



universidade de aveiro
theoria poiesis praxis

Departamento de Engenharia Civil

RELATÓRIO TÉCNICO

**Impacto do Projeto da Nova Área de Atracação
no Anteporto de Vilamoura na Dinâmica
Sedimentar a Sotamar de Vilamoura**

Março de 2023



universidade de aveiro
theoria poiesis praxis

Departamento de Engenharia Civil

ELEMENTOS DO CLIENTE

Empresa: Oceaning, Engenheiros Consultores

NIF: 515 100 021

Representante Legal:

Morada: Estrada da Portela 5, Piso 3 - Escritório 1. 2790-124 Carnaxide

AUTORIA DO DOCUMENTO

[Redacted]
Professor Auxiliar com Agregação no Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

[Redacted]
Bolsista de Investigação no Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro



ÍNDICE GERAL

1. INTRODUÇÃO	4
2. MODELAÇÃO NUMÉRICA.....	6
3. RESULTADOS.....	10
4. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	15
5. PROFUNDIDADE DE FECHO QUE CARACTERIZA O LITORAL DE VILAMOURA.....	19
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	24



1. INTRODUÇÃO

O presente relatório apresenta o estudo sobre o impacto da extensão do molhe da Marina de Vilamoura, no âmbito do Projeto da Nova Área de Atracação no Anteporto de Vilamoura, na dinâmica sedimentar a sotamar de Vilamoura, solicitado pela Oceaning Engenheiros Consultores ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro. O objetivo do trabalho desenvolvido correspondeu à avaliação dos potenciais efeitos que a intervenção na Marina de Vilamoura poderá apresentar nos resultados do Estudo da Evolução da Linha de Costa no Litoral de Quarteira, realizado no âmbito do Estudo Prévio de Soluções Alternativas de Restruturação dos Molhes de Quarteira.

No âmbito do Estudo da Evolução da Linha de Costa no Litoral de Quarteira foram estudados um conjunto de cenários de intervenção para o litoral de Quarteira que consideraram a eliminação de esporões existentes, o prolongamento do comprimento de alguns dos esporões, alimentações artificiais de sedimentos e a combinação destes três tipos de intervenção. Na sequência do referido estudo, foram definidos dois cenários preferenciais de intervenção, aqui designados de Q1 e Q2. Esses cenários combinam a retirada de dois esporões, o prolongamento do comprimento de outros dois e alimentações artificiais de sedimentos, conforme se descreve:

- Cenário Q1:

Retirada dos esporões E1 e E3 e prolongamento dos esporões E2 e E4 em 80 m, juntamente com a realização de alimentações artificiais de sedimentos de 10 em 10 anos, com um volume de $1 \times 10^6 \text{ m}^3$ de sedimentos, depositados na frente da Quarteira (Figura 1).

- Cenário Q2

Retirada dos esporões E1 e E3 e prolongamento dos esporões E2 e E4 em 80 m, juntamente com a realização de alimentações artificiais de sedimentos de 10 em 10 anos, com um volume de $1 \times 10^6 \text{ m}^3$ de sedimentos, depositados em toda a extensão da Quarteira, até Vale do Lobo (Figura 1).

Este documento sintetiza a análise desenvolvida, assumindo os futuros cenários de intervenção definidos no Estudo Prévio de Soluções de Alternativas de Restruturação dos Molhes de Quarteira. O horizonte temporal definido para realizar a análise é de 50 anos, sendo o desenvolvimento do estudo sustentado com base em resultados de modelação numérica obtidos por aplicação do modelo de evolução da posição da linha de costa LTC (Coelho, 2005), através da análise de volumes de sedimentos na deriva litoral (transporte sólido longitudinal) e evolução da posição da linha de costa (alteração das áreas de erosão ou acreção, ao longo do tempo).

O documento está estruturado em seis capítulos. O capítulo 1 destina-se a fazer um breve enquadramento do estudo e apresentar o objetivo do trabalho. No capítulo 2 apresentam-se os pressupostos de modelação adotados para desenvolver o trabalho, nomeadamente o domínio de cálculo de modelação, as condições de forçamento, os cenários modelados e a metodologia adotada para desenvolver o estudo. No capítulo 3 apresentam-se os principais resultados dos cenários avaliados, quer em termos de impacto do prolongamento do comprimento do molhe poente da Marina no trânsito sedimentar, quer em termos de impacto na evolução da posição da linha de costa. Posteriormente, no capítulo 4 é feita uma análise de sensibilidade aos resultados do impacto da intervenção na Marina de Vilamoura na dinâmica sedimentar, avaliando-se uma situação extrema de interrupção do trânsito sedimentar, admitindo que o prolongamento do molhe Norte da Marina de Vilamoura seria realizado numa orientação perpendicular à linha de costa. No quinto capítulo discute-se a profundidade de fecho que caracteriza o litoral algarvio. Por último, no capítulo 6, são apresentadas e discutidas as principais conclusões do estudo.



Figura 1. Identificação da Marina de Vilamoura e campo de esporões de Quarteira



2. MODELAÇÃO NUMÉRICA

No presente trabalho aplicou-se o modelo numérico LTC (Coelho, 2005) para avaliar o impacto da extensão do comprimento do molhe poente da Marina de Vilamoura na evolução da posição da linha de costa no setor costeiro de Quarteira. O LTC, desenvolvido na Universidade de Aveiro, é um modelo de médio/longo prazo de evolução da posição da linha de costa para aplicação a praias arenosas. Neste modelo a evolução da posição da linha de costa é dependente das condições fronteira nos extremos da grelha modelada e dos gradientes de transporte sedimentar longitudinal que ocorre no litoral, sendo o transporte de sedimentos condicionado e/ou controlado pela ação da agitação marítima, níveis de água e natureza dos sedimentos.

As condições de modelação adotadas para desenvolver o estudo consideraram o domínio de cálculo e o clima de agitação estabelecido no Estudo da Evolução da Linha de Costa no Litoral da Quarteira (Coelho *et al.*, 2021). O domínio de cálculo, com uma extensão de 13 km na direção paralela à linha de costa e 7 km na direção perpendicular, considera toda a extensão da linha de costa de Vilamoura, estendendo-se desde o limite poente ao limite nascente (Figura 2). No trabalho desenvolvido por Coelho *et al.* (2021), a área de estudo foi dividida em 5 setores (em função da posição das estruturas costeiras e portuárias existentes, e da extensão de linha de costa), do seguinte modo (Figura 2):

- S1: setor definido entre o limite poente do município de Loulé e o molhe nascente da Marina de Vilamoura;
- S2: setor definido entre o molhe nascente da Marina de Vilamoura e o molhe nascente do porto de pesca de Quarteira;
- S3: setor definido entre o molhe nascente do porto de pesca de Quarteira e o esporão nascente do campo de esporões de Quarteira;
- S4: extensão equivalente à extensão do setor S3 (1660 m), medida desde o esporão nascente do campo de esporões de Quarteira;
- S5: extensão definida entre o limite nascente do setor S4 e o limite nascente do município de Loulé.

