



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Departamento de Engenharia Civil

ISEL



Estudo do Recife Artificial a construir na Leirosa
Aplicação de modelação numérica para simulação da propagação
da agitação marítima

GONÇALO MIGUEL ROSA SERRÃO

Bacharel em Engenharia Civil

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil
na Área de Especialização de Hidráulica

Orientadores:

- Doutor João Alfredo Ferreira dos Santos
- Doutora Conceição Juana Espinosa Morais Fortes

Júri:

Presidente: Doutora Maria Ana de Carvalho Viana Baptista.

Vogais: Doutor João Alfredo Ferreira dos Santos

Doutora Conceição Juana Espinosa Morais Fortes

Doutora Maria Teresa Leal Gonsalves Veloso dos Reis

Dezembro 2012



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Departamento de Engenharia Civil

ISEL



Estudo do Recife Artificial a construir na Leirosa
Aplicação de modelação numérica para simulação da propagação
da agitação marítima

GONÇALO MIGUEL ROSA SERRÃO

Bacharel em Engenharia Civil

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil
na Área de Especialização de Hidráulica

Orientadores:

- Doutor João Alfredo Ferreira dos Santos
- Doutora Conceição Juana Espinosa Morais Fortes

Júri:

Presidente: Doutora Maria Ana de Carvalho Viana Baptista

Vogais: Doutor João Alfredo Ferreira dos Santos

Doutora Conceição Juana Espinosa Morais Fortes

Doutora Maria Teresa Leal Gonsalves Veloso dos Reis

Dezembro 2012

Resumo

A temática dos recifes artificiais multifuncionais é relativamente recente, sendo que o primeiro recife artificial multifuncional construído data do ano de 1999 (Perth, Austrália). A palavra multifuncional está associada aos múltiplos propósitos que se podem atingir com a construção de uma estrutura destas, sendo eles, a proteção costeira, o aumento da biodiversidade local, a melhoria da qualidade das ondas para o *Surf* e a promoção do turismo ligado aos desportos de ondas.

Para dar resposta a um caso de proteção costeira, na zona marítima adjacente à praia de Leirosa, Portugal, foi pensada uma construção de um recife artificial que funcione como obra de proteção do sistema dunar local e que, adicionalmente melhore as condições locais para a prática de *Surf*.

Este trabalho descreve a análise de duas soluções de recife (em forma de “V”, formando um ângulo de 45° e 66°, entre si), através dos valores das características das ondas (altura, período e direção) e parâmetros de *surfabilidade* (linha de rebentação, número de Iribarren e ângulo de rebentação), para uma gama alargada de condições de agitação frequente.

Para tal, foi necessário caracterizar a agitação marítima, através do modelo numérico SWAN para determinação dos casos de agitação mais frequentes na zona marítima adjacente ao local de implantação do recife e para, posteriormente, se proceder à sua utilização no modelo numérico DREAMS, que permitiu a simulação da propagação das ondas sobre o recife.

A comparação dos resultados do modelo numérico DREAMS para as situações de com e sem recife (para as duas soluções de recife) permitiu avaliar a influência do mesmo em termos de alturas de onda, linha de rebentação e ângulo de rebentação, tendo-se chegado a resultados satisfatórios do ponto de vista do melhoramento das condições locais para a prática do *Surf*.

Palavras-Chave Recife Artificial, *Surf*, Leirosa, Modelação numérica, SWAN, DREAMS.

Abstract

The theme of multifunctional artificial reefs is relatively recent, with the first multifunctional artificial reef built in 1999 (Perth, Australia). The word multifunctional is associated with the multiple purposes that can be achieved with the construction of such a structure, namely, coastal protection, increased local biodiversity, quality improvement of the waves for Surf and promotion of tourism related to wave sports.

To respond to a case of coastal protection, in the marine adjacent zone of the Leirosa beach, Portugal, the construction of an artificial reef was thought in order to work as a protection to the local sand dune system and, additionally, to improve local conditions for Surf.

This paper describes the analysis of two reef solutions (in a "V" shape, forming an angle of 45 ° and 66 ° with each other) through the values of the wave characteristics (wave height, period and direction) and of the surfability parameters (breaker line, Iribarren number and peel angle), for a wide range of frequent wave conditions.

For such, it was necessary to characterize the wave regime, through the use of the numerical model SWAN to determine the most frequent wave conditions in the marine zone adjacent to the reef construction site and then proceed to their use in the numerical model DREAMS, which allowed the simulation of the propagation of waves over the reef.

The comparison of results of the numerical model DREAMS for the situations with (for both reef solutions) and without reef allowed evaluation of the influence of the reef in terms of wave height, breaker line and peel angle, having reached satisfactory results from the point of view of the improvement of local Surf conditions.

Keywords Artificial Reef, *Surf*, Leirosa, Numerical modeling, SWAN, DREAMS.

Agradecimentos

Aos meus orientadores, o Professor Dr. João Alfredo Ferreira dos Santos e a Dra. Conceição Juana Fortes pela oportunidade dada para desenvolver este tema e por todo o apoio, sentido crítico, documentação facultada e disponibilidade.

Aos meus filhos, Tomás e Martim, pelos seus sorrisos e diabruras, que tornaram o desenvolvimento deste trabalho mais divertido nas alturas mais stressantes.

E à minha mulher, Ana Inês, pelo muito importante apoio incondicional, sem o qual não conseguiria a realização deste trabalho.

Índice Geral	Página
1 <i>Introdução</i>	1
1.1 Enquadramento do Trabalho	1
1.2 Objectivos	2
1.3 Metodologia	3
1.4 Estrutura da Dissertação	4
2 <i>Revisão Bibliográfica</i>	5
2.1 Recifes Artificiais Multifuncionais no Mundo	5
2.2 Caso de Estudo da Praia da Leirosa	6
3 <i>Análise de Funcionamento da Solução do Recife</i>	10
3.1 Parâmetros de Surfabilidade	10
3.2 Metodologia de Análise de Funcionamento de um Recife	14
4 <i>Caracterização da zona em estudo</i>	16
4.1 Caracterização Geral do Local em Estudo	16
4.2 Metodologia Adotada	16
4.3 Soluções Estudadas	18
5 <i>Caracterização da Agitação Marítima na zona da Leirosa</i>	21
5.1 Introdução	21
5.2 Modelo SWAN	21
5.3 Regime Geral na Boia-ondógrafo	23
5.4 Condições de Aplicação do Modelo SWAN	24
5.4.1 Metodologia.....	24
5.4.2 Batimetria	25
5.4.3 Domínio computacional e condições de aplicação	25
5.5 Resultados e Discussão	27
5.5.1 Introdução.....	27
5.5.2 Características da agitação marítima nos pontos de fronteira.....	27

6	<i>Análise do Funcionamento do Recife</i>	32
6.1	Introdução	32
6.2	Modelo Numérico DREAMS	32
6.3	Condições de Aplicação do Modelo DREAMS	34
6.3.1	Batimetria	34
6.3.2	Condições de agitação	36
6.3.3	Domínio computacional	37
6.4	Tratamento e Análise dos Resultados	38
6.4.1	Linha de rebentação e alturas de onda.....	38
6.4.2	Cálculo dos Parâmetros de <i>Surfabilidade</i>	55
6.4.2.1	Número de Iribarren	56
6.4.2.2	Ângulo de rebentação.....	60
6.4.2.3	Alturas de onda.....	70
7	<i>Conclusões</i>	75
	<i>Bibliografia</i>	77

Índice de Quadros

<i>Tabela 1. Relação entre o ângulo de rebentação, (α), e o nível de dificuldade na execução de manobras (WALKER, 1974).....</i>	<i>11</i>
<i>Tabela 2. Metodologia de Battjes: relação entre o número de Iribarren e o tipo de rebentação (BATTJES, 1974).</i>	<i>13</i>
<i>Tabela 3. Características da malha utilizada na simulação com o SWAN.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabela 4. Cinco valores mais frequentes para os pares Direção e Período.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabela 5. Cinco valores mais frequentes para os pares Período e Altura Significativa.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabela 6. Cinco valores mais frequentes para os pares Direção e Altura Significativa.</i>	<i>31</i>
<i>Tabela 7. Condições de agitação marítima estudadas.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabela 8. Média, mínimo e máximo dos valores do ângulo de rebentação. Caso C1.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabela 9. Média, mínimo e máximo dos valores do ângulo de rebentação. Caso C2.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabela 10. Média, mínimo e máximo dos valores do ângulo de rebentação. Caso C3.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabela 11. Média, mínimo e máximo dos valores do ângulo de rebentação. Caso C4.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabela 12. Média, mínimo e máximo dos valores do ângulo de rebentação. Caso C5.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabela 13. Média, mínimo e máximo dos valores do ângulo de rebentação. Caso C6.....</i>	<i>70</i>

Índice de Figuras

<i>Figura 1. Aspecto da zona de estudo: Praia da Leirosa.....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 2. Mapa de Portugal. Localização da Praia da Leirosa. (Fonte: Google Earth, 2012).....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 3. Ilustração da velocidade de propagação da onda, c, ângulo de rebentação, α, velocidade do surfista, V_s e a velocidade de rebentação, V_p, (velocidade ao longo da crista da onda, com que se dá a rebentação). (Fonte: surfermag.com).....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 4. Tipos de rebentação, de cima para baixo, progressiva, mergulhante, colapsante e de fundo. Fonte: Coleman (2001)</i>	<i>14</i>
<i>Figura 5. a) Praia da Leirosa; b) Barreira de proteção da duna.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 6. a) Planta com a geometria de base do recife artificial utilizada no estudo. b) Perfil do recife artificial.</i>	<i>19</i>
<i>Figura 7. Localização do ponto P, representativo da zona marítima de estudo e da posição da boia-ondógrafo.</i>	<i>23</i>
<i>Figura 8. Regime de agitação local no ponto P da Figura 7. a) HS-Data; b) DIR-TZ.</i>	<i>23</i>
<i>Figura 9. Regime de agitação local no ponto P da Figura 7. a) TZ-HS; b) DIR-HS.</i>	<i>24</i>
<i>Figura 10. a) Localização da área em estudo (carta hidrográfica do Cabo Mondego ao Cabo Carvoeiro, do Instituto Hidrográfico, escala 1: 150 000, 1915); b) Dados batimétricos.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 11. Gráfico HS-Hora – Pontos P1, P2, P3 e P4 – dia 07/10/2008.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 13. a) Gráfico HS-Data – Ponto P4; b) Gráfico TZ-HS – Ponto P4.</i>	<i>28</i>

Figura 13. a) Gráfico DIR-TZ – Ponto P4; b) Gráfico DIR-HS – Ponto P4.....	28
Figura 14. Histograma conjunto de DIR-TZ – Ponto P4.....	29
Figura 15. Histograma conjunto de TZ-HS – Ponto P4.	29
Figura 16. Histograma conjunto de DIR-HS – Ponto P4.	30
Figura 17. Domínio de cálculo e batimetria para o nível médio de maré. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.....	35
Figura 18. Detalhe da geometria do recife artificial no domínio de cálculo para o nível médio de maré. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.	36
Figura 19. Indicação do ângulo da costa com o Norte na zona de implantação do recife.....	37
Figura 20. Pormenor da malha utilizada no modelo DREAMS na zona do recife.	38
Figura 21. Representação da linha de rebentação e das alturas de onda na zona do recife e na linha de costa para BM, DIR=300°, T=8,0 s e H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°. c) Sem recife.	39
Figura 22. Representação da linha de rebentação e das alturas de onda na zona do recife e na linha de costa para NM, DIR=300°, T=8,0 s e H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°. c) Sem recife.	40
Figura 23. Representação da linha de rebentação e das alturas de onda na zona do recife e na linha de costa para BM, DIR=300°, T=7,0 s e H=2,0 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°. c) Sem recife.	41
Figura 24. Representação da linha de rebentação e das alturas de onda na zona do recife e na linha de costa para NM, DIR=300°, T=7,0 s e H=2,0 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°. c) Sem recife.	42
Figura 25. Representação da linha de rebentação e das alturas de onda na zona do recife e na linha de costa para PM, DIR=300°, T=7,0 s e H=2,0 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°. c) Sem recife.	43
Figura 26. Representação da linha de rebentação e das alturas de onda na zona do recife e na linha de costa para BM, DIR=300°, T=8,0 s e H=2,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°. c) Sem recife.	44
Figura 27. Representação da linha de rebentação e das alturas de onda na zona do recife e na linha de costa para NM, DIR=300°, T=8,0 s e H=2,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°. c) Sem recife.	45
Figura 28. Representação da linha de rebentação e das alturas de onda na zona do recife e na linha de costa para PM, DIR=300°, T=8,0 s e H=2,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°. c) Sem recife.	46
Figura 29. Representação da linha de rebentação e das alturas de onda na zona do recife e na linha de costa para BM, DIR=290°, T=9,0 s e H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°. c) Sem recife.	47
Figura 30. Representação da linha de rebentação e das alturas de onda na zona do recife e na linha de costa para NM, DIR=290°, T=9,0 s e H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°. c) Sem recife.	48
Figura 31. Representação da linha de rebentação e das alturas de onda na zona do recife e na linha de costa para BM, DIR=280°, T=8,0 s e H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°. c) Sem recife.	49
Figura 32. Representação da linha de rebentação e das alturas de onda na zona do recife e na linha de costa para NM, DIR=280°, T=8,0 s e H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°. c) Sem recife.	50
Figura 33. Representação da linha de rebentação e das alturas de onda na zona do recife e na linha de costa para PM, DIR=280°, T=8,0 s e H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°. c) Sem recife.	51
Figura 34. Representação da linha de rebentação e das alturas de onda na zona do recife e na linha de costa para BM, DIR=280°, T=7,0 s e H=1,0 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°. c) Sem recife.	52

Figura 35. Representação da linha de rebentação e das alturas de onda na zona do recife e na linha de costa para NM, DIR=280°, T=7,0 s e H=1,0 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°. c) Sem recife.	53
Figura 36. N.º de Iribarren ao longo da linha de rebentação sobre o recife para BM e NM, DIR=300°, T=8,0 s, H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.....	56
Figura 37. N.º de Iribarren ao longo da linha de rebentação sobre o recife para BM e NM, DIR= 300°, T=7,0 s, H=2,0 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.....	56
Figura 38. N.º de Iribarren ao longo da linha de rebentação sobre o recife para BM, NM e PM, DIR= 300°, T=8,0 s, H=2,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.	57
Figura 39. N.º de Iribarren ao longo da linha de rebentação sobre o recife para BM e NM, DIR= 290°, T=9,0 s, H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.....	57
Figura 40. N.º de Iribarren ao longo da linha de rebentação sobre o recife para BM, NM e PM. DIR= 280°, T=8,0 s, H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.....	58
Figura 41. N.º de Iribarren ao longo da linha de rebentação sobre o recife para BM, DIR= 280°, T=7,0 s, H=1,0 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.....	58
Figura 42. N.º de Iribarren ao longo das linhas de rebentação sobre o recife para BM, DIR= 300°, T=8,0 s, H=1,5 m, DIR= 290°, T=9,0 s, H=1,5 m e DIR= 280°, T=8,0 s, H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°....	59
Figura 43. N.º de Iribarren ao longo das linhas de rebentação sobre o recife para NM, DIR= 300°, T=8,0 s, H=1,5 m, DIR= 290°, T=9,0 s, H=1,5 m e DIR= 280°, T=8,0 s, H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°....	59
Figura 44. Ângulo de Rebentação ao longo das linhas de rebentação sobre o recife para BM e NM, DIR= 300°, T=8,0 s, H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.....	60
Figura 45. Ângulo de Rebentação ao longo das linhas de rebentação sobre o recife para BM e NM, DIR= 300°, T=7,0 s, H=2,0 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.	60
Figura 46. Ângulo de Rebentação ao longo das linhas de rebentação sobre o recife para BM, NM e PM, DIR= 300°, T=8,0 s, H=2,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.	61
Figura 47. Ângulo de Rebentação ao longo das linhas de rebentação sobre o recife para BM e NM, DIR= 290°, T=9,0 s, H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.....	61
Figura 48. Ângulo de Rebentação ao longo das linhas de rebentação sobre o recife para BM, NM e PM, DIR= 280°, T=8,0 s, H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.....	62
Figura 49. Ângulo de Rebentação ao longo das linhas de rebentação sobre o recife para BM, DIR= 280°, T=7,0 s, H=1,0 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.....	62
Figura 50. Ângulo de Rebentação ao longo das linhas de rebentação sobre o recife para BM, DIR= 300°, T=8,0 s, H=1,5 m, DIR= 290°, T=9,0 s, H=1,5 m e DIR= 280°, T=8,0 s, H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.	63
Figura 51. Ângulo de Rebentação ao longo das linhas de rebentação sobre o recife para NM, DIR= 300°, T=8,0 s, H=1,5 m, DIR= 290°, T=9,0 s, H=1,5 m e DIR= 280°, T=8,0 s, H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.	63
Figura 52. Altura de Onda ao longo das linhas de rebentação sobre o recife para BM e NM, DIR= 300°, T=8,0 s, H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.....	71
Figura 53. Altura de Onda ao longo das linhas de rebentação sobre o recife para BM e NM, DIR= 300°, T=7,0 s, H=2,0 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.....	71

<i>Figura 54. Altura de Onda ao longo das linhas de rebentação sobre o recife para BM, NM e PM, DIR= 300°, T=8,0 s, H=2,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.</i>	72
<i>Figura 55. Altura de Onda ao longo das linhas de rebentação sobre o recife para BM e NM, DIR= 290°, T=9,0 s, H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.</i>	72
<i>Figura 56. Altura de Onda ao longo das linhas de rebentação sobre o recife para BM, NM e PM, DIR= 280°, T=8,0 s, H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.</i>	73
<i>Figura 57. Altura de Onda ao longo das linhas de rebentação sobre o recife para BM, DIR= 280°, T=7,0 s, H=1,0 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.</i>	73
<i>Figura 58. Altura de Onda ao longo das linhas de rebentação sobre o recife para BM, DIR= 300°, T=8,0 s, H=1,5 m, DIR= 290°, T=9,0 s, H=1,5 m e DIR= 280°, T=8,0 s, H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.</i>	74
<i>Figura 59. Altura de Onda ao longo das linhas de rebentação sobre o recife para NM, DIR= 300°, T=8,0 s, H=1,5 m, DIR= 290°, T=9,0 s, H=1,5 m e DIR= 280°, T=8,0 s, H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.</i>	74

Siglas e Abreviaturas

ASR – *Amalgamates Solutions and Research Limited*

BM – Baixa-Mar

CELBI – Celulose Beira Industrial S.A.

CMC – Câmara Municipal de Cascais

GMALHA – Gerador de malhas de elementos finitos para a simulação numérica de propagação de ondas marítimas

IH – Instituto Hidrográfico

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

L.R. – Linha de Rebentação

MEF – Método dos Elementos Finitos

NM – Nível médio de Maré

PM – Preia-Mar

SMS – *Surface Modelling System*

SWAN – *Simulating WAves NearShore*

Simbologia

c – Velocidade de propagação da onda

d – Profundidade

DIR – Direção de onda

DIRmed – Direção de onda média

DIR_Tp – Direção de onda de pico

Dx – Espaçamento de cada elemento da malha no eixo das abcissas

Dy – Espaçamento de cada elemento da malha no eixo das ordenadas

H – Altura de onda

H_b – Altura de rebentação da onda

H_s – Altura de Onda significativa

H_o - Altura de onda à entrada do domínio de cálculo

L_o – Comprimento de onda ao largo

s – Declive na zona do recife

T – Período

T_{med} – Período médio

T_p – Período de pico

T_z – Período de Zero ascendente

V_p – Velocidade ao longo da crista da onda, com que se dá a rebentação

V_s – Velocidade do *surfista*

X_{inicial} – Coordenada inicial da malha do eixo das abcissas

Y_{inicial} – Coordenada inicial da malha do eixo das ordenadas

ξ_b – Número de Iribarren

α – Ângulo de rebentação.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do Trabalho

A temática dos recifes artificiais multifuncionais é relativamente recente, sendo que o primeiro recife artificial multifuncional construído data do ano de 1999 (Perth, Austrália).

A palavra multifuncional está associada aos múltiplos propósitos que se podem atingir com a construção de uma estrutura destas, sendo eles, a proteção costeira, o aumento da biodiversidade local, a melhoria da qualidade das ondas para o *Surf* e a promoção do turismo ligado aos desportos de ondas.

Um recife artificial não é mais do que uma estrutura submersa, construída junto à costa, com a finalidade de induzir o aumento da altura da onda e consequente rebentação da ondulação, de forma a garantir que esta persista de forma gradual ao longo da crista da onda, numa distância suficientemente longa.

