



Universidade de Aveiro Departamento de Física
2019

**Miguel Ângelo
Santos Simões**

**Impacto de um temporal na morfologia da praia de
Mira. Aplicação do modelo *XBeach***



**Miguel Ângelo
Santos Simões**

**Impacto de um temporal na morfologia da praia de
Mira. Aplicação do modelo *XBeach***

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Ciências do Mar e da Atmosfera, realizada sob a orientação científica da Doutora Cristina Maria de Almeida Bernardes, Professor Associada do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro e da Doutora Angela Fontán Bouzas, Investigadora pós-doutoral, Departamento de Geociências Marinas, Grupo GEOMA, Universidade de Vigo.

o júri
Presidente

Doutor José M. Castanheira
Professor auxiliar do Departamento de Física da Universidade de Aveiro

Doutor Umberto Andriolo
Investigador pós-doutoral do Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores (INESC) da
Universidade de Coimbra

Doutora Angela Fontán Bouzas
Investigadora pós-doutoral, Departamento de Geociências Marinas, Grupo GEOMA, Universidade
de Vigo

agradecimentos

A realização desta dissertação foi o culminar de mais uma etapa da minha vida, sendo a sua conclusão apenas possível graças ao apoio de grande grupo de pessoas, entre os quais familiares, amigos e docentes. Por isso, queria agradecer a essas pessoas por estarem presentes e me apoiarem, ao longo de todo o percurso, independente do momento.

Um agradecimento especial as minhas orientadoras, Doutora Cristina Maria de Almeida Bernardes e Doutora Angela Fontán Bouzas, pelos ensinamentos, críticas, sugestões, e principalmente pelo apoio e paciência que demonstraram ao longo deste período.

palavras-chave

XBeach, perfil 1D, grelha 2D, evolução morfológica, litorais arenosos, praia de Mira

resumo

A praia de Mira está inserida num sector costeiro onde predominam os processos erosivos, devido ao clima de agitação marítima, altamente energético, e à carência de sedimentos que entram no sistema. Este sector, durante o inverno marítimo, é frequentemente assolado por temporais, que possuem um grande poder destrutivo. Esta conjugação, associada às fragilidades morfológicas deste sector, tornam necessário a criação de estratégias, de forma a atenuar os impactos causados pelos temporais. Com o objetivo de prover o conhecimento para a criação dessas estratégias, procedeu-se à aplicação e calibração do modelo *XBeach*, de forma a simular a tempestade de 2 de Fevereiro de 2017 que assolou a zona de estudo. Foram realizadas simulações de dois perfis transversais, localizados em setores distintos da praia de Mira, de forma a estudar a variabilidade espacial e temporal apresentada por cada sector. Para além disso, procedeu-se ao estudo sobre a importância das ondas infra gravíticas e das morfologias de fundo, na evolução de um perfil praia-duna. Por fim, foi realizada a simulação do temporal para uma grelha bidimensional representativa da área a sotamar do esporão do Poço da Cruz. A aplicação do modelo na zona de estudo mostrou diferentes produtos para os dois perfis, apresentando apenas bons resultados para um dos perfis. De uma forma geral o modelo conseguiu reproduzir os processos costeiros e, conseqüentemente, a evolução dos perfis. As ondas infra gravíticas, assim como a presença de barras submersas, apresentaram uma grande preponderância na evolução dos perfis, sendo um parâmetro a ter em conta no estudo de litorais arenosos.

keywords

XBeach, profile 1D, grid 2D, morphological evolution, sandy coast, Mira beach.

abstract

Praia de Mira is located in a coastal sector where erosive processes predominate, due to a highly energetic sea conditions and the deficit of sediments in the system. This sector, during the maritime winter, is often exposed to storms, which has great destructive power. This situation, associated with the morphological fragilities of this sector, makes it necessary to create strategies to mitigate the impacts caused by storms. In order to provide the knowledge to create these strategies, the application and calibration of the XBeach model was performed, in order to simulate the storm of February 2, 2017 that affected the study zone. Simulations of two transverse profiles, located in different sectors of Mira beach, were carried out in order to study the spatial and temporal variability presented by each sector. In addition, the study of the importance of infra-gravitational waves and bottom morphologies in the evolution of a beach-dune profile was also performed. Finally, a simulation of the storm was performed for a two-dimensional grid representative of the area on the downdrift side of the *Poço da Cruz* groyne. The application of the model in the study area showed different outcomes for both profiles, but only the results for the profile located in the downdrift side of *Poço da Cruz* groyne are good enough. In general, the model can reproduce coastal processes and the evolution of the profiles. On the other hand, infra-gravitational waves, as well as the presence of submerged bars, presented a great preponderance in the evolution of the profiles, being a parameter to be considered in the study of sandy coastlines.

Índice Geral

Índice Geral.....	i
Lista de Figuras.....	iii
Lista de Tabelas	v
1. Introdução.....	1
1.1. Apresentação do Tema	1
1.2. Motivação e Objetivos	2
1.3. Estado da Arte	3
2. Enquadramento Teórico	7
2.1. Ambiente Litoral.....	7
2.1.1. Praia	9
2.1.2. Processos Costeiros.....	13
2.2. Descrição do modelo <i>XBeach</i>	20
2.2.1. Impacto de Tempestades	22
3. Zona de Estudo.....	23
3.1. Enquadramento Geográfico	23
3.2. Enquadramento Geológico e Geomorfológico	24
3.3. Enquadramento Oceanográfico.....	25
3.3.1. Agitação Marítima	25
3.3.2. Marés	26
3.3.3. Correntes.....	26
3.3.4. Temporais.....	26
3.4. Enquadramento Climático.....	28
3.4.1. Vento.....	28
3.5. Intervenções Costeiras.....	28
4. Dados e Métodos	31
4.1. Dados	31
4.1.1. Dados Topográficos e Topo-batimétricos.....	31
4.1.2. Dados Hidrodinâmicos	33
4.2. Aplicação do modelo <i>XBeach</i>	34
4.2.1. Simulação 1D	35

4.2.2. Simulações 2D.....	41
4.3. Calibração e Validação	42
5. Resultados e Discussão	43
5.1. Variabilidade temporal e espacial	43
5.2. Simulações <i>XBeach</i>	48
5.2.1. Cenário 1	49
5.2.2. Cenário 2	52
5.2.3. Cenário 3	54
5.2.4. Cenário 4	57
5.2.5. Simulação da Grelha 2D	59
6. Conclusão.....	65
7. Bibliografia	67
Anexo A	I
Anexo B.....	III

Lista de Figuras

Figura 1 – Terminologia e limites utilizados no estudo de litorais arenosos. (Fonte: http://www.aprh.pt/rgci/glossario/praias.html).....	7
Figura 2 - Perfis de praia: a) Perfil refletivo; b) Perfil Dissipativo e c) Perfil Intermédio. Editado de Komar, 1998.	10
Figura 3 - Morfologias de praia: a) Cúspides e b) Sistema Crista/Canal	11
Figura 4 – Barra submarina: a) Processo de formação; b) Processo de destruição.....	12
Figura 5- Processo de fluxo e refluxo de uma onda.	14
Figura 6 - Características de uma onda.	15
Figura 7 - Propagação das ondas de águas profundas para águas menos profundas.	17
Figura 8 - Fenómeno de refração.	18
Figura 9 - Fenómeno de difração.....	19
Figura 10 - Modos de funcionamento do XBeach: a) Modo Hidrostático; b) Modo Não Hidrostático.	21
Figura 11 – Regimes de tempestades (Sallenger,2000).	22
Figura 12 - Zona de estudo. A norte é visível o esporão da praia do Poço da Cruz e, a sul, o início do aglomerado urbano da Praia de Mira.....	23
Figura 13 - Enquadramento geológico da zona de estudo (Bettencourt & Ângelo, 1992).	24
Figura 14- Localização das estruturas de defesa costeira no setor Barra- Praia de Mira (Romão, 2014). CN – Costa Nova	29
Figura 15 - Obtenção de dados topográficos: a) Sistema DGPS-RTK; b) Sistema INSHORE.	32
Figura 16 - Embarcação Nereide.	32
Figura 17 - Série de maré.....	33
Figura 18 - Séries dos parâmetros de agitação marítima.....	34
Figura 19 - Representação das coordenadas náuticas: linha vermelha corresponde ao thetamax, linha azul corresponde ao thetamin e a zona amarela corresponde ao dtheta.	37
<i>Figura 20 - Tratamento dos dados topo-batimétricos em ArcGIS : A) projeção das coordenadas GPS; B) criação do polígono delimitador; C) criação do MDT (modelo digital terrestre); D) criação da grelha no Dashboard.</i>	<i>41</i>
Figura 21 – Grelha Topo-batimétrica e localização dos perfis entre a praia do Poço da Cruz e a Praia de Mira.....	43
Figura 22 - Perfis topográficos do p3.....	44
Figura 23 - Campanha de 1 de Fevereiro no p3: a) Baixa praia; b) Média e Alta Praia e c) Duna.....	45
Figura 24 - Campanha de 8 de Fevereiro no p3: a) Baixa praia; b) Média e Alta Praia.....	45
Figura 25 - Perfis topográficos do p6.....	46
Figura 26 - Campanha de 1 de Fevereiro no p6: a) Baixa e média praia; b) Média e Alta Praia.....	47

Figura 27 - Campanha de 8 de Fevereiro no p6: a) Baixa praia; b) Média e Alta Praia.....	47
Figura 28 - Simulação do perfil sem barras submersas, sob o efeito da onda infra gravítica.	49
Figura 29 - Simulação do perfil com uma barra submersa, sob o efeito da onda infra gravítica.	49
Figura 30 - Simulação do perfil com duas barras submersas, sob o efeito da onda infra gravítica.	50
Figura 31 - Simulação do perfil sem barras submersas, desprezando o efeito da onda infra gravítica.	52
Figura 32 - Simulação do perfil com uma barra submersa, desprezando o efeito da onda infra gravítica.	52
Figura 33 - Simulação do perfil com duas barras submersas, desprezando o efeito da onda infra gravítica.	53
Figura 34 - Simulação do perfil sem barras submersas, sob o efeito da onda infra gravítica.	54
Figura 35 - Simulação do perfil com uma barra submersa, sob o efeito da onda infra gravítica.	55
Figura 36 - Simulação do perfil com duas barras submersas, sob o efeito da onda infra gravítica.	55
Figura 37 - Simulação do perfil sem barras submersas, desprezando o efeito da onda infra gravítica.	57
Figura 38 - Simulação do perfil com uma barra submersa, desprezando o efeito da onda infra gravítica.	57
Figura 39 - Simulação do perfil com duas barras submersas, desprezando o efeito da onda infra gravítica.	58
Figura 40 - Simulação: 2 de Fevereiro 00:00h.	60
Figura 41 - Simulação: 2 de Fevereiro 06:00h.	60
Figura 42 - Simulação: 2 de Fevereiro 12:00h.	61
Figura 43 - Simulação: 2 de Fevereiro 18:00h.	61
Figura 44 - Simulação: 3 de Fevereiro 00:00h.	62
Figura 45 - Configuração da grelha bidimensional no DashBoard.	III

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Conceitos e definições.	13
Tabela 2 - Condições de fronteira.	38
Tabela 3 - Parâmetros de avalanche.	39
Tabela 4 - Parâmetros estatísticos dos sedimentos.	39
Tabela 5 - Classificação de desempenho com base no Brier Skill Score (BSS) proposto por van Rijn et al. (2003).	42
Tabela 6 - Classificação de desempenho das simulações (Perfil p3) sob o efeito de ondas infra gravíticas, com base no BSS.	51
Tabela 7 - Classificação de desempenho das simulações (p3) desprezando o efeito de ondas infra gravíticas, com base no BSS.	54
Tabela 8 - Classificação de desempenho das simulações (p6) sob o efeito de ondas infra gravíticas, com base no BSS.	56
Tabela 9 - Classificação de desempenho das simulações (p6) desprezando o efeito de ondas infra gravíticas, com base no BSS.	59
Tabela 10 - Keywords e valores utilizados nas simulações. Valor 1: corresponde as simulações que utilizaram a onda infra gravítica; Valor 2: Corresponde as simulações que desprezaram a onda infra gravítica	I

1. Introdução

1.1. Apresentação do Tema

As zonas costeiras são locais bastante complexos em termos de processos. Nelas ocorre a interação entre a atmosfera, a terra e o oceano, promovendo trocas de matéria e energia entre estes sistemas (Olsen *et al.*, 2009).

Em termos históricos, as zonas costeiras têm tido uma enorme importância no crescimento e no desenvolvimento da sociedade, devido à abundância de recursos que fornecem, como alimentos e matérias-primas. Para além dos recursos, estas zonas possibilitam e/ou favorecem a realização de certas atividades, como o comércio, a pesca e, mais recentemente (em termos históricos), o turismo. Deste modo, a fixação de comunidades na zona costeira aconteceu de forma natural, sendo que, nos dias de hoje, 40% da população mundial encontra-se fixada em zonas costeiras, com tendência para este número aumentar (Burke *et al.*, 2001; IOC/UNESCO *et al.*, 2011).

Embora a fixação populacional em zonas costeiras apresente enormes vantagens, também significa estar exposto a certos processos de risco natural. Os riscos mais evidentes são a exposição às consequências que advêm do aumento do nível médio do mar, da erosão costeira e dos eventos meteorológicos extremos. Dependendo da magnitude destas contingências, e no caso dos eventos meteorológicos extremos, da duração e da frequência de ocorrência dos mesmos, viver em zonas costeiras pode, desta forma, expor as populações a consequências nefastas, que culminam em danos/perdas económicas e/ou humanas. Para além dos eventos referidos, podem ainda ocorrer outros eventos na sequência deles, como é o caso das inundações, das intrusões salinas, dos deslizamentos de terra e das derrocadas, levando a um aumento exponencial do número de danos/perdas económicas e/ou humanas.

Enquanto a subida no nível médio do mar e a erosão costeira são processos lentos e graduais, se considerarmos a escala de tempo geológico, e as consequências dos mesmos apenas são perceptíveis a médio/longo prazo, os eventos meteorológicos extremos são processos instantâneos, o mesmo significando que as suas consequências são visíveis imediatamente após a sua

ocorrência. Nesse sentido, torna-se importante referir a influência que as alterações climáticas podem exercer na ocorrência destes eventos. Estima-se que, devido às alterações climáticas, ocorra uma intensificação destes eventos, quer em termos de intensidade, quer em termos de frequência de ocorrência (Bengtsson *et al.*, 2009).

A intensificação dos eventos meteorológicos extremos contribuirá para um aumento do número de perdas e danos na zona costeira que abrange a erosão e destruição das dunas, os episódios de galgamento e inundação e a redução da extensão da praia, devido à remobilização dos sedimentos por ação da forte agitação marítima.

Sendo impossível evitar a ocorrência destes eventos, torna-se necessário conter e minimizar os estragos que eles podem causar. Nesse sentido, é necessário usar as ferramentas disponíveis, como é o caso dos modelos de previsão, de forma a simular os possíveis impactos provocados por eventos meteorológicos extremos (por exemplo, as tempestades), como vão interagir com a zona costeira e as mudanças em termos da geomorfologia e do zonamento de ambientes. Com estas informações, torna-se possível definir estratégias de proteção e de minimização de riscos, bem como a criação de planos de contingência para situações de emergência. Para além disto, o conhecimento proveniente do uso dessas ferramentas pode ser bastante útil no planeamento e na gestão da zona costeira, de forma a tomar precauções relativas à ocorrência de situações potencialmente perigosas.

1.2. Motivação e Objetivos

No panorama português, a zona costeira assume uma grande importância estratégica a vários níveis, desde o económico, ao social, do recreativo ao cultural. A relevância atribuída à zona costeira portuguesa pode ser explicada pelo facto de $\frac{3}{4}$ da população estar aí concentrada e pela contribuição de 85% para o PIB do país (APA, 2012).

Assim, e numa perspetiva futura, é claro que tem de haver uma mudança de atitude em relação à ocupação e proteção costeira. Esta mudança passa pelo uso de ferramentas como a modelação, que permitem atuar antecipadamente à ocorrência de processos de risco, de forma a minimizar e/ou mitigar os impactos na zona costeira e na sociedade.

O uso do programa *XBeach* alia a capacidade de simular temporais, e a interação dos mesmos com as características da zona costeira e demais estruturas como, por exemplo, obras de defesa. A sua aplicação possibilita observar a evolução da zona costeira, em termos morfológicos, no decurso de um temporal e faculta o processo de previsão dos impactos desses fenómenos.

A presente dissertação tem como principais objetivos:

1. O estudo de perfis transversais e sua variabilidade temporal e espacial ao longo da zona em estudo.
2. A aplicação, calibração e avaliação do modelo *XBeach* para a zona de estudo.
3. A análise de cenários, consoante as características do temporal.
4. O estudo da importância das ondas infra gravíticas e das morfologias de fundo, e o seu papel na variabilidade do perfil praia-duna.
5. Aplicação e calibração do modelo 2D para toda a extensão da praia.

1.3. Estado da Arte

O recuo da linha de costa, o aumento da erosão costeira e do risco de inundações de zonas costeiras, entraram na agenda de várias entidades, como por exemplo a União Europeia (EU). Nesse sentido a EU, através de parcerias com diversas instituições, principalmente universidades, levou a cabo um conjunto de projetos de dimensão internacional, que visa estudar os diversos problemas costeiros de forma a obter informações importantes para a gestão e planeamento destas áreas.

Um dos primeiros projetos realizados foi o *EUROSION*, em 2001. O objetivo deste projeto passava pela obtenção de informação sobre a erosão costeira

(causas, consequências, evolução), de forma a criar um banco de dados, facilitando assim a criação e posterior implementação de políticas e práticas de gestão costeira.

O projeto *Conscience* foi lançado em 2007, com o objetivo de reforçar a implementação de uma gestão sustentável das zonas costeiras, baseada em políticas e práticas criadas com base nos dados obtidos pelo projeto *EUROSION*. As experiências realizadas em seis locais pilotos permitiram obter algumas informações revelantes no que diz respeito aos problemas costeiros. Segundo Alcamo (2007), o aumento do nível médio do mar fará com que a rebentação ocorra mais perto da costa, levando a que a ondulação que atinja o litoral seja mais energética, promovendo a erosão e, conseqüentemente, o recuo da linha de costa. O mesmo autor, aponta para a migração dos ambientes litorais para o interior, acompanhada de perdas de zonas húmidas, que podem chegar aos 20%. Leont'yev (2003) refere, no entanto, que as estratégias de proteção costeira, assim como as mudanças no comportamento dos temporais (aumento da frequência e da intensidade) podem ter um papel mais preponderante sobre as taxas de erosão costeira, do que o aumento do nível médio da água do mar.

Neste sentido, as previsões ganharam um grande destaque aquando do planeamento e da gestão de zonas costeiras. Nessa corrente de pensamento surgiu o projeto *Micore*, o qual tem, com principal objetivo, o desenvolvimento de modelos que possam prever o impacto de eventos de temporal na morfologia das zonas costeiras. As previsões efetuadas serão preponderantes na criação de mapas de risco (erosão costeira, inundações), assim como na criação de sistemas de alerta de inundações. Este projeto foi desenvolvido em nove zonas pilotos, entre as quais a Praia de Faro, em Portugal.

Uma das novidades deste projeto foi a implementação de modelos de previsão *open-source*, como é o caso do *XBeach* (Roelvink, 2009). A criação deste modelo surgiu da necessidade de avaliar a vulnerabilidade das áreas costeiras, principalmente dos litorais arenosos, perante a ocorrência de eventos meteorológicos extremos (temporais e furacões). As simulações provenientes do *XBeach* provaram que o modelo é capaz de reproduzir com sucesso, e detalhe

razoável, as alterações do perfil de praia antes e após à ocorrência de eventos de temporal, para além de poder ser configurado consoante as características do local de estudo (Ciavola e Piazzalunga, 2011). Para além do sucesso das simulações, este provou poder ser usado em diversos tipos de praia (Williams *et al.*, 2012; Beevers *et al.*, 2016; Cohn e Ruggiero, 2016, Mercelis *et al.*, 2011).

Posteriormente, houve projetos nacionais de previsão baseados no modelo *XBeach*, dos quais se destaca o sistema HIDRALERTA. Este foi desenvolvido no LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil), sendo descrito como sendo um sistema de previsão e alerta de inundações em zonas costeiras e portuárias, com a particularidade de também permitir a avaliação de risco associado as inundações (Fortes *et al.*, 2013). Segundo os autores, os principais objetivos, a longo prazo, assentam na criação de uma ferramenta que permita:

A previsão, em tempo real, de situações de emergência provocadas por galgamentos/inundações e a emissão de alertas às entidades competentes sempre que se preveja estar em causa a segurança de pessoas, bens ou atividades desenvolvidas nas zonas costeiras/portuárias;

Avaliação do risco e produção de mapas de risco que constituam uma ferramenta de apoio à decisão pelas entidades competentes. Estes mapas são construídos com séries temporais de medições/previsões da agitação marítima e do nível do mar de longa duração ou com cenários pré-definidos associados às mudanças climáticas e/ou eventos extremos.

No âmbito deste projeto, já foram realizados alguns trabalhos sendo de destacar os de Heleno (2017) e de Pires (2017). Nestes conclui-se que o modelo *XBeach*, de uma forma geral, é capaz de reproduzir com sucesso as alterações que ocorreram nas praias estudadas devido ao efeito de temporais. No entanto, este apresenta algumas dificuldades e limitações, nomeadamente na calibração e nos dados de entrada (*input*). As dificuldades na calibração explicam-se devido ao modelo ter sido adaptado para as respetivas zonas de estudo, enquanto as limitações devem-se principalmente devida à falta de dados topo-batimétricos antes da ocorrência do temporal, e de dados da agitação marítima durante o temporal, tendo por isso de se recorrer a dados de agitação marítima simulados.

2. Enquadramento Teórico

2.1. Ambiente Litoral

Os litorais arenosos são ambientes dinâmicos bastante complexos, quer devido aos inúmeros processos hidrodinâmicos que aí ocorrem, quer devido às consequências que tais processos operam na morfologia destes locais. A figura 1 apresenta algumas das terminologias que serão usadas ao longo desta dissertação, ao mesmo tempo que ilustra limites importantes para o estudo de litorais arenosos.

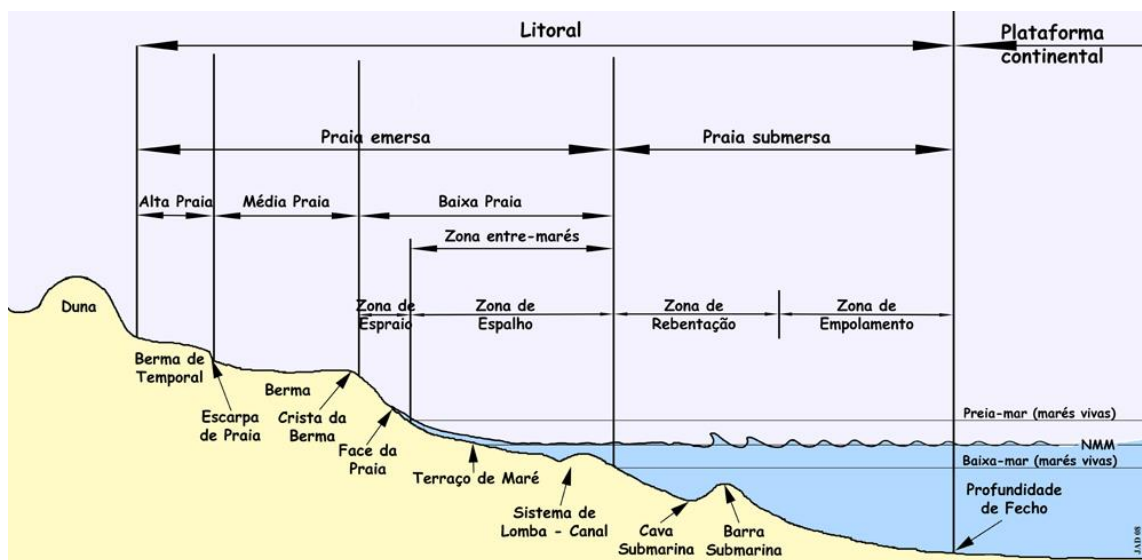


Figura 1 – Terminologia e limites utilizados no estudo de litorais arenosos.
(Fonte: <http://www.aprh.pt/raci/glossario/praias.html>)

A zona litoral pode ser definida como a faixa de território onde ocorre o transporte longitudinal e transversal de sedimentos pela ação das ondas e do vento. A extensão dessa faixa está associada às condições marítimas do local, sendo o limite terrestre o local de ação máxima das ondas, e o limite marítimo a profundidade de fecho do perfil ativo da praia (Davidson-Arnott, 2010).

