RELATÓRIO DE MONITORIZAÇÃO

RM_HID-MCNM_201908_PA_RIA DE AVEIRO

INTERVENÇÃO DE TRANSPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS PARA OTIMIZAÇÃO DO EQUILÍBRIO HIDRODINÂMICO NA RIA DE AVEIRO

MONITORIZAÇÃO DA HIDROLOGIA / HIDRODINÂMICA - MEDIÇÃO DE CORRENTES E NÍVEIS DE MARÉ

CAMPANHA DA FASE DE PRÉ-CONSTRUÇÃO

MONITAR
engenharia do ambiente

RELATÓRIO DE MONITORIZAÇÃO

RM_HID-MCNM_201908_PA_RIA DE AVEIRO

INTERVENÇÃO DE TRANSPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS PARA OTIMIZAÇÃO DO EQUILÍBRIO HIDRODINÂMICO NA RIA DE AVEIRO

MONITORIZAÇÃO DA HIDROLOGIA / HIDRODINÂMICA - MEDIÇÃO DE CORRENTES E NÍVEIS DE MARÉ

CAMPANHA DA FASE DE PRÉ-CONSTRUÇÃO

DESIGNAÇÃO DO PROJETO	N.º PROCESSO AIA	N.º PÓS-AVALIAÇÃO
TRANSPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS PARA A OTIMIZAÇÃO DO EQUILÍBRIO HIDRODINÂMICO NA RIA DE AVEIRO - CANAL DE MIRA	2832	619
TRANSPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS PARA A OTIMIZAÇÃO DO EQUILÍBRIO HIDRODINÂMICO NA RIA DE AVEIRO - CANAIS DE OVAR ATÉ CARREGAL, DE OVAR ATÉ PARDILHÓ, DA MURTOSA, DE ÍLHAVO, LAGO DO PARAÍSO E DA ZONA CENTRAL DA RIA		620

MONITAR
engenharia do ambiente

RIA DE AVEIRO
POLIS LITORAL
REQUALIFICAÇÃO E VALORIZAÇÃO DA ORLA COSTEIRA

FICHA TÉCNICA DO RELATÓRIO

AUTOR DO RELATÓRIO	MONITAR, LDA. RUA DR. NASCIMENTO FERREIRA URBANIZAÇÃO VALRIO - LOTE 6, R/C, LOJAS B/C 3510-431 VISEU, PORTUGAL
IDENTIFICAÇÃO DO CLIENTE	POLIS LITORAL RIA DE AVEIRO – SOCIEDADE PARA A REQUALIFICAÇÃO E VALORIZAÇÃO DA RIA AVEIRO, S.A., EM LIQUIDAÇÃO PARQUE DE EXPOSIÇÕES DE AVEIRO, RUA D. MANUEL DE ALMEIDA TRINDADE 3810 – 488 AVEIRO
TÍTULO DO RELATÓRIO	INTERVENÇÃO DE TRANSPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS PARA OTIMIZAÇÃO DO EQUILÍBRIO HIDRODINÂMICO NA RIA DE AVEIRO MONITORIZAÇÃO DA HIDROLOGIA / HIDRODINÂMICA – MEDIÇÃO DE CORRENTE E NÍVEIS DE MARÉ CAMPANHA DA FASE DE PRÉ-CONSTRUÇÃO
N.º DO RELATÓRIO	RM_HID-MCNM_201908_PA_RIA DE AVEIRO
EDIÇÃO/REVISÃO	EDIÇÃO 01 / REVISÃO 00
NATUREZA DAS REVISÕES	-
EDIÇÕES / REVISÕES ANTERIORES	-
ÂMBITO DO RELATÓRIO	CUMPRIMENTO DO PLANO DE MONITORIZAÇÃO DA INTERVENÇÃO DE TRANSPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS PARA OTIMIZAÇÃO DO EQUILÍBRIO HIDRODINÂMICO NA RIA DE AVEIRO, PARA A FASE DE PRÉ-CONSTRUÇÃO, DOS DESCRITORES: MEDIÇÃO DE CORRENTES E NÍVEIS DE MARÉ.
DATA DA MONITORIZAÇÃO	• INTENSIDADE DE CORRENTE – 07 A 18 DE JUNHO DE 2019 • NÍVEL DE MARÉ – 01 DE JUNHO A 31 JULHO DE 2019
ASSINATURA	Digitally signed by SERGIO MIGUEL GOMES LOPES
DATA DE PUBLICAÇÃO DO RELATÓRIO	AGOSTO DE 2019

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO 6

1.1 Identificação, Objetivos e Âmbito da Monitorização 6

1.2 Descrição do projeto e área de Estudo 7

1.3 Estrutura do relatório 10

1.4 Autoria técnica do relatório 11

2 ANTECEDENTES 12

2.1 Considerações e documentos de referência 12

2.2 Medidas de minimização 14

2.3 Reclamações 14

3 DESCRIÇÃO DO PROGRAMA DE MONITORIZAÇÃO DA HIDROLOGIA / HIDRODINÂMICA 15

3.1 Frequência, parâmetros e locais de Medição 15

3.2 Métodos, equipamentos e critérios de avaliação dos dados 21

3.2.1 Medição da intensidade da corrente 21

3.2.1.1 Metodologia de análise 22

3.2.2 Medição do nível de maré 23

3.2.2.1 Metodologia de análise - Caracterização da elevação da superfície livre do mar em junho e julho de 2019 24

3.2.2.2 Metodologia de análise - Alterações de maré entre 1987/88 e 2019 25

3.3 Relação das atividades construtivas ou fatores exógenos do projeto com os locais de amostragem 26

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS DA MONITORIZAÇÃO DA HIDROLOGIA / HIDRODINÂMICA 28

4.1 Análise dos resultados obtidos para a intensidade da corrente 28

4.1.1 Análise estatística 30

4.1.2 Análise das curvas da Intensidade da corrente 33

4.1.3 Razão entre a intensidade máxima e a amplitude de maré 48

4.1.4 Desfasamento entre a intensidade da corrente e a altura de água 49

4.2 Análise dos resultados obtidos para os níveis de maré 50
4.2.1 Variações de nível na campanha da fase de pré-construção - junho e julho de 2019.. 51
4.2.2 Maré meteorológica 63
4.2.3 Maré Astronómica 74
4.2.4 Alterações de maré entre 1987/88 e 2019 76
5 CONCLUSÕES 84
5.1 Considerações gerais 84
5.2 Medidas de minimização a implementar 87
5.3 Proposta de revisão ao programa de monitorização 87
6 BIBLIOGRAFIA 88

1 INTRODUÇÃO

1.1 IDENTIFICAÇÃO, OBJETIVOS E ÂMBITO DA MONITORIZAÇÃO

O presente documento constitui o Relatório de Monitorização (RM) da medição da intensidade da corrente e nível de maré, referente à campanha realizada em fase de pré-construção, dando cumprimento ao Programa de Monitorização (PM) da hidrologia / hidrodinâmica da Intervenção de Transposição de Sedimentos para Otimização do Equilíbrio Hidrodinâmico na Ria de Aveiro, constante no Caderno de Encargos do Concurso Público n.º PRA.18.PC023/LB. O PM foi elaborado de acordo com as normas legais em vigor, com o respetivo Estudo de Impacte Ambiental (EIA), Declaração de Impacte Ambiental (DIA) emitida a 19/04/2016, Relatório de Conformidade Ambiental do Projeto de Execução (RECAPE) e Declarações sobre a Conformidade Ambiental do Projeto de Execução (DCAPEs) emitidas pela Agência Portuguesa do Ambiente, I.P, nomeadamente a DCAPE de 28 de março de 2018 que abrange os Canais de Ovar até Carregal, de Ovar até Pardilhó, da Murtosa, de Ílhavo, Lago do Paraíso e da Zona Central da Ria e a DCAPE referente ao Canal de Mira, emitida a 19 de setembro de 2017.

O trabalho foi realizado no âmbito do concurso público de prestação de serviços para a "Implementação do Programa de Monitorização da Intervenção de Transposição de Sedimentos para Otimização do Equilíbrio Hidrodinâmico na Ria de Aveiro", promovido pela Polis Litoral – Ria de Aveiro, S.A., de forma a avaliar-se os eventuais impactes decorrentes da implementação do Projeto Transposição de Sedimentos para Otimização do Equilíbrio Hidrodinâmico na Ria de Aveiro.

O presente relatório tem como principal objetivo avaliar a situação de referência, ou seja, fase de pré-construção, no âmbito da Intervenção de Transposição de Sedimentos para Otimização do Equilíbrio Hidrodinâmico na Ria de Aveiro, por forma a avaliar o estado atual da hidrologia / hidrodinâmica, servindo como referência antes do início da intervenção.

São também objetivos do programa de monitorização da hidrologia / hidrodinâmica:

- Caracterização dos processos hidrodinâmicos e de assoreamento/erosão após realização das dragagens;
- Avaliar e acompanhar os efeitos do projeto ao longo do tempo de implementação sobre a hidrodinâmica e a hidrologia, em particular acompanhar a evolução da hidromorfologia do canal, seus padrões de sedimentação/erosão, tendências para alterações hidrodinâmicas e/ou morfológicas, designadamente junto a estruturas de pontes e condutas enterradas;
- Consubstanciar eventuais medidas preventivas e/ou corretivas que venham a ser necessárias.

- Avaliar as medidas minimizadoras dos impactos identificados, definidas no âmbito do projeto.

No presente RM são consideradas as variáveis: intensidade da corrente e nível de maré constantes no PM no que concerne à hidrologia / hidrodinâmica. Para medição de correntes foram caracterizados 7 locais (Varela; Moranzel; Parrachil; Costa Nova; Vagueira; Vista Alegre; Cais da Pedra) e para a medição do nível de maré foram caracterizados 9 locais (Carregal; Puxadouro; Torreira; Cais do Bico; Rio Novo; Vagueira; Areão; Vista Alegre; Cais da Pedra).

1.2 DESCRIÇÃO DO PROJETO E ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo do projeto de Intervenção de Transposição de Sedimentos para Otimização do Equilíbrio Hidrodinâmico na Ria de Aveiro, localiza-se no distrito de Aveiro, nos concelhos de Albergaria-a-Velha (freguesia de Angeja), Aveiro (freguesias de Cacia, Esgueira, S. Jacinto, União de freguesias de Glória e Vera Cruz), Estarreja (freguesia de Pardilhó), Ílhavo (freguesias de Gafanha do Carmo, Gafanha da Encarnação, Gafanha da Nazaré, Ílhavo), Murtosa (freguesias de Bunheiro, Murtosa, Torreira), Ovar (União de freguesias de Ovar, S. João, Arada e S. Vicente de Pereira Jusã e Válega) e Vagos (freguesias de Gafanha da Boa Hora, Sosa e União das freguesias de Vagos e St. António) (*vide* Figura 1).

A Ria de Aveiro é uma laguna costeira pouco profunda, com uma área de aproximadamente 45 km^2, e apresenta uma morfologia complexa de 4 braços principais: o Canal de Mira, um canal longo, estreito e pouco profundo, a sul; o Canal de Ovar, um canal largo, profundo, que se prolonga a norte; o Canal de Ílhavo, estreito e pouco extenso, que corresponde à entrada do rio Boco no sistema estuarino; e o Canal do Espinheiro, que corresponde à entrada dos rios Vouga e Antuã e aos sistemas de ínsuas e sistemas de salinas ativas (Agri-Pro Ambiente, 2015).

Para a Ria de Aveiro, perspetiva-se uma intervenção em 60 km de frente costeira, 140 km de frente lagunar e em 24 km de frente ribeirinha do Rio Vouga. Para além da atuação em toda a Ria de Aveiro, prevê-se a intervenção em 15 praias, a recuperação, consolidação e proteção do sistema costeiro e lagunar, visando a prevenção de riscos, a renaturalização de um conjunto de estruturas ecológicas lagunares e costeiras e valorização da reserva Natural das dunas de S. Jacinto e requalificação e criação de estruturas que potenciam as atividades económicas presentes e o reordenamento e qualificação das frentes lagunares, através da harmonização do tecido urbano, com os valores ambientais em presença e promovendo uma nova vivência da ria (Agri-Pro Ambiente, 2015).

As zonas de estudo integram áreas de conservação da natureza pelo seu elevado valor ecológico e ambiental, estando enquadradas por áreas agrícolas e florestais, e muito próximas a

aglomerados populacionais. A Ria de Aveiro inclui a Zona de Proteção Especial (ZPE) Ria de Aveiro (PTZPE0004) e o Sítio de Importância Comunitária (SIC) Ria de Aveiro (PTCON0061) e a Barrinha de Mira integra o SIC Dunas de Mira, Gândara e Gafanhas (PTCON0055) e *Important Bird Area* (IBA) Ria de Aveiro (PT 007). Integra ainda área de intervenção, pela importância que detém na alimentação da Ria de Aveiro face aos valores naturais presentes, o Sítio Rio Vouga, pelo limite definido no Plano Sectorial da Rede Natura 2000 (Código PTCON0026). A área de intervenção proposta assume assim uma lógica de continuidade e complementaridade entre os diferentes sistemas naturais presentes – marítimo, lagunar e ribeirinho – integrando ainda toda a Área de Intervenção prioritária definida no Plano UNIR@RIA (Agri-Pro Ambiente, 2015).

O projeto encontra-se dividido em duas partes/fases em que se agruparam os diferentes canais da Ria de Aveiro, uma parte engloba o Canal de Mira e a outra parte os Canais de Ovar até Carregal e até Pardilhó e Canal da Murtosa; Canal de Ílhavo, Canais do Lago do Paraíso e da Zona Central da Ria, dado que os mesmos serão sujeitos a empreitadas distintas e com tempos de execução de obra também diferentes.

Figura 1 – Área de Estudo (Agri-Pro Ambiente, 2015).

A velocidade da corrente é uma grandeza vetorial dependente da geomorfologia do local de monitorização. Ou seja, pequenas alterações na cota de profundidade ou na geometria do local de monitorização podem provocar alterações significativas na intensidade e direção da corrente, uma vez que, quanto maior (menor) for a profundidade ou a largura do canal, menor (maior) será a intensidade da corrente. A direção muda consoante muda a orientação de um canal específico de navegação. Este facto, adicionado a possíveis mudanças na direção predominante do escoamento de maré em alguns dos canais de navegação da Ria de Aveiro, levam a que neste relatório apenas sejam

efetuadas as comparações entre dados de 2019 e de 1997 relativas à intensidade da corrente, de forma a estabelecer o estado de referência atual na Ria de Aveiro.

As variações do nível do mar de curto prazo resultam de forçamentos de origem astronómica e meteorológica.

A maré astronómica traduz-se em oscilações periódicas da superfície livre do mar motivadas pela força de atração da Lua e do Sol sobre as partículas de água. À medida que a maré astronómica se propaga em águas pouco profundas esta é alterada e deformada pela geometria da costa e por variações de profundidade, que se traduzem na alteração da amplitude e fase, mas também no aparecimento de constituintes de águas poucos profundas. Na costa noroeste de Portugal, a maré astronómica é semidiurna com uma ligeira desigualdade diurna. Esta onda tem um período médio de 12h e 25 min e por isso ocorrem diariamente duas Preia-Mares (PM) e duas Baixa-Mares (BM).

A maré meteorológica é definida como uma sobre-elevação do nível do mar causada por efeitos meteorológicos (vento, pressão atmosférica). Tipicamente na costa Oeste de Portugal ocorrem sobre-elevações de origem meteorológica (aumento anormal do nível do mar) quando se localizam baixas pressões a Norte/Noroeste ou altas pressões a Sul/Sudoeste de Portugal, associadas a ventos fortes de Sul.

1.3 ESTRUTURA DO RELATÓRIO

O presente RM encontra-se estruturado de acordo com as notas técnicas constantes no Anexo V da Portaria n.º 395/2015, de 4 de novembro, no que lhe é aplicável.

1.4 AUTORIA TÉCNICA DO RELATÓRIO

A coordenação dos trabalhos, bem como, a realização das medições dos níveis de maré e intensidade da corrente ficou a cargo da empresa Monitar, a análise e interpretação dos resultados foi efetuada pelo IDAD - Instituto do Ambiente e Desenvolvimento. A descrição da equipa técnica responsável pelas monitorizações é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Equipa técnica responsável

NOME	QUALIFICAÇÃO PROFISSIONAL	FUNÇÃO
Paulo Gabriel Fernandes de Pinho	Licenciatura em Engenharia do Ambiente Mestrado em Poluição Atmosférica Doutoramento em Ciências Aplicadas ao Ambiente Membro Sénior da Ordem dos Engenheiros	Coordenação e realização da medição de intensidade de corrente
João Ricardo Morgado Martinho	Licenciatura em Engenharia do Ambiente Mestrado em Tecnologias Ambientais	
Gabriel António Cortinhal Rodrigues	Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica	Colocação e manutenção das estações fixas de medição dos níveis de maré, gestão dos dados e da plataforma web
João Mata	Licenciatura em Engenharia Eletrotécnica	
João Miguel Dias	Licenciatura em Física Mestrado em Ciências Geofísicas Doutoramento em Física Agregação em Física	Coordenação da análise e interpretação dos resultados
Carina de Lurdes Bastos Lopes	Licenciatura em Meteorologia e Oceanografia Física Mestrado em Meteorologia e Oceanografia Física Doutoramento em Física	Análise e interpretação dos resultados
Nuno Alexandre Firmino Vaz	Licenciatura em Física Doutoramento em Física	

2 ANTECEDENTES

2.1 CONSIDERAÇÕES E DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Dando prossecução às intenções expressas no Programa do XVII Governo Constitucional, que preconiza o desenvolvimento de uma política integrada e coordenada para as zonas costeiras, tendo em vista promover a proteção ambiental e a valorização paisagística a par da qualificação das atividades económicas, foi determinada a realização de um conjunto de operações de requalificação e valorização do litoral, com a designação Polis Litoral — Operações Integradas de Requalificação e Valorização da Orla Costeira (Resolução do Conselho de Ministros N.º 90/2008, de 3 de junho).

O Projeto de Intervenção de Transposição de Sedimentos para Otimização do Equilíbrio Hidrodinâmico na Ria de Aveiro enquadra-se no Plano Estratégico da Intervenção de Requalificação e Valorização da Ria de Aveiro, e tem como objetivo desenvolver uma estratégia global coerente para a Ria de Aveiro, enquadrar e potenciar uma operação integrada entre projetos/ações e atores públicos e privados a mobilizar e dar resposta às preocupações e intenções presentes no Programa do governo em relação às zonas costeiras, sendo da responsabilidade da Polis Litoral – Ria de Aveiro a gestão, coordenação e a execução do investimento na Operação Integrada de Requalificação e Valorização da Ria de Aveiro, nos termos definidos no respetivo Plano Estratégico.

Assim, a referida Sociedade promoveu, em fase de Anteprojeto, um processo de Avaliação de Impacte Ambiental do Projeto de Intervenção de Transposição de Sedimentos para Otimização do Equilíbrio Hidrodinâmico na Ria de Aveiro, com o objetivo de dar resposta às disposições do Decreto-Lei n.º 151-B/2013, de 31 de outubro, com as alterações introduzidas pelo Decreto-Lei n.º 47/2014, de 24 de março. O estudo de Impacte Ambiental ocorreu no período compreendido entre fevereiro e outubro de 2014 com complementos posteriores até junho de 2015, tendo sido emitida a respetiva DIA em 19 de abril de 2016, com parecer favorável ao cumprimento de um conjunto de condições expressas na DIA.

Com a emissão da DIA foi definido um conjunto de medidas a considerar no Projeto de Execução e a sua verificação através da elaboração do RECAPE, para apresentação e verificação da Autoridade de AIA. Nesta fase de Projeto de Execução foi decisão do proponente, Polis Litoral Ria de Aveiro, apresentar RECAPE's individualizados para cada um dos projetos (Barrinha de Mira e as três zonas em que se agruparam os diferentes canais da Ria de Aveiro: Canal de Mira; Canais de Ovar até Carregal e até Pardilhó e Canal da Murtosa; Canal de Ílhavo, Canais do Lago do Paraíso e da Zona Central da Ria), dado que os mesmos serão sujeitos a empreitadas distintas e com tempos de execução de obra também diferentes.

Em Maio de 2017 foi entregue o RECAPE relativo ao Projeto de Execução da Transposição de Sedimentos para a Otimização do Equilíbrio Hidrodinâmico na Ria de Aveiro - Canal de Mira, qual, e

para além do reforço das margens da Ria de Aveiro em zonas de cotas baixas ameaçadas pelo avanço das águas, incluiu também medidas ativas que visam restabelecer o fornecimento de sedimentos ao litoral, tal como preconizado na DIA. O Título Único Ambiental (TUA) e a DCAPE foram emitidos em 19 de setembro de 2017. Em 7 de novembro de 2017 deu entrada na Autoridade de AIA um aditamento pós emissão da DCAPE, acompanhado das respetivas alterações ao projeto de execução.

Em novembro de 2017 foi entregue o RECAPE relativo ao Projeto de Execução da Transposição de Sedimentos para a Otimização do Equilíbrio Hidrodinâmico na Ria de Aveiro que abrange os Canais de Ovar até ao Carregal, Ovar até Pardilhó, Murtosa, Ílhavo, Lago do Paraíso e Zona Central da Ria, concluindo-se com a sua apresentação, e na sequência de um primeiro RECAPE somente elaborado para o Canal de Mira (Maio de 2017), a globalidade da avaliação do projeto de intervenção na Ria de Aveiro face à DIA. O Título Único Ambiental (TUA) e a DCAPE foram emitidos em 28 de março de 2018. Em abril de 2018 deu entrada na Autoridade de AIA um aditamento pós emissão da DCAPE, acompanhado das respetivas alterações ao projeto de execução.

As DCAPES emitidas relativas às Transposições de Sedimentos para Otimização do Equilíbrio Hidrodinâmico da Ria de Aveiro no Canal de Mira e Canais de Ovar até Carregal, de Ovar até Pardilhó, da Murtosa, de Ílhavo, Lago do Paraíso e da Zona Central da Ria, referem que o Projeto de Execução e respetivo Relatório de Conformidade Ambiental do Projeto de Execução (RECAPE) se encontram conformes, na generalidade. Foi verificada a compatibilidade e adequação da qualidade dos sedimentos aos locais de depósito, incluindo o meio marítimo para os Canais de Ovar até Carregal, de Ovar até Pardilhó, da Murtosa, de Ílhavo, Lago do Paraíso e da Zona Central da Ria, concluindo-se pela existência de impactes negativos pouco significativos durante a sua execução, minimizados pelas soluções propostas, incluindo soluções de contenção dos dragados e pela existência de impactes positivos significativos na proteção das margens da Ria, na recuperação de motas e taludes das salinas e marinhas da Ria, bem como pela contribuição pela redução do défice sedimentar e combate à erosão costeira, nomeadamente pela alimentação da deriva litoral. É considerado adequado e suficientemente justificado o conjunto de alterações introduzidas no projeto de execução, no sentido do cumprimento das condições da DIA. Neste sentido, é emitida a decisão de conformidade, condicionada ao cumprimento dos termos e condições impostas nos documentos.

O presente RM consiste no relatório de monitorização da Hidrologia / Hidrodinâmica, das variáveis: intensidade da corrente e nível de maré, em fase de pré-construção, dando cumprimento ao Programa de Monitorização (PM) da Intervenção de Transposição de Sedimentos para Otimização do Equilíbrio Hidrodinâmico na Ria de Aveiro, constante no Caderno de Encargos do Concurso Público n.º PRA.18.PC023/LB, o qual foi elaborado de acordo com as normas legais em vigor, com o respetivo EIA, DIA, RECAPEs e DCAPEs emitidas pela Agência Portuguesa do Ambiente, I.P, nomeadamente a DCAPE de 28 de março de 2018 que abrange os Canais de Ovar até Carregal, de

Ovar até Pardilhó, da Murtosa, de Ílhavo, Lago do Paraíso e da Zona Central da Ria e a DCAPE referente ao Canal de Mira, emitida a 19 de setembro de 2017.

2.2 MEDIDAS DE MINIMIZAÇÃO

Durante a fase pré-construção deverão ser implementadas as medidas de minimização preconizadas na DIA e DCAPE por forma a minimizar ou anular qualquer impacte negativo da implementação do projeto numa fase inicial (antes da fase de construção).

Para a Hidrologia / Hidrodinâmica, em particular no que se refere aos parâmetros abordados neste RM, para a fase prévia à execução da obra, aponta-se a seguinte medida de minimização mais relevante e que de alguma forma contribui para minimizar ou anular qualquer impacte negativo da implementação do projeto:

- *Estudo geológico/ sedimentológico mais pormenorizado, que tenha em consideração os levantamentos batimétricos, hidrodinâmicos e outros estudos, no sentido de identificar eventuais áreas com informação geoarqueológica sobre as sucessivas movimentações que a orla costeira sofreu ao longo dos séculos, nomeadamente em época plistocénica e holocénica, bem como das implicações sobre os sítios arqueológicos identificados (*APA, 2016a, APA, 2016b e APA, 2016c);

2.3 RECLAMAÇÕES

Não aplicável.

3 DESCRIÇÃO DO PROGRAMA DE MONITORIZAÇÃO DA HIDROLOGIA / HIDRODINÂMICA

Os locais, parâmetros, frequência e metodologias adotados foram os definidos no PM da Monitorização da Hidrologia / Hidrodinâmica, para a fase de pré-construção, da Intervenção de Transposição de Sedimentos para Otimização do Equilíbrio Hidrodinâmico na Ria de Aveiro, constante no Caderno de Encargos do Concurso Público n.º PRA.18.PC023/LB.

3.1 FREQUÊNCIA, PARÂMETROS E LOCAIS DE MEDIÇÃO

O PM da Ria de Aveiro desenvolve-se em duas fases distintas de dois meses, que decorrem num período pré-construção/situação de referência e no final do processo de dragagens, que corresponde à fase de construção e decorrerá previsivelmente no final de 2020.

Assim, para a fase de pré-construção foi realizada 1 campanha. Para a intensidade da corrente a monitorização foi realizada em junho de 2019 e em cada local de medição foram realizados registos durante um período de cerca de 25 horas (aproximadamente 2 ciclos de maré). As medições de nível de maré, em cada local de medição, abrangeram uma duração de 2 (dois) meses realizadas entre junho e julho de 2019 com registo de dados de 15 em 15 minutos.

As datas da realização das campanhas de monitorização encontram-se descritas na Tabela 2

Tabela 2 - Datas das campanhas de medição de correntes e níveis de maré, da fase de pré-construção.

FATOR AMBIENTAL	VARIÁVEIS / ELEMENTOS	PERÍODO DE AMOSTRAGEM
Hidrologia / Hidrodinâmica	**Intensidade da Corrente**	07 a 18 de junho de 2019
	Nível de Maré	01 de junho a 31 de julho de 2019

Os locais de medição foram coincidentes com as estações definidas oficialmente pelo Instituto Hidrográfico (IH), e utilizadas nas campanhas IH-1987/88, Universidade de Aveiro (UA)-2002/04 e Administração do Porto de Aveiro (APA)-2012/17, e por esta razão proporcionam uma base de comparação direta com os resultados dessas campanhas sistemáticas.

Os locais de medição correspondem a um total de 16 (*vide* Figura 2), dos quais 7 referem-se à avaliação da intensidade da corrente (Varela; Moranzel; Parrachil; Costa Nova; Vagueira; Vista Alegre; Cais da Pedra) (*vide* Tabela 3) e 9 são referentes à avaliação do nível de maré (Carregal; Puxadouro; Torreira; Cais do Bico; Rio Novo; Vagueira; Areão; Vista Alegre; Cais da Pedra) *(vide* Tabela 4).

Na Figura 3 são apresentadas fotografias dos locais onde foram realizadas as medições de intensidade da corrente e na Figura 4 são apresentadas fotografias das estações fixas de medição do nível de maré.