O clima de agitação marítima corresponde à série de agitação marítima disponibilizada pela base de dados dos *Puertos del Estado*, para o ponto com a designação P5016021. A série contempla 50 anos de registos horários (1971-2020), com uma altura de onda média ao largo de 0.73 m e direção média de proveniência da agitação de 229.30° (ângulo com o Norte, no sentido horário). Na grelha de pontos que define o domínio de cálculo foram introduzidas as obras costeiras existentes na extensão litoral a modelar. O cálculo do transporte sedimentar longitudinal foi efetuado de acordo com a fórmula CERC (1984), sendo o parâmetro de calibração da fórmula definido de forma a representar a evolução da área de estudo.

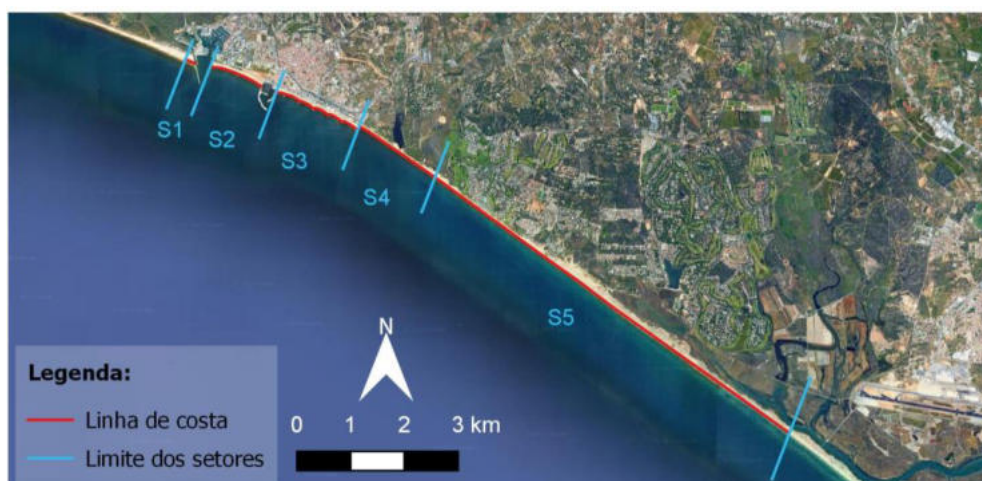


Figura 2. Setores de análise

2.1. Cenários modelados

Os cenários simulados no presente estudo foram definidos com o objetivo de identificar o potencial impacto do efeito acumulado das intervenções decorrentes do Estudo de Evolução da Linha de Costa no Litoral de Quarteira e do prolongamento do comprimento do molhe poente da Marina de Vilamoura no litoral de Quarteira, num horizonte temporal de 50 anos.

O LTC permite simular um conjunto de intervenções costeiras como esporões, quebramares, obras longitudinais aderentes, alimentações artificiais e fontes/sumidouros de sedimentos. Contudo, como o modelo assenta na discretização da área de estudo numa malha ortogonal de pontos, a implantação de estruturas costeiras no modelo está limitada a essa malha e, portanto, a representação e simulação de estruturas com configurações curvilíneas é realizada de forma aproximada, considerando a respetiva simplificação.

A intervenção prevista para a Marina de Vilamoura considera o prolongamento do molhe poente numa direção aproximadamente paralela à linha de costa (Figura 3). A simulação do respetivo impacto foi realizada através de uma solução aproximada assumindo que o efeito da extensão do molhe poente é equivalente a um prolongamento da estrutura na perpendicular à linha de costa igual a 40 m. Note-se que este pressuposto é adotado de forma conservativa, pois como se ilustra na Figura 3, apesar do prolongamento da estrutura existente representar uma extensão de cerca de 84 metros, esse prolongamento é realizado numa orientação aproximadamente paralela à linha de costa. Face à relação entre a orientação da linha de costa e a orientação prevista para a intervenção no molhe, a interrupção do trânsito sedimentar na direção perpendicular à linha de costa é da ordem dos 10 m, pelo que os 40 metros adotados na simulação se estimam com impacto bastante superior ao real.



Figura 3. Molhes da Marina de Vilamoura: a) sem intervenção; b) prolongamento do comprimento da Marina de Vilamoura previsto no âmbito do Projeto da Nova Área de Atracação no Anteporto de Vilamoura

Tendo em conta o exposto, no presente estudo foi modelada a evolução da linha de costa para um conjunto de cenários, descritos na Tabela 1. Todos os cenários foram duplicados, para consideração da subida do nível do mar (SLR), assumindo-se uma taxa de subida igual a 1 cm/ano, igual à adotada no estudo de Coelho *et al.* (2021).

Tabela 1. Descrição dos cenários de intervenção modelados

CR	Cenário de referência (sem novas intervenções)
Q1	Intervenção prevista na Quarteira de retirar os esporões E1 e E3 e prolongar o E2 e E4 em 80 m, combinada com a realização de alimentações artificiais de sedimentos de 10 em 10 anos, com um volume de 1×10^6 m ³ de sedimentos depositados na frente da Quarteira (setor S3)
Q2	Intervenção prevista na Quarteira de retirar os esporões E1 e E3 e prolongar o E2 e E4 em 80 m, combinada com a realização de alimentações artificiais de sedimentos de 10 em 10 anos, com um volume de 1×10^6 m ³ de sedimentos depositados em toda a extensão da Quarteira até Vale do Lobo (setores S3 e S4, reproduzindo o projeto de execução de alimentações artificiais já planeado)
VM	Simulação da intervenção na Marina de Vilamoura, sem outras intervenções na Quarteira
VM1	Simulação da intervenção na Marina de Vilamoura e efeito cumulativo com o cenário Q1, previsto para a intervenção na Quarteira
VM2	Simulação da intervenção na Marina de Vilamoura e efeito cumulativo com o cenário Q2, previsto para a intervenção na Quarteira

2.2. Metodologia

O impacto da extensão da Marina de Vilamoura no litoral de Quarteira foi avaliado através da caracterização do trânsito sedimentar na área de estudo e da medição das áreas de erosão/acreção na zona correspondente ao campo de esporões da Quarteira.

Para a caracterização do trânsito sedimentar foram definidos três perfis transversais de controlo, ao longo do litoral, entre Vilamoura e a Quarteira (perfis P1, P2 e P3). Conforme indicado na Figura 4, o perfil P1 localiza-se a barlamar da Marina de Vilamoura e os perfis P2 e P3 a sotamar. A medição das áreas de erosão/acreção foi realizada na zona correspondente ao campo de esporões da Quarteira, setores S3 e S4 (conforme indicado na Figura 2).

Para identificar o impacto do prolongamento do comprimento do molhe poente, foram comparados anualmente os resultados do trânsito sedimentar e a posição da linha de costa entre cenários equivalentes, isto é, o cenário que considera o prolongamento da estrutura foi comparado com o cenário com as mesmas condições, mas em que não é considerada essa extensão. Assim, com base na nomenclatura adotada para designar os cenários modelados (Tabela 1), em cada instante de tempo, o cenário CR foi comparado com o cenário VM, o cenário Q1 com o VM1 e o cenário Q2 com o VM2.