Atualmente existem cinco projetos construídos, (dois na Austrália, um na Nova Zelândia, um em Inglaterra e um na Índia) um projeto em fase de construção (Nova Zelândia) e um outro que foi desativado e removido (Estados Unidos da América).

No caso de Portugal, não existe nenhum recife artificial multifuncional construído. No entanto, foi realizado um estudo de viabilidade, promovido pela Câmara Municipal de Cascais (C.M.C.) para a construção de um recife na zona da praia de S. Pedro do Estoril. Para este recife foi apenas estudada a vertente do *Surf*, (Fortes *et al.*, 2007a,b).

Existe igualmente um estudo de viabilidade realizado através de uma parceria entre a Universidade de Coimbra e o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), para a construção de um recife artificial multifuncional na praia da Leirosa, localizada a sul da Figueira da Foz (Antunes de Carmo, *et al.*, 2010, ten Voorde, 2008, Mendonça *et al.*, 2010b, Ramos, 2012).

Embora em ambos os projetos de recife mencionados atrás seja possível atingir os múltiplos propósitos mencionados anteriormente, foi o *Surf* o principal tema de cada estudo de viabilidade.

1.2 Objectivos

Este trabalho incide no estudo de um recife artificial, localizado junto à praia da Leirosa, de modo a que este dê origem ao melhoramento das condições locais para a prática do *Surf*.

Desta forma será continuada a análise do caso de estudo do recife da Leirosa (Mendonça *et al.*, 2010b e Ramos, 2012) na ótica do *Surf*, analisando outras geometrias do recife, bem como avaliando o desempenho deste para uma gama alargada de condições de agitação marítima.

É pretendido que este trabalho seja um complemento aos estudos de viabilidade já apresentados para este local.

O objetivo do trabalho será, através da utilização de modelação numérica, fazer uma análise de duas soluções propostas para a forma geométrica do recife. Para a agitação marítima incidente mais frequente no local de implantação do recife, a funcionalidade do recife é analisada com base nos valores das características das ondas (altura, período e direção) e dos parâmetros de surfabilidade (linha de rebentação, número de Iribarren, ângulo de rebentação, etc.), que se relacionam com um dos objetivos do recife que é criar condições favoráveis à prática de *Surf*.

Assim, primeiramente efetua-se a caracterização do regime de agitação marítima local recorrendo aos dados da boia-ondógrafo que são transferidos para o local de estudo, com o modelo SWAN, (Booij *et al.*, 1999). Com base nesse regime, são definidas as condições de ondas mais frequentes, por a forma a que estas digam respeito a estados representativos de alturas de onda, direção e período.

Segue-se depois a definição das geometrias do recife e respetiva localização e posteriormente os cálculos com o modelo DREAMS (Fortes, 1993). Com base nos resultados dos modelos para as várias condições de agitação frequentes (altura, período e direção) determinam-se os parâmetros de *surfabilidade* (nomeadamente, a altura de onda ao longo da linha de rebentação, o comprimento da linha de rebentação, o tipo de rebentação, o ângulo de rebentação ao longo da linha de rebentação e a amplificação da altura da onda em relação à altura de onda incidente) e é efetuada uma análise comparativa desses resultados.

Desta forma, pretende-se que, para os dados de agitação marítima disponíveis para o local de implantação do recife, seja possível chegar a uma estrutura que permita atingir uma rebentação tal que seja ótima para a prática do *Surf*.

1.3 Metodologia

Dada a complexidade da manipulação dos modelos numéricos utilizados, parte significativa do desenvolvimento deste trabalho foi realizado nas instalações do Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas do LNEC.

De seguida, apresentam-se os passos relativos ao método que foi seguido com vista à realização do presente trabalho:

1º Passo – Caracterização da agitação marítima para a zona de estudo, através do modelo SWAN (*Simulating WAVes NearShore*) que permite fazer a transposição dos dados recolhidos numa boia-ondógrafo, para a fronteira da zona de estudo onde está implantado o recife.

2º Passo - Definição da geometria do recife artificial e da sua localização.

Neste passo, o estudo teve como base a geometria definida por Ramos (2012). Com base nessa geometria foram implementadas algumas alterações que deram origem a 2 novas geometrias.

3º Passo - Aplicação do modelo numérico de propagação de ondas DREAMS (Fortes, 1993) à zona de estudo para o conjunto de condições de agitação marítima, geometrias e localização do recife.

4º Passo - Obtenção, através do modelo numérico, para cada condição de agitação marítima e geometria do recife, dos valores de altura de onda, período e direção em todos os pontos do domínio de estudo.

5º Passo - Obtenção dos parâmetros de *surfabilidade*, correspondentes a cada condição de agitação marítima, geometria e localização do recife, com base nos resultados acima.

6º Passo - Análise comparativa dos diferentes resultados do modelo e dos parâmetros de surfabilidade, para as diferentes condições de agitação, geometria e localização do recife.

1.4 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação será dividida em sete capítulos. No primeiro capítulo, onde se insere a presente secção, é feito um breve enquadramento e motivação do tema, fazendo-se também referência aos objetivos do trabalho. No segundo capítulo, o capítulo de revisão bibliográfica, são mencionados os recifes artificiais no mundo, assim como é mencionado o caso de estudo da Leirosa. O terceiro capítulo contém a descrição dos parâmetros que permitem a análise do funcionamento do recife em termos da prática de *Surf* e a metodologia de análise do funcionamento de um recife artificial. O quarto capítulo será dedicado à caracterização geral da zona em estudo e às soluções de recife adotadas. No quinto capítulo é referida a caracterização da agitação marítima na zona da Leirosa, através do modelo SWAN. No sexto capítulo vão ser apresentados os resultados e será feita a discussão dos mesmos. São ainda referidos os aspectos básicos do modelo numérico DREAMS e o seu domínio computacional (modelo usado para a propagação da onda sobre o recife multifuncional). Por último, no sétimo capítulo, serão apresentadas as conclusões tiradas do estudo efetuado, bem como sugeridas propostas para futuros desenvolvimentos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Recifes Artificiais Multifuncionais no Mundo

O primeiro recife multifuncional construído foi o de Cable Station, localizado perto de Perth, na Costa Oeste da Austrália, no ano de 1999. Tratou-se de um recife cujo objetivo principal foi o melhoramento das condições para o *Surf*. Desde então têm-se construído mais recifes e diversos estudos têm sido realizados para diferentes projetos de recifes artificiais em vários locais.

Atualmente existem seis projetos concluídos, sendo eles:

- Cable Station, Costa Oeste Austrália, 1999;
- Narrowneck, Gold Coast, Austrália, 2000;
- Pratte's Reef, Praia de Dockweiler, El Segundo, Califórnia, Estados Unidos, 2001 (removido em Outubro de 2008 por não ter atingido os objetivos esperados, Coastal Frontier Corporation, 2008);
- Mount Maunganui, Nova Zelândia, 2008;
- Boscombe, Inglaterra, 2009;
- Kovalam, Kerala, India, 2010.

Existe um outro recife em fase de construção, que se encontra localizado em Opunake, Nova Zelândia. A construção iniciou-se em 2006 e a finalização do projeto era esperada para 2009, no entanto ainda não se encontra concluído. Atrasos sucessivos na construção do recife fizeram com que fosse necessário repensar a sua implantação devido às alterações da morfodinâmica do fundo oceânico local. Outro facto que fez atrasar a construção foi a compra da empresa que desenhou e construiu parte do recife, a *Amalgamates Solutions and Research Limited* (ASR Ltd), por parte da companhia americana *Sealutions LLC*.

Existe pouca literatura disponível desta temática. As empresas que desenvolvem e comercializam os recifes artificiais apenas divulgam relatórios técnicos e artigos sem revisão bibliográfica, em que a função melhor estudada é a da resposta da linha de costa à presença do recife.

Mais ainda, são muito raros os estudos publicados que demonstrem o aumento da biodiversidade local e o retorno económico da construção dos recifes artificiais. No entanto, embora sejam dois aspetos muito importantes nesta temática, os mesmos não serão analisados no decorrer deste trabalho.

2.2 Caso de Estudo da Praia da Leirosa

O recife a construir na praia da Leirosa, teve como primeiro propósito dar resposta a um problema de proteção costeira.

A praia da Leirosa (Figura 1), a Sul da Figueira da Foz (Figura 2), tem sentido, ao longo dos últimos anos, um recuo continuado da linha de costa, destruindo o sistema dunar na região. Tal facto deveu-se a regularizações fluviais, a alterações no aproveitamento dos solos, a extrações de areias para a construção e as dragagens no porto da Figueira da Foz. Também os efeitos cumulativos das alterações pontuais nos padrões de agitação local e dos trânsitos sedimentares têm reflexos profundos e irreversíveis (Antunes do Carmo *et al.*, 2005). A construção de um esporão a montante do sistema dunar, também contribuiu muito para a degradação do cordão dunar.



Figura 1. Aspecto da zona de estudo: Praia da Leirosa



Figura 2. Mapa de Portugal. Localização da Praia da Leirosa. (Fonte: *Google Earth*, 2012)

Foi avançada uma solução provisória de proteção frontal das dunas, que consistiu, numa primeira fase, na reabilitação do cordão dunar através do enchimento com areia e replantação da zona intervencionada (Reis e Freitas, 2002). No entanto, após a ocorrência de um temporal significativo, que provou a insuficiência da solução, foi entendido estudar, numa segunda fase, a viabilidade da proteção costeira através de uma solução frontal e destacada, que permitisse a redução da ação dinâmica das ondas sobre a linha de costa (Antunes do Carmo *et al.*, 2005; Reis *et al.*, 2005).

Foi ainda implementada, como medida de recurso, uma solução para reforço dunar através da aplicação de uma barreira de proteção constituída por tubos de material geotêxtil, cobertos por areia e posterior replantação (Antunes do Carmo *et al.*, 2005; Reis *et al.*, 2005).

Os estudos, entretanto realizados no âmbito de um projeto de investigação, evoluíram para o reforço da proteção da linha de costa através da instalação de uma estrutura destacada e submersa (recife artificial), dando origem ao estudo de viabilidade mencionado atrás.

Pretendia-se com tal estrutura atenuar os problemas de erosão costeira verificados até ao momento e em complemento melhorar as condições locais para a prática do *Surf*. Embora este recife não passe de uma construção submersa multifuncional, em material geotêxtil, espera-se que tenha potencialidades de proteção costeira, enriquecimento ambiental e para usos balneares muito atrativos, promovendo condições favoráveis à prática do *Surf* e proporcionando uma elevada mais-valia sócio-económica.

Concretamente, o estudo de viabilidade teve como finalidade a análise do funcionamento hidrodinâmico do recife para diferentes condições de agitação marítima incidente. Para tal foi utilizada modelação numérica para simulação da propagação da agitação marítima incidente. Esta modelação numérica consistiu na aplicação de um código numérico baseado nas equações de Boussinesq expandidas, COULWAVE, (Lynett e Liu, 2002a e b).

O estudo de viabilidade iniciou-se com a determinação do regime de agitação marítima nas imediações do local de estudo, Mendonça *et al.* (2010b). Para tal, foram considerados os dados de agitação marítima obtidos através de uma boia-ondógrafo implementada na zona de estudo, durante o período de Outubro de 2008 a Maio de 2009. No entanto, uma vez que o período de registo de agitação marítima era muito curto e, para ter visão mais alargada do regime de agitação na zona, foram considerados também os dados observados na boia localizada na Figueira da Foz que foram transferidos para o local, para o período de Julho de 1984 a Fevereiro de 1996.

A forma geométrica triangular do recife utilizada no estudo foi definida em ten Voorde *et al.* (2008).

Após aplicação do modelo COULWAVE e considerando as condições de agitação marítima selecionadas com base no regime de agitação definido no local, foram determinados os parâmetros de *surfabilidade* (ângulo de rebentação e tipo de rebentação), que caracterizam o funcionamento do recife para a prática do *Surf*, para as situações sem e com recife artificial.

Os resultados obtidos, no que se refere aos parâmetros de *surfabilidade*, previram uma rebentação do tipo mergulhante (Figura 4) e um valor do ângulo de rebentação (equação 1) ao longo da linha de rebentação entre 50° a 60°.

Estes valores do ângulo de rebentação indicam que o recife induz boas condições para a prática de *Surf*, na ótica de um praticante amador.

No entanto, se o recife fosse desenhado na ótica da utilização por parte de praticantes profissionais ou por praticantes amadores com um nível de execução de manobras elevado, o ângulo de rebentação teria que ser inferior a 29°. Com efeito, quanto menor for o ângulo de rebentação maior será a dificuldade na execução de manobras na onda.

Com isto é possível concluir que a forma geométrica do recife apresentada é boa se se considerar que a maior parte dos praticantes que irão utilizar o recife serão amadores com um nível médio de execução de manobras. Não obstante, não será tão atrativo para praticantes com um nível de execução de manobras elevado.

A análise da proteção costeira proporcionada através da implantação do recife não foi realizada. Todavia, a continuação do estudo de viabilidade prevê a análise das correntes dominantes no tardoz do recife, com o propósito de indicar as alterações no transporte de sedimentos da zona.

Ramos (2012) efetuou um estudo semelhante mas considerou geometrias diferentes para o recife. A forma dos recifes era em delta com diferentes ângulos (45° e 66°). Foram considerados apenas dois períodos ($T=8,0$ s e $T=10,0$ s) e uma altura de onda incidente de 2,0 m. Comparam-se os resultados do modelo (altura, período e velocidades da onda) e os parâmetros de *surfabilidade* (número de Iribarren e comprimento da linha de rebentação). As principais conclusões foram que os recifes testados melhoram as condições de *Surf*, mas estão limitados a serem usados por *surfistas* amadores. Além disso, concluiu-se que a implementação de um recife artificial multifuncional poderá constituir uma mais-valia no que diz respeito à prática de *Surf*, embora haverá que ajustar alguns pormenores na estrutura do recife, analisar um maior número de condições de agitação incidente e efetuar estudos complementares para avaliar o papel do recife como estrutura de proteção costeira e de valorização ambiental.

3 ANÁLISE DE FUNCIONAMENTO DA SOLUÇÃO DO RECIFE

3.1 Parâmetros de *Surfabilidade*

A principal função de um recife artificial para o *Surf* é melhorar as condições para a prática do *Surf* da zona. Deste modo, pretende-se que esta estrutura induza ou melhore o tipo de rebentação, favoreça o aumento da altura de onda, provocando a rebentação num dado local, e garanta que esta persista de forma gradual ao longo da crista da onda, numa distância suficientemente longa.

No caso de recifes artificiais para a prática do *Surf*, os parâmetros mais utilizados para análise do seu funcionamento são (Mendonça *et al.*, 2010b, Ramos, 2012):

- 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*. Estes são, logicamente, dependentes uns dos outros e o seu valor pretendido varia com o nível de aptidão 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 subjetivas, existem várias classificações propostas, como, por exemplo, a de Walker (1974), descrita na Tabela 1, e a de Hutt *et al.* (2001), ambas em função do ângulo de rebentação (α).

Tabela 1. Relação entre o ângulo de rebentação, (α), e o nível de dificuldade na execução de manobras (WALKER, 1974).

Nível	Descrição	α (°)
1	Iniciados	90
2	Iniciados capazes de <i>surf</i> ar lateralmente ao longo da crista de rebentação	70
3	<i>Surfistas</i> que conseguem aumentar a velocidade na face da onda	60
4	<i>Surfista</i> a aprender as manobras <i>standard</i> do <i>Surf</i>	55
5	<i>Surfistas</i> capazes de realizar manobras <i>standard</i> do <i>Surf</i> numa única onda	50
6	<i>Surfistas</i> que executam manobras <i>standard</i> de <i>Surf</i> consecutivamente	40
7	<i>Surfistas</i> que executam manobras avançadas	29
8	<i>Surfistas</i> profissionais	27

O ângulo de rebentação ao longo da linha de rebentação é definido como o ângulo entre a crista da onda e a linha de rebentação, α (Figura 3):

$$\sin \alpha = \frac{c}{V_s} \quad (1)$$

onde c é a velocidade de propagação da onda e V_s é a velocidade do *surfista*.

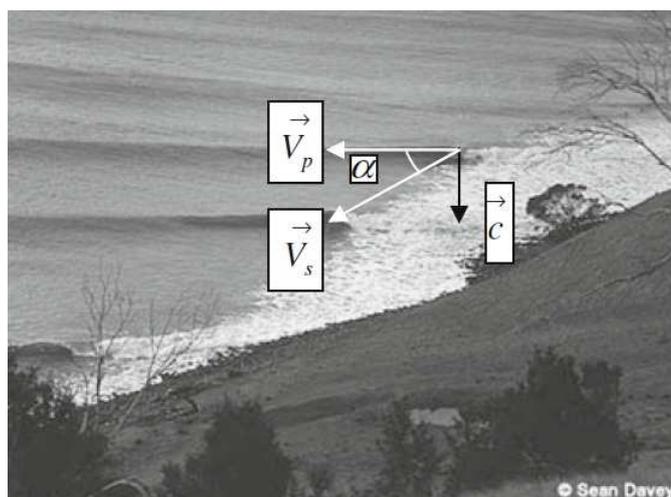


Figura 3. Ilustração da velocidade de propagação da onda, c , ângulo de rebentação, α , velocidade do *surfista*, V_s e a velocidade de rebentação, V_p , (velocidade ao longo da crista da onda, com que se dá a rebentação). (Fonte: *surfermag.com*)

Seguindo a metodologia de WALKER (1974), o ângulo de rebentação está associado ao nível de dificuldade na execução de manobras na onda, Tabela 1.

O tipo de rebentação, determinado através do número de Iribarren ao longo da linha de rebentação, ξ_b , é definido por:

$$\xi_b = \frac{s}{\sqrt{H_b / L_0}} \quad (2)$$

onde s é o declive na zona do recife, H_b a altura de rebentação da onda e L_0 o comprimento de onda ao largo. Na Tabela 2, apresenta-se a classificação do tipo de rebentação em função do número de Iribarren, segundo proposta de BATTJES (1974).

Tabela 2. Metodologia de Battjes: relação entre o número de Iribarren e o tipo de rebentação (BATTJES, 1974).

Tipo de rebentação	Número de Iribarren
Progressiva	$\xi_b < 0.4$
Mergulhante	$0.4 < \xi_b < 2.0$
De fundo	$\xi_b > 2.0$

Hoefel (1998), Henderson (2001), Fredsøe e Deigaard (1997), usam o mesmo resultado da equação (2) para, dependendo do declive da praia, da altura e do comprimento da onda, definir quatro modos possíveis para a rebentação das ondas, Figura 4:

- Progressiva (*spilling breaker*) – Ocorre em praias de baixo declive, nas quais a onda gradualmente rebenta deslizando sobre a cava, dissipando a sua energia através de uma faixa larga;
- Mergulhante (*plunging breaker*) – Ocorre em praias com declive moderado a alto. A onda empola abruptamente ao aproximar-se da costa e quebra violentamente formando um tubo, dissipando a sua energia sobre uma pequena porção do perfil, através de um vórtice de alta turbulência;
- De fundo (*surging breaker*) – Ocorre em praias de declive tão elevado que a onda não chega a rebentar propriamente, ascendendo sobre a face da praia e interage com o refluxo das ondas anteriores;
- Colapsante (*collapsing breaker*) – é o tipo de mais difícil identificação. Ocorre, também, em praias de pendente abrupta e é considerado um tipo intermédio entre o mergulhante e o de fundo.

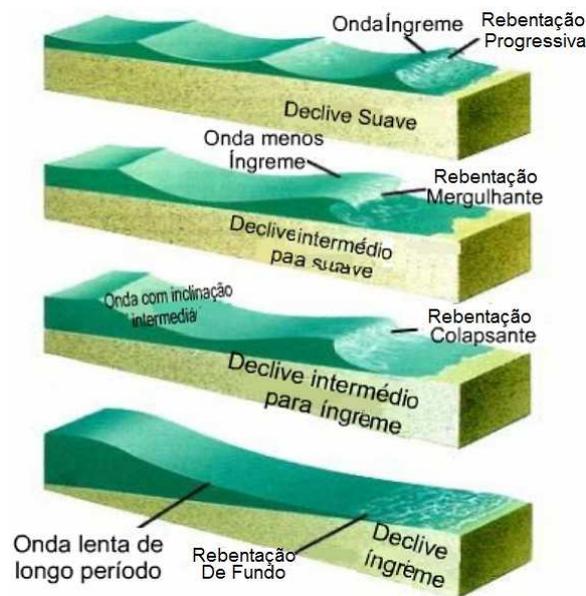


Figura 4. Tipos de rebentação, de cima para baixo, progressiva, mergulhante, colapsante e de fundo. Fonte: Coleman (2001)

3.2 Metodologia de Análise de Funcionamento de um Recife

Para a análise dos efeitos da presença de um recife artificial para o *Surf* na melhoria das condições para a prática de *Surf* numa dada zona, foi definida uma metodologia que permite comparar diferentes geometrias e localizações de um recife artificial, Neves *et al.* (2007).

