



METODOLOGIA PARA ANÁLISE DO DESEMPENHO DE UM RECIFE ARTIFICIAL PARA SURF NA PRAIA DE SÃO PEDRO DO ESTORIL

Mendes, L., Neves, M.G., Fortes, C. J., Monteiro, P.

Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas, Departamento de Hidráulica e Ambiente, LNEC

Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Portugal.

lmendes@Inec.pt, gneves@Inec.pt, jfortes@Inec.pt, pmonteiro@Inec.pt

Resumo

Nesta comunicação descreve-se a metodologia desenvolvida para análise do funcionamento de um recife artificial a ser implantado na praia de São Pedro do Estoril, Neves *et al.* (2007). Este trabalho é parte integrante da primeira fase do estudo da viabilidade de implantação de um recife artificial para melhorar as condições para a prática de surf na praia de São Pedro do Estoril, promovido pela Câmara Municipal de Cascais.

A análise do funcionamento do recife baseia-se na determinação dos parâmetros de surfabilidade: comprimento da linha de rebentação, altura de rebentação da onda, amplificação da altura de onda, ângulo de rebentação, tipo de rebentação e parede da onda. Para o cálculo desses parâmetros, desenvolveu-se um programa em linguagem FORTRAN – MOREIAS (MOdelo de análise de REcifes Artificiais para Surf), Mendes *et al.* (2007), que, com base nos resultados do modelo de propagação de ondas REFDIR (alturas e direcções de onda), identifica a linha de rebentação do recife artificial e calcula os respectivos parâmetros de surfabilidade associados.

Para a aplicação sistemática desta metodologia, desenvolveram-se em VISUAL BASIC, dois módulos, designados por “RAS”, e “Comparação de RAS”, incluídos no pacote informático SOPRO, Pinheiro *et al.* (2007), que permitem executar o programa MOREIAS, calcular os valores dos parâmetros de surfabilidade para uma determinada geometria, localização do recife e condição de agitação e comparar vários casos.

A metodologia é aplicada a duas configurações e localizações de um recife artificial na zona da praia de São Pedro do Estoril, para uma condição de agitação definida à priori e os resultados são comparados em termos dos parâmetros de surfabilidade.

Palavras-chave – Recife artificial, Surf, São Pedro do Estoril, Modelação numérica, Parâmetros de surfabilidade

1 INTRODUÇÃO

A praia de São Pedro do Estoril pertence ao concelho de Cascais, Portugal e possui boas condições para a prática de surf por surfistas iniciados e intermédios, para determinadas condições de agitação.



Figura 1 – Praia de São Pedro do Estoril e zona do recife

Dada a importância desta prática desportiva no concelho de Cascais, foi proposta pela Câmara Municipal a implantação de um recife artificial na zona Este da praia de São Pedro do Estoril com o objectivo de potenciar as condições para a prática de surf, através da criação artificial de uma “onda de surf” destinada a surfistas experientes. Para este efeito, a Câmara Municipal de Cascais, o Instituto Superior Técnico, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil e a Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa formalizaram um protocolo que visa fomentar as bases de trabalho para o desenvolvimento de projectos estratégicos na orla costeira.

Em especial, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil e o Instituto Superior Técnico têm, no âmbito deste protocolo, a missão de assegurar a realização dos estudos de viabilidade da implementação de um recife artificial para a prática de surf na praia de São Pedro do Estoril, através de realização de trabalho nas duas seguintes componentes, Fortes *et al.* (2007b): a) Modelação física e numérica da propagação de ondas sobre o recife artificial, com vista à análise do seu funcionamento hidrodinâmico para diferentes condições de agitação marítima; e b) Avaliação do Impacto Ambiental (AIA), com o objectivo de proceder à caracterização da situação de referência ao nível dos vários descritores-alvo, com um aprofundamento proporcional à sua relevância.

A componente de modelação física e numérica compreende as seguintes tarefas:

- a) Caracterização do regime de agitação marítima na zona marítima da praia de São Pedro do Estoril;
- b) Propagação da agitação marítima até à zona onde será implantado o recife artificial, considerando quer as situações correspondentes às diferentes geometrias e localizações do recife, quer a situação sem recife (situação de referência);
- c) Análise do funcionamento das diversas soluções de recife;
- d) Estabelecimento da solução de recife a ser ensaiada em modelo físico.

Os trabalhos em curso referem-se essencialmente às alíneas a) e b) da componente de modelação física e numérica. A caracterização da agitação marítima e a sua propagação para a zona de implantação do recife encontra-se descrita em Monteiro *et al.* (2007b).

Para a análise do funcionamento das diversas soluções do recife artificial e o estabelecimento da solução de recife a ser ensaiada em modelo físico, foi definida uma metodologia que permite comparar de forma rápida e correcta, diferentes geometrias e localizações de um recife artificial.



A comparação é efectuada com base nos seguintes parâmetros, designados por parâmetros de surfabilidade: comprimento da linha de rebentação, altura de rebentação da onda, amplificação da altura de onda, ângulo de rebentação, tipo de rebentação e parede da onda.

Para cálculo destes parâmetros, desenvolveu-se um programa em linguagem Fortran – MOREIAS (MOdelo de análise de REcifes Artificiais para Surf), Mendes *et al.* (2007) - que, com base nos resultados de um modelo de propagação de ondas (alturas e direcções), identifica a linha de rebentação induzida pelo recife artificial e calcula os respectivos parâmetros associados. O modelo de propagação de ondas utilizado neste estudo é o modelo REFDIF.

Nesta comunicação, descreve-se quer a metodologia desenvolvida para análise do funcionamento de um recife artificial quer a sua aplicação a diferentes soluções e localizações para o recife a ser implantado na zona da praia de São Pedro do Estoril.

2 ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DO RECIFE

2.1 Parâmetros de dimensionamento de um recife

Uma das principais funções de um recife artificial para surf é melhorar as condições de surf da zona. De uma forma genérica, pretende-se que esta estrutura induza ou melhore o tipo de rebentação, favoreça o aumento da altura de onda induzindo a rebentação num dado local e garanta que esta se efectue de forma gradual ao longo da crista da onda numa distância suficientemente longa.

Tal é conseguido através da definição da geometria, das dimensões (em planta e em perfil) e da localização do recife artificial que conduz a melhores condições de surf para determinadas condições de agitação incidente. Todo este procedimento passa necessariamente pelo teste de várias geometrias, dimensões e localizações do recife e pela comparação do desempenho de cada uma delas.

Para se poder comparar diferentes opções de geometria, dimensões e localização de um recife artificial para o surf é necessário recorrer a parâmetros que permitam avaliar objectivamente e quantitativamente o desempenho de um determinado recife artificial. Existem na bibliografia diversos estudos sobre a importância relativa de diferentes parâmetros, que devem ser avaliados de acordo com o objectivo final para o qual o recife é projectado, Fortes *et al.* (2007c).

No caso de recifes artificiais para a prática do surf, os parâmetros mais utilizados para análise do seu funcionamento são:

- A altura da onda ao longo da linha de rebentação;
- O ângulo de rebentação ao longo da linha de rebentação;
- O comprimento da linha de rebentação;
- O tipo de rebentação, determinado através do número de Iribarren ao longo da linha de rebentação;
- As características da parede da onda;
- A amplificação da altura da onda em relação à altura de onda incidente.

Estes parâmetros são designados como parâmetros de surfabilidade (*surfability parameters*). Os parâmetros são, logicamente, dependentes uns dos outros e também do nível dos surfistas (experiência ou habilidade dos surfistas) para os quais se pretende dimensionar o recife. Embora as diferentes classificações para o nível dos praticantes de surf sejam subjectivas, existem várias classificações propostas, como, por exemplo, a de Walker (1974) e a de Hutt *et al.* (2001), ambas em função do ângulo de rebentação.

Note-se que neste estudo, são apenas analisados os parâmetros de um recife relacionados com a hidrodinâmica, isto é, com as características da onda (altura, direcção,



período) na sua propagação na zona marítima próxima ao recife em estudo e na rebentação.

No entanto, estes recifes sendo estruturas submersas terão certamente impacto na costa, isto é, na dinâmica sedimentar e morfodinâmica da zona em estudo, aspecto que deverá ser também analisado cuidadosamente e aprofundadamente.

