



## PROLONGAMENTO DO MOLHE NORTE DO PORTO DE LEIXÕES. NOVAS ÁREAS PARA O SURF

Alice Bortoli (\*); António Trigo-Teixeira (\*\*)

(\*) Universidade de Bolonha e (\*\*) Instituto Superior Técnico.  
[alice.bortoli@studio.unibo.it](mailto:alice.bortoli@studio.unibo.it), [trigo.teixeira@tecnico.ulisboa.pt](mailto:trigo.teixeira@tecnico.ulisboa.pt)

### Resumo

No presente artigo apresentam-se as alterações nas condições de agitação ao longo da praia de Matosinhos, em consequência do prolongamento do molhe norte do Porto de Leixões. Está prevista a construção de um novo terminal de contentores e a recepção de navios de maior porte. Os estudos efectuados mostraram ser necessário prolongar o molhe para garantir a segurança da navegação. A actividade do surf desenvolve-se, em boa parte, na zona de sombra do molhe norte. O prolongamento do molhe determina a alteração do clima de agitação na praia de Matosinhos e consequentemente nas áreas de surf, que deverão deslocar-se mais para a extremidade sul da praia.

Compara-se a situação de referência antes do prolongamento com a situação após o prolongamento do molhe, tendo em vista avaliar as alterações que serão introduzidas nas características da onda na rebentação e sobre as condições para o surf. Para o efeito, foi utilizada uma série longa de dados de agitação marítima ao largo de Leixões. As estatísticas calculadas com base nesta série permitiram identificar os cenários a simular, estabelecendo mar típico dos meses de inverno (dezembro, janeiro, fevereiro); valores intermédios dos meses de primavera e outono (março, abril, outubro, novembro); valores mínimos dos meses mais quentes (de maio a setembro).

Foram utilizados dois modelos matemáticos: o modelo STWAVE de média em fase para fazer a propagação do largo para o local da obra, e o modelo CGWAVE de resolução de fase para estudar a propagação local. Sendo um modelo de resolução de fase, o CGWAVE permite estudar em pormenor a difracção e rebentação da onda e a sua interacção com obstáculos.

O estudo permitiu concluir que a zona de sombra do molhe crescerá para sul, e que a actividade do surf se deverá deslocar para a extremidade sul da praia onde haverá novas áreas para o surf. No cenário representativo dos meses de inverno as características das ondas na rebentação permanecem inalteradas em 25% da extensão da praia, ou seja, no seu extremo sul. Na restante extensão a rebentação da onda sofre um claro impacto do prolongamento do molhe, pois a zona de sombra é maior.

Após o prolongamento do molhe, no cenário representativo dos meses de primavera/outono e verão, permanecem níveis de agitação menos interessantes para a prática do surf. As melhores condições continuam sempre a encontrar-se na extremidade sul da praia de Matosinhos, junto ao Castelo do Queijo.

### Introdução

A praia de Matosinhos situa-se no norte de Portugal, no concelho de Matosinhos, imediatamente a sul do Porto de Leixões (Figura 1). A praia, que tem uma extensão de 1 km e é constituída por areia, representa um importante centro de surf e atrai surfistas de todo o mundo.

A sombra do molhe norte do porto confere à praia uma grande atractividade desportiva, pois pode acolher actividades de surf de todos os níveis: surfistas iniciados povoam a zona de praia junto à área mais abrigada pelo molhe, enquanto surfistas com mais experiência se dirigem para o sector sul da praia com ondas mais altas. A prática do surf faz-se durante todo o ano, enquanto nos meses de outono e inverno a agitação é maior.

Este artigo estuda a alteração das condições das ondas na praia de Matosinhos na sequência da extensão do molhe norte do Porto de Leixões. A construção de um novo terminal justifica-se



pela necessidade de renovação da estrutura portuária, que é um dos principais portos comerciais do país.

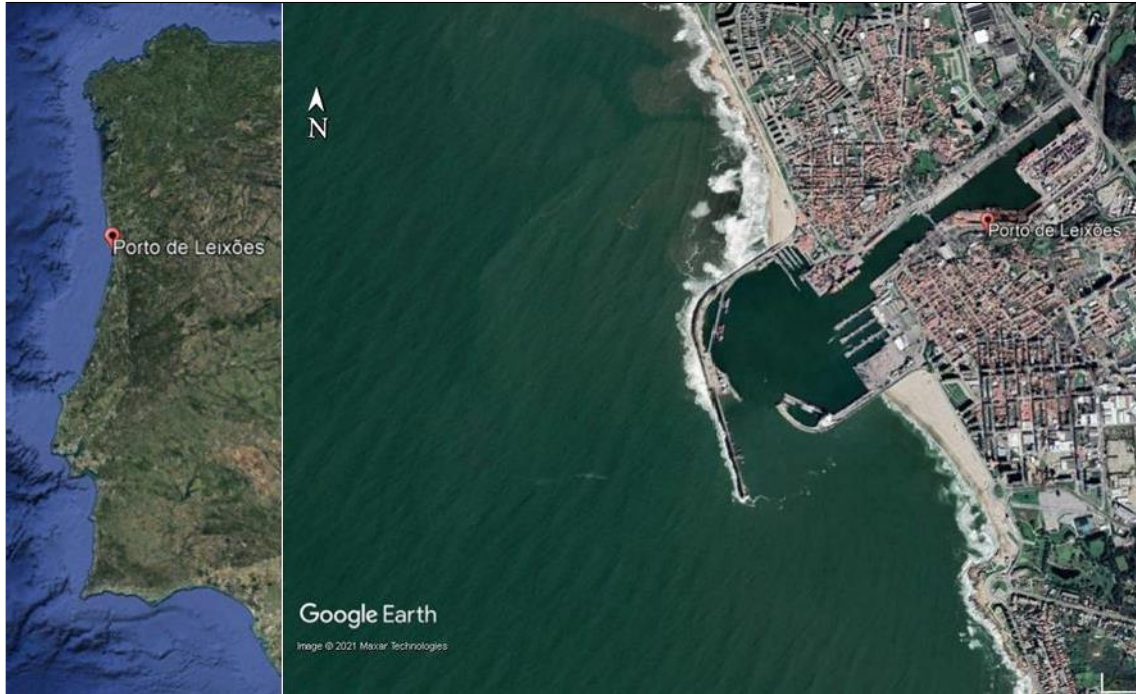


Figura 1. Localização do Porto de Leixões.