Esta metodologia passa pela:

- Definição da (s) geometria (s) do recife artificial e da (s) sua (s) localização (ões);
- Aplicação de um modelo numérico de propagação de ondas à zona de estudo para o conjunto de condições de agitação, geometria (s) e localização (ões) de um recife pré-selecionado pelo utilizador;
- Obtenção, com o modelo numérico, para cada condição de agitação, geometria e localização do recife, dos valores de altura de onda e direção em todos os pontos do domínio de estudo;

- Obtenção dos parâmetros de *surfabilidade*, definidos em 3.1, 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.

4 CARACTERIZAÇÃO DA ZONA EM ESTUDO

4.1 Caracterização Geral do Local em Estudo

A zona em estudo localiza-se na costa oeste junto a Leirosa, cerca de 10 km a sul (S) da foz do rio Mondego, onde se encontra a unidade fabril de pasta de papel Celulose Beira Industrial (CELBI) S.A..



Figura 5. a) Praia da Leirosa; b) Barreira de proteção da duna.

O sistema dunar da Leirosa (a sul da Figueira da Foz) foi fortemente debilitado em consequência da implantação de um emissário submarino para rejeição das águas residuais, a cerca de três quilómetros da costa, provenientes das empresas CELBI e SOPORCEL e, mais recentemente, da povoação da Leirosa. Atendendo à necessidade de uma intervenção urgente, adotou-se uma metodologia que consistiu no reforço da duna com geotêxteis (Figura 5), através da construção de uma barreira de proteção, a qual foi em seguida coberta por uma camada de areia com cerca de 1,0 m e sobre a qual se procedeu a uma replantação adequada, Antunes do Carmo *et al.* (2010). Esta metodologia apresenta a vantagem de não alterar visualmente a zona intervencionada, podendo ser adaptada à morfologia de cada local específico e utilizando a areia existente no próprio local.

4.2 Metodologia Adotada

Em traços gerais, a aplicação da metodologia de análise do funcionamento de um recife no que se refere às condições para a prática de *Surf* geradas na zona da costa de Leirosa passa pela:

1º Passo – Caracterização da agitação marítima para a zona de estudo (Capítulo 5).

Para este passo, foi utilizado o modelo SWAN (*Simulating WAves NearShore*) que permite fazer a transposição dos dados recolhidos numa boia-ondógrafo, localizada na batimétrica dos -25 m (ZH), para a fronteira da zona de estudo onde está implantado o recife.

Com base nos resultados do modelo SWAN, foi definido o regime de agitação marítima local e as condições de agitação mais frequentes para as quais se fará a avaliação do desempenho do recife.

2º Passo - Definição da geometria do recife artificial e da sua localização (Secção 4.3).

Neste passo, o estudo teve como base a geometria definida por Ramos (2012). Com base nessa geometria foram implementadas algumas alterações que deram origem a 2 novas geometrias.

3º Passo - Aplicação do modelo numérico de propagação de ondas DREAMS (Fortes, 1993) à zona de estudo para o conjunto de condições de agitação marítima, geometrias e localização do recife (Secções 6.2 e 6.3).

A partir dos dados obtidos de agitação marítima na fronteira da zona de estudo e para as condições de agitação mais frequentes (obtidos no 1º passo), foi efetuado o estudo da hidrodinâmica sobre o recife.

4º Passo - Obtenção, através do modelo numérico, para cada condição de agitação marítima, geometria e localização do recife, dos valores de altura de onda, direção e velocidade em todos os pontos do domínio de estudo (Secção 6.4.1).

5º Passo - Obtenção dos parâmetros de *surfabilidade*, correspondentes a cada condição de agitação marítima, geometria e localização do recife, com base nos resultados do modelo numérico DREAMS (Secção 6.4.2).

6º Passo - Análise comparativa dos diferentes resultados do modelo e dos parâmetros de surfabilidade, para as diferentes condições de agitação, geometria e localização do recife (Capítulo 7).

4.3 Soluções Estudadas

O estudo da geometria do recife multifuncional, isto é, da geometria da estrutura que se pretende que cumpra a função de, simultaneamente, proteger a costa e melhorar as condições de *Surf* nas proximidades da sua zona de implantação, foi desenvolvido por Ramos (2012).

Neste estudo foram consideradas duas geometrias de recife, semelhantes entre si, variando apenas o valor do ângulo entre os dois “braços” do recife, que tomaram os valores de 45° e 66° (Figura 6a).

O ângulo de rebentação é considerado como o parâmetro determinante, sendo função das características da onda de projeto: quanto maior for o valor da altura de onda, menor será o valor do ângulo de rebentação, já que a onda rebenta antes e, conseqüentemente, refracta menos.

Outro aspecto determinante no dimensionamento do recife é a escolha do nível de utilizadores: amadores, profissionais, etc.. Neste estudo, pretende-se que as condições de *Surf* sejam adaptadas a *surfistas* amadores, pelo que o tipo de rebentação deve ser mergulhante (ou progressiva) e os valores do ângulo de rebentação, α , devem ser superiores a 40° (Tabela 1).

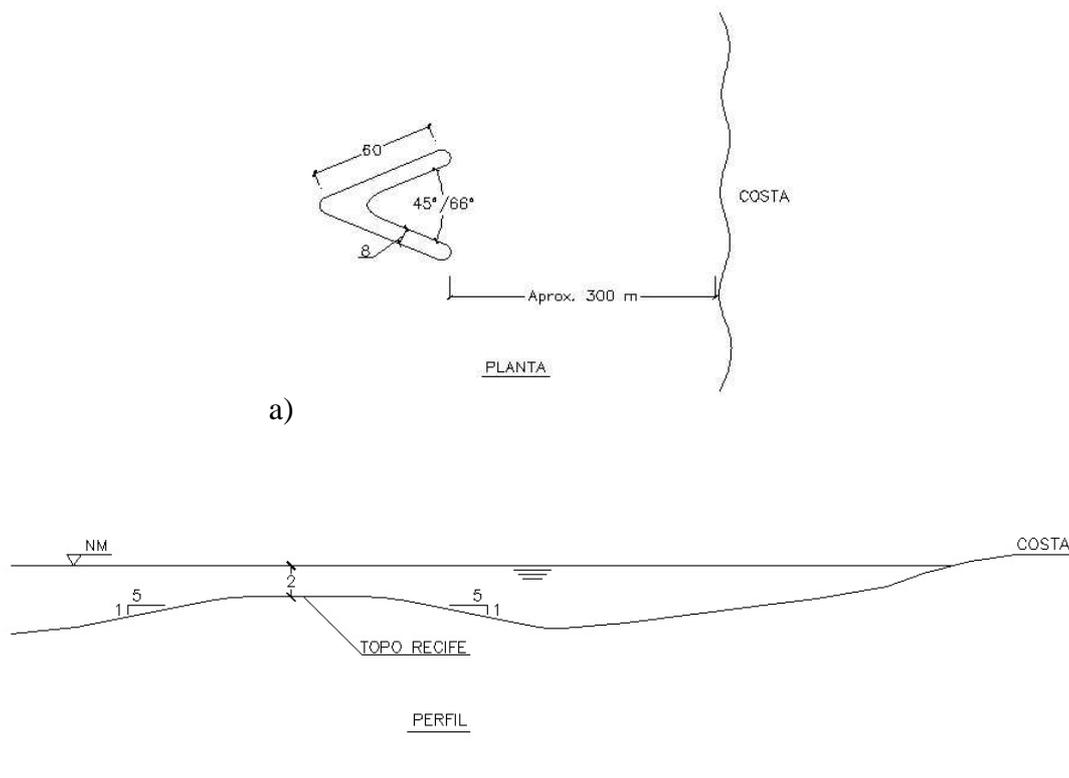


Figura 6. a) Planta com a geometria de base do recife artificial utilizada no estudo. b) Perfil do recife artificial.

A configuração em planta do recife em “V”, foi pensada de modo a que as ondas incidentes deem origem a duas linhas de rebentação. Assim, estará garantida uma melhor resposta à abrangência de direções de ondas incidentes.

Em relação ao perfil do recife, importa definir a profundidade da cota de coroamento da estrutura e os declives dos taludes da estrutura. Os declives do recife deverão ser os maiores possíveis, de forma a minimizar o volume total de material que compõe o recife, tendo em atenção que irão influenciar o tipo de rebentação sobre o recife.

A cota de coroamento do recife é determinada por dois aspectos principais: deve ser suficientemente elevada para que a onda de projeto rebente sobre o recife e deve ser suficientemente profunda para não pôr em risco a segurança dos *surfistas*. Considerou-se neste estudo uma cota de coroamento mínima de 1,0 m para as condições de baixa-mar (BM), o que corresponde a uma profundidade de 2,0 m para as condições de nível médio (NM), Figura 6b.

Para os declives dos taludes foram estabelecidos valores de 1:5, Figura 6b, uma altura média do recife de 2,50 m e uma submergência mínima de 1,0 m.

Um parâmetro que não está diretamente relacionado com a geometria do recife, mas que é também determinante no que se refere à proteção costeira, é a distância do recife à linha de costa, Figura 6b, cerca de 300 m.

5 CARACTERIZAÇÃO DA AGITAÇÃO MARÍTIMA NA ZONA DA LEIROSA

5.1 Introdução

Para a caracterização da agitação marítima na zona de Leirosa, efetuou-se a transposição dos dados recolhidos numa boia-ondógrafo, localizada na batimétrica dos -25 m (ZH), para a fronteira da zona de estudo onde está implantado o recife. Para tal foi utilizado o modelo SWAN. A metodologia é idêntica à seguida em Mendonça *et al.* (2010b).

Com base nos resultados do modelo SWAN, é definido o regime de agitação marítima local e as condições de agitação mais frequentes para as quais se fará a avaliação do desempenho do recife.

Assim, primeiramente descreve-se o modelo SWAN, efetua-se a caracterização do regime de agitação marítima local recorrendo aos dados da boia-ondógrafo que são transferidos para o local de estudo, com o modelo SWAN. Com base nesse regime, são definidas as condições de ondas mais frequentes, de forma que estas digam respeito a estados representativos de alturas de onda, período e direção.

5.2 Modelo SWAN

O modelo SWAN (BOOIJ *et al.*, 1999) acrónimo de *Simulating WAVes Nearshore* é um modelo numérico para geração, propagação e dissipação da agitação marítima, baseado na equação para a conservação da ação de onda. Trata-se de um modelo de domínio público (freeware), em constante desenvolvimento pela *Delft University of Technology* da Holanda, que possui como uma das maiores vantagens a manutenção da estrutura dos ficheiros de dados e de resultados, o que permite a fácil atualização de versões mais robustas e completas do modelo sempre que necessário.

Este modelo propaga a agitação marítima desde o largo até próximo da costa considerando os processos físicos de refração, difração e empolamento devido a variações do fundo e presença de correntes, crescimento de onda por ação dos ventos, rebentação por influência do fundo e por excesso de declividade (*whitecapping*), dissipação de energia devido à fricção do fundo, bloqueio e reflexão por correntes opostas e transmissão através de obstáculos.

O campo de ondas na zona é caracterizado pelo espectro bidimensional de densidade da ação da agitação marítima. Com esta representação, é possível a aplicação do modelo em áreas onde o crescimento da agitação marítima pela ação do vento seja notável ou onde estados de mar, ou mesmo ondulação, estejam presentes. A propagação da agitação, nos modos estacionário ou não estacionário, nos espaços geográfico e espectral, é realizada utilizando esquemas numéricos implícitos. A zona em estudo pode ser descrita com coordenadas cartesianas ou esféricas, utilizando uma malha “retangular”.

Os dados necessários para a execução do SWAN são a malha batimétrica da zona a modelar e as condições de agitação na fronteira de entrada do domínio, para além de um conjunto de outros parâmetros de cálculo. De entre os vários resultados obtidos pelo SWAN destacam-se a altura significativa, os períodos de pico e médio, as direções de pico e média, a dispersão direcional, o parâmetro de largura de banda e nível de água em qualquer parte do domínio computacional.

Para a preparação dos dados, execução e visualização dos resultados do modelo SWAN também se utiliza a ferramenta SOPRO, Fortes *et al.* (2007c).

De entre as limitações do modelo refira-se:

- A calibração de muitos dos parâmetros envolvidos na descrição dos diferentes fenómenos físicos no SWAN utilizou dados da campanha JONSWAP, que foi realizada no Mar do Norte (Hasselmann *et al.*, 1973). Tais parâmetros poderão não estar corretos para áreas com diferentes características de clima de ondas (ondas associadas ao estado de mar vaga e ondulação) ou diferentes características do fundo marinho;
- A difração no SWAN, sendo modelada de modo simples como uma dispersão direcional, pode ser considerada a sua principal limitação;
- A inclusão da difração nos cálculos numéricos implica que o espaçamento da malha computacional, relativamente ao comprimento de onda, seja tal que garanta a convergência dos cálculos computacionais. Tal implica, por vezes, que as malhas sejam de tão grande dimensão que podem inviabilizar a execução dos cálculos;

- Outro ponto importante é a influência das condições de fronteira nos resultados do modelo SWAN em certas zonas do domínio de cálculo.

5.3 Regime Geral na Boia-ondógrafo

Para a zona em estudo, foram obtidos dados de agitação marítima (HS, TZ e DIR) por uma boia-ondógrafo localizada no ponto P, Figura 7, na batimétrica dos -25 m (ZH), posição $40^{\circ} 03' 22''$ N; $8^{\circ} 57' 22''$ W, no período compreendido entre o dia 7 de Outubro de 2008 e o dia 31 de Março de 2009 (IH, 2009).

Estes dados consistem em valores tri-horários dos parâmetros de altura significativa, HS, período de zero ascendente, TZ, e direcção de onda, DIR, e referem-se a 845 registos.

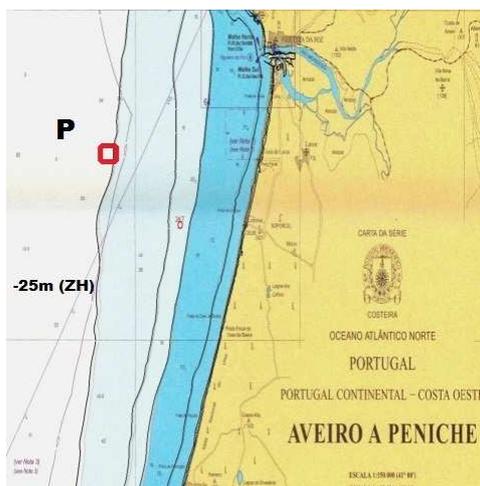


Figura 7. Localização do ponto P, representativo da zona marítima de estudo e da posição da boia-ondógrafo.

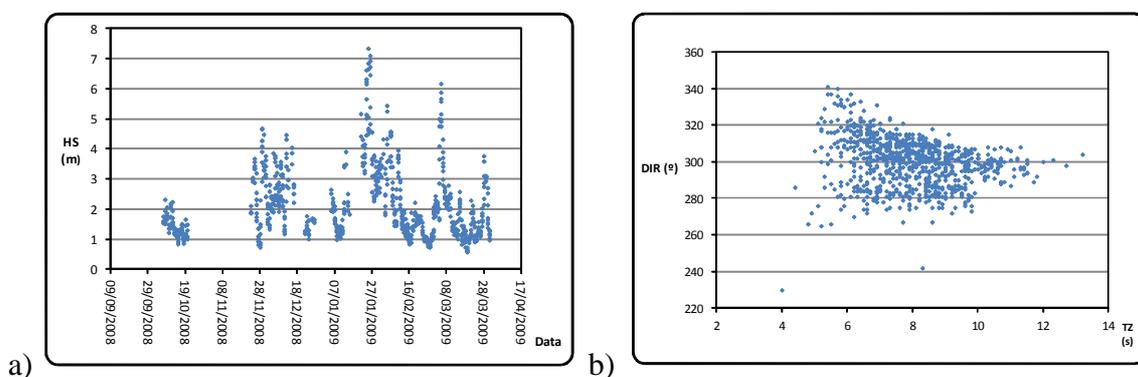


Figura 8. Regime de agitação local no ponto P da Figura 7. a) HS-Data; b) DIR-TZ.

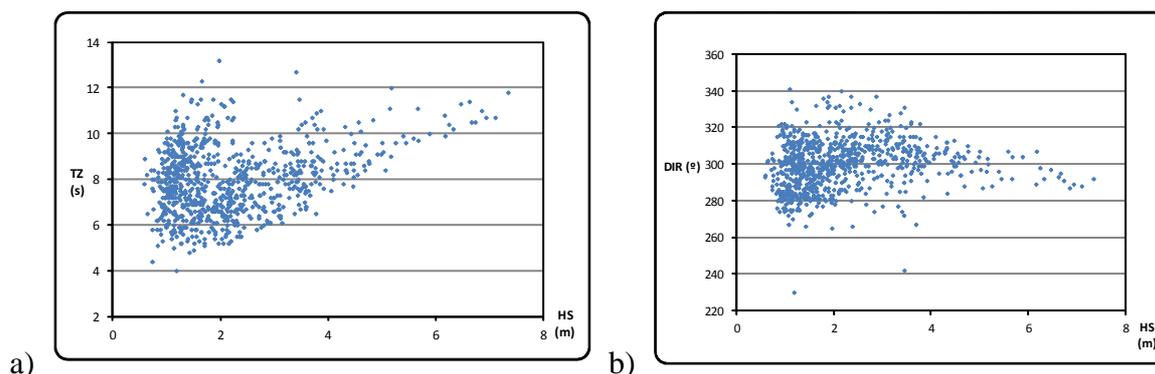


Figura 9. Regime de agitação local no ponto P da Figura 7. a) TZ-HS; b) DIR-HS.

Das Figuras 8 e 9 verifica-se que:

- As direções mais frequentes são as dos sectores de 270° a 330° . Na gama de direções entre 295° e 310° , verificou-se o maior número de ocorrências. As direções mais frequentes (300° e 310°) estão associadas sobretudo a alturas de onda abaixo de 3,0 m e a períodos entre 5 s e 10 s;
- Os valores de HS mais frequentes estão abaixo de 3,0 m;
- Os valores de TZ variam entre 4 s e 13 s, sendo a gama de períodos mais frequente entre 5 s e 10 s.

5.4 Condições de Aplicação do Modelo SWAN

5.4.1 Metodologia

O procedimento seguido foi:

- Utilização como condições ao largo do SWAN os dados de agitação marítima (HS, TZ e DIR) da boia-ondógrafo localizada na batimétrica dos -25 m (ZH) no período compreendido entre o dia 7 de Outubro de 2008 e o dia 31 de Março de 2009 (IH, 2009).
- Cálculo das características das ondas (HS, Tmed e DIRmed) em locais diferentes, utilizando o modelo SWAN para os períodos referidos.

5.4.2 Batimetria

A batimetria da zona em estudo foi obtida com base nas seguintes cartas:

- Carta do Instituto Hidrográfico ‘Carta nº24202. Aveiro a Peniche’. Escala 1:150 000. 1ª Edição, Outubro de 2000;
- Carta C135-C0005, referente aos levantamentos topo-hidrográficos do emissário CELBI/SOPORCEL. Escala 1:2000, Junho de 2002;
- Carta do Instituto Hidrográfico ‘Cabo Mondego ao Cabo Carvoeiro’. Escala 1:150 000, 6ª Edição, Maio de 1970.

As cartas e levantamentos utilizados são representados na Figura 10b.

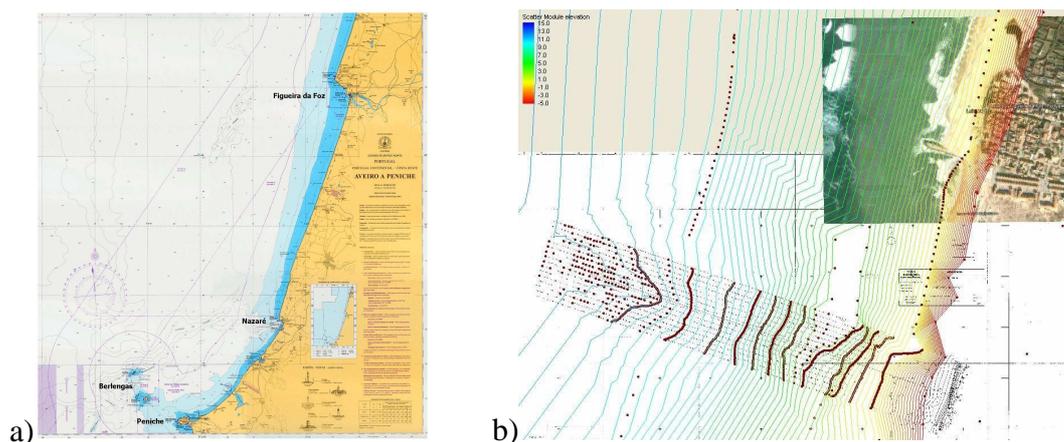


Figura 10. a) Localização da área em estudo (carta hidrográfica do Cabo Mondego ao Cabo Carvoeiro, do Instituto Hidrográfico, escala 1: 150 000, 1915); b) Dados batimétricos.