2.2 Metodologia de análise de funcionamento de um recife

Para a análise dos efeitos da presença de um recife artificial para o surf numa dada zona no que respeita às melhorias das condições para a prática de surf, foi definida uma metodologia que permite comparar de forma rápida e correcta, diferentes geometrias e localizações de um recife artificial, Neves *et al.* (2007). Esta metodologia passa pela:

- Aplicação de um modelo numérico de propagação de ondas à zona de estudo para o conjunto de condições de agitação, geometrias e localizações de um recife pré-seleccionado pelo utilizador;
- Obtenção com o modelo numérico, para cada condição de agitação, geometria e localização do recife dos valores de altura de onda e direcção em todos os pontos do domínio de estudo;
- Obtenção dos parâmetros de surfabilidade, definidos em 2.1 correspondentes a cada condição de agitação, geometria e localização do recife, com base nos resultados do modelo numérico;
- Análise comparativa dos diferentes parâmetros de surfabilidade, para as diferentes condições de agitação, geometria e localização do recife.

Para o cálculo dos parâmetros de surfabilidade, desenvolveu-se um programa em linguagem FORTRAN – MOREIAS (MOdelo de análise de REcifes Artificiais para Surf), Mendes *et al.* (2007), que, com base nos resultados do modelo de propagação de ondas REFDIF (alturas e direcções de onda), identifica as linhas de rebentação junto ao recife artificial e calcula os respectivos parâmetros de surfabilidade associados. Este programa, MOREIAS, está incluído no pacote informático SOPRO.

O modelo de propagação de ondas utilizado neste estudo, é o modelo REFDIF, Dalrymple e Kirby, (1991) descrito em 2.3.1. Este modelo permite calcular, a partir da batimetria, do nível de maré e das características da ondulação (período, altura de onda e direcção), a altura de onda, direcção, velocidade orbital no fundo e tensor de radiação em todos os pontos do domínio de estudo. Neste modelo, a rebentação ocorre quando a relação entre a altura de onda, H , e a profundidade, h , é de 0,78.

Para a aplicação sistemática desta metodologia, desenvolveram-se dois módulos em VISUAL BASIC, designados por “RAS” e “Comparação de RAS”, incluídos no pacote informático SOPRO, que permitem calcular e comparar os valores dos parâmetros de surfabilidade para uma determinada geometria e localização do recife e condição de agitação incidente, que definem um teste.

Assim, para cada teste, o módulo RAS, permite preparar os ficheiros de dados dos modelos numérico (REFDIF ou outro) e do programa MOREIAS, proceder à execução desses modelos e visualizar os parâmetros de surfabilidade e os resultados do modelo numérico. O módulo “Comparação de RAS”, permite comparar os resultados de diferentes casos.

Nas próximas secções, descreve-se o modelo REFDIF, o programa MOREIAS, os módulos “RAS” e “Comparação de RAS” e apresenta-se a sua aplicação às duas soluções e localizações de recife apresentadas em 4.1.



2.3 Modelos numéricos

2.3.1 O modelo REFDIF

O modelo REFDIF é um modelo de propagação e deformação da agitação marítima em zonas de profundidade variável desenvolvido por Dalrymple e Kirby (1991). Este modelo efectua a propagação de ondas regulares em zonas de declive suave e na presença de correntes, tendo em conta os efeitos da refacção e difracção (apenas na direcção perpendicular à direcção principal de propagação da onda), empolamento, dissipação de energia (por atrito ou por percolação do fundo e rebentação das ondas) e outros efeitos não-lineares. É um modelo essencialmente adaptado para a modelação de grandes áreas costeiras.

O modelo baseia-se na aproximação parabólica da equação de declive suave. As equações do modelo são resolvidas pelo método das diferenças finitas, sendo a discretização efectuada sobre uma malha de espaçamento rectangular, utilizando um esquema iterativo implícito linha-a-linha no sentido da propagação. Quanto às condições de fronteira lateral, o modelo permite a utilização de uma condição de reflexão total ou, em alternativa, uma condição de fronteira aberta; em relação às condições iniciais pode-se especificar um campo de ondas monocromáticas ou um campo de ondas definido por um espectro direccionado.

Para a aplicação do modelo, deve-se garantir que:

- o fundo é de inclinação suave (até um valor do declive de 1:3);
- o ângulo entre a direcção de propagação da onda e a direcção de propagação principal, não deve ultrapassar os 60°, devido à utilização da aproximação parabólica de ângulo largo;
- a escolha da relação de dispersão a utilizar no modelo, de entre as três disponíveis, é feita pelo utilizador e depende dos valores do parâmetro de Ursell no problema em estudo.

Como limitações do modelo REFDIF salienta-se o facto de se tratar de um modelo de ondas regulares. O modelo apenas tem em conta a difracção de ondas na direcção transversal à direcção de propagação de ondas pelo que não deve ser utilizado em zonas abrigadas por obstáculos. Além disso, este modelo, por ser parabólico, não deve ser aplicado a zonas onde os efeitos da reflexão sejam importantes, pois a componente de onda reflectida é desprezada.

Para a aplicação do modelo REFDIF, são necessários dados de batimetria da zona a modelar, das características das malhas, das opções de cálculo e das condições iniciais de agitação marítima. O modelo fornece as alturas e as direcções de propagação de onda em qualquer zona, incluindo a de rebentação.

Para a preparação dos dados, execução e visualização dos resultados do modelo REFDIF, utiliza-se a ferramenta SOPRO, Pinheiro *et al.* (2005), Fortes *et al.* (2006) e Pinheiro *et al.* (2007). O SOPRO é um pacote informático composto por uma interface com o utilizador e um conjunto de modelos de propagação de ondas, sendo um deles, o modelo REFDIF. A interface com o utilizador permite o armazenamento e manipulação de dados, a execução dos modelos de propagação da agitação marítima e de simulação da trajectória de navios, assim como a obtenção dos resultados e as correspondentes visualizações gráficas.

2.3.2 Programa MOREIAS

O programa MOREIAS identifica, para uma dada zona onde se encontra implantado um recife artificial, as linhas de rebentação do recife e calcula os parâmetros de surfabilidade associados a essa linha de rebentação, isto é:

- Altura de onda;
- Amplificação da altura de onda;



5^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

- Ângulo de rebentação;
- Número de Irribarren (associado ao tipo de rebentação);
- Comprimento da linha de rebentação;
- Declividade (parede da onda);

O programa MOREIAS tem como dados de entrada os resultados do modelo numérico (REFDIF ou outro) nos pontos do domínio de cálculo e a localização aproximada do vértice do recife. Mais concretamente, os dados são:

- Coordenadas x,y,z nos pontos do domínio de cálculo;
- Profundidade nos pontos do domínio de cálculo;
- Altura de onda resultante do modelo numérico, nos pontos do domínio de cálculo;
- Direcção de propagação da agitação, nos pontos do domínio de cálculo;
- Localização aproximada do recife.

Após a execução do programa obtém-se:

- Caracterização do domínio quanto à existência de rebentação;
- As linhas de rebentação do recife para surf (esquerda e direita);
- As variáveis para análise do funcionamento do recife ao longo das linhas de rebentação:
 - Coordenadas x,y;
 - Profundidade;
 - Direcção da linha de rebentação;
 - Comprimento das linhas de rebentação;
 - Direcção da onda no ponto de rebentação;
 - Altura de onda de rebentação;
 - Coeficiente de amplificação da altura de onda face à altura de onda incidente;
 - Coeficiente de amplificação da altura de onda face ao primeiro ponto de rebentação;
 - Comprimento de onda;
 - Relação entre a altura de onda e o comprimento de onda;
 - Ângulo de rebentação (“peel angle”);
 - Número de Irribarren.

A preparação dos dados, execução do programa MOREIAS e visualização dos seus resultados é feita no módulo “RAS” do pacote SOPRO, ver 2.3.3.

Os resultados deste programa são visualizados nos programas comerciais TECPLOT™ e Excel™ e serão a base da análise de funcionamento do recife artificial para surf a implementar em São Pedro do Estoril.

