maré no interior da lagoa em março, é de esperar que as amplitudes tenham sido diminutas, mesmo quando a embocadura esteve aberta.

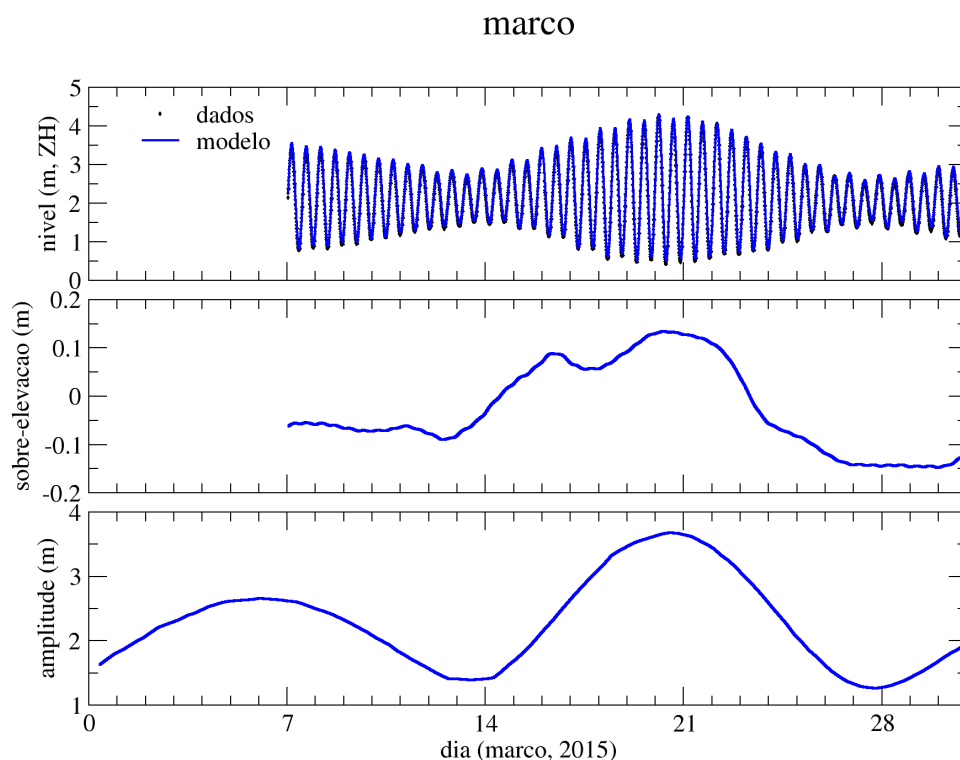


Figura 5.1 – Nível do mar em março de 2015: a) nível; b) sobre-elevação; c) amplitude de maré