O novo molhe apresenta-se como uma barreira, que se estende por 300 m de comprimento e 13 m de altura, e colocada em frente à praia aumentando significativamente a área de sombra e afetando a surfabilidade das ondas (Figura 2).

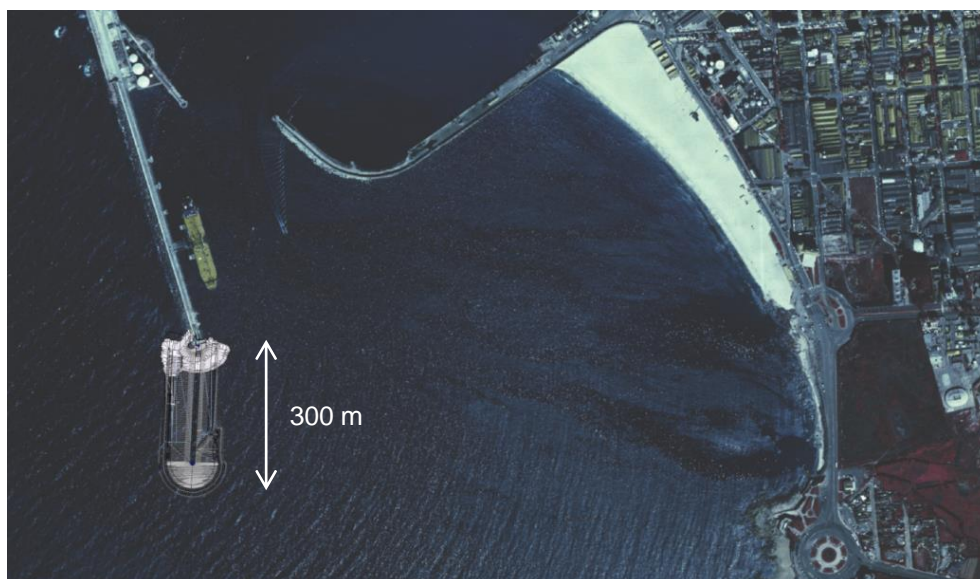


Figura 2. Prolongamento do molhe norte do Porto de Leixões.



O objectivo deste trabalho é avaliar, por meio de dois modelos matemáticos, os períodos do ano que serão mais penalizados pela construção da estrutura e, quantificar as alterações nas condições de agitação marítima.

O que ficará demonstrado é que o projeto de ampliação do molhe norte do Porto de Leixões tem impactos nas condições de ondas da praia de Matosinhos relativamente à atividade de surf, o que obriga à mudança da actividade para novas áreas. A prática deste desporto poderá ser mantida no local, mas apenas por períodos mais limitados do ano e numa parte menor da praia.

## Métodos

Para identificar as alterações das condições de agitação marítima na área de estudo, é bem analisar como mudam os parâmetros característicos das ondas, ou seja, a altura da onda ( $H$ ), o período ( $T$ ), e a direção média de propagação das ondas ( $\Theta$ ) antes e depois da expansão do molhe, tendo em conta cenários de simulação que sejam representativos do clima ao largo da praia.

A metodologia utilizada prevê a identificação dos cenários a analisar a partir do clima típico ao largo da praia de Matosinhos. O estudo da viabilidade da prática do surf será realizado através da utilização de dois modelos matemáticos de propagação de ondas: STWAVE e CGWAVE, ambos acessíveis através do SMS (Surface-water Modeling System), (“Aquaveo - Water Resources Software & Engineering Services,” 2021).

O estudo do clima típico foi conduzido por meio da análise de dados de reanálise do dataset ERA5: “*ERA5 hourly data on single levels from 1979 to present*” (Hersbach et al., 2018), em referência a um ponto localizado ao largo, de coordenadas  $41.3^\circ$  N e  $-9.25^\circ$  E. Foi extraída e analisada uma série temporal de 40 anos, de 1979 até 2019, a cada 3h. As variáveis obtidas foram: componente total da onda; componente swell; velocidade do vento a 10m de altitude. O software WindRose Pro3 (Bellasio, 2018) permitiu obter diagramas polares e outros dados estatísticos em base anual e mensal. A partir destes dados, foram indicados os meses mais representativos do clima típico relativos às épocas com agitação marítima maior, média e menor do ano.

O STWAVE (Massey et al., 2011) é um modelo espectral de transformação de ondas: através da propagação do espectro das ondas é capaz de transferir a informação ( $H, T, \Theta$ ) conhecida em águas profundas para uma área localizada em águas rasas e próxima à área de interesse. A construção do modelo foi feita tendo por base o levantamento batimétrico fornecido pela Administração Portuária posteriormente integrado por meio da digitalização de duas cartas do Instituto Hidrográfico da Marinha (“Caminha a Aveiro”; Carta n° 24201; Escala 1:150000; 1ª Edição, julho 1999 e “Aproximações a Leixões e à Barra do Rio Douro”; Escala 1:30000). A grelha de cálculo é constituída por células quadradas de  $50\text{m} \times 50\text{m}$  (Figura 3). Os outputs mais relevantes são a altura da onda ( $H_{m0}$ ) e do índice de rebentação antes e depois da expansão do molhe. Este modelo permitiu comparar a agitação na situação atual com a que ocorrerá depois da construção do novo molhe.