Outro termo importante é a linha de costa. Segundo Mangor (2019), pode ser materializada em dois locais, dependendo da definição que se use. Para alguns autores, a localização da linha de costa define-se na zona de interação entre o cordão dunar frontal e a praia, enquanto, para outros, a linha de costa situa-se na

zona de interação entre a praia-mar (marés vivas) e a praia. Procurando uniformizar os diversos trabalhos que abordam esta temática, no caso de se tratar de uma costa não artificializada, pode utilizar-se como referência, para a delimitação da linha de costa, a base da duna frontal ou da arriba talhada na duna (Baptista, 2006).

Segundo Dias (2007), dependendo da ação das ondas e das marés, a praia emersa pode ser dividida em três zonas:

- Baixa praia: zona mais baixa da praia, que sofre constantemente com a ação das ondas e das marés.
- Média praia: zona intermédia da praia, sendo atingida apenas pelas ondas de maior altura ou marés de grande amplitude.
- Alta praia: zona mais alta da praia, que está fora do raio de ação das ondas e das marés, com exceção dos períodos de temporal.

Com base nos trabalhos de Ferreira (1998) e Baptista (2006), é possível distinguir-se quatro zonas situadas entre a profundidade de fecho e a baixa praia, em que a ondulação apresenta comportamentos distintos:

- Zona de empolamento: localiza-se entre a profundidade de fecho e a zona de rebentação, que, devido a variações de declive do fundo, ocasiona o empolamento.
- Zona de rebentação: local onde ocorre a rebentação da onda, normalmente associada à presença de barras submarinas e à diminuição da profundidade
- Zona de espalho ou surf: zona limitada pela dissipação de energia da onda, após a rebentação. Em praias planas e de baixo declive, as ondas rebentam e voltam a formar-se com menor altura, sofrendo novamente empolamento e rebentação na barra mais interna ou diretamente na face da praia.
- Zona de espraio, ressaca ou *swash*: é uma zona relativamente restrita, delimitada pelo máximo e mínimo percurso da onda, sobre a face da praia após a rebentação. É de realçar que é nesta zona em que a energia das ondas causa maior efeito na morfologia da praia, isto devido às variações do nível de água, que ocorrem no espaço de segundos.

2.1.1. Praia

Uma praia pode ser definida como uma zona onde ocorre a acumulação de sedimentos não consolidados adjacente a um corpo hídrico, a qual é originada pela ação conjunta das ondas, das correntes e das marés (Teixeira, 1991). A granulometria dos sedimentos presentes na praia é variável, dependendo da origem e da distância à fonte, podendo em termos de granulométricos, variar entre areias (mais finas ou mais grosseiras) e cascalhos. A praia pode ser subdivida em praia emersa e submersa, sendo a divisão feita a partir do nível da baixa-mar (marés vivas). Embora se trate de zonas morfologicamente distintas, ambas são interdependentes (Dias, 2007).

A praia emersa possui como limite superior qualquer modificação morfológica importante (por exemplo, uma duna ou uma arriba) e/ou a existência de uma linha de vegetação permanente. Como limite inferior, a praia é limitada pela linha de baixa-mar em marés vivas. Devido à variação temporal e espacial de certos parâmetros, como a agitação marítima e a granulometria, a praia está sujeita a modificações morfológicas constantes (Martinho, 2014). Pode alternar entre dois tipos de configurações morfológicas distintas, entre um perfil dissipativo e um perfil refletivo, sendo que estas configurações variam em função da agitação marítima, refletindo o grau energético da mesma (Ferreira, 1993).

O perfil refletivo, de calmaria ou de verão (Fig. 2a), desenvolve-se durante períodos em que a ondulação é pouco energética, ocorrendo um transporte de sedimentos provenientes das barras arenosas submersas na direção da praia emersa, originando-se, assim, o prolongamento da praia emersa e a criação bermas (Komar, 1976; Niedoroda *et al.*, 1984; Wright & Short, 1984).

Num perfil refletivo, é possível observar, ao longo da praia emersa, três zonas distintas, sendo de ressaltar que nem sempre essas zonas estão presentes em simultâneo (Ferreira, 1998). A alta praia compreende a faixa situada entre o limite continental (duna, arriba) e o início da berma, sendo uma zona aplanada e inclinada em direção ao mar. A média praia corresponde à zona intermédia da praia emersa, podendo ser formada por uma ou mais bermas. Situa-se entre o início e a crista da berma mais externa na direção do mar. A baixa praia

corresponde à faixa delimitada entre a crista da berma mais externa e o nível da baixa-mar (marés vivas), sendo uma zona inclinada sujeita à ação das ondas.

A inexistência da alta e/ou da média praia pode ocorrer em praias com escassez de sedimentos ou depois da ocorrência de um temporal.

O perfil dissipativo, de temporal ou de inverno (Fig. 2b), desenvolve-se durante períodos de forte agitação marítima, ocorrendo um transporte de sedimentos provenientes da praia emersa na direção da praia submersa, originando a diminuição da praia emersa e a criação de barras arenosas submersas. As alterações morfológicas e, conseqüentemente, a diminuição da praia emersa são uma consequência direta da remobilização dos sedimentos que formavam as bermas, levando a que estas desapareçam (Sunamura & Takeda, 1984; Lins, 1985).

Durante período de transição entre perfis, é possível visualizar um perfil intermédio que apresenta características de ambos os perfis (Fig. 2c).

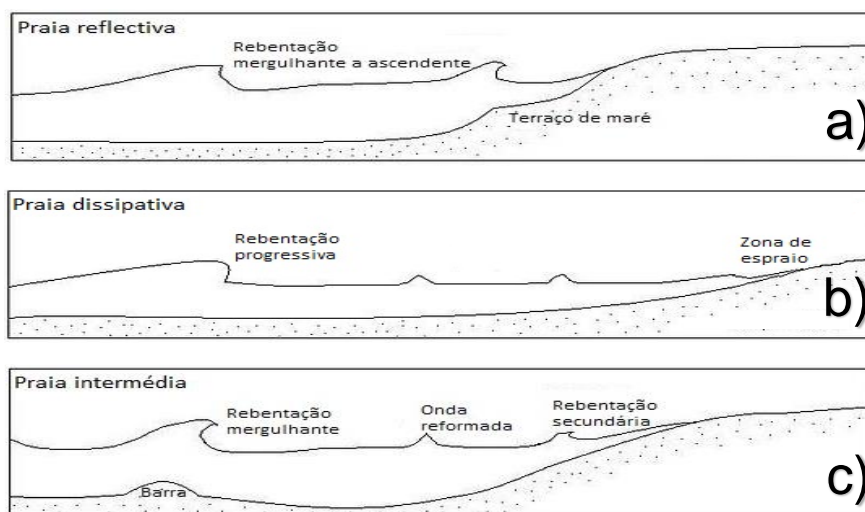


Figura 2 - Perfis de praia: a) Perfil refletivo; b) Perfil Dissipativo e c) Perfil Intermédio. Editado de Komar, 1998.

Ocorre habitualmente uma variação gradual da morfologia da praia, tanto ao longo do perfil transversal como do longitudinal, de acordo com as condições hidrodinâmicas a que esta esta sujeita, que se refletem na formação de uma variedade de morfologias, como são o caso dos terraços de maré, os sistemas de cúspides e de crista canal (Ferreira, 1993).

As cúspides são morfologias rítmicas, caracterizadas por uma alternância, regularmente espaçada, de elevações transversais de areia (promontórios) com depressões (baías), dando à praia um aspeto ondulado (Dias, 2007) (Fig. 3a). O sistema de crista/canal (Fig. 3b) é caracterizado pela presença de uma pequena elevação adjacente que se apresenta longitudinalmente a uma pequena depressão, ocorrendo o fluxo/refluxo de água através do canal. A circulação de água ocorre em função da maré, devido à formação desta morfologia ocorrer na zona entre marés (Dias, 2007).

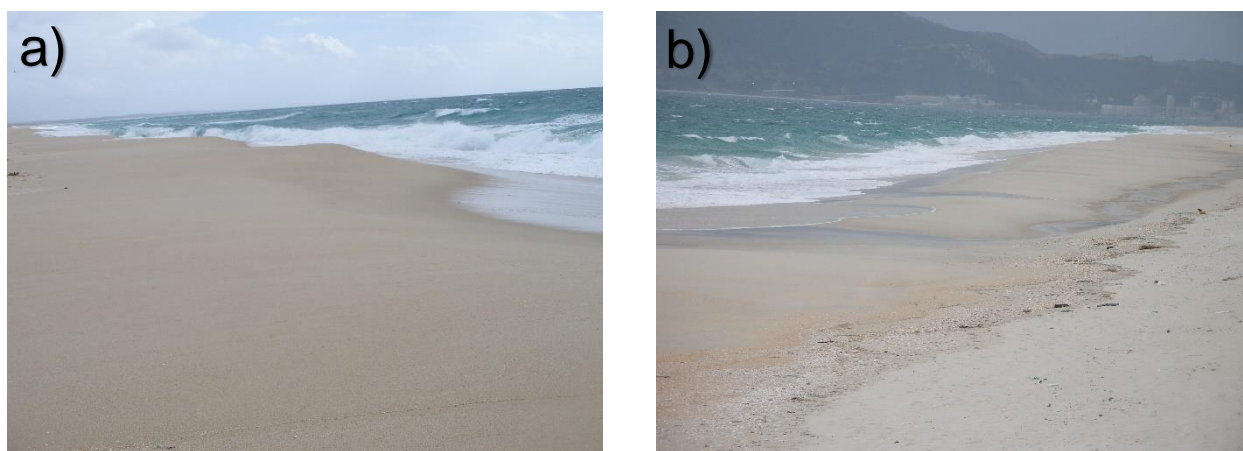


Figura 3 - Morfologias de praia: a) Cúspides e b) Sistema Crista/Canal

A praia submersa é delimitada pelo limite inferior da baixa-mar em marés vivas e pela profundidade de fecho, a partir da qual não ocorre a remobilização de sedimentos nem se apresentam alterações morfológicas significativas, seja pela ação das ondas seja pela ação das correntes de fundo. É de realçar que a profundidade de fecho depende tanto das condições de agitação marítima como da escala temporal (Ferreira, 1998).

A praia submersa é caracterizada por apresentar um relevo suave e pouco acidentado, em contraste com a praia emersa (Komar, 1998). O transporte de sedimentos ocorre principalmente devido à ação da corrente de deriva litoral (Diel *et al.*, 1994).

Em termos morfológicos, a praia submersa apresenta duas morfologias que exercem uma grande influência na praia emersa, tanto a nível morfológico como a nível hidrodinâmico, sendo elas as barras arenosas submersas e as cavas

submersas. As barras arenosas submersas formam-se longitudinalmente à praia emersa devido à acumulação de sedimentos provenientes da praia emersa durante períodos de forte agitação marítima (principalmente durante o inverno marítimo) (Fig.4). Adjacente a estas, formam-se depressões, que são chamadas de cavas submarinas.

As barras arenosas submersas possuem um importante papel nas zonas costeiras, visto que funcionam como a primeira linha de defesa da praia contra a ação das ondas. Segundo Carter & Basillie (1983), as ondas incidentes podem sofrer uma redução da energia, na ordem dos 78% aos 99%, devido à ação das barras arenosas submersas. Dessa forma, a energia das ondas que chega à praia emersa é bastante menor, reduzindo, dessa maneira, o potencial erosivo das mesmas. Segundo Ferreira (1993), a redução da energia das ondas incidentes está associada à robustez ou à debilidade da barra arenosa submersa. Segundo o autor, quanto mais robusta for a barra, maior é a dissipação de energia das ondas incidentes e menor é o potencial erosivo das mesmas. Em sentido inverso, quanto mais debilitada a barra se encontrar, menor será a dissipação das ondas e maior será o seu potencial erosivo.

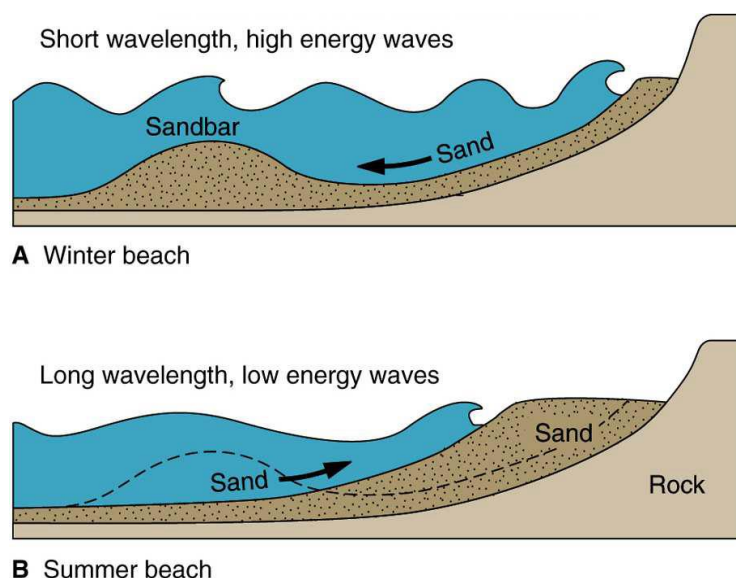


Figura 4 – Barra submersa: a) Processo de formação; b) Processo de destruição.

2.1.2. Processos Costeiros

Devido a complexidade de processos que ocorrem nos ambientes litorais, torna-se essencial explicar alguns desses processos, que possuem grande importância, diretamente ou indiretamente, na evolução de uma praia. Com base no trabalho de Silva (2012), apresentam-se na tabela 1 alguns desses processos, bem como alguns conceitos importantes para o estudo destes ambientes.

Tabela 1 - Conceitos e definições.

Conceito	Descrição
<i>Backwash</i> (Refluxo)	Movimentação da água, após o espraio na direção do oceano pela ação da gravidade.
<i>Swash</i> (Espraio)	Movimentação ascendente da água da onda incidente, após a rebentação, através da face da praia.
<i>Rip current</i> (Agueiro ou corrente de retorno)	Corrente forte que flui de terra para mar através de uma “abertura” criada na zona de rebentação.
<i>Runup</i>	Nível atingido pela água na praia após a rebentação e normalmente é superior à altura da onda.
<i>Edge waves</i>	Ondas refratadas que viajam quase paralelamente em direção à costa e interagem com as ondas que se dirigem para a costa.
<i>Offshore</i>	Zona posterior à formação das ondas, a partir da qual a profundidade deixa de sofrer modificações significativas.

De forma a complementar a definição de *runup* apresentada na tabela 1, podemos considerar o *runup* como sendo uma diferença entre dois níveis de água causada pelo movimento ascendente da massa de água (espraio) (Fig.5), ou o

limite máximo alcançado pelo espraio e a superfície de equilíbrio (nível médio do mar). Da forma contrária, podemos considerar outro limite entre níveis de água, este causado pelo movimento descendente da massa de água, sendo denominado por refluxo. Neste caso, considera-se a diferença entre a superfície de equilíbrio e o limite mínimo que o refluxo atinge.

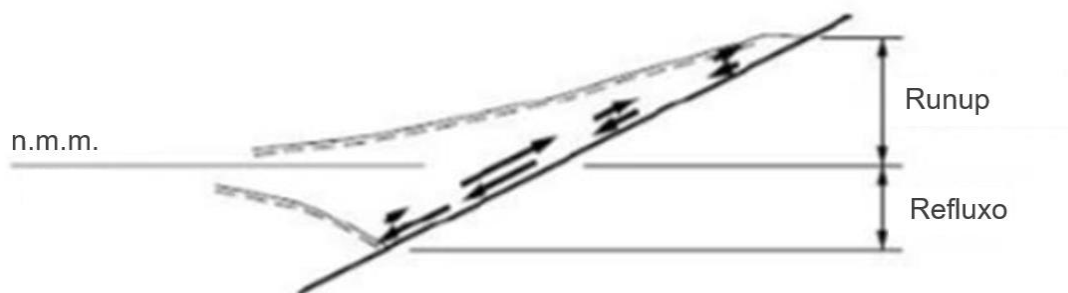


Figura 5- Processo de fluxo e refluxo de uma onda.

O cálculo do *runup* é um importante parâmetro, sendo essencial quando diz respeito a temporais. Quando não é possível obter o valor deste parâmetro, procede-se à sua obtenção através de fórmulas empíricas. Existem diversas fórmulas para o cálculo de *runup*. Esta diversidade é explicada por dois fatores: pela variedade de ensaios laboratoriais ou a medições *in situ* e pela caracterização com base em parâmetros estatísticos. Os tipos de *runup* mais utilizadas são:

- *Runup* Máximo (R_{max})
- *Runup* Significativo (R_s)
- Percentil de *runup* 2% ($R_{2\%}$)

Por último é importante referir a definição de temporal. Segundo os trabalhos de Costa (1994) e Ponce (2008), considera-se um evento de temporal na costa ocidental portuguesa, quando a altura significativa da onda é superior a 5 m, não havendo limite de duração para esse evento. Outro aspeto descrito nestes trabalhos é o tempo mínimo entre temporais (12 h), ou seja, o intervalo de tempo para se poder considerar um novo evento temporal. No presente trabalho será considerado um evento temporal quando a altura significativa da onda exceder os 4 m. Esta adaptação advém do clima de agitação ser altamente energético e as

ondas superiores 4 m terem já uma enorme influência nas morfologias, na erosão e na possível inundação/galgamento da duna.

Em termos de hidrodinâmica, é importante abordar os diversos tipos de onda a que o ambiente litoral está sujeito, assim como as suas características e o resultado da interação dos tipos de onda com as morfologias presentes ao longo da praia (praia emersa e submersa), não esquecendo a interação da praia com as obras de proteção costeira. Para além disso, torna-se importante apresentar e delimitar as diversas zonas em que a ondulação apresenta comportamentos específicos.

O modo mais simples de descrever uma onda é considerá-la como uma oscilação harmónica sinusoidal, podendo ser representada através de uma função de senos ou cossenos, assumindo todas as características destas (Fontán Bouzas, 2018). As principais características de uma onda harmónica são a amplitude (A), o período (T) e o comprimento de onda (λ). A amplitude refere-se à distância entre uma crista e uma cava. O período é o tempo que separa a passagem de duas cristas, enquanto o comprimento é a distância que as separa. Uma onda de superfície é uma onda progressiva cuja forma se propaga sobre a água com uma velocidade denominada de celeridade (C). Esta celeridade é dada por λ / T . O conceito de frequência (f) é também útil para descrever o movimento de grupos de ondas, e é dada por $1/T$. Para além das características referidas, ainda podemos falar da altura da onda (H), que vai corresponder à distância vertical entre o vale e

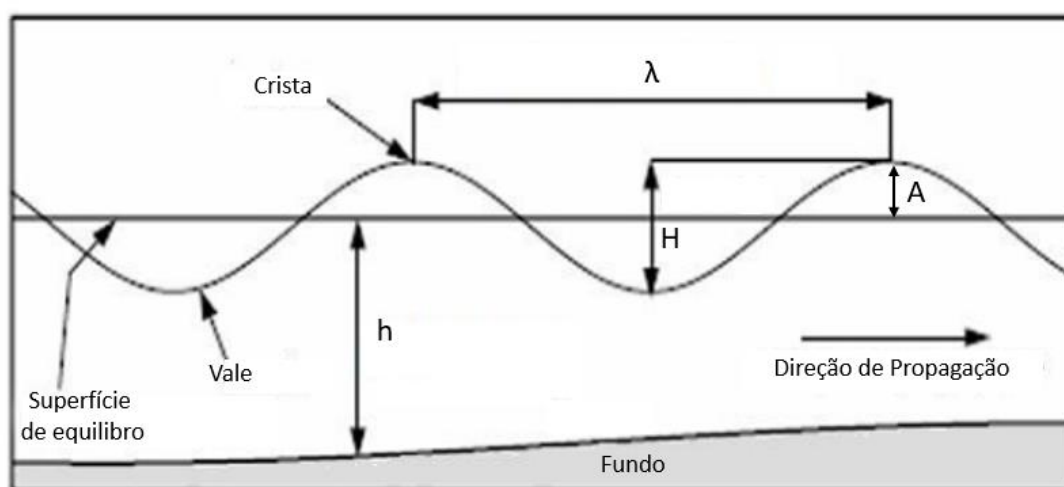


Figura 6 - Características de uma onda.

a crista da onda (dobro da amplitude), e da profundidade (h), que vai corresponder à distância vertical entre a superfície de equilíbrio e o fundo. As características harmônicas encontram-se representadas na figura 6.

As ondas de superfície podem ser geradas por diversos mecanismos forçadores. Entre esses mecanismos, podemos destacar o vento, as diferenças de gradientes de pressão e a atração gravítica entre os corpos celestes (geração de marés). Em casos mais pontuais, como por exemplo a ocorrência de sismos, de erupções vulcânicas submarinas ou de movimentos em massa, pode gerar-se ondas de grandes dimensões, nomeadamente os tsunamis.

Após a geração de ondas por ação dos mecanismos referidos acima, estas são sujeitas a forças restauradoras que contrariam a oscilação. As forças restauradoras variam em função do tipo de onda. Assim, por exemplo, para ondas capilares ($\lambda < 2\text{cm}$), a tensão superficial é apontada como a força restauradora, enquanto para ondas gravíticas ($\lambda > 2\text{cm}$) a força da gravidade é a principal força. Desta forma, cada onda pode ser caracterizada em termos das suas características físicas (por exemplo; energia, período e frequência), do seu mecanismo gerador e da sua força restauradora.

As ondas infra gravíticas, também designadas por ondas longas, possuem um importante papel na formação, na migração e na evolução das barras submersas arenosas (Stive & Battjes, 1985). Por este motivo, são uma importante variável a ter em conta quando se estuda a evolução dos ambientes litorais, mais especificamente das praias arenosas. A geração deste tipo de ondas está relacionado com a chegada de grupos de ondas curtas à zona de surf (Munk, 1949). A presença de grupos de ondas curtas, ou seja, grupos de ondas de alta frequência (0,05 – 0,33 Hz), devido a um mecanismo de *stress* radiativo vai gerar ondas de baixa frequência (0,005 – 0,05 Hz), que estão em oposição de fase em relação às ondas de alta frequência. Segundo Longuet- Higgins & Stuart (1964), os grupos de ondas que chegam à costa estão sujeitos a diferentes valores de *stress* radiativo relativamente aos grupos que se encontram longe da costa, criando, desse modo, um gradiente de *stress*. Esse gradiente, em oposição às variações de altura da

superfície do oceano aquando da rebentação, vai dar origem às ondas infra gravíticas.

Enquanto as ondas curtas tendem a rebentar antes de chegar à costa, as ondas longas rebentam perto da costa, fazendo sentir o seu efeito através do *run up*, e, conseqüentemente, da possível erosão da base da duna (Van, 2009b). Durante a deslocação em direção à praia, as ondas longas podem ser refletidas, dando origem a um sistema de ondas estacionárias, processo que pode ser responsável tanto pela criação, como pelo deslocamento das barras arenosas submersas.