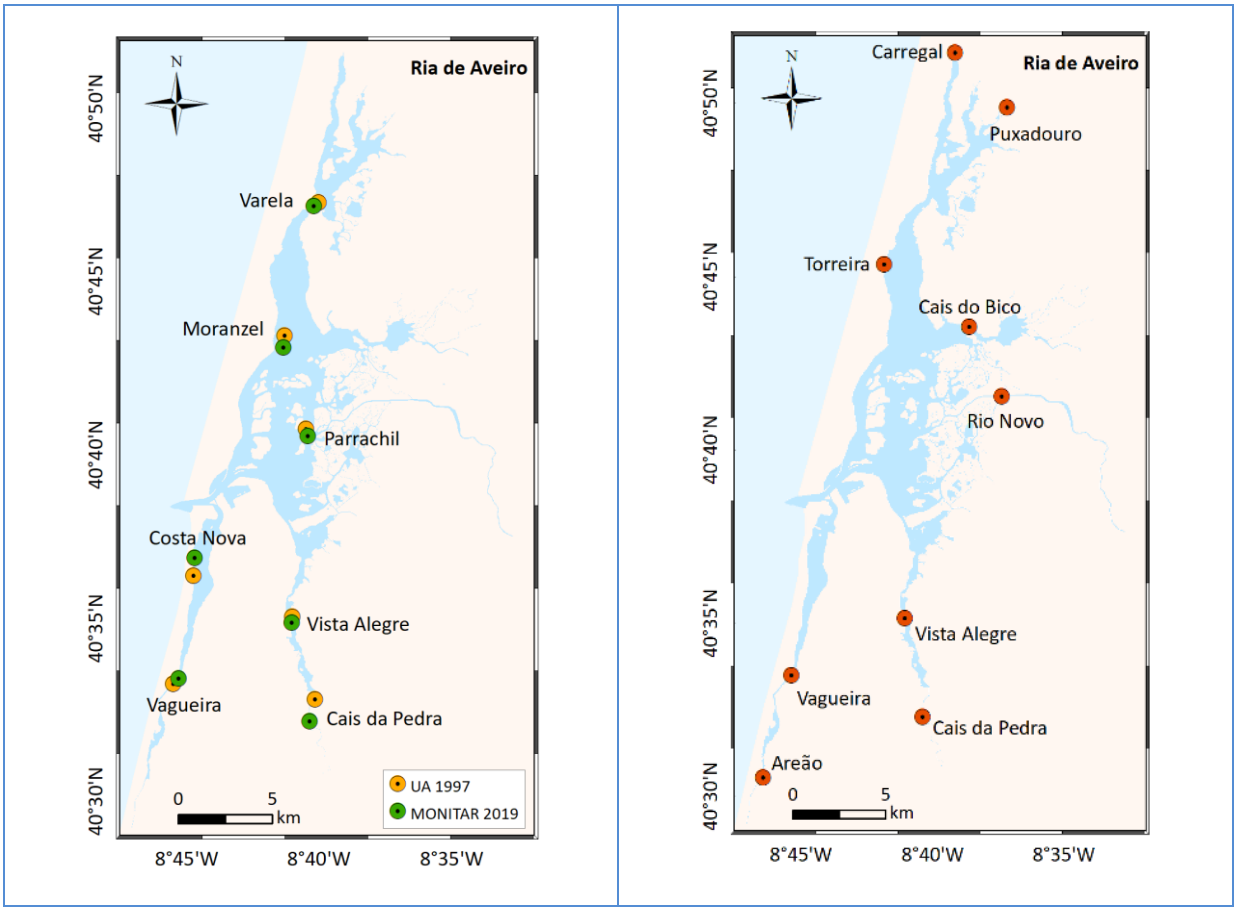


Figura 2 – Localização dos locais de medição da intensidade da corrente nas campanhas de 1997 e 2019, UA e Monitar, respetivamente (lado esquerdo) e localização dos 9 locais de medição do nível de maré (lado direito).

Tabela 3 – Localização, identificação e coordenadas dos locais de medição da intensidade da corrente.

Designação PM	Localização	Identificação do Local de Medição	Coordenadas WGS 84		ETRS89 Portugal TM06	
			Latitude	Longitude	M	P
HID 10	Canais de São Jacinto e Ovar	Varela	40°47'19.55"N	8°40'25.48"W	-45632	124561
HID 11		Moranzel	40°43'13.61"N	8°41'32.72"W	-47269	116882
HID 12	Rio Vouga	Parrachil	40°40'40.73"N	8°40'36.13"W	-45957	112260
HID 13	Canal de Mira	Costa Nova	40°37'9.00"N	8°44'50.57"W	-51978	105768
HID 8		Vagueira	40°33'39.02"N	8°45'25.65"W	-52849	99296
HID 6	Canal de Ílhavo	Vista Alegre	40°35'17.23"N	8°41'9.98"W	-46815	102285
HID 7		Cais da Pedra	40°32'26.48"N	8°40'28.10"W	-45872	97016

Tabela 4 – Localização, identificação e coordenadas dos locais de medição do nível de maré.

Designação PM	Localização	Identificação do Local	Coordenadas WGS 84		ETRS89 Portugal TM06	
			Latitude	Longitude	M	P
HID 1	Canais de São Jacinto e Ovar	Carregal	40°51'36.50"N	8°39'22.87"W	-44116	132478
HID 2		Puxadouro	40°50'1.75"N	8°37'23.27"W	-41332	129539
HID 3		Torreira	40°50'45.21"N	8°42'3.91"W	-47907	121162
HID 4	Bacia do Laranjo	Cais do Bico	40°43'41.67"N	8°38'46.73"W	-43356	121162
HID 5	Rio Vouga	Rio Novo	40°41'42.03"N	8°37'32.44"W	-41633	114125
HID 6	Canal de Ílhavo	Vista Alegre	40°35'3.89"N	8°41'0.87"W	-46603	101873
HID 7		Cais da Pedra	40°32'26.60"N	8°40'28.49"W	-45872	97016
HID 8	Canal de Mira	Vagueira	40°33'36.94"N	8°45'26.34"W	-52866	99233
HID 9		Areão	40°30'38.96"N	8°46'31.25"W	-54433	93753

Local de Medição - Varela

Local de Medição - Moranzel

Local de Medição – Parrachil

Local de Medição – Costa Nova

Local de Medição - Vagueira

Local de Medição - Vista Alegre

Local de Medição - Cais da Pedra

Figura 3 – Registo fotográfico dos locais de medição da intensidade da corrente.

Local de Medição - Carregal

Local de Medição - Puxadouro

Local de Medição - Torreira

Local de Medição - Cais do Bico

Local de Medição - Rio Novo

Local de Medição - Vagueira

Local de Medição - Areão

Local de Medição - Vista Alegre

Local de Medição - Cais da Pedra

Figura 4 – Registo fotográfico das estações de medição do nível de maré.

3.2 MÉTODOS, EQUIPAMENTOS E CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DOS DADOS

Os métodos e equipamentos utilizados para a realização dos trabalhos, assim com os critérios de avaliação de dados, estão em conformidade com o estabelecido no PM e adequados ao trabalho em causa.

3.2.1 Medição da intensidade da corrente

Para a medição da intensidade da corrente, em cada local de medição de amostragem, foram efetuados registos durante um período de 25 horas (aproximadamente 2 ciclos de maré) e gravação de dados de 5 em 5 minutos.

As medições foram efetuadas com recurso a um ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler), marca Nortek modelo Signature 1000 (*vide* Figura 5), que foi colocado no fundo, nos locais de medição definidos no PM. O equipamento possui as seguintes características:

- Gama de medição da intensidade de corrente:
  - Gama de medição: 0,3 cm/s a 5 m/s
  - Resolução: 0,1 cm/s
- Capacidade de levantamento do leito do rio:
  - Gama de medição da profundidade: 0,5 m a 30 m.
  - Gama de medição de células: variável entre 0,2 e 2 m.

Figura 5 – Equipamento ADCP Signature 1000.

3.2.1.1 Metodologia de análise

Os períodos de monitorização de 1997 e de 2019 foram representados ao longo da curva de elevação da superfície livre da água prevista para a embocadura da Ria de Aveiro para cada um dos períodos de monitorização, evidenciando o tipo (maré-viva ou maré morta) e a fase de maré (início em preia-mar, vazante, baixa-mar ou enchente) correspondente a cada período de monitorização para cada local de medição.

Os dados resultantes da medição da intensidade da corrente foram tratados e analisados inicialmente, para cada um dos períodos em estudo, verificando-se a sua conformidade e coerência.

Posteriormente, os dados amostrados da intensidade da corrente para o período atual foram representados graficamente. A metodologia seguida compreendeu a realização da comparação gráfica entre a intensidade da corrente medida junto à superfície livre da água, junto ao fundo e ainda o valor médio na coluna de água, para aferir a variação vertical da intensidade ao longo da coluna de água. No local de medição do Cais da Pedra, só foram considerados os valores de intensidade obtidos na primeira célula do perfil medido pelo ADCP, uma vez que este local apresenta profundidade muito reduzida, e, portanto, os valores das células de medida superiores não apresentam robustez suficiente que permita a sua análise.

Posteriormente optou-se por comparar a componente média da intensidade ao longo da coluna de água com os valores medidos em 1997, para cada umas das locais de medição. Como os instrumentos de medição usados nas duas campanhas de monitorização são diferentes, e não se conhece a distância exata do correntómetro ao fundo (para as medições de 1997), optou-se por fazer a comparação com o valor médio da intensidade da corrente, já que este é representativo do escoamento na coluna de água. Adicionalmente, efetuou-se ainda a representação gráfica da intensidade da corrente medida em cada local de medição em simultâneo com a curva de maré local, e determinou-se o desfasamento temporal entre máximos de altura de água e intensidade da corrente, para cada período de monitorização.

Os dados de intensidade da corrente foram também analisados estatisticamente, calculando valores médios e respetivo desvio, máximos e mínimos de intensidade da corrente, para cada uma das locais de medição.

Foi ainda feita uma análise qualitativa à existência de assimetria de maré para a monitorização de 2019, para cada local de medição, de forma a identificar se a dominância local é de enchente ou de vazante, sendo os resultados comparados com os resultados obtidos por Lopes e Dias (2015).

Considerando que a intensidade da corrente é fortemente dependente da amplitude da maré, a comparação entre medições efetuadas em diferentes condições de maré não é elucidativa de eventuais variações existentes entre os períodos em análise. Assim, e para facilitar a comparação entre os resultados das campanhas de 2019 e de 1997, foi determinada a relação entre a intensidade máxima da corrente integrada na coluna de água (intensidade local máxima) e a amplitude de maré (amplitude de maré local), para cada um dos períodos:

$$R_mare_vel = \frac{Velocidade\ local\ máxima}{Amplitude\ de\ maré\ local}$$

Não foi efetuada a análise comparativa da direção da corrente medida em 2019 com os valores medidos em 1997 (Dias, 2001), uma vez que a direção do escoamento dominante é fortemente dependente da orientação do canal e os locais de medição não são coincidentes.

3.2.2 Medição do nível de maré

Para a medição do nível de maré foram instaladas 9 estações fixas e em cada local de medição foram recolhidos dados durante 2 (dois) meses, entre junho e julho de 2019, com registos em contínuo a cada 15 minutos.

As estações da Vista Alegre e Vagueira foram colocadas em pontes, as do Carregal, Torreira e Cais do Bico em postes localizados nas respetivas marinas e as estações do Puxadouro, Rio Novo, Cais da Pedra e Areão foram colocadas na margem (ver Figura 4).

As estações de medição de nível de maré, dispõem de um sistema de alimentação autónomo (painel solar e baterias de lítio) e de um sistema de transmissão de dados via GSM/GPRS, sendo os dados disponibilizados “online” na plataforma MonitarSense. Esta opção torna-se extremamente importante, dado que permitiu e permite, verificar o estado de prontidão e funcionamento das estações e equipamentos em tempo real.

As estações de medição do nível de maré instaladas utilizam um sistema de radar (*vide* Figura 6) e possuem as seguintes características:

- Marca: MONITARSENSE
- Resolução: Selecionável: 1 cm
- Gama de medição: 0,4 – 35,0 m
- Precisão: 0,4 – 2,0 m: ±10 mm; 2,0 – 30 m: ±3 mm; 30 – 35 m: ±10 mm

Figura 6 – Equipamento de medição de nível de maré.

As alturas (níveis) da água são referidas ao zero hidrográfico (ZH).

3.2.2.1 Metodologia de análise - Caracterização da elevação da superfície livre do mar em junho e julho de 2019

Foram caracterizadas as variações do nível do mar na Ria de Aveiro através da análise dos registos maregráficos realizados entre junho e julho de 2019. Inicialmente analisaram-se nas 9 estações as séries temporais de elevação de superfície livre, descrevendo-se qualitativamente os padrões observados e quantificando-se os níveis mínimos e máximos mensais e a respetiva data de ocorrência.

De seguida o registo maregráfico foi usado para caracterizar a maré meteorológica e astronómica no período de monitorização. Potenciais eventos de maré meteorológica foram identificados a partir dos níveis residuais determinados pelos seguintes métodos:

- Método 1 – o residual de maré é determinado para cada série temporal por subtração entre os valores de nível medidos e determinados para o mesmo instante por síntese harmónica, a partir das constantes harmónicas determinadas para o respetivo período aplicando a subrotina *Matlab t_tide* (Pawlowicz et al., 2002);
- Método 2 – o residual de maré é determinado através da aplicação de um filtro às séries temporais de nível de água medidas. O filtro aplicado utiliza uma frequência limite de 0,0000093 Hz (30 h) para separar as oscilações de alta frequência (maré astronómica) e as oscilações de baixa frequência (residual de maré).

Determinou-se a data de ocorrência dos eventos de maré meteorológica e para cada local de medição calculou-se o nível máximo de cada evento pelos dois métodos. Analisou-se ainda a situação sinótica em cada um dos eventos e confirmou-se a ocorrência de condições meteorológicas adversas, através da interpretação de mapas de pressão de reanálises NCEP disponibilizados pelo Meteociel (http://www.meteociel.fr/).

A componente astronómica da maré (amplitude e fase dos constituintes de maré) foi determinada através da realização de análise harmónica às séries temporais de elevação da superfície livre, recorrendo à subrotina de *Matlab t_tide* (Pawlowicz et al., 2002). Este procedimento foi efetuado às séries de elevação mensais, assim como às séries temporais de elevação medidas para o período total monitorizado, obtendo-se as constantes harmónicas para cada mês e para a totalidade do período em análise. De seguida procedeu-se à análise dos constituintes semidiurnos (M_2 e S_2), diurnos (K_1 e O_1) e de águas pouco profundas (M_4).

3.2.2.2 Metodologia de análise - Alterações de maré entre 1987/88 e 2019

Na determinação das alterações nas características da maré na Ria de Aveiro entre 1987/88 e 2019, os registos de 2019 foram comparados aos levantamentos efetuados no passado para as 9 estações de amostragem em estudo, nomeadamente do IH 1987/88, UA 2002/04 e APA 2012/17. Efetuou-se análise harmónica aos dados recolhidos em levantamentos anteriores e compararam-se as constantes harmónicas resultantes com as obtidas anteriormente a partir das séries temporais de elevação total (junho e julho de 2019) para os mesmos locais. No caso dos levantamentos APA 2012/17, como estes monitorizaram em contínuo o nível de maré desde abril de 2012 a março de 2017, optou-se por efetuar a análise harmónica a cada uma das séries anuais de elevação.

Além das alterações nas constantes harmónicas, analisaram-se também alterações nos valores de concordâncias de maré entre 1987/88 e 2019. As concordâncias de maré são parâmetros de desfasamento da onda de maré entre dois locais que apresentem o mesmo regime de maré, habitualmente entre um marégrafo principal (para o qual existe monitorização contínua do nível de maré) e locais de amostragem secundários localizados nas suas imediações (com períodos de monitorização ocasionais).

Assim, determinaram-se os valores de concordância de maré por comparação entre os níveis de maré previstos para o marégrafo da Barra (marégrafo principal) e para as 9 estações de amostragem no período compreendido entre junho e julho de 2019. As previsões de maré utilizadas para o cálculo das concordâncias de maré foram obtidas por síntese harmónica a partir das constantes harmónicas determinadas para cada local. No caso das estações de amostragem as constantes harmónicas foram obtidas a partir do registo de junho e julho de 2019, enquanto que na

Barra, estas foram obtidas a partir do registo maregráfico de 2016, dada a indisponibilidade de dados maregráficos desta estação para o ano de 2019. Adicionalmente, o registo maregráfico de 2016 é o que apresenta menor número de falhas de amostragem no passado mais recente.

Inicialmente, determinaram-se os níveis de Preia-Mar e de Baixa-Mar (para todas as 9 estações e Barra) assim como a respetiva hora de ocorrência. Posteriormente calcularam-se as diferenças entre os níveis de Preia-Mar e Baixa-Mar entre a Barra e as 9 estações de amostragem, assim como o desfasamento dos níveis de Baixa-Mar e Preia-Mar entre a Barra e cada local. Para os dois estados de maré (Preia-Mar e Baixa-Mar), determinou-se a relação linear entre as diferenças de níveis e o respetivo nível na Barra, assim como entre o desfasamento e o respetivo nível na Barra. Uma vez, conhecidas as relações lineares, determinaram-se para cada local de medição as concordâncias de maré para níveis de Preia-Mar na Barra de 2.63 e 3.3 m e de Baixa-Mar de 0.7 e 1.37 m. Estes níveis foram selecionados considerando que são os níveis de referência apresentados nas tabelas de concordância de maré disponibilizadas pelo Instituto Hidrográfico. As concordâncias de maré determinadas neste estudo a partir dos dados de 2019 foram depois comparadas com as publicadas pelo Instituto Hidrográfico, obtidas a partir dos dados IH 1987/88. As alterações nas concordâncias de maré mostram como a propagação da maré se modificou entre 1987/88 e 2019 no interior da laguna.

3.3 RELAÇÃO DAS ATIVIDADES CONSTRUTIVAS OU FATORES EXÓGENOS DO PROJETO COM OS LOCAIS DE AMOSTRAGEM

No que respeita a fatores exógenos, a velocidade da corrente é uma grandeza vetorial dependente da geomorfologia do local de monitorização. Ou seja, pequenas alterações na cota de profundidade ou na geometria do local de monitorização podem provocar alterações significativas na intensidade e direção da corrente, uma vez que, quanto maior (menor) for a profundidade ou a largura do canal, menor (maior) será a intensidade da corrente. A direção muda consoante muda a orientação de um canal específico de navegação.

As variações do nível do mar de curto prazo resultam de forçamentos de origem astronómica e meteorológica. Na costa noroeste de Portugal, a maré astronómica é semidiurna com uma ligeira desigualdade diurna. Esta onda tem um período médio de 12h e 25 min e por isso ocorrem diariamente duas Preia-Mares (PM) e duas Baixa-Mares (BM). Na costa Oeste de Portugal ocorrem tipicamente sobre-elevações de origem meteorológica (aumento anormal do nível do mar) quando se localizam baixas pressões a Norte/Noroeste ou altas pressões a Sul/Sudoeste de Portugal, associadas a ventos fortes de Sul.

Importa referir que, aquando da realização das medições da intensidade da corrente e do nível de maré para a caraterização da situação de referência, apenas decorreram trabalhos de dragagem a Norte da Ria de Aveiro, no troço 1.4 (canal de acesso ao Cais da Bestida, no concelho da Murtosa – Canal de Ovar até ao Carregal), a partir do dia 13 de junho de 2019, considerando-se que os mesmos não interferem na avaliação da caracterização da situação de referência.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS DA MONITORIZAÇÃO DA HIDROLOGIA / HIDRODINÂMICA

Os resultados obtidos nas monitorizações da hidrologia / hidrodinâmica são, nos pontos seguintes, analisados para os diferentes locais de medição e separados pelas variáveis: intensidade da corrente e nível de maré.

4.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA A INTENSIDADE DA CORRENTE

Os dados medidos no âmbito do PM (caracterização da fase de pré-construção – junho a julho de 2019) são comparados com dados de intensidade amostrados em 1997 pela Universidade de Aveiro (Dias, 2001), em localizações próximas, mas não coincidentes, com as locais de medição atuais (ver Figura 2). As medições de intensidade realizadas em 1997 pela Universidade de Aveiro, foram efetuadas com um correntómetro de rotor tradicional CM MORS MC310P que foi instalado de forma a monitorizar a intensidade da corrente 50 cm abaixo da superfície livre da água, com um período de amostragem de 10 minutos, durante um ciclo de maré completo (aproximadamente de 13 horas). Os períodos amostrados em 1997 e na fase de pré-construção – junho a julho de 2019 (Monitar 2019) estão resumidos na Tabela 5.

Como já referido, pequenas alterações na cota de profundidade ou na geometria do local de monitorização podem provocar alterações significativas na intensidade e direção da corrente, uma vez que, quanto maior (menor) for a profundidade ou a largura do canal, menor (maior) será a intensidade da corrente. A direção muda consoante muda a orientação de um canal específico de navegação. Este facto, adicionado a possíveis mudanças na direção predominante do escoamento de maré em alguns dos canais de navegação da Ria de Aveiro, levam a que neste relatório apenas sejam efetuadas as comparações entre dados de 2019 e de 1997 relativas à intensidade da corrente, de forma a estabelecer o estado de referência atual na Ria de Aveiro.

Tabela 5 - Períodos de monitorização das medições da intensidade da corrente realizadas em 1997 (UA 1997) e pré-construção – junho a julho de 2019 (Monitar 2019).

LOCAL DE MEDIÇÃO	MONITAR 2019	UA 1997
Varela	17/06/2019 19:39:24 18/06/2019 19:39:24	19/06/1997 10:50:00 19/06/1997 23:50:00
Moranzel	16/06/2019 16:06:05 17/06/2019 18:41:05	20/06/1997 01:00:00 20/06/1997 14:00:00
Parrachil	15/06/2019 13:36:35 16/06/2019 14:21:35	17/06/1997 13:50 18/06/1997 02:50:00
Costa Nova	13/06/2019 19:51:55 14/06/2019 19:46:55	20/06/1997 18:20:00 21/06/1997 08:20:00

LOCAL DE MEDIÇÃO	MONITAR 2019	UA 1997
Vagueira	12/06/2019 18:21:00 13/06/2019 18:51:35	22/06/1997 07:10:00 22/06/1997 20:10:00
Vista Alegre	09/06/2019 17:31:00 10/06/2019 18:11:00	07/061997 07:10:00 07/06/1997 20:10:00
Cais da Pedra	07/06/2019 20:33:00 09/06/2019 15:09:00	11/06/1997 07:10:00 11/06/1997 20:10:00

Os períodos de monitorização ao longo da curva de elevação da superfície livre da água para a embocadura da Ria de Aveiro, para 1997 e 2019 são representados na Figura 7. Como se pode notar, a monitorização de 1997 iniciou-se no final de uma maré viva e foi concluída no início da maré viva seguinte. Para a monitorização de 2019 não se notam diferenças significativas na amplitude de maré, tendo as medições sido efetuadas entre amplitudes mínimas e máximas de 1.6 m e 2.3 m, respetivamente. As amostragens de 1997 foram realizadas ao longo de 1 ciclo de maré completo e as amostragens de 2019 foram realizadas ao longo de dois ciclos de marés completos, exceto para o Cais da Pedra onde a monitorização foi mais longa.

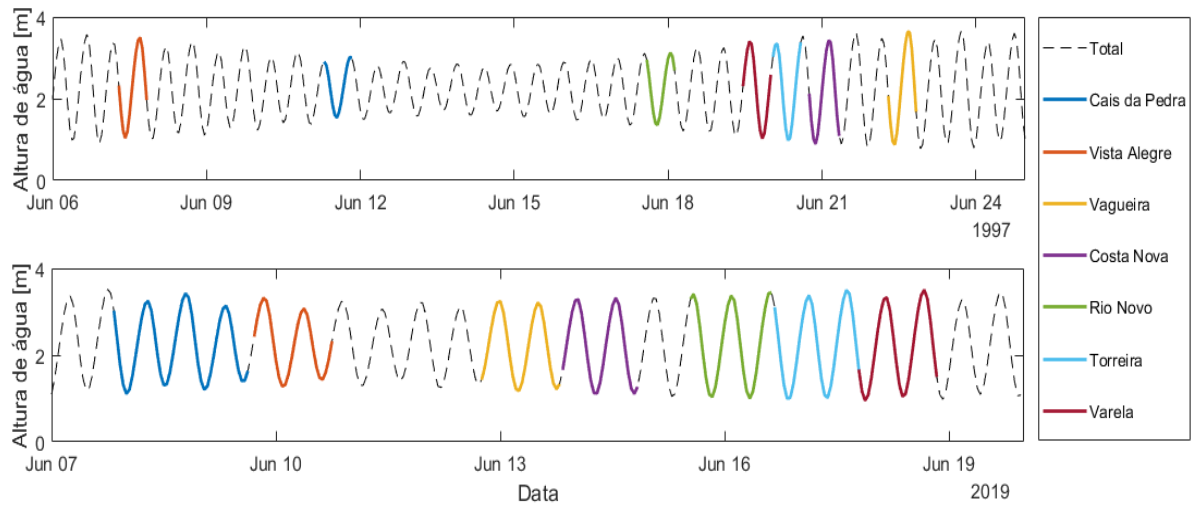


Figura 7 – Elevação da superfície livre da água prevista para a embocadura da Ria de Aveiro, para os períodos de monitorização de 1997 (painel superior) e de 2019 (painel inferior). As diferentes cores representam cada um dos períodos locais de medição.

4.1.1 Análise estatística

Nesta secção é efetuada uma descrição dos resultados da análise estatística, considerando a distribuição das locais de medição por diferentes canais/zonas da Ria de Aveiro.

Na Tabela 6 apresenta-se, para cada um dos locais de medição e períodos, a análise estatística dos valores da intensidade da corrente em valores médios e respetivo desvio, máximos e mínimos de intensidade da corrente. Apresenta-se ainda a amplitude local de maré nas datas em que foi efetuada a medição da intensidade da corrente, assim como o quociente entre a intensidade máxima da corrente e a amplitude de maré local, para cada um dos períodos em estudo.

Tabela 6 – Resultados estatísticos para a intensidade da corrente em cada local de medição.

Local de medição	Ano	Intensidade Média (ms^{-1})	Intensidade Mínima (ms^{-1})	Intensidade Máxima (ms^{-1})	Amplitude de Maré (m)	Quociente vel max/amp (s^{-1})
Varela	1997	0,38 ± 0,16	0,14	0,66	0,85	0,78
	2019	0,74 ± 0,28	0,09	1,2	2,3	0,52
Moranzel	1997	0,43 ± 0,27	0,00	0,86	1,8	0,48
	2019	0,62 ± 0,32	0,04	1,2	2,3	0,53
Parrachil	1997	0,21 ± 0,10	0,01	0,42	1,8	0,24
	2019	0,46 ± 0,18	0,04	0,72	2,2	0,33
Costa Nova	1997	0,46 ± 0,26	0,00	0,85	2,7	0,32
	2019	0,43 ± 0,22	0,04	0,83	2,0	0,42
Vagueira	1997	0,48 ± 0,19	0,00	0,75	1,6	0,47
	2019	0,30 ± 0,18	0,02	0,67	1,9	0,35
Vista Alegre	1997	0,56 ± 0,23	0,00	0,87	1,4	0,64
	2019	0,40 ± 0,14	0,02	0,63	1,8	0,35
Cais da Pedra	1997	0,26 ± 0,13	0,00	0,60	1,1	0,54
	2019	0,15 ± 0,01	0,00	0,48	1,6	0,31

A- Área central e Norte da Ria de Aveiro

Para esta região foi monitorizada a intensidade da corrente ao longo de dois ciclos de maré para localizações correspondentes aos locais de medição do Varela, Moranzel e Parrachil.

No local de medição da Varela, o valor médio da intensidade da corrente para 2019 é de 0,74 ± 0,28 ms^{-1}, mais elevado 0,36 ms^{-1} em relação ao valor obtido em 1997, Os valores da intensidade mínima e máxima são 0,04 ms^{-1} e 1,2 ms^{-1}, respetivamente, sendo que o valor máximo é quase o dobro do valor máximo (0,66 ms^{-1}) obtido em 1997.

No local de medição do Moranzel, o valor médio da intensidade da corrente para 2019 é de 0,62 ± 0,32 ms^{-1}, mais elevado 0,19 ms^{-1} em relação ao valor obtido em 1997. Os valores de intensidade mínima e máxima são 0,04 ms^{-1} e 1,2 ms^{-1}, sendo que o valor máximo é mais elevado 0,16 ms^{-1}, em relação ao obtido para 1997.

Para o local de medição do Parrachil, a intensidade da corrente apresenta um valor médio para 2019 de 0,46 ± 0,18 ms^{-1}, um valor máximo e mínimo de 0,72 ms^{-1} e 0,04 ms^{-1}, respetivamente. Estes valores na intensidade da corrente representam um aumento de 0,25 ms^{-1} e 0,30 ms^{-1} em relação a 1997 nas intensidades média e máxima, respetivamente, num ponto de monitorização não coincidente.

Nesta região da Ria de Aveiro, as intensidades máximas são registadas no canal de S, Jacinto/Ovar, tendo uma diferença de cerca de 0,4 ms^{-1}, em relação ao local de medição do Parrachil, localizada na área central da Ria, junto ao Canal do Espinheiro. A intensidade média em 2019 (ao longo dos 2 ciclos de maré amostrados) é superior no local de medição da Varela, aumentando de sul para norte, cerca de 0,12 ms^{-1}, Em 1997, o valor médio mais elevado foi calculado para o local de medição do Moranzel, ilustrando um aumento de 0,05 ms^{-1} no sentido Norte-Sul. Salienta-se que a amplitude de maré em cada local de medição foi sempre superior em 2019, pelo que seria de esperar um escoamento de maior intensidade neste período de monitorização.

B- Canal de Mira

Para esta região foi monitorizada a intensidade da corrente ao longo de dois ciclos de maré para localizações correspondentes aos locais de medição da Costa Nova e da Vagueira.