2.3.3 Módulos “RAS” e “Comparação de RAS” da ferramenta SOPRO

Para efectuar os cálculos dos parâmetros referidos em 2.1 de forma rápida e sistemática, implementou-se um módulo adicional ao pacote informático SOPRO denominado “RAS”. Este módulo, desenvolvido em VISUAL BASIC, permite, através de uma interface simples para o utilizador, a execução do programa MOREIAS para o cálculo da linha de rebentação (esquerda e direita), a determinação dos parâmetros de surfabilidade do recife e a visualização quer desses parâmetros, quer de alguns resultados do modelo REFDIF, Figura 2.

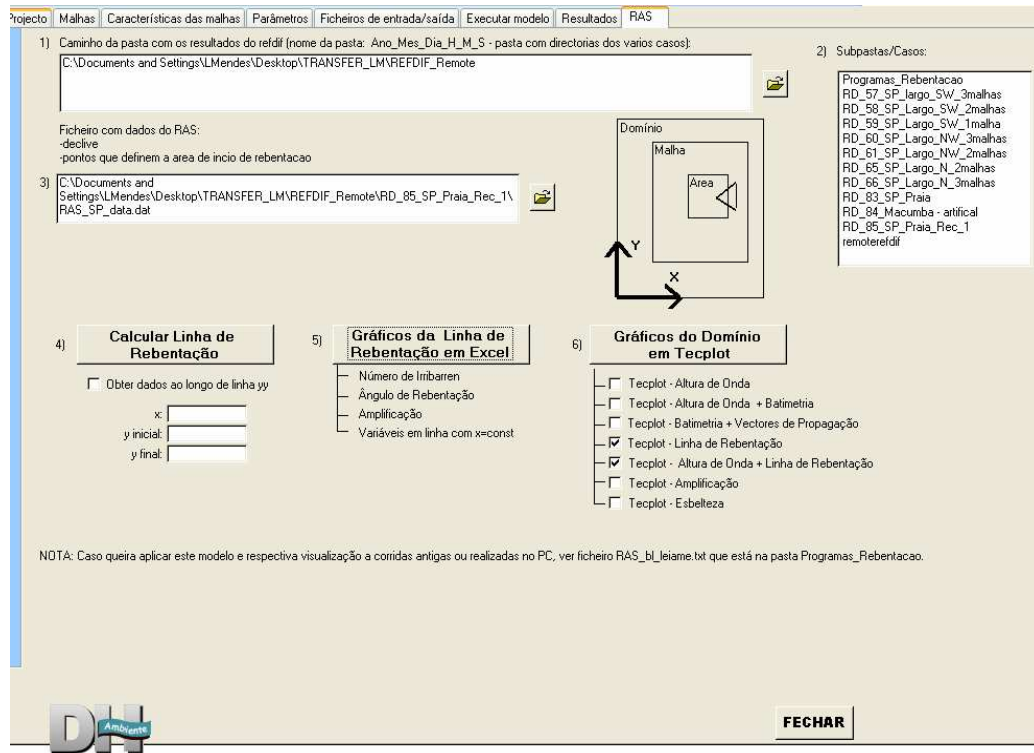


Figura 2 – Módulo “RAS” da ferramenta SOPRO

Neste módulo, a partir dos resultados do modelo numérico escolhido (REFDIF ou outro) obtidos nos módulos anteriores para um ou vários casos simultaneamente, é possível correr três comandos que correspondem a:

- Executar o programa MOREIAS;
- Obter gráficos em ExcelTM dos parâmetros definidos em 2.2 ao longo do percurso de rebentação (Número de Irribarren, ângulo de rebentação, amplificação da altura de onda) e também a altura de onda num perfil do domínio com abcissa constante;
- Obter gráficos em TecplotTM no domínio de influência do recife (alturas de onda, batimetria, linha de rebentação, amplificação da onda, esbelteza e vectores de propagação).

Foi adicionado ainda ao SOPRO um segundo módulo, “Comparação de RAS” (Figura 21), que permite efectuar gráficos comparativos em Excel dos diferentes parâmetros de surfabilidade, para diversas formas e localizações de recifes, até ao máximo de quatro casos diferentes.

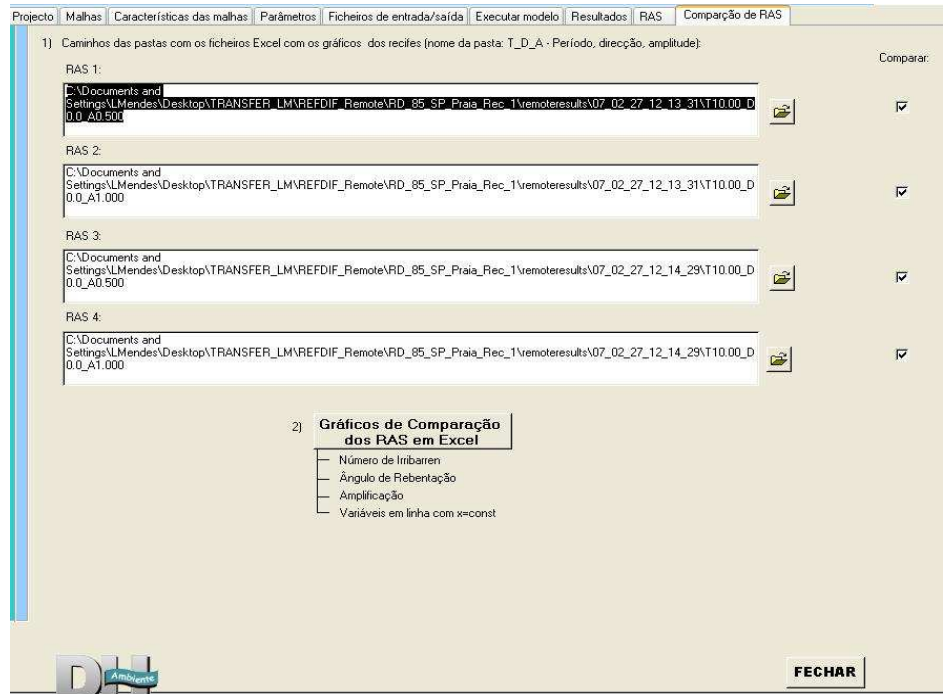


Figura 3 – Módulo “Comparação de RAS” da ferramenta SOPRO

3 A ZONA EM ESTUDO: PRAIA DE SÃO PEDRO DO ESTORIL

3.1 Caracterização geral

A praia de São Pedro do Estoril pertence ao concelho de Cascais, Portugal, e compreende um areal com 400 m de extensão e entre 25 m e 35 m de largura, ladeado por formações rochosas baixas, Monteiro *et al.* (2007a). Possui boas condições para a prática de surf e é das mais antigas praias frequentadas por surfistas em Portugal: o seu clube de surf (Surfing Clube de Portugal – SCP) tem 30 anos de existência e já produziu atletas de renome nacional nas modalidades de Surf, Bodyboard, Longboard e Skimboard. Como curiosidade, salienta-se que o primeiro surfista de Portugal provém da praia de São Pedro.

Existem nesta praia quatro zonas que, para determinadas condições de agitação, produzem boas condições para a prática de surf e que os surfistas designam simplesmente por “ondas”, acrescentando-lhe um nome próprio. Actualmente, na zona em estudo são conhecidas as ondas de surf designadas por “Bico”, “Bafureira” (esquerda e direita) e “Esquerda Suicida” Figura 4. Nesta figura as setas indicam o percurso feito pelo surfista em cada zona.



Figura 4 – Praia de São Pedro do Estoril. Localização das ondas para surf

A onda do Bico, Figura 5, é a onda surfada há mais tempo em Portugal, e é a onda que é surfada mais frequentemente na vizinhança. Pode rebentar em frente à Ponta do Sal e acabar na praia, com uma distância surfável de cerca de 250 m. No entanto, por vezes pode ter um desenvolvimento mais curto, pois esta onda, assim como todas as seguintes, perde parte do seu potencial devido às irregularidades batimétricas do fundo. A onda apresenta uma rebentação mergulhante no início, mas progressiva na maioria da sua extensão, o que faz dela uma onda propícia para surfistas iniciados e para surfistas de *longboard* (pranchas de maiores dimensões e arredondadas à frente).