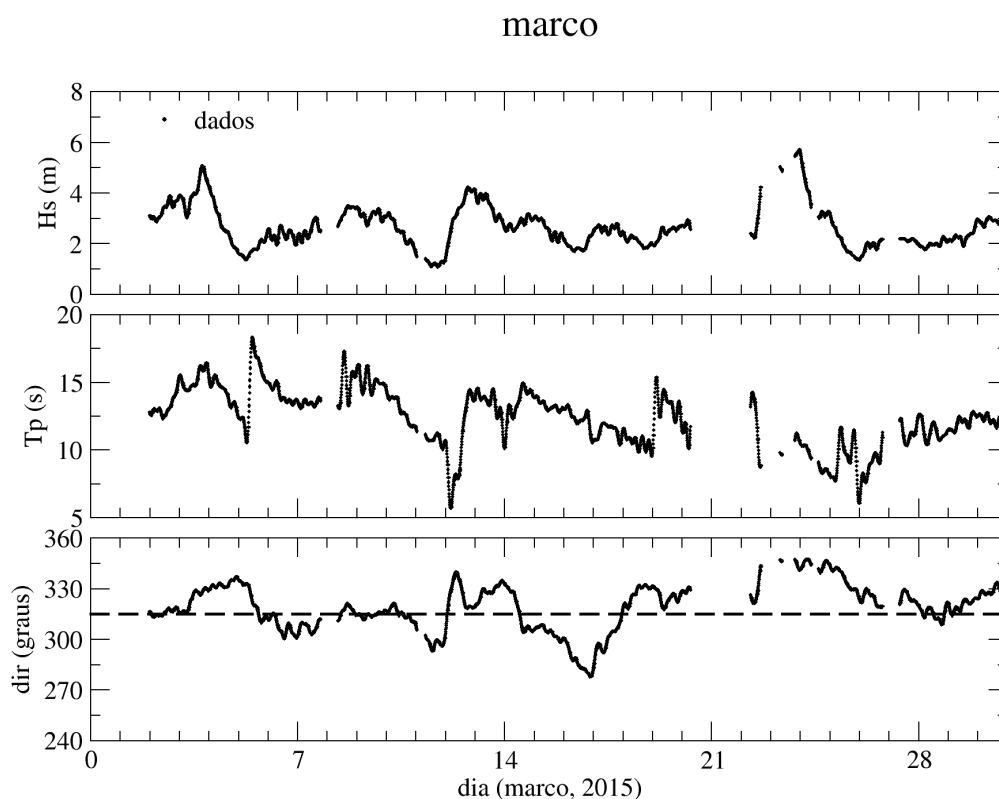


Figura 5.2 – Agitação marítima em março de 2015: a) altura significativa; b) período de pico; c) direção média (a linha a tracejado indica a normal à praia)

5.2 Abril de 2015

O mês de abril teve condições menos gravosas do que o de março. Em particular, a agitação marítima foi mais modesta, com alturas significativas inferiores a 2 m durante a maior parte do tempo (Figura 5.4). As ondas chegaram em geral à costa com uma direção perpendicular a esta, com exceção de um pequeno período no fim do mês em que ocorreu alguma agitação vinda de sul. Nestas condições, o fecho da embocadura durante o mês de abril sugere que a abertura efetuada em março terá sido insuficiente.

Por volta de dia 23 de abril, observa-se uma rápida e forte diminuição do nível na laguna (Figura 5.5a), associada à abertura artificial da embocadura. No entanto, as amplitudes de maré no interior da laguna mantiveram-se muito reduzidas: inferiores a 10 cm (Figura 5.5c), ou cerca de 10% da amplitude da maré no mar (Figura 5.6a). Simultaneamente, a maré esteve fortemente assimétrica, com uma forte dominância de enchente (Figura 5.6b). A entrada de água do mar na Lagoa terá sido quase nula, pelo que a salinidade se deverá ter mantido baixa.

Assim, no fim de abril a Lagoa de Óbidos encontrava-se com uma ligação ao mar muito ténue e pouco robusta.

abril

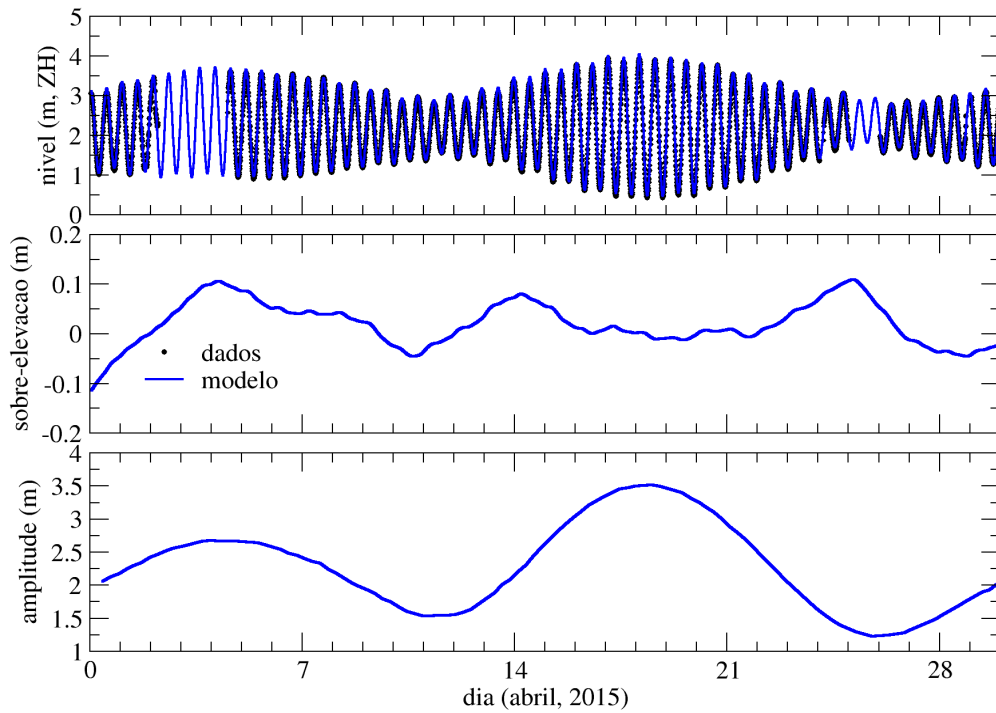


Figura 5.3 – Nível do mar em abril de 2015: a) nível; b) sobre-elevação; c) amplitude de maré