À medida que ocorre a transição de uma onda, de águas profundas para águas pouco profundas, esta vai sofrer um conjunto de alterações que modificam as suas propriedades. Essas alterações ocorrem, em parte, devido à diminuição da profundidade, levando a que ocorra uma diminuição da celeridade, da velocidade de grupo e do comprimento de onda. Para além das alterações nas características físicas da onda, podem também ocorrer diferentes processos de transformação da onda, como empolamento, refração, difração e rebentação.

- **Empolamento**

O empolamento resulta da propagação das ondas de águas profundas para águas menos profundas que se traduz em mudanças na altura, celeridade (C), propagação da energia e comprimento da onda (λ) (Fig. 7).

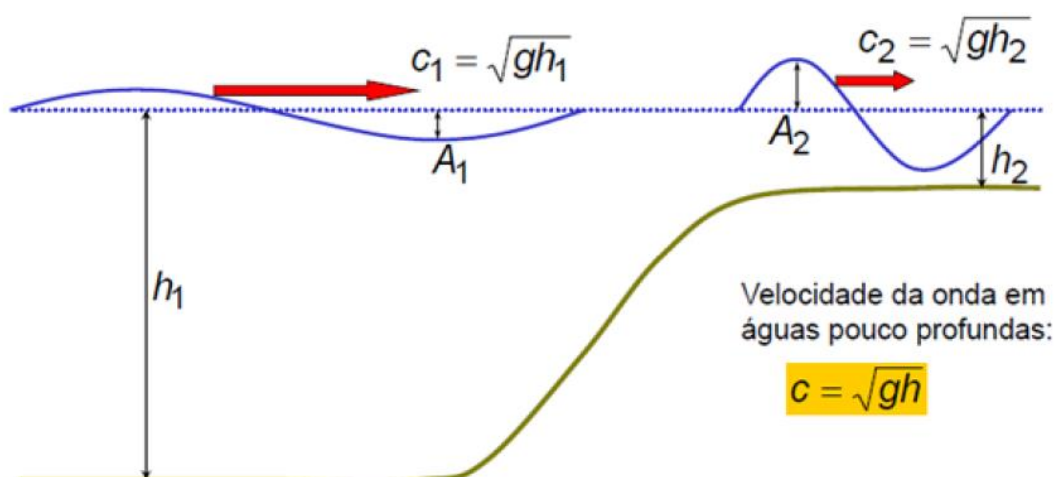


Figura 7 - Propagação das ondas de águas profundas para águas menos profundas.

É de salientar que a convergência das frentes de onda implica um aumento da energia, causando o incremento da altura da onda (H), dado que a energia não se propaga perpendicularmente aos raios da mesma. Desta forma, verifica-se que o empolamento da onda ocorre independentemente da existência ou não de refração.

- **Refração**

A refração da onda ocorre quando esta sofre uma redução de celeridade, ao propagar-se obliquamente em direção às águas pouco profundas, interagindo com a topografia de fundo e sofrendo uma curvatura na direção de deslocamento da crista, adaptando-se às formas de fundo. À medida que uma onda se propaga ao longo de um troço de profundidade variável, as partes que se encontram em zonas de profundidade menor deslocam-se mais lentamente, enquanto que a profundidade maior deslocam-se mais rapidamente. Esta adaptação à morfologia do fundo produz um arqueamento da onda, sendo este processo denominado refração.

É de realçar que existem duas variantes do fenómeno de refração (Fig.8), que se distinguem em função do parâmetro b/b_0 (obliquidade da direção dominante das cristas das ondas, relativamente ao alinhamento dos promontórios ou baías). No caso de $b < b_0$, os raios da onda convergem, levando a que ocorra um aumento da densidade de energia, e, por conseguinte, um aumento da altura das ondas. Em sentido inverso, se $b > b_0$, os raios da onda divergem, levando a que ocorra uma diminuição da densidade de energia, e, conseqüentemente, uma diminuição da altura das ondas.

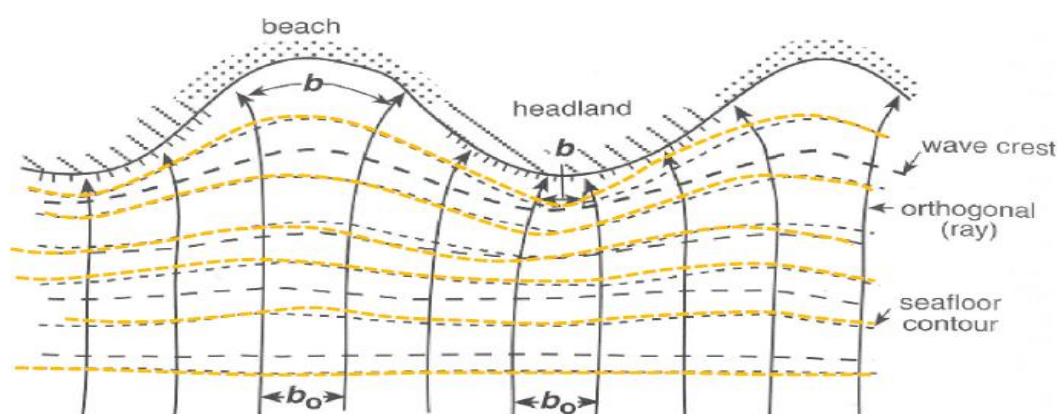


Figura 8 - Fenómeno de refração.

- **Difração**

A difração da onda corresponde a um fluxo de energia resultante de uma distribuição espacial não uniforme da altura de onda. O principal efeito da difração consiste num transporte de energia ao longo das cristas, no sentido das zonas em que a altura de onda é menor. Isto é similar ao processo anterior, a refração. No entanto, neste processo, a diferença de altura da onda deve-se a obstáculos como obras de defesa costeira.

Nas zonas costeiras, a presença de obras pesadas de defesa costeira é cada vez mais comum. Estas obras, que funcionam como um obstáculo, interrompem a propagação natural das ondas em determinadas zonas, criando, assim, áreas abrigadas. As ondas afetadas pela presença do obstáculo sofreram difração (Fig.9), apresentando amplitudes e energias menores em relação àquelas que não são afetadas por ele.

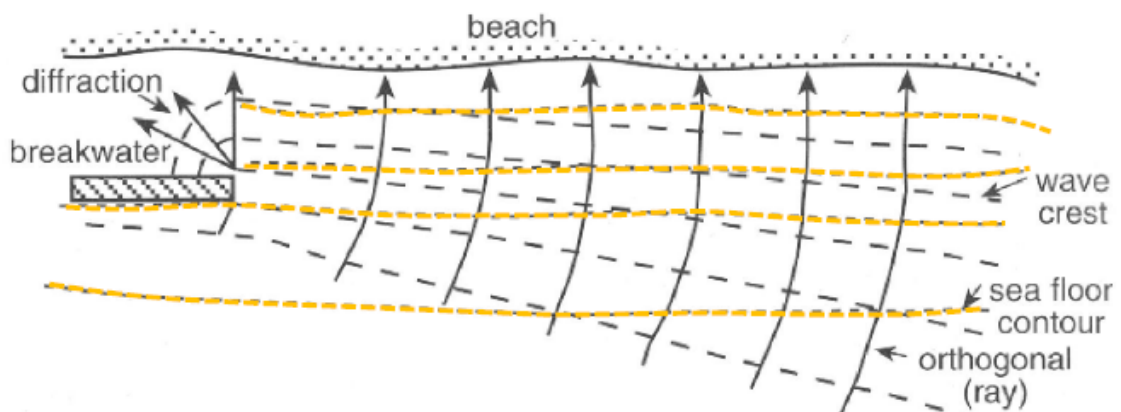


Figura 9 - Fenómeno de difração.

- **Rebentação**

A rebentação é um fenómeno complexo caracterizado por uma grande turbulência, emulsão de ar e dissipação de energia. Este fenómeno ocorre quando a onda atinge uma declividade crítica ou a velocidade das partículas na crista iguala a celeridade da onda. De acordo com a teoria de Stokes, as ondas não podem atingir uma altura de mais do que um sétimo do seu comprimento sem quebrar. Na realidade, a declividade da onda raramente é maior do que um décimo. Quando a profundidade atinge menos da metade do comprimento de onda, há uma ligeira

diminuição da altura de onda. A altura original é recuperada quando a relação h/λ é de, aproximadamente, 0,06.

2.2. Descrição do modelo *XBeach*

O *XBeach* é um modelo bidimensional capaz de simular um conjunto de processos que ocorrem em zonas costeiras, desde a propagação de ondas e o transporte sedimentar, até à evolução morfológica da zona costeira (Roelvink *et al*, 2009). O modelo foi desenvolvido por várias entidades, é de acesso aberto, estando, por isso, disponível a toda a comunidade científica. Favorece-se, deste modo, o seu desenvolvimento e constante atualização, com base na comunidade que o usa. Este modelo foi validado a partir de um conjunto de casos analíticos, laboratoriais e de campo, sendo a validação realizada com base numa configuração *standard* do modelo.

Do ponto de vista da modelação, importa perceber o que diferencia o *XBeach* de outros modelos, e conseqüentemente, o motivo de se usar o *XBeach* em detrimento de outras ferramentas, quando o assunto é simulação de temporais e dos efeitos destes na morfologia de uma costa arenosa.

Em termos estruturais, o *XBeach* pode ser considerado um conjunto de submodelos, em que cada submodelo representa um processo específico que ocorre na zona costeira. Esses submodelos resolvem matematicamente os mais variados processos como, por exemplo, os processos hidrodinâmicos (transformação de ondas longas e ondas curtas, fenómenos de galgamento e inundações), os processos morfodinâmicos (transporte sedimentar, erosão da duna, evolução do perfil de praia) e os processos atmosféricos (geração de ondas pela ação do vento, transporte eólico). Mesmo que cada submodelo seja responsável por um processo, isto não significa que o *XBeach* apresente cada um deles de forma isolada. A principal vantagem do modelo é apresentar um resultado que provem da ação integrada dos vários submodelos. Dessa forma, os resultados refletem, de uma forma mais aproximada, a realidade. O *XBeach* conta, também, com a introdução de um conjunto de variáveis, como por exemplo o efeito da vegetação e/ou o efeito de estruturas de defesa costeira.

O modelo dispõe de dois modos de funcionamento distintos, o modo hidrostático e o modo não hidrostático. No modo hidrostático, a variação da onda curta é resolvida separadamente das ondas longas, correntes e alterações morfológicas, enquanto no modo não hidrostático todos os processos são tratados em simultâneo. A escolha entre estes dois modos é realizada de acordo com o tempo computacional e a complexidade do modelo. Enquanto o uso do modo hidrostático garante um menor tempo, o uso do modo não hidrostático possibilita uma simulação com maior grau de complexidade, ou seja, mais realista, fazendo com que o tempo computacional seja maior; o modo não hidrostático foi desenvolvido, numa primeira fase, como uma versão do modelo SWASH (Zijlema *et al.*, 2011).

Na figura 10, é possível observar graficamente as diferenças entre o uso dos dois modos. Na figura 10 a), as ondas estão representadas em duas tonalidades de azul, sendo que o azul escuro representa as ondas curtas, enquanto o azul claro o nível médio do mar; na figura 10 b), as ondas apenas estão representadas numa tonalidade de azul, sendo consequência da resolução integrada das ondas curtas, das ondas longas e de outros movimentos de água.

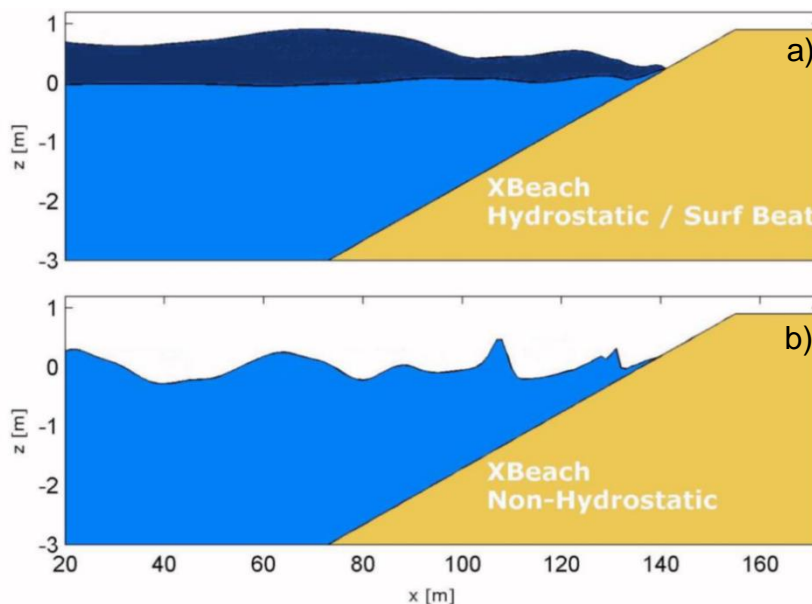


Figura 10 - Modos de funcionamento do XBeach: a) Modo Hidrostático; b) Modo Não Hidrostático.

O *XBeach* permite a realização de simulações unidimensionais e bidimensionais, sendo que cada tipo de simulação permite obter informações específicas do local simulado.

2.2.1. Impacto de Tempestades

As simulações efetuadas com o modelo *XBeach* são realizadas com base nos quatro regimes de impacto de tempestades marítimas descritos por Sallenger (2000). Esses regimes são definidos atendendo ao máximo que o *runup* da onda pode atingir (Fig. 11).

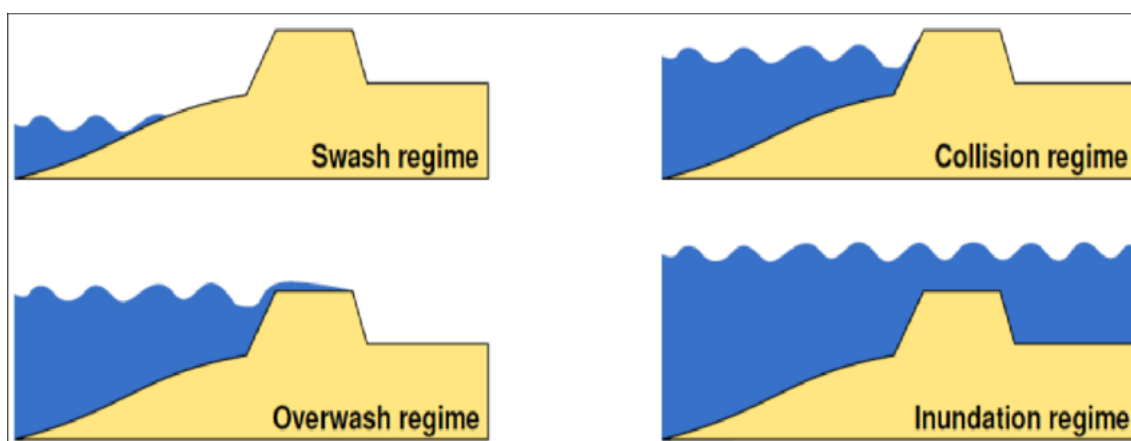


Figura 11 – Regimes de tempestades (Sallenger,2000).

- espraiamento (*swash*) - o *runup* fica confinado ao *foreshore*;
- colisão (*collision*) - o *runup* excede a base da duna;
- galgamento (*overwash*) - o *runup* excede ocasionalmente a crista da duna;
- inundação (*inundation*) – a sobre-elevação submerge completamente ou continuamente a crista da duna.

3. Zona de Estudo

3.1. Enquadramento Geográfico

A área de estudo está localizada na costa noroeste portuguesa, contemplando o troço costeiro que se estende desde a praia do Poço da Cruz à Praia de Mira, com uma extensão total de 4 km (Fig.12). Este troço é delimitado a norte pelo esporão da praia do Poço da Cruz e a Sul pelo esporão da Praia de Mira.

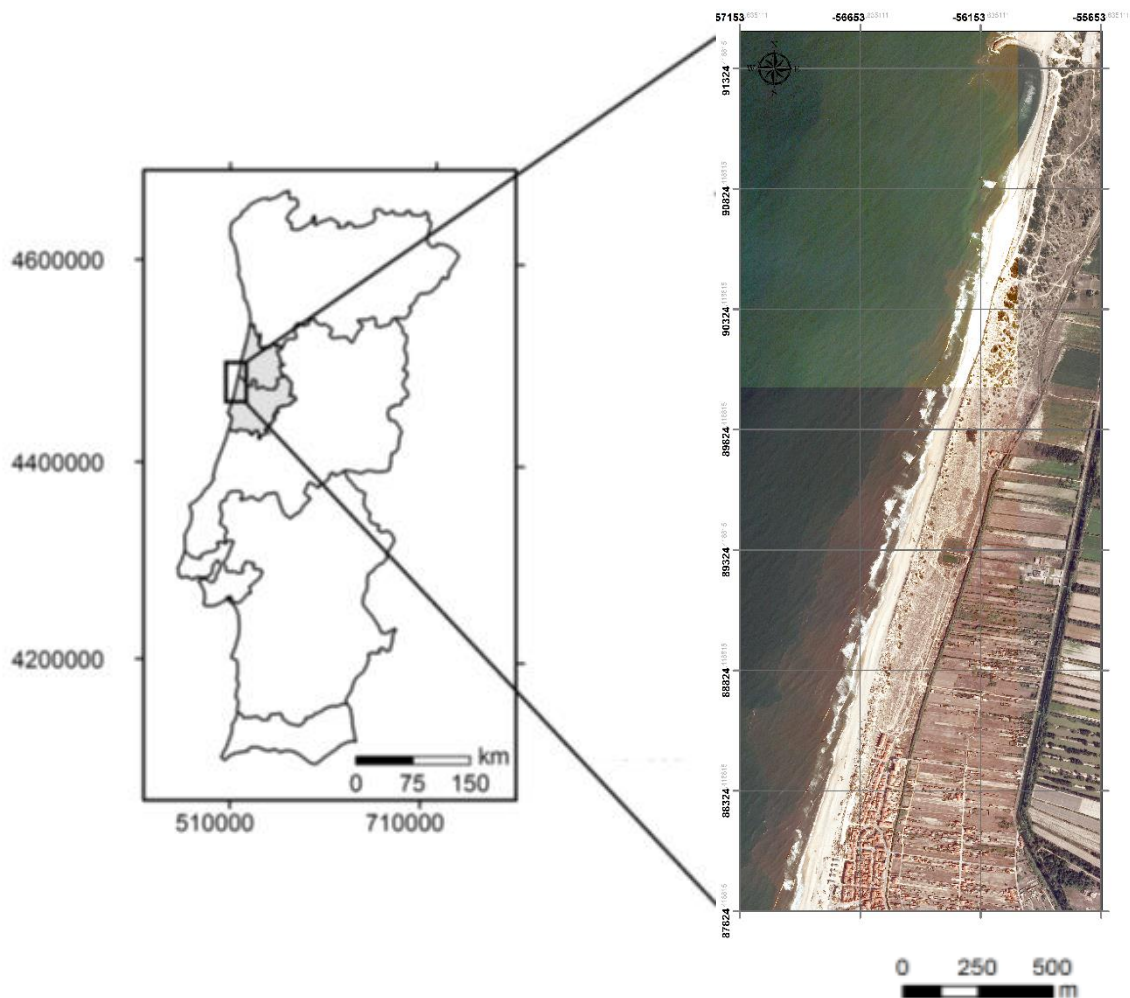


Figura 12 - Zona de estudo. A norte é visível o esporão da praia do Poço da Cruz e, a sul, o início do aglomerado urbano da Praia de Mira

3.2. Enquadramento Geológico e Geomorfológico

A zona de estudo é definida por uma praia arenosa contínua, inserida numa planície costeira de baixa altitude e com grande uniformidade topográfica em quase toda a sua extensão (de Espinho até próximo da Nazaré) (Ferreira, 1998). Na planície costeira podem observar-se dois grupos de formações que assentam sobre o substrato mesozoico e paleogénico (Bettencourt & Ângelo, 1992; Ferreira, 1993; Dias *et al.*, 1994) (Fig.13):

- Os depósitos do pliocénico, constituídos por materiais poligénicos continentais e marinhos, e depósitos do plio-pleistocénico. Este registo define níveis de praias antigas e terraços fluviais, assentes sobre depósitos do cretácico, e dispostos paralelamente ao litoral, com uma ligeira inclinação para W.
- Os depósitos do holocénico, constituídos por aluviões, areias de duna e areias de praia atuais, com direção NE-SW.

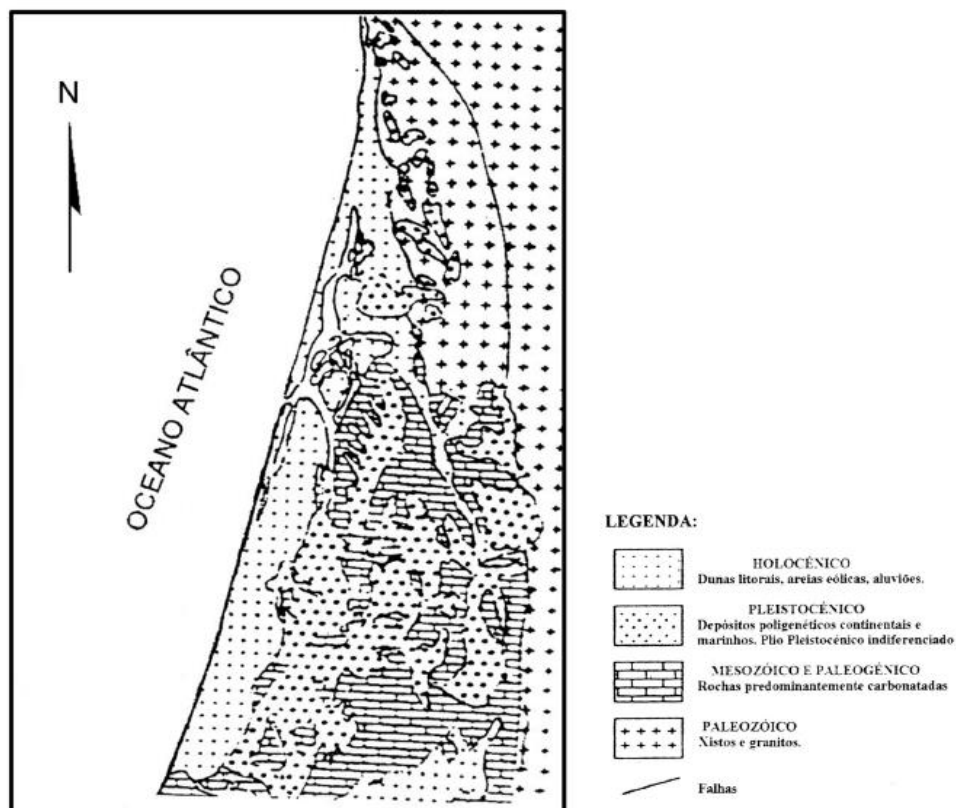


Figura 13 - Enquadramento geológico da zona de estudo (Bettencourt & Ângelo, 1992)

As dunas holocénicas podem ser divididas em dois grandes grupos, sendo estes o cordão dunar frontal e as dunas interiores. As dunas do cordão dunar frontal formaram-se devido ao transporte eólico de areias, da praia para o interior, e à retenção dessas areias devido à existência de vegetação rasteira (Rebelo & Brito, 2004). É de salientar que o cordão dunar frontal encontra-se bastante degradado ao longo de grande parte da sua extensão, tendo, por isso, sido parcialmente substituído por diques arenosos, de forma a evitar a ocorrência de galgamentos oceânicos (Romão, 2014). Noutras zonas, o cordão dunar é interrompido pela presença de povoações, como ocorre na Costa Nova, Vagueira e na Praia de Mira (Ferreira & Dias, 1992). As dunas interiores definem diferentes tipos de sistemas, com distinta orientação.