A onda designada por Bafureira, Figura 5, rebenta em duas direcções, esquerda e direita. A direita é caracterizada por uma rebentação progressiva com vários momentos de mergulhante, dependente de condições de ondulação, ventos, etc. A esquerda, apesar de ser menos frequente, ocasiona uma rebentação do tipo mergulhante, com melhores características do que a direita. No entanto, ao longo da rebentação o fundo é rochoso com saliências que podem pôr em perigo os surfistas.

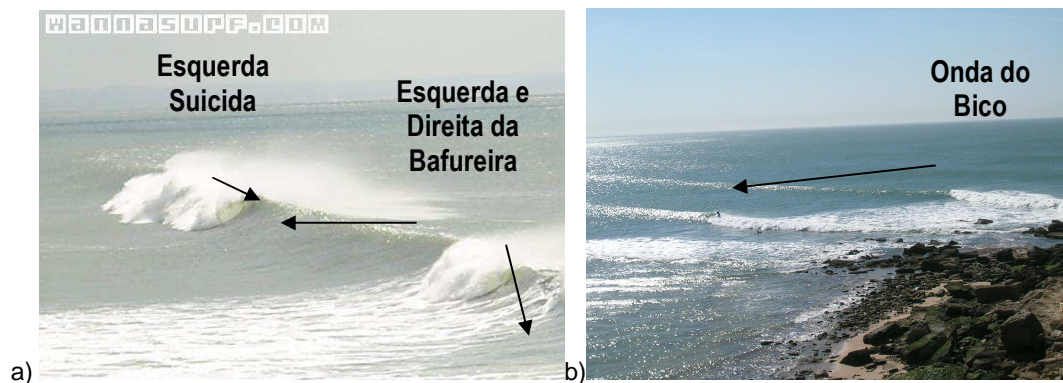


Figura 5 – a) “Onda da Bafureira” (esquerda e direita) e da onda “Esquerda Suicida”; b) Onda do Bico

A Esquerda Suicida, Figura 5 é uma onda de boa qualidade. É, no entanto, uma onda menos frequente que as anteriores pois depende de características muito específicas da agitação marítima ao largo, maré e direcção do vento. Esta onda, Figura 5, é uma onda com rebentação do tipo mergulhante com algumas secções bastante perigosas devido à pouca

profundidade da zona. Proporciona momentos emocionantes, mas é a onda mais perigosa da praia sendo apenas utilizada por surfistas com alguma experiência. A zona onde ocorre esta onda pertence a uma área protegida, sendo inviável a construção de um recife artificial para surf nessa zona.

3.2 Zonas de intervenção

A análise do tipo de rebentação que ocorre na zona de estudo, das características da rebentação e, conseqüentemente, das possibilidades de localização de um recife artificial, estão delimitadas a nascente pela zona de reserva biofísica da Praia das Avencas e a poente da zona do Castelo Neo-Gótico, junto a São João do Estoril, Figura 6, Bicudo *et al.* (2007a) e Monteiro *et al.* (2007a).







-  Mancha genérica que abrange as várias localizações possíveis da eventual estrutura de protecção e amarração do submarino Barracuda.
-  Mancha genérica que abrange as várias localizações possíveis do eventual recife para criação de uma nova onda.
-  Mancha genérica que abrange as várias localizações possíveis do eventual recife para melhoramento das condições de ondulação na Praia da Bafureira.
-  Mancha genérica que abrange as várias localizações possíveis do eventual recife para melhoramento das condições de ondulação na Praia de São Pedro do Estoril.

Figura 6 – Praia de São Pedro do Estoril. Zonas de intervenção neste estudo Bicudo *et al.* (2007a) e Monteiro *et al.* (2007a)

Das zonas possíveis para a implementação do recife artificial, optou-se pela zona a poente da zona do Bico, i.e., corresponderia a mancha assinalada a azul na Figura 6, Bicudo *et al.* (2007a). As razões prendem-se com o facto de assim se criar uma onda nova na praia de São Pedro do Estoril (a poente da Ponta do Sal) de qualidade internacional, para surfistas experientes. Tal contribuirá para distribuir os surfistas por mais ondas na zona da praia, e para a realização de campeonatos de surf. Além disso, permitirá manter as ondas de surf já existentes. Estas ondas, que em média têm uma qualidade razoável, já oferecem boas condições para a prática do surf quando a ondulação ocorre com a altura, a direcção e o período específicos.

3.3 Regime de agitação marítima local

A caracterização do regime de agitação marítima (o regime geral observado) na zona marítima da praia de São Pedro do Estoril, encontra-se descrita em Fortes *et al.* (2007a) ou Monteiro *et al.* (2007b). Para essa caracterização, utilizou-se resumidamente a seguinte metodologia:

- Caracterização do regime de agitação marítima ao largo da praia de São Pedro do Estoril, Fortes *et al.* (2007a). Este regime ao largo foi estabelecido com base nos dados

observados na Figueira da Foz que são transferidos para o largo, utilizando a metodologia de transferência de regimes de agitação TRANSFER, Coli *et al.* (1999), Figura 7a. Os dados referem-se ao período de 1984-07-07 a 1996-02-05;

- Transferência desse regime de agitação ao largo para um ponto localizado em frente à praia de São Pedro do Estoril, utilizando o modelo de refração de ondas irregulares BACKTRACK-REFSPEC, incluído na metodologia TRANSFER;
- Caracterização do regime local em frente à praia de São Pedro do Estoril, isto é, no ponto P4 Figura 7b,c.

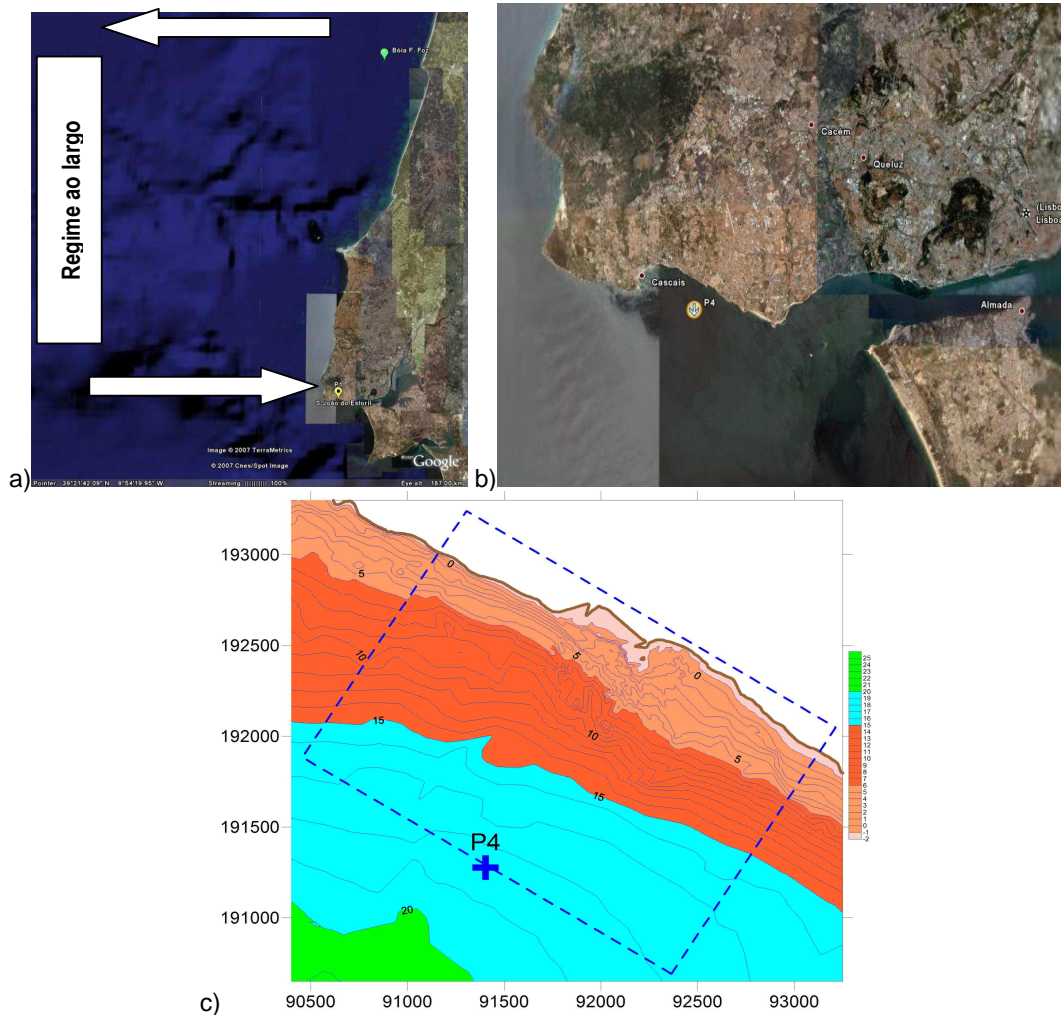


Figura 7 – Metodologia TRANSFER. Mapa de localização do ponto P4, representativos da zona marítima de estudo (Google™ Earth©, 2007)

O regime de agitação marítima local será a base para a definição das condições de agitação a considerar na análise do comportamento do recife artificial a ser implantado na zona de São Pedro do Estoril.