abril

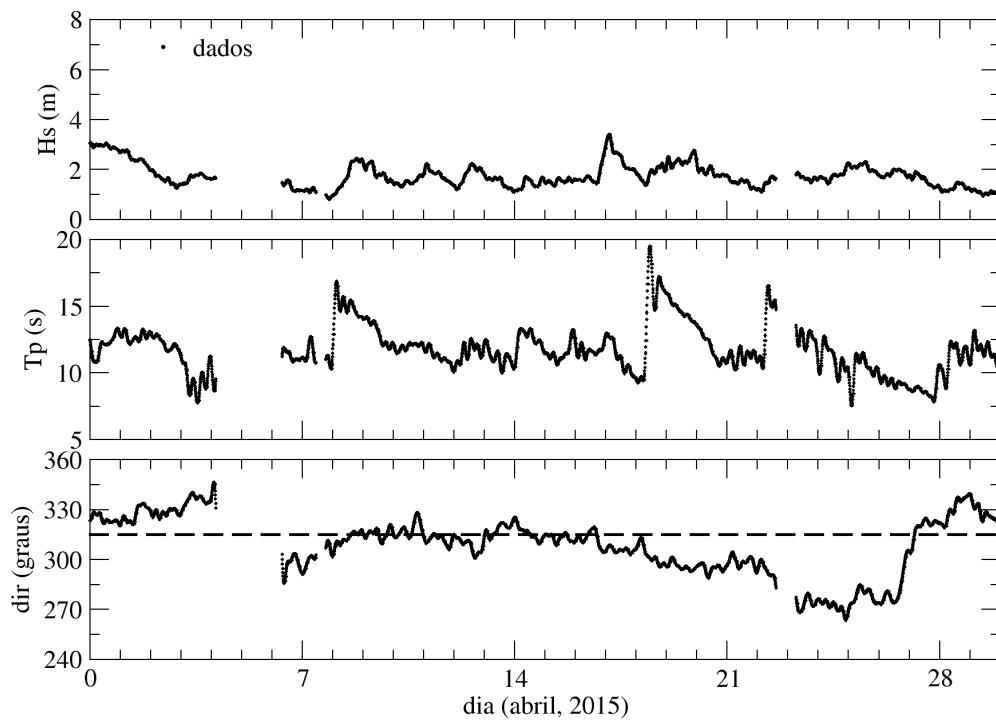


Figura 5.4 – Agitação marítima em abril de 2015: a) altura significativa; b) período de pico; c) direção média (a linha a tracejado indica a normal à praia)