O CGWAVE (Demirbilek and Panchang, 1998) é um modelo bidimensional que permite modelar os fenómenos aos quais a onda está sujeita durante a sua propagação em direção à costa. Sendo um modelo de resolução de fase, possibilita a simulação da interação entre a onda e as estruturas. A construção do modelo foi realizada com base na batimetria disponibilizada pela Administração Portuária, tendo um domínio de cálculo menor (Figura 4). A malha foi definida para obter um grau de resolução que possui 10 elementos triangulares por comprimento de onda. O modelo espectral forneceu os dados de input ao modelo CGWAVE, a altura significativa da onda foi convertida de modo a obter  $H_{1/10}$ , mais apropriada para o objectivo deste trabalho pois indica uma onda com altura maior, se comparada com a altura significativa, e portanto de maior interesse para a prática do surf. O modelo CGWAVE permitiu investigar com mais promenor o fenómeno da rebentação e as modificações da geometria da zona de rebentação, comparando os resultados antes e depois da extensão do molhe norte.

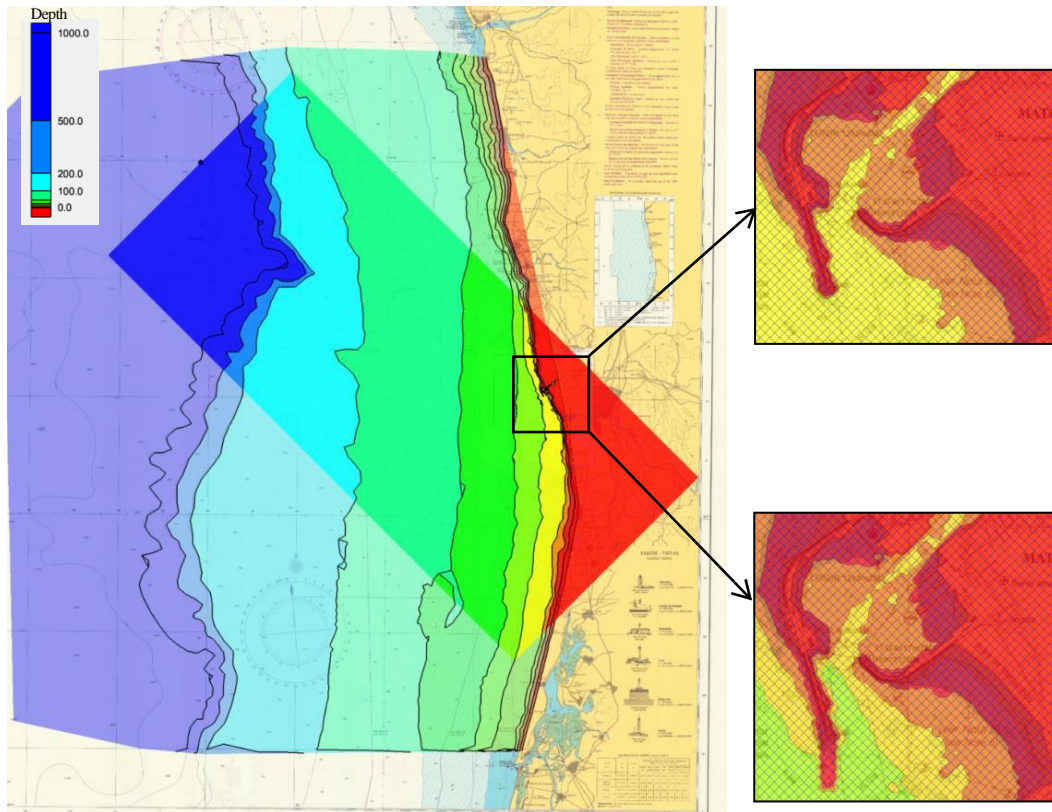


Figura 3. Domínio STWAVE. Layout atual do porto de Leixões (acima) e pós-extensão do molhe (abaixo).

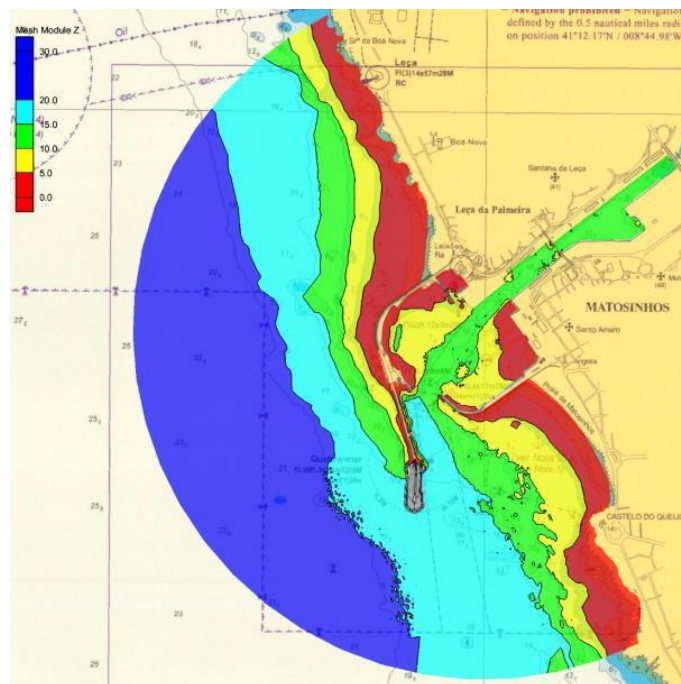


Figura 4. Domínio CGWAVE. Layout do porto de Leixões pós-extensão do molhe.