Apresentam-se na Figura 8, as relações e os histogramas conjuntos HS-TZ, Θ -TZ e HS- Θ referentes ao regime obtido no ponto P4. Os resultados detalhados podem ser consultados em Fortes *et al.* (2007a) ou Monteiro *et al.* (2007b).

Das figuras anteriores pode concluir-se que:

- Na passagem do largo para o ponto P4, verificou-se também uma redução significativa do leque de direcções espectrais ao largo. Com efeito, as direcções ao largo que se encontravam compreendidas entre 195° a 350° passam a estar compreendidas essencialmente entre 195° e 265°. Tal seria de esperar pois o ponto P4 encontra-se abrigado a direcções superiores a 282°. As direcções mais frequentes são as dos sectores de 235° a 255°. Na gama de direcções entre 240° e 245°, verificou-se o maior número de ocorrências. As direcções mais frequentes (235° e 255°) estão maioritariamente associadas a alturas de onda abaixo de 2.0 m e a períodos entre 5 s e 11 s;
- Quanto às alturas de onda, na passagem do largo para o ponto P4, observou-se uma diminuição das alturas significativas principalmente para as direcções ao largo de 270° a 320°. Os valores de HS variam entre 0.0 e 5.5 m. As alturas significativas de onda mais frequentes são inferiores a 2.0 m, tendo sido no intervalo de 0.0 a 0.5 m que se verificou o maior número de ocorrências;
- No ponto P4, os valores de TZ variam entre 3 s e 17 s, sendo a gama de períodos mais frequente entre 5 s e 11 s e o intervalo com maior número de ocorrências, o de 6 a 7 s.

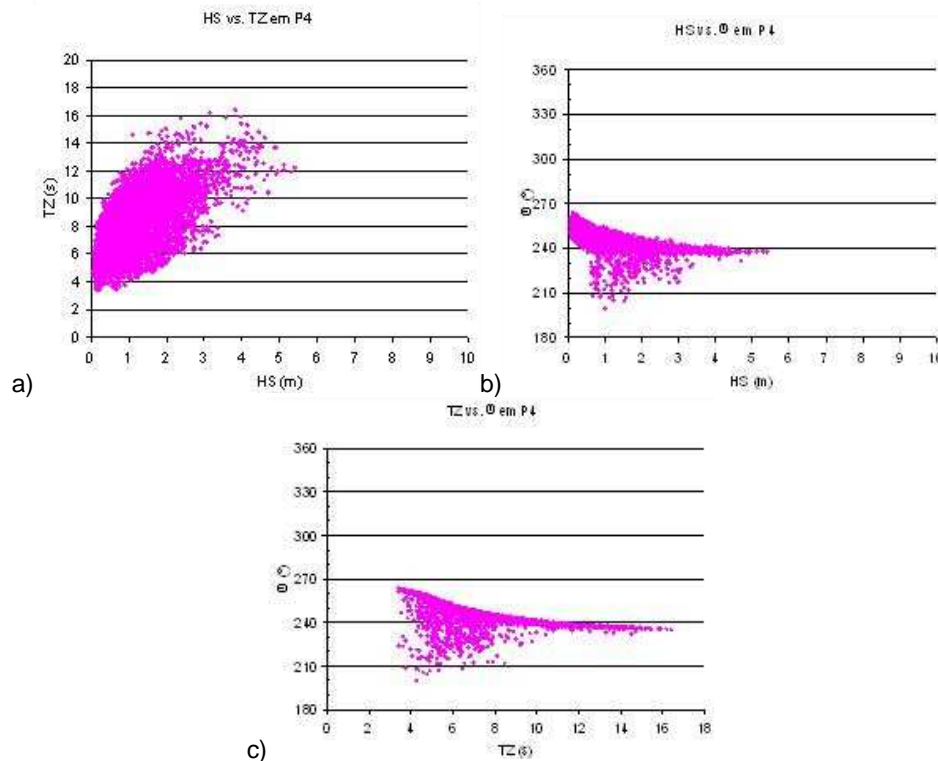


Figura 8 – Regime de agitação local. Relações HS-TZ, HS-θ e θ-TZ em P4

4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PARA ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DO RECIFE ARTIFICIAL

Em traços gerais, a aplicação da metodologia de análise do funcionamento de um recife na zona da praia de São Pedro do Estoril passa pela:

- Definição das soluções (geometria e perfil) do recife artificial e suas localizações;

- Aplicação de um modelo numérico de propagação de ondas à zona de estudo, para determinação das características de agitação (altura, período e direcção da onda) para as diferentes características do recife;
- Obtenção dos parâmetros de surfabilidade, definidos em 2.1 correspondentes a cada condição de agitação, geometria e localização do recife, com base nos resultados do modelo numérico;
- Análise comparativa dos diferentes parâmetros de surfabilidade, para as diferentes condições de agitação, geometria e localização do recife.

Estes itens serão descritos de seguida.

4.1 Soluções do recife a ensaiar

De modo a exemplificar a aplicação desta metodologia, utilizaram-se duas das primeiras soluções (Soluções 2 e 3) e localizações adoptadas para o recife artificial, Figura 9 e Figura 10. Estas soluções foram estabelecidas por Bicudo *et al.* (2007b).

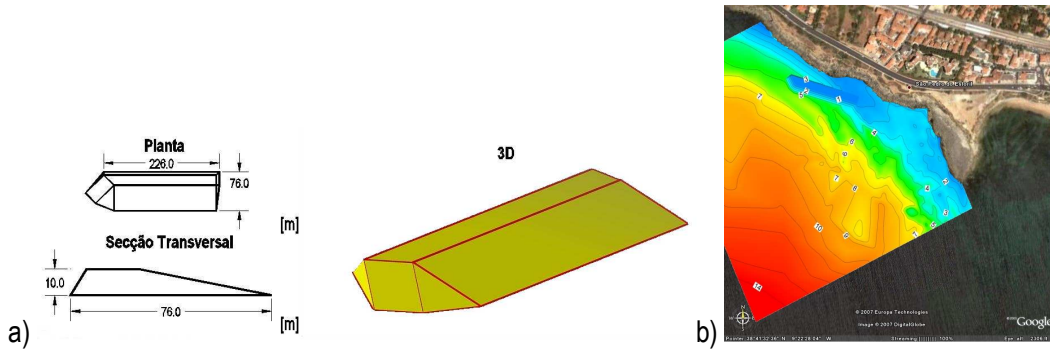


Figura 9 – a) Solução 2 do recife artificial (perfis e vista 3D); b) Localização do recife artificial

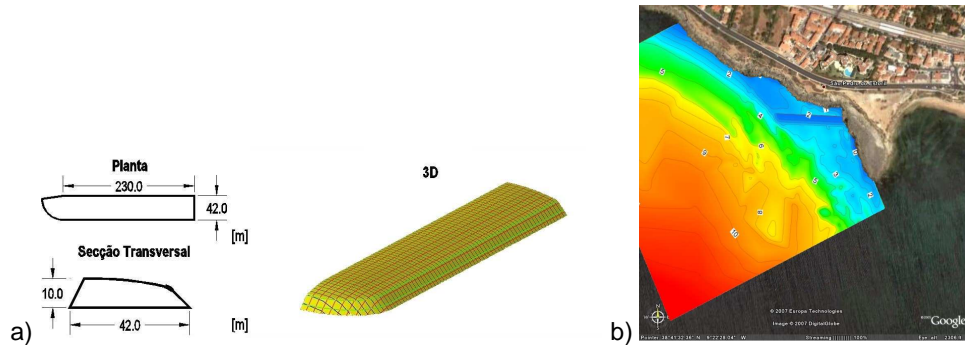


Figura 10 – a) Solução 3 do recife artificial (perfis e vista 3D); b) Localização do recife artificial