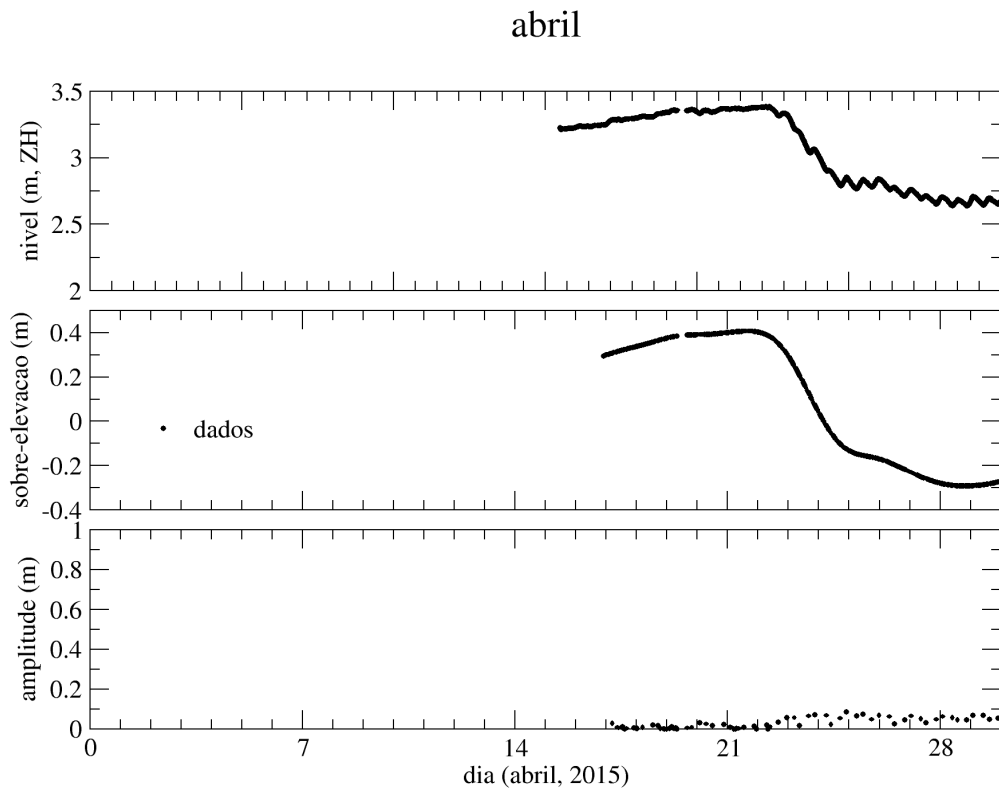


Figura 5.5 – Níveis na Lagoa de Óbidos (Cais da Foz do Arelho) em abril de 2015: a) nível total; b) nível médio; c) amplitude de maré

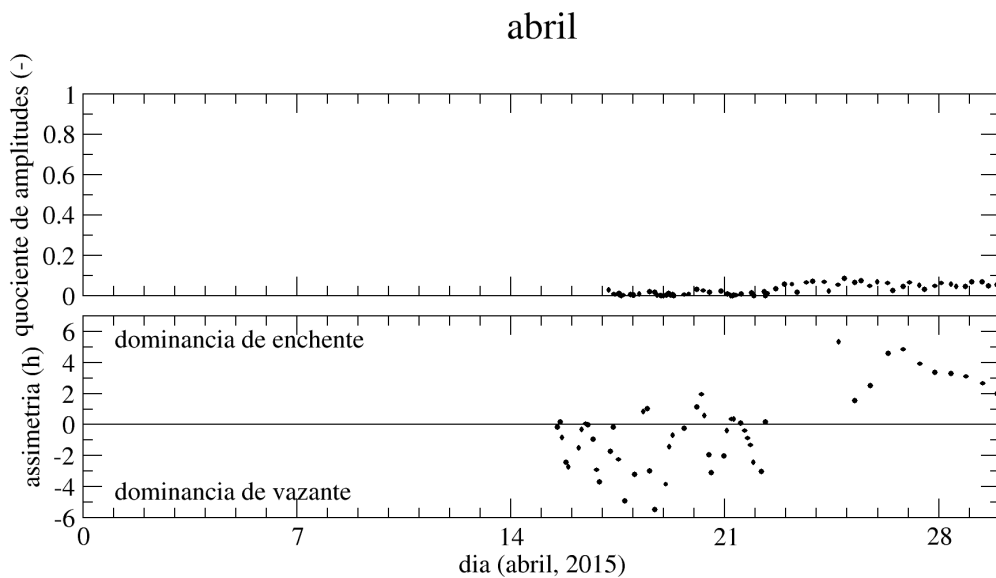


Figura 5.6 – Propagação da maré para o interior da Lagoa de Óbidos em abril de 2015: a) quociente entre a amplitude nas estações do Cais do Arelho e Peniche; b) assimetria da maré

5.3 Maio de 2015

Durante o mês de maio ocorreram algumas situações moderadamente energéticas, com as alturas significativas a atingir por duas vezes 4-5 m (Figura 5.8). Houve algum equilíbrio entre agitação vinda de sul (na primeira quinzena) e de norte (na segunda quinzena), pelo que a embocadura não deverá ter migrado significativamente.

A amplitude de maré no interior da laguna revelou uma pequena tendência de aumento ao longo do mês (Figura 5.9). Entre as primeiras e as segundas marés vivas do mês, a amplitude aumentou de cerca de 10 para 20 cm. Durante as segundas marés vivas, o quociente entre as amplitudes de maré na laguna e no mar atingiu 20% (Figura 5.9). Manteve-se no entanto uma forte dominância de enchente.

Dadas as pequenas amplitudes de maré na laguna, as trocas de água entre a laguna e o mar terão ocorrido fundamentalmente a escalas quinzenais, com a entrada de água durante as marés vivas e saída durante as marés mortas. Os tempos de residência ter-se-ão mantido elevados.