No local de medição da Costa Nova, o valor médio da intensidade da corrente para 2019 é de 0,43 ± 0,22 ms^{-1}, valor menor cerca de 0,03 ms^{-1} em relação ao obtido em 1997. Os valores da intensidade mínima e máxima são de 0,04 e 0,83 ms^{-1}, similares aos obtidos em 1997, já que o máximo em 2019 é menor 0,02 ms^{-1} em relação ao obtido para 1997.

No local de medição da Vagueira, o valor médio da intensidade da corrente para 2019 é de 0,30 ± 0,18 ms^{-1}, valor menor 0,18 ms^{-1} em relação ao obtido em 1997. Os valores mínimos e máximos são de 0,02 e 0,67 ms^{-1}, respetivamente, sendo que o valor máximo em 2019 é menor 0,08 ms^{-1} em relação ao valor para 1997.

Os resultados obtidos nos locais de medição do Canal de Mira, mostram que as intensidades máximas são mais elevadas no local de medição da Costa Nova, entre 0,10 e 0,16 ms^{-1} para 2019 e 1997 comparativamente à Vagueira, respetivamente. A intensidade média ao longo dos ciclos de monitorização é mais elevada no local de medição da Costa Nova cerca 0,13 ms^{-1} para a monitorização de 2019. No geral, houve uma diminuição da intensidade entre a monitorização de 1997 e 2019, com diminuição de 0,03 e 0,18 ms^{-1} na intensidade média ao longo dos ciclos de monitorização para a Costa Nova e Vagueira, respetivamente. Salienta-se que a amplitude de maré na Vagueira foi superior em 2019, mas na Costa Nova a maior amplitude de maré foi registada em 1997.

C- Canal de Ílhavo

Para esta região foi monitorizada a intensidade da corrente ao longo de dois ciclos de maré para a localização correspondente ao local de medição da Vista Alegre e de três ciclos de maré no local de medição do Cais da Pedra.

No local de medição da Vista Alegre, o valor médio da intensidade da corrente para 2019 é de 0,40 ± 0,14 ms^{-1}, valor menor 0,16 ms^{-1} em relação ao calculado em 1997. Os valores da intensidade mínima e máxima são de 0,02 e 0,63 ms^{-1}, o que representa um decréscimo da intensidade máxima neste local de medição de 0,24 ms^{-1} em relação a 1997.

No local de medição do Cais da Pedra, só foram considerados os valores de intensidade obtidos na primeira célula do perfil medido pelo AD2CP. Neste local de medição, o valor médio da intensidade da corrente para 2019 é de 0,15 ± 0,01 ms^{-1}, valor menor cerca de 0,11 ms^{-1} em relação ao calculado em 1997. Os valores da intensidade mínima e máxima são de 0,0 e 0,48 ms^{-1}, sendo que a intensidade máxima teve um decréscimo de 0,12 ms^{-1} em relação à monitorização de 1997. Saliente-se que a amplitude de maré em cada local de medição foi sempre superior em 1997, pelo que seria de esperar um escoamento de maior intensidade neste período de monitorização.

Os resultados obtidos nos locais de medição localizados no Canal de ílhavo, mostram que as intensidades médias e máximas são mais elevadas na Vista Alegre do que no Cais da Pedra, representando um acréscimo no sentido Sul-Norte de 0,25 ms^{-1} para a intensidade média e 0,15 ms^{-1} para a intensidade máxima.

D- Diferenças por área e por período de monitorização na Ria de Aveiro

Os resultados da campanha de monitorização realizada em 2019 revelam que no geral as intensidades médias foram mais elevadas nos locais de medição localizados na área central da Ria de Aveiro e no Canal de S. Jacinto/Ovar, sendo o valor mais elevado obtido no local de medição da Varela (0,74 ms^{-1}) e o menor valor no Cais da Pedra (0,15 ms^{-1}). As intensidades no Canal de Mira foram mais elevadas que no Canal de Ílhavo. Saliente-se que este padrão das intensidades corresponde ao padrão da amplitude da maré, que aumentou ao longo do período de monitorização, iniciado no Cais da Pedra e concluído na Varela.

No geral, a análise comparativa dos resultados das campanhas de monitorização de 2019 e de 1997 revela um aumento da intensidade da corrente na área central e norte da Ria ao longo do tempo e um decréscimo consistente nos Canais de Mira e de Ílhavo, apesar das medições terem sido efetuadas em condições de maré de maior amplitude.

4.1.2 Análise das curvas da Intensidade da corrente

Para cada local de medição é realizada a representação gráfica das curvas da intensidade da corrente à superfície, no fundo e média na coluna de água amostradas em 2019. Posteriormente efetuou-se a comparação da intensidade média da corrente medida em 2019, com os valores medidos em 2017.

Deve-se salientar que esta comparação visa essencialmente aferir e comparar padrões e os valores máximos e mínimos da intensidade da corrente. As curvas a vermelho referem-se aos dados de 1997, e as curvas a preto aos dados amostrados em 2019. Foi também realizada a comparação entre a evolução temporal da intensidade da corrente e da elevação da superfície livre da água (medida numo localização coincidente ou próxima), de forma a avaliar o desfasamento entre a intensidade e o nível de maré local para cada um dos locais de medição.

A - Local de medição - Varela

Na Figura 8 apresentam-se os resultados para o local de medição localizado na Varela. Os valores médios na coluna de água da intensidade da corrente (linha a preto) mostram padrão e variabilidade similares à dos valores medidos à superfície (linha a vermelho) e junto ao fundo (linha azul). O valor médio na coluna de água tem valores absolutos muito próximos dos medidos à superfície, apresentando os valores medidos junto ao fundo, uma diminuição significativa da intensidade da corrente. Apesar desta diferença, e por motivos de coerência metodológica, manteve-se a opção de utilização da curva média na coluna de água nas comparações e análise da intensidade

da corrente. Ao contrário do verificado na maioria das estações em análise, o escoamento de maré não é uniforme ao longo da coluna de água, apresentando uma redução significativa junto ao fundo.

A intensidade da corrente varia com uma periodicidade de cerca de 6 horas, o que corresponde a metade do período de variação da altura de água (periodicidade semidiurna), uma vez que a intensidade atinge valores próximos de zero nos estofos de marés, correspondentes às horas de baixa-mar e de preia-mar. A amplitude da intensidade média na coluna de água para a monitorização de 2019 é de 1,10 ms^{-1}, o que corresponde à diferença entre os valores máximos e mínimos locais resumidos na Tabela 6. A intensidade média ao longo dos dois ciclos de maré é de 0,74 ± 0,28 ms^{-1}.

Comparando com os valores de intensidade da corrente medidos no localização mais próxima (Dias, 2001), verifica-se que os valores de 2019 são significativamente superiores (cerca de 0,6 ms^{-1}). Este aumento pode ser devido ao facto de a amplitude da maré ser 1,5 m superior em 2019, o que induz um escoamento de maré de maior intensidade. Neste local de medição não se verifica um padrão evidente que diferencie as correntes de enchente das correntes de vazante, pelo que não é possível inferir a existência de assimetria local de maré.

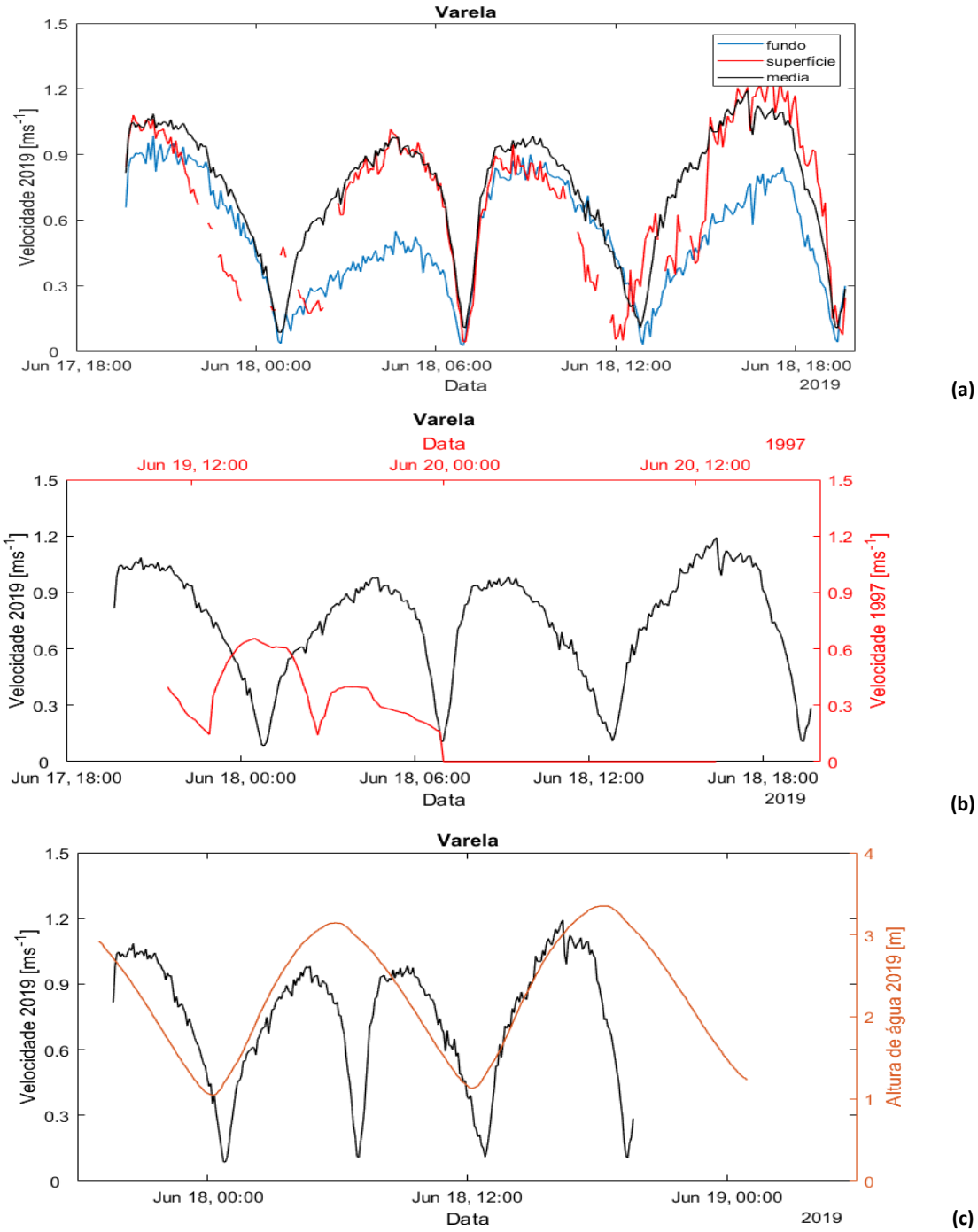
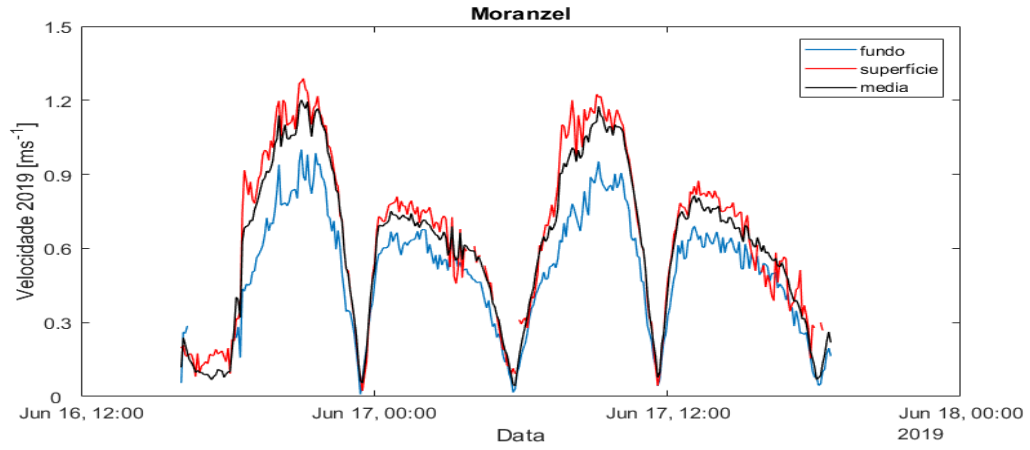


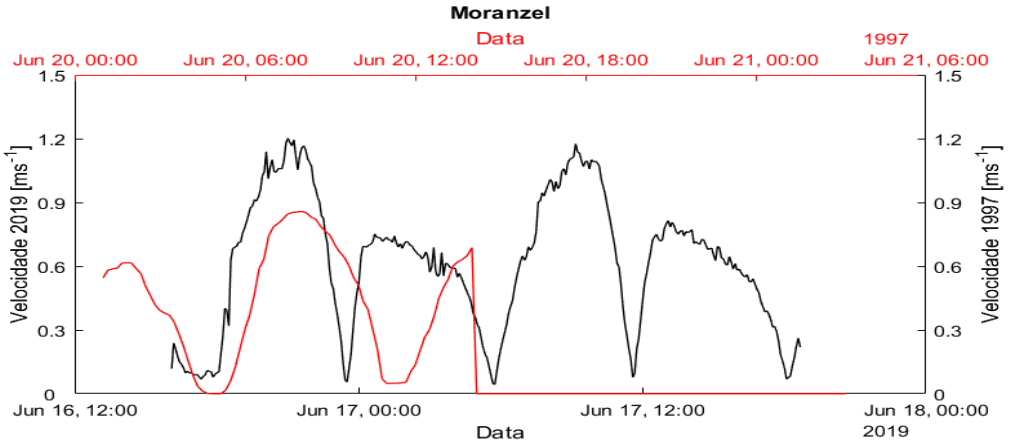
Figura 8 – a) Comparação entre a intensidade da corrente à superfície, fundo e média na coluna de água para o local de medição localizado na Varela; b) Comparação entre as curvas de intensidade para 2019 (a preto) e 1997 (a vermelho) e c) Comparação entre a intensidade da corrente e nível de água local.

B - Local de medição - Moranzel

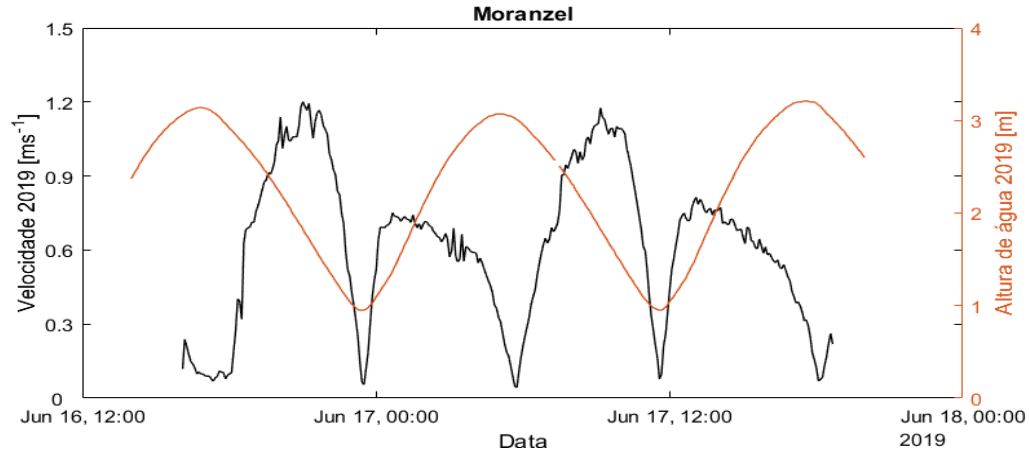
Na Figura 9 apresentam-se os resultados para o local de medição localizado no Moranzel. Os valores da intensidade média da corrente (linha a preto) mostram padrão e variabilidade similares ao caso anterior, mas neste caso com menores valores da intensidade da corrente junto ao fundo. A periodicidade dominante é similar à descrita para o local de medição da Varela, com um valor máximo da intensidade média na coluna de água de 1,16 ms^{-1}, o que corresponde à diferença entre os valores máximos e mínimos locais resumidos na Tabela 6. A intensidade média ao longo dos dois ciclos de maré é de 0,62 ± 0,32 ms^{-1}. A comparação com os dados de 1997 (Dias, 2001) revela que a intensidade da corrente em 2019 é significativamente superior (cerca de 0,3 ms^{-1}). Esta diferença pode ser devida à amplitude da maré ser 0,5 m superior em 2019, o que induz escoamentos de maré mais intensos. Verifica-se ainda que as correntes de enchente apresentam maior intensidade e menor duração do que as correntes de vazante, o que traduz a assimetria local da maré, com dominância de vazante.



(a)



(b)



(c)

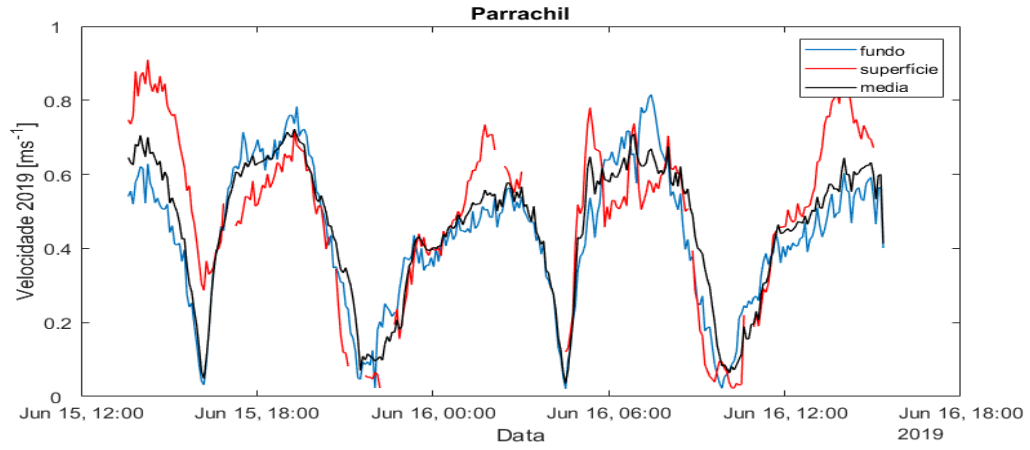
Figura 9 – a) Comparação entre a intensidade da corrente à superfície, fundo e média na coluna de água para o local de medição localizado no Moranzel; b) Comparação entre as curvas de intensidade para 2019 (a preto) e 1997 (a vermelho) e c) Comparação entre a intensidade da corrente e nível de água local.

C - Local de medição - Parrachil

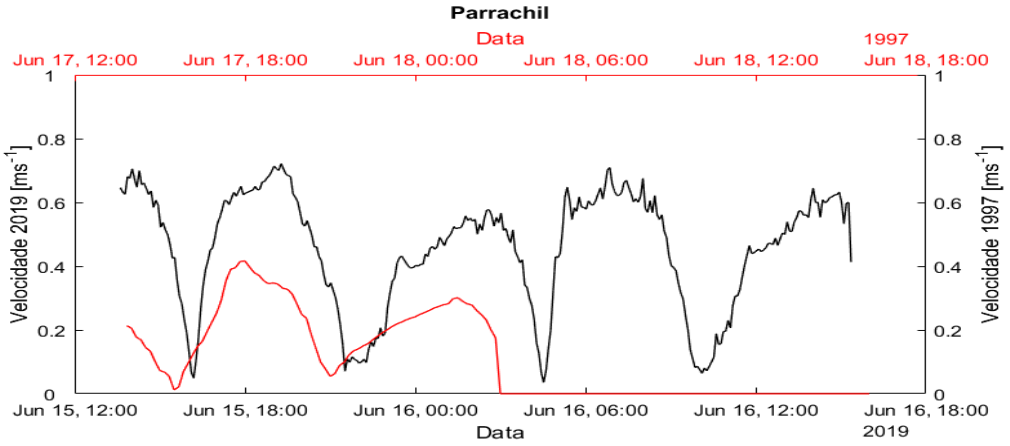
A Figura 10 ilustra os resultados obtidos para o local de medição do Parrachil. Os valores médios na coluna de água da intensidade da corrente (linha a preto) mostram padrão e variabilidade similares à dos valores medidos à superfície (linha a vermelho) e junto ao fundo (linha azul), permitindo concluir que não existem diferenças significativas entre o valor médio e os valores medidos à superfície e junto ao fundo, o que revela uma coluna de água com um escoamento constante ao longo da vertical durante estes dois ciclos de maré.

A intensidade da corrente varia com um período de cerca de 6 horas, atingindo valores próximos de zero no estofo de maré, correspondentes às horas de baixa-mar e de preia-mar. Verifica-se ainda que as correntes de vazante apresentam maior intensidade e menor duração do que as correntes de enchente, o que traduz a assimetria local da maré, com dominância de enchente. A amplitude da intensidade média da corrente na coluna de água é de 0,68 ms-1, o que corresponde à diferença entre os valores máximos e mínimos locais resumidos na Tabela 6. A intensidade média ao longo dos dois ciclos de maré é de 0,46 ± 0,18 ms-1.

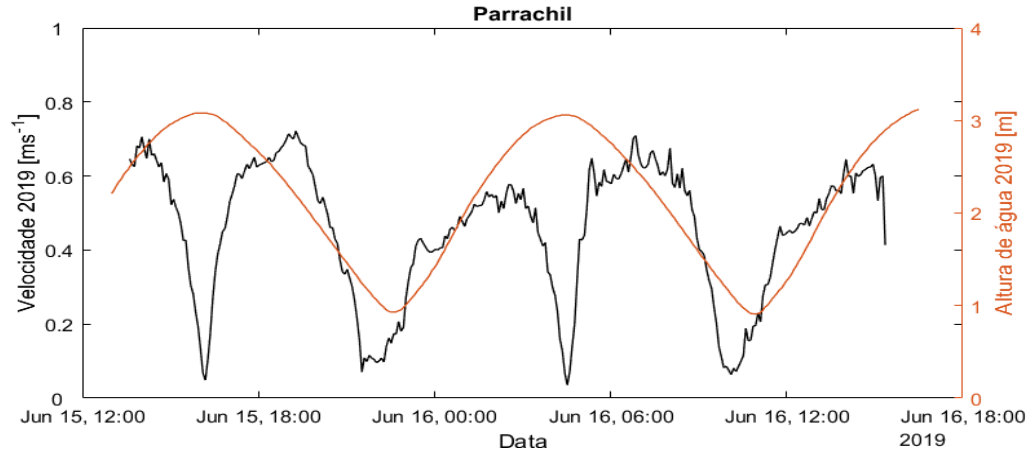
Comparando estes resultados com os valores de intensidade da corrente medidos no localização mais próxima (Dias, 2001), nota-se que a intensidade da corrente em 2019 é significativamente superior (cerca de 0,3 ms^{-1}), conforme apresentado na Tabela 6. Este aumento pode ser devido ao facto de a amplitude da maré ser 0,4 m superior em 2019, o que induz correntes de maior intensidade.



(a)



(b)



(c)

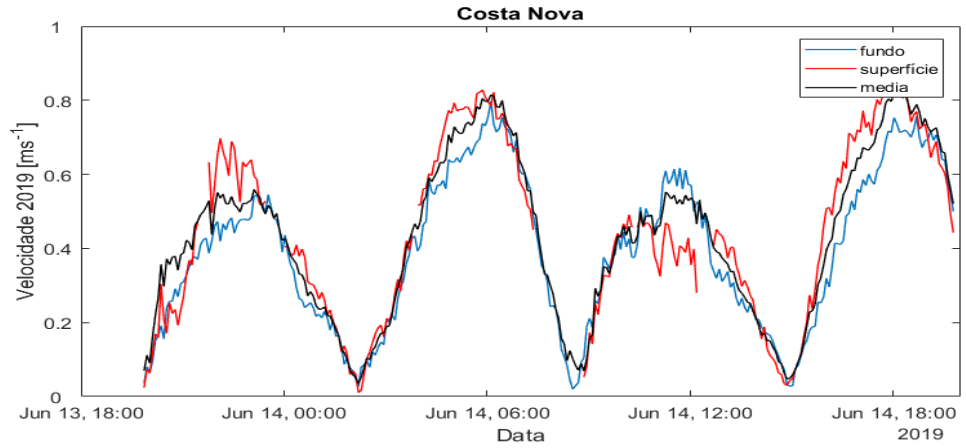
Figura 10 – a) Comparação entre a intensidade da corrente à superfície, fundo e média na coluna de água para o local de medição localizado no Parrachil; b) Comparação entre as curvas de intensidade para 2019 (a preto) e 1997 (a vermelho) e c) Comparação entre a intensidade da corrente e nível de água local.

D - Local de medição - Costa Nova (Clube de Vela da Costa Nova)

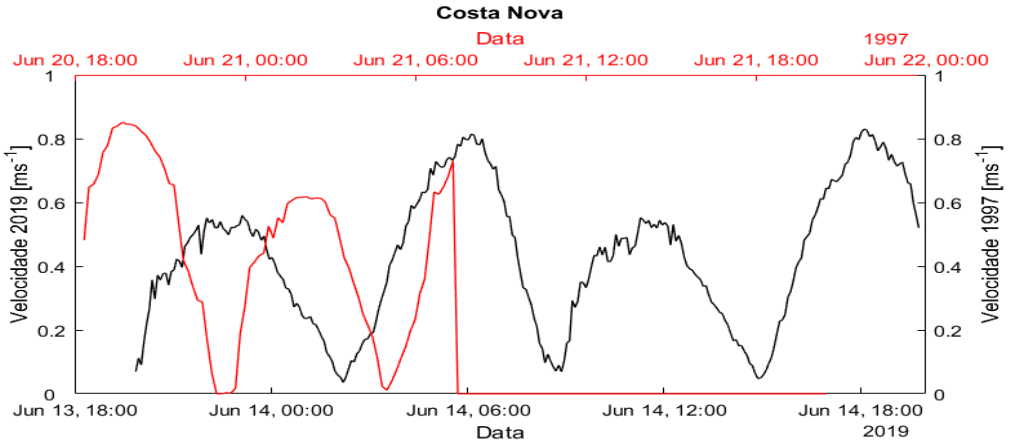
Na Figura 11 representam-se os resultados para o local de medição localizado na Costa Nova. Os valores médios na coluna de água da intensidade da corrente (linha a preto) mostram padrão e variabilidade similares à dos valores medidos junto à superfície (linha a vermelho) e junto ao fundo (linha azul). O valor médio na coluna de água tem valores absolutos muito próximos dos medidos à superfície, apresentado os valores medidos junto ao fundo uma diminuição ligeira da intensidade da corrente. Apesar de algumas diferenças, a variabilidade temporal da intensidade é muito semelhante e a opção de utilizar a curva média na coluna de água para análise e comparação com os resultados de 1997 foi mantida por coerência metodológica.

Tal como nas locais de medição anteriores, a intensidade da corrente varia com um período de cerca de 6 horas, atingindo valores próximos de zero no estofo de maré, correspondendo às horas de baixa-mar e de preia-mar. A amplitude da intensidade média na coluna de água para a monitorização de 2019 é de 0,79 ms^{-1}, o que corresponde à diferença entre os valores máximos e mínimos locais resumidos na Tabela 6. A intensidade média ao longo dos dois ciclos de maré é de 0,43 ± 0,22 ms^{-1}.

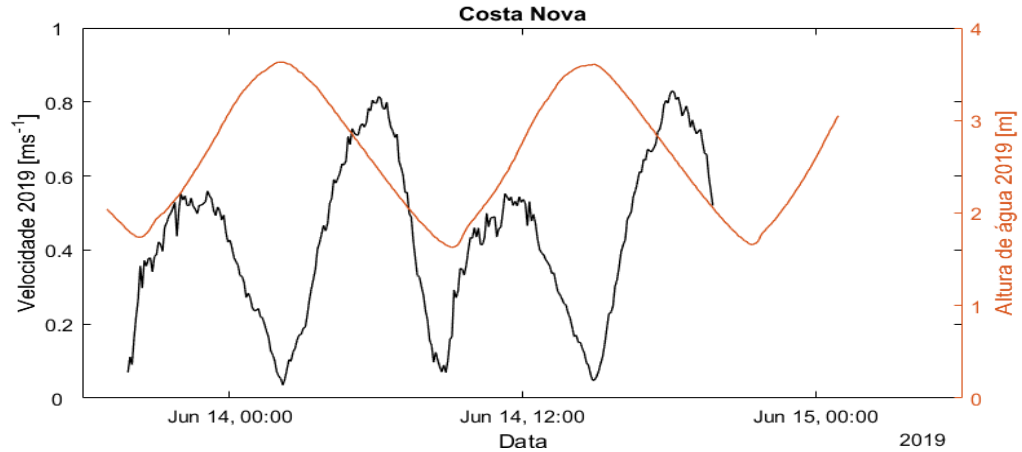
Comparando com os valores de intensidade da corrente medidos na localização mais próxima (Dias, 2001), verifica-se que os valores de 2019 são inferiores (cerca de 0,03 ms^{-1}). Esta diminuição pode ser devido ao facto de a amplitude de maré ser de 2,0 m em 2019, valor inferior em 0,7 m em relação a 1997, o que induz um escoamento de maré com menor intensidade. Verifica-se ainda que as correntes de vazante apresentam maior intensidade e menor duração do que as correntes de enchente, o que traduz a assimetria local da maré, com dominância de enchente.