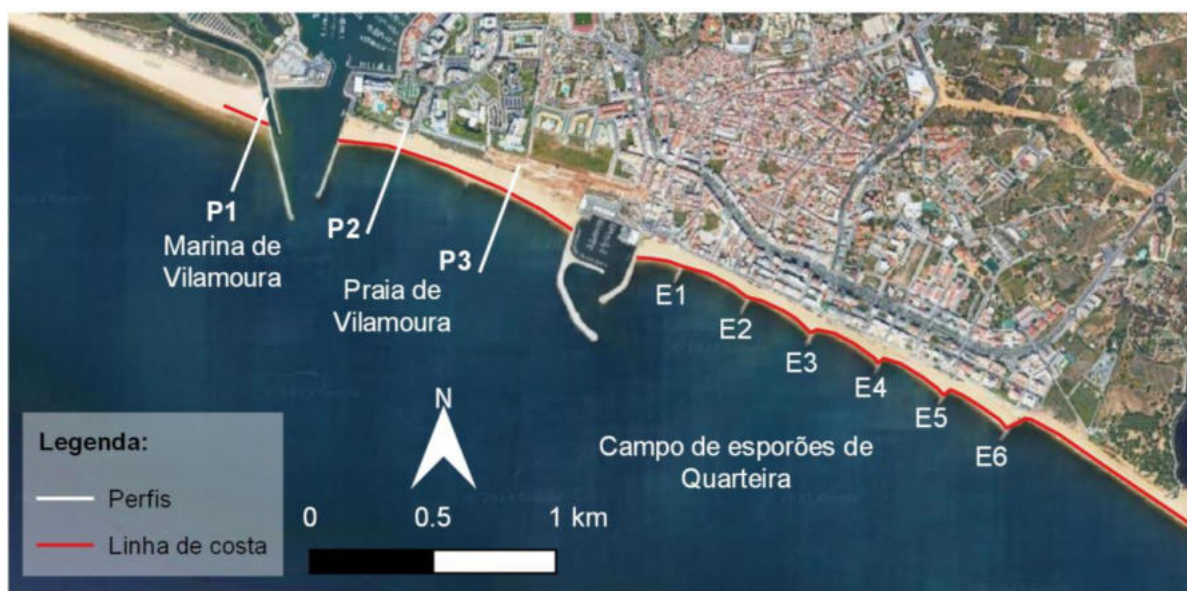


Figura 4. Localização dos perfis considerados para avaliar o impacto da intervenção na Marina de Vilamoura no trânsito sedimentar

3. RESULTADOS

Na presente secção apresentam-se os resultados do impacto do prolongamento do comprimento do molhe poente da Marina de Vilamoura, para os diferentes cenários analisados no estudo. Inicialmente, são apresentados os resultados em termos de impacto no trânsito sedimentar, analisando-se os volumes em transporte no sentido Este-Oeste e sentido Oeste-Este. Posteriormente, são apresentados os resultados do impacto nas áreas de erosão/acreção, na zona do campo de esporões de Quarteira.

3.1. Impacto no trânsito sedimentar

Na Tabela 2 e Tabela 3 apresenta-se o trânsito sedimentar acumulado obtido numericamente nos três perfis analisados, em diferentes horizontes temporais, e na Tabela 4 e Tabela 5 o impacto que o prolongamento da extensão do comprimento do molhe poente da Marina de Vilamoura tem nesse trânsito sedimentar. Refere-se que os resultados do impacto do prolongamento da estrutura representam a variação percentual do volume de sedimentos em transporte para o cenário de prolongamento do molhe poente, por comparação com o cenário equivalente, que não considera essa extensão. Recorde-se que o transporte sedimentar longitudinal predominante ocorre no sentido Oeste-Este, havendo também transporte no sentido Este-Oeste, de acordo com a alternância de rumos de agitação (Coelho *et al.*, 2021). De acordo com a caracterização apresentada por Coelho *et al.* (2021), o volume médio de transporte longitudinal de sedimentos no sentido Oeste-Este é de aproximadamente 1.47×10^5 m³/ano e a componente de transporte no sentido Este-Oeste próxima de 0.38×10^5 m³/ano, resultando num valor médio aproximado de saldo de transporte longitudinal igual a 1.1×10^5 m³/ano. Genericamente, os resultados apresentados nas Tabelas 2 e 3 sugerem transportes médios anuais nos perfis analisados ligeiramente inferiores aos estimados para a média do litoral algarvio.

Tabela 2. Trânsito sedimentar acumulado no sentido Oeste-Este ($\times 10^6$ m³) obtido numericamente nos perfis analisados em diferentes horizontes temporais

	P1			P2			P3		
	10 anos	30 anos	50 anos	10 anos	30 anos	50 anos	10 anos	30 anos	50 anos
CR	0.76	1.75	3.27	0.60	1.66	2.78	0.73	1.96	3.60
CR_SLR	0.76	1.77	3.30	0.60	1.66	2.75	0.73	1.97	3.64
Q1	0.76	1.75	3.27	0.60	1.66	2.78	0.73	1.96	3.60
Q1_SLR	0.76	1.77	3.30	0.60	1.66	2.75	0.73	1.97	3.64
Q2	0.76	1.75	3.27	0.60	1.66	2.78	0.73	1.96	3.60
Q2_SLR	0.76	1.77	3.30	0.60	1.66	2.75	0.73	1.97	3.64



Tabela 3. Trânsito sedimentar acumulado no sentido Este-Oeste ($\times 10^6 \text{ m}^3$) obtido numericamente nos perfis analisados em diferentes horizontes temporais

	P1			P2			P3		
	10 anos	30 anos	50 anos	10 anos	30 anos	50 anos	10 anos	30 anos	50 anos
CR	0.05	0.47	1.23	0.24	0.80	1.58	0.12	0.51	1.19
CR_SLR	0.05	0.46	1.19	0.24	0.79	1.57	0.12	0.50	1.17
Q1	0.05	0.47	1.23	0.24	0.80	1.58	0.12	0.51	1.19
Q1_SLR	0.05	0.46	1.19	0.24	0.79	1.57	0.12	0.50	1.17
Q2	0.05	0.47	1.23	0.24	0.80	1.58	0.12	0.51	1.19
Q2_SLR	0.05	0.46	1.19	0.24	0.79	1.57	0.12	0.50	1.17

Tabela 4. Impacto do prolongamento do comprimento do molhe poente da Marina de Vilamoura no trânsito sedimentar no sentido Oeste-Este (%). Valores sombreados a vermelho indicam diminuição do trânsito sedimentar e valores a verde representam um aumento desse trânsito sedimentar

	P1			P2			P3		
	10 anos	30 anos	50 anos	10 anos	30 anos	50 anos	10 anos	30 anos	50 anos
VM	0.16	1.24	3.34	5.32	4.40	5.46	0.31	0.43	0.97
VM_SLR	0.15	1.18	3.12	5.34	4.33	5.38	0.29	0.41	0.95
VM1	0.16	1.24	3.34	5.32	4.40	5.46	0.31	0.43	0.96
VM1_SLR	0.15	1.18	3.12	5.34	4.33	5.38	0.29	0.41	0.95
VM2	0.16	1.24	3.34	5.32	4.40	5.46	0.31	0.43	0.97
VM2_SLR	0.15	1.18	3.12	5.34	4.33	5.38	0.29	0.41	0.95