3.3. Enquadramento Oceanográfico

Os fenómenos hidrodinâmicos associados à costa portuguesa traduzem-se na ação da agitação marítima, marés e correntes, que funcionam como agentes modeladores da costa.

3.3.1. Agitação Marítima

Segundo Coelho (2005), o clima de agitação marítima da costa noroeste portuguesa apresenta uma altura significativa média anual das ondas entre 0,5 m e 1,5 m, sendo que, nos meses de verão, a média para a altura significativa não ultrapassa os 1,5 m e, no inverno, os 4,5 m. Em relação aos períodos de onda, em média são inferiores a 14 s no verão, e superiores a 14 s no inverno. Durante a maior parte do ano, a ondulação é proveniente do quadrante NW, isto devido à presença do anticiclone dos Açores. Esporadicamente, a ondulação pode ocorrer proveniente dos quadrantes W e/ou SW, estando, neste caso, associada a forças depressionárias e à passagem de frentes.

3.3.2. Marés

A maré tem uma regularidade semidiurna, com uma periodicidade 12 h 25 min, propagando-se no sentido sul-norte. Apresenta, como componentes principais, a componente lunar M2 e a componente solar S2. A onda de maré é mesomareal, atingindo amplitudes superiores a 3 m em marés vivas, e inferiores a 1 m em marés mortas (Ferreira, 1993). Segundo registos do marégrafo de Aveiro, a altura máxima atingida pela maré foi de 3,67 m, enquanto a mínima foi de 0,35 m (IH, 1990).

3.3.3. Correntes

Em relação às características das correntes, estas podem ser divididas em função da profundidade a que se encontram. As correntes superficiais fluem no sentido N-S, desencadeadas por ventos locais e apresentando velocidades da ordem dos 0,26 m/s durante o verão (Ferreira, 1993); durante o inverno apresentam velocidades em torno aos 0,4 m/s (Reis, 2000). As correntes profundas possuem velocidades baixas, devido ao relevo existente, entre 0,003 e 0,1 m/s (IH, 1990).

É de realçar uma corrente importante no transporte de sedimentos ao longo da costa, a corrente de deriva litoral. Esta corrente é gerada pela incidência das ondas obliquamente à costa, em consequência da qual se geram correntes com resultante longitudinal e direção predominante N-S (Dias, 2007). Estima-se que o volume de sedimentos transportado pela corrente de deriva litoral, no troço Espinho-Cabo Mondego, varie entre $1,7 \times 10^6$ e $1,8 \times 10^6$ m³/ano.

3.3.4. Temporais

A costa portuguesa é frequentemente afetada pela ação de temporais, sendo o Inverno marítimo (de Outubro a Março) o período em que o número de ocorrências é maior (Pita & Santos, 1989; Ferreira, 1993). Segundo dados estatísticos obtidos por Pita & Santos (1989) ocorrem, em média, três temporais por ano, apresentando alturas máximas significativas da onda de 5 a 6 m, sendo raros os casos em que a altura ultrapassa os 10 m. Embora os temporais também

ocorram durante o verão marítimo (de Abril a Setembro), tal acontece em número bastante reduzido em comparação ao número de ocorrências durante o inverno marítimo. Os temporais que ocorrem durante este período são caracterizados pela sua baixa intensidade em termos de agitação marítima, e pela sua curta duração.

Com base nos trabalhos de Costa *et al.* (2001), Vitorino *et al.* (2002) e Pinto *et al.* (2014), foi possível verificar a ocorrência de dois tipos de temporais distintos que afetam a costa NW portuguesa. O primeiro tipo é caracterizado por uma forte ondulação proveniente do quadrante NW ou SW, sendo este o tipo de temporal mais comum na costa ocidental portuguesa. O segundo tipo corresponde a temporais com ondulação proveniente do quadrante W, sendo que estes ocorrem tipicamente uma vez por ano, associados a ventos provenientes de sul. Na atualidade, observa-se um aumento na frequência e na intensidade dos temporais que fustigam a costa ocidental portuguesa; devido ao seu potencial destrutivo, estes são considerados como o principal agente de erosão costeira na costa ocidental portuguesa.

Associado aos temporais, costuma ocorrer o fenómeno de *storm surge*, o qual é definido como uma sobrelevação do nível do mar devido a fatores meteorológicos, tais como variações de pressão atmosférica e/ou ação de ventos fortes e prologados sobre a superfície do mar. A sobrelevação corresponde à diferença entre o nível de maré observado e a altura da maré astronómica prevista (Ferreira, 1993).

No caso da costa portuguesa, este fenómeno ocorre, principalmente, devido às variações locais de pressão atmosférica. Estas diferenças são causadas pela presença de centros de baixas pressões situados a N/NW de Portugal. Para a zona de Aveiro, as maiores amplitudes registadas apresentam valores de 0.6m, 0.8 m e 1.2 m, com períodos de retorno de 2, 10 e 100 anos, respetivamente (Picado *et al.*, 2013).

3.4. Enquadramento Climático

Na costa ocidental portuguesa, o clima está fortemente condicionado pela sua posição geográfica, devido a estar localizada em latitudes intermédias e à própria orientação. O tempo (temperatura à superfície, precipitação e vento) é bastante influenciado pela oscilação do Atlântico Norte (*North Atlantic Oscillation – NAO*), sobretudo no inverno (de Dezembro a Março). A NAO é considerada o principal fator de variabilidade da pressão ao nível do mar (IPMA, 2014b).

3.4.1. Vento

O vento é um elemento fundamental no processo de modelação da costa, influenciando no transporte de sedimentos e na formação das dunas, e na geração de ondas e correntes superficiais (Coelho, 2005).

A costa noroeste possui um regime predominante de ventos provenientes do quadrante NW durante o verão, sendo que, durante o inverno, não existe um quadrante dominante. Este regime de ventos deve-se ao nosso posicionamento geográfico numa zona de convergências entre massas de ar polar e tropical, marcada pelo sistema de altas pressões do Açores (Reis, 2000).

Para além do sistema de ventos, ainda ocorre a brisa marítima. Esta é resultado do aquecimento/arrefecimento desigual da terra e do oceano. Durante o dia, a brisa sopra de W ou NW, atingindo a sua máxima intensidade ao fim da tarde. Durante a noite, a brisa sopra de E ou SE, atingindo a sua máxima intensidade de madrugada. Este fenómeno é mais evidente no verão, principalmente em condições de céu limpo ou pouco nublado. A brisa marítima é popularmente chamada de “nortada”.

3.5. Intervenções Costeiras

A construção de estruturas estáticas e rígidas num meio dinâmico como é o litoral pode causar diversas perturbações (Dias *et al.*, 1994). Podem-se considerar exemplos de perturbações decorrentes destas ações a retenção de sedimentos e

a alteração da direção da propagação das ondas, o que leva à ocorrência de alterações morfológicas na praia. Neste sentido, é importante referir as obras de engenharia pesada (molhes, esporões e enrocamentos) edificadas na proximidade da zona de estudo (Fig.14).

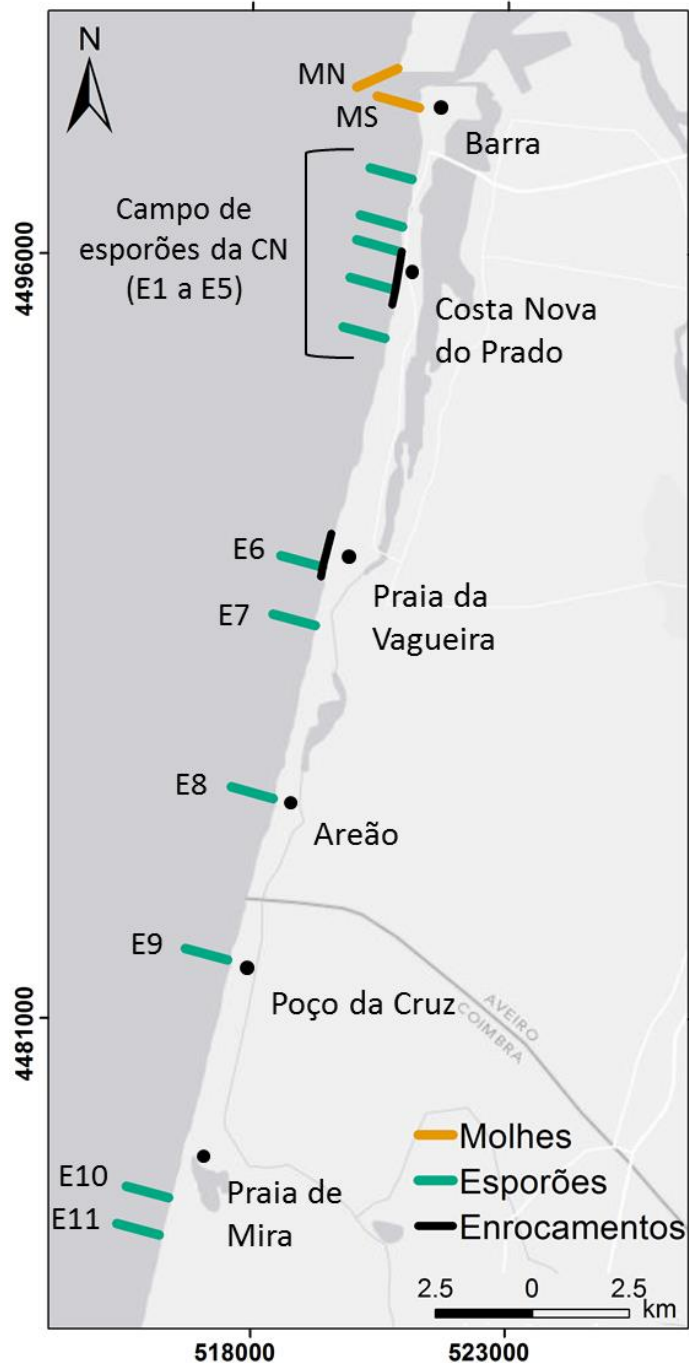


Figura 14- Localização das estruturas de defesa costeira no setor Barra- Praia de Mira (Romão, 2014). CN – Costa Nova

Molhes:

Localizam-se junto à entrada à laguna de Aveiro (MN e MS), e foram construídos na década de 50 do século passado. O molhe norte (MN) tem sido alvo de vários prolongamentos, tendo o último ocorrido em 2013.

Esporões:

Em 1972/73 foi construído o campo de esporões da Costa Nova (CN) (E1 a E5).

Em 1979 foram construídos dois esporões na Vagueira (E6 e E7) e na década de 80, na zona sul da Praia de Mira (E10 e E11).

Em 2002/03 foram construídos os esporões do Areão e do Poço da Cruz (E8 e E9).

Enrocamentos:

Em 1979 foi construído o enrocamento da Vagueira.

Em 1992/93 foi edificado o enrocamento associado ao esporão sul da Costa Nova.

Estas estruturas já sofreram várias intervenções de manutenção e de reparação após a ocorrência de temporais. Para além das obras de engenharia pesada, também se têm realizado obras de engenharia ligeira, com o intuito de reforçar o cordão dunar e/ou o dique arenoso e visando a realimentação das praias.

4. Dados e Métodos

4.1. Dados

Seguindo os principais objetivos desta dissertação, foi realizada uma caracterização detalhada das alterações morfológicas impulsionadas pelo evento de temporal ocorrido a 2 de Fevereiro de 2017. Esta seção descreve a abordagem metodológica para a análise morfodinâmica, incluindo as medições topo-batimétricas, assim como obtenção dos parâmetros físicos relativos a hidrodinâmica no local, antes e após a ocorrência do temporal.

4.1.1. Dados Topográficos e Topo-batimétricos

A aquisição de dados foi realizada ao longo de 2 campanhas, uma realizada antes do temporal referido e outra após o mesmo, mais especificamente nos dias 1 e 8 de Fevereiro, respetivamente. O objetivo principal destas campanhas foi a obtenção de dados topográficos de alta frequência e resolução e de dados batimétricos, de forma a avaliar o impacto da tempestade na morfologia do local de estudo.

Na obtenção dos dados topográficos foram utilizadas dois tipos de abordagem: unidimensionais e bidimensionais. No caso da abordagem unidimensional, esta consistiu no uso do DGPS-RTK (Fig.15 a) ao longo de transeptos pré-definidos, de forma a obter perfis transversais da praia (Fontan-Bouzas *et al.*, 2017). Por outro, a abordagem bidimensional consistiu no uso do sistema INSHORE (Fig.15 b) (Baptista *et al.*, 2011). Esse sistema foi utilizado para adquirir dados morfológicos de alta resolução, na forma de perfis longitudinais e transversais de toda a zona de estudo.

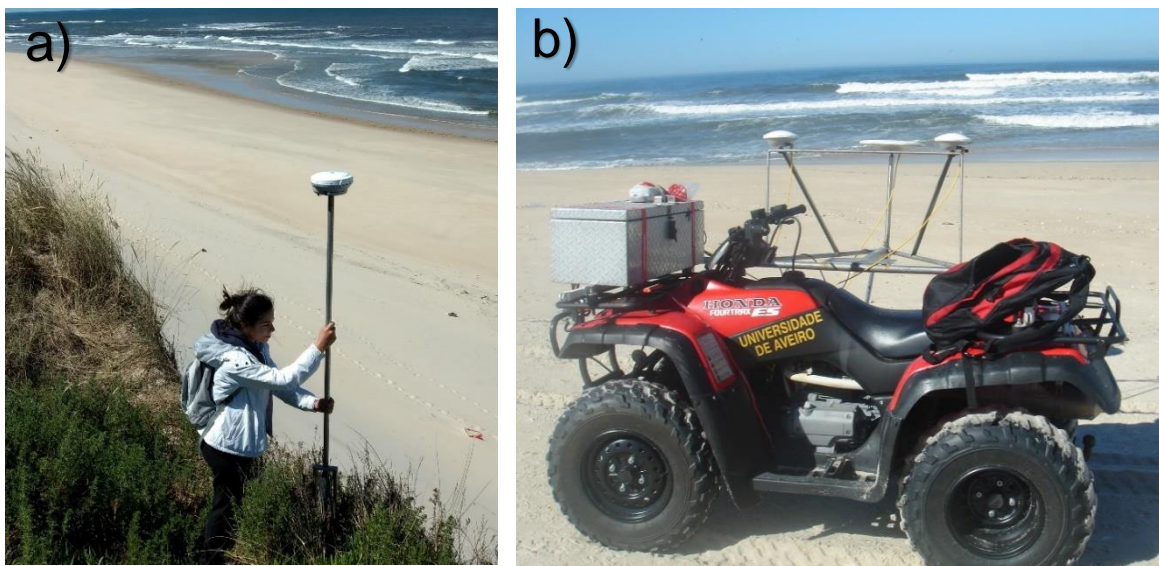


Figura 15 - Obtenção de dados topográficos: a) Sistema DGPS-RTK; b) Sistema INSHORE.

Os dados batimétricos foram adquiridos a bordo da embarcação Nereide, pertencente à Universidade de Aveiro, através do uso de um sonar mono-feixe (Fig.16).



Figura 16 - Embarcação Nereide.

4.1.2. Dados Hidrodinâmicos

Os dados relativos a série de maré foram obtidos a partir do modelo hidrodinâmico *roms*, sendo posteriormente tratados de forma a serem utilizados no modelo. A figura 17 represente a serie de marés utilizada.

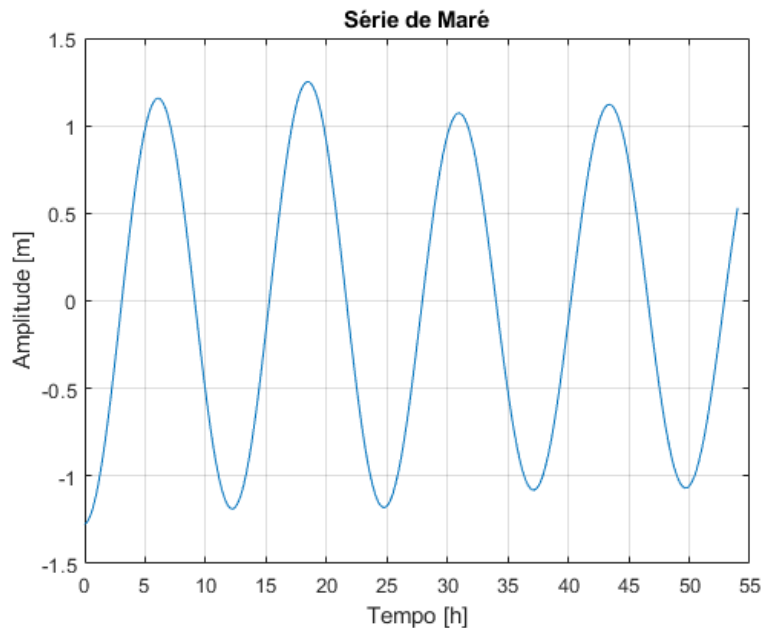


Figura 17 - Série de maré.

Os dados relativos às condições de agitação marítima, não foram obtidos em campo, mas sim através de simulações *hindcast*, tendo sido posteriormente validados com dados de campo.

As condições das ondas *offshore* foi obtida pelo modelo numérico WAM, sendo estes dados (SIMAR-44) fornecidos pela autoridade portuária do estado espanhol (Puertos del Estado). Enquanto a propagação de ondas *offshore* foi realizada até uma profundidade de 15m, utilizando o modelo SWAN (*Simulating Waves Nearshore*) (Ferreira et al., 2017). Este modelo numérico baseia-se na equação de balanço da ação de onda, de forma a poder simular a geração, a propagação e a dissipação da energia associada à agitação marítima (Booji et al., 1999). Essas simulações permitem-nos obter valores referentes a agitação marítima, como a altura significativa da onda (H_s), a direção da onda (Dir), o período de pico da onda ($Rt\ Peak$), o parâmetro de rebentamento (Γ), a dispersão da

onda (D_{spr}), direção de propagação (S) e a frequência dos dados (f). Na figura 18, estão representadas as séries de agitação marítima provenientes do modelo SWAN.

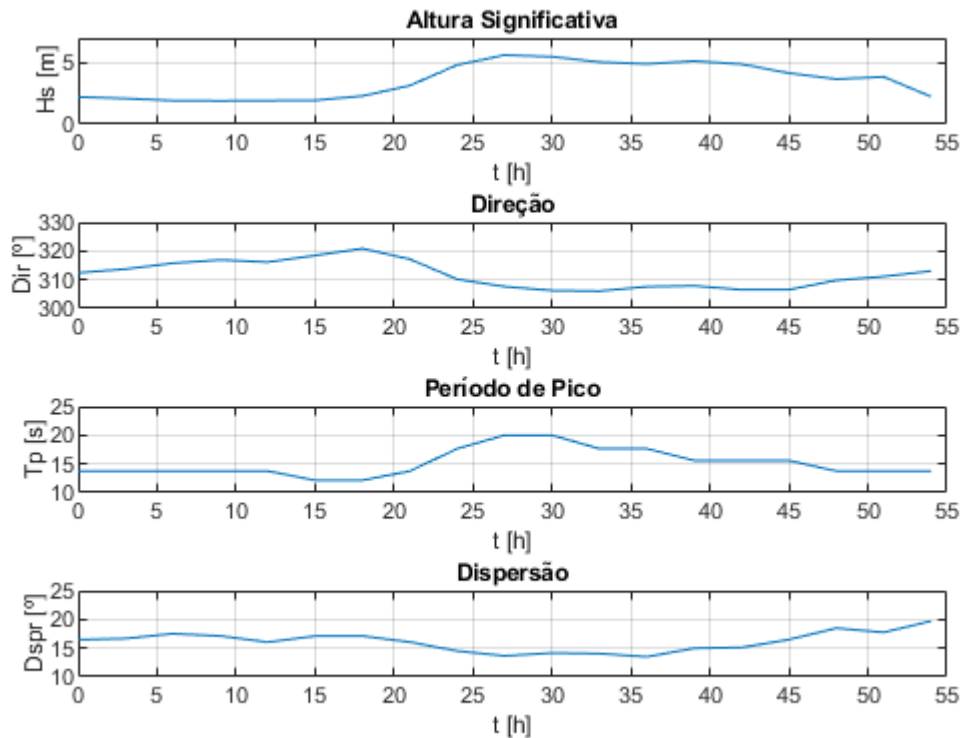


Figura 18 - Séries dos parâmetros de agitação marítima.

4.2. Aplicação do modelo *XBeach*

Na presente dissertação foi utilizado o modelo *XBeach* para simular a tempestade que ocorreu no dia 2 de fevereiro de 2017, de forma a poder estudar o impacto desta na morfologia da praia de Mira. O tempo de simulação foi de 54 horas, que correspondem ao período do temporal (24h), ao período que o antecede (24h) e a um período que lhe sucede (6h). Foram realizadas simulações unidimensionais que correspondem a perfis transversais do perfil praia duna, assim como bidimensionais que correspondem uma superfície que inclui a praia emersa e submersa. A informação seguinte foi retirado do manual de *XBeach* publicado por Roelvink (2010).

4.2.1. Simulação 1D

No caso das simulações unidimensionais, foram realizadas dois conjuntos de simulações para os três perfis batimétricos possíveis do p3 e do p6. No primeiro conjunto de simulações foi utilizada a onda infra gravítica, enquanto no segundo conjunto esta foi desprezada, com o intuito de perceber a importância deste tipo de onda nas alterações morfológicas causadas por tempestades.

De forma a se poder utilizar o *XBeach*, foi necessária a criação de seis ficheiros, que forneceram toda a informação necessária para o modelo funcionar. Estes ficheiros foram denominados *params*, *jonswap*, *tide*, *bed*, *xgrid* e *ygrid*, e criados com base no conjunto de rotinas OET, em ambiente *Matlab*, tendo sido posteriormente utilizados no modelo *XBeach*.

O ficheiro *params* é fundamental para o funcionamento do modelo, pois contém um variado leque de informações sobre os parâmetros de entrada da grelha e da batimetria, das ondas, do fluxo, da morfologia, dos sedimentos, entre outros que não foram considerados nesta dissertação, como é o caso da vegetação e do vento. Para além dessas informações, também está disponível no ficheiro *params* dados relativos à configuração da simulação como, por exemplo, o tempo de simulação e as configurações de saída (*outputs*) e as variáveis a calcular. As informações provenientes do ficheiro *params* aparecem na forma de *keywords*, podendo estas referirem se a parâmetros do modelo ou a informações provenientes de ficheiros externos. Os ficheiros *jonswap*, *tide*, *bed*, *xgrid* e *ygrid*, são exemplo desses ficheiros externos. Existe dois tipos de *keywords*, as essenciais, necessárias para o modelo correr, e as avançadas, que proporcionam maior complexidade às simulações. Das essenciais, existe um conjunto que têm de estar mencionadas no ficheiro *params* para este funcionar, as restantes que não sejam mencionadas no ficheiro, vão ser usadas pelo modelo com os valores *default*; a ordem com que as *keywords* aparecem não tem importância para o modelo.

- **Grid Input**

Os parâmetros de entrada da grelha e da batimetria definem uma grelha 1D, construída com base em valores que apresentam o comprimento ao longo da direção x, y e z, provenientes de ficheiros adicionais, sendo estes o *xgrid*, o *ygrid* e o *bed*, respetivamente. O uso destes ficheiros externos foi possível graças ao uso das *keywords* *xfile*, *yfile* e *depfile*, que permitiram o acesso aos valores provenientes dos ficheiros *xgrid*, *ygrid* e *bed*, respetivamente. É de realçar que a criação dos ficheiros *xgrid*, *ygrid*, foi executada através da transformação dos valores de longitude e latitude, adquiridos na campanha, em valores de comprimento. Enquanto no ficheiro *bed* foi utilizada, diretamente, os valores de altitude registados na campanha.