Assim, apesar da debilidade da ligação ao mar durante o mês de abril, e de alguns eventos moderadamente energéticos que ocorreram no mês de maio, a embocadura confirmou a tendência de aprofundamento e alargamento que normalmente ocorre durante a primavera e o verão [5]. É possível que o início das dragagens tenha também contribuído para a evolução positiva da embocadura.

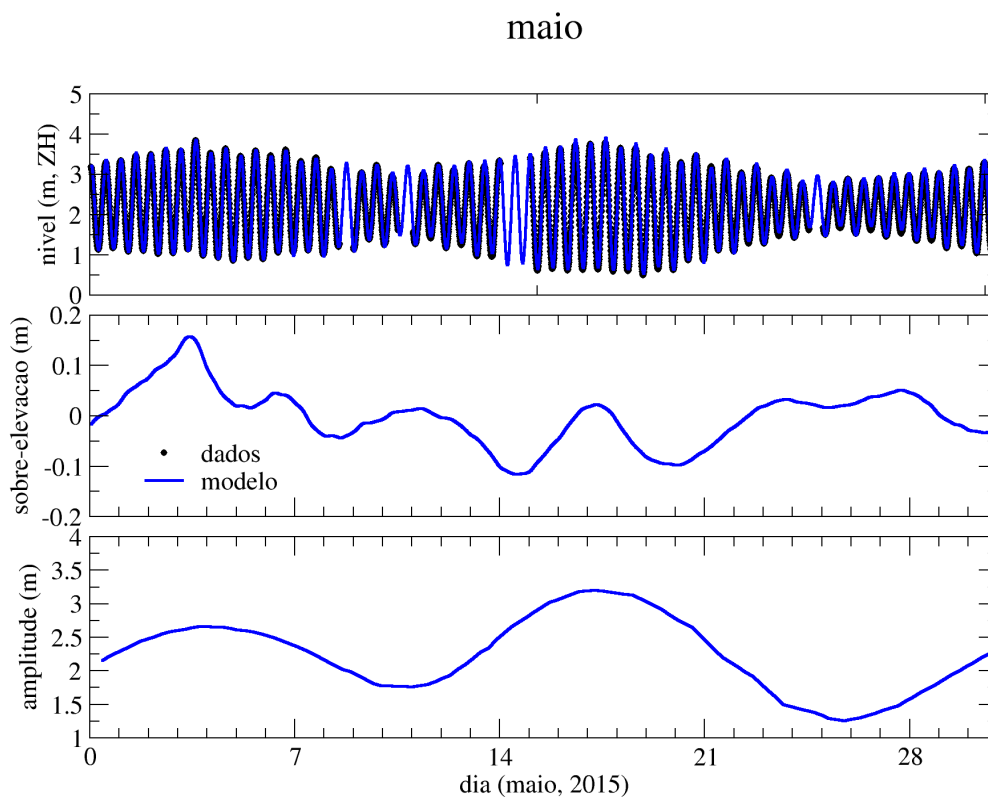


Figura 5.7 – Nível do mar em maio de 2015: a) nível; b) sobre-elevação; c) amplitude de maré