(a)



(b)



(c)

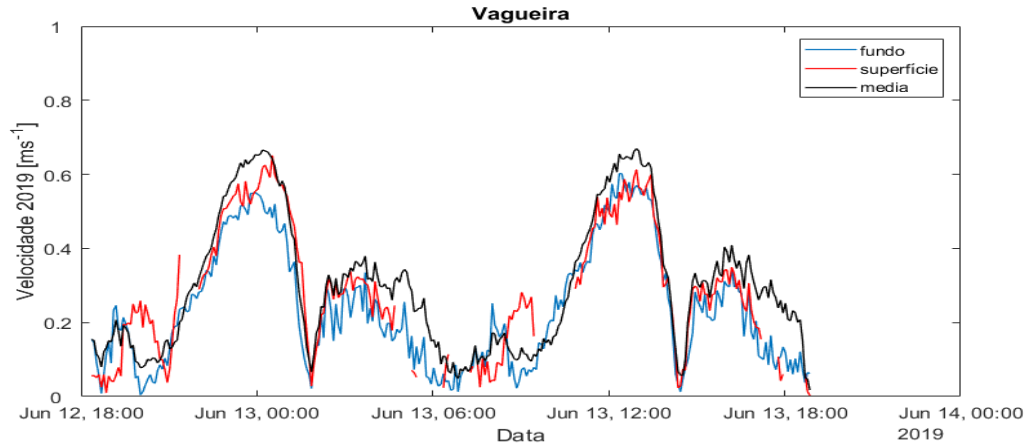
Figura 11 – a) Comparação entre a intensidade da corrente à superfície, fundo e média na coluna de água para o local de medição localizado na Costa Nova; b) Comparação entre as curvas de intensidade para 2019 (a preto) e 1997 (a vermelho) e c) Comparação entre a intensidade da corrente e nível de água local.

E - Local de medição - Vagueira

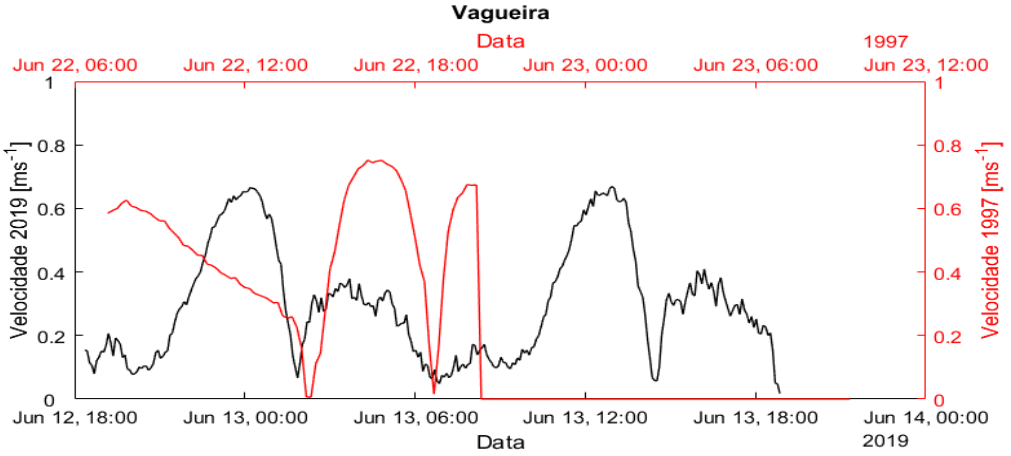
Os resultados para o local de medição da Vagueira (Figura 12) revelam que a intensidade média na coluna de água tem o mesmo padrão e variabilidade que os valores à superfície e junto ao fundo. As diferenças dos valores absolutos são relativamente pequenas, com menores valores junto ao fundo, mas representando um escoamento de maré aproximadamente constante em profundidade. A variabilidade da intensidade da corrente neste local de medição apresenta um período de 6 horas (tal como nos restantes locais de medição).

A amplitude da intensidade média na coluna de água para a monitorização de 2019 é de 0,65 ms^{-1}, o que corresponde à diferença entre os valores máximos e mínimos locais resumidos na Tabela 6. A intensidade média ao longo dos dois ciclos de maré é de 0,30 ± 0,18 ms^{-1}, e a intensidade máxima é de 0,67 ms^{-1}. Estes valores são menores do que nas estações já analisadas localizadas nos restantes canais principais da Ria de Aveiro, traduzindo a menor dinâmica desta zona, em resultado das características geomorfológicas locais e a montante.

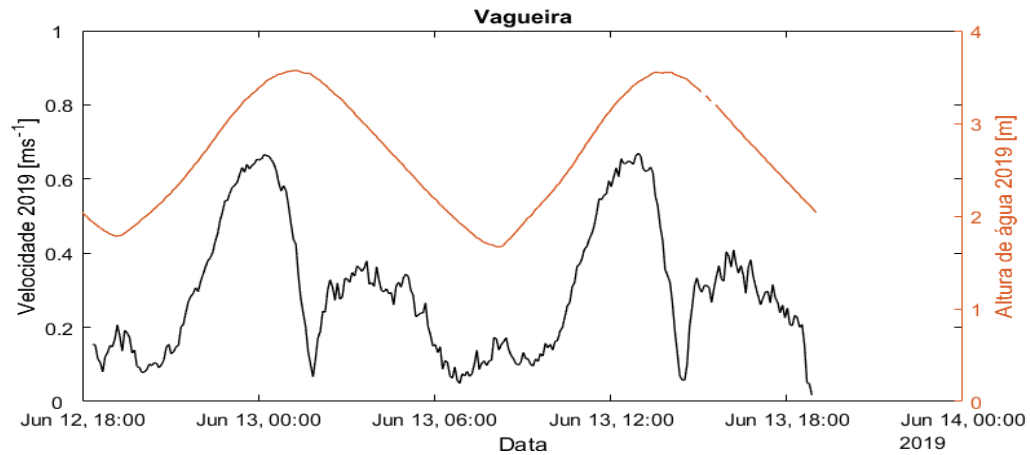
A comparação com os valores de intensidade da corrente medidos na localização mais próxima em 1997 (Dias, 2001), revela que a intensidade da corrente em 2019 é ligeiramente inferior (cerca de 0,10 ms^{-1}), apesar da maior amplitude de maré na data de monitorização. Verifica-se ainda que as correntes de vazante apresentam maior intensidade e menor duração do que as correntes de enchente, o que traduz a assimetria local da maré, com dominância de enchente.



(a)



(b)



(c)

Figura 12 – a) Comparação entre a intensidade da corrente à superfície, fundo e média na coluna de água para o local de medição localizado na Vagueira; b) Comparação entre as curvas de intensidade para 2019 (a preto) e 1997 (a vermelho) e c) Comparação entre a intensidade da corrente e nível de água local.

F - Local de medição - Vista Alegre

Na Figura 13 representam-se os resultados para o local de medição localizado na Vista Alegre. Os valores médios na coluna de água da intensidade da corrente (linha a preto) mostram padrão e variabilidade similares aos valores medidos à superfície (linha a vermelho) e junto ao fundo (linha a azul). O valor médio na coluna de água tem valores muito próximos dos medidos à superfície, exceto no final da monitorização (2º ciclo de maré), onde se verifica uma perturbação nas medições que poderá resultar da célula junto à superfície poder corresponder a uma zona "fora de água", o que pode explicar um decréscimo abrupto dos valores ilustrados na linha a vermelho. Sendo um local com uma baixa profundidade, as intensidades medidas junto ao fundo e à superfície apresentem valores absolutos com diferenças de 0,01 ms^{-1}, o que sugere um padrão de escoamento constante ao longo da coluna de água durante quase todo o período de monitorização, apresentando apenas a perturbação referida anteriormente já no final do ciclo de monitorização. Apesar destas diferenças, e por motivos de coerência metodológica, manteve-se a opção de utilização da curva média na coluna de água nas comparações e análise da intensidade da corrente.

Tal como nos restantes locais de medição, referidos anteriormente, a intensidade da corrente varia com um período de cerca de 6 horas, atingindo valores próximos de zero no estofo de maré, correspondentes às horas de baixa-mar e de preia-mar. A amplitude da intensidade média na coluna de água para a monitorização de 2019 é de 0,61 ms^{-1}, o que corresponde à diferença entre os valores máximos e mínimos locais resumidos na Tabela 6. A intensidade média ao longo dos dois ciclos de maré é de 0,40 ± 0,14 ms^{-1}.

Comparando com os valores de intensidade da corrente medidos na localização mais próxima em 1997 (Dias, 2001), verifica-se que os valores de 2019 são inferiores (cerca de 0,16 ms^{-1}). Esta diminuição não é relacionável com a amplitude de maré, uma vez que houve um aumento de 0,4 m na amplitude de maré em 2019, podendo ser relacionável com fatores locais, como uma diminuição da altura da coluna de água, associada a uma diminuição da profundidade local. Neste local de medição verifica-se ainda que as correntes de enchente são ligeiramente mais intensas e de menor duração do que as correntes de vazante, o que traduz a assimetria local da maré, com dominância ligeira de vazante.

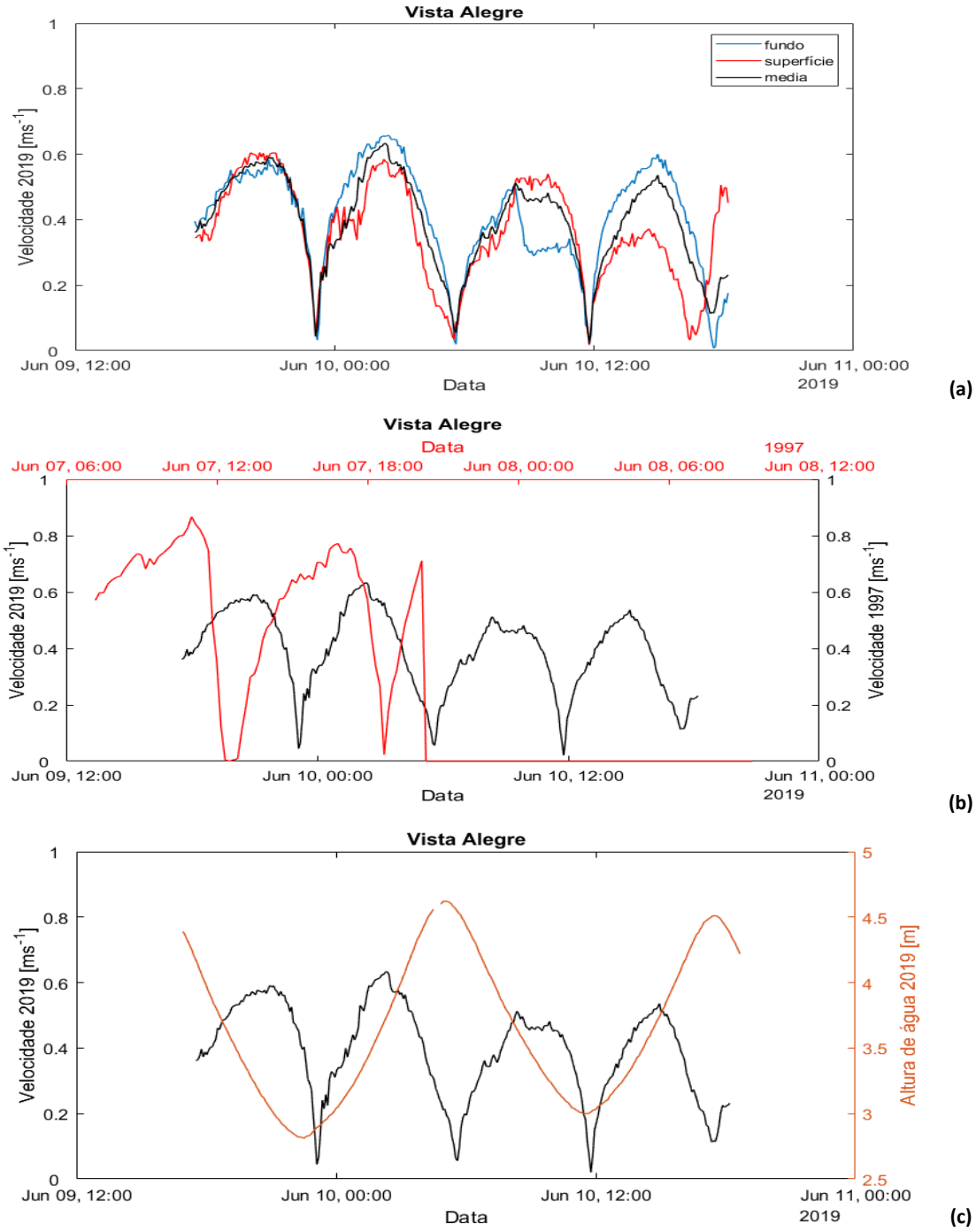
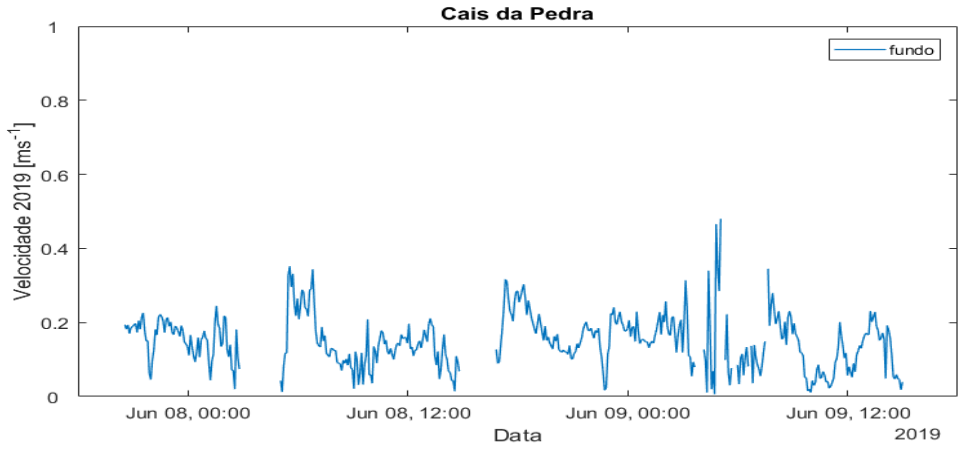


Figura 13 – a) Comparação entre a intensidade da corrente à superfície, fundo e média na coluna de água para o local de medição localizado na Vista Alegre; b) Comparação entre as curvas de intensidade para 2019 (a preto) e 1997 (a vermelho) e c) Comparação entre a intensidade da corrente e nível de água local.

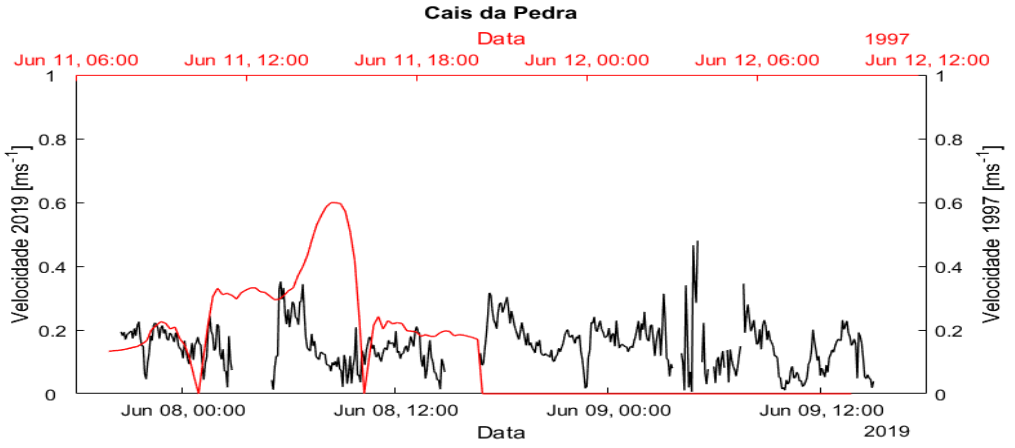
G - Local de medição - Cais da Pedra

Na Figura 14 apresenta-se os resultados para o local de medição localizado no Cais da Pedra. Este local de medição, situa-se numa zona de reduzida profundidade, pelo que se optou por apresentar apenas os resultados de intensidade medidos na célula do fundo, garantindo o adequado funcionamento do ADCP ao longo da totalidade do ciclo de monitorização. A intensidade da corrente apresenta valores muito baixos (na ordem dos 0,2 ms^{-1} ou inferiores) em quase todo o ciclo de monitorização. A intensidade da corrente neste local apresenta uma variabilidade pouco significativa, com uma amplitude máxima de cerca de 0,4 ms^{-1}, em dois períodos muito específicos. Na maior parte do ciclo de monitorização a intensidade máxima é de cerca de 0,2 ms^{-1}. A intensidade média ao longo do período de monitorização foi de 0,15 ± 0,01 ms^{-1}.

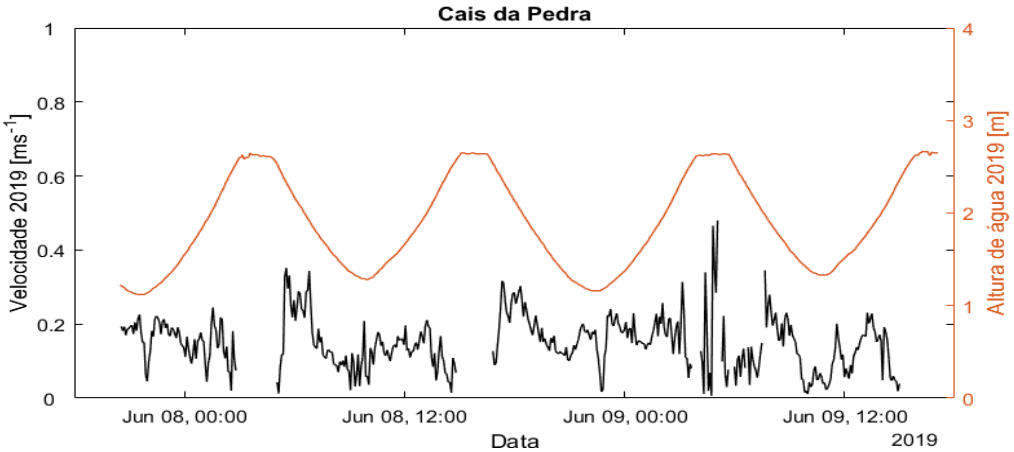
Comparando os valores da intensidade da corrente medidos em 1997 no localização mais próxima (Dias, 2001), verifica-se que os valores de 2019 são inferiores (com uma diferença máxima na ordem de 0,12 ms^{-1}). Esta diminuição nos valores de intensidade da corrente, tal como no local de medição localizado na Vista Alegre, não é relacionável com a amplitude de maré, que aumentou cerca de 0,5 m em 2019, mas pode ser relacionada com variações locais de profundidade, que podem resultar na diminuição da intensidade da corrente. Neste local de medição não se verifica um padrão evidente que diferencie as correntes de enchente das correntes de vazante, pelo que não é possível inferir a existência de assimetria local de maré.



(a)



(b)



(c)

Figura 14 – a) Comparação entre a intensidade da corrente à superfície, fundo e média na coluna de água para o local de medição localizado no Cais da Pedra; b) Comparação entre as curvas de intensidade para 2019 (a preto) e 1997 (a vermelho) e c) Comparação entre a intensidade da corrente e nível de água local.

4.1.3 Razão entre a intensidade máxima e a amplitude de maré

Na Tabela 6 apresentam-se os resultados do quociente entre a intensidade máxima da corrente e a amplitude de maré para cada local de medição e para cada período em análise, numa tentativa de desacoplamento da dependência da intensidade da corrente da amplitude de maré, considerando que as medições em 2019 e em 1997 foram efetuadas em diferentes condições de maré. É expectável que, para o mesmo local, sejam geradas correntes de maior intensidade quando a amplitude de maré é superior. No entanto, não se espera que a razão entre a intensidade máxima e a amplitude de maré seja constante. Os resultados obtidos revelam que de facto foram medidas correntes de maior intensidade nas situações de maior amplitude de maré nas estações do Parrachil, Moranzel, Varela e Costa Nova, mas nas restantes estações verifica-se um padrão inverso, o que torna inconclusiva esta análise. Para o ano de 2019, esta razão varia entre um valor mínimo de 0,31 s^{-1} no local de medição do Cais da Pedra e um máximo de 0,53 s^{-1} para o local de medição da Torreira. Estas localizações apresentam amplitudes de maré de 1,6 e 2,3, respetivamente, sendo que os valores máximos da intensidade média da corrente foram de 0,74 ms^{-1} (Varela).

Comparando os resultados desta razão para os dois períodos, verifica-se que houve um aumento nos locais de medição mais próximos da embocadura (Parrachil, Moranzel e Costa Nova) e uma diminuição nos locais de medição localizados mais a montante, mais perto das cabeceiras dos canais (Varela, Vagueira, Vista Alegre e Cais da Pedra). Saliente-se que em 2019 as medições foram efetuadas em marés de maior amplitude (exceto para o local de medição da Costa Nova), o que pode ser devido ao aumento da amplitude da maré ao longo do tempo na Ria de Aveiro, ou das medições terem sido efetuadas sob diferentes condições de maré. No entanto, uma maior amplitude local de maré não implica um maior gradiente da inclinação da superfície livre da água, e consequentemente não implica maior intensidade da corrente em todas as estações. Assim, o cálculo desta razão apresenta valores que não são totalmente comparáveis, uma vez que as correntes de máxima intensidade são dependentes do padrão geral de propagação da maré, assim como altamente influenciadas pela geomorfologia local.

Esta razão será usada para obter a diferenças entre os cenários pré-dragagens (2019) e o cenário pós-dragagens previsto para junho de 2021. Nessa altura, as medições serão feitas em marés de amplitude idêntica à de 2019, esperando-se que seja mais conclusiva a comparação direta entre o cenário pós-dragagem e o atual, considerado de referência.

4.1.4 Desfasamento entre a intensidade da corrente e a altura de água

Na Tabela 7 apresenta-se o cálculo do desfasamento entre a intensidade e a altura de água medida em cada local de medição, e para cada período, estando resumidas as diferenças (em horas) entre o nível máximo de elevação da superfície livre da água (preia-mar) e o máximo da intensidade da corrente consecutivo, para as estações em análise neste estudo. O desfasamento temporal entre máximos de elevação da água e intensidade da corrente, calculado para a monitorização de 2019, revela valores entre 2h para a Costa Nova (perto da embocadura da Ria) e 6h15 para o local de medição do Cais da Pedra, localizado no extremo sul do Canal de Ílhavo. Os locais de medição da área central e norte da Ria apresentam valores de desfasamento entre as 2h45 para o local de medição da Varela e as 4h15 para o local de medição do Moranzel. Os locais de medição situados no Canal de Mira apresentam valores de desfasamento entre o nível máximo de água e a intensidade máxima da corrente de 2h e 2h15 para a Costa Nova e Vagueira, respetivamente. As estações situadas no Canal de Ílhavo apresentam valores de desfasamento entre as 5h e as 6h15, para a Vista Alegre e Cais da Pedra, respetivamente.

Os resultados obtidos para os locais de medição de 1997, mostram um desfasamento entre o máximo da altura de água e da intensidade da corrente entre 1h15 na Costa Nova e 4h30 no Cais da Pedra, no limite sul do Canal de Ílhavo. As locais de medição na área central e norte da Ria de Aveiro revelam valores de desfasamento entre as 2h40, na Varela, e 3h20 no Moranzel. As estações situadas no Canal de Mira apresentam valores de desfasamento entre o nível máximo da altura de água e da intensidade da corrente de 1h15 e 1h45 na Costa Nova e Vagueira, respetivamente. Os locais de medição situados no Canal de Ílhavo apresentam valores de desfasamento entre 2h30 e 4h30 na Vista Alegre e Cais da Pedra, respetivamente.

A comparação entre os desfasamentos obtidos em 2019 e em 1997, revela que este aumentou ao longo do tempo em todas as estações em análise, com exceção do Parrachil. Os aumentos variaram entre um mínimo de 20 minutos na Varela e um máximo de 2h30 na Vista Alegre.

Os desfasamentos temporais obtidos dependem das condições de maré, pelo que os valores obtidos visam essencialmente definir de uma forma completa o cenário de referência pré-dragagens. Estes resultados serão comparados com os dados a obter no cenário pós-dragagem, em que as amostragens serão realizadas em marés com amplitude semelhante à ocorrida em 2019.

Tabela 7 – Desfasamento temporal entre os valores locais da intensidade da corrente e do nível de água em cada local de medição, calculado entre a máxima altura de água e máxima intensidade da corrente consecutivas.

Ano	Varela	Moranzel	Parrachil	Costa Nova	Vagueira	Vista Alegre	Cais da Pedra
1997	2h40	3h20	3h	1h15	1h45	2h30	4h30
2019	3h	4h15	2h45	2h	2h15	5h	6h15

4.2 Análise dos resultados obtidos para os níveis de maré

O principal objetivo desta monitorização é caracterizar os níveis de maré em 9 locais (Carregal; Puxadouro; Torreira; Cais do Bico; Rio Novo; Vagueira; Areão; Vista Alegre; Cais da Pedra), através da análise de dados maregráficos recolhidos entre junho e julho de 2019. Adicionalmente, pretende-se, para os mesmos locais, comparar os resultados obtidos com resultados de campanhas anteriores, nomeadamente medição de níveis de maré pelo Instituto Hidrográfico (IH 1987/88), pela Universidade de Aveiro (UA 2002/04) e pela Administração do Porto de Aveiro (APA, 2012/17).

Os períodos amostrados nas várias campanhas estão resumidos na Tabela 8. Os levantamentos IH 1987/88 e UA 2002/04 foram efetuados com uma periodicidade de 1 hora, enquanto os levantamentos APA 2012/17 e os realizados na fase de pré-construção – junho a julho de 2019 (Monitar 2019) foram efetuados com periodicidades de 20 e 5 minutos, respetivamente. Importa salientar que os dados referentes ao local de medição Cais do Bico 2012/17, foram adquiridos no Cais do Chegado que dista cerca de 700 m do Cais do Bico.

Tabela 8 – Períodos de amostragem dos levantamentos de maré analisados.

LOCAL DE MEDIÇÃO	PERÍODOS DE AMOSTRAGEM DOS LEVANTAMENTOS DE MARÉ			
	IH 1987/88	UA 2002/04	APA 2012/17	MONITAR 2019
Carregal	08/10/1987 13/11/1987	27/08/2002 18/10/2002	- -	01/06/2019 31/07/2019
Puxadouro	14/10/1987 25/11/1987	26/08/2002 18/10/2002	- -	01/06/2019 31/07/2019
Torreira	23/06/1987 04/08/1987	09/01/2004 09/04/2004	- -	01/06/2019 31/07/2019
Cais do Bico	26/08/1987 10/12/1987	12/06/2003 14/07/2003	15/04/2012 31/03/2017	01/06/2019 31/07/2019
Rio Novo	01/02/1988 14/04/1988	08/03/2003 09/04/2003	01/04/2012 31/03/2017	01/06/2019 31/07/2019
Vagueira	28/04/1987 10/06/1987	21/11/2002 20/02/2003	01/04/2012 31/03/2017	01/06/2019 31/07/2019
Areão	29/04/1987 09/06/1987	22/11/2002 29/12/2002	- -	01/06/2019 31/07/2019
Vista Alegre	29/06/1988 08/11/1988	09/09/2003 09/12/2003	01/04/2012 31/03/2017	01/06/2019 31/07/2019
Cais da Pedra	28/09/1987 10/11/1988	10/09/2003 10/10/2003	- -	01/06/2019 31/07/2019

4.2.1 Variações de nível na campanha da fase de pré-construção - junho e julho de 2019

Da Figura 15 à Figura 21 são apresentados os registos maregráficos nos 9 locais de medição para os meses de junho e julho de 2019 (fase de pré-construção).

Verifica-se que durante o período de monitorização ocorreram em todos os locais de medição falhas nos registos de dados medidos relativamente curtas (< 1 dia) e outras longas (> 1 dia). As interrupções de longa duração estão descritas na Tabela 9. Em junho destaca-se a ausência de dados durante 6 e 5 dias consecutivos no Areão e Cais do Bico, respetivamente. Ainda em junho, nos locais de medição do Cais da Pedra, Vagueira e Vista Alegre apresentam interrupções de 2 dias consecutivos (entre os dias 9 e 11). Quanto aos registos maregráficos do mês de julho, estes não apresentam falhas superiores a 1 dia.

Tabela 9 – Períodos (dias) de interrupção na amostragem de dados maregráficos.