Na dificuldade de obter dados batimétricos de alta resolução, devido à forte agitação marítima, procedeu-se à criação de três perfis topo-batimétricos, em que a batimetria usada corresponde aos três tipos de fundos possíveis de encontrar na zona de estudo. O primeiro perfil não possui nenhuma barra submersa, enquanto os segundo e terceiro perfis possuem uma e duas barras submersas, respetivamente. Outra diferença entre perfis é o número de pontos que as grelhas apresentam na direção x. O número de pontos é um valor essencial para o modelo, sendo descrito pela *keyword* *nx*, para o número de pontos da grelha na direção x, e pela *keyword* *ny*, para o número de pontos da grelha na direção y. Como se trata de uma grelha de apenas uma dimensão, considera-se $n_y = 0$.

Outro parâmetro importante na descrição grelha, é a definição do ângulo de incidência mínimo, máximo e do direcional. Para isto é utilizado as *keywords* *thetamin*, *thetamax* e *dtheta*, respetivamente. A definição dos ângulos depende do tipo de convecção usada. O *XBeach* por desfeito utiliza as coordenadas cartesianas, mas nas simulações realizadas foi utilizada a convecção náutica. O uso das coordenadas náuticas em detrimento das coordenadas cartesianas, executa-se a partir da ativação da *keyword* *thetanaut*. Os valores utilizados para cada um dos ângulos, em coordenadas náuticas, estão presentes na figura 19.

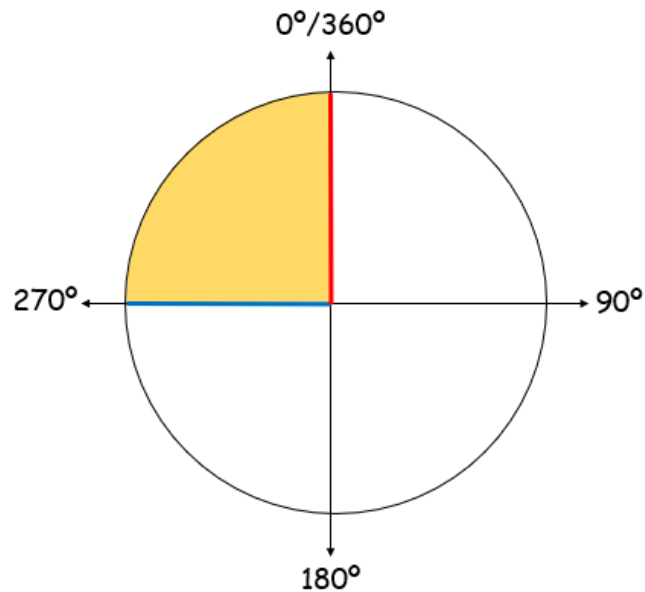


Figura 19 - Representação das coordenadas náuticas: linha vermelha corresponde ao *thetamax*, linha azul corresponde ao *thetamin* e a zona amarela corresponde ao *dtheta*.

- **Wave Input**

Os parâmetros de entradas das ondas, como o forçamento, ocorre na fronteira do *offshore*, sendo necessário definir os parâmetros das condições de fronteira. O modelo suporta 2 grandes grupos de condições de fronteira, as estacionárias e as espectrais. No caso das simulações realizadas, a escolha recai sobre as condições espectrais, ativando essa opção com o uso da *keyword wbctype = jons*. O valor *jons* corresponde ao grupo de ondas gerados através de um espectro paramétrico, sendo usado um ficheiro adicional, que possui a série espectral para a fronteira *offshore*. Este ficheiro é chamado de *jonswap*, tendo sido criado a partir do modelo SWAN. A forma do modelo aceder a este ficheiro, é através do uso da *keyword bcfile*. O ficheiro *jonswap* possui séries temporais para seis variáveis, as quais estão representadas ao longo de 6 colunas. Essas variáveis são a altura significativa da onda (*Hs*), a direção da onda (*Dir*), o período de pico da onda (*Rt Peak*), o parâmetro de rebentamento (*Gamma*), a dispersão da onda (*Dspr*), direção de propagação (*S*) e a frequência dos dados (*f*).

- **Flow Input**

O domínio possui quatro tipos de fronteiras, a fronteira *offshore* (*keyword front*), as fronteiras laterais (*keyword right/left*) e a fronteira *landward*, ou seja, a fronteira em terra (*keyword back*). Na tabela 2, apresenta-se, de forma sucinta, a caracterização das fronteiras em relação ao fluxo.

Tabela 2 - Condições de fronteira.

Fronteira	Keyword	Valor	Definição
Offshore	Front	Abs1d	Absorving-generating
Lateral direita	Right	Neumann	Constant water level gradient
Lateral esquerda	Left	Neumann	Constant water level gradient
Landward	Back	Wall	No flux wall

Para além das condições de fronteira é importante descrever a variação temporal do nível da água (elevação da superfície livre), mais especificamente a variação provocada pela maré. Para isso utiliza-se a *keyword zS0file*, que utiliza um ficheiro externo com informação relativa à série de maré para o período de simulação. De forma a complementar a informação usa-se a *keyword tideloc*, descrever se a maré é uniforme em todo o seu domínio, ou se varia no espaço. Nas simulações realizadas foi considerado que a maré era uniforme ao longo de todo o domínio de simulação.

- **Morphology Input**

Os parâmetros que afetam os processos morfológicos, reúnem-se em 2 grupos. O primeiro diz respeito ao processo de “avalanche ou deslizamento”. Este processo é ativado a partir do uso da *keyword avalanching*, mas é necessário estabelecer um conjunto de parâmetros para que este processo decorra de forma mais realista possível. Dessa forma, utiliza-se as *keyword drysly* e *wetslp*, para definir o declive crítico a partir do qual ocorre o transporte de sedimento na praia emersa e na praia submersa, respetivamente. De forma a controlar o impacto da “avalanche” no perfil de praia, utiliza-se a *keyword dzmax*, que estabelece o máximo de variação que uma “avalanche” pode causar (tabela 3).

Tabela 3 - Parâmetros de avalanche.

Keyword	Valor
drysly	1
wetslp	0,20
dzmax	0,05 (m/s/m)

O segundo grupo diz respeito aos parâmetros que controlam o tempo dos processos morfológicos. Os processos hidrodinâmicos começam a contar desde do momento inicial da simulação ($t=0$), enquanto os processos morfológicos podem ser ajustados através do uso das *keyword's morstart* e *morstop*, para que estes ocorram apenas em períodos definidos pelo utilizador. Isto é importante, pois os processos hidrodinâmicos e morfodinâmicos podem ocorrer a escalas temporais diferentes. De acordo com as escalas temporais, surge a *keyword morfac*, que representa a aceleração das variações morfológicas. Em casos em o período de simulação é demasiado longo, ao definir-se um valor de *morfac* superior a 1, a velocidade a que os processos morfológicos ocorrem será multiplicada por esse valor, permitindo diminuir o tempo de simulação, e obtendo assim os resultados de uma forma mais rápida. O *morfac* é uma *keyword* bastante importante, principalmente, quando os processos morfológicos ocorrem a uma velocidade muito menor que os processos hidrodinâmicos.

- **Sediment Input**

Este parâmetro serve para descrever a condição inicial da *bed* e o detalhe com que os processos sedimentares (transporte, sedimentação, erosão, entre outros) são resolvidos, por parte do modelo. A tabela 4 apresenta o tamanho médio dos grãos para 3 zonas da praia (alta praia, berma e face da praia), assim como o D50 e o D90, respetivamente.

Tabela 4 - Parâmetros estatísticos dos sedimentos.

	Alta praia	Berma	Face da Praia	D50	D90
Dimensão do grão	586.79 (μm)	529.91 (μm)	485.02 (μm)	0.0005 (mm)	0.0005 (mm)

Como a dimensão do grão não varia muito ao longo do perfil transversal da praia, como é possível observar pelos valores presentes na tabela x, considera-se, de forma a facilitar a simulação, que o sedimento é uniforme ao longo de todo o domínio simulado. As dimensões do grão são inseridas através do uso das *keyword's* D50 e D90, correspondendo ao tamanho médio dos grãos e ao percentil 90, respetivamente. Para dos valores do D50 e do D90, também se utiliza valores que corresponde a porosidade e a densidade do grão, através do uso das *keyword* por e *rhos*, respetivamente.

- **Simulation Time**

É possível definir o instante em que certos parâmetros são utilizados na simulação, como é o caso dos processos morfológicos. Em termos gerais, também é possível definir um tempo de início/fim para a simulação, podendo dessa maneira escolher um período específico dentro de uma série temporal. A escolha do ponto de início/fim é feita através da *keyword tstart/tstop*.

É, ainda, possível escolher o *time step* usado através da escolha do valor do número de *Courant* utilizado na simulação; a escolha é feita a partir da *keyword CFL*, sendo o valor 0,7 usado nas simulações.

- **Output**

No *output* pode-se definir as características dos resultados como, por exemplo, o intervalo de amostragem e os parâmetros de interesse a apresentar nos resultados. No caso dos parâmetros, estes podem ser apresentados de 4 formas: valores instantâneos, médias temporais, pontos fixos e *run up gauge*. No presente trabalho os parâmetros são apresentados sob a forma de valores instantâneos e referem-se a *Zb (bed level)* e a *Sedero* (taxa de erosão/acreção).

No anexo A, estão presentes na forma de tabelas as *keywords* utilizados no ficheiro *params*, assim como os valores utilizados nas simulações.

4.2.2. Simulações 2D

No caso das simulações bidimensionais, foi realizada uma simulação da superfície correspondente aos transeptos p1, p2 e p3. Nesta simulação teve-se em conta a influência da onda infra gravítica.

O procedimento para a configuração do ficheiro *params* nas simulações tridimensionais, é semelhante ao descrito para as simulações bidimensionais. O que difere, em termos de configuração, é a grelha utilizada em ambas as simulações, assim como a atribuição de um valor diferente de zero para a *keyword ny*. Enquanto a criação de uma grelha a duas dimensões é realizada a partir de rotinas de *Matlab*, a criação de uma grelha bidimensional possui um processo mais elaborado por detrás da sua criação

Os dados topo-batimétricos obtidos em campo foram inseridos no *software ArcGIS* da ESRI (versão 10.6.1) de forma a obter um modelo digital do terreno. Para o efeito foram usadas grelhas que integram vários perfis longitudinais e transversais realizados ao longo do trecho em estudo (Fig. 21). A modelação do relevo do terreno teve com base o uso de uma rede irregular de triângulos (TIN), dando origem ao modelo digital do terreno (MDT). De seguida, procedeu-se à transformação do MDT num ficheiro *raster*, sendo este utilizado posteriormente numa aplicação de *Matlab*, designada *Delft DashBoard*. Esta permitiu a criação de uma grelha bidimensional da zona de estudo, com o intuito de usá-la no modelo *XBeach*. No anexo B estão presentes as configurações utilizadas no *DashBoard*.

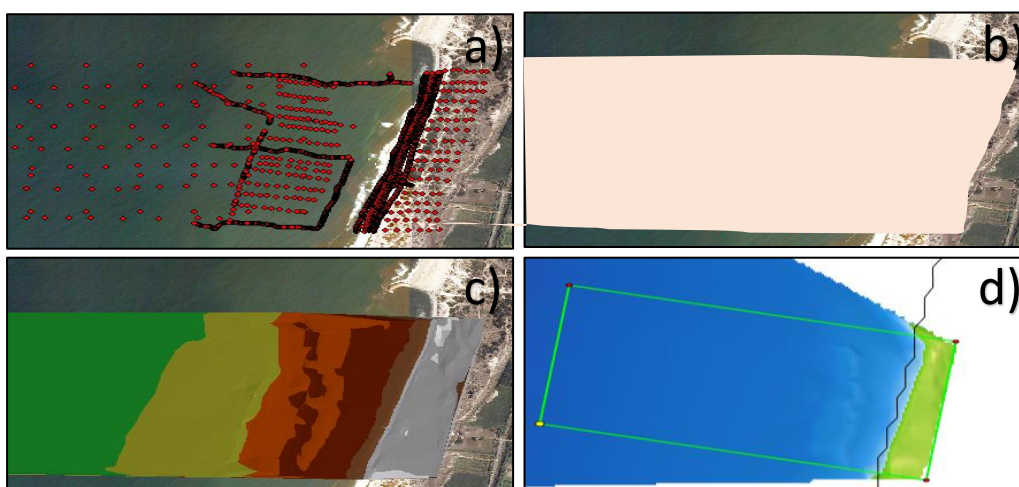


Figura 20 - Tratamento dos dados topo-batimétricos em ArcGIS : A) projeção das coordenadas GPS; B) criação do polígono delimitador; C) criação do MDT (modelo digital terrestre); D) criação da grelha no DashBoard.

4.3. Calibração e Validação

A calibração e posterior validação do modelo foi realizada comparando as simulações com os dados adquiridos no transepto p3 após o temporal.

A medição de erro de forma a avaliar o desempenho dos modelos foi realizada com base em três critérios, o erro sistemático, tendenciosidade ou biés (bias), a precisão (*accuracy*) e a capacidade (*skill*) do modelo. O método utilizado foi o *Brier Skill Score* (BSS) de van Rijn *et al.* (2003), que compara previsões (ZBS) e medições de perfil (ZB_{pos} e pre) com o perfil inicial (ZB₀) e tem em conta o erro de medição ∂ (que aqui se assumiu nulo). Define-se pela seguinte equação:

$$BSS = 1 - \frac{((Zb_s - Zb_{pos}) - \partial)^2}{(Zb_0 - Zb_{pre})^2}$$

Na Tabela 1 esta presente a classificação do desempenho de modelos morfodinâmicos proposta por van Rijn *et al.* (2003).

Tabela 5 - Classificação de desempenho com base no Brier Skill Score (BSS) proposto por van Rijn *et al.* (2003).

Brier Skill Score (BSS)	
Excelente	1,0 – 0,8
Bom	0,8 – 0,6
Razoável	0,6 – 0,3
Fraco	0,3 – 0,0
Mau	<0,0

5. Resultados e Discussão

Nesta secção serão analisados os dados das campanhas antes e pós-temporal, assim como os resultantes das simulações. Na fig. 21 pode-se observar a localização dos perfis, p3 e p6, estudados no presente trabalho, assim como a grelha topo-batimétrica entre o Poço da Cruz e a Praia de Mira.

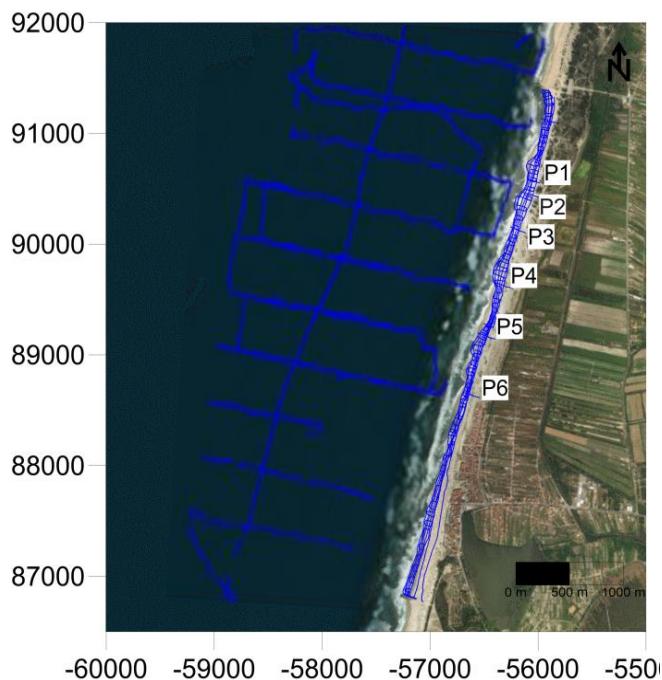


Figura 21 – Grelha Topo-batimétrica e localização dos perfis entre a praia do Poço da Cruz e a Praia de Mira.

5.1. Variabilidade temporal e espacial

Os dados apresentados nas seguintes figuras dizem respeito aos perfis obtidos tanto no perfil p3 como no perfil p6, antes do temporal (perfil vermelho) e após o temporal (perfil preto). Os dados relativos ao período anterior ao temporal correspondem à campanha realizada no dia 1 de Fevereiro de 2017, enquanto os dados relativos ao período posterior ao temporal correspondem à campanha realizada no dia 8 de Fevereiro de 2017. Todos os dados são referenciados ao *Datum* ETRS89-TM06 Portugal.

Na figura 22 é possível observar os perfis topográficos adquiridos durante as campanhas de 1 e 8 de Fevereiro, no transepto p3. Este transepto localiza-se a sotamar do esporão do Poço da Cruz.

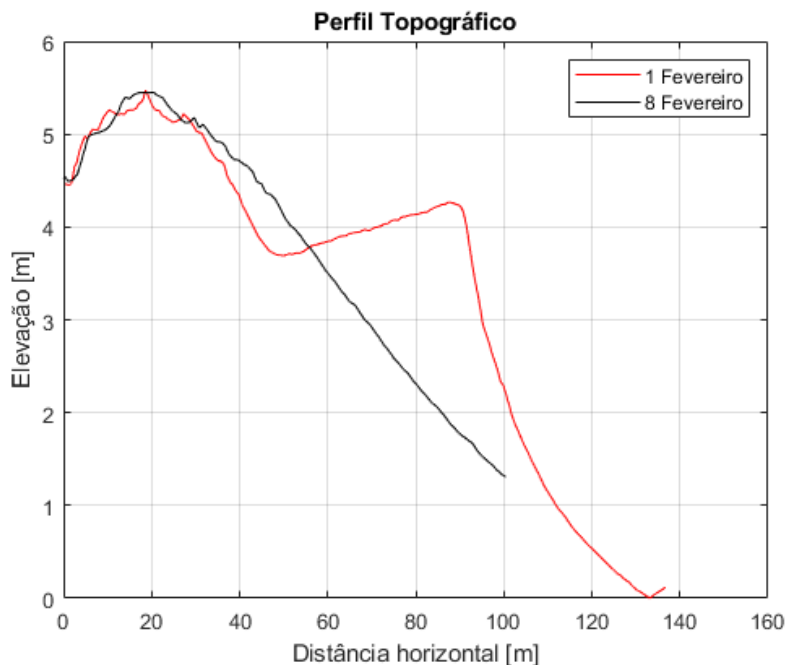


Figura 22 - Perfis topográficos do p3.

O perfil topográfico obtido na campanha de 1 de Fevereiro apresenta características de um perfil refletivo, típico do verão marítimo. A praia emersa apresenta uma extensão de cerca de 140 m, na qual é possível distinguir as diversas zonas (baixa, média e alta praia). A baixa praia possui uma extensão de cerca de 40 m com um declive acentuado, devido à existência de uma berma bem definida, com a crista atingindo uma cota de cerca de 4 m (Fig.23a). Por outro lado, a média praia é aplanada, apresentando uma extensão de cerca de 50 m (Fig.23b). A alta praia apresenta um certo declive devido à presença de uma duna, com uma cota máxima de cerca de 5 m. Conforme é possível observar na figura 23c, a duna apresenta indícios de erosão, atestada pela presença de uma escarpa na base da mesma.

O perfil topográfico obtido na campanha de 8 de Fevereiro, ou seja após o temporal, apresenta características típicas de um perfil dissipativo. Neste é possível observar uma redução da praia emersa, acompanhada pela destruição completa

da berma (Fig.24a). Nota-se, ainda, alterações no zonamento da praia emersa e uma redução generalizada de cotas da mesma, ao longo do perfil. A redução de cotas na baixa e na média praia está ligada a destruição da berma e à posterior remobilização dos sedimentos em direção a praia submersa, ou em direção a sul, neste caso por ação da corrente de deriva litoral. Para além da redução de cotas, o desaparecimento da berma também contribui para uma mudança de declive na média praia, passando de uma zona aplanada para uma zona com declive acentuado (Fig.24b). Na alta praia há evidências de ter ocorrido galgamento, embora o aumento das cotas do topo da duna não sejam muito significativas. Na base da duna, verifica-se um aumento de cota, sendo isto explicado pelo abatimento provocado pelo ataque da ondulação e consequente erosão junto à base da estrutura.

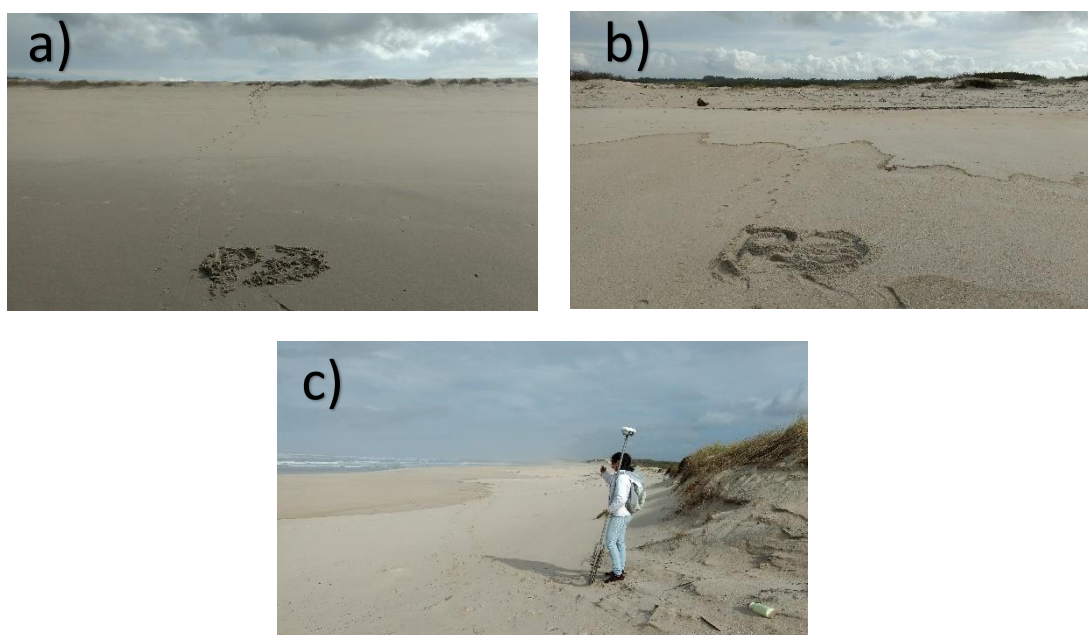


Figura 23 - Campanha de 1 de Fevereiro no p3: a) Baixa praia; b) Média e Alta Praia e c) Duna.



Figura 24 - Campanha de 8 de Fevereiro no p3: a) Baixa praia; b) Média e Alta Praia.

Na figura 25 encontram-se representados os perfis topográficos adquiridos no transepto p6, localizado a barlamar do esporão norte da Praia de Mira.

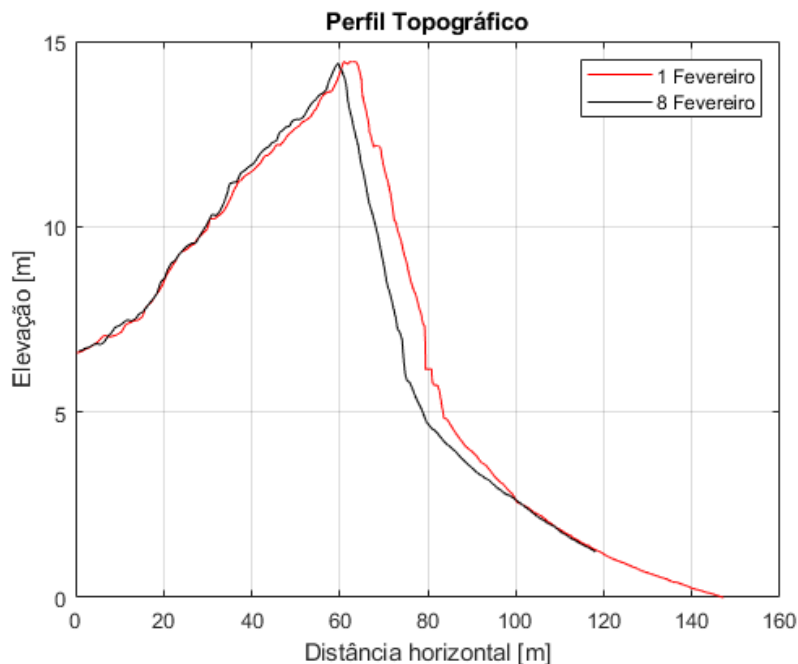


Figura 25 - Perfis topográficos do p6.