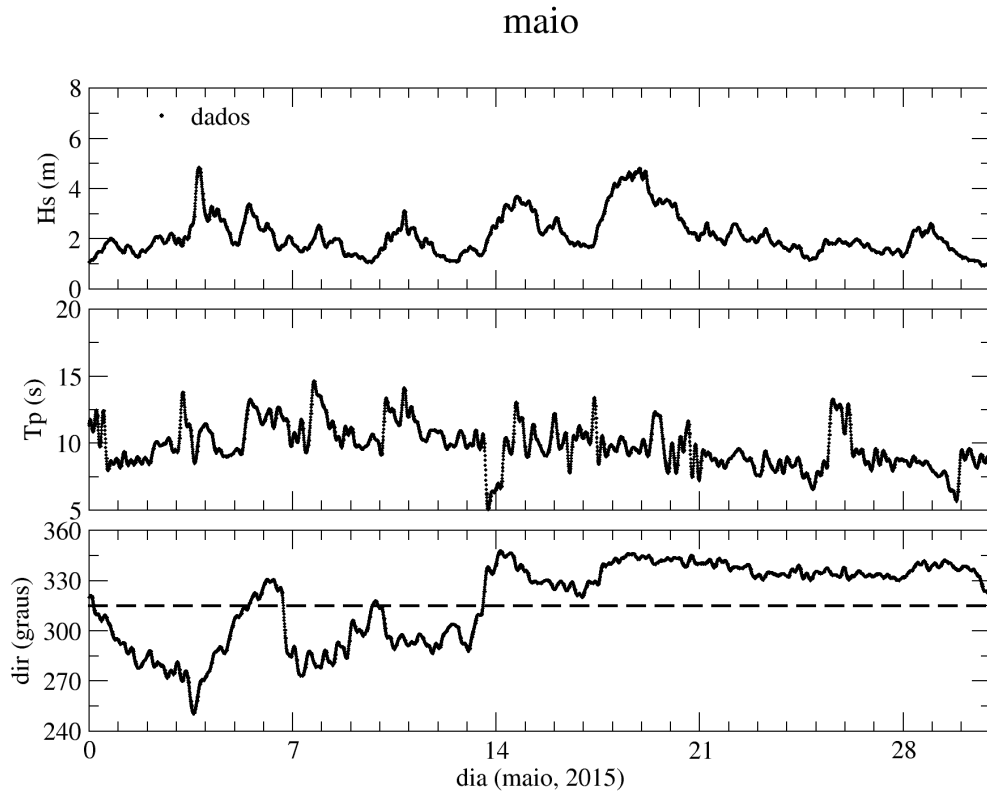


Figura 5.8 – Agitação marítima em maio de 2015: a) altura significativa; b) período de pico; c) direção média (a linha a tracejado indica a normal à praia)

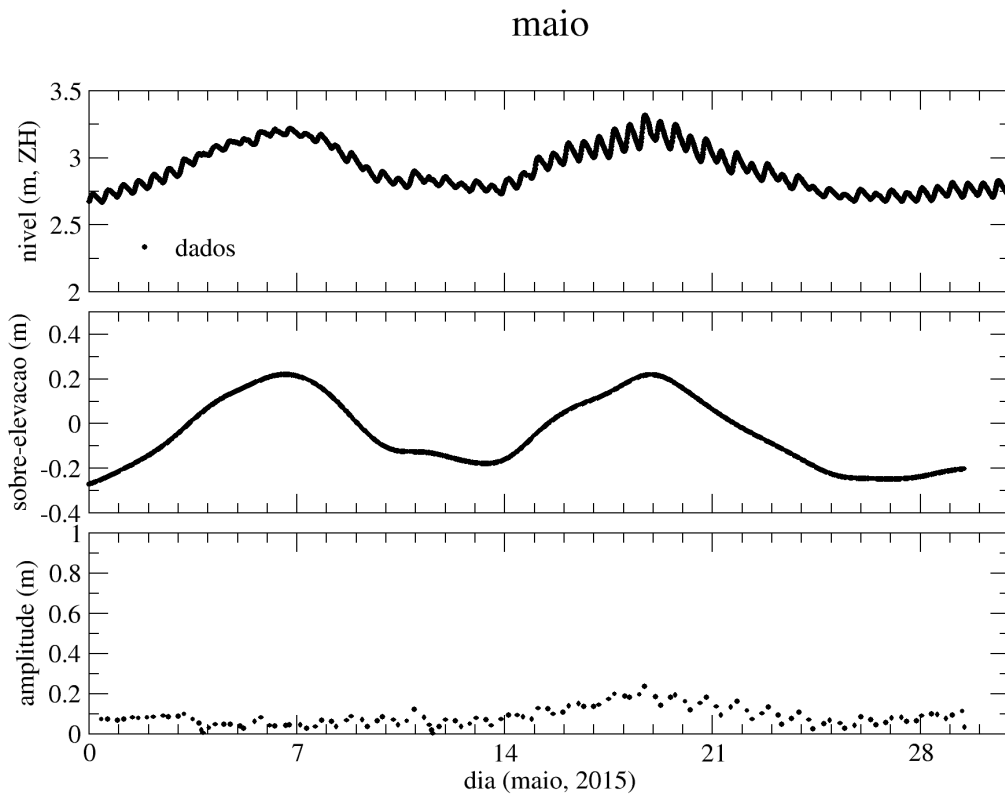


Figura 5.9 – Níveis na Lagoa de Óbidos (Cais da Foz do Arelho) em maio de 2015: a) nível total; b) nível médio; c) amplitude de maré