Local de Medição	Junho	Julho
Carregal	-	-
Puxadouro	-	-
Torreira	-	-
Cais do Bico	02 - 07	-
Rio Novo	-	-
Vagueira	09 - 11	-
Areão	05 - 11	-
Cais da Pedra	09 - 11	-
Vista Alegre	09 - 11	-

Os registos maregráficos mostram que, no geral, as variações da superfície livre do mar são idênticas em ambos os meses. De facto, na totalidade dos locais é notório que a maré apresenta características semidiurnas, verificando-se a ocorrência diária de 2 Preia-mares e 2 Baixa-mares. Destaca-se ainda uma ligeira desigualdade diurna e um marcado ciclo quinzenal, correspondente à periodicidade marés vivas / marés mortas. Nos locais de medição do Puxadouro, Cais da Pedra e Areão, os níveis de Baixa-Mar são praticamente constantes durante todo o período analisado, sendo o ciclo quinzenal evidente nos níveis de Preia-Mar.

As elevações do mês de junho evidenciam a ocorrência de um padrão anómalo do nível do mar a 6 de junho em todos os locais de medição com registo e no dia 18 de junho nos locais de medição do Carregal, Puxadouro, Torreira, Cais do Bico e Rio Novo. Nestas datas as séries temporais de elevação da superfície livre do mar evidenciam níveis de Preia-Mar e Baixa-Mar anormalmente elevados. Como se mostra na Tabela 10, a situação anómala do dia 6 de junho originou os máximos absolutos do mês de junho, em todos os locais com registo. Em julho não se detetaram padrões anómalos, tendo os máximos absolutos sido registados em todos os locais de medição na Preia-Mar do dia 4, à exceção do local de medição do Cais da Pedra em que foi registado na Preia-Mar do dia 5. Relativamente aos níveis mínimos absolutos, verifica-se que estes ocorrem em dias diferentes não coincidentes com a Baixa-Mar de marés vivas.

Tabela 10 – Níveis (m) máximos, mínimos e médios mensais com indicação do dia de ocorrência.

Estação	Junho				Julho			
	Nível Máx.	Dia/ Hora	Nível Min.	Dia/ Hora	Nível Máx.	Dia/ Hora	Nível Min.	Dia/ Hora
Carregal	3,79	06/ 20:30	0,94	12/ 07:50	3,77	04/ 19:40	0,93	12/ 05:50
Puxadouro	3,56	06/ 20:40	1,84	12/ 09:25	3,51	04/ 19:50	1,82	10/ 20:25
Torreira	3,42	06/ 19:30	0,80	12/ 07:05	3,42	04/ 18:35	0,82	30/ 22:25
Cais do Bico	3,41	18/ 18:15	0,67	16/ 10:25	3,49	04/ 18:45	0,61	30/ 22:00
Rio Novo	3,60	06/ 19:30	0,79	16/ 09:55	3,62	04/ 18:30	0,66	31/ 22:10
Vagueira	3,98	06/ 18:45	1,59	15/ 10:00	4,01	04/ 18:05	1,59	31/ 10:35
Areão	3,47	04/ 18:25	1,66	30/ 12:40	3,62	04/ 19:00	1,51	29/ 10:25
Cais da Pedra	3,44	06/ 20:10	1,25	12/ 07:35	3,42	04/ 19:15	1,33	30/ 10:05
Vista Alegre	3,40	06/ 21:00	1,63	16/ 11:55	3,37	05/ 20:55	1,68	08/ 16:45

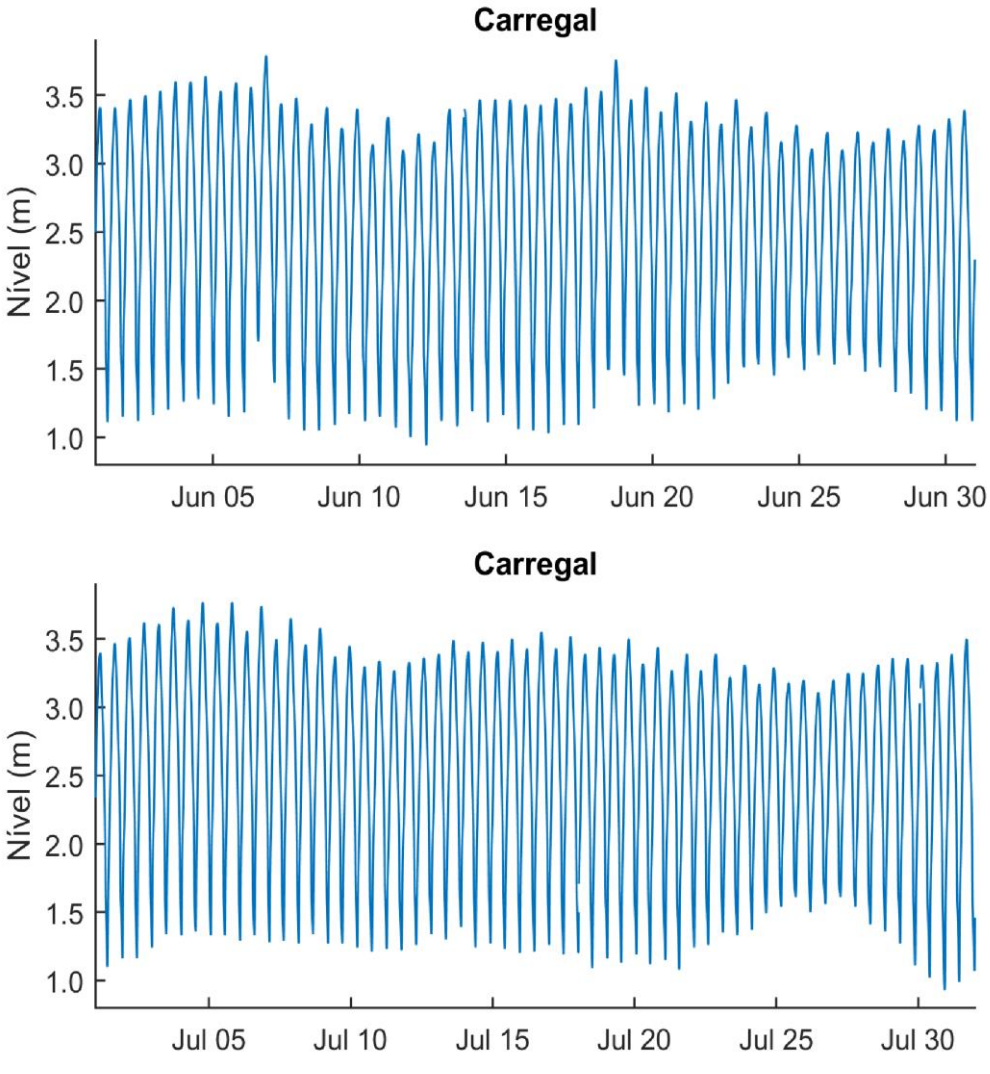


Figura 15 – Registo de elevação da superfície livre da água para o local de medição localizado no Carregal nos meses de: a) junho; b) julho de 2019.

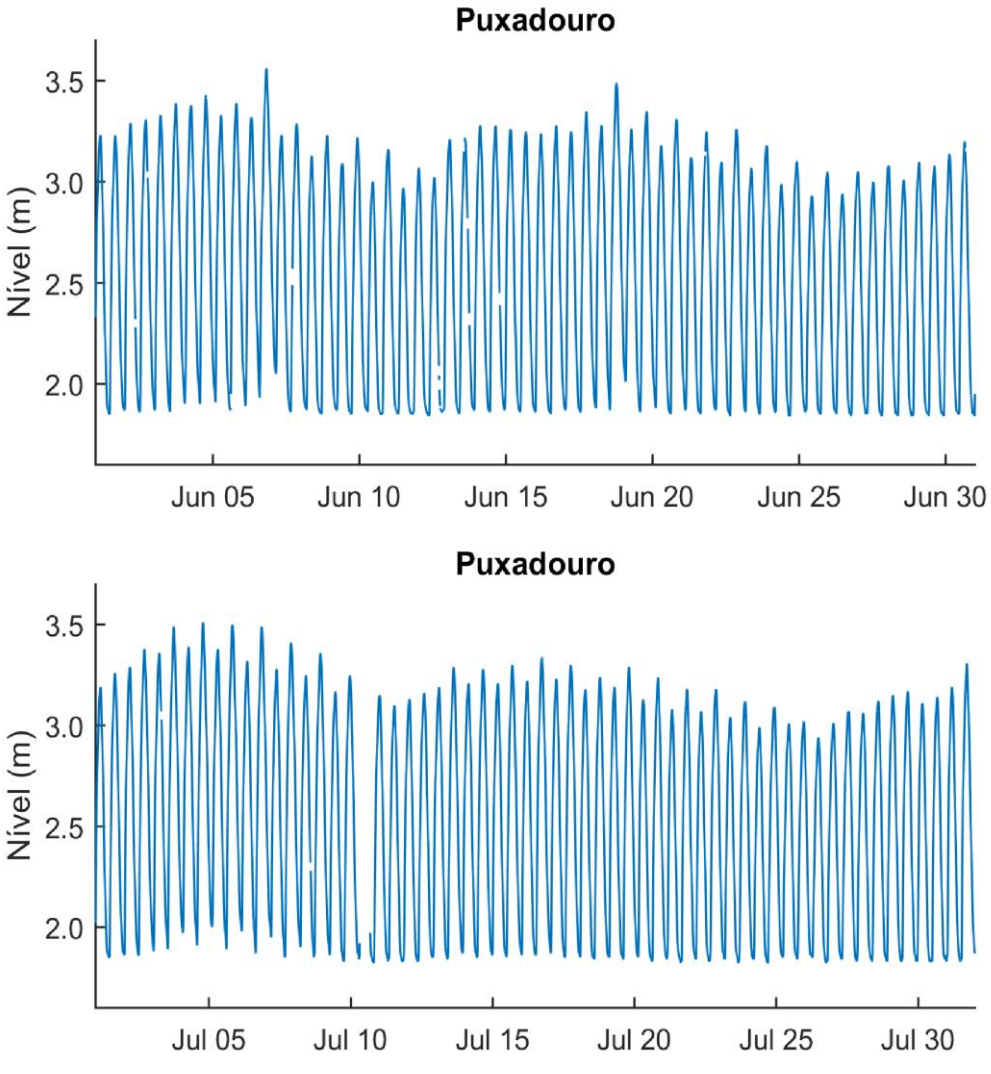


Figura 16 – Registo de elevação da superfície livre da água para o local de medição localizado no Puxadouro nos meses de: a) junho; b) julho de 2019.

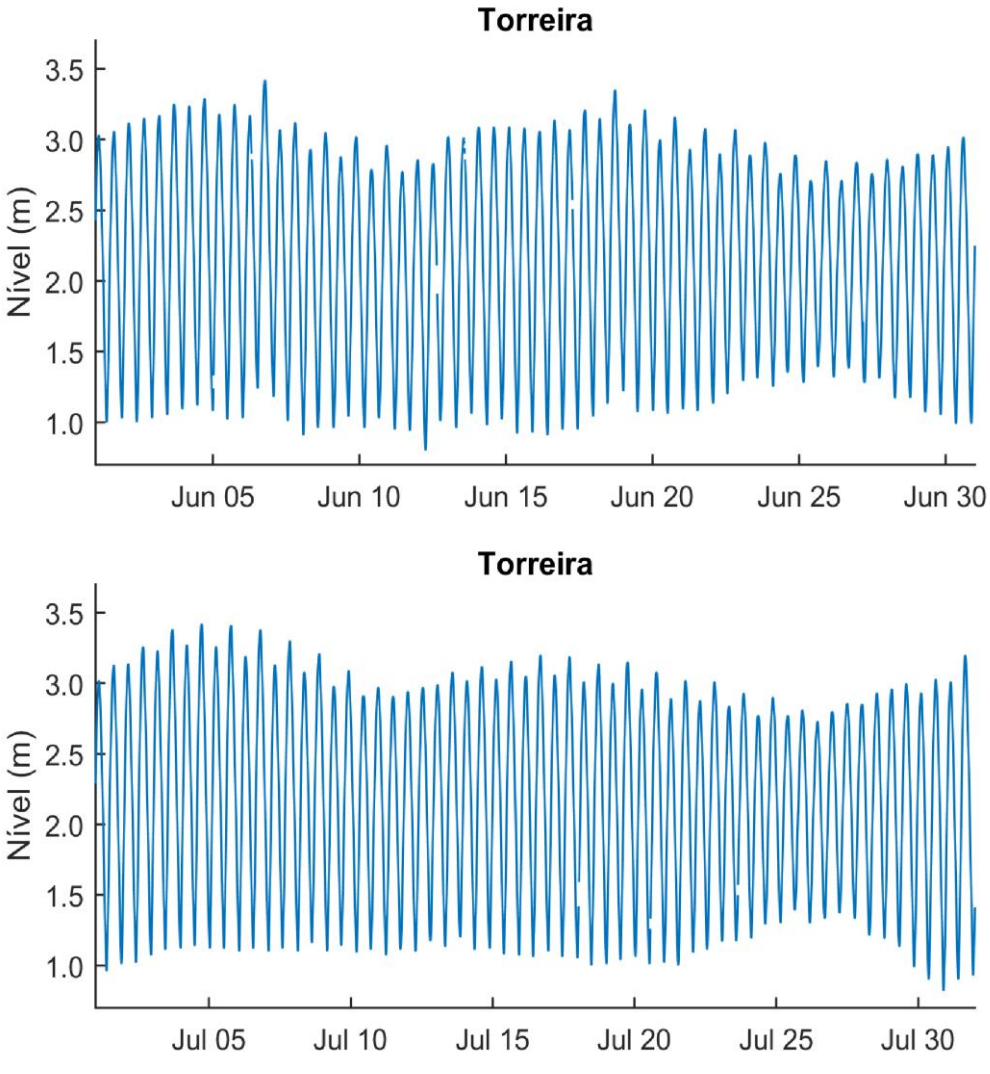


Figura 17 – Registo de elevação da superfície livre da água para o local de medição localizado na Torreira nos meses de: a) junho; b) julho de 2019.

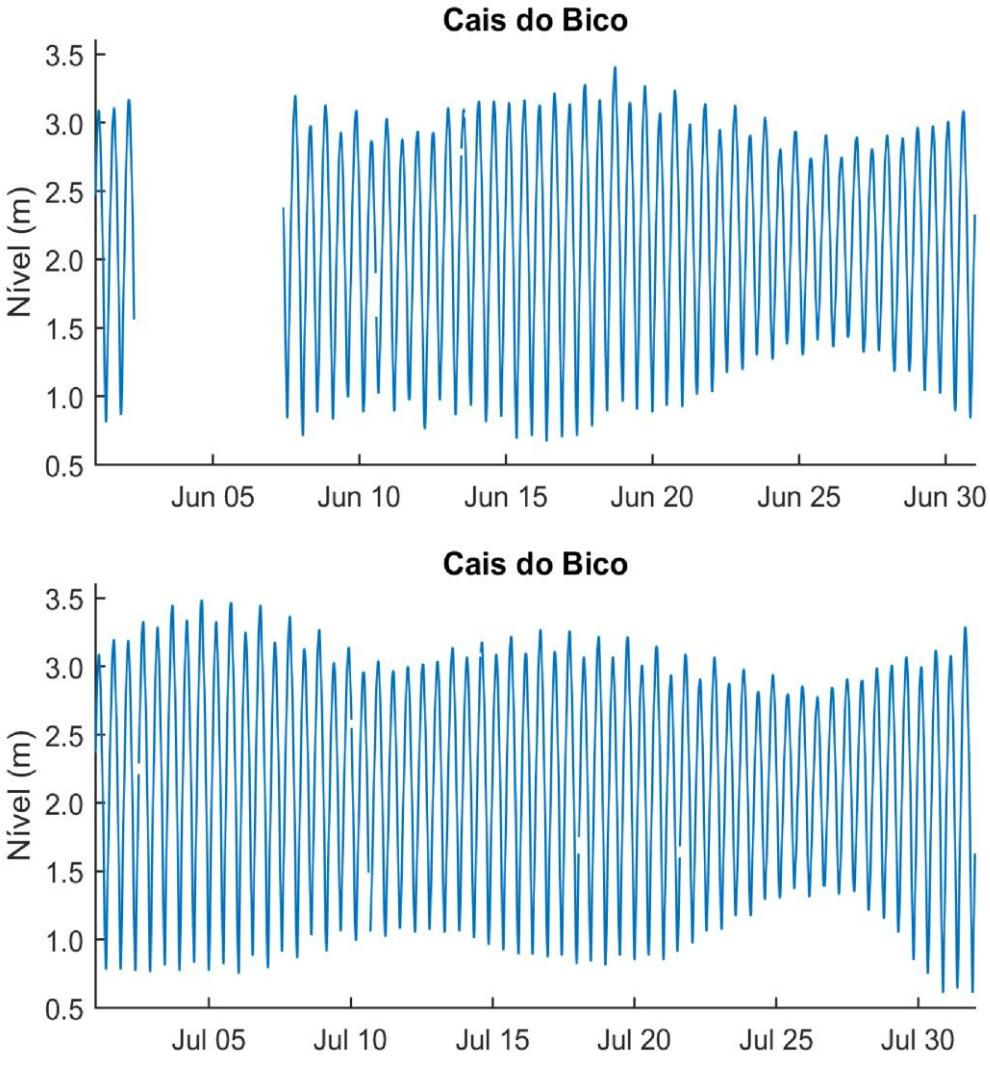


Figura 18 – Registo de elevação da superfície livre da água para o local de medição localizado no Cais do Bico nos meses de: a) junho; b) julho de 2019.

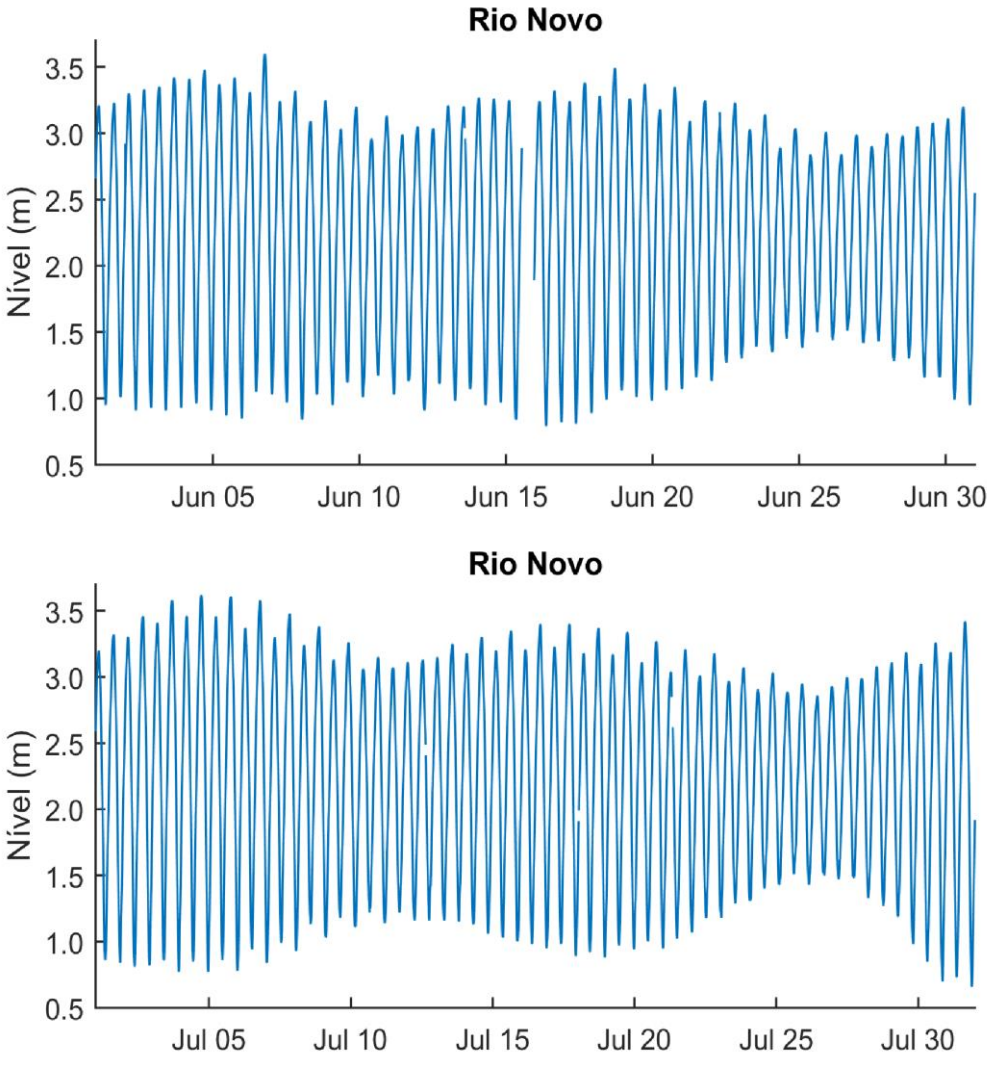


Figura 19 – Registo de elevação da superfície livre da água para o local de medição localizado no Rio Novo nos meses de: a) junho; b) julho de 2019.

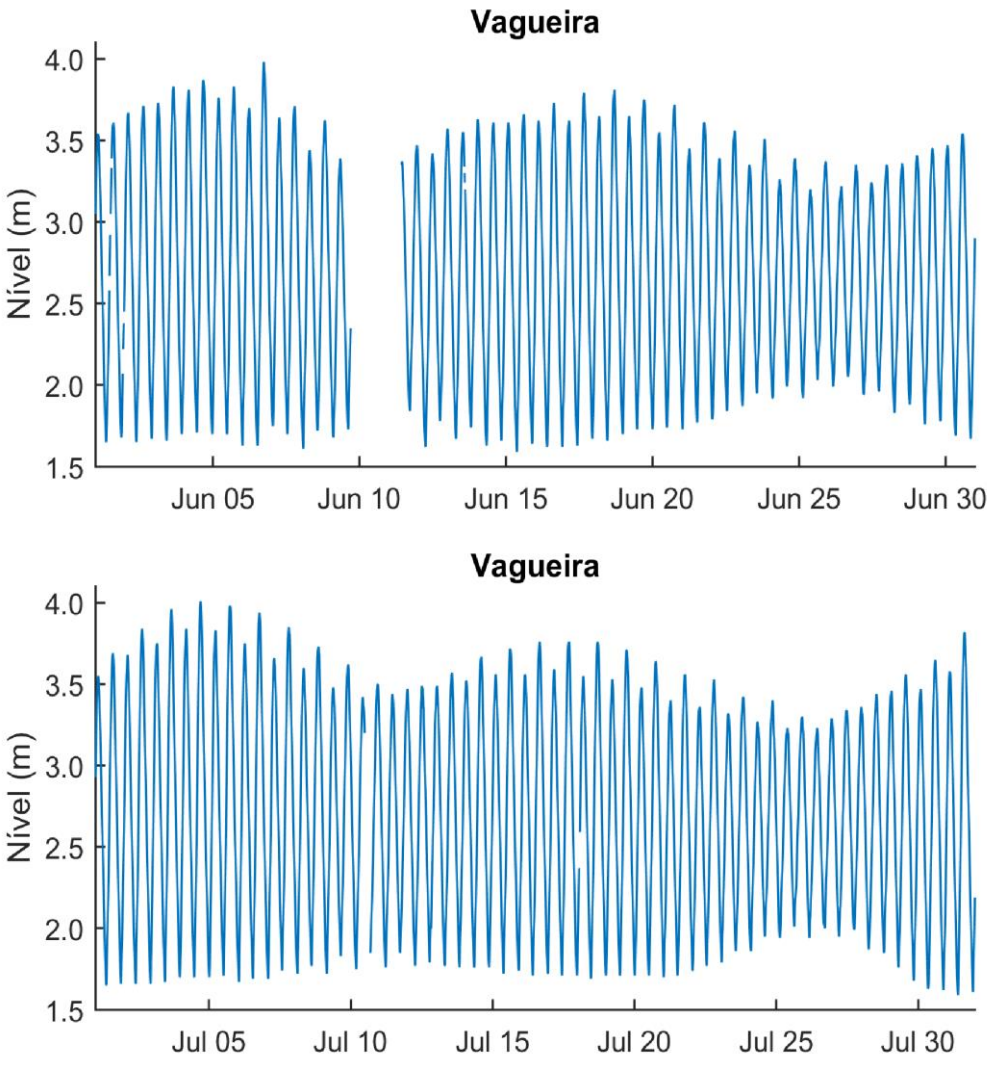


Figura 20 – Registo de elevação da superfície livre da água para o local de medição da Vagueira nos meses de: a) junho; b) julho de 2019.

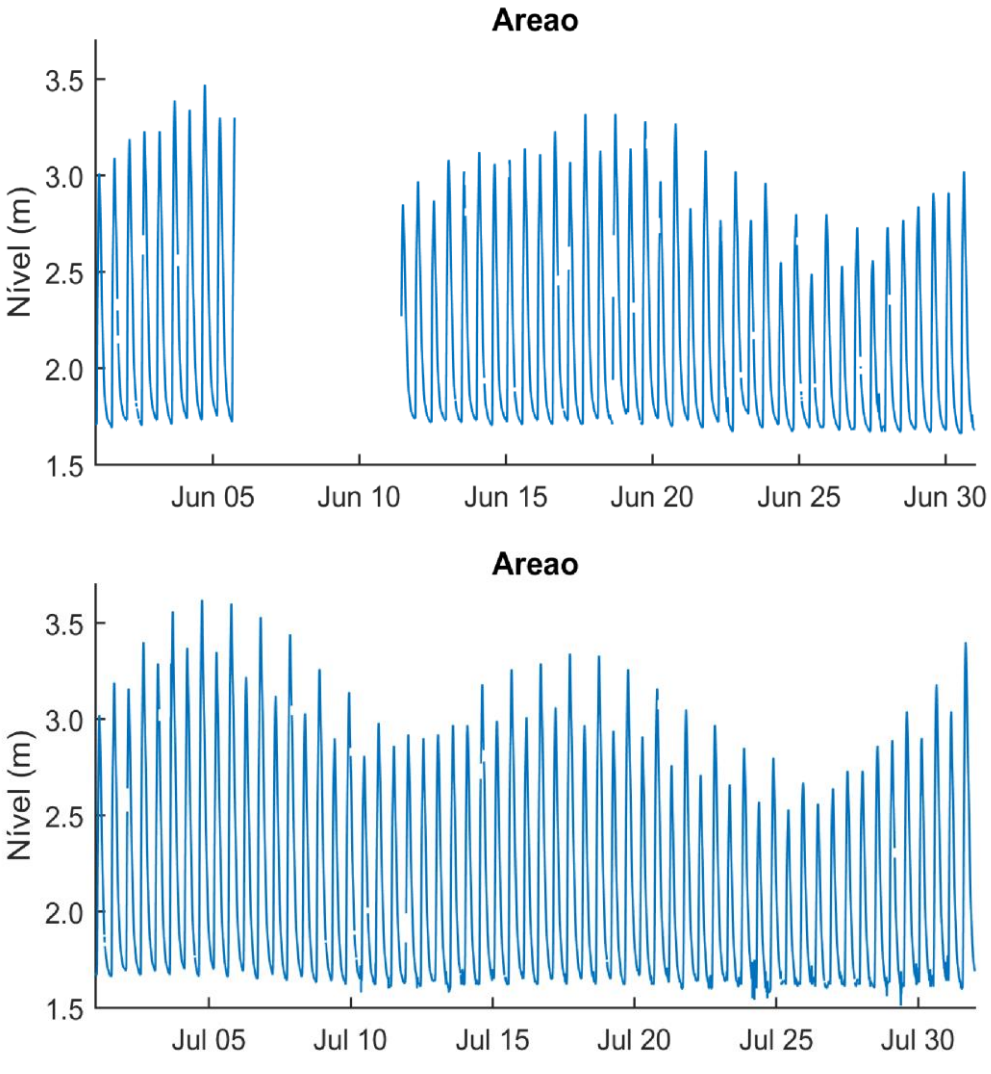


Figura 21 – Registo de elevação da superfície livre da água para o local de medição do Areão nos meses de: a) junho; b) julho de 2019.