*Nota: Os cenários acompanhados da sigla SLR designam as situações em que foi considerado o efeito da subida do nível médio da água do mar

Tabela 5. Impacto do prolongamento do comprimento do molhe poente da Marina de Vilamoura no trânsito sedimentar no sentido Este-Oeste (%). Valores sombreados a vermelho indicam diminuição do trânsito sedimentar e valores a verde representam um aumento desse trânsito sedimentar

	P1			P2			P3		
	10 anos	30 anos	50 anos	10 anos	30 anos	50 anos	10 anos	30 anos	50 anos
VM	19.78	4.00	2.68	0.43	1.32	1.21	0.00	0.56	0.65
VM_SLR	20.00	4.03	2.94	0.42	1.15	1.06	0.00	0.41	0.57
VM1	19.78	4.00	2.68	0.43	1.32	1.21	0.00	0.56	0.63
VM1_SLR	20.00	4.03	2.94	0.42	1.15	1.06	0.00	0.41	0.57
VM2	19.78	4.00	2.68	0.43	1.32	1.21	0.00	0.56	0.64
VM2_SLR	20.00	4.03	2.94	0.42	1.15	1.06	0.00	0.41	0.57

*Nota: Os cenários acompanhados da sigla SLR designam as situações em que foi considerado o efeito da subida do nível médio da água do mar



Em termos gerais, verifica-se que os impactos relativos a 50 anos são inferiores a 6%, em ambas as componentes do transporte sedimentar longitudinal (Oeste-Este e Este-Oeste). Numa análise mais detalhada do perfil P1, o impacto estimado do prolongamento do comprimento do molhe poente da Marina no trânsito sedimentar no sentido Oeste-Este, após um período inicial com um aumento muito ligeiro de aproximadamente 0.15%, ao fim de 50 anos é de uma diminuição de aproximadamente 3% (cerca de 109 000 m³ de sedimentos no total dos 50 anos em análise). Na direção Este-Oeste o impacto da extensão da estrutura reflete-se na redução do trânsito sedimentar. Esse impacto é percentualmente maior nos primeiros anos de simulação, aproximadamente 20%, o que em termos absolutos representa uma diminuição do volume total transportado nos primeiros 10 anos de aproximadamente 9 000 m³ (Figura 5). Ao fim de 50 anos de simulação, o impacto na redução do volume em transporte no perfil P1 na direção Este-Oeste é inferior a 3%, representando em termos absolutos uma diminuição de volume total de sedimentos transportado em 50 anos inferior a 35 000 m³.

No perfil P2 os resultados indicam que o impacto da extensão do molhe poente reflete-se na diminuição dos volumes em transporte nas duas direções analisadas. Ao fim de 50 anos de simulação, neste perfil a extensão do molhe poente leva a uma redução no volume total transportado no sentido Oeste-Este da ordem dos 5%, representando uma diminuição do volume total transportado de aproximadamente 150 000 m³ (Figura 5). No sentido Este-Oeste, o impacto na redução do volume de sedimentos transportado ao fim de 50 anos é de aproximadamente 1%, o que representa uma redução do volume total de sedimentos transportado em 50 anos, inferior a 20 000 m³.

No perfil localizado mais próximo do campo de esporões de Quarteira, perfil P3, o prolongamento do comprimento do molhe poente da marina leva a uma redução de transporte sedimentar na direção Oeste-Este que é crescente no tempo, mas inferior a 1% ao fim de 50 anos, representando em termos acumulados uma redução de volume de sedimentos transportado da ordem dos 35 000 m³ (Figura 5). Na direção Este-Oeste a extensão do molhe poente produz um aumento do trânsito sedimentar da ordem dos 0.6% ao fim de 50 anos, o que em termos absolutos representa um aumento de volume total transportado inferior a 8 000 m³.

Em resumo, o impacto que a extensão do molhe poente da Marina de Vilamoura pode ter na dinâmica sedimentar das áreas adjacentes faz-se sentir de forma mais significativa nas secções mais próximas da Marina, a barlar e a sotamar. Na secção P3, um pouco mais afastada, os impactos máximos rondam 1%. Note se que a ordem de grandeza destes valores encontra-se enquadrada com outras incertezas associadas à projeção de comportamentos futuros, nomeadamente as que se relacionam com a definição do clima de agitação, pelo que se pode considerar que os impactos são praticamente desprezáveis. Neste contexto refere-se os resultados da análise desenvolvida por Coelho *et al.* (2021), no âmbito do Estudo de Evolução da

Posição da Linha de Costa no Litoral de Quarteira, com o objetivo de avaliar incertezas na evolução da posição da linha de costa em função do clima de agitação considerado, sendo que, os resultados da análise referida indicam que diferentes cenários de clima de agitação resultam em diferenças na posição da linha de costa a oscilar entre -11% e +11%.