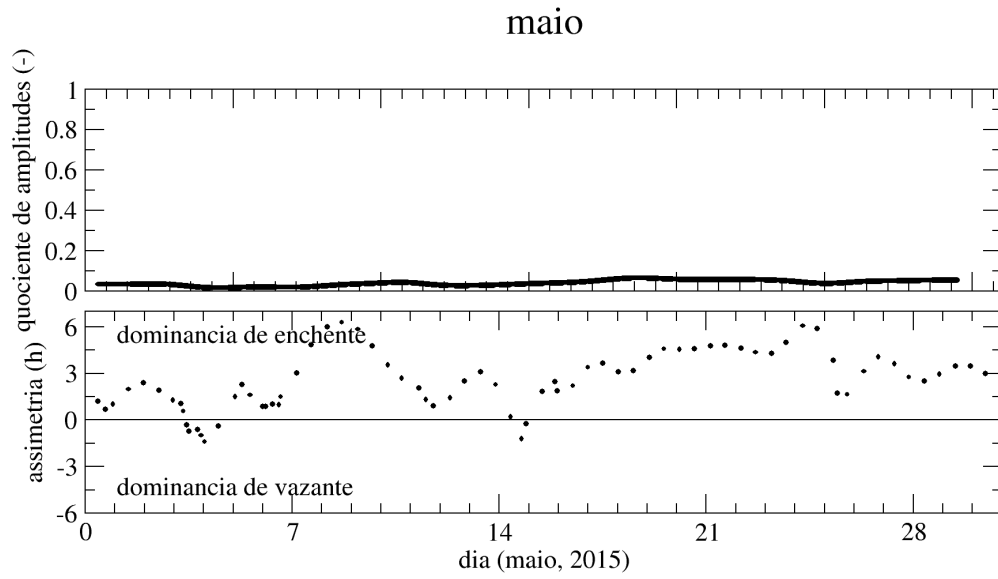


Figura 5.10 – Propagação da maré para o interior da Lagoa de Óbidos em maio de 2015: a) quociente entre a amplitude nas estações do Cais do Arelho e Peniche; b) assimetria da maré

6 | Conclusões e Recomendações

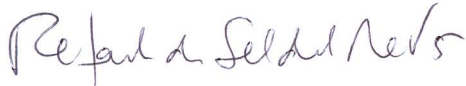
Apresentam-se os aspetos principais que caracterizam a zona inferior da Lagoa de Óbidos na situação pré-dragagem (situação inicial):

- A análise do ortofotomapa datado de 9 de maio de 2015 mostra o cordão litoral bem desenvolvido, estando o canal de embocadura posicionado no seu terço central, a cerca de 670 m da Rocha do Gronho. O canal de embocadura apresenta-se pouco desenvolvido, com cerca de 40 m de largura máxima, e reflete na sua geometria a recente abertura por meios mecânicos. O delta de enchente é extenso, com uma área total de aproximadamente 0,31 km², sendo constituído por bancos arenosos que ocorrem sobretudo na parte sul da embocadura. O canal Sul apresenta-se muito assoreado.
- A análise do levantamento topo-hidrográfico realizado entre 15 e 30 de abril de 2015 mostra um claro predomínio das áreas situadas acima do ZH (96,5%) relativamente às situadas abaixo do ZH (3,5%). O canal Norte apresenta cotas entre -2 m ZH e +2 m ZH; e o canal Sul, muito assoreado, tem cotas segundo a diretriz de projeto entre 0 m ZH e +3 m ZH.
- A comparação entre levantamentos topo-hidrográficos de 2004 e 2015 mostra uma tendência de acumulação correspondente a um volume total de 405 000 m³. Esta acumulação traduz-se por uma subida da cota média da área analisada de +2,26 m ZH em 2004 para +2,40 m ZH em 2015.
- As condições hidrodinâmicas do mês de março de 2015 foram muito intensas, associadas a forte agitação marítima e sobre-elevações de origem meteorológica, o que poderá ter contribuído para o fecho da embocadura no final do mês.
- O mês de abril teve condições hidrodinâmicas menos gravosas e o fecho da embocadura nesse mês de abril sugere que a abertura efetuada em março terá sido insuficiente.
- Durante o mês de maio ocorreram algumas situações moderadamente energéticas, nomeadamente a ocorrência de ondas com altura significativa a atingir por duas vezes 4-5 m. Houve algum equilíbrio entre agitação marítima vinda de sul (na primeira quinzena) e de norte (na segunda quinzena), pelo que a embocadura não deverá ter migrado significativamente.
- Apesar da debilidade da ligação ao mar durante o mês de abril, e de alguns eventos moderadamente energéticos que ocorreram no mês de maio, a embocadura confirmou a tendência de aprofundamento e alargamento que normalmente ocorre durante a primavera e o verão. É possível que o início das dragagens tenha também contribuído para a evolução positiva da embocadura.
- Nesta análise não foram incluídos os caudais afluentes à lagoa. Dada a sua possível relevância na manutenção da aberta, recomenda-se que sejam medidos durante o período de implementação do Programa de Monitorização.