## Resultados

### Clima da agitação ao largo

A Figura 5 representa a rosa de distribuição da componente swell da onda. A subdivisão adotada inclui classes de altura significativa da onda de 1 m de altura e direções em sectores de 22.5 °.

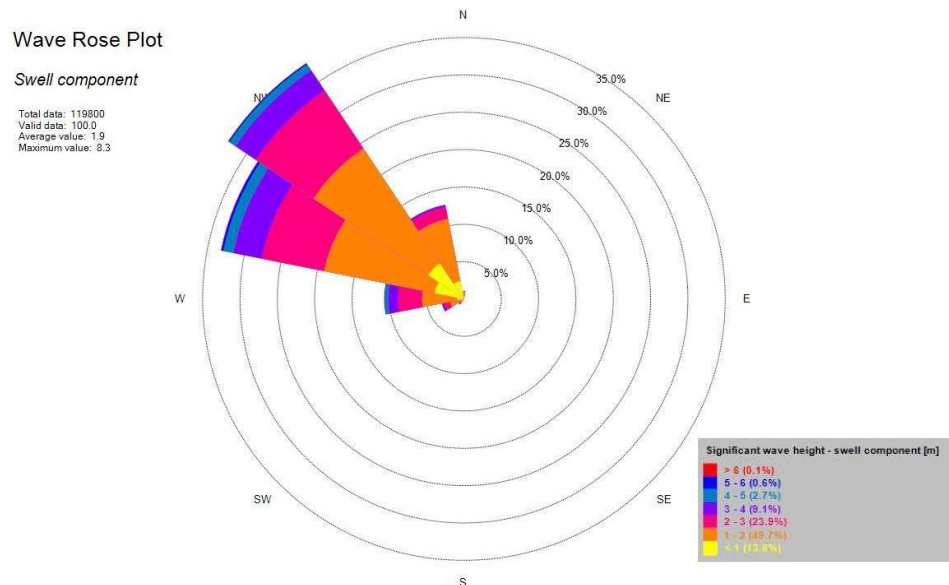


Figura 5. Rosas da componente swell da onda em base anual, para o ponto de coordenadas 41.3° N e -9.25° E, durante o período 1979-2019 (40 anos).

Foi realizada uma rosa de distribuição da componente swell para cada mês, referente aos anos 1979-2019, de modo a identificar como mudam a altura da onda e a direção de propagação da onda ao longo do ano. A partir da análise estatística foi possível identificar três cenários de simulação representativos da área de interesse. Em particular, observou-se o seguinte ao largo da praia de Matosinhos: os valores máximos de agitação das ondas são registados nos meses de inverno (dezembro, janeiro, fevereiro); valores intermédios nos meses de primavera e outono (março, abril, outubro, novembro); valores mínimos nos meses mais quentes (de maio a setembro). Cada cenário compreende os parâmetros da onda incidente ( $H_s, T_p, \Theta$ ) e altura da maré ( $S$ ). A direção de propagação predominante nos meses de inverno é WNW, nos outros períodos do ano é NW.

O período de pico foi calculado com base no período médio, usando a fórmula indicada no CEM Parte II (US Army Corps of Engineers, 2008):  $T_p = c * T_m$ , onde  $c$  é um parâmetro entre 1.1 e 1.3, e foi considerado igual a 1.2.

A Tabela 1 representa os cenários de simulação escolhidos.

Tabela 1. Cenários de simulação representativos do clima ao largo do Porto de Leixões.

Cenários	$H_s$ [m]	$T_p$ [s]	$\Theta$ [°N]	$S$ [m]
Cenário I: Janeiro	2.6	12.6	292.5	+2.00
Cenário II: Abril	1.9	10.8	315.0	+2.00
Cenário III: Julho	1.2	9.6	315.0	+2.00



### STWAVE

Na Figura 6 apresenta-se a altura significativa da onda em cada cenário de cálculo.