4.2 Propagação da agitação marítima na praia de São Pedro do Estoril

Como anteriormente referido, a análise do funcionamento de um recife é feita com base nos parâmetros de surfabilidade que são função das características da agitação (altura, período e direcção da onda) que ocorrem na zona de implantação do recife. Assim, é essencial conhecer essas características na zona do recife. Tal é conseguido através da propagação do regime de agitação local (ou de um conjunto de ondas definido com base nesse regime) para a zona do recife, considerando as situações correspondentes a uma



5^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

solução (ou várias soluções) e localização (ou várias localizações) do recife na praia de São Pedro do Estoril. Em resumo, é necessário efectuar:

- Definição das condições de agitação mais frequentes com base no regime local na praia de São Pedro do Estoril, definido em 3.3;
- Definição das condições de cálculo do modelo numérico a utilizar para a propagação de ondas;
- Aplicação do modelo numérico para as diferentes soluções e localizações de recife. É usual também aplicar o modelo para a situação sem recife que servirá de referência.

O modelo numérico utilizado foi o modelo de propagação de ondas REFDFIF, Dalrymple e Kirby (1991). Estes itens encontram-se descritos nas próximas subsecções.

4.2.1 Definição das condições de agitação e das batimetrias de cálculo

A condição de agitação marítima que foi utilizada nos cálculos do modelo REFDFIF para análise da propagação de ondas na área em estudo, para a situação sem e com recife, foi definida com base na Figura 8 e nas condições que possibilitam a boa prática de surf. Esta condição corresponde a $H = 2$ m e $\Theta = 245^\circ$ (S-65^o-W), associada a um $T = 11$ s.

Para efectuar a propagação da agitação marítima na zona da praia de São Pedro do Estoril com o modelo REFDFIF, na situação com e sem recife (2 soluções), foram criadas três malhas de diferenças finitas, com 1800 m por 1300 m e espaçamento de 2 m, na zona de interesse.

As batimetrias foram efectuadas com base nos levantamentos hidrográficos de Alves *et al.* (2007a, b) e na carta do Instituto Hidrográfico: “Carta nº 45. Barras do Porto de Lisboa e Baía de Cascais”. Escala 1:15000. 2^a Edição, Março de 1992.

As malhas foram construídas por intermédio do pacote informático SOPRO, Pinheiro *et al.* (2007). Estas malhas só diferem na zona do recife artificial, já que o recife, desenhado em AUTOCAD, foi implementado na batimetria sem recife. As malhas têm os comprimentos em x e y, Lx e Ly respectivamente, e o espaçamento de malha, Δx , apresentado no Quadro 1. As batimetrias obtidas podem ser visualizadas na Figura 11.

Quadro 1 - Características das malhas de diferenças finitas

Malha	Lx (m)	Ly (m)	Δx (m)
Sem/com recife	1800	1300	2

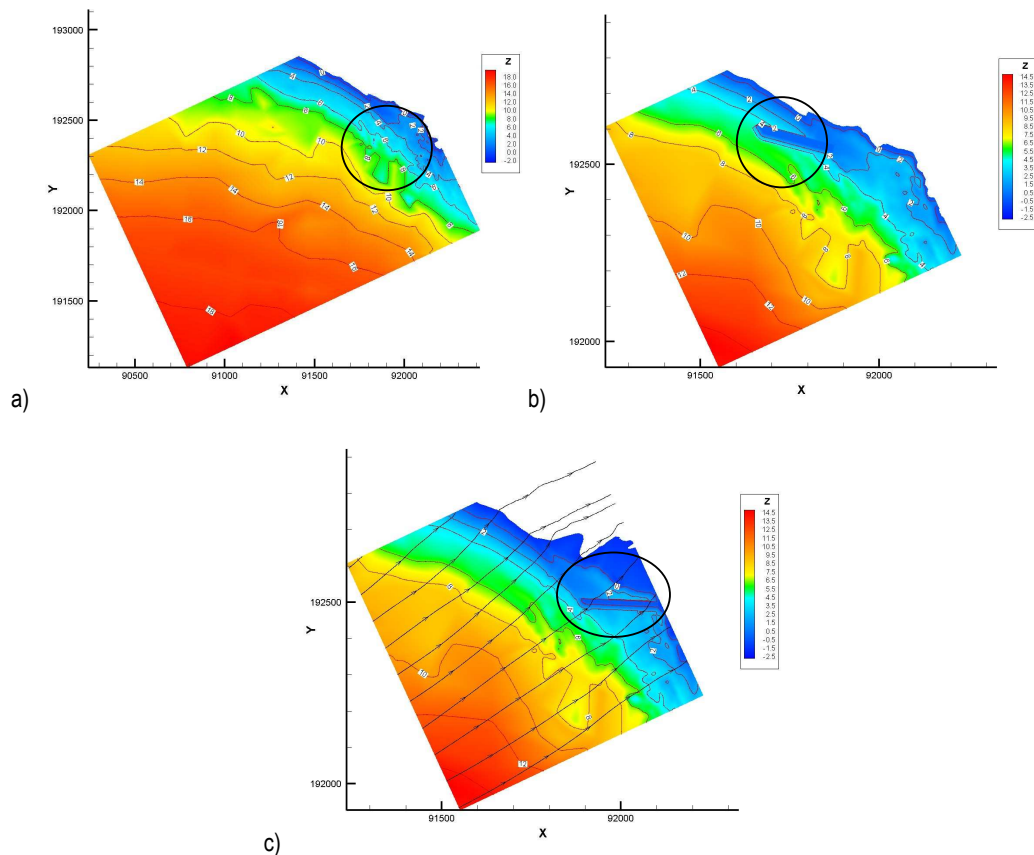


Figura 11 – Batimetria da zona: a) sem recife; b) com recife, Solução 2; c) com recife, Solução 3

4.2.2 Aplicação do modelo REFDIF sem e com recife

Para as condições de agitação marítima definidas no ponto 4.2.1 e para a situação sem e com recife (2 soluções), efectuaram-se cálculos com o modelo REFDIF para a condição de agitação marítima atrás definida. É de salientar que a preparação dos dados, execução e visualização dos resultados do modelo REFDIF foi efectuada com a ferramenta SOPRO. Obtiveram-se, para cada condição de agitação os valores das alturas de onda e das direcções das ondas na totalidade do domínio, Figura 12.

A presença do recife altera significativamente quer as alturas de onda quer as direcções das ondas nessa zona. Com efeito, verifica-se um aumento da altura de onda ao longo do recife, contrariamente ao que se verificava na situação sem recife e que é consequência da diminuição da profundidade pela presença do recife. Após este aumento da altura de onda, ocorre a rebentação das ondas e consequentemente a diminuição da altura de onda. A presença do recife, qualquer que seja a solução adoptada, induz a rebentação das ondas numa zona mais afastada da costa do que a que ocorre sem recife. Além disso, a direcção das ondas é alterada pelo efeito da refacção no recife.