Lisboa, LNEC, junho de 2015

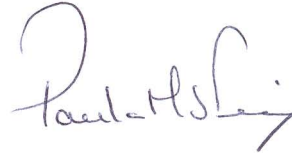
VISTO

A Diretora do Departamento de Hidráulica e
Ambiente



Rafaela de Saldanha Matos

AUTORIA



Paula Freire

Investigadora Auxiliar



André B. Fortunato

Investigador Principal com Habilitação



Luís Portela

Investigador Auxiliar

Chefe do Núcleo de Estuários e Zonas Costeiras



Alberto Azevedo

Bolseiro Pós-Doutoramento

Referências Bibliográficas

- [1] Fortunato, A.B., Freire, P., 2011. *Dragagem e defesa da margem sul da Lagoa de Óbidos. Resposta às questões levantadas em sede de declaração de impacte ambiental. Aplicação de um modelo morfodinâmico para analisar a evolução da embocadura*. Rel. 103/2011 – NEC, LNEC, março 2011, 88p.
- [2] MARETEC, 2004. *Programa de Monitorização da Lagoa de Óbidos e do Emissário Submarino da Foz do Arelho. Caracterização Da Situação De Referência: Qualidade Da Água Da Lagoa de Óbidos*, 57 p.
(http://maretec.mohid.com/projects/FozdoArelho/Relatorios/2004-2005/Rel_01_Qualidade%20da%20agua%20da%20LO_Sit_Refer%C3%Aancia.pdf)
- [3] Neves, R., Vale, C., Santos, M., Pereira, P., 2008. Qualidade dos Sedimentos Superficiais da Lagoa de Óbidos. Abril 2008, versão final. IST/ IPIMAR, dezembro 2008, 54p.
- [4] Freire, P., M. Cardoso da Silva, Trovisco, L., 2004. *Revisão do Plano de Gestão Ambiental da Lagoa de Óbidos. Relatório 1: Acções Preparatórias. Volume 1: Caracterização da Situação Actual*. Rel. 107/04 – NEC, LNEC.
- [5] Oliveira, A., Fortunato, A.B., Rego, J.R., 2006. Effect of morphological changes on the hydrodynamics and flushing properties of the Óbidos lagoon (Portugal), *Continental Shelf Research* 26, 8: 917 - 942.
- [6] Bruneau, N., Fortunato, A. B., Dodet, G., Freire, P., Oliveira, A., Bertin, X., 2011. Future evolution of a tidal inlet due to changes in wave climate, sea level and lagoon morphology (Óbidos lagoon, Portugal) *Continental Shelf Research*, 31 (2011) 1915–1930.
- [7] PBH Oeste, 2012. *Plano das Bacias Hidrográficas das Ribeiras do Oeste. Relatório Técnico. Síntese*. APA, I.P. / ARH do Tejo, agosto 2012, 227p.
- [8] Fortunato, A.B., Li K., Bertin X., Rodrigues M., 2014. Determination of extreme sea levels along the Portuguese coast, *3as Jornadas de Engenharia Hidrográfica*: 151-154.
- [9] Freitas, C., 1989. Evolução da Lagoa de Óbidos nos tempos históricos. *Geolis* 3, 105-117.
- [10] Portela, L.I., 2004. *Revisão do Plano de Gestão Ambiental da Lagoa de Óbidos. Relatório 2: Definição das Intervenções. Volume 2: Intervenções na Zona Superior da Lagoa*. Rel. 214/04 – NEC, LNEC.
- [11] Portela, L.I., Clímaco, M.C., 2003. *Assistência técnica às dragagens de manutenção da Lagoa de Óbidos*. Rel. 137/03 – NEC, LNEC.
- [12] Oliveira, A., Fortunato, A.B., 2004. *Revisão do plano de gestão ambiental da Lagoa de Óbidos. Relatório 1: Acções preparatórias. Volume 2: Aplicação dos modelos*. Rel. 91/04 – NEC, LNEC.
- Bertin, X.; Fortunato, A.B.; Dodet, G., 2015. Processes controlling the seasonal cycle of wave-dominated inlets, *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 15/1: 9 - 19.