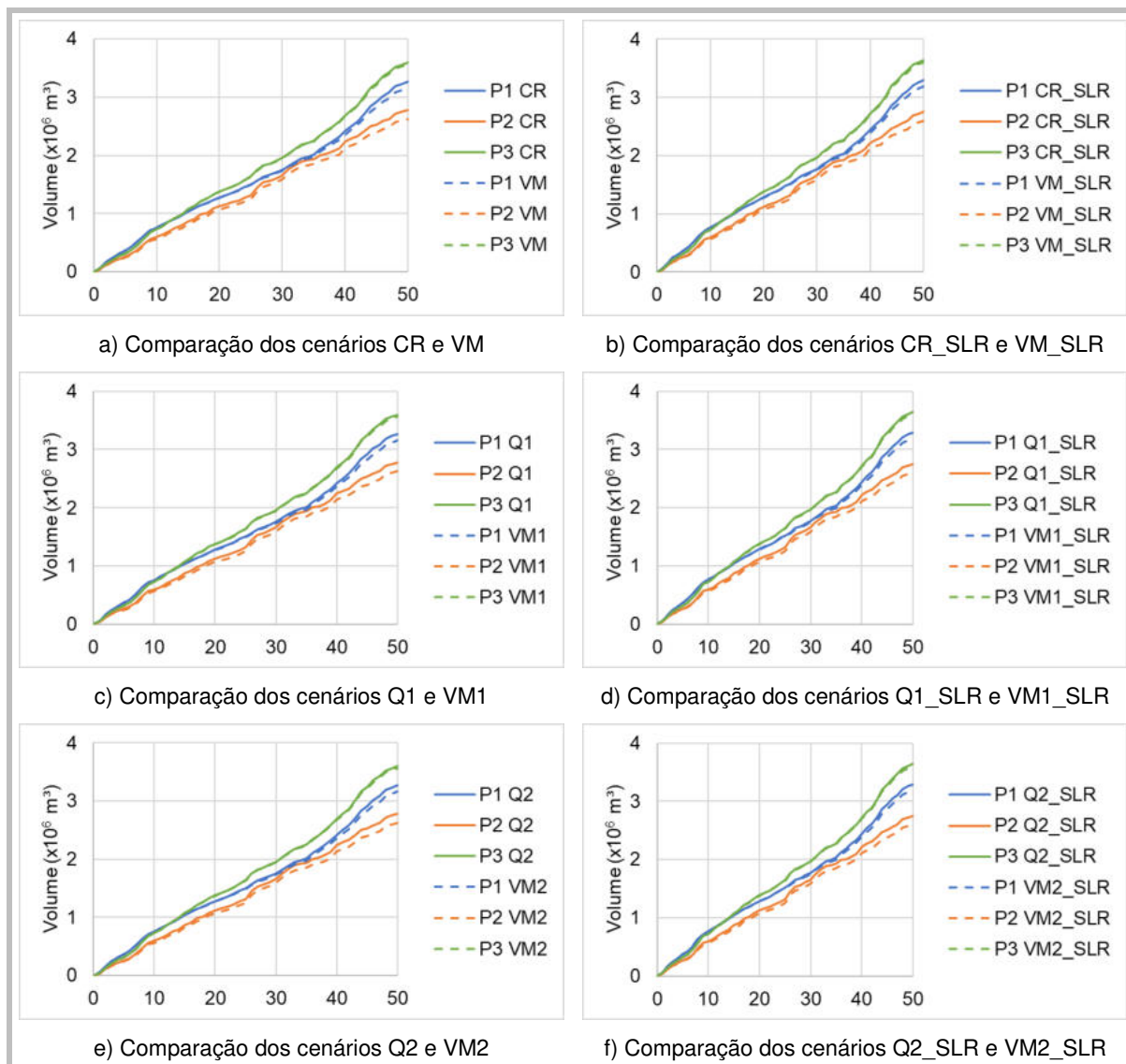


Figura 5. Comparação da evolução do trânsito sedimentar acumulado ao longo do tempo, na direção Oeste-Este, nos perfis analisados, entre cenários equivalentes

3.2. Impacto nas áreas de erosão/acreção na zona do campo de esporões da Quarteira

A Tabela 6 sintetiza o impacto do prolongamento do molhe ponte da Marina de Vilamoura nas áreas de erosão/acreção na zona do campo de esporões de Quarteira (setores S3 e S4).

Os resultados apresentados na tabela referem-se ao impacto percentual nos balanços de área perdida ou ganha em relação à linha de costa inicial para o cenário de prolongamento do molhe poente da Marina de Vilamoura, por comparação com os mesmos balanços de áreas no cenário equivalente, que não considera a extensão do comprimento do molhe poente.

Tabela 6. Impacto do prolongamento do comprimento do molhe poente da Marina de Vilamoura nas áreas de erosão/acreção nos setores S3 e S4 (%). Valores sombreados a vermelho indicam aumento da área em erosão e valores a verde representam diminuição dessa área

	S3			S4		
	10 anos	30 anos	50 anos	10 anos	30 anos	50 anos
VM	0.03	0.06	0.62	0.00	0.00	0.04
VM_SLR	0.00	0.03	0.16	0.00	0.01	0.02
VM1	0.00	0.11	0.48	0.00	0.01	2.36
VM1_SLR	0.00	0.05	0.38	0.02	0.47	0.10
VM2	0.00	0.21	13.63	0.00	0.01	0.08
VM2_SLR	0.00	0.05	-0.50	0.00	0.12	2.94

*Nota: Os cenários acompanhados da sigla SLR designam as situações em que foi considerado o efeito da subida do nível médio da água do mar

Genericamente, verifica-se que nos primeiros 30 anos de simulação a extensão do molhe poente da Marina de Vilamoura tem um impacto muito reduzido nas áreas de erosão/acreção na zona do campo de esporões de Quarteira, com variações inferiores a 1%.

Os maiores impactos do prolongamento do comprimento do molhe poente nas áreas de erosão/acreção em Quarteira são observados ao fim de 50 anos de simulação. No setor S3, verifica-se que o cenário VM2, ou seja, o cenário que combina o comprimento do molhe poente com a intervenção em Quarteira designada por Q2, é o que apresenta um maior impacto da extensão do comprimento do molhe poente. Esse impacto resulta numa maior perda de área (13.63%), correspondendo em valores absolutos ao fim de 50 anos, a aproximadamente 93 m².

A 50 anos, no setor S4 o maior impacto da extensão do comprimento do molhe poente da Marina de Vilamoura foi registado para o cenário VM2_SLR, isto é, o cenário que combina a intervenção na Marina de Vilamoura com o cenário de intervenção em Quarteira designado por Q2 e subida do nível médio da água do mar. Esse impacto é de aproximadamente 3%, o que em termos absolutos representa aumentar a perda de território em 22 m².

Em resumo, tal como na avaliação realizada para a dinâmica sedimentar, verifica-se que os impactos previstos para a evolução da linha de costa são muito reduzidos, enquadrando-se na ordem de grandeza das incertezas associadas à capacidade de modelação e de projeção de comportamentos futuros.



4. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Com o objetivo de obter uma projeção mais desfavorável dos potenciais impactos da intervenção na Marina de Vilamoura no litoral de Quarteira procedeu-se à realização de uma análise de sensibilidade aos resultados apresentados no capítulo 3. Nessa análise repetiu-se o estudo apresentado, quer em termos de cenários simulados, quer em termos de impactos avaliados (trânsito sedimentar e áreas de erosão/acreção), mas considerando que a intervenção na Marina de Vilamoura corresponde a um prolongamento da estrutura na direção perpendicular à linha de costa em 80 m. Refere-se que este cenário, ao considerar o prolongamento do molhe da Marina na perpendicular à linha de costa em 80 m, corresponde a uma situação extrema e muito conservativa, em relação à intervenção que está efetivamente preconizada para o molhe poente da Marina de Vilamoura no âmbito projeto da Nova Área de Atracação no Anteporto de Vilamoura. Seguidamente, apresenta-se os resultados da análise desenvolvida, em termos de impacto no trânsito sedimentar e nas áreas de erosão/acreção, na zona do campo de esporões de Quarteira.

4.1. Impacto no trânsito sedimentar

Na Tabela 7 e Tabela 8 apresenta-se o impacto do prolongamento do molhe poente da Marina de Vilamoura em 80 m no trânsito sedimentar. A projeção do impacto do prolongamento da estrutura no volume de sedimentos transportado em 50 anos é inferior a 11% em ambos os sentidos de transporte, sendo a secção P2 a zona mais sensível à intervenção, pela sua proximidade e localização, a sotamar da Marina de Vilamoura.