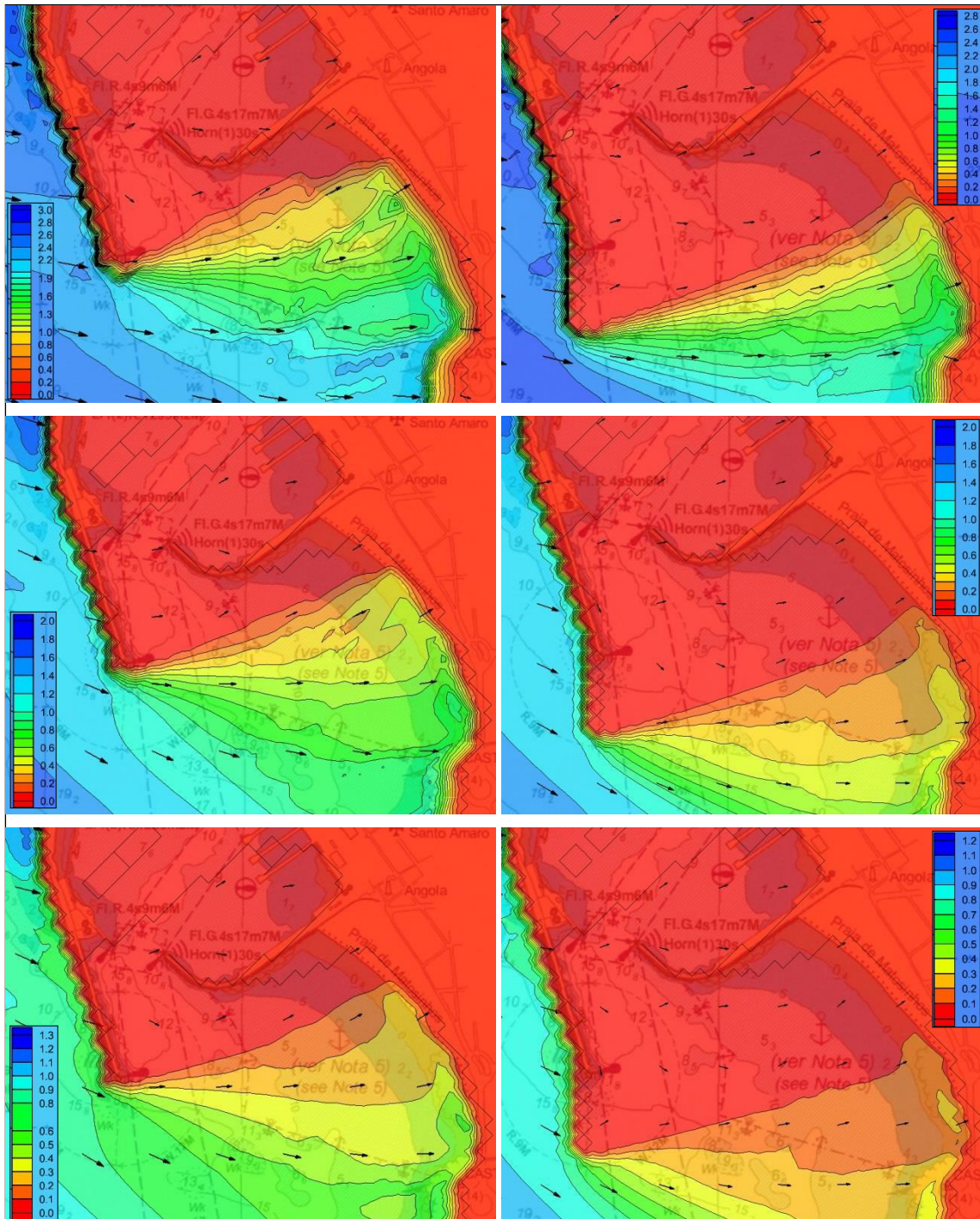


Figura 6. Altura significativa da onda relativa à configuração atual do porto (esquerda) e à configuração posterior à expansão do molhe (direita). Cenário I – janeiro (acima), Cenário II – abril (no centro), Cenário III – julho (abaixo).

O prolongamento do molhe implica em todos os cenários um aumento na área de sombra do porto (onde  $H_s = 0.0$  m). A área de sombra é mais ampla nos cenários II e III, relativos respectivamente aos meses de abril e julho, nos quais a direção de propagação das ondas é  $315^\circ$  N. Uma penalização menor é observada no cenário I, relativo a janeiro, em que a direção de propagação das ondas está mais rodada para oeste ( $292.5^\circ$  N).

A Figura 7 apresenta a redução da surf zone em consequência do prolongamento do molhe.