O perfil topográfico obtido na campanha de 1 de Fevereiro apresenta características de um perfil dissipativo, típico do inverno marítimo. A praia emersa apresenta uma extensão de cerca de 145 m, na qual é difícil diferenciar a baixa e média praia (Fig.26a). Esta dificuldade deve-se à ausência de berma, que por norma serve como indicador morfológico na separação destas zonas. Estas zonas em conjunto constituem uma zona aplanada com uma extensão de cerca de 50 m. Por sua vez, a alta praia apresenta um declive acentuado, devido a presença de uma duna bastante robusta, que atinge uma cota máxima de 15 m. No entanto esta apresenta indícios de erosão na base, sob a forma de escarpas de erosão (Fig. 26b).

O perfil topográfico de 8 de Fevereiro (Fig.27a) é bastante semelhante ao perfil obtido no dia 1. As principais diferenças verificam-se ao nível da largura da praia emersa e alterações na duna. A praia emersa possui uma extensão com cerca de 120 m, menos 25 m que em relação ao perfil pré-temporal. As alterações na

duna relacionam-se com uma diminuição de cota, junto à base, e um recuo da mesma, de aproximadamente 3 m, devidas à erosão (Fig.27b).



Figura 26 - Campanha de 1 de Fevereiro no p6: a) Baixa e média praia; b) Média e Alta Praia.



Figura 27 - Campanha de 8 de Fevereiro no p6: a) Baixa praia; b) Média e Alta Praia.

Os perfis, p3 e p6, na campanha de 1 de Fevereiro apresentam uma extensão bastante semelhante, mas diferem em vários aspetos. No p3 é evidente uma melhor distinção das zonas de praia (baixa, média e alta praia), devido à existência de uma berma, indicador morfológico inexistente no p6. Em contrapartida, o p6 apresenta uma duna mais robusta e com uma maior dimensão.

Os perfis de 8 de Fevereiro, após o episódio de temporal, diferem devido à presença/ausência de berma. No p3, não se observa o recuo da base da duna, uma vez que a berma pode ter funcionado como uma barreira natural, tendo amortecido o impacto da forte ondulação antes de esta atingir a duna; para além deste aspeto, a largura da praia emersa, cerca de 90 m, era considerável. Pelo contrário, o perfil p6 não possuía berma que impedisse a forte ondulação de atingir diretamente a base da duna e, conseqüentemente, provocar erosão.

O principal elemento diferenciador entre os dois perfis é a proximidade ao esporão do Poço da Cruz. A ondulação (originária do quadrante de NW), ao entrar em contacto com o esporão, sofre fenómenos de difração e de refração, dando origem a uma zona de ondulação de menor intensidade, designada por zona de sombra do esporão. O perfil p3 está inserido nessa zona, o que explica a existência de uma berma bem definida, enquanto o p6, mais afastado e exposto à ondulação, não apresenta nenhuma berma.

5.2. Simulações XBeach

Nesta secção são apresentadas as simulações 1D realizadas para os perfis topo-batimétricos p3 e p6. As imagens são formadas por um conjunto de três gráficos:

- Um gráfico relativo ao perfil inicial completo, designado pelo número de barras submersas consideradas;
- Um gráfico que contém os perfis obtidos em campo, assim como o perfil resultante da simulação, designado por “Perfil Topo Batimétrico”;
- Um gráfico que representa a taxa de erosão/acreção entre o perfil inicial (obtido em campo) e o perfil simulado, designado por “Taxa de erosão/acreção”.

Importa realçar que os gráficos designados por Perfil Topo Batimétrico e Taxa de erosão/acreção apenas representam os primeiros 300 m a partir da duna, dado que, a partir dessa distância, não ocorrem alterações significativas.

As simulações realizadas, foram divididas em 4 cenários, sendo estes:

Cenário 1 - Simulações do perfil p3 com a influência da onda infra gravítica;

Cenário 2 - Simulações do perfil p3 desprezando a onda infra gravítica;

Cenário 3 - Simulações do perfil p6 com a influência da onda infra gravítica;

Cenário 4 - Simulações do perfil p6 desprezando a onda infra gravítica.

5.2.1. Cenário 1

As figuras 28, 29 e 30 correspondem às simulações realizadas para o perfil topo-batimétrico p3, utilizando a onda infra gravítica para três possíveis situações, sem barra submersa, com uma e duas barras submersas.

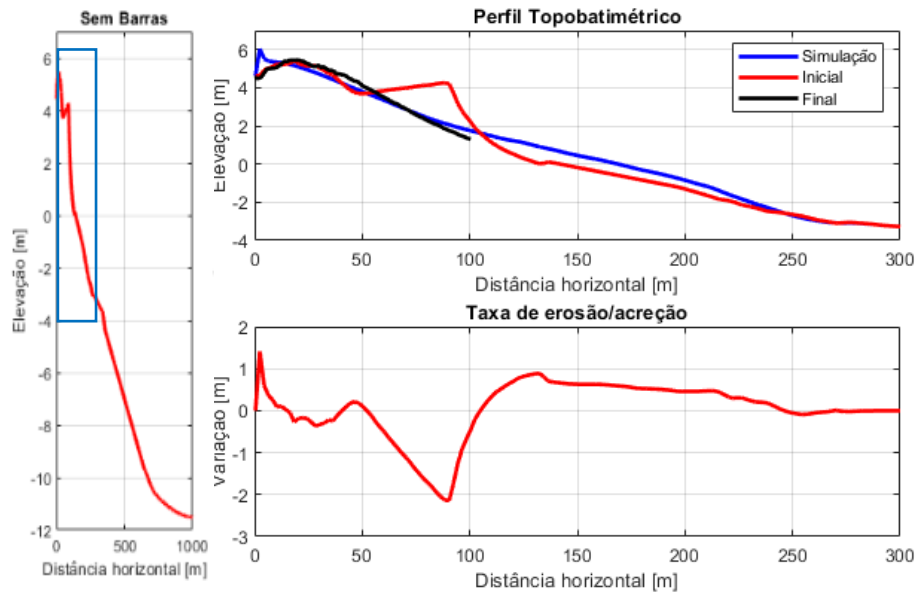


Figura 28 - Simulação do perfil sem barras submersas, sob o efeito da onda infra gravítica.

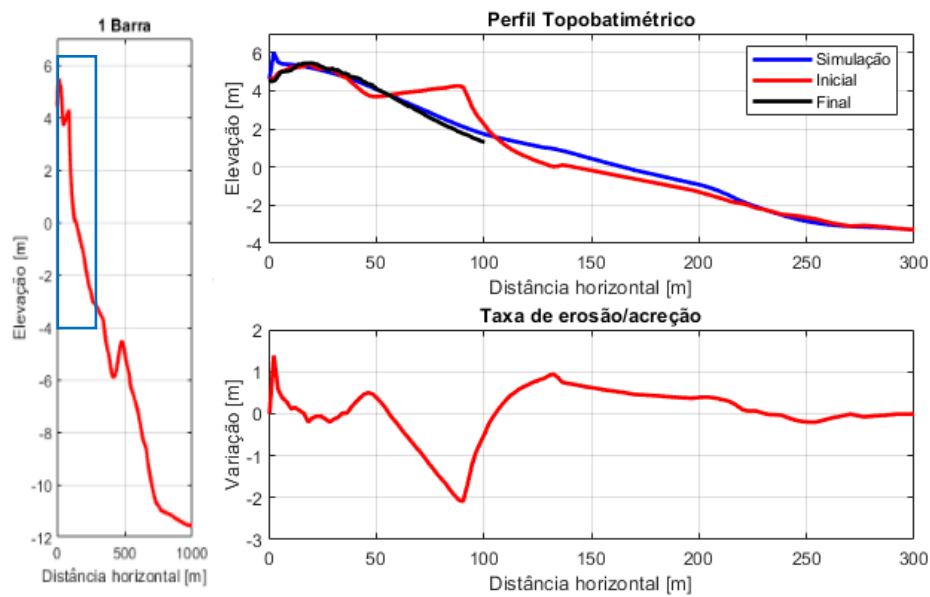


Figura 29 - Simulação do perfil com uma barra submersa, sob o efeito da onda infra gravítica.

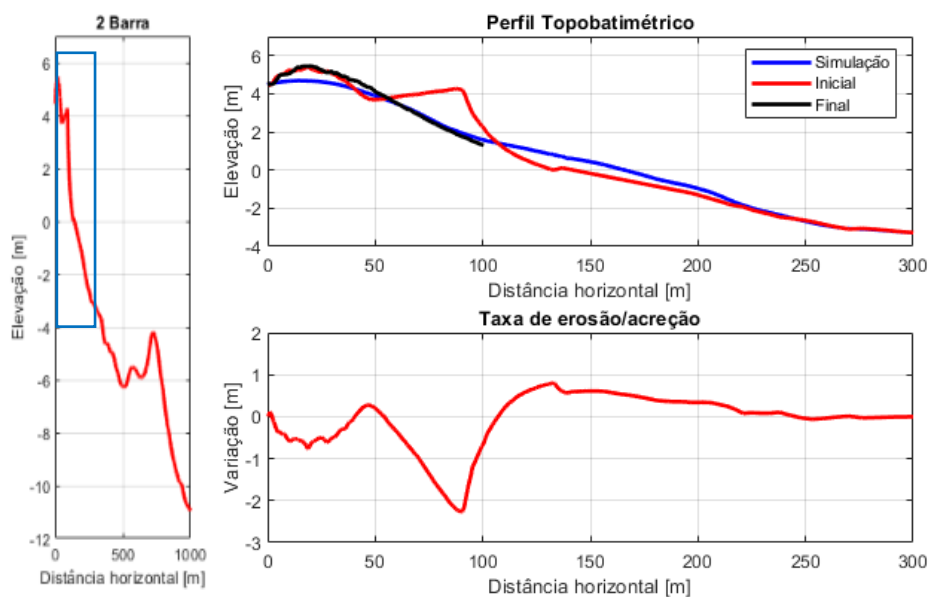


Figura 30 - Simulação do perfil com duas barras submersas, sob o efeito da onda infra gravítica.

Em termos gerais, as simulações são consistentes com os dados adquiridos em campo, ou seja, todas apresentam uma diminuição do declive da duna, acompanhada do desaparecimento da berma, levando a que a média praia passa a ser uma zona aplanada para uma zona com declive acentuado. Por outro lado, nas simulações é possível observar que a extensão da praia emersa tende a aumentar após o temporal em cerca de 50 m. Antes do temporal, a praia emersa possuía uma largura de 150 m; após o temporal, a largura passou a ser de, aproximadamente, 200 m. Este aumento pode ser considerado irrealista, já que, comparativamente aos dados obtidos em campo, era de esperar que a praia emersa sofresse uma redução da largura. A destruição da berma e a consequente alteração do declive da média praia, a redução do declive da duna são facilmente comprovados pelos gráficos que apresentam a taxa de erosão/acreção para cada um dos perfis topo batimétricos apresentados.

Analisando algumas características específicas de cada perfil, é possível observar um conjunto de pontos diferenciadores entre o perfil obtido por simulação e o adquirido em campo após o temporal (Fig.28). Importa referir que o perfil não possui barra submersa que origine a rebentação precoce da onda, sendo este um fator que pode explicar algumas das diferenças. O ponto mais evidente é o recuo

da duna, acompanhado pela ocorrência de *overtopping*, levando a que a cota máxima da duna atinga os 6 m. Estes fenômenos são característicos do regime de galgamento oceânico.

Na figura 29, e com a presença de uma barra submersa no perfil simulado, também é possível observar o recuo da duna e, eventualmente, acompanhado por *overtopping*. O restante perfil é bastante semelhante ao perfil obtido em campo após o temporal.

No cenário da figura 30 não se observa o recuo da duna mas, uma diminuição de cota e a conseqüente remobilização de sedimentos para a baixa praia. Esta simulação encontram-se sob o regime de colisão.

Em relação ao desempenho das simulações estão presentes na tabela 6 os valores obtidos segundo o método BSS (*Brier Skill Score*).

Tabela 6 - Classificação de desempenho das simulações (Perfil p3) sob o efeito de ondas infra gravíticas, com base no BSS.

Simulações	Classificação
Sem barras submersas	0,8763
Com uma barra submersa	0,9063
Com duas barras submersas	0,8674

Embora todas as simulações apresentem valores classificados como excelentes, a simulação representada na figura 29 é a que evidencia melhor desempenho, sendo a que reproduz com maior detalhe o evento de temporal.

5.2.2. Cenário 2

As figuras 31, 32 e 33 correspondem às simulações realizadas para o perfil topobatimétrico p3, desprezando a onda infra gravítica, mas mantendo os pressupostos morfológicos da situação anterior.

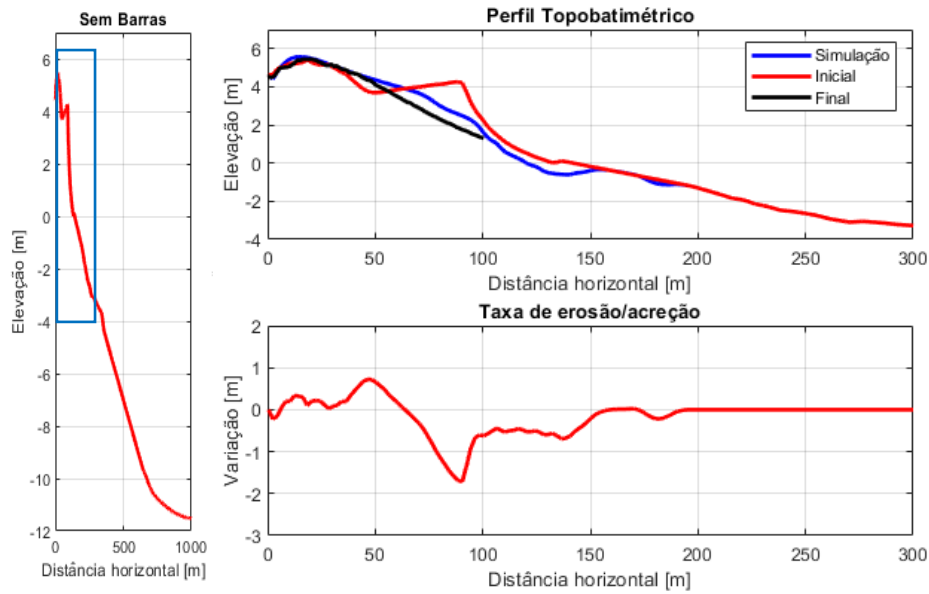


Figura 31 - Simulação do perfil sem barras submersas, desprezando o efeito da onda infra gravítica.

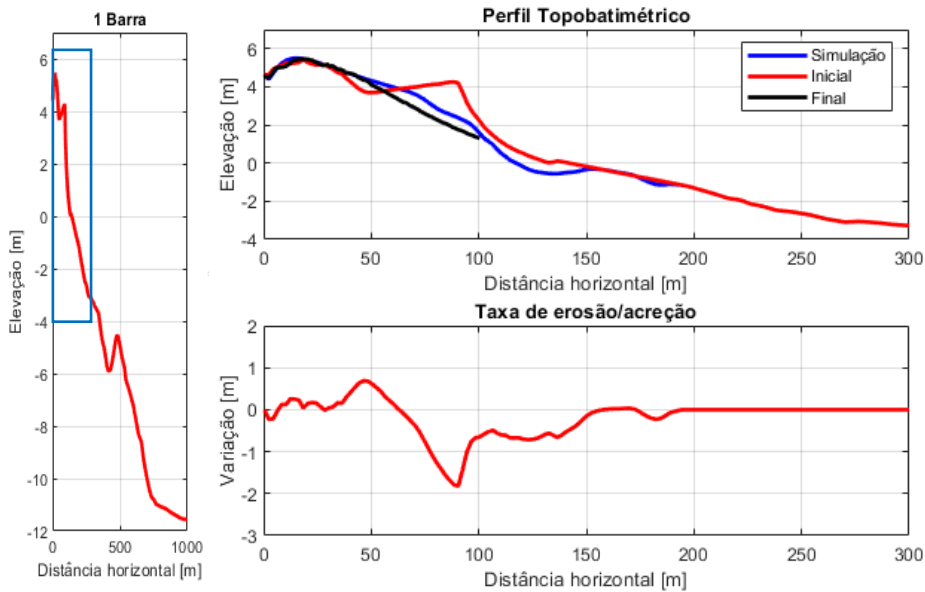


Figura 32 - Simulação do perfil com uma barra submersa, desprezando o efeito da onda infra gravítica.

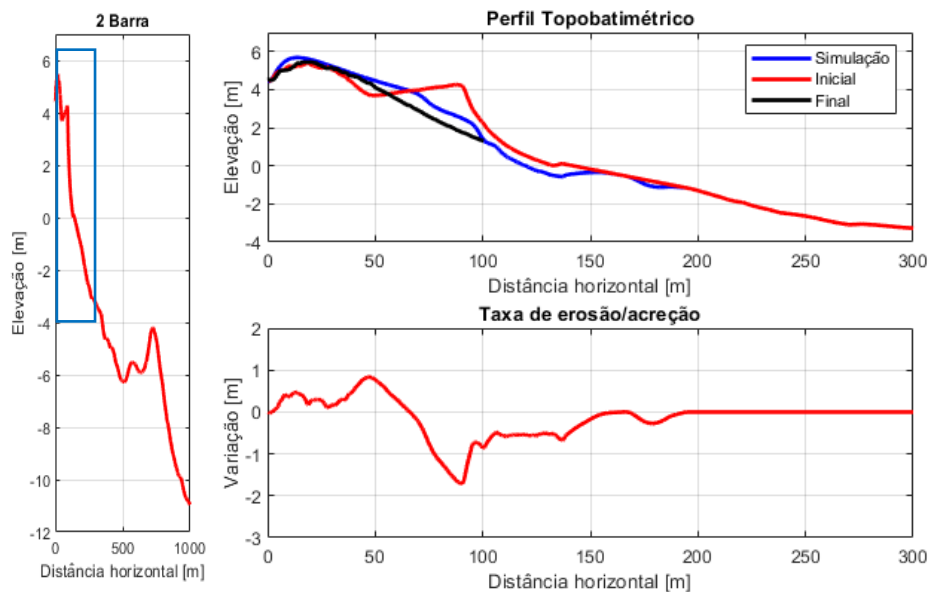


Figura 33 - Simulação do perfil com duas barras submersas, desprezando o efeito da onda infra gravítica.

Em termos gerais as simulações são relativamente consistentes com os dados adquiridos em campo, ou seja, apresentam uma diminuição do declive da duna, o declive da média praia mais acentuado e redução, em cerca de 50 m, da largura da praia emersa. Antes do temporal a praia emersa possuía uma extensão de cerca de 150 m; após o temporal, a extensão passou a ser de, aproximadamente 100 m. Por outro lado, o elemento diferenciador deste conjunto de simulações, relativamente ao perfil adquirido em campo, passa pelas alterações que ocorreram na berma e na baixa praia. Enquanto no perfil de campo é possível observar que a berma foi completamente destruída, nas simulações esta sofreu uma redução, mas ainda está presente no perfil. Assim como a berma, a baixa praia, após a ocorrência do temporal, deveria ter uma extensão mais reduzida. Nas simulações é possível observar a ocorrência de *overtopping*, embora seja bastante reduzido.

Em relação ao desempenho das simulações, estão presentes na tabela 7, os valores obtidos segundo o método BSS.

Tabela 7 - Classificação de desempenho das simulações (p3) desprezando o efeito de ondas infra gravíticas, com base no BSS.

Simulações	Classificação
Sem barras submersas	0,8001
Com uma barra submersa	0,8445
Com duas barras submersas	0,7689

Embora todas as simulações apresentem valores classificados como bons, a simulação representada na figura 32, com a presença de uma barra submersa, é a que evidencia melhor desempenho e a que reproduz com maior detalhe o evento de temporal.

5.2.3. Cenário 3

As figuras 34, 35 e 36 corresponde às simulações realizadas para o perfil topo-batimétrico p6, utilizando a onda infra gravítica

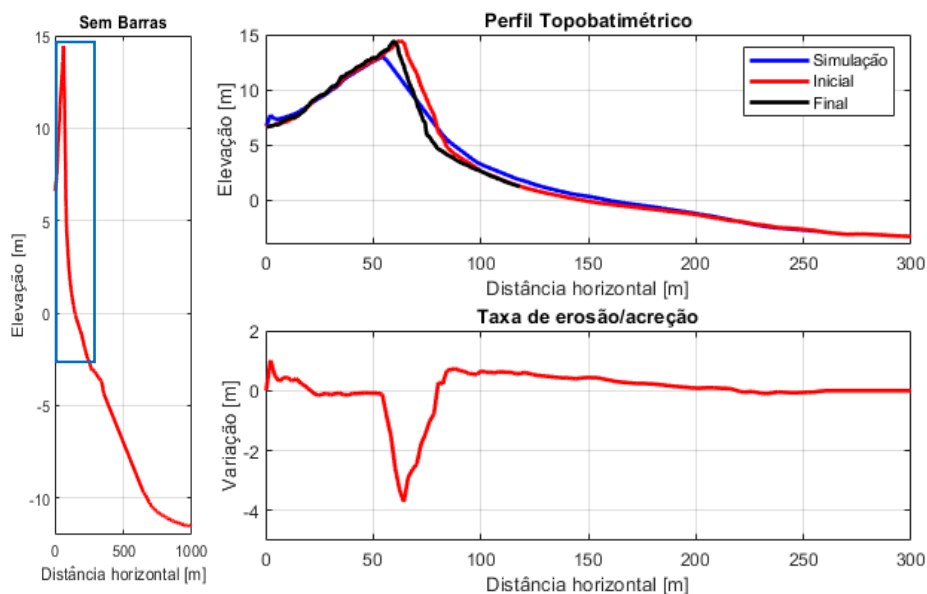


Figura 34 - Simulação do perfil sem barras submersas, sob o efeito da onda infra gravítica.

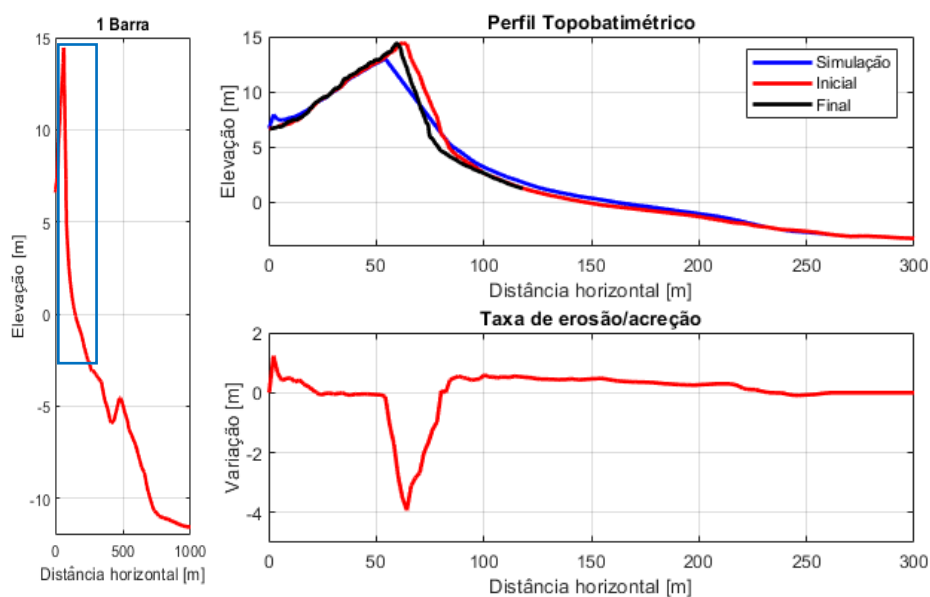


Figura 35 - Simulação do perfil com uma barra submersa, sob o efeito da onda infra gravítica.