5.4.3 Domínio computacional e condições de aplicação

Para os cálculos com o modelo SWAN, utilizou-se uma malha com dimensões de 9 km por 29 km e espaçamento de 50 m.

Tabela 3. Características da malha utilizada na simulação com o SWAN.

	X inicial	Y inicial	Nº. DX	Nº. DY	DX (m)	DY (m)
Malha	130000	330000	180	580	50	50

As características da agitação na boia constituem a condição de fronteira na malha. Foram ainda consideradas as seguintes condições de cálculo:

- Utilização da versão SWAN 40,72, sem correntes. Foram efectuadas corridas em modo estacionário;
- Utilização de um espectro direcional de frequência de JONSWAP de 23 intervalos, de 0,04 a 1,0 Hz, com distribuição logarítmica e a discretização em direcção cobre 180°, dividida em 45 intervalos;
- Um coeficiente de rebentação constante de 0,65 para os períodos distintos;
- Foi utilizada a formulação JONSWAP, (Hasselmann *et al.*, 1973) adaptando como parâmetro de atrito de fundo o valor de 0,015.
- Os fenómenos físicos incluídos foram:
 - Refracção, o empolamento e a rebentação por influência do fundo e do excesso de declividade (*whitecapping*), difracção, interações onda-onda triad (*triad wave-wave interactions*).

Na fronteira do domínio de cálculo, próxima da zona de implantação do recife, foram definidos 4 pontos (P1, P2, P3 e P4) ao longo da mesma, espaçados igualmente entre si, nos quais foi analisada a transposição dos dados recolhidos na boia-ondógrafo.

5.5 Resultados e Discussão

5.5.1 Introdução

Para as condições de cálculo estabelecidas na secção anterior, efetuaram-se os cálculos com o modelo SWAN. Assim obtiveram-se os valores de altura significativa (HS), período médio (Tmed), período de pico (TP), direção média (DIRmed) e direção de pico (DIR_Tp), em todo o domínio de cálculo da zona de estudo.

5.5.2 Características da agitação marítima nos pontos de fronteira

Após análise dos valores transpostos verificou-se que foi no ponto P4, que se registaram os valores mais elevados de HS, ou seja, foi neste ponto que se deu uma menor redução da altura de onda na sua propagação desde a boia-ondógrafo até à zona de implantação do recife.

Para a verificação desta situação, apresenta-se na Figura 11, três registos de HS no dia 07/10/2008 para os quatro pontos.

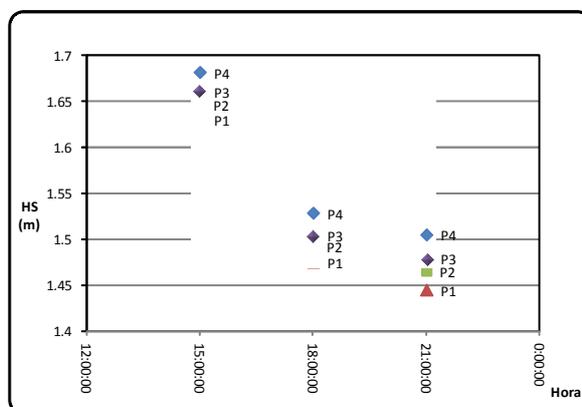


Figura 11. Gráfico HS-Hora – Pontos P1, P2, P3 e P4 – dia 07/10/2008

De seguida são apresentados os gráficos referentes às relações HS-Data (Figura 12a), TZ-HS (Figura 12b), DIR-TZ (Figura 13a) e DIR-HS (Figura 13b), para o ponto P4.

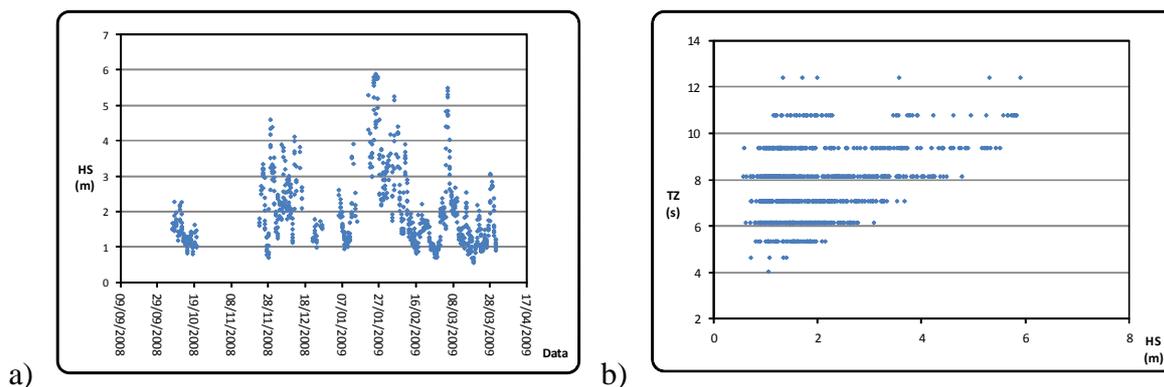


Figura 12. a) Gráfico HS-Data – Ponto P4; b) Gráfico TZ-HS – Ponto P4.

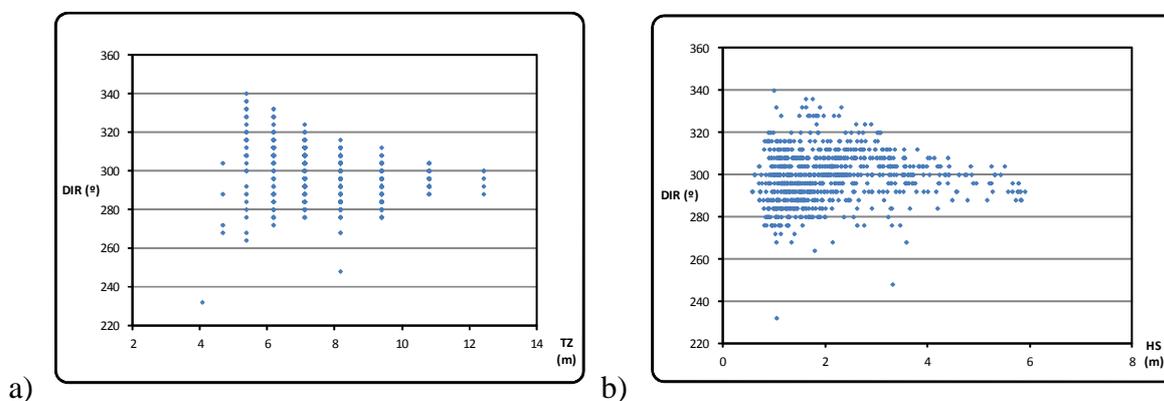


Figura 13. a) Gráfico DIR-TZ – Ponto P4; b) Gráfico DIR-HS – Ponto P4.

Das figuras anteriores verifica-se que:

- As direções mais frequentes ocorreram entre os sectores de 280° a 310° . À gama de direções onde se verificou o maior número de ocorrências (290° e 300°) estão associadas sobretudo alturas de onda entre 1,5 m e 2,0 m e a períodos entre 5 s e 10 s;
- Os valores de HS mais frequentes estão abaixo de 3,5 m;
- Os valores de TZ variam entre 3 s e 13 s, sendo a gama de períodos mais frequente entre 6 s e 9 s.

Para uma análise mais cuidada foram efetuados histogramas conjuntos, igualmente para o ponto P4, os quais serão apresentados na Figura 14 (Histograma de Direção e Período), na

Figura 15 (Histogramas de Período e Altura Significativa) e na Figura 16 (Histograma de Direção e Altura Significativa).

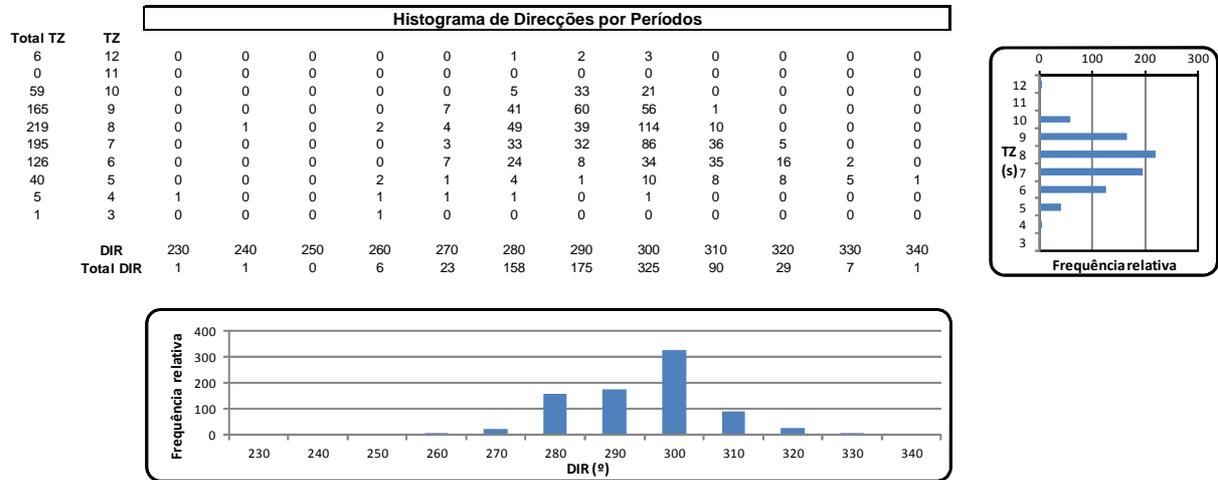


Figura 14. Histograma conjunto de DIR-TZ – Ponto P4.

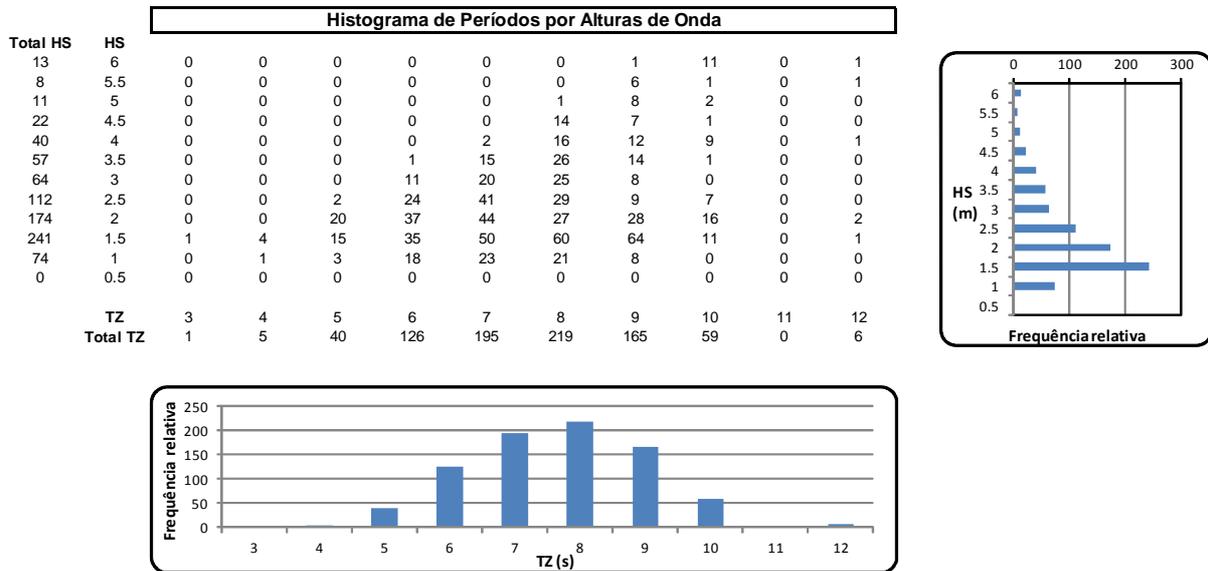


Figura 15. Histograma conjunto de TZ-HS – Ponto P4.

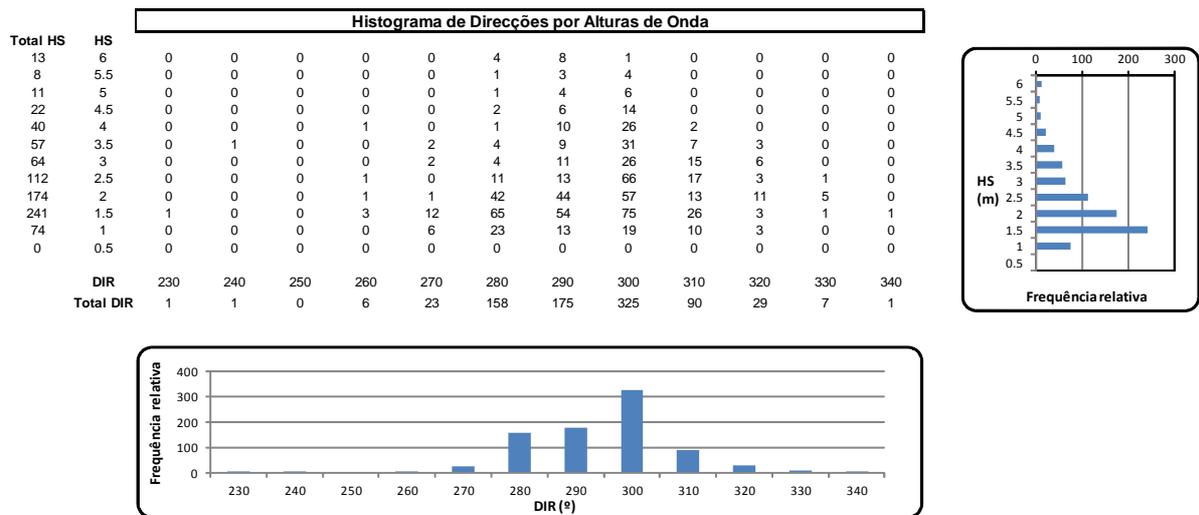


Figura 16. Histograma conjunto de DIR-HS – Ponto P4.

Das figuras anteriores constata-se o mencionado nas tabelas seguintes:

Tabela 4. Cinco valores mais frequentes para os pares Direcção e Período.

Direcção (°)	Período (s)	Ocorrência (%)
300	8	14,0
300	7	10,5
290	9	7,4
300	9	6,9
280	8	6,0

Tabela 5. Cinco valores mais frequentes para os pares Período e Altura Significativa.

TZ (Período de pico) (s)	Altura Significativa (m)	Ocorrência (%)
9	1,5	7,8
8	1,5	7,4
7	1,5	6,1
7	2,0	5,4
7	2,5	5,0

Tabela 6. Cinco valores mais frequentes para os pares Direção e Altura Significativa.

Direção (°)	Altura Significativa (m)	Ocorrência (%)
300	1,5	9,2
300	2,5	8,1
280	1,5	8,0
300	2,0	7,0
290	1,5	6,6

Será então com base nestas condições de agitação mais frequentes que se fará a avaliação do desempenho do recife.

6 ANÁLISE DO FUNCIONAMENTO DO RECIFE

6.1 Introdução

Em traços gerais, a aplicação da metodologia de análise do funcionamento de um recife no que se refere às condições para a prática de *Surf* geradas na zona da costa de Leirosa passa pela:

- Definição da solução (geometria e perfil) do recife artificial e da sua localização com base no estudo de Ramos (2012);
- Aplicação do modelo DREAMS para determinação das características de agitação (altura e direção da onda) ao redor do recife, para diferentes condições de agitação;
- Obtenção dos parâmetros de *surfabilidade*, definidos em 3.1, correspondentes a cada condição de agitação, geometria e localização do recife, com base nos resultados do modelo numérico.

Nas secções seguintes apresentam-se o modelo DREAMS e as suas condições de aplicação, os resultados obtidos e o cálculo dos parâmetros de *surfabilidade*.

6.2 Modelo Numérico DREAMS

O modelo numérico DREAMS é um modelo matemático de elementos finitos para o cálculo da propagação e deformação de ondas regulares em zonas costeiras, Fortes (1993).

É baseado na equação elíptica de declive suave, Berkhoff (1972), que descreve os efeitos combinados da refração e difração de ondas monocromáticas propagando-se em fundos de inclinação suave como os que ocorrem geralmente em portos, baías e zonas costeiras. O método numérico utilizado para a resolução da equação de declive suave é o Método dos Elementos Finitos (MEF).

As condições de fronteira podem ser de três tipos:

- Condições de radiação que permitem a saída de perturbações geradas no domínio no sentido de propagação para o infinito;

- Condições de geração e radiação combinadas, como as relativas a fronteiras abertas;
- Condições de reflexão (total ou parcial), referentes aos contornos sólidos da zona em estudo (praias, falésias, molhes, etc.).

Os dados a fornecer ao modelo DREAMS são as características da agitação incidente (período e direção da onda), os coeficientes de reflexão em cada troço da fronteira do domínio de cálculo, a batimetria e as características da malha de elementos finitos com que foi discretizado o domínio em estudo.

O modelo calcula:

- Índices de agitação H/H_0 , relação entre a altura de onda no ponto do domínio de cálculo, H , e a altura de onda à entrada do domínio de cálculo, H_0 , ou coeficientes de amplificação (em estudos de ressonância portuária);
- Altura de onda no ponto do domínio de cálculo, H ;
- Índices de rebentação, que são representados através dos valores de 1 e 0, correspondendo aos pontos do domínio de cálculo onde ocorre e não ocorre rebentação, respectivamente;
- Direções de propagação da onda;
- O campo de velocidades horizontais na superfície livre e as cristas das ondas (linhas de igual fase) constituem resultados opcionais.

A rebentação foi introduzida no modelo de cálculo através de:

$$\frac{H}{d} = 0,76 \quad (3)$$

Onde H é a altura de onda no ponto do domínio de cálculo e d é a profundidade do respetivo ponto do domínio de cálculo.

A validação do modelo matemático, Fortes (1993), foi feita com casos de teste clássicos da bibliografia, tais como o fundo plano inclinado, o baixio circular, os molhes semi-infinitos e a

bacia retangular de Mei e com casos de teste reais. O modelo foi também validado com base nos estudos de ressonância e agitação nos portos de Saint Quay-Portrieux, Fortes (1993) e no porto da Baleeira, Fortes *et al.* (1996), tendo sido comparados, para este caso de teste, os resultados do modelo DREAMS com resultados de outros modelos matemáticos, Covas (1992), e/ou de modelos físicos.

Como limitações do modelo DREAMS, salientam-se:

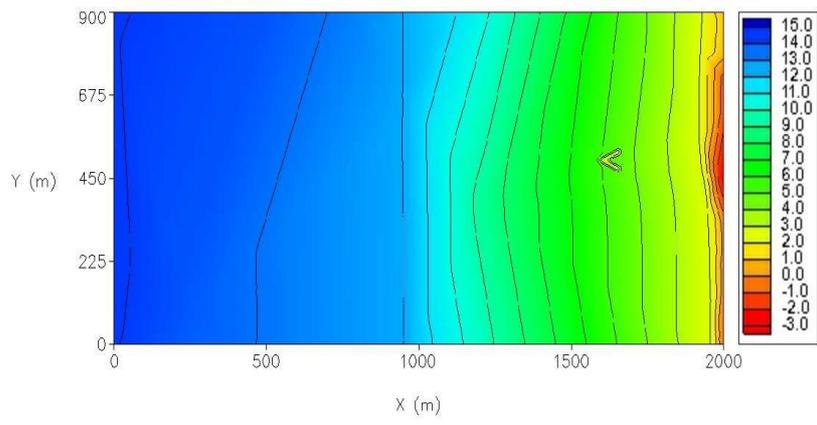
- O modelo não tem em conta os efeitos da dissipação de energia por rebentação e atrito de fundo, os efeitos das correntes na propagação das ondas ou os galgamentos sobre estruturas;
- O modelo é linear pelo que não tem em conta efeitos não-lineares, tais como a interação de ondas e correntes, a interação de ondas devido à topografia do fundo, a transferência de energia entre componentes de onda, a geração de componentes de baixa frequência induzidas por grupos de ondas curtas e o efeito da dispersão por amplitude da onda (o efeito da amplitude da onda na celeridade);
- A aplicação do modelo está condicionada a fundos de declive suave, até 1:3.