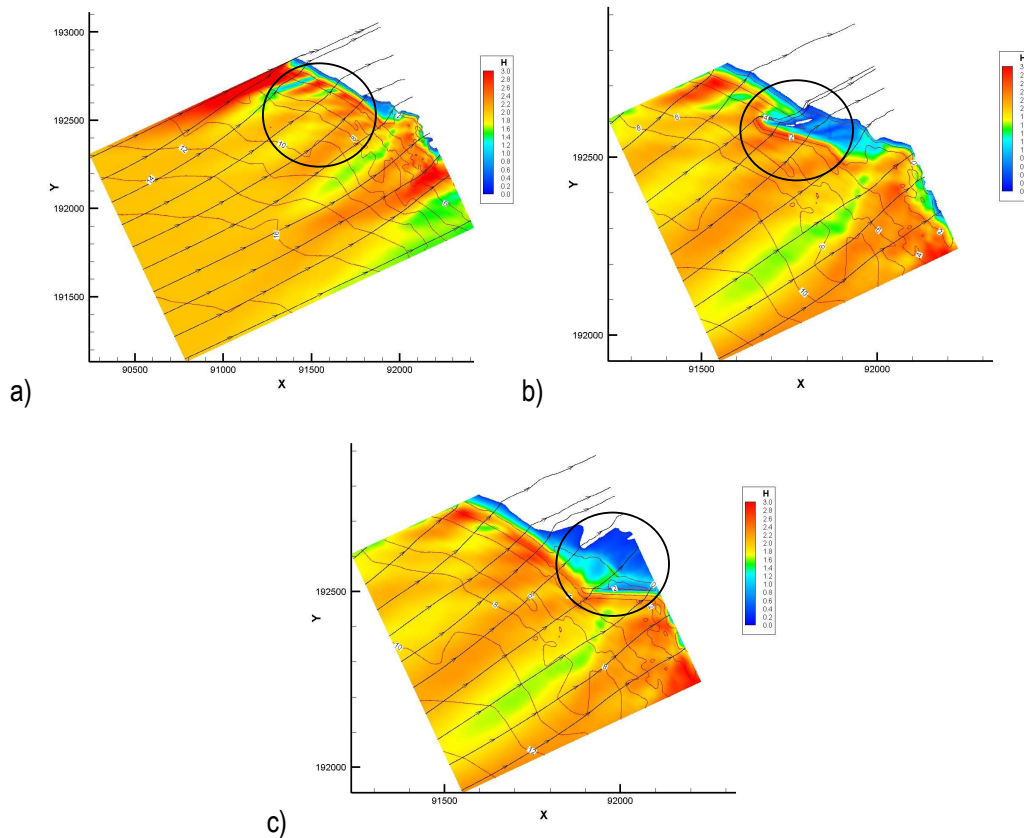


Figura 12 – Diagramas de isolinhas dos valores de altura de onda e das direcções das ondas na situação: a) sem recife; b) com recife, Solução 2 e c) com recife, Solução 3

4.3 Cálculo dos parâmetros de surfabilidade

Com base nos resultados obtidos com o modelo REFDFI, ver 4.2.2, e aplicando o programa MOREIAS através dos módulos “RAS” e “Comparação do RAS”, determinam-se os parâmetros de surfabilidade e comparam-se os resultados obtidos.

Na Figura 13 e na Figura 14 apresentam-se alguns dos resultados do modelo MOREIAS: as áreas de rebentação, linhas de rebentação e a altura e direcção de onda em todo o domínio de cálculo, para as duas soluções testadas.

Na Figura 15, apresentam-se os valores do número de Irribarren, do ângulo de rebentação, da amplificação da altura de onda ao longo da linha de rebentação direita.

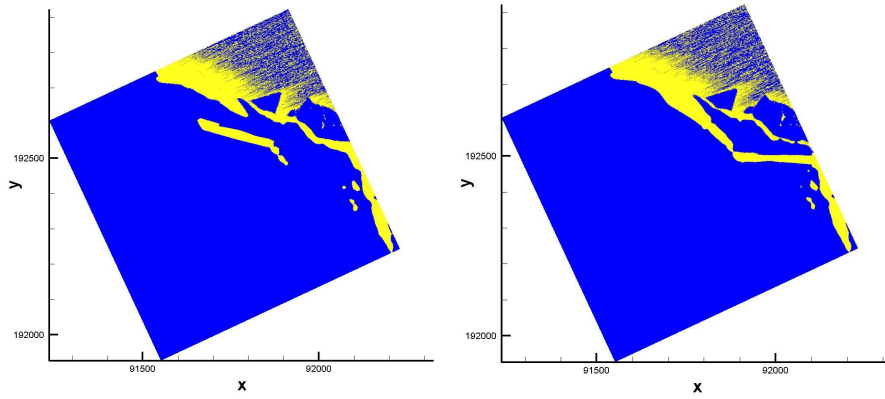


Figura 13 – Áreas de rebenção: a) Solução 2; b) Solução 3

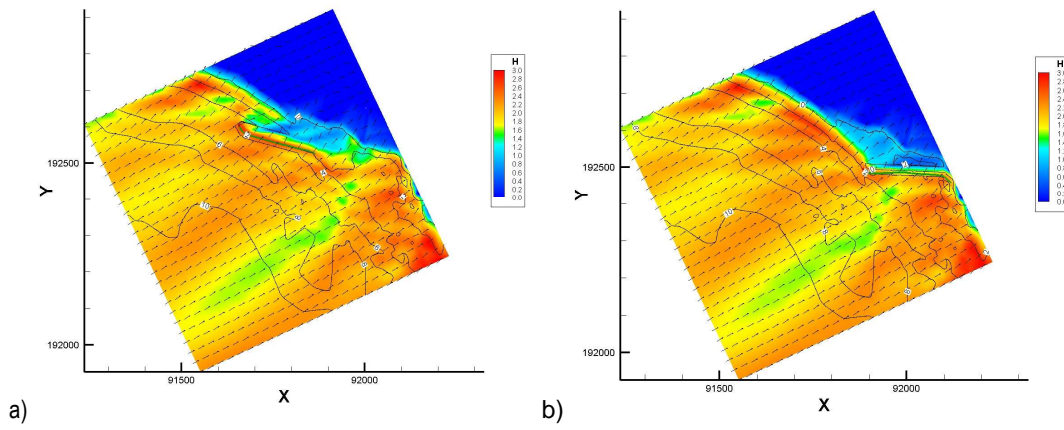


Figura 14 – Altura e direcção da onda: a) Solução 2; b) Solução 3

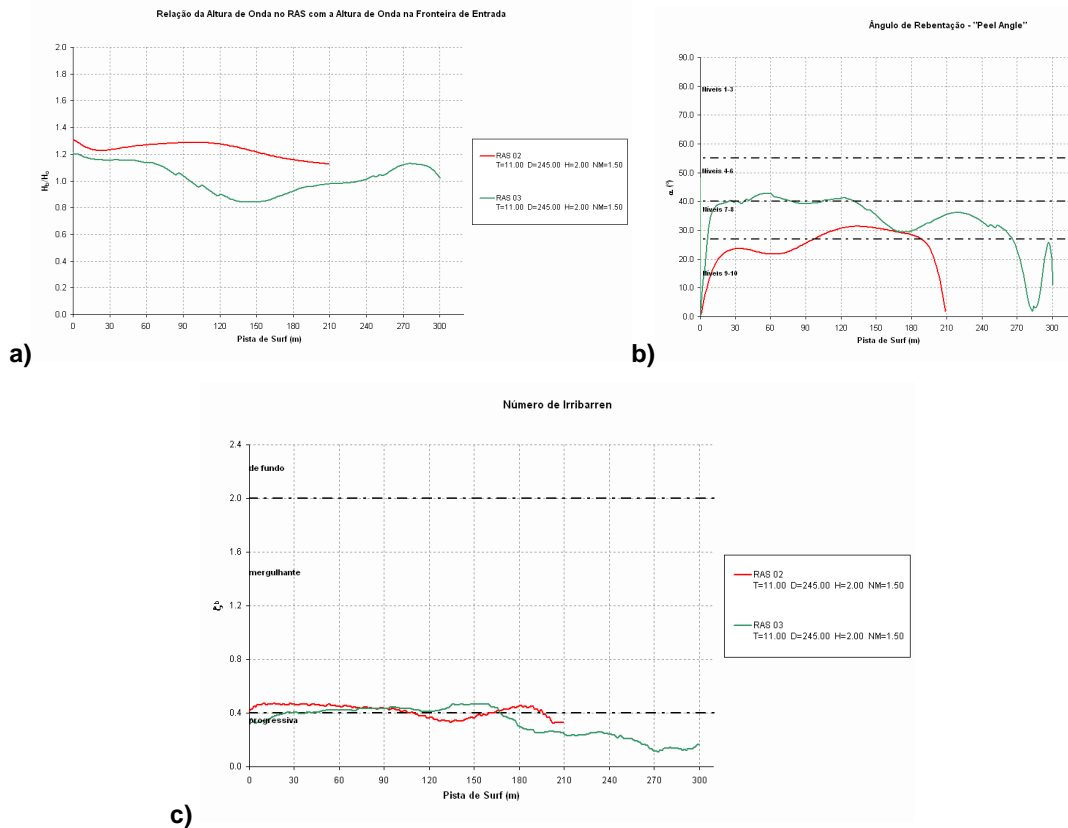


Figura 15 – Ao longo das linhas de rebentação direita para as duas soluções testadas; a) amplificação da altura de onda, H_b/H_o ; b) ângulo de rebentação, α ; c) Número de Iribarren, ξ_b

Das figuras anteriores, verifica-se que ambas as soluções do recife induzem o aumento, devido à diminuição da profundidade, e a posterior redução da altura de onda por rebentação na zona do recife.