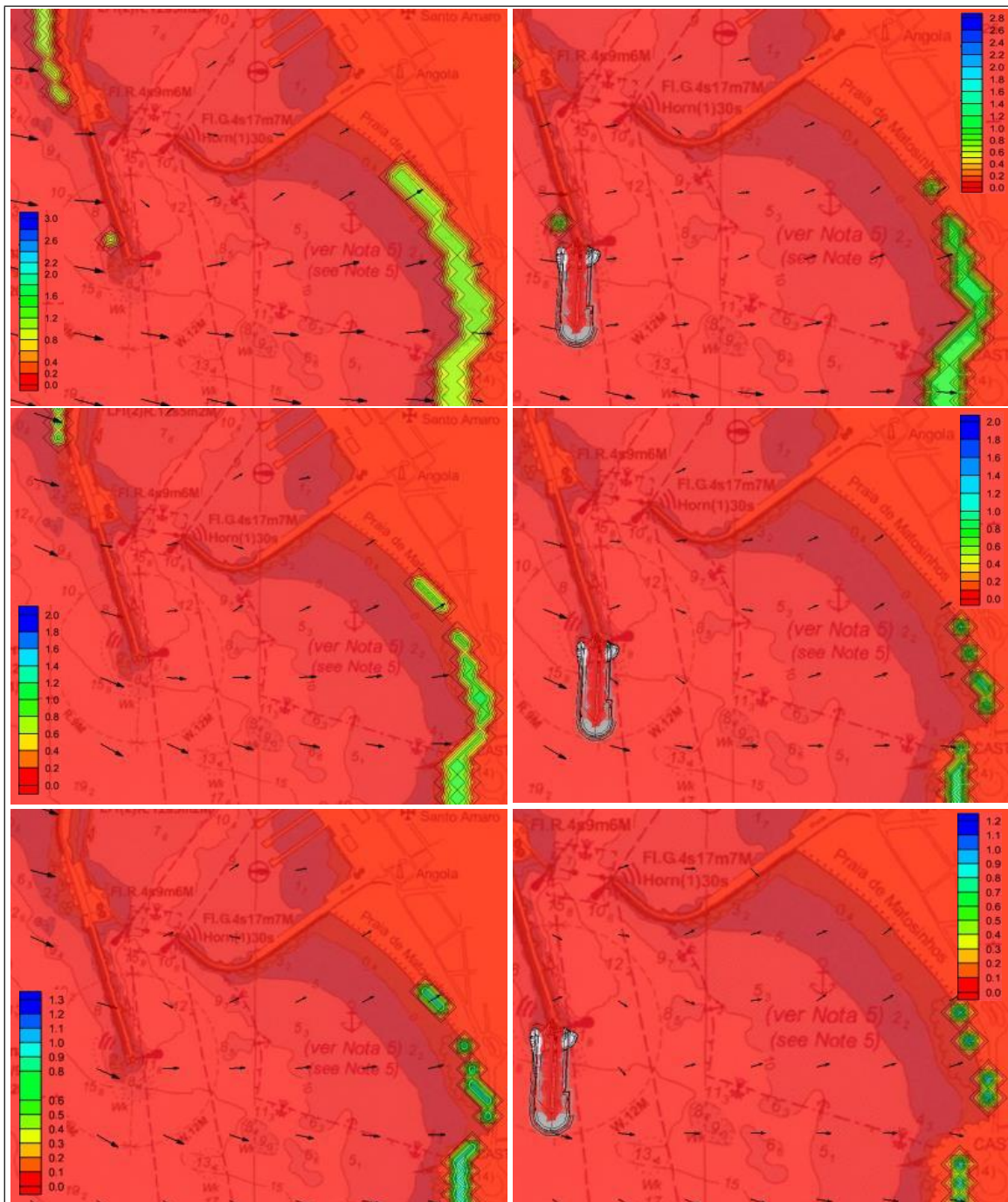


Figura 7. Índice de rebentação na configuração atual do porto (esquerda) e pós-intervenção (direita). Cenário I – janeiro (acima), Cenário II – abril (no centro), Cenário III – julho (abaixo).

Em todos os cenários verifica-se a redução da área da zona de rebentação, mantendo-se quase exclusivamente na zona sul da praia, localizada a uma maior distância do molhe. O cenário I continua a ser aquele que oferece uma maior extensão da surf zone. No cenário III, em que o valor da altura de onda ao largo é menor, a construção da obra vai quase extinguir a zona de rebentação, que se manterá só de forma residual na parte sul da praia.

#### CGWAVE

##### Breaker Index

A Figura 8 apresenta a rebentação das ondas em termo de breaker index antes e depois da construção da obra.

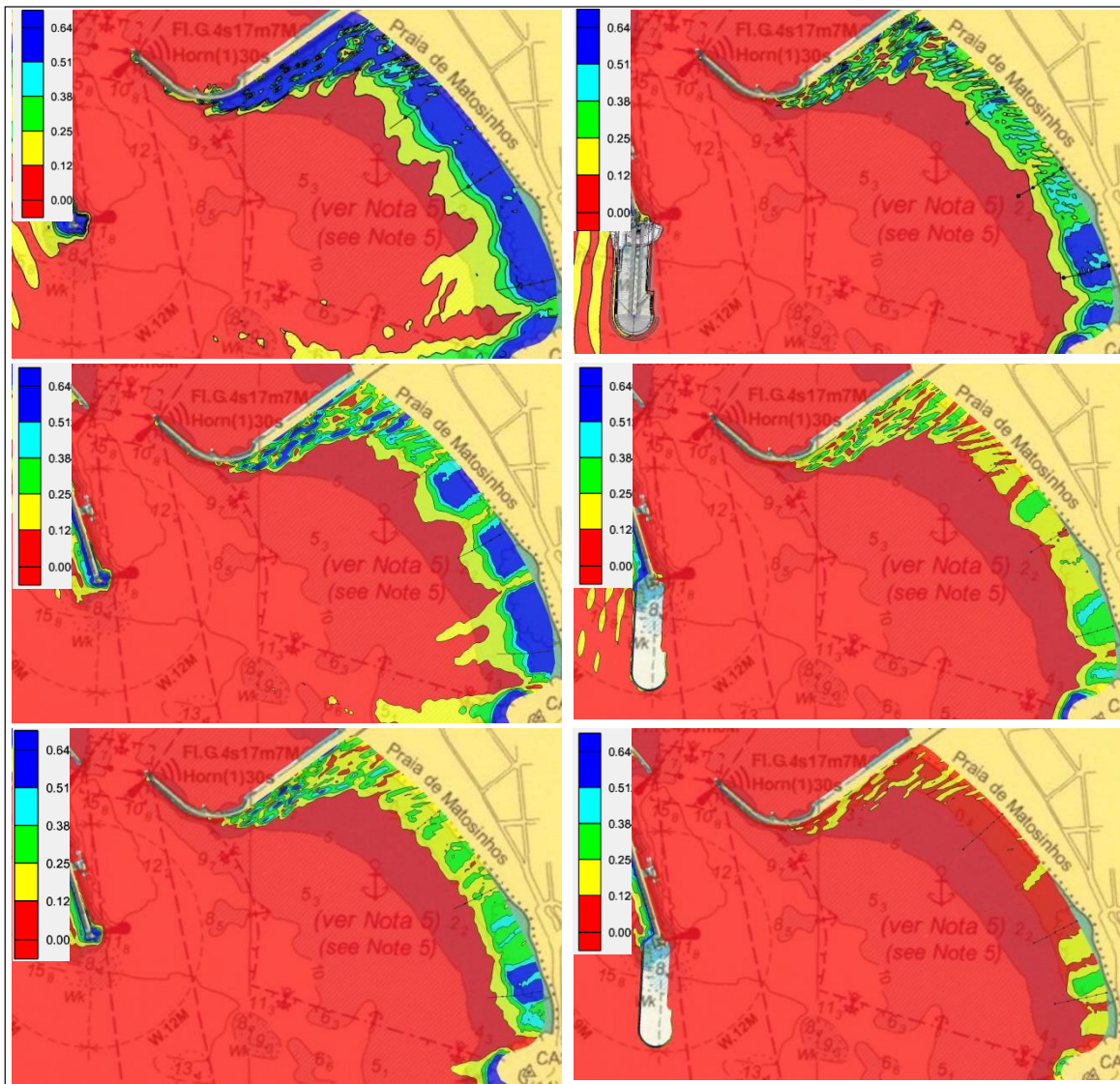


Figura 8. Breaker index relativo à configuração atual (esquerda) e à configuração subsequente a expansão do molhe (direita). Cenário I – janeiro (acima), Cenário II – abril (no centro), Cenário III – julho (abaixo).