6.3 Condições de Aplicação do Modelo DREAMS

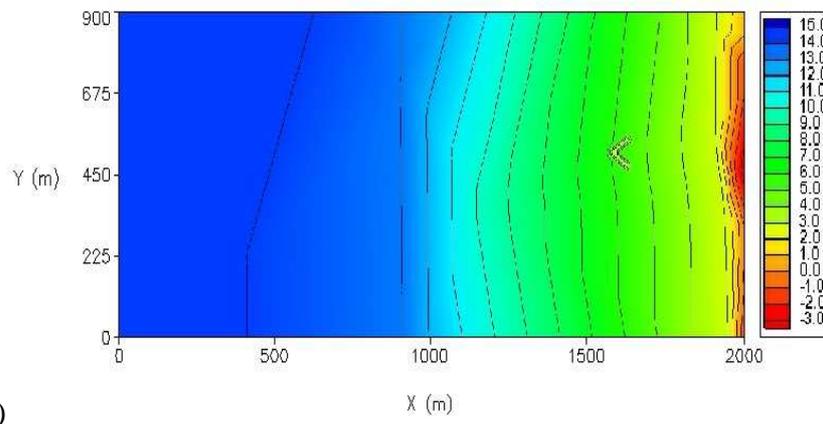
6.3.1 Batimetria

A batimetria da zona em estudo foi obtida com base nas cartas já apresentadas anteriormente no ponto 5.4.2.

A geometria do recife foi definida por Ramos (2012) e implementada na zona de estudo (Figuras 17 e 18) recorrendo ao *software Surface Modelling System (SMS)*, Zundel (2009).



a)



b)

Figura 17. Domínio de cálculo e batimetria para o nível médio de maré. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.

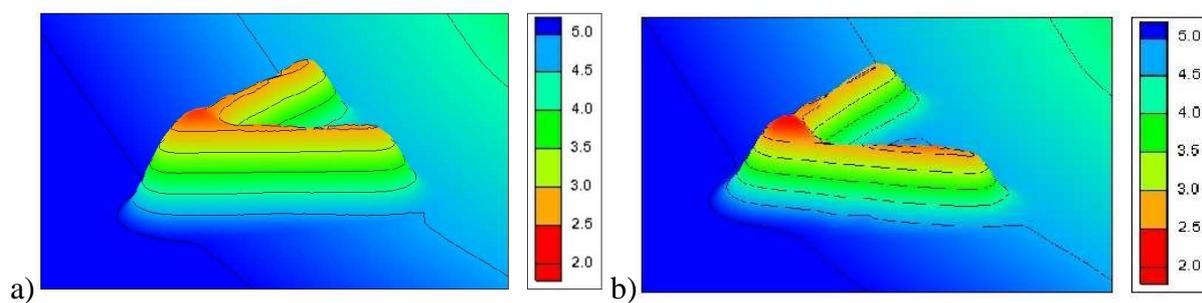


Figura 18. Detalhe da geometria do recife artificial no domínio de cálculo para o nível médio de maré. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.

6.3.2 Condições de agitação

As condições de agitação foram definidas com base nas condições de agitação frequentes obtidas nos pontos P1 a P4 e apresentadas em 5.5.2.

Deste modo, as condições de agitação marítima que foram estudadas são apresentadas na tabela seguinte:

Tabela 7. Condições de agitação marítima estudadas.

Direção (°)	Período (s)	Altura Significativa (m)	Código do Caso de Agitação Marítima
300	8	1,5	C1
300	7	2,0	C2
300	8	2,5	C3
290	9	1,5	C4
280	8	1,5	C5
280	7	1,0	C6

Com estes seis casos de agitação marítima foram analisadas as três direções mais frequentes (de 280° a 300°), e as quatro alturas de onda mais frequentes (1,0 m a 2,5 m).

Testaram-se três níveis de maré, de +1,0 m (Z.H.), +2,0 m (Z.H.) e +3,0 m (Z.H.), correspondentes, respectivamente, a baixa-mar, nível médio e preia-mar. Para cada nível, foram efetuadas simulações com ondas regulares.

Em termos de cálculo, as direções de agitação sofreram uma conversão, dado que a costa litoral nesta zona do país apresenta um ângulo de 18° em relação ao Norte e o recife apresenta uma posição perpendicular à praia, Figura 19. Desta forma as direções de agitação de 300°, 290° e 280°, corresponderam a 282°, 272° e 262°, respectivamente.



Figura 19. Indicação do ângulo da costa com o Norte na zona de implantação do recife.

6.3.3 Domínio computacional

As simulações foram realizadas para a situação sem recife e com recife de modo a analisar a influência do recife na zona. A zona de estudo foi discretizada por uma malha regular de espaçamento constante $\Delta x = \Delta y \approx 2,0$ m, com 2000 m na direção x e 900 m na direção y, Figura 20. Para a construção da malha de cálculo foi utilizada uma aplicação denominada GMALHA (“Gerador de malhas de elementos finitos para a simulação numérica de propagação de ondas marítimas”, Pinheiro *et al.*, 2008). Esta malha é mais ou menos refinada consoante a profundidade no local de cada elemento. Na introdução de dados nesta aplicação foram considerados os seguintes parâmetros:

- 10 Pontos por comprimento de onda;
- 50000 Iterações;
- Período de onda mínimo – 8 s;

- Altura mínima de água admissível para o refinamento da malha – 1,0 m.

Com a aplicação GMALHA é gerada uma malha computacional regular com base num número mínimo de pontos por comprimento de onda, fornecido pelo utilizador e definido consoante o período, por forma a ser obtida uma malha com um espaçamento constante.

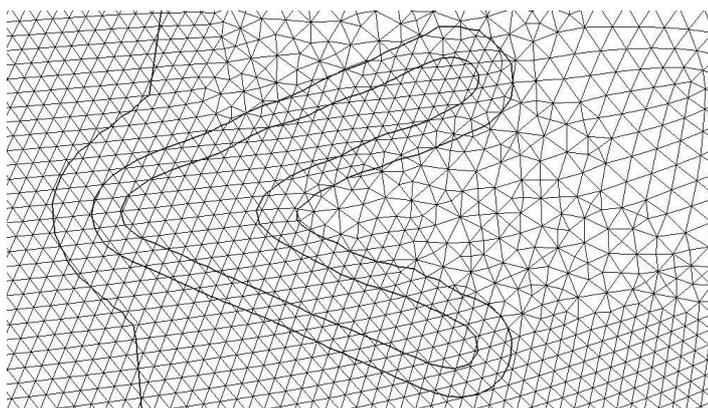


Figura 20. Pormenor da malha utilizada no modelo DREAMS na zona do recife.

6.4 Tratamento e Análise dos Resultados

6.4.1 Linha de rebentação e alturas de onda

Tendo em conta ondas regulares de direções de agitação incidente, períodos de onda e alturas de onda indicados em 6.3.2, e com níveis de maré de baixa-mar, nível médio e preia-mar, efetuaram-se cálculos com o modelo DREAMS.

As Figuras 21 a 35 mostram os resultados do modelo DREAMS da posição da linha de rebentação (linha contínua preta) e as alturas de onda (escala em *degradê* de branco a azul escuro) para as 6 diferentes condições de agitação, nas situações com recife (2 geometrias de recife) e sem recife.

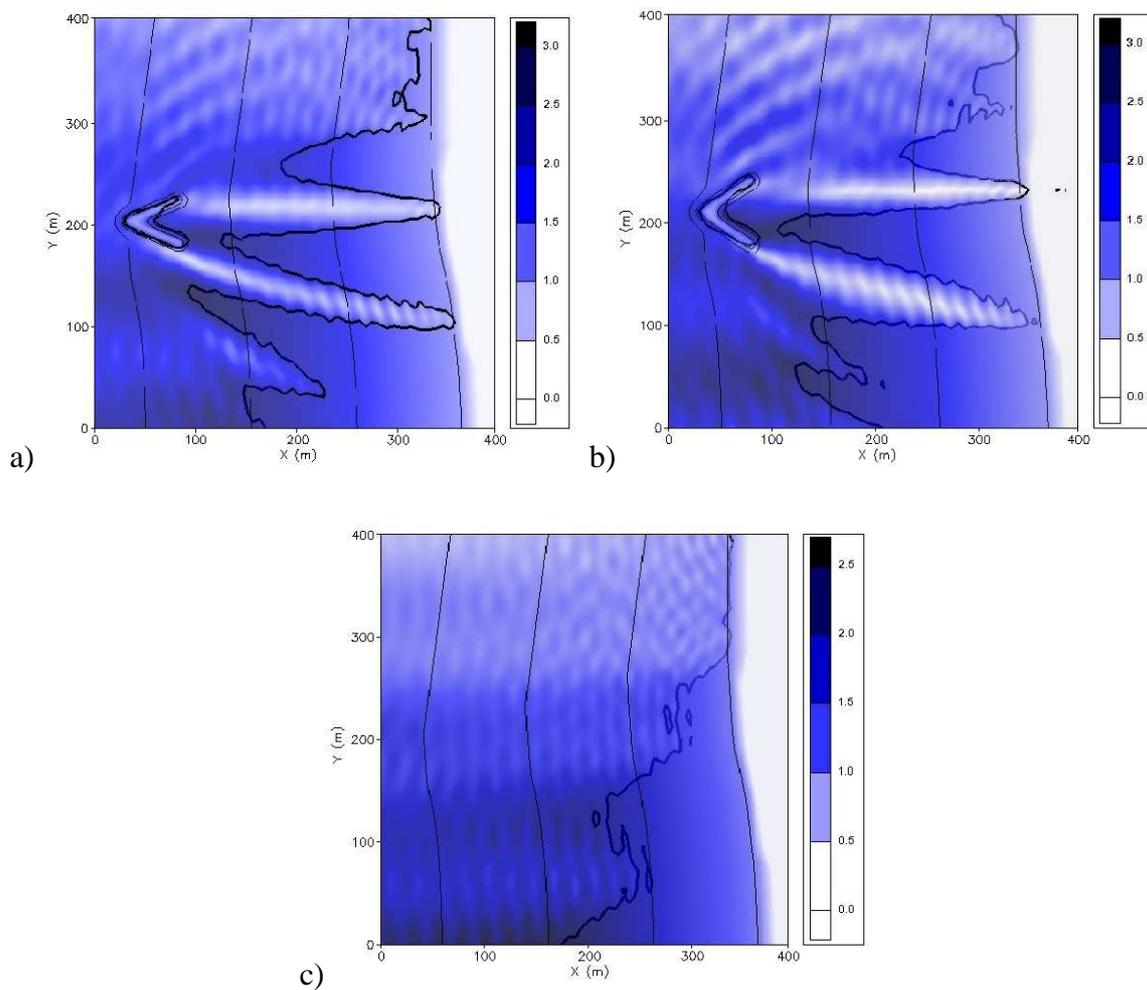


Figura 21. Representação da linha de rebentação e das alturas de onda na zona do recife e na linha de costa para BM, DIR=300°, T=8,0 s e H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°. c) Sem recife.

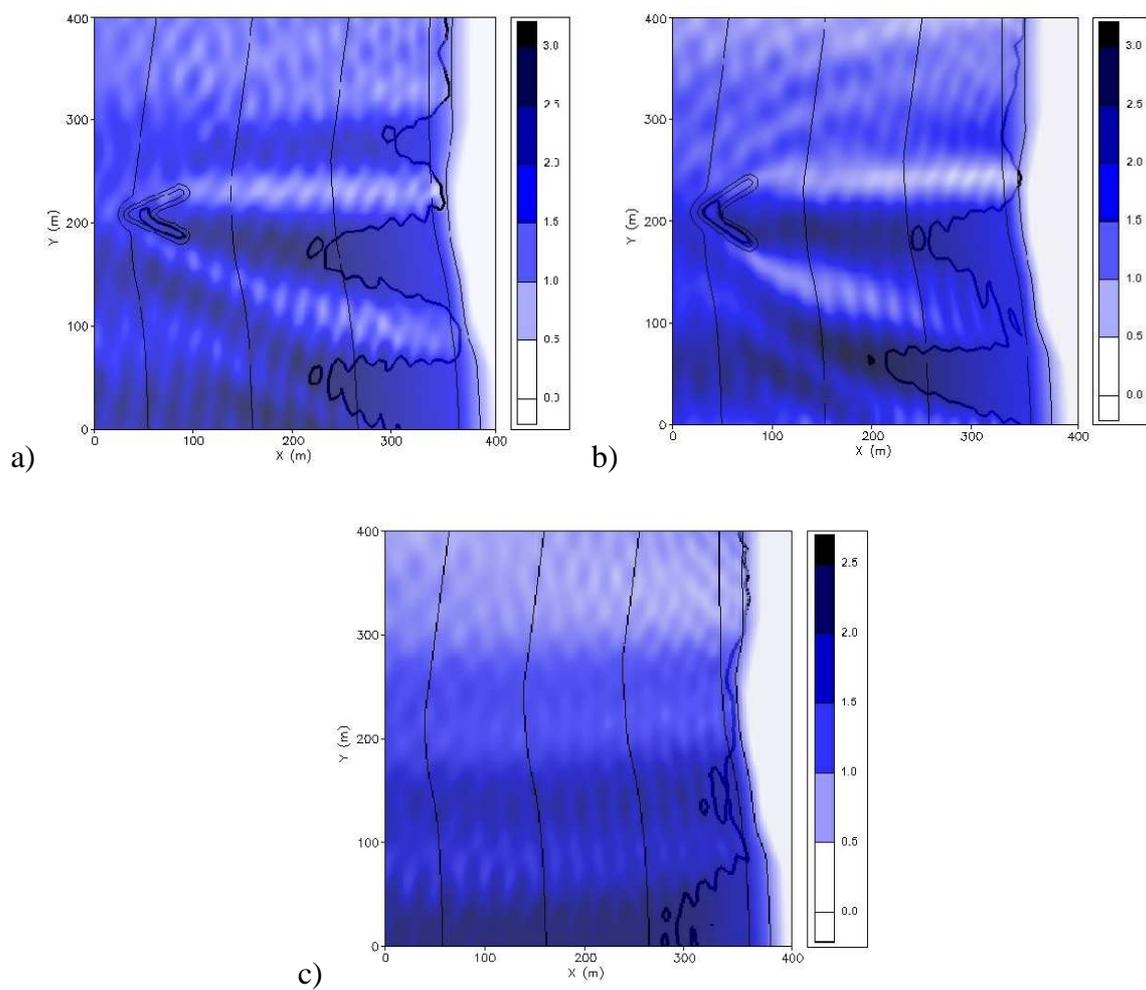


Figura 22. Representação da linha de rebentação e das alturas de onda na zona do recife e na linha de costa para NM, DIR=300°, T=8,0 s e H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°. c) Sem recife.

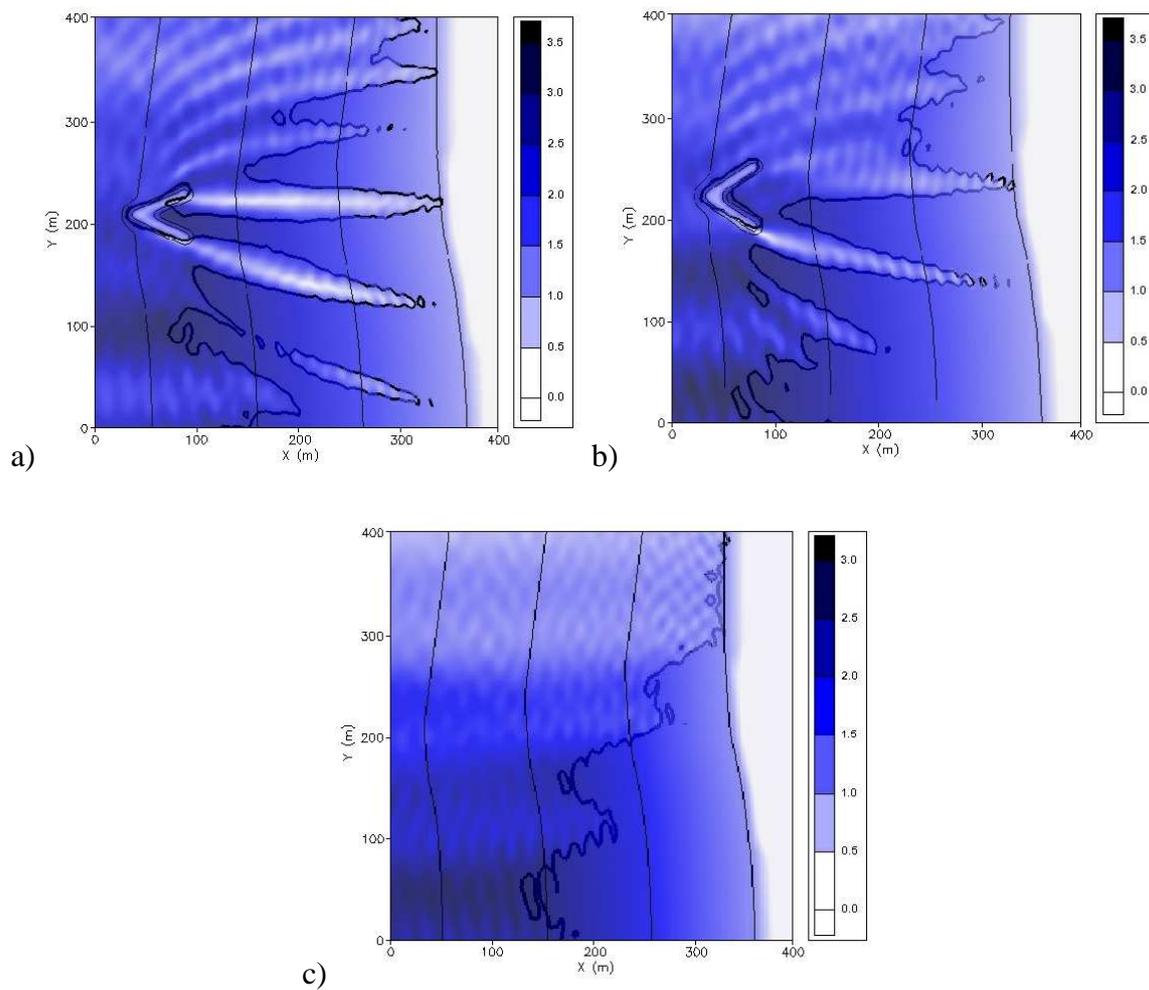


Figura 23. Representação da linha de rebentação e das alturas de onda na zona do recife e na linha de costa para BM, DIR=300°, T=7,0 s e H=2,0 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°. c) Sem recife.

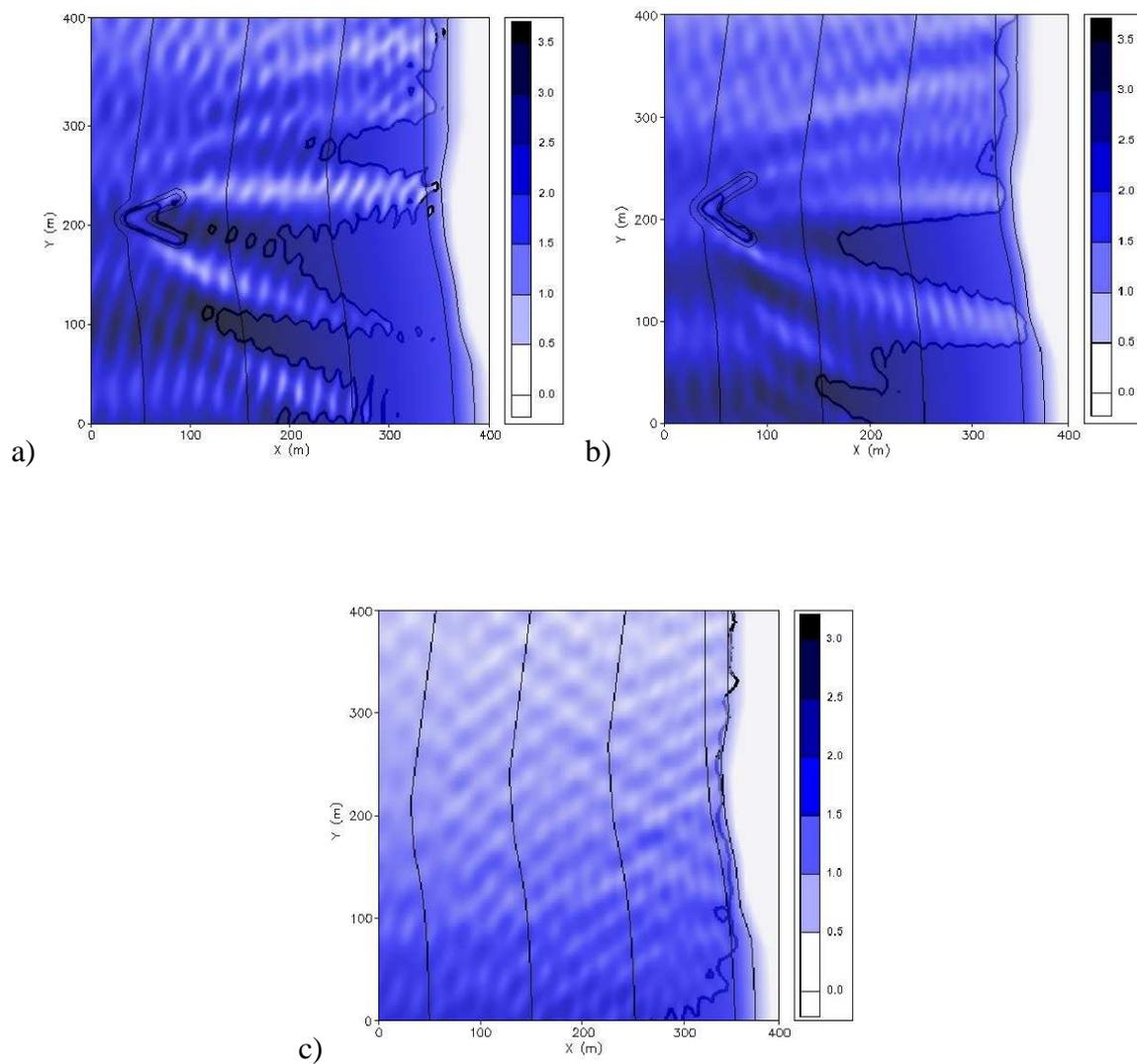


Figura 24. Representação da linha de rebentação e das alturas de onda na zona do recife e na linha de costa para NM, DIR=300°, T=7,0 s e H=2,0 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°. c) Sem recife.