As linhas de rebentação à direita e esquerda do recife são facilmente identificáveis. Verifica-se também que o número de Iribarren para as duas soluções é igual a 0,4, o que corresponde a rebentação do tipo progressiva.

Quanto ao ângulo de rebentação, situa-se entre 0 e 30° para a Solução 2 e 0 e 40° para a Solução 3, pelo que a onda apresenta uma velocidade excessiva para o surf, principalmente no caso da Solução 2. Neste sentido, há que alterar a geometria e talvez a localização deste recife a fim de melhorar as condições para a prática de surf.

5 CONCLUSÕES

Nesta comunicação, apresentou-se e aplicou-se a metodologia desenvolvida para análise do funcionamento de um recife artificial a ser implantado na praia de São Pedro do Estoril, Neves *et al.* (2007).

A análise do funcionamento do recife baseia-se na determinação dos parâmetros de surfabilidade: comprimento da linha de rebentação, altura de rebentação da onda, amplificação da altura de onda, ângulo de rebentação, tipo de rebentação e parede da onda. Para o cálculo desses parâmetros, desenvolveu-se um programa em linguagem FORTRAN – MOREIAS (MOdelo de análise de REcifes Artificiais para Surf), Mendes *et al.*



5^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

(2007), que, com base nos resultados do modelo de propagação de ondas REFDIF (alturas e direcções de onda), identifica a linha de rebentação do recife artificial e calcula os respectivos parâmetros de surfabilidade associados.

A aplicação da metodologia a duas soluções e localizações do recife artificial para o surf a ser implantado na zona de São Pedro do Estoril, mostrou-se adequada, simples e eficiente. Com efeito, esta metodologia permitiu comparar de forma rápida e correcta, diferentes geometrias e localizações do recife artificial, com base na determinação dos correspondentes parâmetros de surfabilidade. Dos resultados numéricos conclui-se da necessidade de proceder a alterações quer na forma quer na localização do recife da praia de São Pedro do Estoril de forma a obter as condições pretendidas para a prática do surf.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à técnica Branco Branco pela revisão do texto. Agradecem também o financiamento da FCT através do projecto POCTI/CTA/48065/2002 bem como ao FEDER e FGRP pelo financiamento ao projecto “MEDIRES – Metodologias de Inspeção Robotizada de Estruturas Semi-Submersas” e à Câmara Municipal de Cascais pela autorização para apresentação dos resultados.

REFERÊNCIAS

- Alves, J.; Sebastião, L.; Bicudo, P. (2007a) - *Caracterização hidrográfica da praia de S. Pedro para modelação e implementação de um recife artificial para a prática de Surf*. Comunicação das 5as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, Lisboa, Outubro.
- Alves, J.; Sebastião, L.; Bicudo, P. (2007b) - *Levantamento da Batimetria para o Recife Artificial para o Surf de São Pedro*. Relatório CMC/IST/FCUL/LNEC- COOR/07.
- Bicudo, P.; Monteiro, P.P.; Mendes, L.S.; Custódio, A.M.O.; Costa, H.P. (2007a) - *Avaliação das alternativas para a localização do projecto do recife para a melhoria do surf em São Pedro do Estoril*. Relatório CMC/IST/FCUL/LNEC- COOR/04.
- Bicudo, P.; Mendes, L.S.; Monteiro, P.P. (2007b) - *Soluções para o recife artificial*. Relatório CMC/IST/FCUL/LNEC- COOR/04 (em publicação).
- Coli, A.B.; Santos, J.A.; Fortes, C.J.; Capitão, R.; Carvalho, M.M. (1999) – *Metodologia de propagação de regimes de agitação marítima do largo para a costa: análises dos modelos BACKTRACK-REFSPEC e SWAN*. 6º Congresso da Água, Porto, Portugal.
- Dalrymple, R.A.; Kirby, J.T. (1991) - *REFDIF 1 Version 2.3. Documentation Manual. Combined Refraction/Diffraction Model*. CACR Report n.º 91-2, University of Delaware, January, 1991.
- Fortes C.J.; Capitão, R.; Neves, M.G.; Monteiro, P.P.; Mendes, L.S. (2007a) - *Viabilidade da implementação de um recife artificial para a prática de surf na praia de São Pedro do Estoril e criação de uma estrutura de protecção e amarração do submarino Barracuda*. Estudos de modelação numérica e física. Regimes de agitação marítima. Relatório 172/07, Abril.
- Fortes, C.J.; Mendes, L.; Neves, M.G.; Monteiro, P.; Palha, A.; Capitão, R.; Bicudo, P.; Custódio, A.M.; Costa, H.; Almeida, N.; Cardoso, N.; Carias, L.; Fialho, M.J.; Carvalho, L. (2007b) - *Estudo da viabilidade de um recife artificial para surf na praia de São Pedro do Estoril*. Comunicação para o IV Congresso de Planeamento de Zonas Costeiras. Madeira, Outubro.
- Fortes C.J.; Neves, M.G.; Mendes, L.S.; Monteiro, P.P. (2007c) - *Viabilidade da implementação de um recife artificial para a prática de surf na praia de São Pedro do Estoril e criação de uma estrutura de protecção e amarração do submarino Barracuda*. Estudos de



5^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

- modelação numérica e física. Recifes artificiais para o surf: Revisão Bibliográfica.* Relatório 232/07, Julho.
- Fortes, C.J.E.M.; Pinheiro, L.; Santos, J.A.; Capitão, R. (2006) - *SOPRO – Pacote integrado de modelos para avaliação dos efeitos das ondas em portos.* Revista da Tecnologia da Água, Edição I, Março.
- Hutt, J.A.; Black, K.P.; Mead, S.T. (2001) - *Classification of surf breaks in relation to surfing skill.* In: Black, K.P. (ed.), *Natural and Artificial reefs for Surfing and Coastal Protection.* Journal of Coastal Research Special Issue No. 29, pp. 66-81.
- Monteiro, P.P.; Mendes, L.S.; Custódio, A.M.O.; Costa, H.P. (2007a) - *Avaliação das alternativas para a localização do projecto do recife para a melhoria do surf em São Pedro do Estoril.* Relatório CMC/IST/FCUL/LNEC- COOR/04.
- Monteiro, P.P.; Fortes, C.J.; Neves, M.G.; Mendes, L.S. (2007b) - *Regime de agitação marítima na praia de São Pedro do Estoril.* Comunicação das 5^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária. Lisboa, Outubro.
- Mendes, L.S.; Neves, M.G.; Fortes C.J.; Monteiro, P.P. (2007) - *Programa MOREIAS. Análise do funcionamento de um recife artificial. Aplicações.* Relatório /07-NPE, Julho (em preparação).
- Neves, M.G.; Fortes C.J.; Mendes, L.S.; Monteiro, P.P. (2007) - *Viabilidade da implementação de um recife artificial para a prática de surf na praia de São Pedro do Estoril e criação de uma estrutura de protecção e amarração do submarino Barracuda. Estudos de modelação numérica e física. Metodologias de trabalho.* Relatório 182/07-NPE.
- Pinheiro, L.; Fortes, C.J.; Neves, M.G.; Santos, J. A. (2005) - *An Operational Tool for Wave Regime Characterization and Propagation. Application to the Port of Sines.* Fifth International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis. WAVES 2005. Madrid, Espanha, 3 a 7 de Julho.
- Pinheiro, L.; Palha, A.; Fortes, C.J. (2007) - *Evoluções recentes do pacote informático SOPRO.* Comunicação das 5^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária. Lisboa.
- Walker, J.R. (1974) - *Recreational Surf Parameters.* Hawaii: University of Hawaii, James K.K. Look Laboratory of Oceanographic Engineering, Technical Report No. 30.