No perfil P1 (a barlar da Marina de Vilamoura), os resultados sugerem que a intervenção no molhe poente da Marina conduz a um aumento muito ligeiro no trânsito sedimentar no sentido Oeste-Este (inferior a 0.5%) nos primeiros 10 anos de simulação. Ao fim de 50 anos a intervenção produz uma diminuição do volume de sedimentos em transporte na direção Oeste-Este da ordem dos 6%, que em termos absolutos representa uma diminuição do volume de sedimentos total transportado em 50 anos inferior a 200 000 m³ (Figura 6). Na direção Este-Oeste a extensão da estrutura leva a uma redução no trânsito sedimentar, ficando nos primeiros 10 anos de simulação diminuído em cerca de 1/3, mas este impacto percentual tem pouco significado em termos absolutos (cerca de 16 000 m³, acumulados ao fim de 10 anos), por comparação com o volume médio anual de sedimentos em transporte no sentido Este-Oeste estimado para a área de estudo (38 000 m³/ano, de acordo com Coelho *et al.*, 2021). Ao fim de 50 anos de simulação, o impacto na redução do volume em transporte no sentido Este-Oeste no perfil é da ordem dos 5% (cerca de 60 000 m³).

Tabela 7. Impacto do prolongamento do comprimento do molhe poente da Marina de Vilamoura no trânsito sedimentar no sentido Oeste-Este (%) para um prolongamento da estrutura em 80 m. Valores sombreados a vermelho indicam diminuição do trânsito sedimentar e valores a verde representam um aumento desse trânsito sedimentar

	P1			P2			P3		
	10 anos	30 anos	50 anos	10 anos	30 anos	50 anos	10 anos	30 anos	50 anos
CR	0.76	1.75	3.27	0.60	1.66	2.78	0.73	1.96	3.60
VM	0.35	2.08	5.97	10.53	8.51	10.27	0.66	0.90	2.00
VM_SLR	0.33	1.98	5.60	10.57	8.38	10.21	0.65	0.89	2.04
VM1	0.35	2.08	5.97	10.53	8.51	10.27	0.66	0.90	1.99
VM1_SLR	0.33	1.98	5.60	10.57	8.38	10.21	0.65	0.89	2.04
VM2	0.35	2.08	5.97	10.53	8.51	10.27	0.66	0.90	2.00
VM2_SLR	0.33	1.98	5.60	10.57	8.38	10.21	0.65	0.89	2.04

*Nota: Os cenários acompanhados da sigla SLR designam as situações em que foi considerado o efeito da subida do nível médio da água do mar

Tabela 8. Impacto do prolongamento do comprimento do molhe poente da Marina de Vilamoura no trânsito sedimentar no sentido Este-Oeste (%), para um prolongamento da estrutura em 80 m. Valores sombreados a vermelho indicam diminuição do trânsito sedimentar e valores a verde representam um aumento desse trânsito sedimentar

	P1			P2			P3		
	10 anos	30 anos	50 anos	10 anos	30 anos	50 anos	10 anos	30 anos	50 anos
CR	0.05	0.47	1.23	0.24	0.80	1.58	0.12	0.51	1.19
VM	33.97	7.06	4.99	0.91	2.42	2.31	0.01	1.10	1.18
VM_SLR	34.34	7.14	5.11	0.89	2.07	2.01	0.01	0.85	1.00
VM1	33.97	7.06	4.99	0.91	2.42	2.31	0.01	1.10	1.16
VM1_SLR	34.34	7.14	5.11	0.89	2.07	2.01	0.01	0.85	1.00
VM2	33.97	7.06	4.99	0.91	2.42	2.31	0.01	1.10	1.17
VM2_SLR	34.34	7.14	5.11	0.89	2.07	2.01	0.01	0.85	0.97

*Nota: Os cenários acompanhados da sigla SLR designam as situações em que foi considerado o efeito da subida do nível médio da água do mar

No perfil P2 a intervenção leva à diminuição dos volumes em transporte, nos dois sentidos. Ao fim de 50 anos de simulação, neste perfil o prolongamento do molhe poente da Marina de Vilamoura em 80 m produz um impacto na redução do trânsito sedimentar no sentido Oeste-Este de aproximadamente 10% (o que representa cerca de 280 000 m³). No sentido Este-Oeste a redução do volume total transportado em 50 anos, entre os cenários avaliados, varia entre 2 a 2.3%, representando em termos absolutos uma redução de volume total de sedimentos transportado em 50 anos inferior a 40 000 m³.

A projeção a 50 anos do impacto do prolongamento do comprimento do molhe poente da Marina de Vilamoura no perfil P3 sugere uma redução do transporte no sentido Oeste-Este da ordem dos 2%, que em termos de volume acumulado em 50 anos representa uma redução inferior a 75 000 m³ (Figura 6). No sentido Este-Oeste a extensão do molhe produz um aumento do trânsito sedimentar da ordem de 1%, representando um aumento de volume total transportado, ao fim de 50 anos, inferior a 14 000 m³.