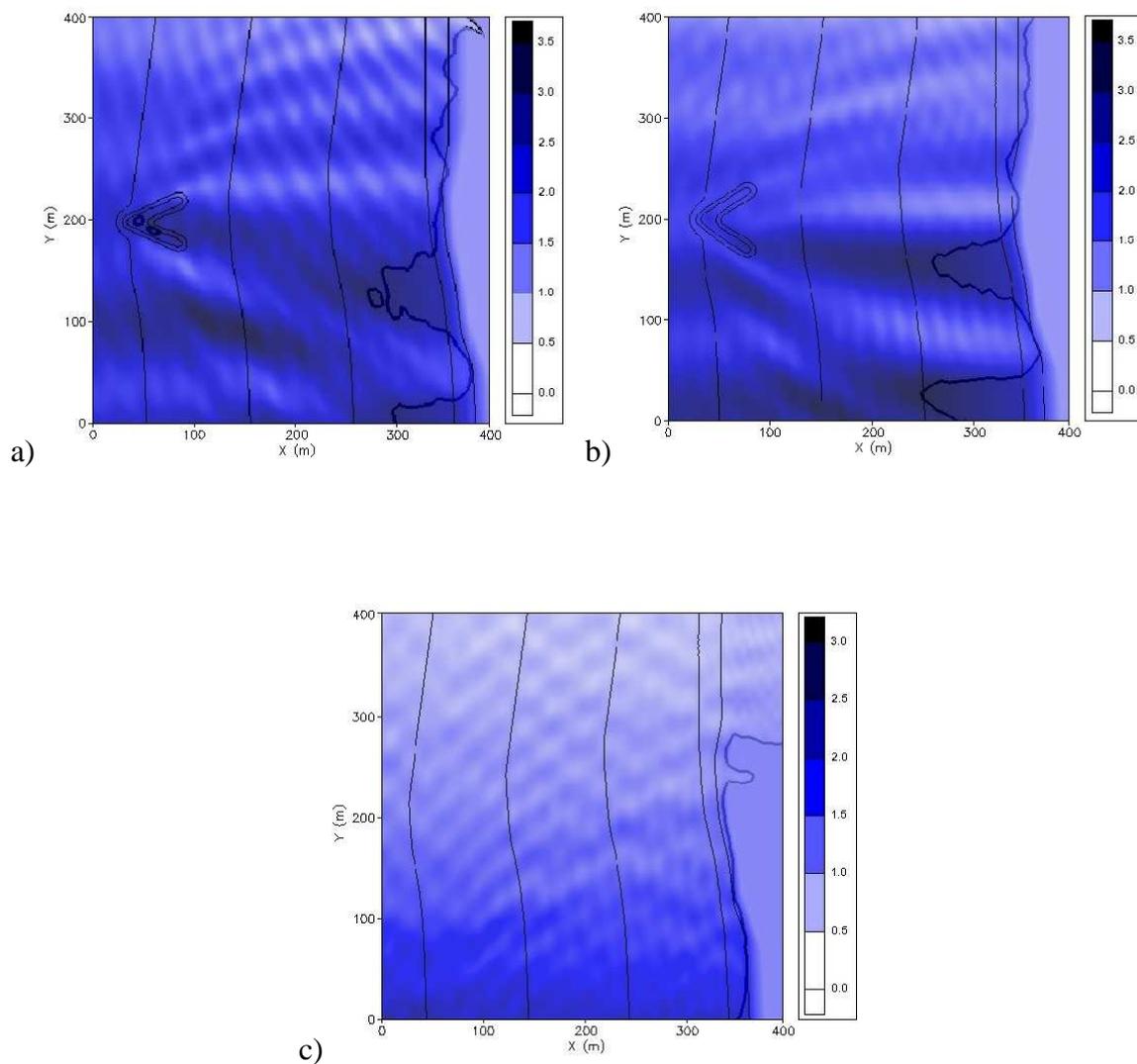


Figura 25. Representação da linha de rebentação e das alturas de onda na zona do recife e na linha de costa para PM, DIR=300°, T=7,0 s e H=2,0 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°. c) Sem recife.

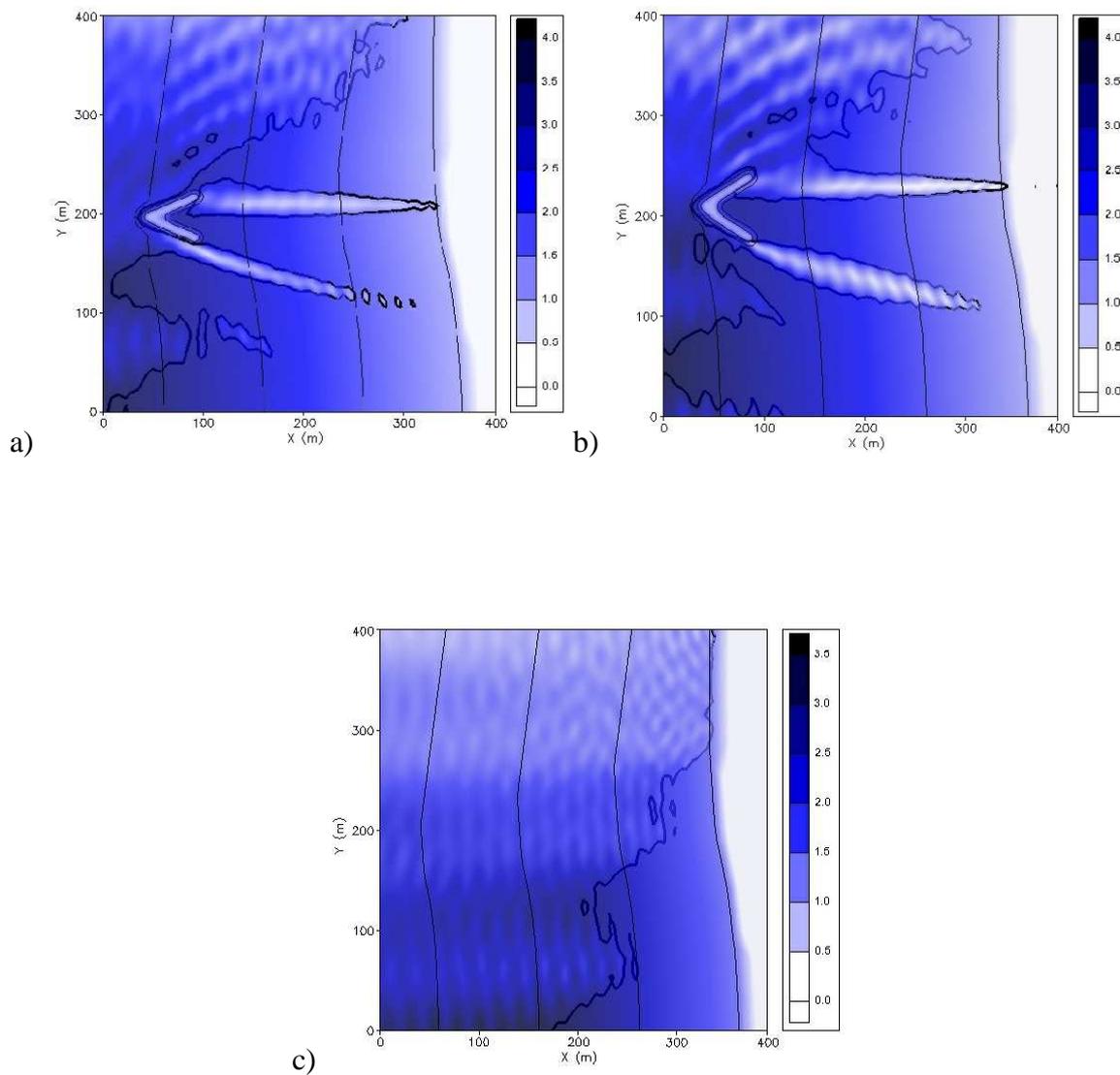


Figura 26. Representação da linha de rebentação e das alturas de onda na zona do recife e na linha de costa para BM, DIR=300°, T=8,0 s e H=2,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°. c) Sem recife.

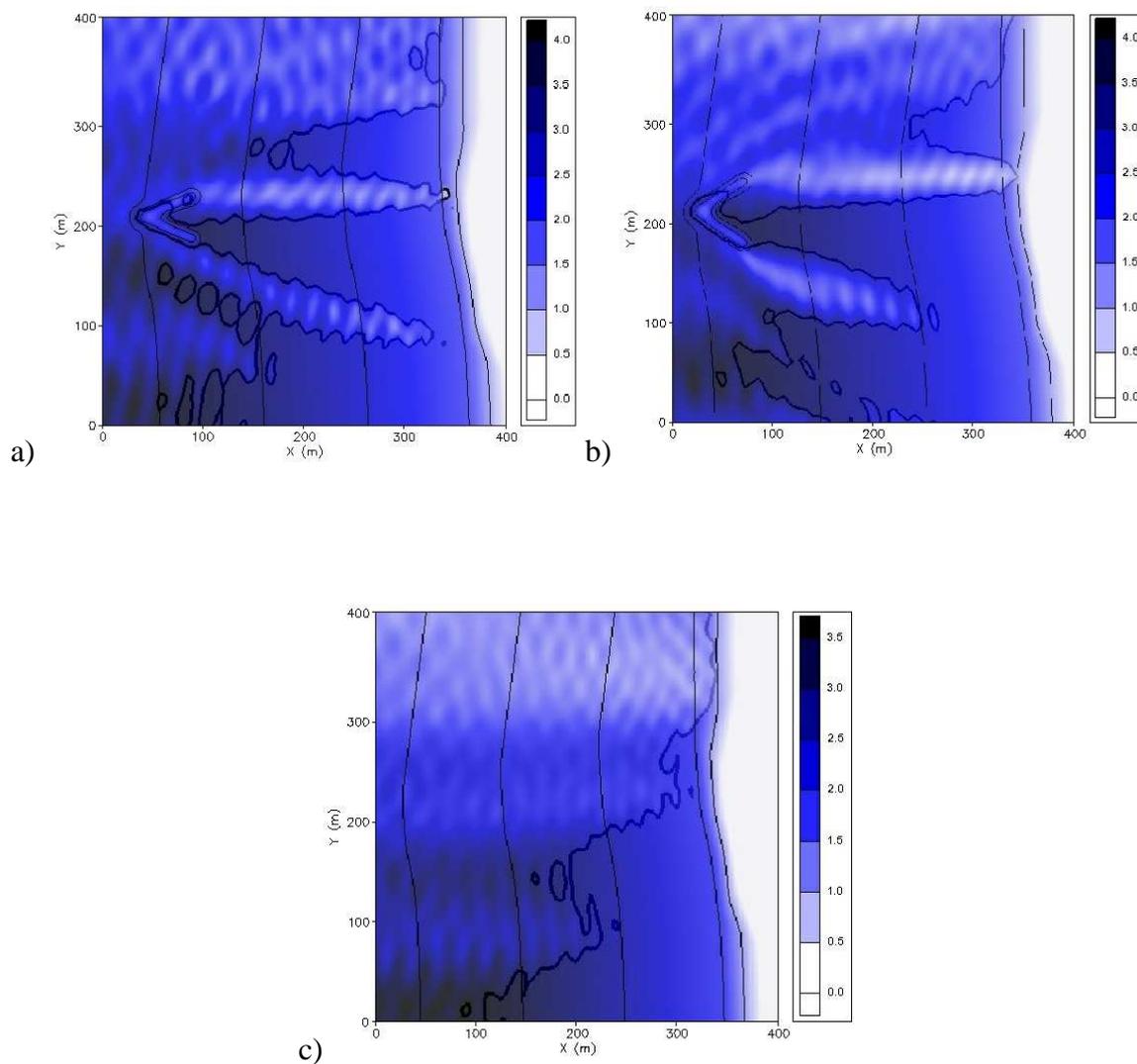


Figura 27. Representação da linha de rebentação e das alturas de onda na zona do recife e na linha de costa para NM, DIR=300°, T=8,0 s e H=2,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°. c) Sem recife.

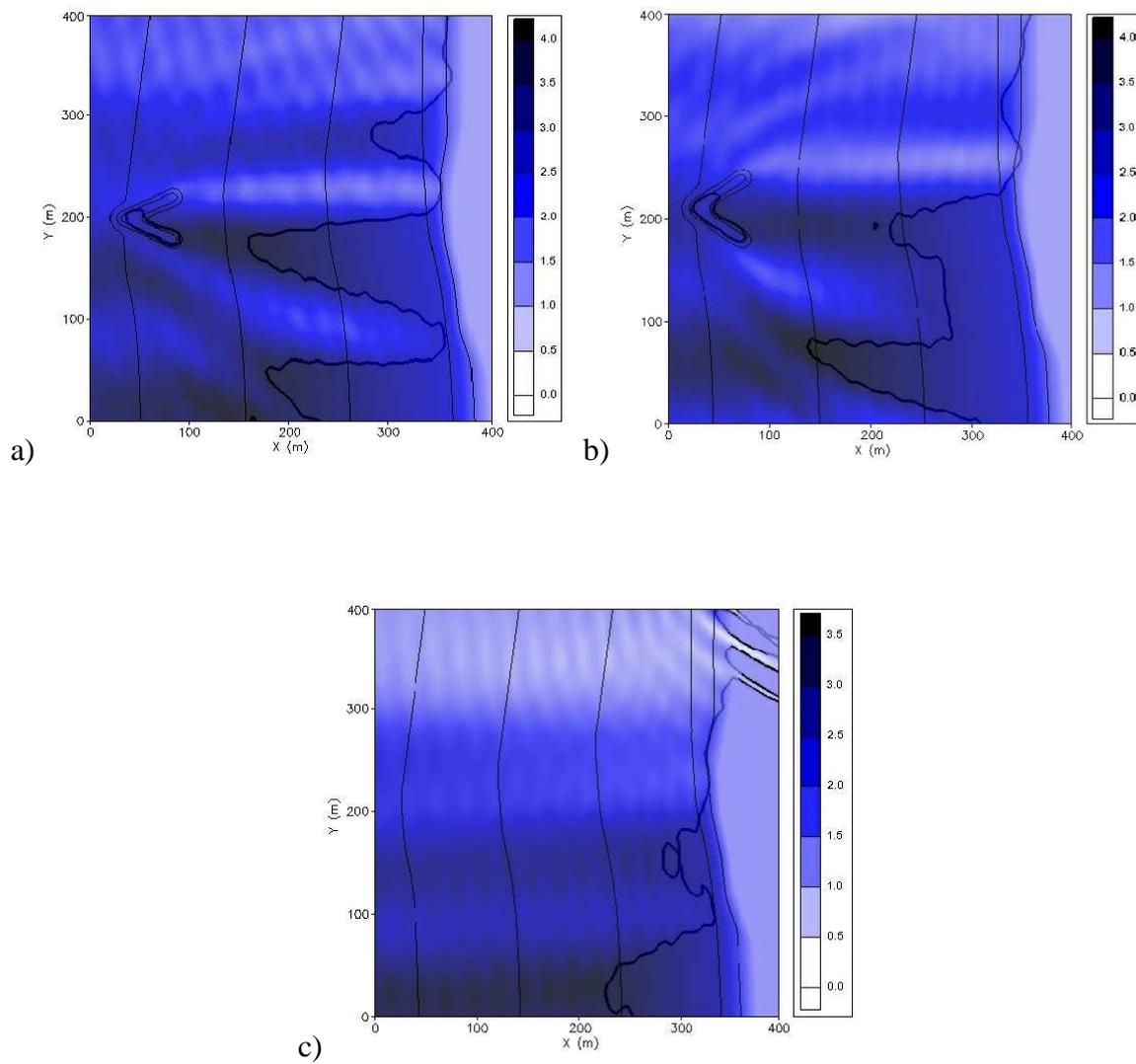


Figura 28. Representação da linha de rebentação e das alturas de onda na zona do recife e na linha de costa para PM, DIR=300°, T=8,0 s e H=2,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°. c) Sem recife.

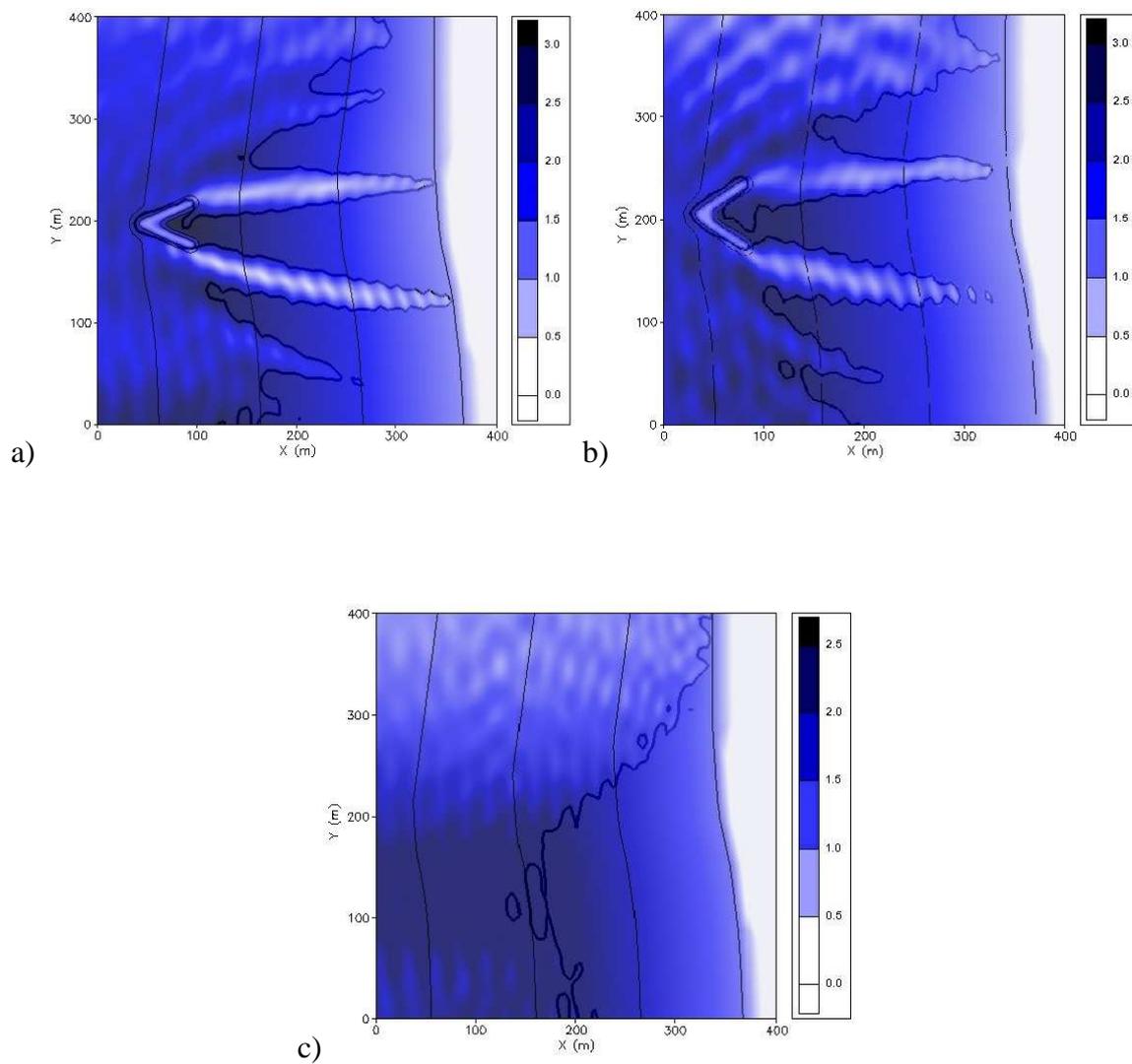


Figura 29. Representação da linha de rebentação e das alturas de onda na zona do recife e na linha de costa para BM, DIR=290°, T=9,0 s e H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°. c) Sem recife.