Os resultados do modelo CGWAVE foram processados para calcular o breaker index ( $Y = H / h$ ). Este parâmetro indica que quando a relação entre a altura da onda ( $H$ ) e a profundidade ( $h$ )

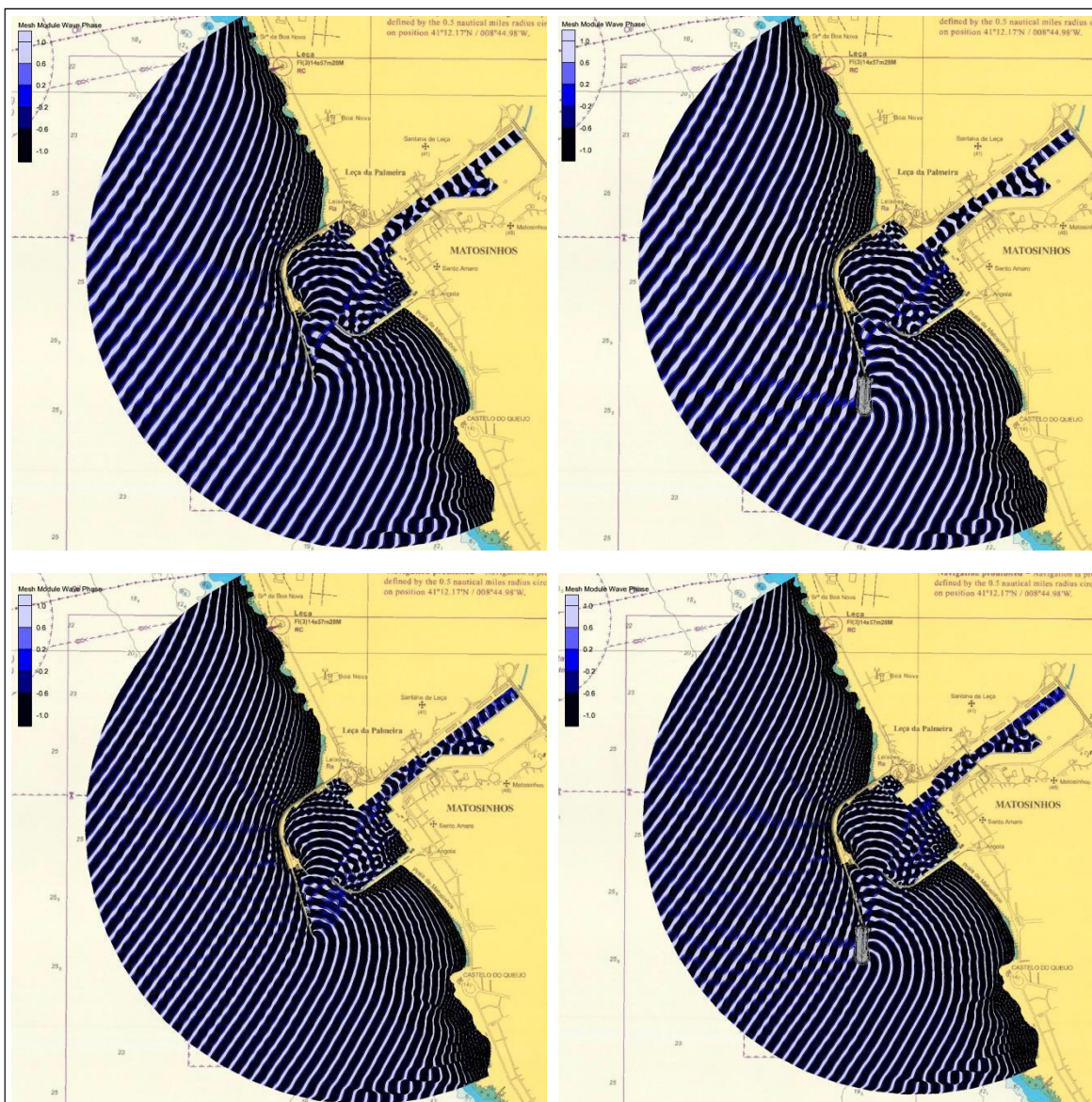


excede o valor 0.64 se verifica a rebentação. Uma comparação da zona de rebentação em relação à configuração atual do porto e a configuração pós-intervenção permite quantificar a porção da praia em que o surf será impedido e localizar a área em que este será mantido.

A diminuição da breaker zone nos vários cenários varia em dependência dos dados de agitação. O cenário I, considerada a elevada altura da onda e o rumo de propagação mais rodado para oeste, é aquele que apresenta uma área de sombra menor e mantém condições favoráveis para o surf no extremo sul. A ação da estrutura portuária é maior no caso em que haja uma altura da onda menor e uma direção de propagação rodada mais para norte (cenários II e III). Os resultados do modelo CGWAVE confirmam o que já era antecipado pelo modelo STWAVE: o cenário I (agitação de inverno) é o que vai ser menos afetado pelo prolongamento do molhe.

#### Wave phase angle

A Figura 9 representa o andamento das cristas das ondas nas duas configurações portuárias.