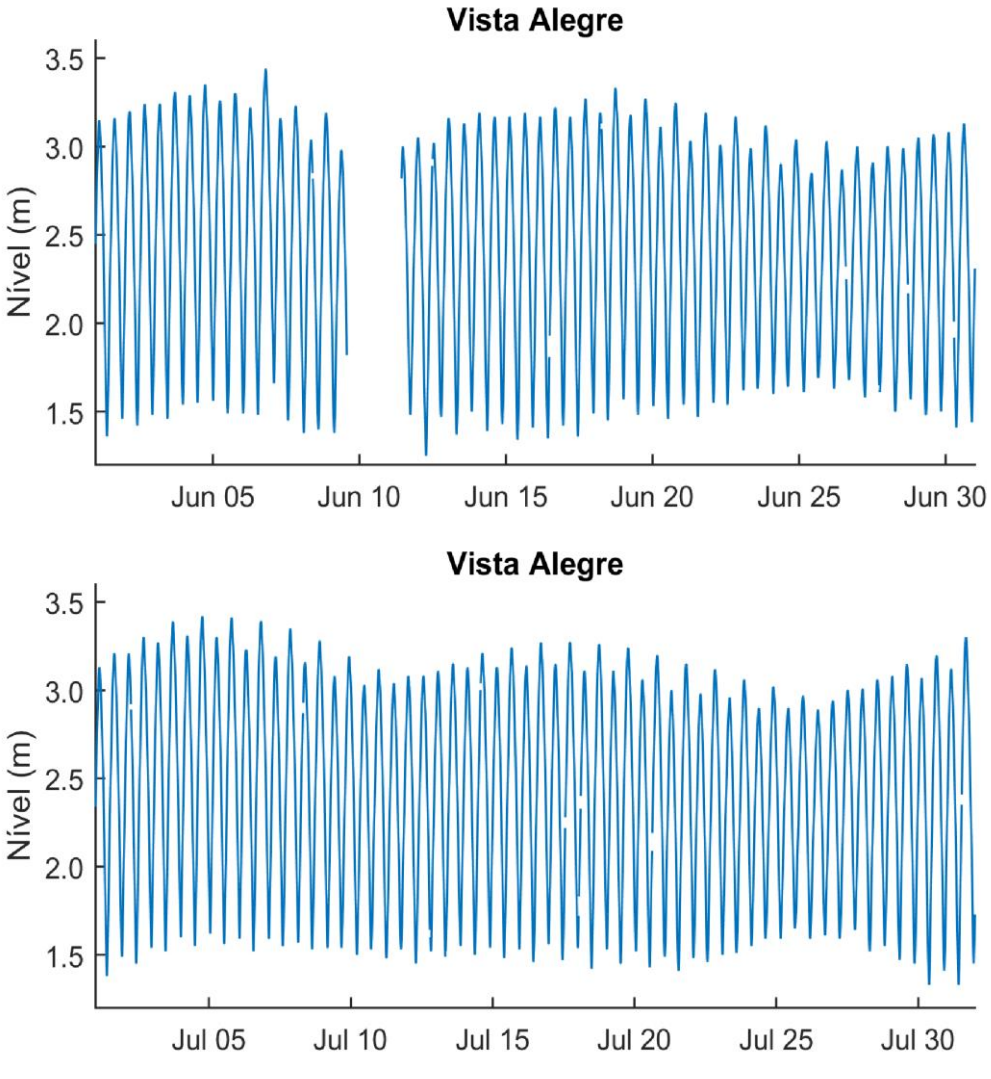


Figura 22 – Registo de elevação da superfície livre da água para o local de medição localizado na Vista Alegre nos meses de: a) junho; b) julho de 2019.

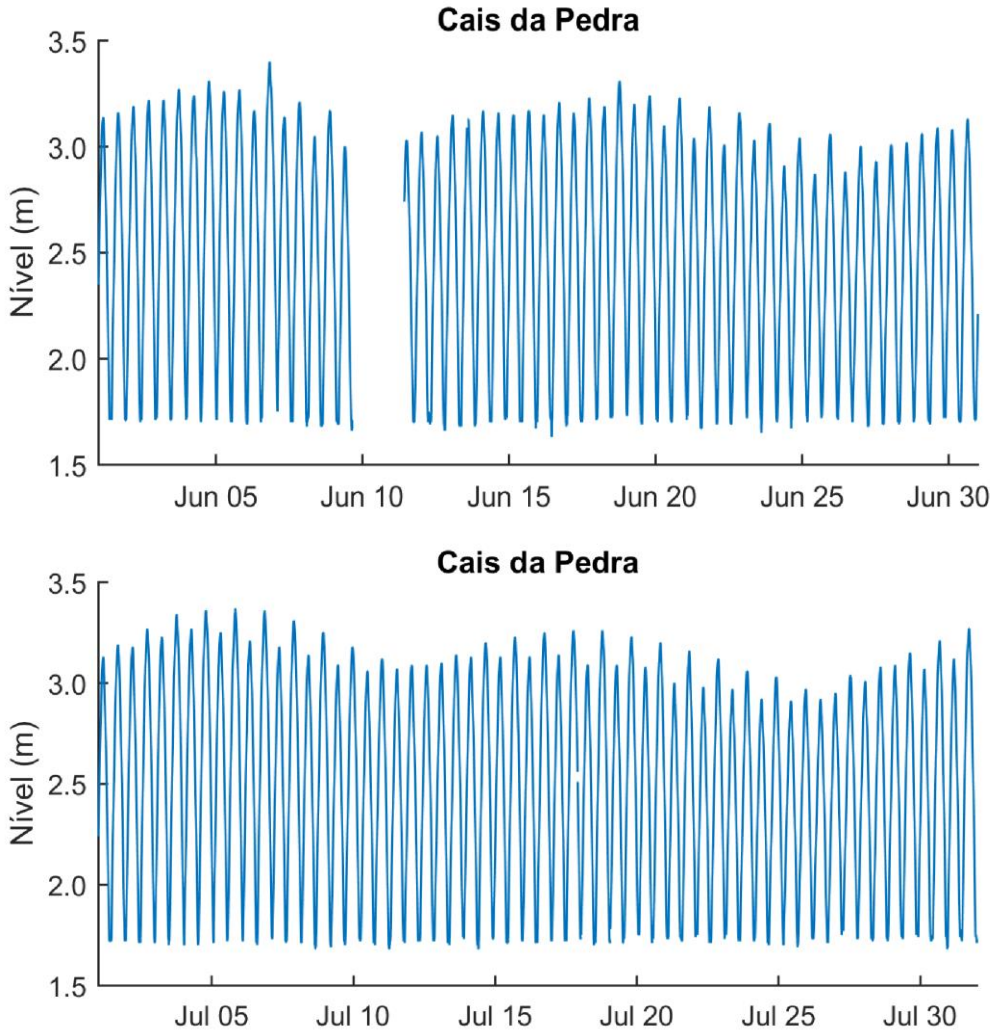


Figura 23 – Registo de elevação da superfície livre da água para o local de medição localizado no Cais da Pedra nos meses de: a) junho; b) julho de 2019.

4.2.2 Maré meteorológica

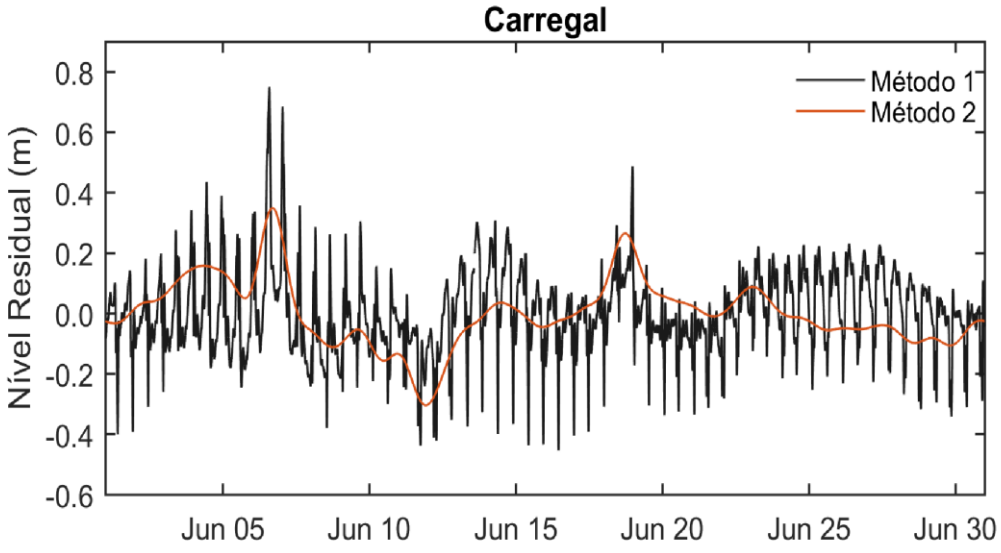
Da Figura 24 à Figura 30 ilustram-se as séries temporais de níveis residuais nos 9 locais de medição calculados pelos 2 métodos avaliados. Verifica-se que os dois métodos descrevem padrões similares, no entanto as curvas obtidas pelo método 1 apresentam maior nível de ruído (irregularidades). É notório que os níveis residuais estimados pelo método 1 tendem a ser superiores aos obtidos pelo método 2. Ambos os métodos detetaram picos positivos de níveis máximos residuais nos dias 6 e 18 de junho, que poderão estar associados a sobre-elevações de origem meteorológica. Para o mês de julho os níveis residuais oscilam em torno do 0 não se identificando situações anómalas. Os mapas sinóticos dos dias 6 e 18 de junho (Figura 33) confirmam que se verificaram condições favoráveis à ocorrência de sobre-elevações de origem meteorológica, já que se posicionava um centro de baixas pressões a Noroeste da costa Portuguesa. As condições meteorológicas do dia 6 de junho foram particularmente adversas, nomeadamente com fortes rajadas de vento. Assim, conclui-se que os picos de níveis residuais dos dias 6 e 18 de junho correspondem a sobre-elevações de origem meteorológica.

Na Tabela 11 apresentam-se os níveis de sobre-elevação de origem meteorológica calculados por ambos os métodos para estes dois eventos. Os resultados mostram a assinatura da tempestade do dia 6 de junho em todas as estações que estiveram operacionais, estimando-se sobre-elevações que variam entre 0,20 e 0,75 m pelo método 1 e 0,20 e 0,35 m pelo método 2. Já o evento de 18 de junho originou sobre-elevações apenas nos locais de medição de Carregal, Puxadouro, Torreira, Cais do Bico e Rio Novo. No geral, as sobre-elevações obtidas para o dia 18 junho são inferiores às obtidas para o dia 6 junho. É interessante notar nos dois eventos que as sobre-elevações de origem meteorológica obtidas para a Torreira são inferiores às obtidas para o Carregal e Puxadouro, evidenciando que existe uma amplificação das sobre-elevações à medida que estas se propagam para montante ao longo do canal de S. Jacinto.

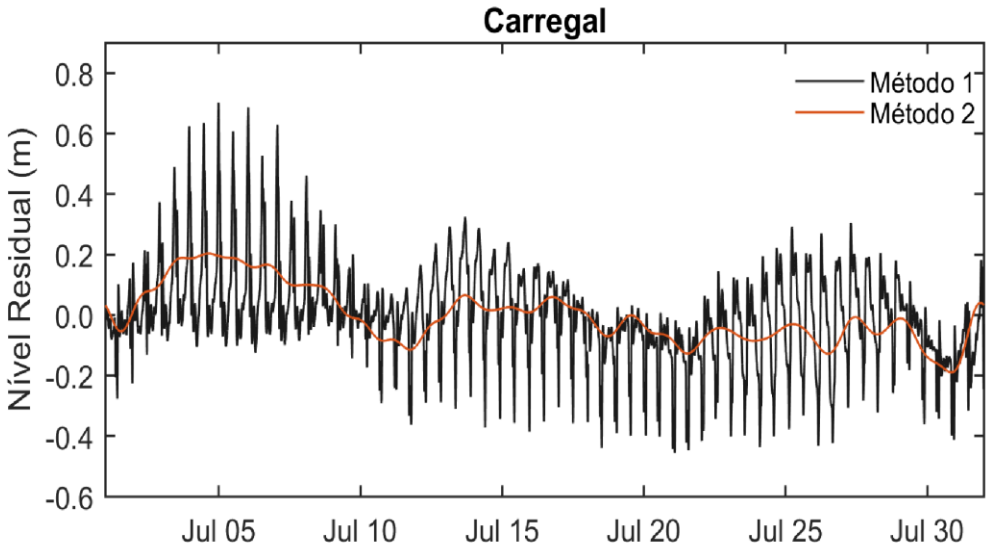
Tabela 11 – Níveis (m) máximos de sobre-elevações de origem meteorológica.

Local de medição	6 de Junho		18 de julho	
	Método 1	Método 2	Método 1	Método 2
Carregal	0,75	0,35	0,48	0,27
Puxadouro	0,62	0,31	0,22	0,22
Torreira	0,48	0,26	0,21	0,20
Cais do Bico	Falhas	Falhas	0,28	0,17
Rio Novo	0,40	0,23	0,22	0,14
Vagueira	0,20	0,13	Não Detetado	Não Detetado

Local de medição	6 de Junho		18 de Julho	
	Método 1	Método 2	Método 1	Método 2
Areão	Falhas	Falhas	Não Detetado	Não Detetado
Vista Alegre	0,41	0,20	Não Detetado	Não Detetado
Cais da Pedra	0,40	0,21	Não Detetado	Não Detetado

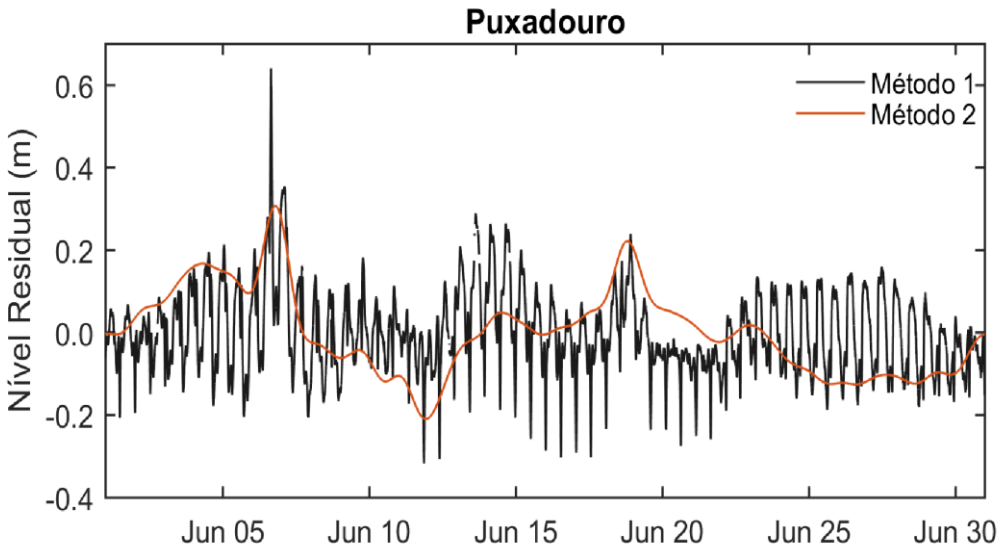


(a)

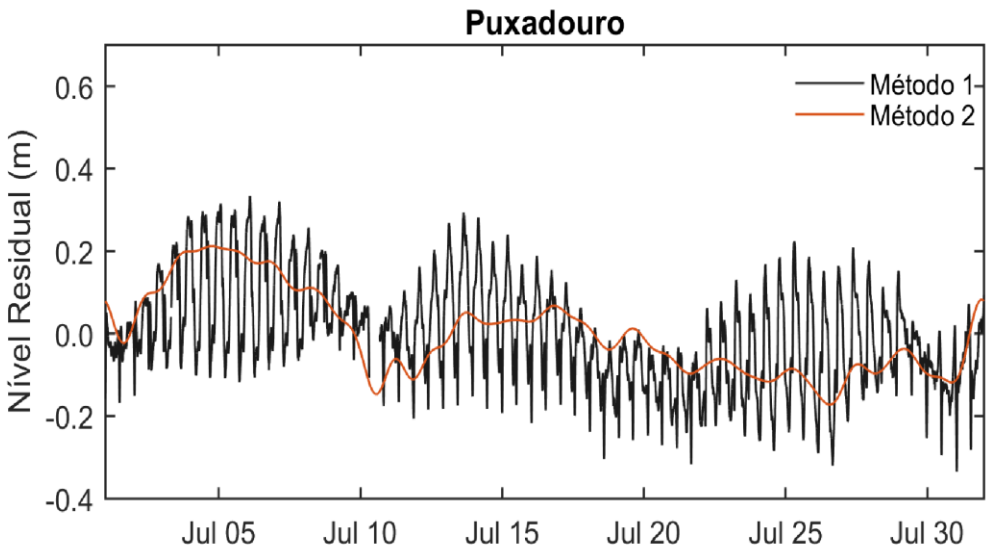


(b)

Figura 24 – Níveis residuais de maré para o local de medição localizado no Carregal nos meses de: a) junho; b) julho de 2019.



(a)



(b)

Figura 25 – Níveis residuais de maré para o local de medição localizado no Puxadouro nos meses de: a) junho; b) julho de 2019.

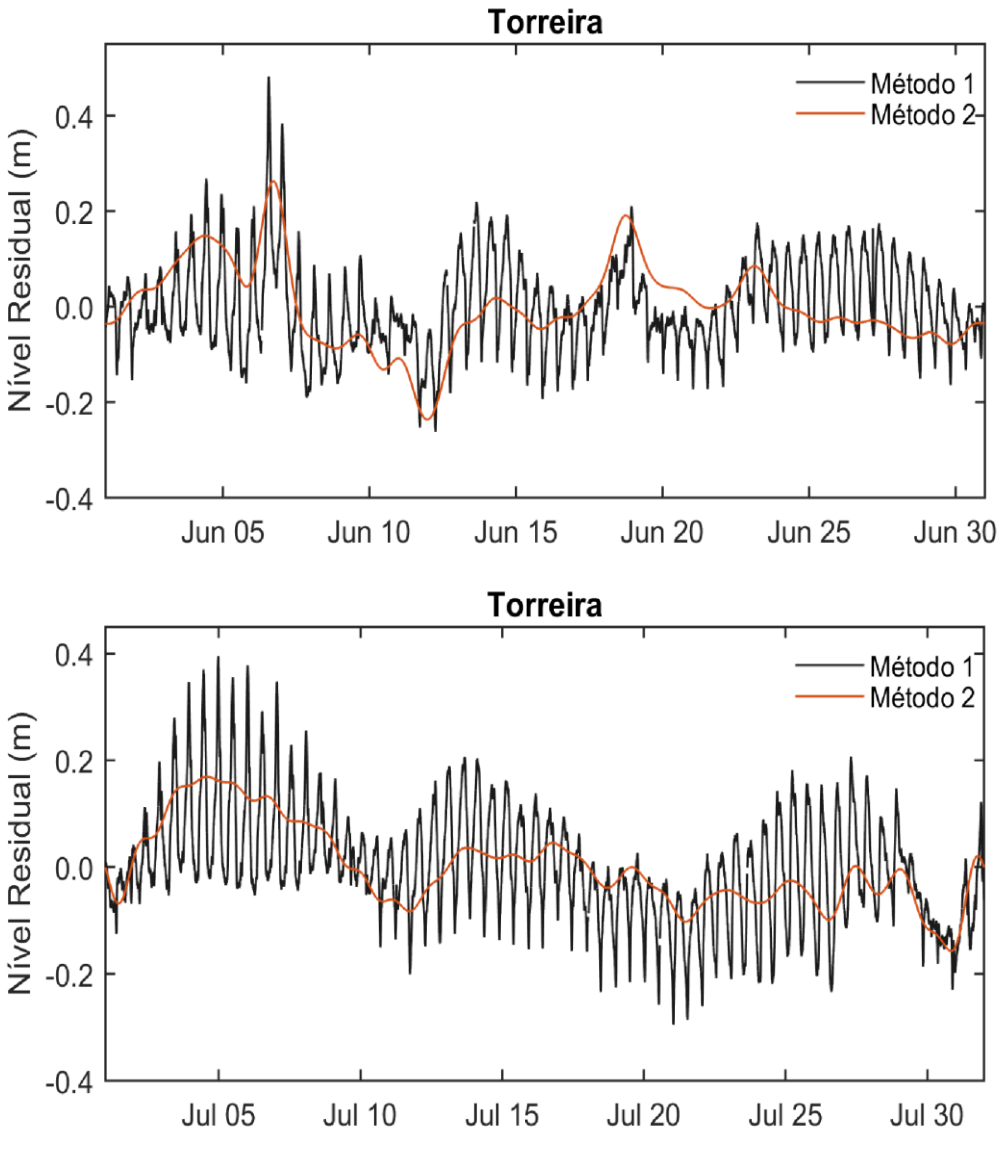
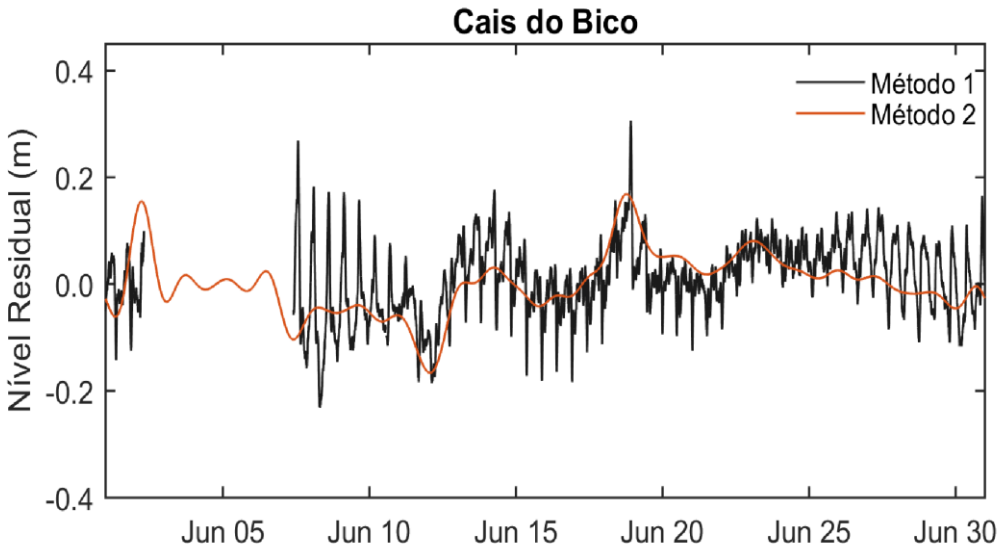
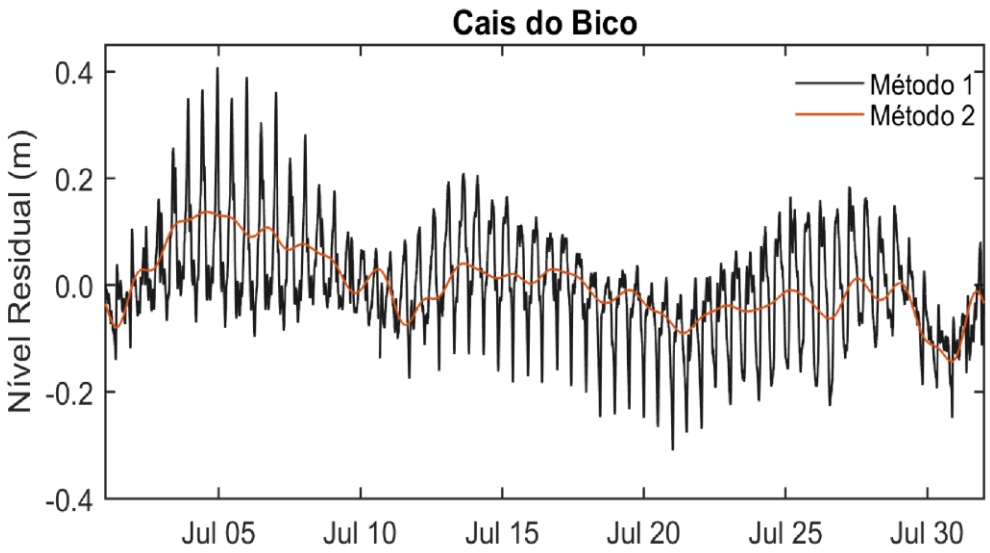


Figura 26 – Níveis residuais de maré para o local de medição localizado na Torreira nos meses de: a) junho; b) julho de 2019.

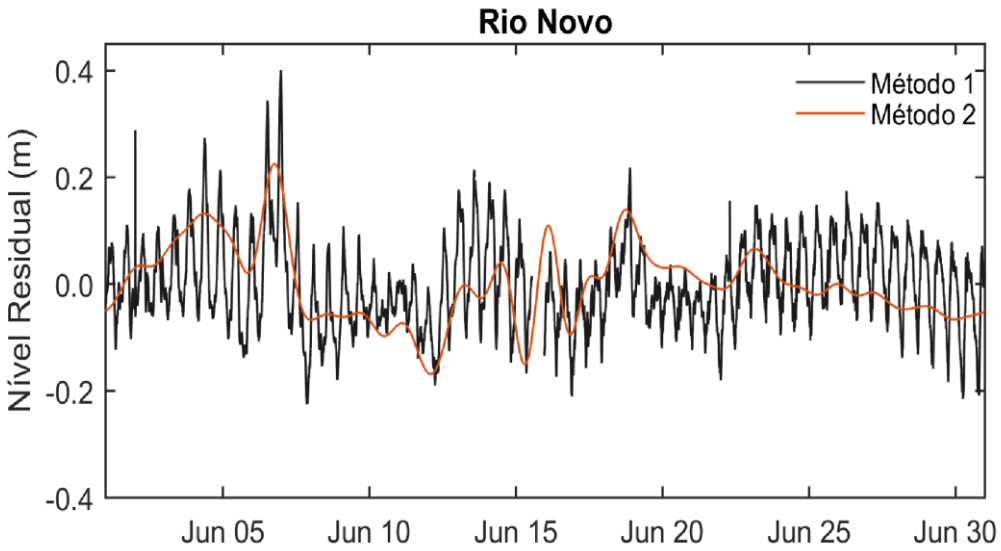


(a)

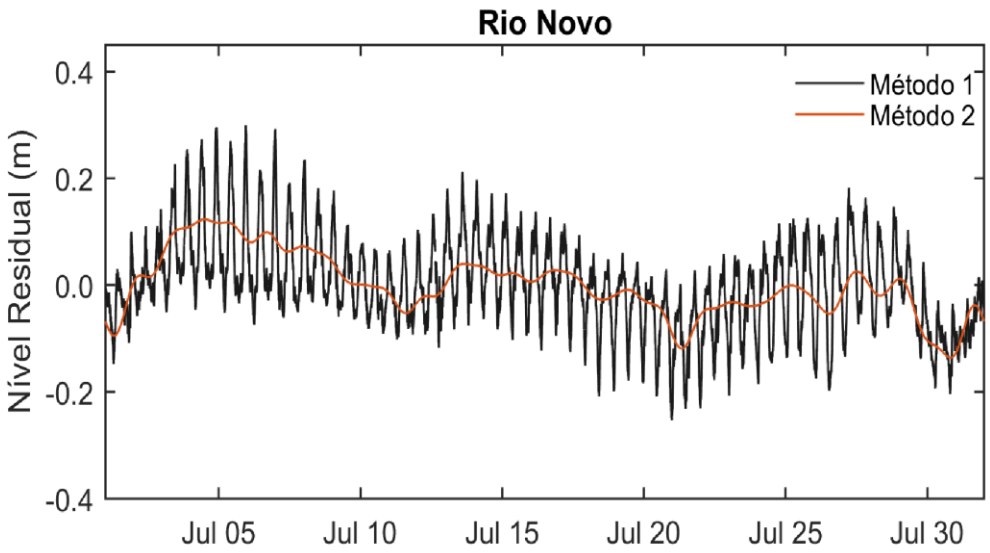


(b)

Figura 27 – Níveis residuais de maré para o local de medição localizado no Cais do Bico nos meses de: a) junho; b) julho de 2019.

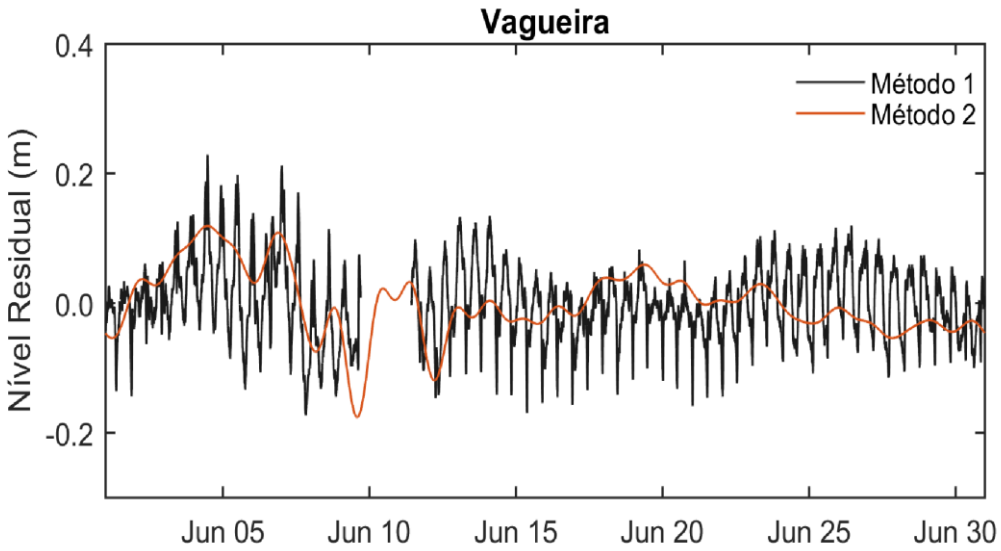


(a)

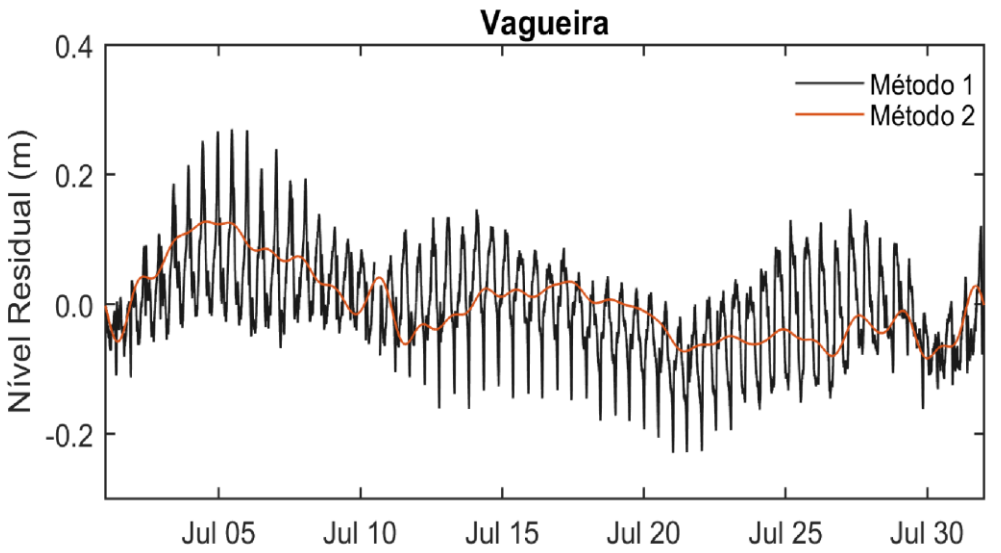


(b)

Figura 28 – Níveis residuais de maré para o local de medição localizado no Rio Novo nos meses de: a) junho; b) julho de 2019.