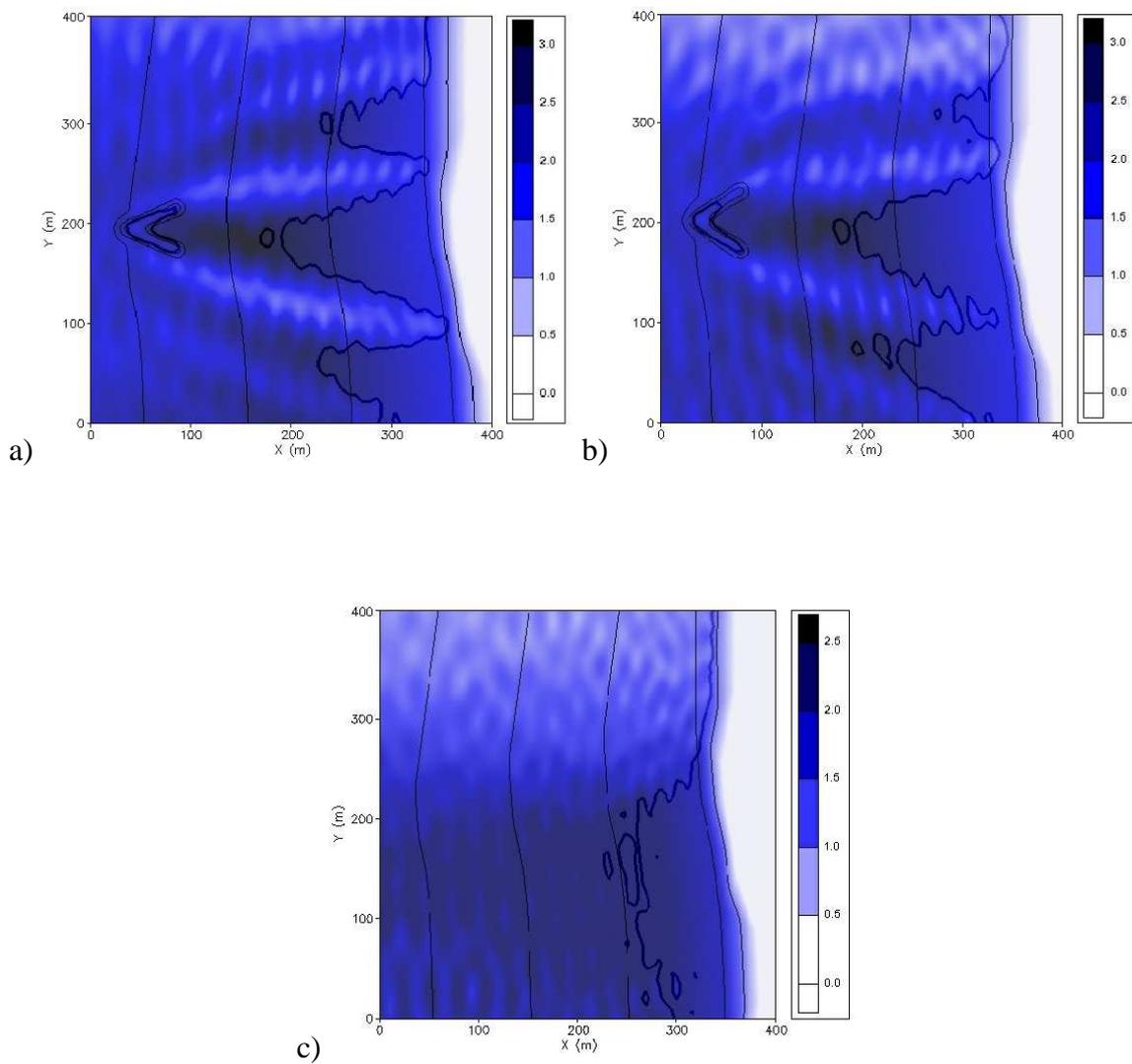


Figura 30. Representação da linha de rebentação e das alturas de onda na zona do recife e na linha de costa para NM, DIR=290°, T=9,0 s e H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°. c) Sem recife.

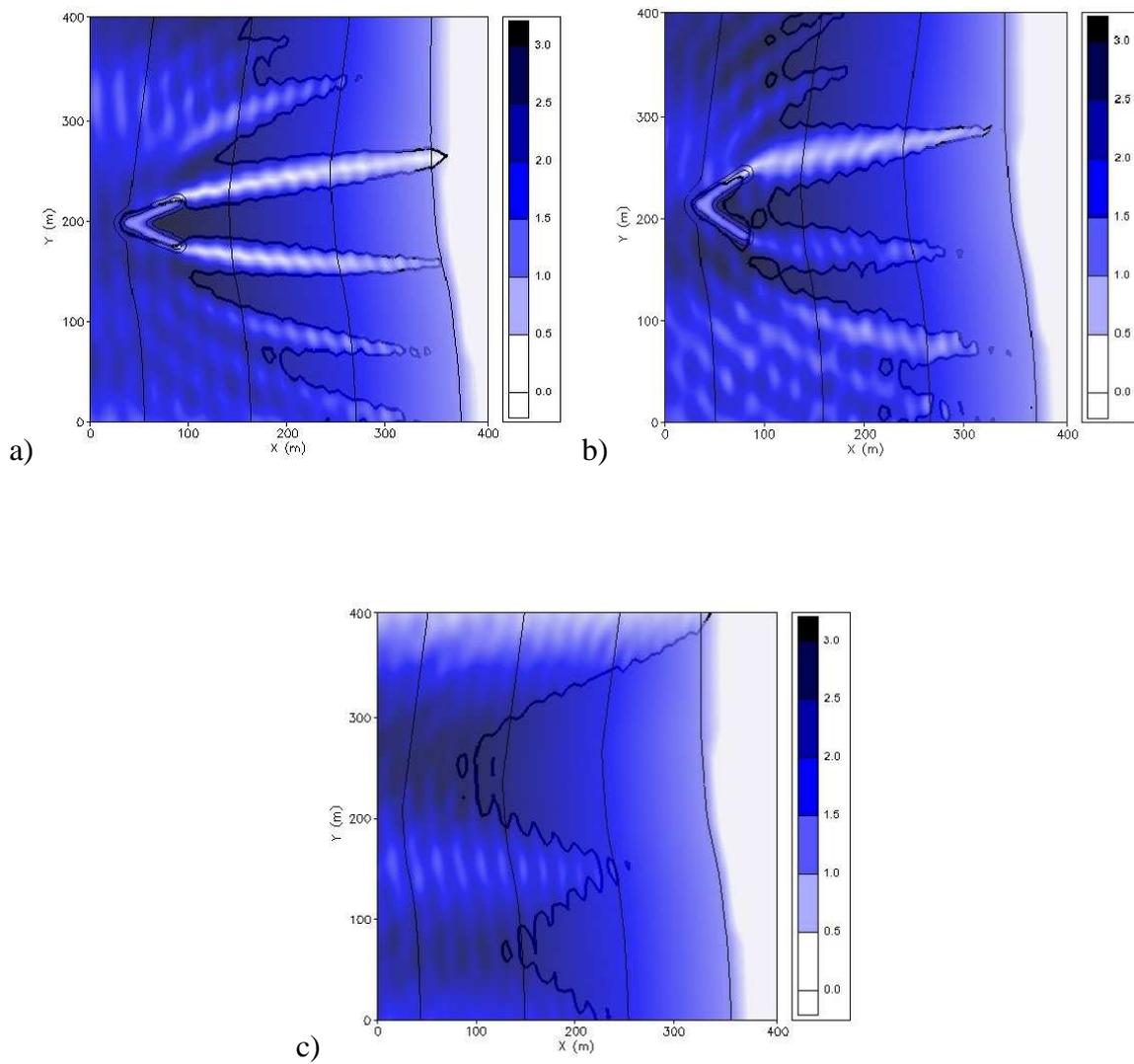


Figura 31. Representação da linha de rebentação e das alturas de onda na zona do recife e na linha de costa para BM, DIR=280°, T=8,0 s e H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°. c) Sem recife.

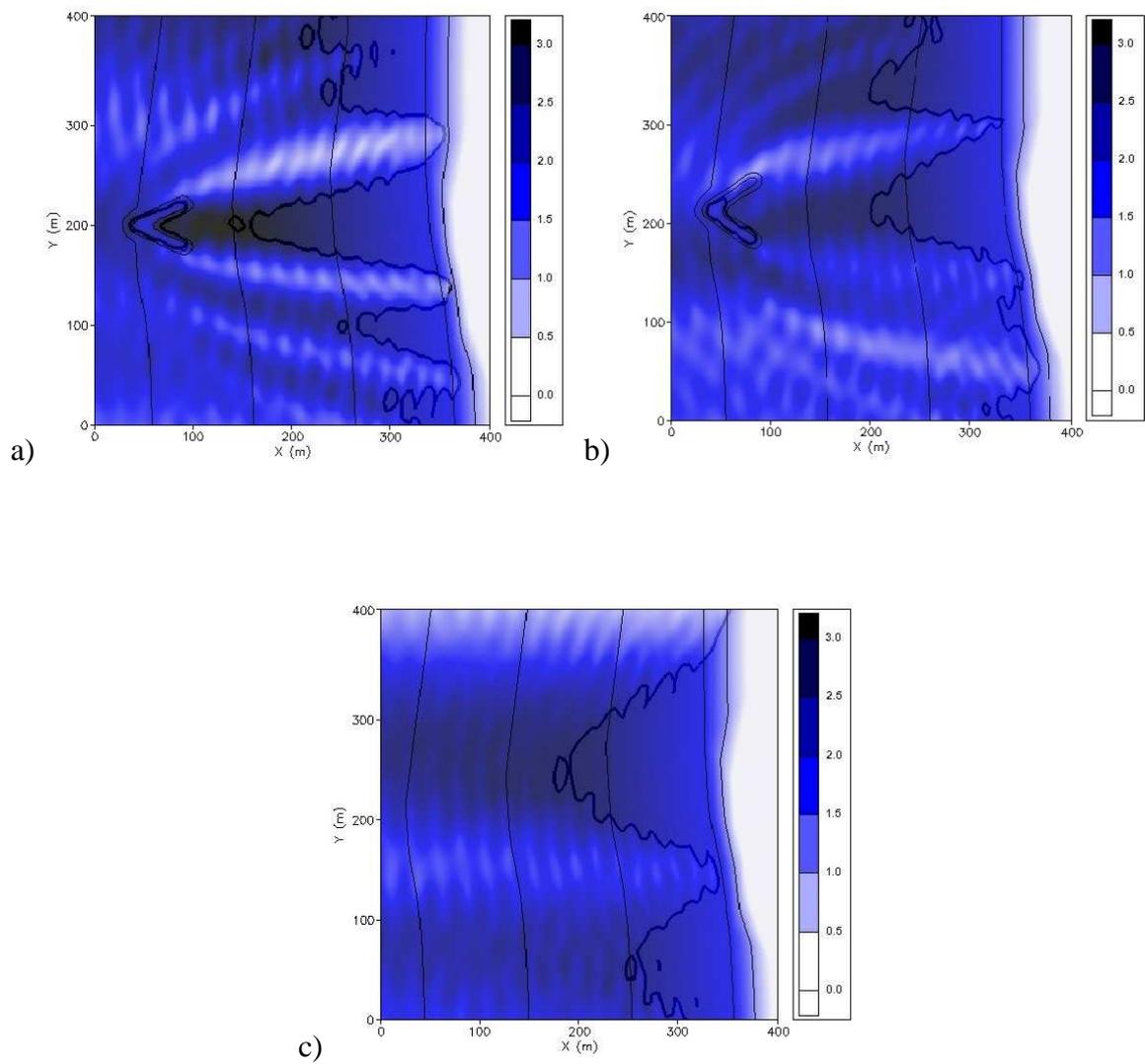


Figura 32. Representação da linha de rebentação e das alturas de onda na zona do recife e na linha de costa para NM, DIR=280°, T=8,0 s e H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°. c) Sem recife.

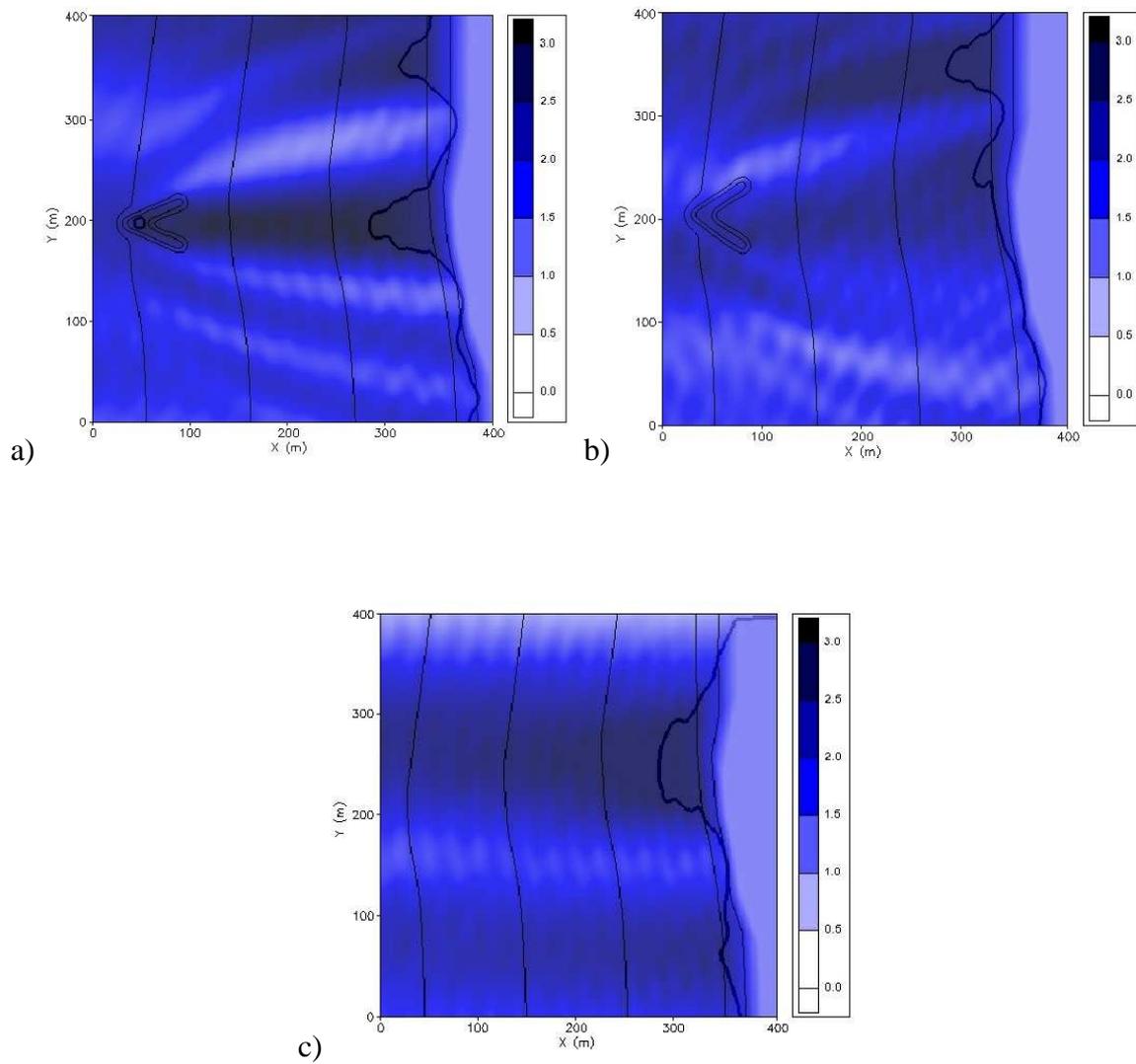


Figura 33. Representação da linha de rebentação e das alturas de onda na zona do recife e na linha de costa para PM, DIR=280°, T=8,0 s e H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°. c) Sem recife.

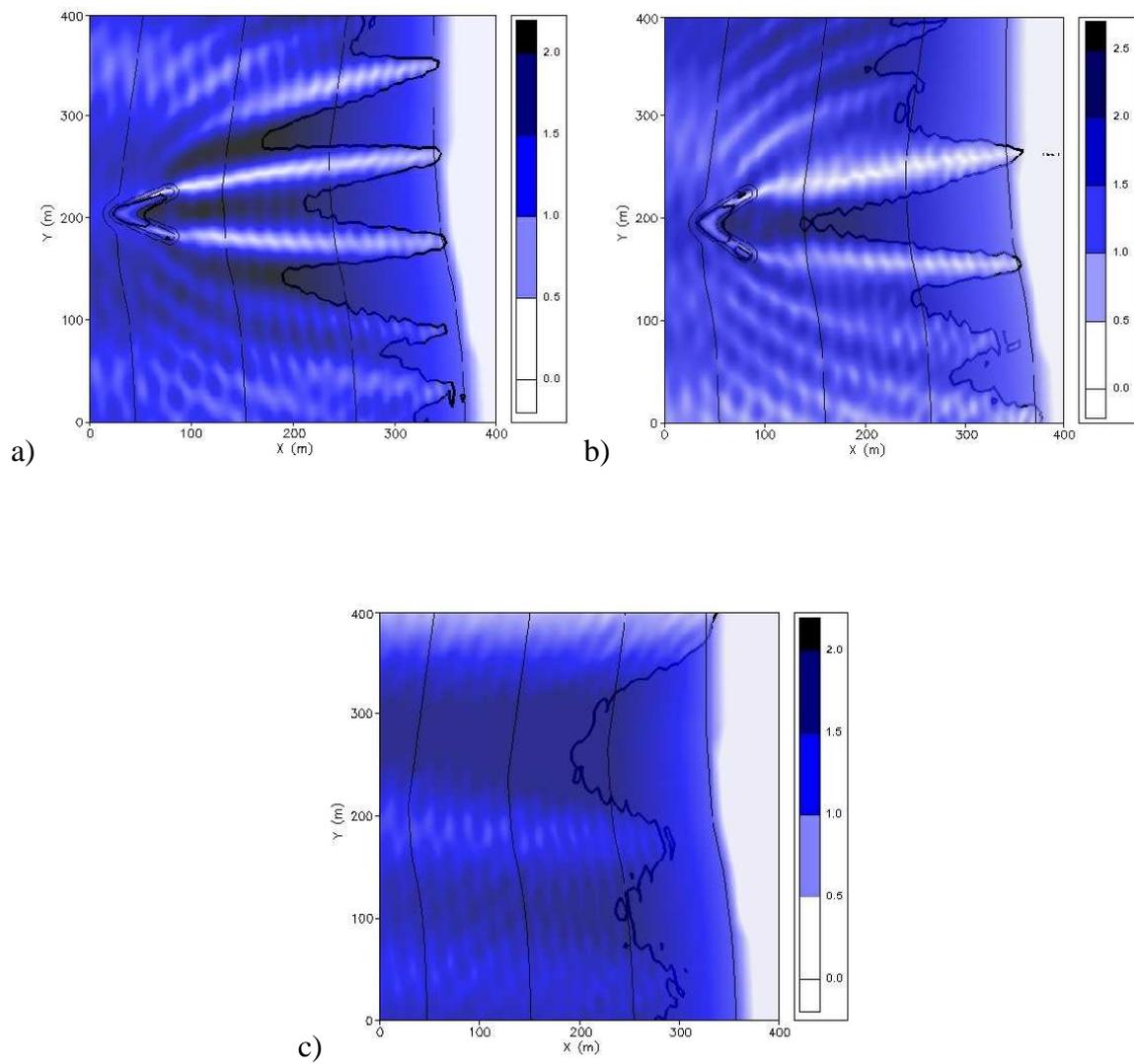


Figura 34. Representação da linha de rebentação e das alturas de onda na zona do recife e na linha de costa para BM, DIR=280°, T=7,0 s e H=1,0 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°. c) Sem recife.