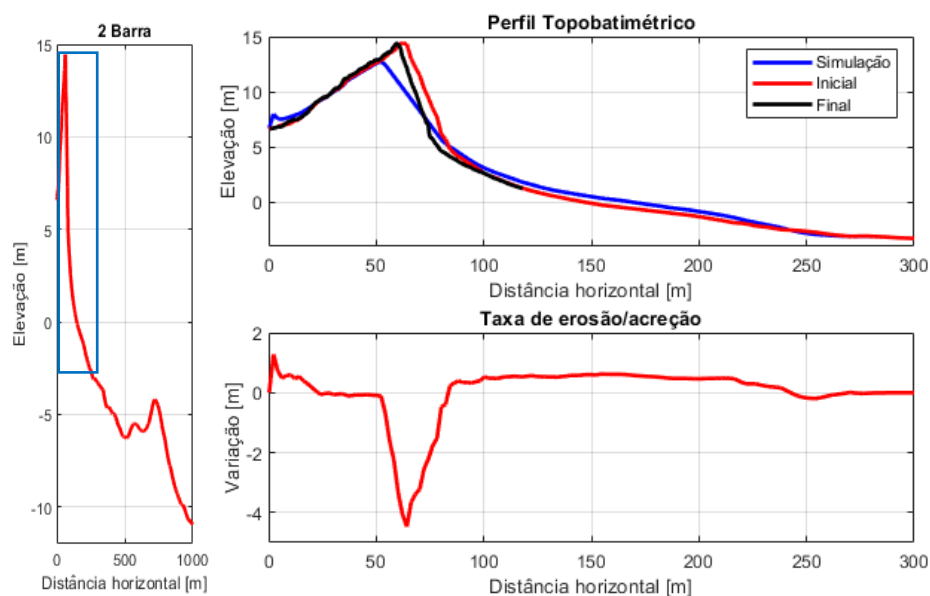


Figura 36 - Simulação do perfil com duas barras submersas, sob o efeito da onda infra gravítica.

Em termos gerais, as simulações apresentam alguma concordância com os dados adquiridos em campo, nomeadamente no recuo da duna. Em todas as simulações ocorreu recuo, devido ao abatimento parcial da mesma. Este efeito foi acompanhado por uma diminuição da cota máxima da duna, entre 0,5 e 1 m. A

diminuição é menor no perfil sem barra submersa (Fig.34), aumentando no perfil com uma barra (Fig.35) e atingido o valor máximo na situação com duas barras (Fig.36).

O aumento da cota da duna junto ao início do perfil é algo comum a todas as simulações, podendo ser justificado devido a ocorrência de galgamentos oceânicos. Para além disso observa-se que a extensão da praia emersa tende a aumentar após o temporal em cerca de 20 m (antes e após o temporal a largura é de 150 m e 170 m, respetivamente). Este aumento é considerado irrealista, pois em comparação com os dados obtidos em campo era de esperar que a praia emersa sofresse redução. O colapso da duna e conseqüente recuo, assim como o aumento da extensão da praia emersa, são facilmente comprovados pelos gráficos que apresentam a taxa de erosão/acreção para cada um dos perfis topo batimétricos. Todas as simulações encontram-se sob o regime de galgamento oceânico.

O desempenho das simulações estão presentes na tabela 8, cujos valores foram obtidos segundo o método BSS.

Tabela 8 - Classificação de desempenho das simulações (p6) sob o efeito de ondas infra gravíticas, com base no BSS.

Simulações	Classificação
Sem barras submersas	0,1472
Com uma barra submersa	0,1828
Com duas barras submersas	0,0357

Embora todas as simulações apresentem valores considerados como maus, a simulação representada na figura 36, que inclui duas barras, é a que possui um maior desempenho dentro do conjunto. Os valores obtidos nesta classificação pode ser devida a dois fatores. O primeiro baseia-se na calibração utilizada nas simulações (o modelo foi calibrado em função do perfil p3); o segundo fator refere-se a possíveis diferenças entre a batimetria utilizada nas simulações e a batimetria real.

5.2.4. Cenário 4

As simulações para o perfil topo-batimétrico p6, desprezando a onda infra gravítica, encontram-se nas figuras 37, 38 e 39.

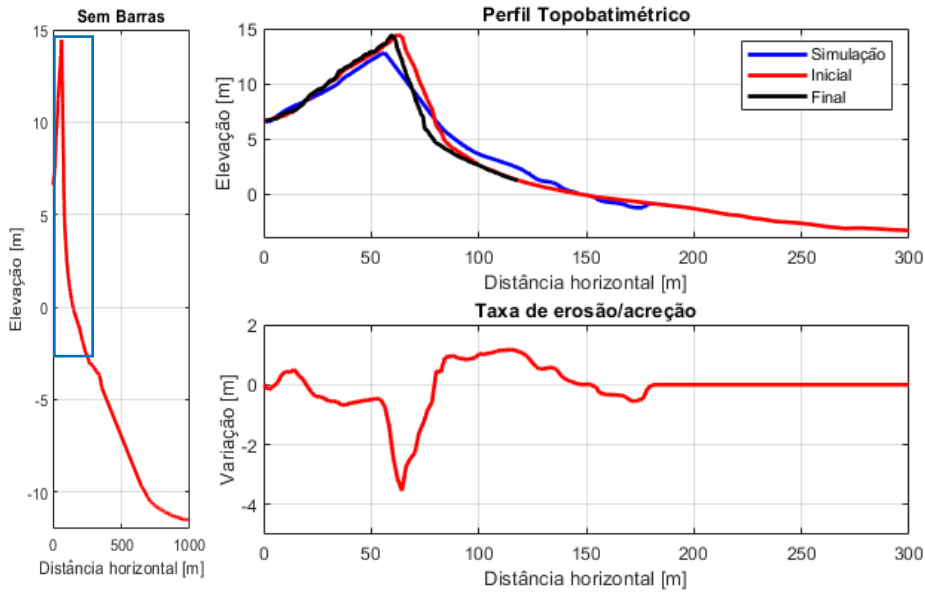


Figura 37 - Simulação do perfil sem barras submersas, desprezando o efeito da onda infra gravítica.

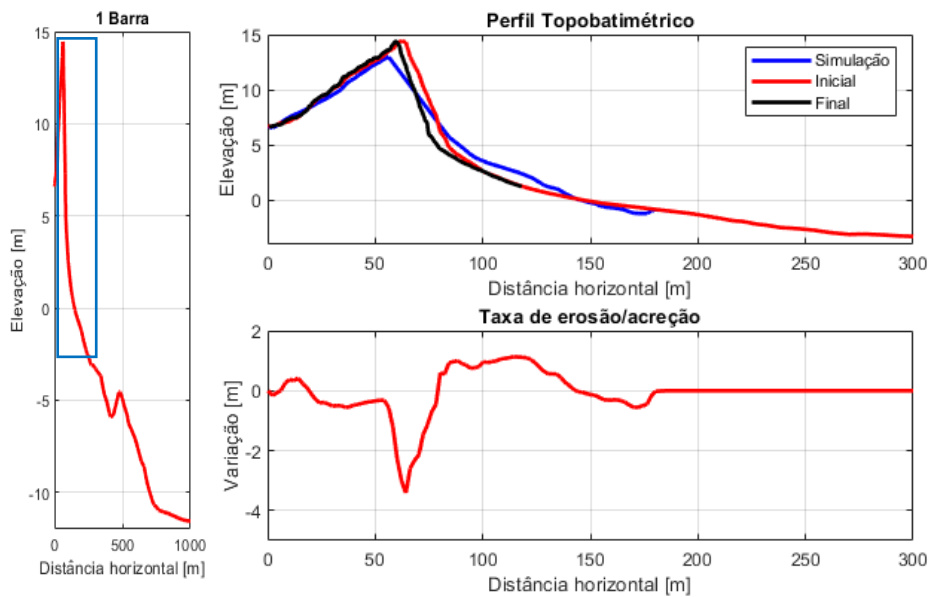


Figura 38 - Simulação do perfil com uma barra submersa, desprezando o efeito da onda infra gravítica.

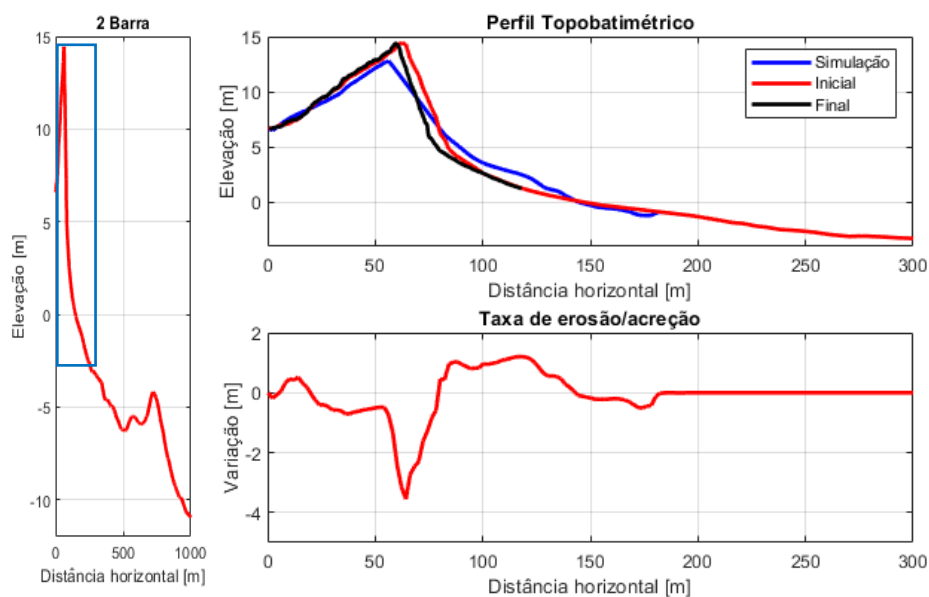


Figura 39 - Simulação do perfil com duas barras submersas, desprezando o efeito da onda infra gravítica.

Em termos gerais as simulações apresentam alguma concordância com os dados adquiridos em campo, nomeadamente, no recuo do cordão dunar frontal. Em todas as simulações ocorreu recuo da duna, devido ao abatimento junto à base, o que conduziu, também, a uma diminuição da cota máxima da duna, de 15 m para os 12 m, e a uma diminuição de declive da alta praia com o sedimento proveniente da erosão. Segundo os dados obtidos em campo era de esperar que a praia emersa sofresse uma redução da largura. No entanto, esta manteve-se imutável antes e após o temporal, apresentado uma extensão de 150 m. O colapso e consequente o recuo da duna, assim como a extensão da praia emersa, são facilmente comprovados pelos gráficos que apresentam a taxa de erosão/acreção para cada um dos perfis topo batimétricos. As três simulações encontram-se no regime de colisão.

Em relação ao desempenho das simulações, valor foi calculado segundo o método BSS (tabela 9).

Tabela 9 - Classificação de desempenho das simulações (p6) desprezando o efeito de ondas infra gravíticas, com base no BSS.

Simulações	Classificação
Sem barras submersas	-0,1811
Com uma barra submersa	-0,1235
Com duas barras submersas	-0,1931

Os valores negativos encontram-se dentro do intervalo considerado pelo método BSS ($]-\infty, 1]$), sendo considerados como mau desempenho.

Embora todas as simulações apresentem valores considerados maus, a simulação representada na figura 38 é a que possui um melhor desempenho. As causas para o mau desempenho do modelo são as mesmas referidas na secção anterior.

5.2.5. Simulação da Grelha 2D

Nesta secção é apresentada a evolução da grelha bidimensional, que engloba os perfis topo-batimétricos p1, p2 e p3, ao longo do evento de temporal, em intervalos regulares de 6 horas. Os perfis enumerados estão localizados na zona de sombra do esporão. Esta simulação foi realizada com as configurações utilizados no cenário 1 (Simulações do perfil p3 com a influência da onda infra gravítica), devido aos bons resultados obtidos nesse cenário.

Os restantes perfis topo-batimétricos correspondem a perfis localizados fora da zona de sombra do esporão. Devido aos maus resultados obtidos para as simulações unidimensionais referentes ao perfil p6, optou-se por excluir todos os perfis localizados fora dessa zona.

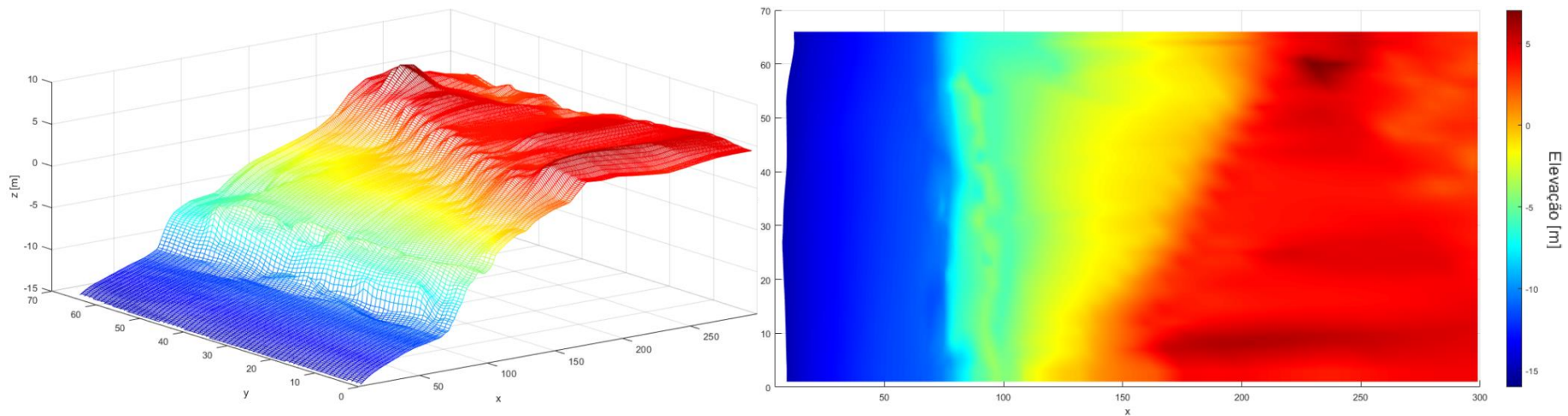


Figura 40 - Simulação: 2 de Fevereiro 00:00h.

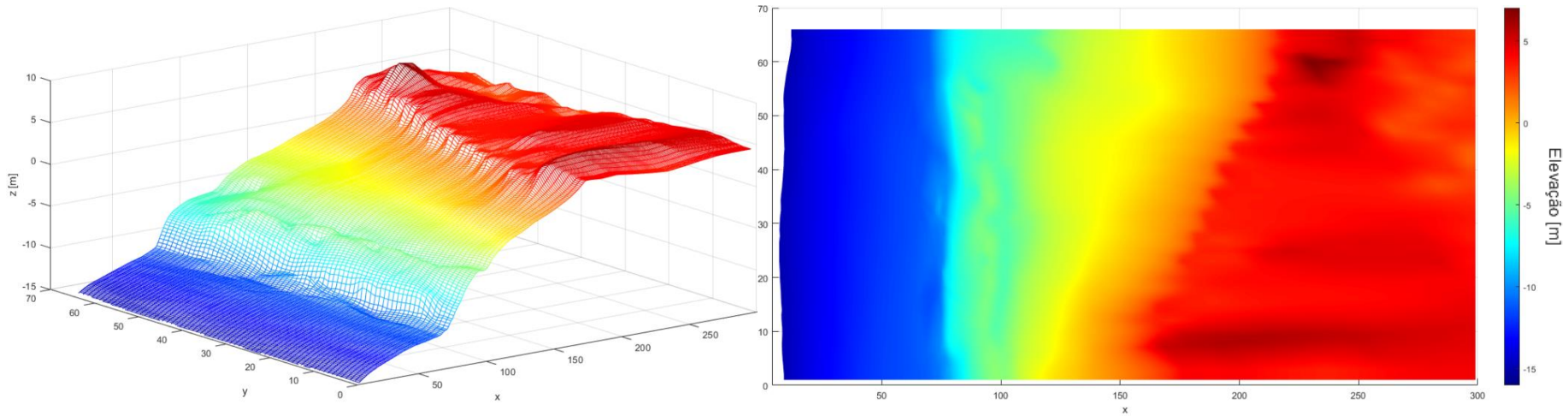


Figura 41 - Simulação: 2 de Fevereiro 06:00h.

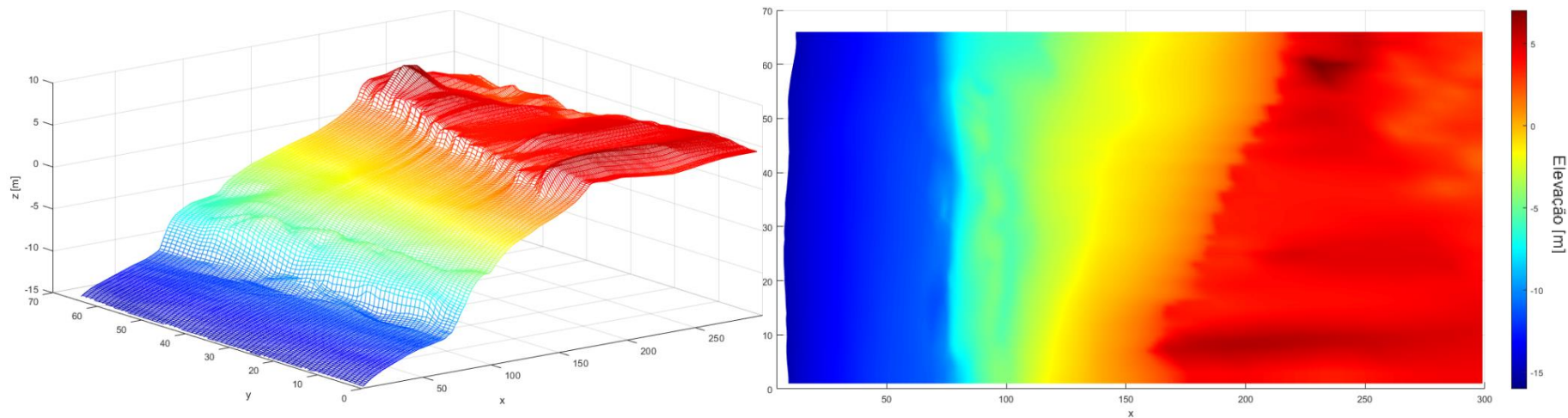


Figura 42 - Simulação: 2 de Fevereiro 12:00h.

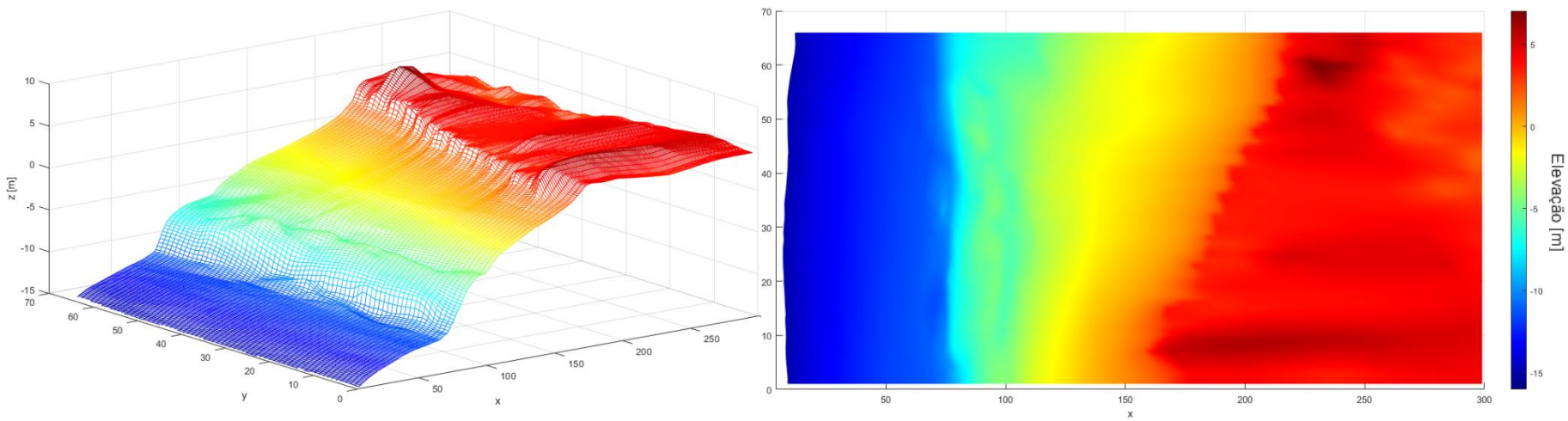


Figura 43 - Simulação: 2 de Fevereiro 18:00h.

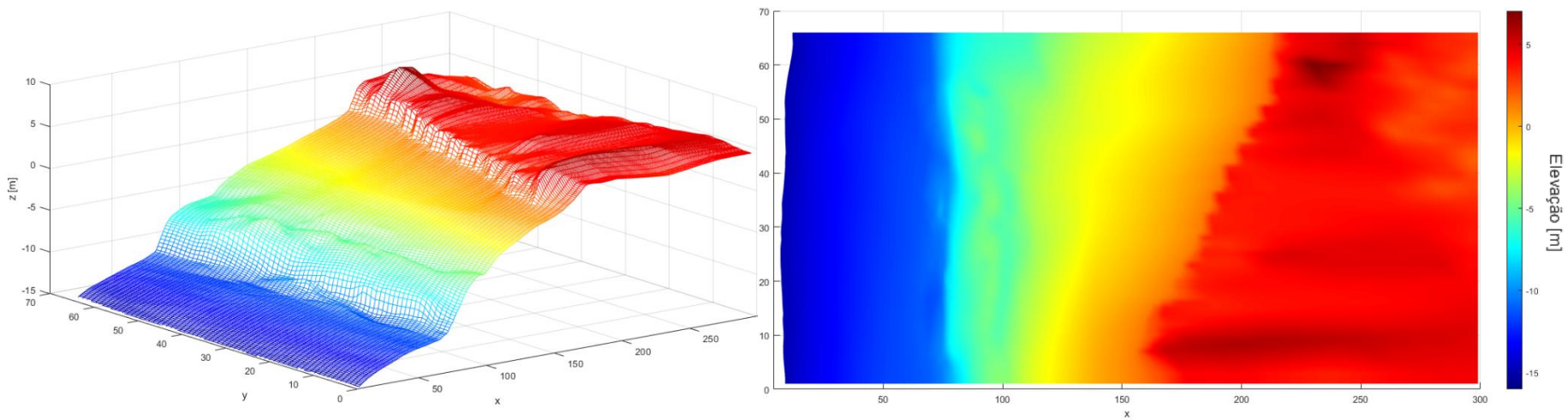


Figura 44 - Simulação: 3 de Fevereiro 00:00h.