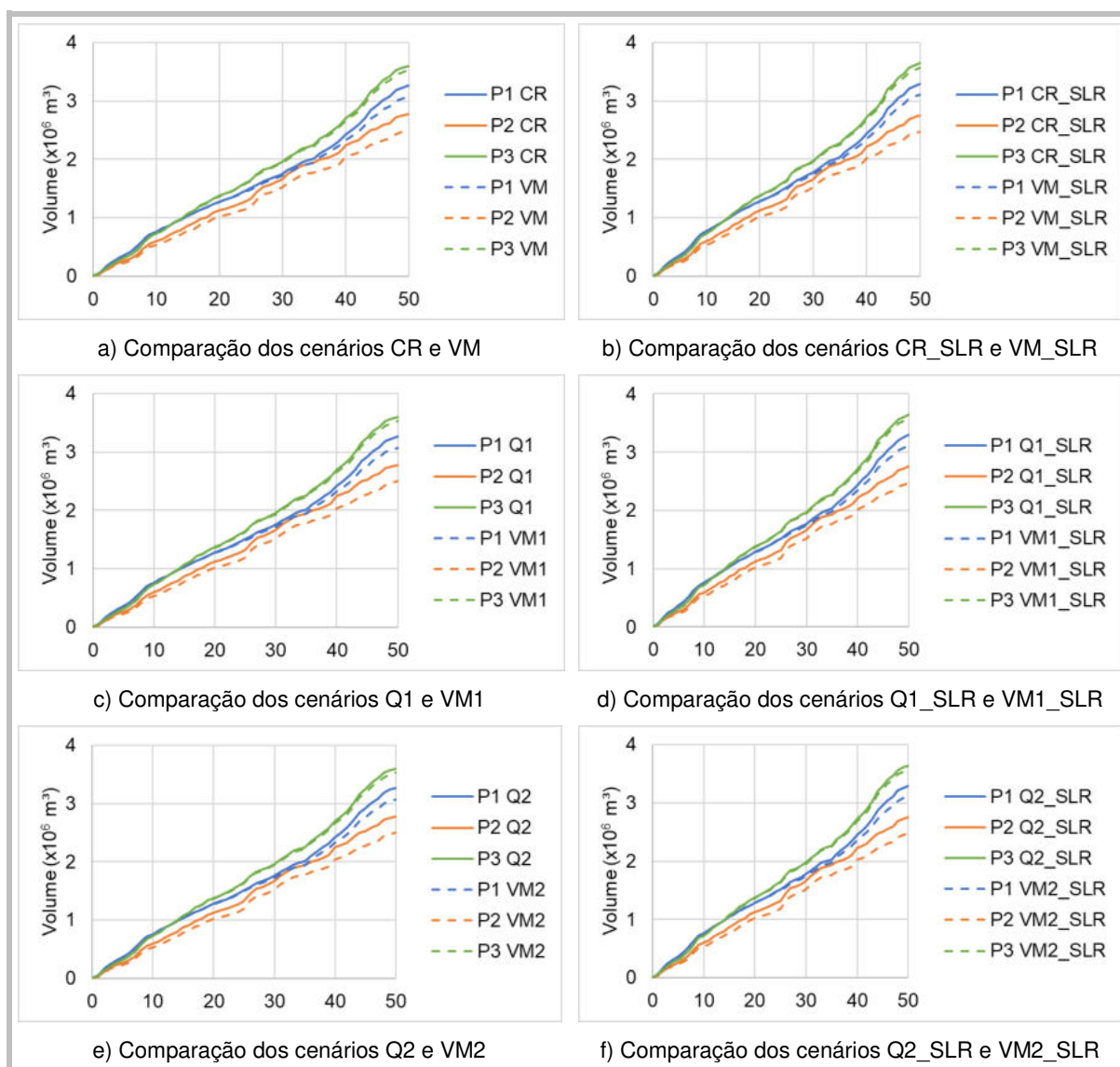


Figura 6. Comparação da evolução do trânsito sedimentar acumulado ao longo do tempo, na direção Oeste-Este, nos perfis analisados, entre cenários equivalentes (resultados para os cenários que consideram o prolongamento do comprimento do molhe poente em 80 m)

4.2. Impacto nas áreas de erosão/acreção na zona do campo de esporões da Quarteira

A Tabela 9 apresenta o impacto do prolongamento do molhe poente da Marina de Vilamoura nas áreas de erosão/acreção na zona do campo de esporões de Quarteira (setores S3 e S4), considerando o prolongamento da estrutura em 80 m. Em termos gerais, os resultados sugerem que a extensão do comprimento do molhe em 80 m tem um impacto reduzido nas áreas de erosão/acreção, sendo esse impacto nos primeiros 30 anos inferior a 1%.

Tabela 9. Impacto do prolongamento do comprimento do molhe poente da Marina de Vilamoura nas áreas de erosão/acreção nos setores S3 e S4 (%), para um prolongamento da estrutura em 80 m. Valores sombreados a vermelho indicam aumento da área em erosão e valores a verde representam diminuição dessa área

	S3			S4		
	10 anos	30 anos	50 anos	10 anos	30 anos	50 anos
VM	0.03	0.12	1.12	0.00	0.20	0.11
VM_SLR	0.00	0.02	0.35	0.00	0.01	0.06
VM1	0.00	0.18	1.30	0.00	0.02	5.79
VM1_SLR	0.00	0.15	1.01	0.00	0.49	0.23
VM2	0.00	0.28	20.60	0.00	0.02	0.00
VM2_SLR	0.01	0.15	1.62	0.01	0.09	2.06

*Nota: Os cenários acompanhados da sigla SLR designam as situações em que foi considerado o efeito da subida do nível médio da água do mar

Os maiores impactos nas áreas de erosão/acreção acontecem ao fim de 50 anos de simulação. No setor S3 o maior impacto é observado para o cenário VM2 (cenário que combina o comprimento do molhe poente com a intervenção em Quarteira designada por Q2), sendo esse impacto da ordem dos 20% (aproximadamente 140 m²). No setor S4, a projeção das áreas em erosão/acreção mostra que o maior impacto ocorre para o cenário que combina a intervenção na Marina com o cenário de intervenção em Quarteira designado por Q1. Em termos percentuais esse impacto é de 5.79%, correspondendo em valores absolutos a um aumento da área em acreção de cerca de 6 m², preservando mais tempo os sedimentos das alimentações artificiais de sedimentos projetadas para a Quarteira.



5. PROFUNDIDADE DE FECHO QUE CARACTERIZA O LITORAL DE VILAMOURA

A profundidade de fecho define a profundidade a partir da qual o perfil transversal à linha de costa não sofre modificações significativas, sendo as transferências sedimentares entre a praia emersa e imersa para além desta profundidade praticamente inexistentes (Coelho *et al.*, 2005; Santos *et al.*, 2014).

Hallermeier (1978) e Birkemeier (1985) apresentaram formulações simplificadas para a estimativa da profundidade de fecho, equações 1 e 2, respetivamente. De acordo, com estas formulações a profundidade é calculada para alturas de ondas junto à costa (aproximadamente a 10 m de profundidade) excedidas apenas 12h/ano (0.137% do tempo), dependente das características da agitação marítima (altura de onda significativa e período).

$$h_c = 2.28H_s - 68.5 \left(\frac{H_s^2}{gT_{H_s}^2} \right) \quad (1)$$

$$h_c = 1.75H_s - 57.9 \left(\frac{H_s^2}{gT_{H_s}^2} \right) \quad (2)$$

No presente estudo caracterizou-se a profundidade de fecho para o litoral de Vilamoura com base nas duas formulações acima referidas. Para a análise realizada, calculou-se a profundidade de fecho considerando o clima de agitação utilizado na componente do estudo referente a modelação numérica (série de registos de onda horária extraída da base de dados dos *Puertos del Estado* que contempla 50 anos de registos), de acordo com Coelho *et al.* (2021).

Com base na análise da frequência de alturas de onda concluiu-se que a altura que é excedida 12h/ano é próxima dos 3.89 m. Para esta altura de onda, a profundidade de fecho varia entre o valor máximo de 8.41 m obtida pela formulação de Hallermeier (1978), para uma onda com um período de 15.15 s, e um mínimo de 5.59 m pela formulação de Birkemeier (1985), para uma onda com um período de 8.55 s (Tabela 10).

Tabela 10. Características da agitação marítima e respetivas profundidades de fecho

	H_s (m)	T_{HS} (s)	h_c (m)	
			Hallermeier (1978)	Birkemeier (1985)
Mínimo	3.89	8.55	7.42	5.59
Máximo	3.89	15.15	8.41	6.42



Os resultados obtidos, por aplicação das fórmulas de Hallerrmeier (1978) e Birkemeier (1985), são em geral inferiores aos indicados por Teixeira e Macedo (2001), que apresentam valores guia da profundidade limite de remobilização sedimentar para o litoral meridional do Algarve, para intervalos entre 1 e 100 anos (Tabela 11). Segundo os autores, à escala dos 50 anos a profundidade de fecho é da ordem dos 12.3 m e à escala do século é de 14.0 m.

Tendo em conta a análise desenvolvida, quer em termos de cálculo da profundidade de fecho, quer em termos de revisão bibliográfica, os valores apresentados sugerem que não é previsível a mobilização sedimentar por ação da agitação marítima a cotas inferiores a -15.0 m (ZH), pelo que não se preveem impactos na dinâmica sedimentar ou na evolução da linha de costa, por efeito da deposição de sedimentos na batimétrica dos -40.0 m (ZH).