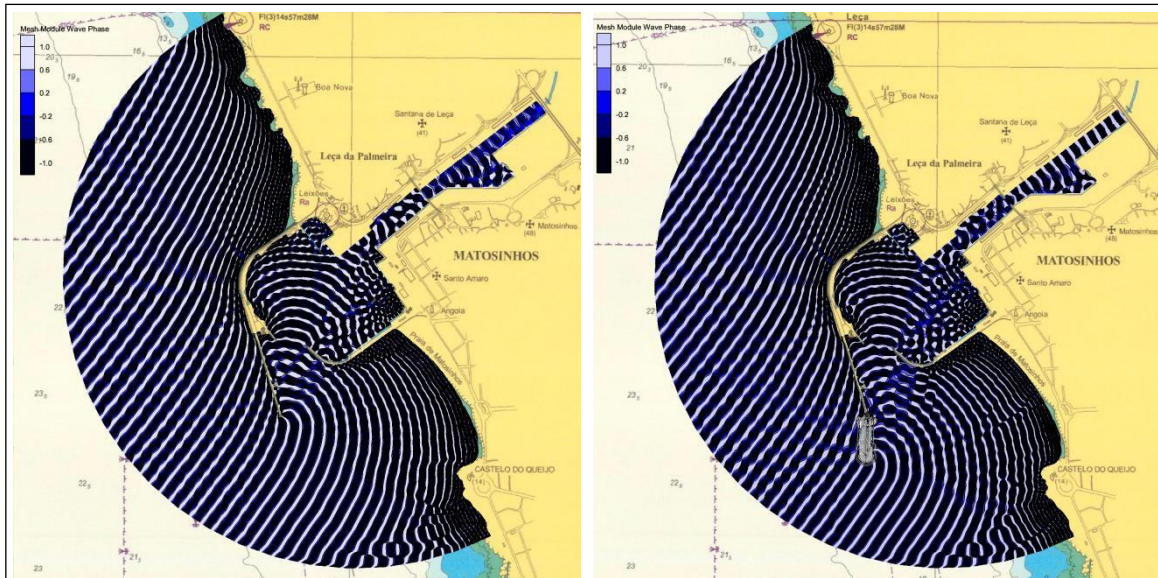


Figura 9. Diagrama de fase (cristas das ondas) relativo à configuração atual do porto (esquerda) e a configuração subsequente a expansão do molhe (direita). Cenário I – janeiro (acima), Cenário II – abril (no centro), Cenário III – julho (abaixo).

O diagrama de fase permite ver vários aspectos que afetam a propagação da onda, incluindo:

- A direção de propagação;
- O fenômeno da refração: as ondas ao aproximarem-se da costa mudam de direção e tendem a ficar paralelas à linha de costa e às batimétricas;
- O modelo simula o processo de difração no qual a onda interage com as estruturas portuárias;
- O fenômeno da refração é evidenciado pela diminuição do comprimento de onda que separa duas cristas de onda adjacentes à medida que a onda se aproxima da costa.

### Conclusão

No Cenário I, representativo das condições de inverno, a atividade de surf, ainda que de forma reduzida, estará preservada e os surfistas terão que se deslocar para o extremo sul da praia a fim de encontrar as condições para a prática desta actividade desportiva.

No Cenário II, representativo do mês de abril, a atividade do surf está comprometida, na zona sul da praia permanece um nível de rebentação das ondas mais intenso, mas ainda não ideal para a prática do surf.

No Cenário III, representativo do mês de julho, as condições das ondas são inadequadas para a prática do surf, os desportistas terão que encontrar novas áreas para o surf.

Em conclusão, o projeto de ampliação do molhe norte do Porto de Leixões tem impactos nas condições de ondas da praia de Matosinhos no que diz respeito à atividade de surf. A prática deste desporto poderá ser mantida no local nalguns períodos do ano, em particular naqueles em que ocorrem alturas significativas de onda de maior altura e em que os rumos estão mais rodados a oeste. Estima-se que nestas condições, o surf possa ser mantido em 25% da extensão da praia de Matosinhos, junto ao seu extremo sul.



### **Agradecimentos**

Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e Tecnologia o suporte dado através do financiamento UIDB/04625/2020 do centro de investigação CERIS. Agradecem à Universidade de Bolonha e ao programa “Bando per l'erogazione di borse di studio per periodi di ricerca all'estero finalizzati alla preparazione o l'approfondimento della tesi di laurea magistrale”, que possibilitou a preparação da tese de mestrado no Instituto Superior Técnico de Lisboa. Agradecemos à APDL a visita ao Porto de Leixões. Os autores agradecem ainda o uso dos Produtos Copernicus.

### **Referências Bibliográficas**

- Aquaveo - Water Resources Software & Engineering Services. (2021). <https://www.aquaveo.com/>
- Bellasio, R. (2018). “WindRose PRO User's Guide Version 3.1.x”. User's Guide, Enviroware srl, 110.
- Demirbilek, Z., Panchang, V. (1998). “CGWAVE: A Coastal Surface Water Wave Model of the Mild Slope Equation”. Washington, D.C.: U.S. Army Corps of Engineers, 124.
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Rozum, I., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Dee, D., Thépaut, J-N. (2018). ERA5 hourly data on single levels from 1979 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). 10.24381/cds.adbb2d47
- Massey, T.C., Anderson, M.E., Smith, J.M., Gomez, J., Jones, R. (2011). “STWAVE: Steady-State Spectral Wave Model - User's Manual for STWAVE”. Washington, D.C.: U.S. Army Corps of Engineers, Version 6.0, 90.
- USACE. (2008). “Coastal engineering manual”. Washington, D.C.: U.S. Army Corps of Engineers, 2, 623.