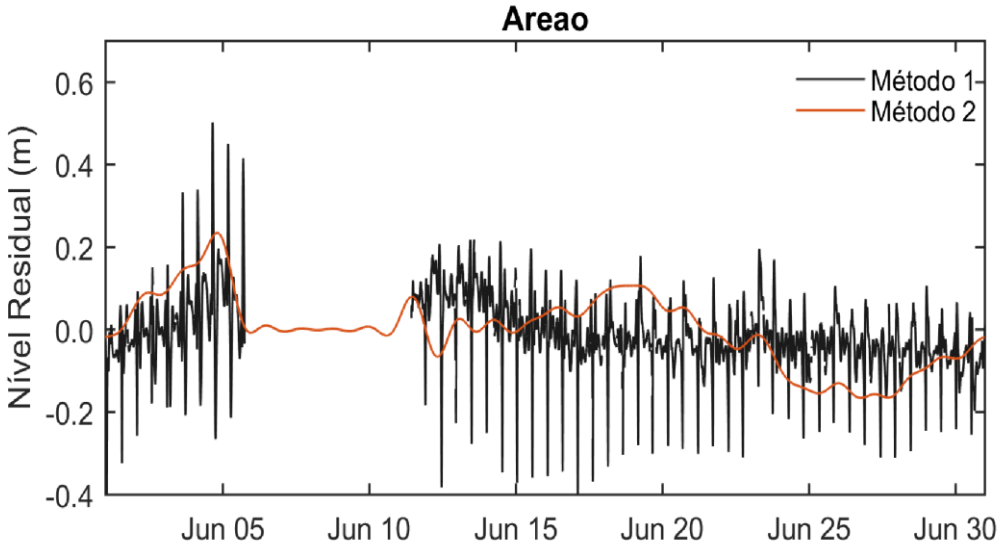


(a)

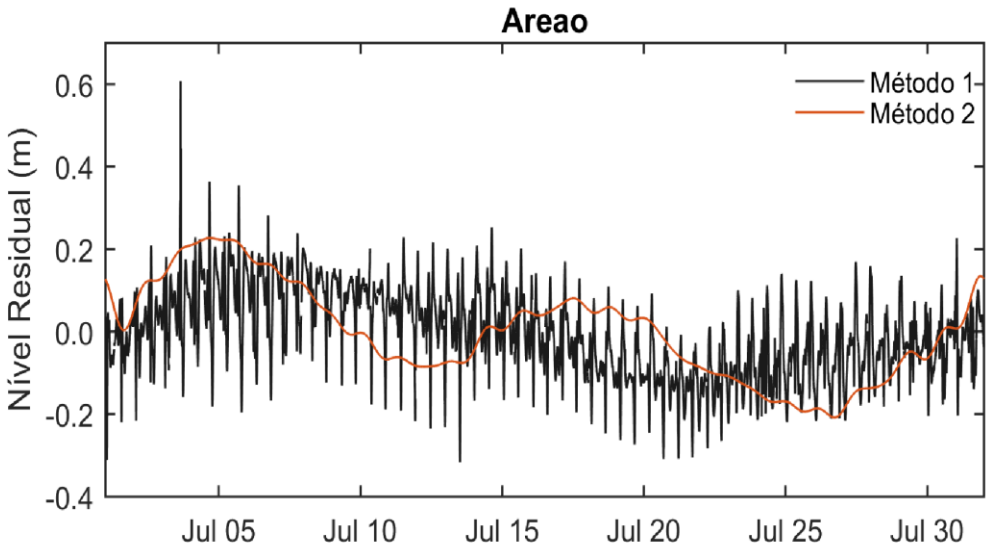


(b)

Figura 29 – Níveis residuais de maré para o local de medição localizado na Vagueira nos meses de: a) junho; b) julho de 2019.

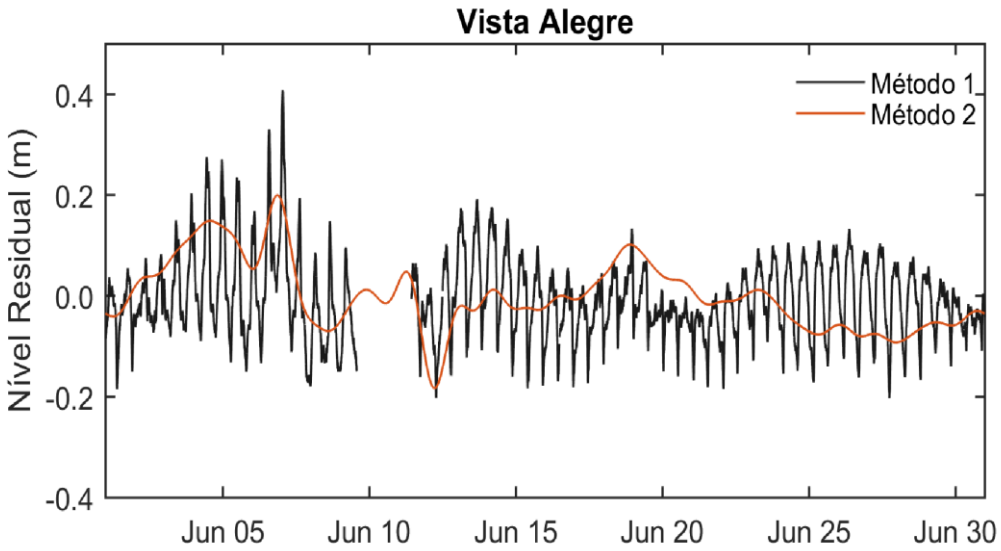


(a)

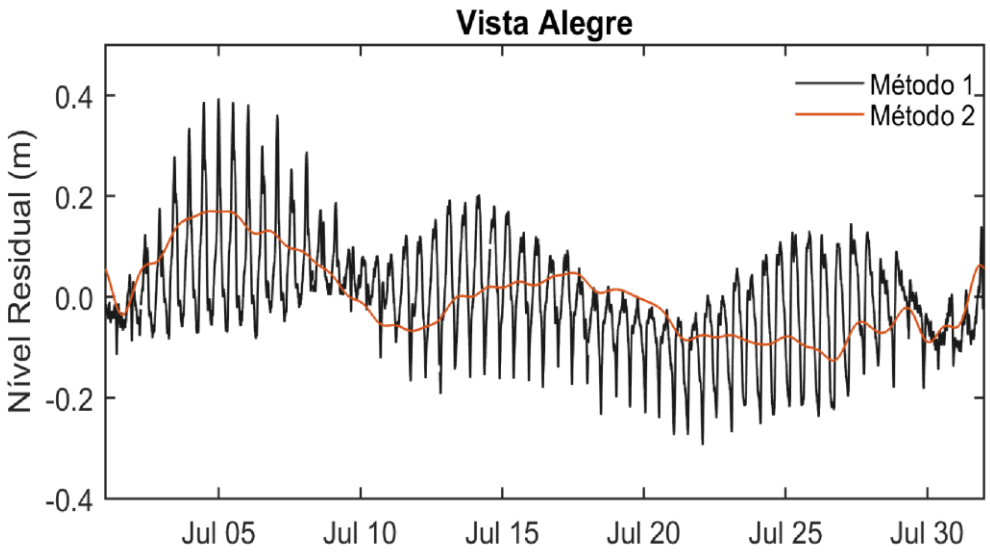


(b)

Figura 30 – Níveis residuais de maré para o local de medição localizado no Areão nos meses de: a) junho; b) julho de 2019.



(a)



(b)

Figura 31 – Níveis residuais de maré para o local de medição localizado na Vista Alegre nos meses de: a) junho; b) julho de 2019.

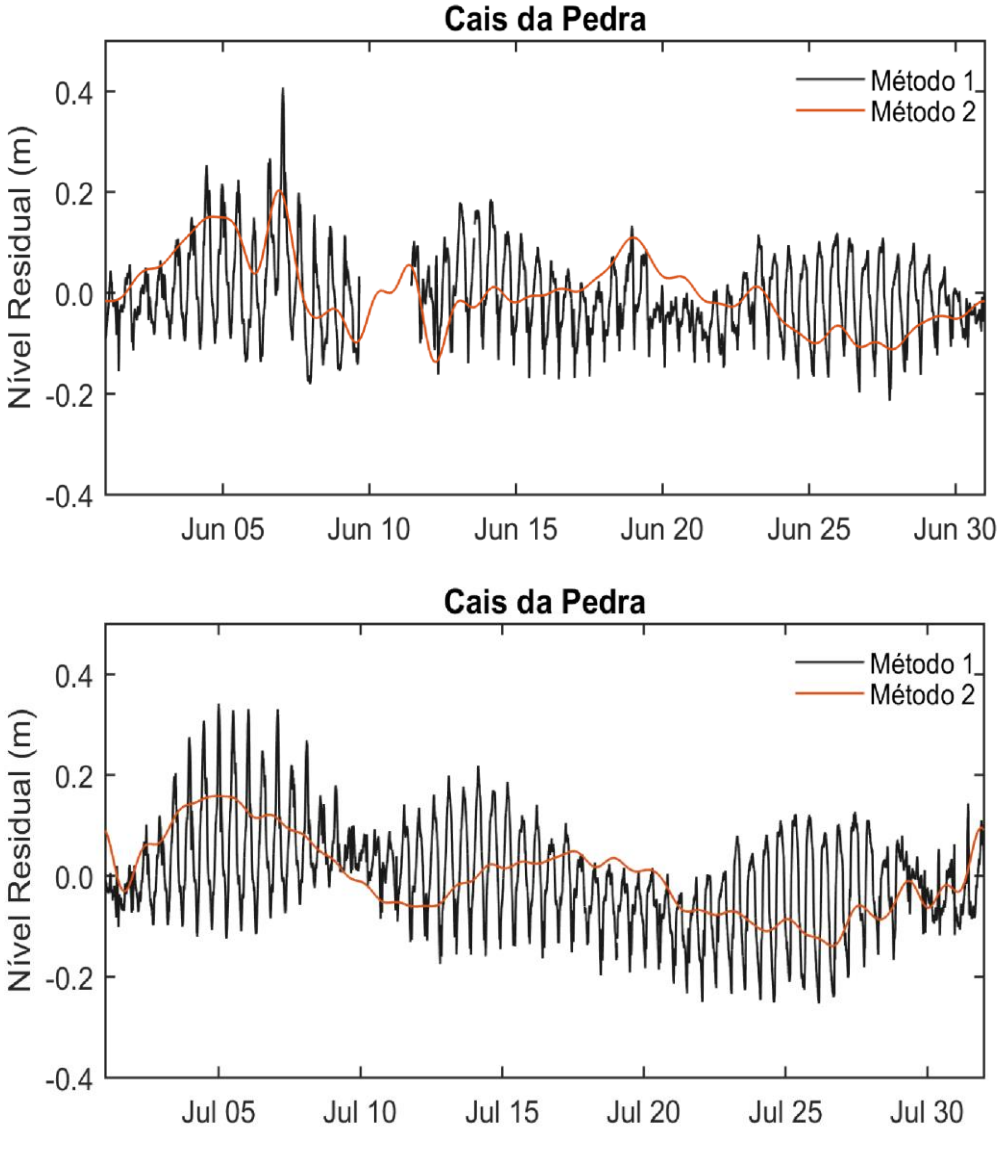
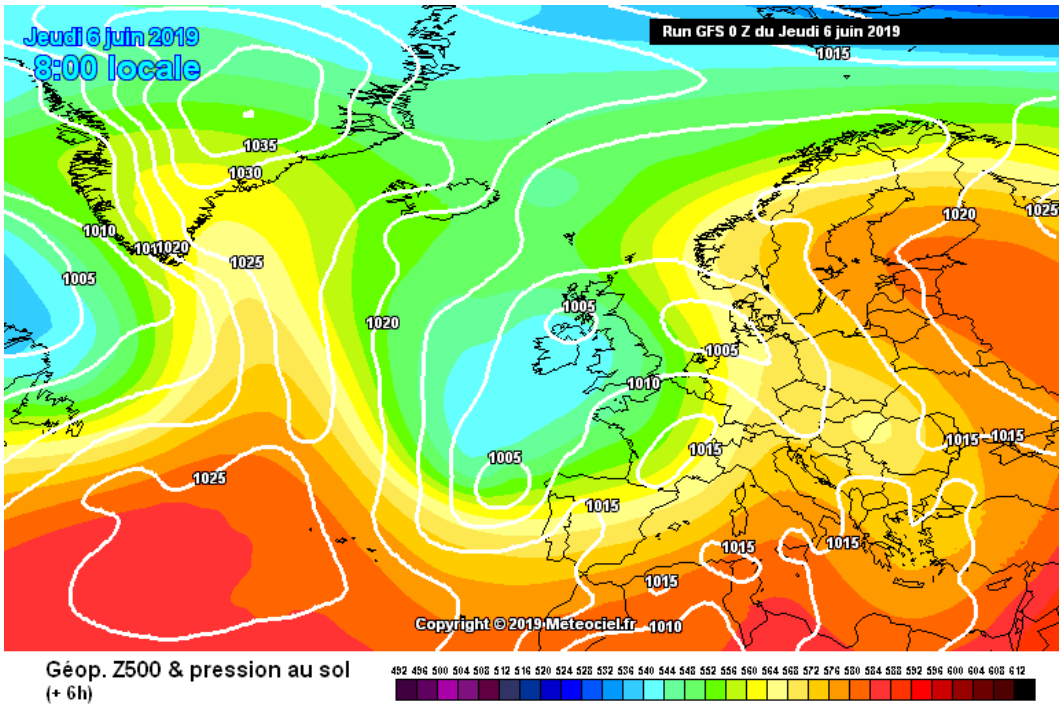
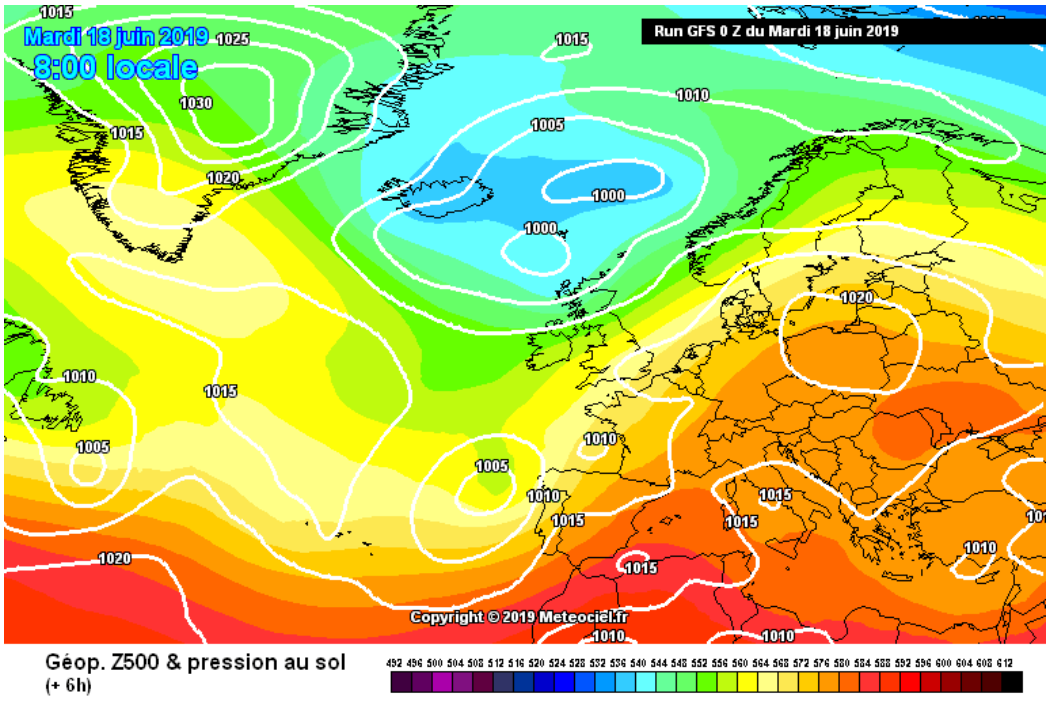


Figura 32 – Níveis residuais de maré para o local de medição localizado no Cais da Pedra nos meses de: a) junho; b) julho de 2019.



(a)



(b)

Figura 33 – Mapa sinótico do dia 6 de junho de 2019 (a) e do dia 18 junho de 2019 (b) (fonte: Meteociel; Reanalises NCEP).

4.2.3 Maré Astronómica

Na Tabela 12 e Tabela 13 apresenta-se a amplitude e a fase dos principais constituintes harmónicos nos 9 locais de medição, respetivamente. Os resultados evidenciam que as constantes harmónicas determinadas para cada um dos meses de junho e julho e para o período total dos dois meses são semelhantes, revelando que a maré apresentou caraterísticas similares nos dois meses analisados. O constituinte M_2 tem maior relevância na laguna, apresentando no geral uma amplitude significativamente superior à dos restantes constituintes, podendo assim ser considerado representativo da maré na laguna. Os locais de medição Rio Novo e Cais do Bico, localizados junto ao canal do Espinheiro, são aqueles em que a amplitude dos constituintes semidiurnos (M_2 e S_2) é mais elevada. É evidente que à medida que a maré se propaga para montante a amplitude dos constituintes semidiurnos diminui, sendo nos locais de medição Puxadouro, Cais da Pedra e Areão aqueles que apresentam menor amplitude. Verifica-se também que no Areão a amplitude do constituinte M_4 é aproximadamente metade da amplitude do constituinte M_2, evidenciando a importância do constituinte de águas pouco profundas neste local. A amplitude dos constituintes diurnos é muito similar em todas as estações, sendo consideravelmente inferior à dos semidiurnos, explicando assim a ligeira desigualdade diurna observada nas séries temporais de nível de maré.

Quanto à fase dos constituintes semidiurnos (M_2 e $S_{2,}$) verifica-se que aumenta com a distância à embocadura, sendo os locais de medição Rio Novo, Cais do Bico, Torreira e Vagueira, aqueles que apresentam os menores valores de fase. Pelo contrário os locais de medição Carregal, Puxadouro, Cais da Pedra e Areão, são aqueles que apresentam maiores valores de fase para o constituinte M_2, indicando que a mesma fase da maré chega mais tarde a estes locais. Este comportamento era esperado, considerando que à medida que a maré se propaga para o interior da laguna a profundidade diminui e os canais ficam mais estreitos, conduzindo ao aumento do atrito de fundo e consequente diminuição da amplitude de maré e aumento da fase.

Tabela 12 – Amplitude (m) dos principais constituintes harmónicos, referentes às campanhas dos meses de junho, julho e para toda a série temporal.

Local de medição	M_2			S_2			O_1			K_1			M_4		
	Junho	Julho	T	Junho	Julho	T	Junho	Julho	T	Junho	Julho	T	Junho	Julho	T
Carregal	0,88	0,86	0,87	0,17	0,18	0,17	0,06	0,05	0,05	0,08	0,06	0,07	0,12	0,12	0,12
Puxadouro	0,63	0,62	0,63	0,12	0,12	0,11	0,05	0,04	0,05	0,07	0,06	0,06	0,04	0,05	0,04
Torreira	0,86	0,84	0,86	0,17	0,18	0,17	0,05	0,05	0,05	0,08	0,07	0,07	0,08	0,07	0,07
Cais do Bico	0,96	0,91	0,92	0,22	0,20	0,29	0,05	0,05	0,05	0,07	0,08	0,09	0,10	0,09	0,09
Rio Novo	0,95	0,95	0,95	0,20	0,22	0,20	0,05	0,05	0,05	0,09	0,08	0,08	0,11	0,11	0,11
Vagueira	0,80	0,79	0,80	0,17	0,18	0,17	0,04	0,05	0,05	0,08	0,08	0,08	0,05	0,05	0,05
Areão	0,55	0,57	0,56	0,12	0,13	0,12	0,06	0,07	0,07	0,08	0,09	0,09	0,23	0,20	0,21
Vista Alegre	0,70	0,68	0,69	0,13	0,13	0,12	0,04	0,05	0,05	0,09	0,08	0,08	0,07	0,06	0,07
Cais da Pedra	0,64	0,61	0,63	0,12	0,12	0,11	0,04	0,05	0,05	0,08	0,08	0,08	0,05	0,05	0,05

Tabela 13 – Fase dos principais constituintes harmónicos, referentes às campanhas dos meses de junho, julho e para toda a série temporal.

Local de medição	M_2			S_2			O_1			K_1			M_4		
	Junho	Julho	T	Junho	Julho	T	Junho	Julho	T	Junho	Julho	T	Junho	Julho	T
Carregal	141	143	142	195	208	203	18	26	21	120	140	130	101	110	105
Puxadouro	150	151	151	209	222	218	36	40	37	135	151	142	213	205	208
Torreira	119	120	120	160	175	169	2	7	4	100	114	107	86	92	89
Cais do Bico	113	114	114	152	167	161	340	0	356	90	106	99	28	35	32
Rio Novo	105	103	104	142	152	148	347	352	350	86	96	91	356	352	354
Vagueira	106	106	106	140	155	148	345	355	352	86	100	94	121	122	121
Areão	151	153	152	195	203	200	356	31	32	93	138	133	276	272	273
Vista Alegre	134	135	135	177	194	187	23	35	30	116	136	127	95	100	97
Cais da Pedra	147	149	148	199	214	209	39	45	43	123	142	134	109	119	114

4.2.4 Alterações de maré entre 1987/88 e 2019

Da Figura 34 à Figura 38 ilustra-se a evolução da amplitude e fase dos constituintes semidiurnos, diurnos e de águas pouco profundas desde 1987/88 nos 9 locais de medição.

A Figura 34 revela que a amplitude do constituinte M_2 aumentou e que a fase diminuiu em todos os locais de medição desde 1987/88, sendo os locais Vista Alegre e Cais da Pedra, situados no Canal de Ílhavo, os que apresentaram menores alterações, tanto na amplitude como na fase. Por outro lado, os locais de medição do Carregal, Puxadouro, Torreira e Cais do Bico, localizados no Canal de S.Jacinto/Ovar, e da Vagueira e Areão, localizados no Canal de Mira, foram os que experienciaram maiores alterações no constituinte M_2. Analisando os locais de medição onde existem dados em todas as campanhas (Cais do Bico, Rio Novo, Vista Alegre e Vagueira), verifica-se que os valores de amplitude e fase do constituinte M_2 obtidos para 2002/04 são próximos dos obtidos para os levantamentos APA 2012/17 e 2019, evidenciando que este constituinte se alterou especialmente entre 1987/88 e 2002/04. A evolução da amplitude e fase do constituinte S_2 (Figura 35) é similar à descrita anteriormente para o constituinte M_2, verificando-se no geral um aumento da amplitude e diminuição da fase desde 1987/88. Para o constituinte O_1 (Figura 36), verifica-se que há locais de medição onde a amplitude aumentou e outros onde se manteve, não tendo sido detetado um padrão para a evolução da fase, identificando-se locais de medição onde esta aumenta e outros onde diminui. No caso do constituinte K_1 (Figura 37), constata-se que no geral a sua amplitude aumentou e a fase diminuiu desde 1987/88. Relativamente ao constituinte M_4 (Figura 38), observa-se que no geral a sua amplitude aumentou desde 1987/88, enquanto a sua fase diminuiu em todos os locais, exceto no Areão onde aumentou.

Estes resultados são concordantes com os resultados de um estudo efetuado por Lopes e Dias (2015), que quantificaram as alterações na propagação da maré na Ria de Aveiro entre 1987 e 2012, através da aplicação do modelo hidrodinâmico ELCIRC. De facto, Lopes e Dias (2015) concluíram que a amplitude do constituinte M_2 aumentou de forma generalizada em toda a laguna entre 1987 e 2012, enquanto que a sua fase diminuiu, e que estas alterações são devidas ao aprofundamento dos canais principais da laguna.

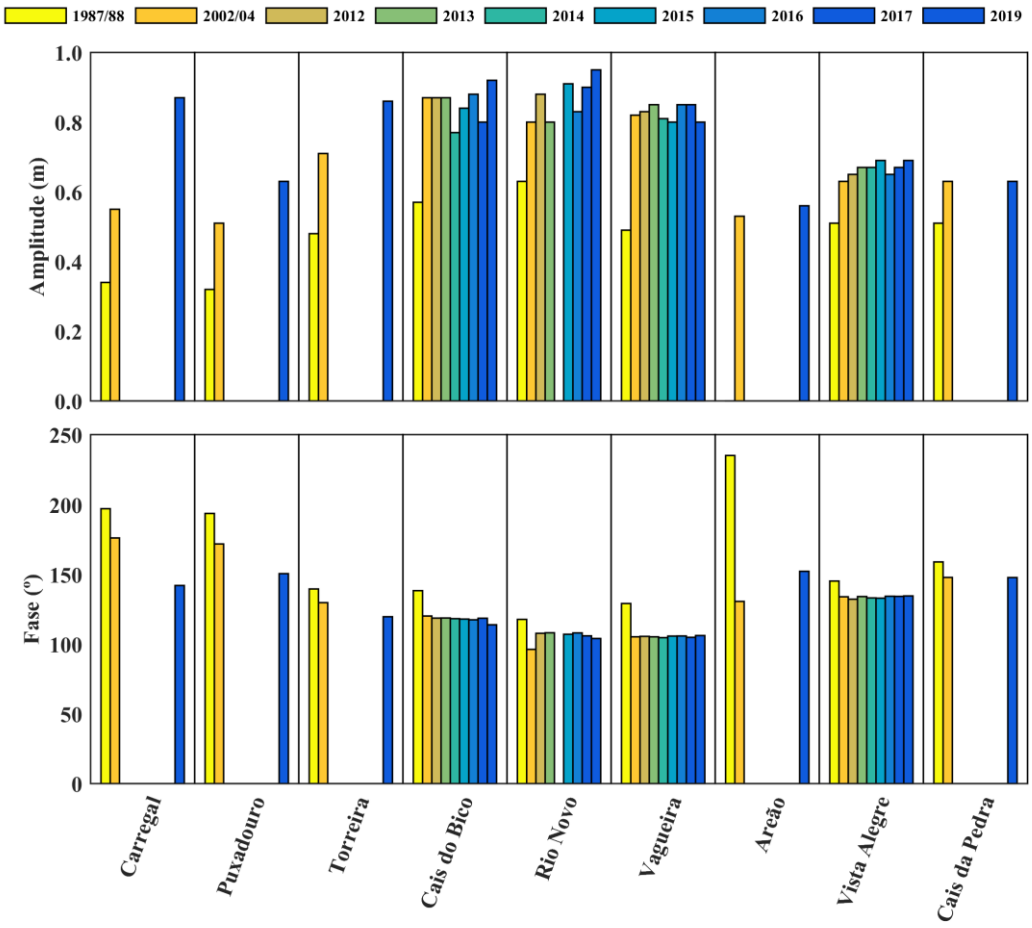


Figura 34 – Evolução temporal da amplitude (m) e fase (°) do constituinte M_2 nos 9 locais de medição.