Tabela 11. Valores guia da profundidade limite de remobilização sedimentar - retirado de Teixeira e Macedo (2001)

Intervalo de tempo considerado (anos)	Profundidade (m-ZH)
1	7.0
5	8.9
10	9.9
25	11.3
50	12.3
100	14.0

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente relatório foi elaborado no âmbito do Projeto da Nova Área de Atracação no Anteporto de Vilamoura e teve como objetivo avaliar o potencial impacto do projeto previsto para a Marina, na dinâmica sedimentar a sotamar de Vilamoura, considerando os cenários preconizados para intervir no litoral de Quarteira, na sequência do Estudo Prévio de Soluções Alternativas de Restruturação dos Molhes de Quarteira. O trabalho baseou-se em resultados de modelação numérica através dos quais se projetou o impacto da extensão da Marina de Vilamoura no litoral de Quarteira a 50 anos, quer em termos de trânsito sedimentar, quer em termos de áreas em erosão/acreção. Para além dessa avaliação, foi caracterizada a profundidade de fecho representativa do litoral algarvio, de forma a identificar até que profundidades, eventuais intervenções possam ter impacto na dinâmica sedimentar.

No estudo realizado foi simulada a projeção da evolução da posição da linha de costa para um conjunto de 6 cenários distintos. Inicialmente, obteve-se a evolução da posição da linha de costa considerando a situação atual, sem serem realizadas novas intervenções (CR - Cenário de Referência), e para dois cenários de intervenção previstos para Quarteira, designados por Q1 e Q2. Posteriormente, estes cenários foram de novo simulados, mas considerando o prolongamento do comprimento do molhe poente da Marina de Vilamoura. Como se prevê que o prolongamento da estrutura aconteça numa orientação aproximadamente paralela à linha de costa e o modelo considerado não permite a representação de estruturas curvilíneas, numa abordagem aproximada de representação no modelo, considerou-se o prolongamento do molhe poente em 40 metros, numa direção perpendicular à linha de costa. Refere-se que a abordagem adotada de prolongar a estrutura da marina em 40 m é uma abordagem conservativa que avalia por excesso o impacto esperado para a intervenção do molhe poente da Marina de Vilamoura. Todos os cenários foram repetidos, considerando a subida do nível do mar por efeito das alterações climáticas. Posteriormente, numa análise de sensibilidade aos resultados procedeu-se à avaliação de uma situação extrema de prolongamento do molhe poente da Marina em 80 m.

Na avaliação dos resultados, compararam-se os cenários equivalentes em termos de intervenção na área de estudo, identificando-se desta forma o impacto do prolongamento do comprimento do molhe poente da Marina de Vilamoura. Os resultados mostram que a extensão do comprimento do molhe tem um impacto reduzido no trânsito sedimentar e nas áreas de erosão/acreção, não sendo expectável que se intensifique se o prolongamento do molhe poente for combinado com as intervenções previstas para Quarteira. Esta conclusão é sustentada pelo facto de os resultados terem mostrado impactos da mesma ordem de grandeza para o cenário que apenas considera o prolongamento do molhe poente (VM) e para os cenários que combinam a intervenção referida anteriormente com intervenções em Quarteira (QM1 e QM2). Para além disso, se for considerado



o efeito da subida do nível médio da água do mar, também se espera que o impacto do prolongamento do molhe poente seja semelhante. Tendo em conta os resultados obtidos, verifica-se que os impactos da extensão do prolongamento do molhe poente, combinado com as intervenções previstas para Quarteira, são da mesma ordem de grandeza das diferenças médias da posição da linha de costa associadas às incertezas que resultam da projeção do clima de agitação futuro. Como avaliado por Coelho *et al.* (2021), no âmbito do Estudo de Evolução da Posição da Linha de Costa no Litoral de Quarteira, diferentes cenários de clima de agitação resultaram em diferenças na posição da linha de costa a oscilar entre -11% e +11%.

Genericamente, a projeção a 50 anos indica que o maior impacto no trânsito sedimentar ocorre no volume transportado no sentido Oeste-Este, para o perfil P2 (imediatamente a sotamar da intervenção em Vilamoura). Para este perfil projeta-se a 50 anos, para todos os cenários analisados, uma diminuição do volume total de sedimentos em transporte em cerca de 5% o que em termos absolutos representa uma diminuição do volume total de sedimentos em trânsito em 50 anos da ordem dos 150 000 m³. O impacto no trânsito sedimentar reduz-se ao longo da extensão litoral da área de estudo, de Oeste para Este, pelo que, no perfil P3, localizado mais próximo do campo de esporões de Quarteira, o impacto na redução do transporte sedimentar para todos os cenários simulados é inferior a 1%, ao fim de 50 anos de simulação (uma diminuição de aproximadamente 35 000 m³). Os maiores impactos nas áreas de erosão/acreção foram obtidos no setor S3 (13%). Esse impacto relativo resulta de áreas muito pequenas, pelo que os valores absolutos ao longo do tempo são considerados muito reduzidos.

Os resultados da análise de sensibilidade realizada reforçam a conclusão que a intervenção prevista para o molhe poente da Marina de Vilamoura tem um impacto reduzido na evolução da linha de costa e no trânsito sedimentar. Para este cenário extremo de prolongamento da estrutura, os maiores impactos no trânsito sedimentar no sentido Oeste-Este ao fim de 50 anos de simulação foram registados no perfil P2, representando uma diminuição do volume total de sedimentos em trânsito em 50 anos de aproximadamente 280 000 m³. No sentido Este-Oeste, o maior impacto a 50 anos acontece no perfil P1, correspondendo a uma diminuição do trânsito sedimentar de cerca 5% (diminuição do volume total em trânsito da ordem dos 60 000 m³, em 50 anos).

A caracterização da profundidade de fecho do litoral algarvio sugere que não é previsível a mobilização sedimentar por ação da agitação marítima do volume a depositar na batimétrica dos -40.0 m (ZH).



Aveiro, 15 de março de 2023





REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Birkemeier, W. A. (1985). Field Data on Seaward Limit of Profile Change. *Journal of Waterways, Ports, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE, Vol. 111(3), pp. 598-602.

CERC (1984). *Shore Protection Manual*, Vol. 1. DC: U.S. Army Corps of Engineers. Coastal Engineering and Research Center. U.S. Government Printing Office.

Coelho, C. (2005). *Riscos de Exposição de Frentes Urbanas para Diferentes Intervenções de Defesa Costeira*. Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, 404 p.

Coelho, C., Ferreira, A.M., Pombo, R. (2021). *Estudo de Evolução da Linha de Costa no Litoral de Quarteira - Relatório Final*. R5Marine Solutions e Universidade de Aveiro, 70 p.

Hallermeier, R. J. (1978). Uses for a Calculated Limit Depth to Beach Erosion. *Proceedings of 16th Coastal Engineering Conference*, ASCE, Hamburg, Germany, pp. 1493-1512.

Santos, F., Lopes, A., Moniz, G., Taborda, R. e Ramos, L. (2014). *Gestão da Zona Costeira: O Desafio da Mudança*. Relatório do Grupo de Trabalho do Litoral, 237 pp.

Teixeira, S. e Macedo, F. (2001). *Prospecção de manchas de empréstimo ao largo de Albufeira (Algarve)*. Relatório Técnico. Direção Geral do Ambiente e Ordenamento do Território do Algarve, 59 p.