Na grelha topo-batimétrica inicial observa-se um aumento da largura da praia emersa em direção a sul (Fig.40). A baixa praia possui uma extensão reduzida e declive acentuado. Na zona central da grelha identifica-se uma berma robusta, que atinge cotas entre os 3 e os 5 m; a configuração da crista da berma é compatível com um sistema de cúspides. A média praia, de forma geral, exhibe um aumento de largura em direção a sul. A alta praia apresenta um cordão dunar bastante erodido, sendo poucas as zonas em que a duna ultrapassa a cota dos 6 m. Para além disso, no cordão dunar é possível observar a presença de corredores eólicos, que poderão funcionar como eixos de inundação aquando dos galgamentos. Por sua vez, na praia submersa é visível a presença de uma barra arenosa paralela à costa.

As alterações morfológicas mais significativas observadas na grelha, ocorreram durante as primeiras 6 horas do evento de temporal (Fig.41). Na zona central, é possível observar a diminuição das cotas da berma, acompanhada do seu recuo. Enquanto nos extremos da grelha, devido à ausência da berma, a base do cordão dunar frontal encontra-se exposta à forte ondulação. Os sedimentos resultantes da erosão da berma foram transportados em direção à praia submersa, provocando um aumento de extensão da baixa praia.

Nas 12 horas seguintes (Figs.42 e 43), ocorreu um recuo progressivo da berma situado na zona central da grelha, assim como um recuo da base da duna nos locais onde esta se encontrava exposta, em particular juntos aos extremos da grelha.

Após a ocorrência do evento de temporal, foi possível observar um aumento da praia emersa na zona central da grelha (Fig.44). Esse aumento foi o resultado da remobilização dos sedimentos provenientes da berma em direção à baixa praia. A remobilização de sedimentos da berma, devido à ação da forte ondulação, provocou o recuo da mesma e, conseqüentemente, a redução da média praia, não afetando, no entanto, o sistema de cúspides. Nas extremidades da grelha, ocorreu uma diminuição da praia emersa, devido ao abatimento parcial da duna, e posterior remobilização dos sedimentos em direção à praia submersa. No entanto fica a dúvida sobre a possibilidade de episódios de galgamento oceânicos, ou de

inundações da alta praia. Dessa maneira o único cenário possível é o regime colisão.

Na praia submersa não se verificaram alterações significativas, sendo ainda visível a barra submersa.

6. Conclusão

Esta dissertação focou-se no uso do modelo *XBeach*, de forma a testar a sua aplicação num contexto com características específicas, como é o caso da costa ocidental portuguesa, caracterizada por forte agitação marítima; o estudo incidiu sobre o troço costeiro entre a praia do Poço da Cruz e a Praia de Mira e o impacto do temporal de 2 de Fevereiro de 2017.

A aplicação do modelo envolvia questões como a aplicação e desempenho para a zona de estudo, a importância de certos parâmetros na calibração (em especial as ondas infra gravíticas) e limitações do mesmo.

A aplicação do modelo apresentou diferentes resultados para o p3 e para o p6, no entanto, houve um fator comum em ambos os casos. Em cada cenário simulado, o perfil batimétrico que continha uma barra submersa, obteve os melhores resultados, tanto nas simulações como no BSS, o que possivelmente significa que, durante o período de temporal, existia uma barra submersa no trecho costeiro considerado. Para além disso, todos os perfis, com a exceção de um, apresentou características de estar sob o regime de galgamento.

Nas simulações relativas ao perfil p3, o modelo provou ser capaz de reproduzir com bastante detalhe a evolução do perfil topográfico, apresentando excelentes resultados no método de classificação BSS. Em relação à batimetria, e devido à dificuldade de se obter dados batimétricos após o temporal, fica alguma incerteza sobre a capacidade do modelo representar a evolução do perfil batimétrico.

Nas simulações do perfil p6, o modelo reproduziu de maneira bastante simplista, e com alguns erros grosseiros, os processos que ocorrem, sendo os resultados classificados como maus segundo o método BSS. Em relação ao perfil batimétrico, ficam as mesmas dúvidas referidas anteriormente. Os maus resultados podem ser justificados pela calibração realizada para o modelo (foi calibrado em função do perfil p3), ou devido a diferenças significativas entre os dados batimétricos usados e os reais. No caso da calibração, isso demonstra que a resposta morfológica da praia é diferente em toda a sua extensão, sendo por isso necessário calibrar o modelo para sector que se pretende estudar, caso contrário,

o modelo pode apresentar resultados que negligenciam em muito a realidade. No caso da batimetria, os resultados indicam que a morfologia da praia submersa possui um papel fundamental nas alterações morfológicas que ocorrem na praia emersa.

Em relação aos parâmetros utilizados, tinha-se como objetivo compreender a influência da onda infra gravítica na evolução morfologia de uma praia. Com base nos resultados obtidos, conclui-se que estas são preponderantes na evolução morfológica de uma praia, devido à capacidade erosiva que elas possuem.

De uma forma geral, o modelo *XBeach* consegue reproduzir os processos costeiros e, conseqüentemente, a evolução dos perfis de praia. No entanto, no caso de praias que apresentem sectores com comportamentos distintos entre si, é necessário realizar uma calibração específica para cada sector. Por outro lado, de forma a melhorar os resultados obtidos, devia-se proceder à obtenção dos perfis batimétricos de alta resolução, antes e após o temporal, assim como a obtenção de séries de agitação marítima durante o evento de temporal.

Em relação à simulação da grelha bidimensional, embora os resultados obtidos sejam, de forma geral, consistentes com o observado em campo, não foi possível validar os resultados. Isto devido a dificuldade de obter os perfis batimétricos para a zona de estudo após a ocorrência do temporal. Por outro lado, os dados topo batimétricos utilizados na construção da grelha bidimensional, vieram confirmar a existência de uma barra submersa adjacente a praia emersa, confirmando assim a teorização feita sobre os resultados do perfil p3.

Com vista a futuros trabalhos envolvendo o *XBeach* para esta zona, seria interessante seleccionar um conjunto de temporais ocorridos ao longo do ano de forma a avaliar a influência da sazonalidade nos eventos temporais. Seria, também importante, a criação e a validação de uma grelha bidimensional, representativa de todo o sector a norte da Praia Mira, de modo a ser possível prever o impacto de futuros temporais, e assim criar estratégias de protecção costeira que se adaptassem à realidade da zona de estudo.

7. Bibliografia

- Agência Portuguesa do Ambiente (2012). Plano de Ação de Proteção e Valorização do Litoral 2012-2015. Lisboa.
- Alcamo, J., Moreno, J.M., Novásky, B., Bindi, M., Corobov, R., Devoy, R.J.N., Giannakopoulos, C., Martin, E., Olesen, J.E. & Shvidenko, A. (2007). *Climate change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability: Europe. Contribution of Working Group II to the Fourth assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*; Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. & Hanson, C.E. (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK. (p.543).
- Mercelis, A., Roelvink, D., Haerens, P. & Trouw, K. (2011). *Application and validation of XBeach for three different field sites*. Coast Eng 32.
- Baptista, P. (2006). *O sistema de posicionamento global aplicado ao estudo de litorais arenosos*. Tese de doutoramento, Universidade de Aveiro, Aveiro, 278 p.
- Baptista, P., Cunha, T., Matias, A., Gama, C., Bernardes, C. & Ferreira, O. (2011). Newland-based method for surveying sandy shores and extracting DEMs: the INSHORE system. Environmental monitoring and assessment, 182(1-4):243–57.
- Beevers, L., Popescu, I., Pan, Q. & Pender, D. (2016) Applicability of a coastal morphodynamic model for fluvial environments. Environ Model Softw 80:83–99.
- Bengtsson, L., K. Hodges & N. Keenlyside (2009): *Will extratropical storms intensify in a warmer climate? J. Climate*, 22, 2276–2301
- Bettencourt, P. & Ângelo, C. (1992). *Faixa costeira Centro Oeste (Espinho-Nazaré): Enquadramento geomorfológico e evolução recente*. Genovas Especial: A Geologia e o Ambiente, 1:7–30.

- Booji, N., Ris, R. C. & Holthuijsen, L. H. (1999). *A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation. Journal of Geophysical Research*, 104, 7649-7666.
- Burke, L., Kura, Y., Kassem, K., Revenga, C., Spalding, M. & McAllister, D. (2001). *Pilot Analysis of Global Ecosystems: Coastal Ecosystems*. World Resources Institute, Washington D.C, p. 77.
- Teixeira, C. (1991). *Vocabulário de Termos Geológicos*. Diferentes editoras consoante as letras, Lisboa.
- Carter, R. W. & Basillie, J. (1983). A note on the amount of wave energy transmitted over nearshore sand bars. *Earth Surface Processes and Landforms*, 8, pp. 213-222
- Coelho, C. (2005). *Riscos de exposição de frentes urbanas para diferentes intervenções de defesa costeira*. Tese de doutoramento, Universidade de Aveiro, Aveiro, 404 p.
- Cohn, N. & Ruggiero, P. (2016). *The influence of seasonal to interannual nearshore profile variability on extreme water levels: modeling wave runup on dissipative beaches*. *Coast Eng* 115:79–92
- Costa, M. (1994). *Agitação Marítima na Costa Portuguesa*, Anais do Instituto Hidrográfico, nº13,34-40.
- Costa, M., Silva, R. & Vitorino, J. (2001). *Contribuição para o Estudo do Clima de Agitação Marítima na Costa Portuguesa*. 20 p.
- Dias, J., Ferreira, O. & Pereira, A. (1994). *Estudo sintético de diagnóstico da geomorfologia e da dinâmica sedimentar dos troços costeiros entre Espinho e Nazaré*. Universidade do Algarve, Lisboa, 303 p.
- Dias, J. (2007). *Glossário das zonas costeiras*. Disponível em: <http://www.aprh.pt/rgci/glossario/praias.html> [Consultado em 10 de Maio de 2019].
- Davidson-Arnott, R. (2010). *Introduction to coastal processes and geomorphology*. Cambridge University Press, New York, 2ª edição, p. 458

- Ferreira, O. & Dias, J. A. (1992). Dune erosion and shoreline retreat between Aveiro and Cape Mondego (Portugal). Prediction of future evolution. Proceedings of the international coastal congress, pp: 187–200.
- Ferreira, O. (1993). *Caracterização dos principais factores condicionantes do balanço sedimentar e da evolução da linha de costa entre Aveiro e o Cabo Mondego*. Tese de mestrado, Universidade de Lisboa, Lisboa, 168 p.
- Ferreira, O. (1998). *Morfodinâmica de Praias Expostas: Aplicação ao Sector Costeiro Aveiro-Cabo Mondego*. Tese de Doutoramento, Universidade do Algarve. 337 p.
- Ferreira C., Silva P.A., Fernández-Fernández S., Ribeiro A., Abreu T., Bertin X. & J. Dias (2017): Validation of a morphodynamic model to Figueira da Foz inlet, SCACR2017 – International Short Course/Conference on Applied Coastal Research, 3rd October - 6th October 2017 – Santander, Spain 1-12.
- Fontán-Bouzas, A., Baptista, P., Silva, P.A., Tubarão, L., Ferreira C., Alcántara-Carrió, J., Pais-Barbosa, J. & Bernardes, C., 2017. *Nearshore morphodynamics of Poço da Cruz - Mira coastal stretch (NW Portugal) during the winter 2016/2017*. Book of Proceedings IX Jornadas Geomorfología Litoral, 343-346.
- Fontán-Bouzas, A. (2018). *Apontamentos da disciplina de Hidromorfologia Costeira*. Universidade de Aveiro.
- Fortes, C.J.E.M., Reis, M.T., Poseiro, P., Capitão, R., Santos, J.A., Pinheiro, L.P., Rodrigues, A., Sabino, A., Rodrigues, M.C., Raposeiro, P., Ferreira, J.C., Silva, C., Simões, A. & Azevedo, E.B. (2013). *O Projeto HIDRALERTA. Sistema de Previsão e Alerta de Inundações em Zonas Costeiras e Portuárias*. In *Atas das 8^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*. LNEC, Lisboa, Portugal.
- Heleno, A. (2017). *Avaliação do espraiamento e inundação nas praias da Costa da Caparica. Modelação com o modelo XBeach*. Tese de mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

- IH - Instituto Hidrográfico (1990). Roteiro da Costa de Portugal. Ministério da Defesa Nacional. Marinha, Lisboa, 590 p.
- IOC/UNESCO, IMO, FAO & UNDP (2011). A Blueprint for Ocean and Coastal Sustainability. An Inter-agency Paper towards the Preparation of the UN Conference on Sustainable Development (Rio+20). IOC/UNESCO, Paris, p. 42.
- IPMA (2014). Oscilação do Atlântico Norte. Disponível em: <https://www.ipma.pt/pt/educativa/tempo.clima/index.jsp?page=clima.nao.xml> [Consultado em 09 de Agosto de 2019].
- Komar, P. (1976). *Beach Processes and Sedimentation*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, pp. 429.
- Komar, P. (1998). *Beach processes and sedimentation*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2a edição, 544 p.
- Leont'yev, I.O. (2003). *Modelling erosion of sedimentary coast in the Western Russian Arctic*. Coastal Engineering, 47, 413-429.
- Lins, H.F. (1985). *Storm-generated variations in nearshore beach topography*. Marine Geology, 62, pp.13-29.
- Longuet-Higgins, M. & Stewart, R. (1964). Radiation stress in water waves: a physical discussion with applications. Deep-Sea Research, 11:529–562.
- Mangor & Karsten (2019): Definitions of coastal terms. Available from: <http://www.coastalwiki.org/wiki/Definitionsofcoastalterms> [accessed on 10-06-2019].
- Martinho, M. (2014). *Avaliação e Gestão de Riscos em Áreas Litorais*. Dissertação de Mestrado, ISEL, Instituto Politécnico de Lisboa. Lisboa, dezembro.
- Munk, W. (1949). Surf-beats. Trans. Amer. Geophys. Union, 30(6):849–854.
- Niedoroda, A., Swift, D., Hopkins, T. & Ma, C. (1984). *Shoreface Morphodynamics on Wave-Dominated Coasts*. Marine Geology, vol. 60, pp. 331-354.

- Olsen, S.B., Page, G.G. & Ochoa, E. (2009). *The Analysis of Governance Responses to Ecosystem Change: a Handbook for Assembling a Baseline*. GKSS Research Centre, LOICZ International Project Office, Institute for Coastal Research, Geesthacht.
- Ciavola, P. & Piazzalunga, E. (2011). *Report n public awareness and wider society implications of the usage of SII*. Project Micore.
- Picado, A., Lopes, C. L., Mendes, R., Vaz, N., & Dias, J. a. M. (2013). *Storm surge impact in the hydrodynamics of a tidal lagoon: the case of Ria de Aveiro*. *Journal of Coastal Research*, SI (65):796–801.
- Pinto, J., Mota, P., & Costa, M. (2014). *Evolução da climatologia de agitação marítima em Portugal continental*. 3.as Jornadas de Engenharia Hidrográfica, pp: 195–198.
- Pires, B. (2017). *Vulnerabilidade e risco de galgamento oceânico em litorais baixos e arenosos*. Tese de mestrado, Universidade Nova de Lisboa.
- Pita, C. A. & Santos, J. A. (1989). *Análise dos Temporais da Costa Oeste de Portugal Continental (1956 a 1988)*. Relatório PO_WAVES 1/89-A, 29 p.
- Ponce, E. (2008). *Coastal Vulnerability to Storms in the Catalan Coast*. PhD thesis, Universitat Politècnica de Catalunya.
- Rebêlo, L. & Brito, P. (2004). *A importância das dunas frontais na avaliação da evolução da linha de costa: o caso da Praia da Manta Rota*. V Encontro de Professores de Geociências do Algarve, 6 p.
- Reis, A. (2000). *Avaliação da Erosão Costeira entre as Praias de São Pedro de Maceda e do Torrão do Lameiro (Ovar)*. Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro, 327 p.
- Roelvink, D., Reniers, A., Van Dongeren, A. P., de Vries, J. V. T., McCall, R. & Lescinski, J. (2009). *Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands*. *Coastal engineering*, 56(11), 1133-1152.

- Roelvink, D., Reniers, A., Van Dongeren, A. P., de Vries, J. V. T., Lescinski, J. & McCall, R. (2010). *XBeach model description and manual*. Unesco-IHE Institute for Water Education, Deltares and Delft University of Technology.
- Romão, S (2014). *Balanço sedimentar costeiro no troço litoral entre a praia da Barra e a praia de Mira*. Tese de mestrado, Universidade de Aveiro, 138p.
- Sallenger, A. (2000). *Storm impact scale for barrier islands*. Journal of Coastal Research, 16(3):890–895.
- Silva, S. A. (2012). *Gestão de Praias da Costa de Caparica, A capacidade de carga, o valor da onda, a segurança e informação. Dissertação de Mestrado*. FCT, Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.
- Stive, M. e Battjes, J. (1985). *Model for offshore sediment transport*. Volume 2, pp. 1420-1436.
- Sunamura, T. & Takeda, I. (1984). *Landward Migration of Inner Bars*. Marine Geology, vol. 60, nº 1/4, pp. 63-78.
- Vitorino, J., Oliveira, A., Jouanneau, J., & Drago, T. (2002). *Winter dynamics on the northern Portuguese shelf*. Part 1: physical processes. Progress in Oceanography, 52(2-4):129–153.
- Van Dongeren, A., Bolle, A., Voudoukas, M. I., Plomaritis, T., Eftimova, P., Williams, J., Armaroli, C., Idier, D., Van Geer, P., de Vries, J., Haerens, P., Tabora, R., Benavente, J., Trifonova, E., Ciavola, P., Balouin, Y., Haerens, P. & Roelvink, D. (2009). *MICORE: dune erosion and overwash model validation with data from nine European field sites*. In *Proceedings of coastal dynamics* (Vol. 9, pp. 1-15).
- van Rijn, L.C., Walstra, D.J.R., Grasmeyer, B., Sutherland, J., Pan, S. & Sierra, J.P. (2003). The predictability of cross-shore bed evolution of sandy beaches at the time scale of storms and seasons using process-based profile models. Coastal Engineering, 47(3):295-327.

- Williams, J.J., de Alegri'a-Arzaburu, A.R., McCall, R.T. & Van Dongeren, A. (2012). *Modelling gravel barrier profile response to combined waves and tides using XBeach: laboratory and field results*. *Coast Eng* 63:62–80.
- Wright, L. & Short, A. (1984). *Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis*. *Marine Geology*, 56(1-4):93–118.
- Zijlema, M., Stelling, G. & Smit, P. (2011). *SWASH: An operational public domain code for simulating wave fields and rapidly varied flows in coastal waters*. *Coastal Engineering*, 58(10), 992-1012.

Anexo A

Tabela 10 - Keywords e valores utilizados nas simulações. Valor 1: corresponde as simulações que utilizaram a onda infra gravítica; Valor 2: Corresponde as simulações que desprezaram a onda infra gravítica

	Keyword	Valor 1	Valor 2
Grid Input	thetamin	270	270
	thetamax	360	360
	dtheta	90	90
	thetanaut	1	1
	vardx	1	1
Wave Input	break	roelvink_day	roelvink2
	gamma	0.541	0.541
	alpha	1.262	1.262
	n	10	10
	gammax	2.364	2.364
	delta	0.1	0.1
	instant	Jons_table	Jons_table
	lws	1	0
lwt	1	0	
Flow Input	front	abs_1d	abs_1d
	left	neumann	neumann
	right	neumann	neumann
	back	wall	wall
	ARC	1	1
	Order	2	2
	Epsi	-1	-1
	tidetype	velocity	velocity
	hmin	0.5	0.5
	bedfriction	manning	manning
	bedfriccoef	0.025	0.025
	nuh	0.1	0.1
	nuhfac	1	1
	nuhv	1	1
	smag	1	1
tideloc	1	1	
Morphology Input	avalanching	1	1
	dryslp	1	1
	wetslp	0.26	0.26
	morfac	10	10
	morfacopt	1	1
	morstart	86400	86400
	morstop	172800	172800
	hswitch	0	0.1
	dzmax	0.05	0.05
	struct	0	0

Sediment Input	rhos	2650	2650
	D50	0.0005	0.0005
	D90	0.0005	0.0005
	facSk	0.3	0.3
	facAs	0.4	0.4
	turb	bore_averaged	bore_averaged
	Tsmin	0.01	0.01
	beta	0.138	0.138
Simulation Time	tstop	194400	194400
	CFL	0.700000	0.700000
Geral	swave	1	1
	lwave	1	0
	flow	1	1
	sedtrans	1	1
	morphology	1	1
	nonh	1	0
	gwflow	0	0
	q3d	0	0
	bchwiz	0	0
	cyclic	0	0
	dtheta_s	20	20
	setbathy	0	0
	ships	0	0
	Single_dir	1	1
	swrunup	1	1
vegetation	0	0	

Anexo B

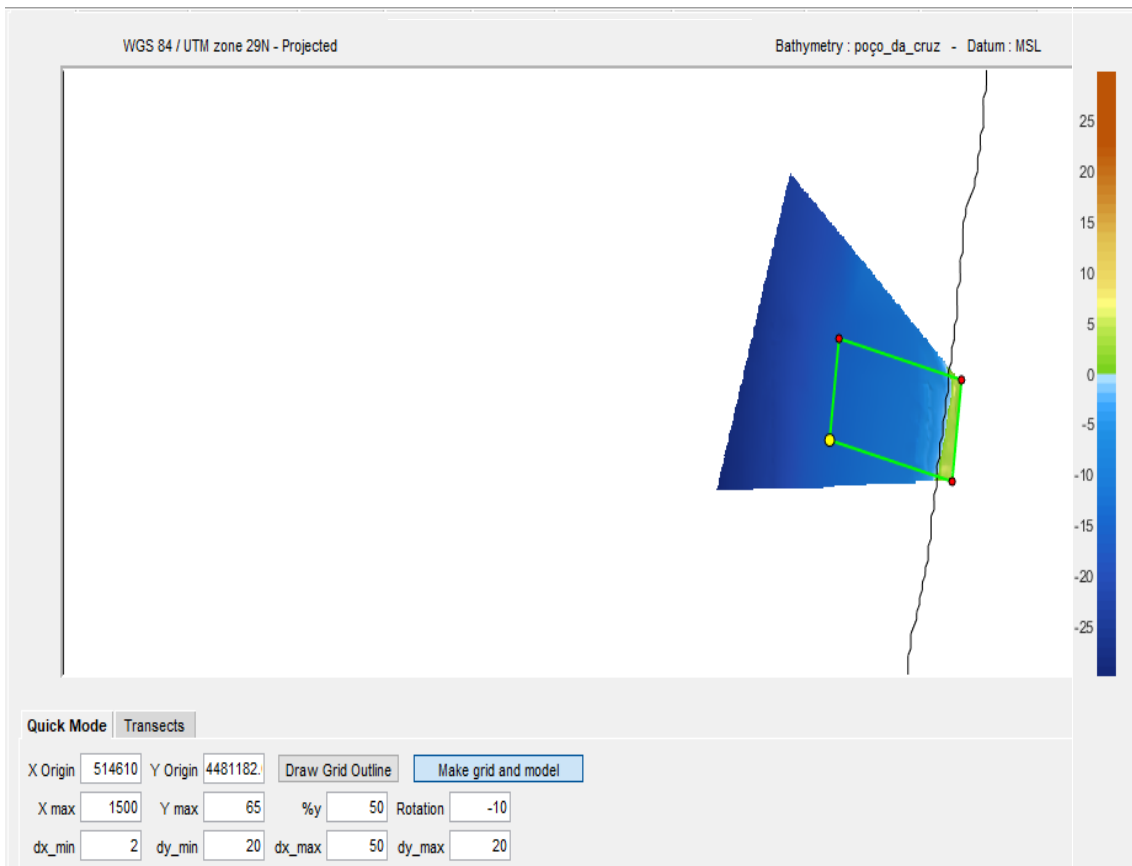


Figura 45 - Configuração da grelha bidimensional no Dashboard.