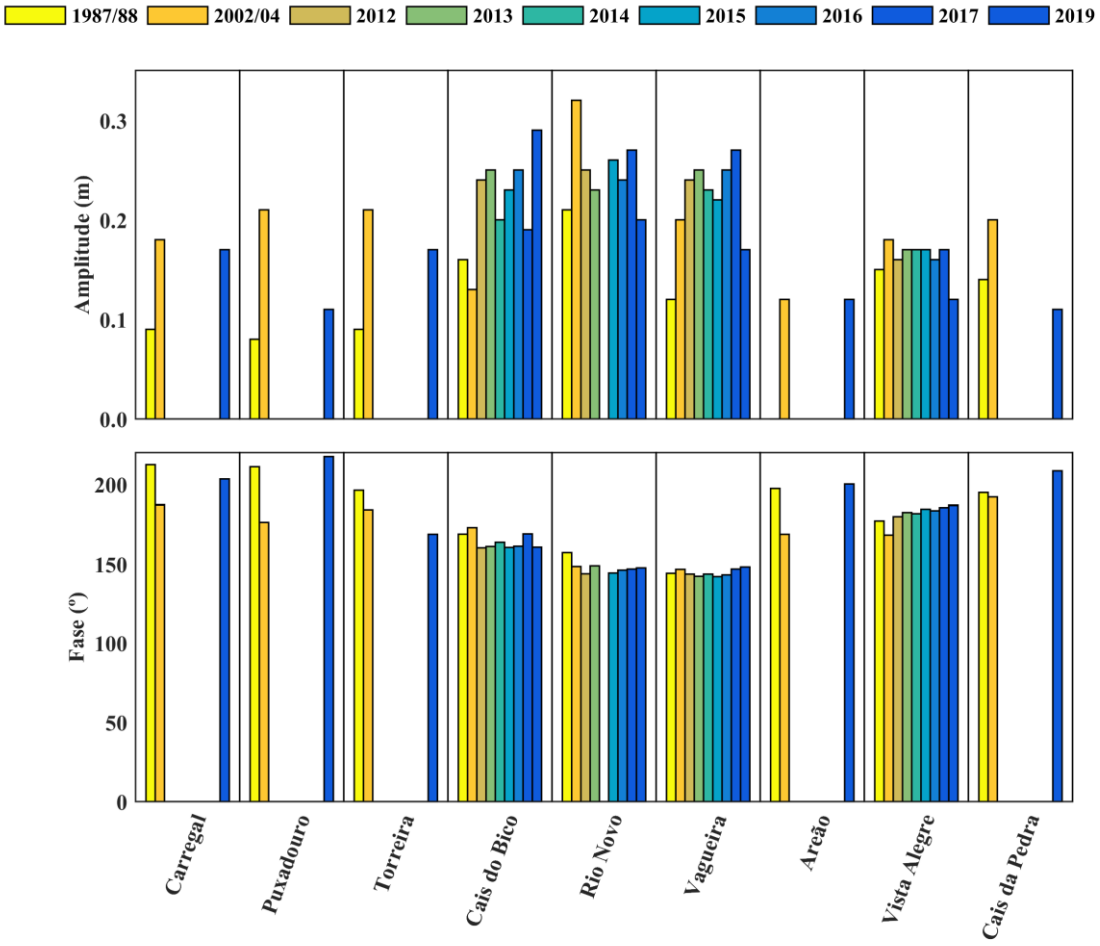


Figura 35 – Evolução temporal da amplitude (m) e fase (°) do constituinte S_2 nos 9 locais de medição.

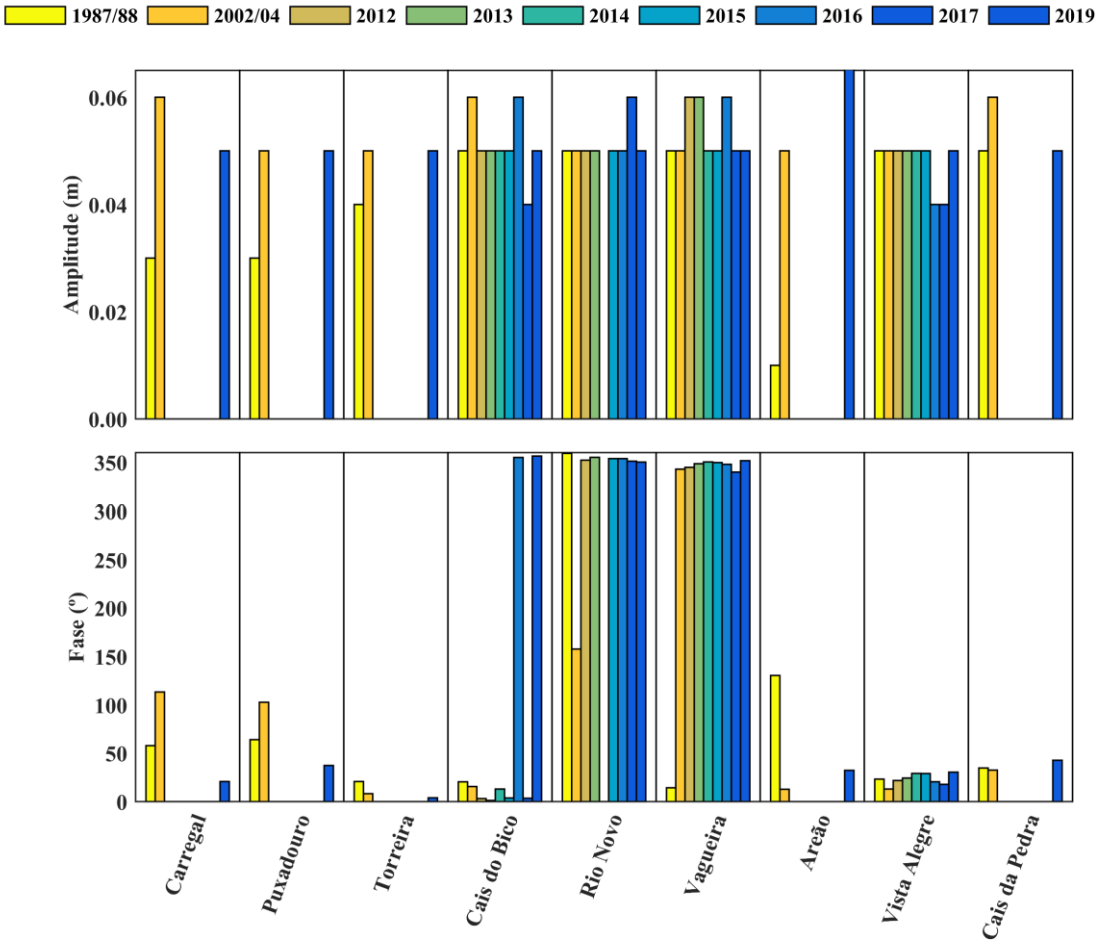


Figura 36 – Evolução temporal da amplitude (m) e fase (°) do constituinte O_1 nos 9 locais de medição.

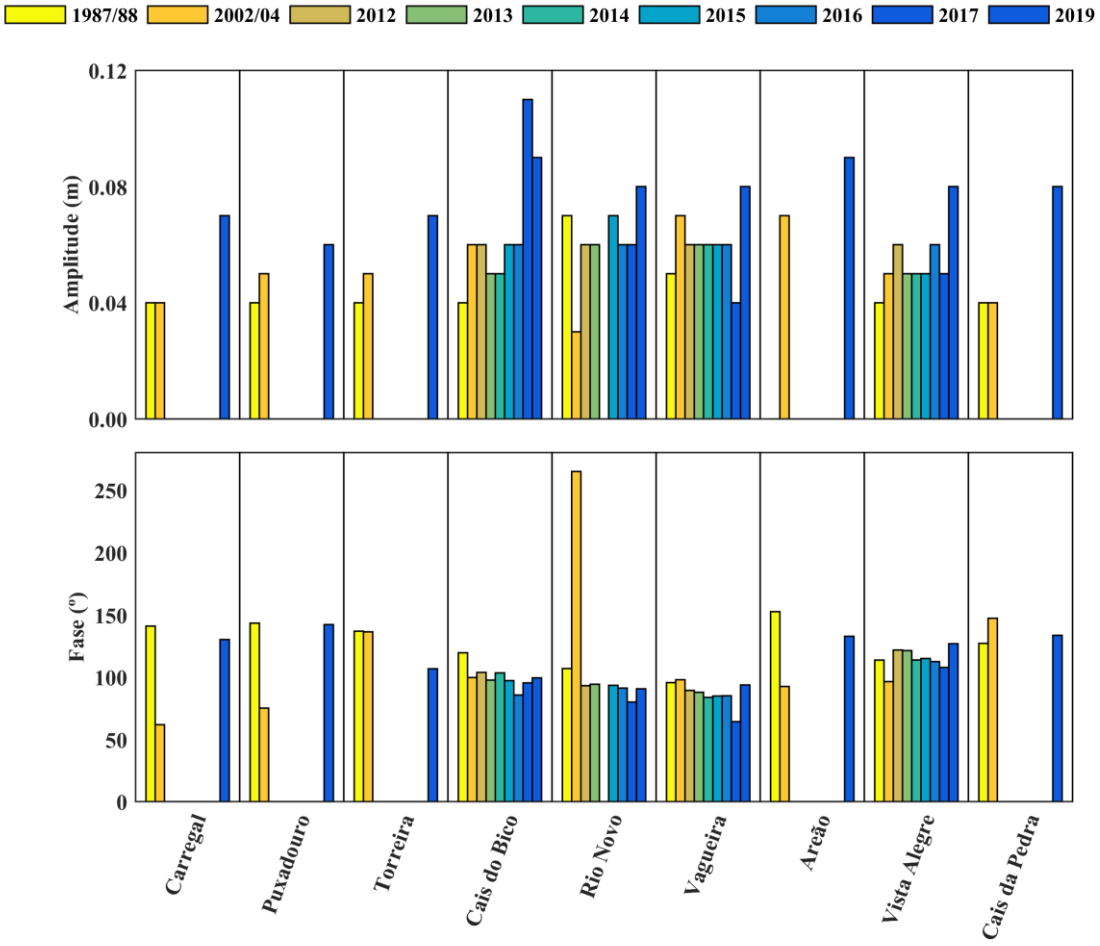


Figura 37 – Evolução temporal da amplitude (m) e fase (°) do constituinte K_1 nos 9 locais de medição.

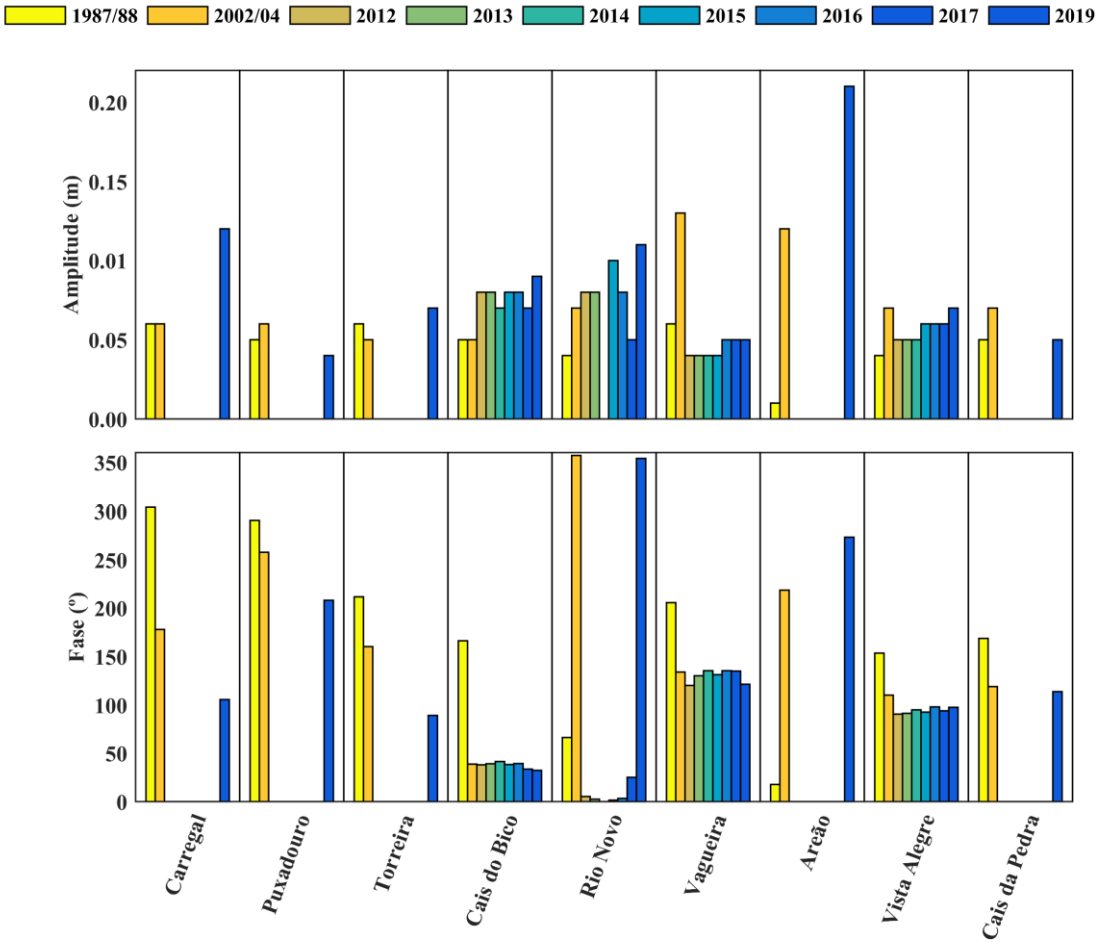


Figura 38 – Evolução temporal da amplitude (m) e fase (°) do constituinte M_4 nos 9 locais de medição.

Na Tabela 14 apresenta-se os valores de concordância de maré disponibilizados pelo Instituto Hidrográfico, referentes aos levantamentos efetuados em 1987/88, e os calculados neste trabalho, referentes à monitorização realizada em 2019. Apresenta-se também a diferença entre os valores das concordâncias de maré obtidas para 2019 e 1987/88.

Relativamente às correções no tempo, constata-se que estas diminuíram relativamente a 1987/88 em todas as estações, evidenciando que a maré chega atualmente mais cedo aos locais comparativamente a 1987/88. As estações de Rio Novo, Vista Alegre e Cais da Pedra são as que apresentam menores alterações relativamente a 1987/88, sendo estas inferiores a 35 minutos. Contrariamente as estações de Carregal e Puxadouro são as que apresentam maiores alterações

relativamente a 1987/88, destacando-se o Carregal por apresentar alterações iguais ou superiores a 2 horas em situação de Baixa-Mar. Relativamente às correções em altura, constata-se que em situação de marés vivas os níveis de Baixa-Mar diminuíram, enquanto os de Preia-Mar aumentaram em 8 das 9 estações de amostragem, destacando uma tendência para aumento de amplitude de maré em situação de marés vivas.

A única exceção é o local de medição da Torreira, que revela uma diminuição tanto dos níveis de Baixa-Mar como de Preia-Mar. No entanto, importa salientar que também se verifica uma tendência para aumento da amplitude de maré neste local de medição, já que a diminuição dos níveis de Preia-Mar é inferior aos níveis de Baixa-Mar.

A tendência de aumento de amplitude de maré é evidente nas estações do Carregal, Puxadouro, Cais do Bico, Vista Alegre e Cais da Pedra, e também em situação de marés mortas, já que se verifica um aumento dos níveis de Preia-Mar e uma diminuição dos níveis de Baixa-Mar em 2019 relativamente a 1987/88. Nas estações de Torreira e Rio Novo em situação de marés mortas os níveis de PM e BM de 2019 diminuíram em relação a 1987/88, mas ainda assim verificou-se um aumento da amplitude de maré, já que os níveis de Preia-Mar diminuíram menos do que os de Baixa-Mar. No local de medição da Vagueira, quer os níveis de Preia-Mar, quer os de Baixa-Mar, aumentaram em relação a 1987/88; no entanto, esse aumento é superior em Preia-Mar do que em Baixa-Mar, pelo que a amplitude de maré também aumentou.

De destacar que as estações do Carregal e Vagueira são as que apresentam maiores alterações relativamente a 1987/88, quer nas correções no tempo, quer em altura, enquanto que o local de medição do Cais da Pedra é aquele em que a maré menos se alterou relativamente a 1987/88.

Tabela 14 - Concordâncias da maré nos 9 locais de medição, relativas ao marégrafo da Barra de Aveiro. (PM – Preia-Mar; BM – Baixa-Mar; AM – Águas Mortas; AV – Águas Vivas).

Local de medição		Correções no tempo				Correções em Altura			
		PM		BM		PM		BM	
		AM	AV	AM	AV	AM	AV	AM	AV
Barra	-	-	-	-	-	2,63	3,30	1,37	0,70
Carregal	IH 1987/88	3:12	3:06	4:35	5:05	-0,08	-0,36	0,63	1,36
	Monitar 2019	1:02	1:57	1:56	3:07	0,42	0,15	0,1	0,49
	Diferença	**-2:10**	**-1:09**	**-2:39**	**-1:58**	**0,5**	**0,51**	**-0,53**	**-0,87**
Puxadouro	IH 1987/88	2:56	3:22	4:35	5:02	-0,12	-0,45	0,63	1,35
	Monitar 2019	1:39	2:24	2:34	4:40	0,24	-0,09	0,45	1,17
	Diferença	**-1:17**	**-0:58**	**-2:01**	**-0:22**	**0,36**	**0,36**	**-0,18**	**-0,18**
Torreira	IH 1987/88	1:30	1:34	2:34	3:03	0,02	-0,18	0,42	1,16
	Monitar 2019	0:39	1:08	1:24	2:30	0,01	-0,24	-0,14	0,21
	Diferença	**-0:51**	**-0:26**	**-1:10**	**-0:33**	**-0,01**	**-0,06**	**-0,56**	**-0,95**
Cais do Bico	IH 1987/88	1:19	1:37	1:56	2:41	-0,01	-0,23	0,1	0,74
	Monitar 2019	0:25	1:05	0:58	1:51	0,02	-0,17	-0,19	-0,3
	Diferença	**-0:54**	**-0:32**	**-0:58**	**-0:50**	**0,03**	**0,06**	**-0,29**	**-1,04**
Rio Novo	IH 1987/88	0:58	1:16	1:05	1:37	0,1	-0,08	0,21	0,6
	Monitar 2019	0:25	0:56	0:33	1:20	0,08	-0,07	-0,12	-0,08
	Diferença	**-0:33**	**-0:20**	**-0:32**	**-0:17**	**-0,02**	**0,01**	**-0,33**	**-0,68**
Vagueira	IH 1987/88	0:47	0:46	3:32	2:28	0,01	0	0,38	1,2
	Monitar 2019	0:16	0:33	1:00	2:01	0,44	0,3	0,53	0,85
	Diferença	**-0:31**	**-0:13**	**-2:32**	**-0:27**	**0,43**	**0,3**	**0,15**	**-0,35**
Areão	IH 1987/88	-	-	-	-	-	-	-	-
	Monitar 2019	1:20	1:43	4:07	5:58	-0,39	-0,23	0,25	0,91
	Diferença	-	-	-	-	-	-	-	-
Vista Alegre	IH 1987/88	1:28	1:55	2:12	3:01	0,01	-0,29	0,32	0,94
	Monitar 2019	1:03	1:40	1:47	2:53	0,17	-0,14	0,23	0,76
	Diferença	**-0:25**	**-0:15**	**-0:25**	**-0:08**	**0,16**	**0,15**	**-0,09**	**-0,18**
Cais da Pedra	IH 1987/88	1:51	2:38	2:40	3:30	0,03	-0,28	0,37	1,02
	Monitar 2019	1:21	2:13	2:07	3:24	0,18	-0,17	0,35	0,98
	Diferença	**-0:30**	**-0:25**	**-0:33**	**-0:06**	**0,15**	**0,11**	**-0,02**	**-0,04**

5 CONCLUSÕES

5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O presente RM refere-se à monitorização, em fase de pré-construção, das variáveis intensidade da corrente e nível de maré, constantes no PM do fator hidrologia / hidrodinâmica da Intervenção de Transposição de Sedimentos para Otimização do Equilíbrio Hidrodinâmico na Ria de Aveiro, e tem como principal objetivo avaliar o estado atual da hidrologia / hidrodinâmica, servindo como referência antes do início da intervenção.

Foram monitorizados um total de 16 locais, dos quais 7 locais são referentes à avaliação da intensidade de corrente (Varela; Moranzel; Parrachil; Costa Nova; Vagueira; Cais da Pedra e Vista Alegre) e 9 são referentes à avaliação de nível de maré (Carregal; Puxadouro; Torreira; Cais do Bico; Rio Novo; Vagueira; Areão; Vista Alegre e Cais da Pedra).

A análise dos resultados obtidos para a medição da intensidade da corrente na Ria de Aveiro, na campanha da fase de pré-construção, realizada em junho de 2019, permite retirar algumas conclusões acerca de diferenças entre locais de medição, regiões diferentes da Ria e também permitem aferir diferenças na intensidade da corrente em relação a uma monitorização anterior que decorreu em junho de 1997.

Apesar dos resultados em análise não serem totalmente comparáveis, uma vez que a monitorização foi realizada durante marés com amplitudes diferentes, este trabalho permite concluir que na área central da Ria de Aveiro e no canal de S. Jacinto/Ovar houve um aumento da intensidade média da corrente entre 1997 e 2019, enquanto que nos Canais de Mira e de Ílhavo foi identificada uma diminuição da intensidade média da corrente.

No geral, na área central/norte da laguna, o ano de 2019 apresenta intensidades da corrente mais elevadas do que em 1997, refletindo as diferenças da amplitude de maré, que para estas localizações são mais elevadas em 2019. Nos locais de medição localizados no Canal de Mira, a intensidade máxima da corrente medida em 2019 foi inferior à medida em 1997. Este facto não é inteiramente relacionável com a amplitude local da maré durante os períodos de monitorização, uma vez que esta diminuiu na Costa Nova e aumentou na Vagueira de 1997 para 2019. Assim, este padrão poderá estar relacionado com fatores locais, como uma menor profundidade do local de medição e zonas envolventes, ou por a monitorização ter sido efetuada em localizações ligeiramente diferentes. Para os locais de medição localizadas no Canal de ílhavo, a intensidade da corrente é menor em 2019 e a amplitude de maré maior do que em 1997. Assim, tal como em relação aos resultados obtidos para as estações do Canal de Mira, não parece existir uma relação direta entre a variação da

intensidade da corrente e a amplitude de maré, podendo esta diminuição da intensidade da corrente ser relacionada com outros fatores locais, conforme já referido.

Os resultados da razão entre a intensidade da corrente local máxima e a amplitude local de maré mostram um aumento de 1997 para 2019 nos locais de medição mais próximos da embocadura e uma diminuição nos locais de medição localizados mais a montante, junto às cabeceiras dos canais. Estes resultados serão usados para comparação com as medições pós-dragagens que serão realizadas em 2021.

O desfasamento temporal entre os valores locais de intensidade da corrente e do nível de água mostra que, no geral, houve um aumento deste desfasamento entre 1997 e 2019, exceto para o local de medição do Parrachil, onde esse desfasamento apresenta uma diminuição de 15 minutos.

Os resultados da evolução temporal da intensidade da corrente foram também utilizados para aferir a existência, ou não, de uma dominância de enchente ou de vazante nos locais de medição. Assim, verifica-se que para os locais de medição Varela, Vista Alegre e Cais da Pedra os resultados da evolução temporal da intensidade de corrente não permitem aferir se existe ou não assimetria de maré, ou seja, predominância de enchente ou de vazante. Para os locais de medição do Parrachil, Costa Nova e Vagueira, os resultados da evolução temporal da intensidade da corrente mostram uma dominância de enchente, enquanto que para o local de medição do Moranzel a dominância é de vazante. Os resultados da assimetria de maré são consistentes com os estudos de Lopes e Dias (2015), que usaram um modelo numérico para calcular a assimetria de maré para a Ria de Aveiro.

Da análise dos resultados obtidos para a medição do nível de maré, na campanha da fase de pré-construção, realizada entre junho e julho de 2019 na Ria de Aveiro, é possível retirar algumas conclusões relativamente à propagação da maré astronómica e meteorológica ao longo dos canais da laguna. Em todas as estações a maré astronómica apresenta um padrão característico da costa de Portugal, com duas Preias-Mar e duas Baixa-Mar diárias, evidenciando uma ligeira desigualdade diurna, assim como o ciclo quinzenal marés vivas/ marés mortas. Concluiu-se ainda que tipicamente os níveis máximos mensais ocorrem em Preia-Mar de maré vivas, no entanto estes também podem ser observados em outros estados de maré, nomeadamente quando ocorrem situações meteorológicas adversas.

A análise efetuada aos níveis residuais evidenciou que as sobre-elevações de origem meteorológica tendem a ser superiores no Canal de S.Jacinto, podendo atingir alturas superiores a 0,5 m. Verificou-se ainda que as sobre-elevações são maiores no Carregal e Puxadouro do que na

Torreira, realçando que existiu uma amplificação da maré meteorológica à medida que esta se propaga ao longo do Canal de S. Jacinto.

A análise das constantes harmónicas evidenciou que a maré astronómica apresentou características idênticas nos meses de junho e julho de 2019, já que a amplitude e fase dos constituintes principais determinadas para os dois meses de registo são semelhantes. Verificou-se que à medida que a maré se propaga pelos canais da laguna a amplitude diminui e a fase aumenta, em resposta ao aumento do atrito de fundo motivada pela redução da profundidade dos canais.

Neste estudo avaliaram-se ainda as alterações das características da maré entre 1987/88 e 2019 nos 9 locais de medição. Os resultados obtidos revelam que durante o período referido a amplitude dos constituintes semidiurnos aumentou, enquanto a sua fase diminuiu, tendo sido observadas as maiores alterações entre 1987/88 e 2002/04. Conforme referido anteriormente, a propagação da maré em sistemas costeiros é fortemente modificada pela geometria e batimetria locais. Neste sentido, as alterações da maré ocorridas entre 1987/88 e 2019, e determinadas neste estudo, poderão estar relacionadas com alterações geomorfológicas que ocorreram ao longo deste período. De facto, e atendendo a que as maiores alterações nas constantes harmónicas de maré ocorreram entre 1987/88 e 2002/04, significa que estas poderão ter sido motivadas pelas operações de dragagens realizadas no final da década de 90 nos canais principais da laguna, tal como sugerido por Lopes e Dias (2015).

Os resultados das concordâncias de maré realçam que a propagação da maré desde a embocadura até aos locais de medição se alterou de forma evidente entre 1987/88 e 2019. Concluiu-se que a velocidade de propagação da maré aumentou entre 1987/88 e 2019, e consequentemente a mesma fase da maré chega atualmente mais cedo a todos os locais de medição comparativamente com 1987/88. De destacar que em alguns locais e em algumas fases de maré, esta antecipou-se mais de 2 horas comparativamente a 1987/88. As alterações das correções em altura confirmam que a amplitude de maré aumentou no interior da laguna entre 1987/88 e 2019.

De um modo geral, a análise efetuada às alterações da maré entre 1987/88 e 2019 permitiu identificar os locais de medição Carregal, Puxadouro, Torreira, Cais do Bico, Vagueira e Areão como aqueles que experienciaram alterações mais significativas. Por outro lado, nos locais de medição situados no Canal de Ílhavo registaram-se as menores alterações nas características da maré.

5.2 MEDIDAS DE MINIMIZAÇÃO A IMPLEMENTAR

Não são propostas medidas de minimização para além das recomendadas na DIA e DCAPE.

5.3 PROPOSTA DE REVISÃO AO PROGRAMA DE MONITORIZAÇÃO

Considera-se que o PM da Intervenção de Transposição de Sedimentos para Otimização do Equilíbrio Hidrodinâmico na Ria de Aveiro se encontra adequado aos objetivos definidos, no que se refere aos locais a monitorizar, frequência, métodos e critérios de avaliação de dados, não se propondo nenhuma revisão ao mesmo.

6 BIBLIOGRAFIA

- Agri-Pro Ambiente, (2015). Estudo de Impacte Ambiental do Projeto de Transposição de Sedimentos para Otimização do Equilíbrio Hidrodinâmico na Ria de Aveiro e Barrinha de Mira. Agri-Pro Ambiente Consultores S.A, junho de 2015. Lisboa.
- APA, (2016a). Decisão sobre a conformidade ambiental do processo de execução (DCAPE). Transposição de Sedimentos para Otimização do Equilíbrio Hidrodinâmico da Ria de Aveiro – Canais de Ovar até Carregal, de Ovar até Pardilhó, da Murtosa, de Ílhavo, Lago Paraíso e da Zona Central da Ria. Agência Portuguesa do Ambiente.
- APA, (2016b). Decisão sobre a conformidade ambiental do processo de execução (DCAPE). Transposição de Sedimentos para Otimização do Equilíbrio Hidrodinâmico da Ria de Aveiro – Canal de Mira. Agência Portuguesa do Ambiente.
- APA, (2016c). Declaração de Impacte Ambiental. Projeto de Transposição de Sedimentos para Otimização do Equilíbrio Hidrodinâmico da Ria de Aveiro e Barrinha de Mira. Agência Portuguesa do Ambiente.
- Dias, J,M,S,S, (2001), Contribution to the Study of the Ria de Aveiro Hydrodynamics, Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 288 p.
- Lopes, C,L, Dias, J,M, (2015), Tidal dynamics in a changing lagoon: Flooding or not flooding the marginal regions, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 167, 14-24, DOI: 10,1016/j,ecss,2015,05,043.
- Pawlowicz et al., (2002), Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE. Canada. Computers & Geosciences 28, 929-937

MONITAR

GERAL@MONITAR.PT

WWW.MONITAR.PT