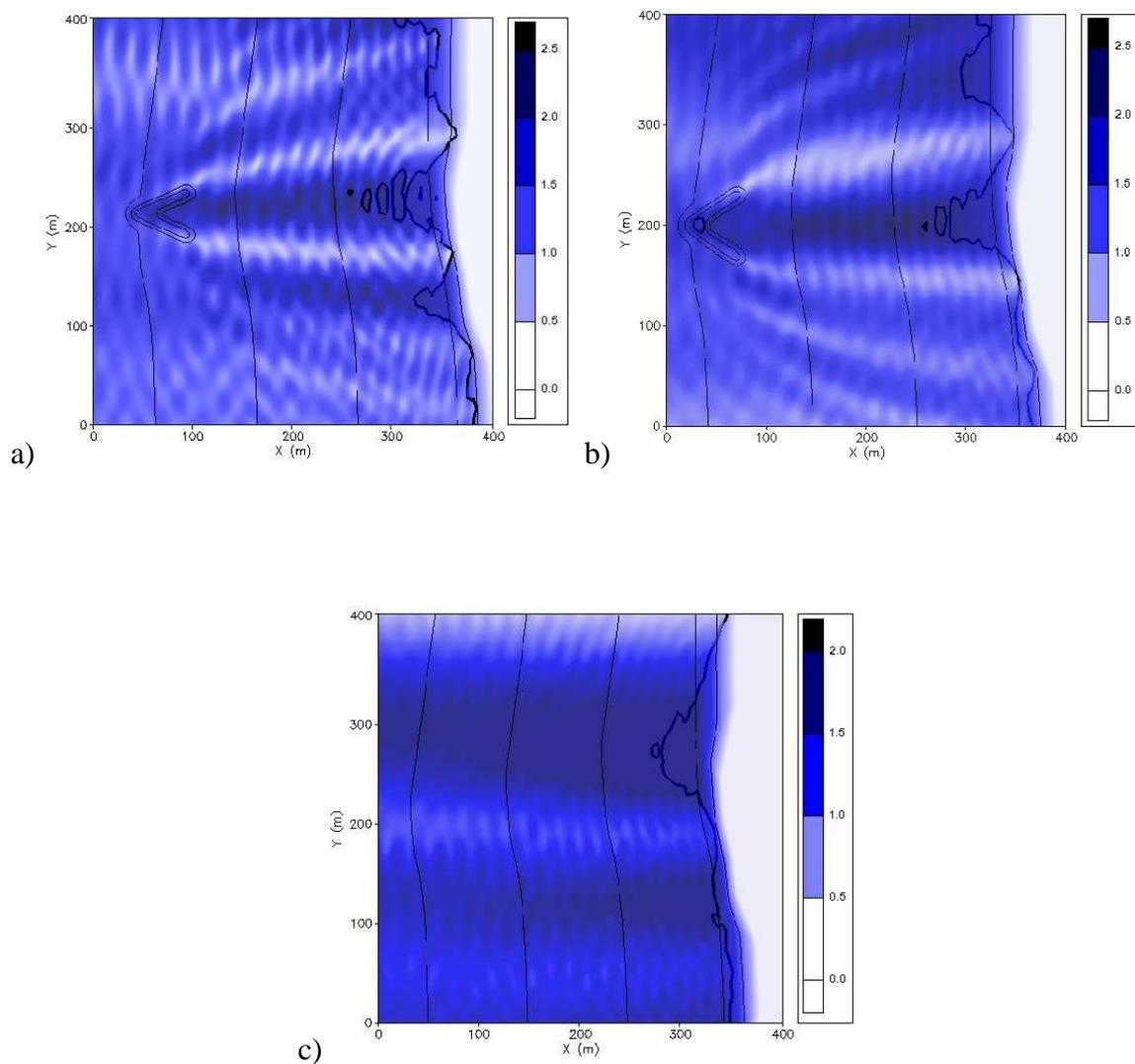


Figura 35. Representação da linha de rebentação e das alturas de onda na zona do recife e na linha de costa para NM, DIR=280°, T=7,0 s e H=1,0 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°. c) Sem recife.

Analisando as linhas de rebentação com as figuras anteriores foi possível verificar que:

Caso C1:

- BM – A Linha de Rebentação (L.R.) ocorre em toda a extensão dos “braços” dos dois recifes (45° e 66°);
- NM – A L.R. só ocorre no “braço direito” dos dois recifes.

Caso C2:

- BM – A L.R. ocorre em toda a extensão dos “braços” dos dois recifes, com prolongamento até à linha de costa no “braço direito” do recife de 45°;
- NM – A L.R. ocorre em ambos os braços dos dois recifes, embora com maior extensão nos “braços direitos”;
- PM – A L.R. ocorre no “braço direito” do recife de 45°, embora de curta extensão. No recife de 66° não ocorre rebentação.

Caso C3:

- BM – A L.R. ocorre em toda a extensão dos “braços” dos dois recifes, com prolongamento até à linha de costa (em ambos os “braços” do recife de 45° e apenas no “braço direito” do recife de 66°). Ocorre rebentação em zonas mais profundas do que na zona de implantação do recife;
- NM – A L.R. ocorre em ambos os “braços” dos dois recifes, embora com maior extensão nos “braços direitos”, nos quais ocorre prolongamento até à linha de costa;
- PM – A L.R. ocorre em toda a extensão dos “braços direitos” de ambos os recifes. Nos “braços esquerdos” não ocorre rebentação.

Caso C4:

- BM – A L.R. ocorre em toda a extensão dos “braços” dos dois recifes, com prolongamento até à linha de costa, em ambos os recifes e em ambos os “braços”;
- NM – A L.R. ocorre em toda a extensão dos “braços” do recife de 45°. No recife de 66° ocorre rebentação em toda a extensão do “braço direito” e em cerca de metade da extensão do “braço esquerdo”.

Caso C5:

- BM – A L.R. ocorre em toda a extensão dos “braços” dos dois recifes, com prolongamento até à linha de costa (em ambos os “braços”), apenas no recife de 45°;

- NM – A L.R. ocorre em toda a extensão dos “braços” do recife de 45° e no recife de 66°, ocorre apenas no “braço direito”;
- PM – A L.R. ocorre com pouca extensão no centro do recife de 45°. No recife de 66° não ocorre rebentação.

Caso C6:

- BM – A L.R. ocorre nos dois “braços” dos dois recifes, mas com maior extensão no “braço esquerdo” no recife de 45°. A L.R. da costa ocorre mais perto do recife de 66° do que no recife de 45°;
- NM – No recife de 45° não ocorre rebentação. No recife de 66°, ocorre apenas rebentação residual.

De um modo geral, a linha de rebentação acompanha o coroamento dos recifes.

É de salientar que só em alguns casos de agitação se verifica rebentação sobre o recife em preia-mar. Este facto vem demonstrar que para os casos de agitação mais frequentes o recife deixa de “funcionar” durante algumas horas do dia (até um máximo de doze horas, divididas por dois períodos de seis horas, aproximadamente), correspondentes ao período entre NM-PM-NM.

Em relação às alturas de onda, de acordo com as figuras anteriores, foi possível verificar a influência do recife no que diz respeito ao aumento da altura de onda incidente. Este aumento é mais acentuado em nível médio de maré e em preia-mar. Verifica-se igualmente rebentação antes mesmo da linha de costa, o que dá origem a uma dissipação de energia, comprovando assim o efeito do recife em termos de proteção costeira.

6.4.2 Cálculo dos Parâmetros de *Surfabilidade*

Com base nos valores da altura de onda no domínio de cálculo, determinou-se:

- Número de Iribarren ao longo da linha de rebentação, considerando um declive dos taludes do recife de 1:5;

- O ângulo de rebentação.

6.4.2.1 Número de Iribarren

Nas Figuras 36 a 43 apresentam-se os valores do número de Iribarren ao longo da linha de rebentação. Em cada gráfico estão representadas duas linhas de rebentação (esquerda e direita) que correspondem às linhas de rebentação que ocorrem sobre o “braço esquerdo” e sobre o “braço direito” do recife, respectivamente.

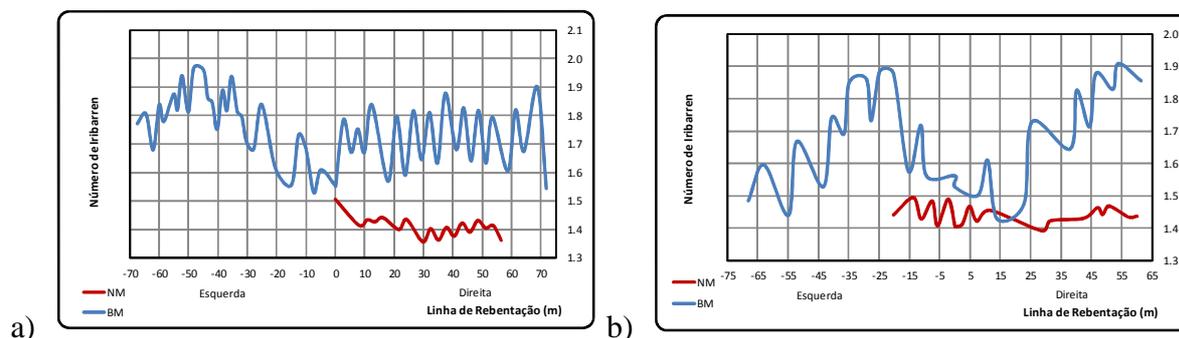


Figura 36. N.º de Iribarren ao longo da linha de rebentação sobre o recife para BM e NM, DIR=300°, T=8,0 s, H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.

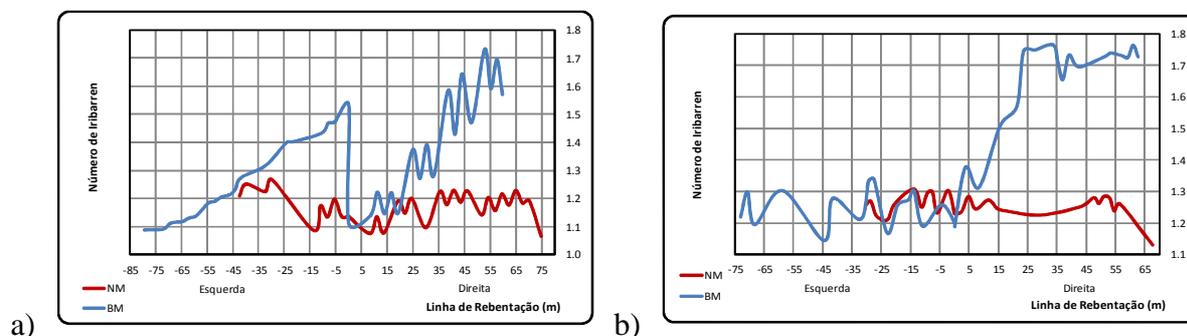


Figura 37. N.º de Iribarren ao longo da linha de rebentação sobre o recife para BM e NM, DIR= 300°, T=7,0 s, H=2,0 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.

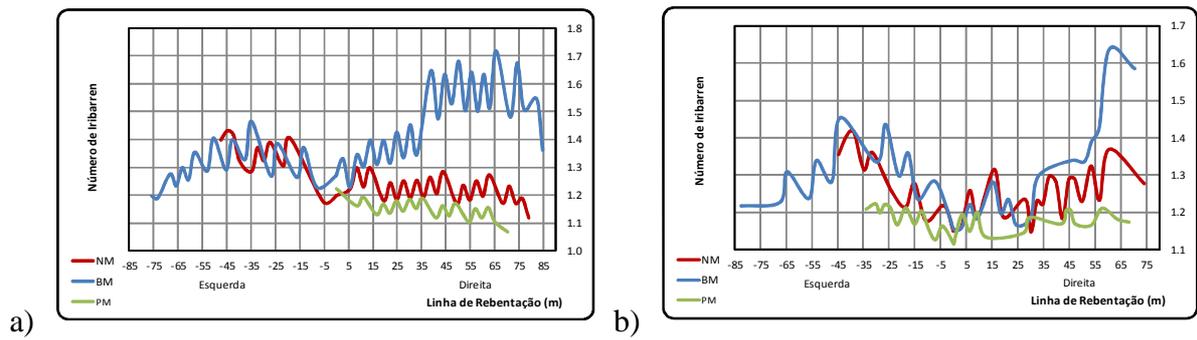


Figura 38. N.º de Iribarren ao longo da linha de rebentação sobre o recife para BM, NM e PM, DIR= 300°, T=8,0 s, H=2,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.

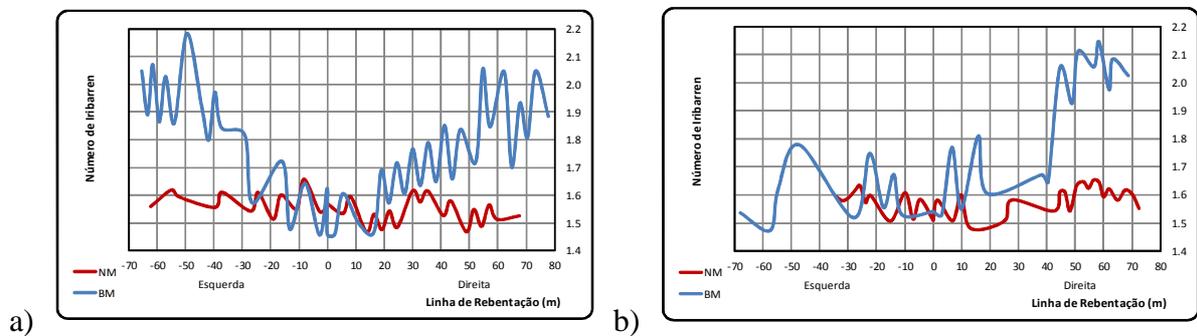


Figura 39. N.º de Iribarren ao longo da linha de rebentação sobre o recife para BM e NM, DIR= 290°, T=9,0 s, H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.

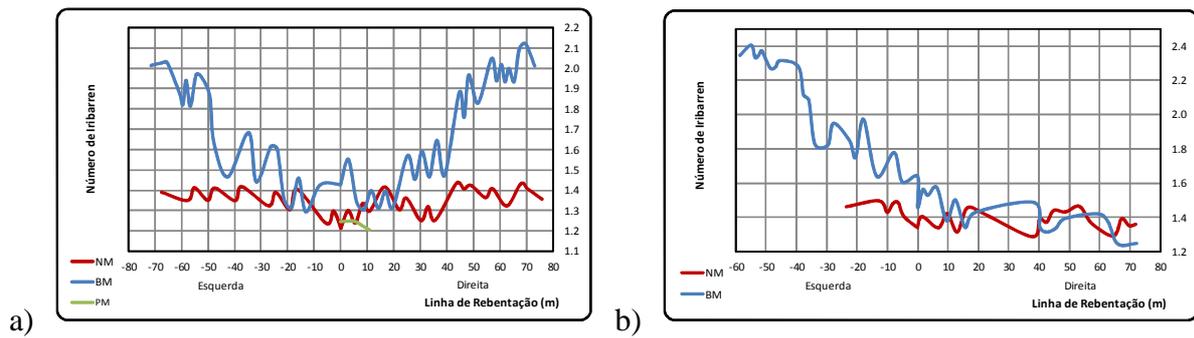


Figura 40. N.º de Iribarren ao longo da linha de rebentação sobre o recife para BM, NM e PM. DIR= 280°, T=8,0 s, H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.

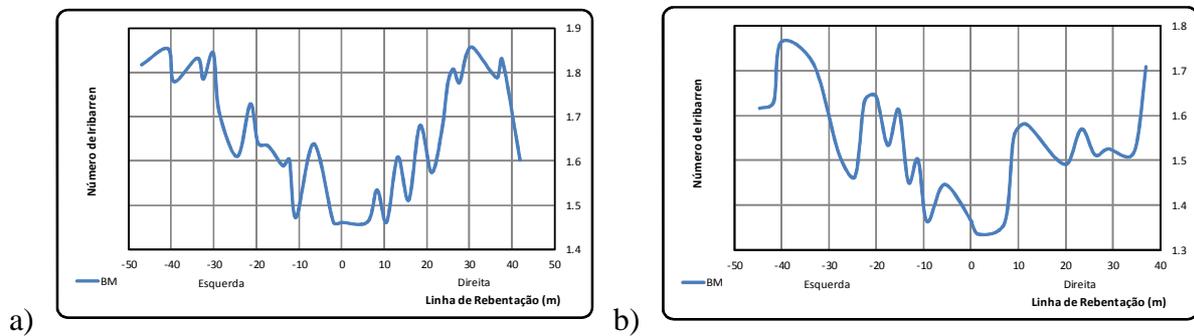


Figura 41. N.º de Iribarren ao longo da linha de rebentação sobre o recife para BM, DIR= 280°, T=7,0 s, H=1,0 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.

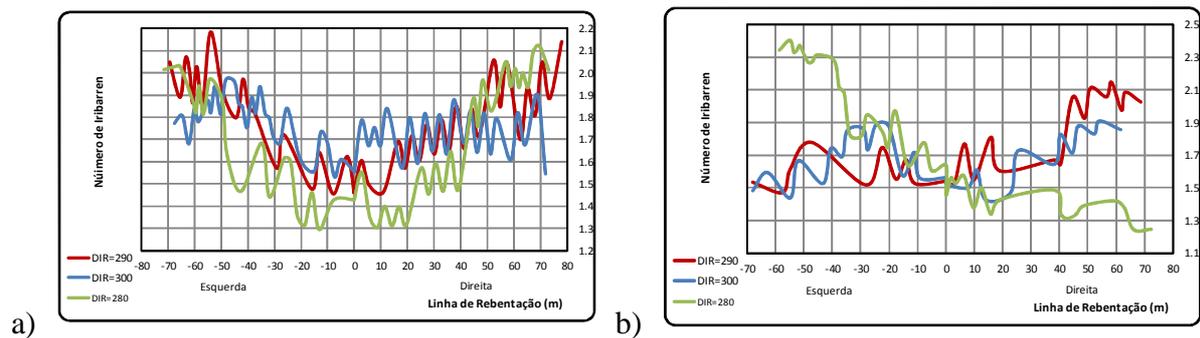


Figura 42. N.º de Iribarren ao longo das linhas de rebentação sobre o recife para BM, DIR= 300°, T=8,0 s, H=1,5 m, DIR= 290°, T=9,0 s, H=1,5 m e DIR= 280°, T=8,0 s, H=1,5 m.
a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.

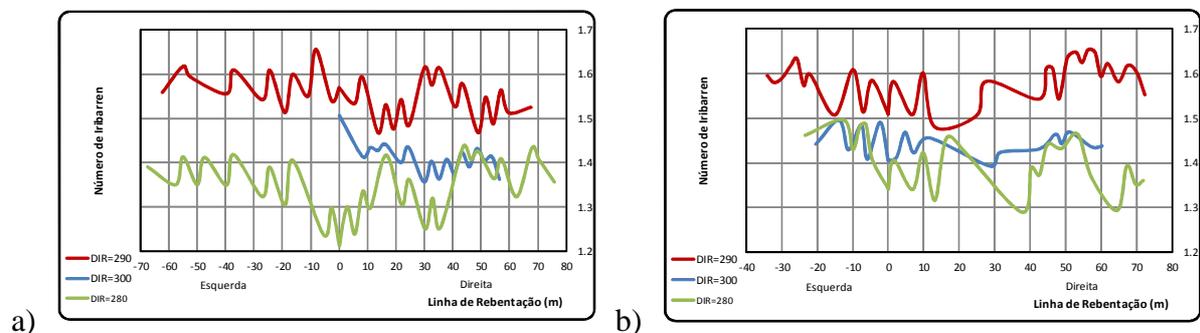


Figura 43. N.º de Iribarren ao longo das linhas de rebentação sobre o recife para NM, DIR= 300°, T=8,0 s, H=1,5 m, DIR= 290°, T=9,0 s, H=1,5 m e DIR= 280°, T=8,0 s, H=1,5 m.
a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.

Quanto ao tipo de rebentação, observando o número de Iribarren, prevê-se uma rebentação do tipo mergulhante ($0,4 < \zeta_b < 2,0$) ao longo de toda a linha de rebentação do recife, em quase todos os casos, à exceção dos seguintes casos em que ocorre rebentação de fundo ($\zeta_b > 2,0$):

- Caso 4, em BM, nos dois recifes. No recife de 45° ocorre no “braço esquerdo” e no recife de 66° ocorre no “braço direito”;
- Caso 5, em BM, nos dois recifes. No recife de 45° ocorre no “braço direito” e no recife de 66° ocorre no “braço esquerdo”.

Verifica-se ainda uma diminuição dos valores do número de Iribarren com a altura da onda incidente e com o período.

6.4.2.2 Ângulo de rebentação

Nas Figuras 44 a 51 apresentam-se os valores do Ângulo de Rebentação ao longo da linha de rebentação, de forma semelhante à apresentada com o número de Iribarren.

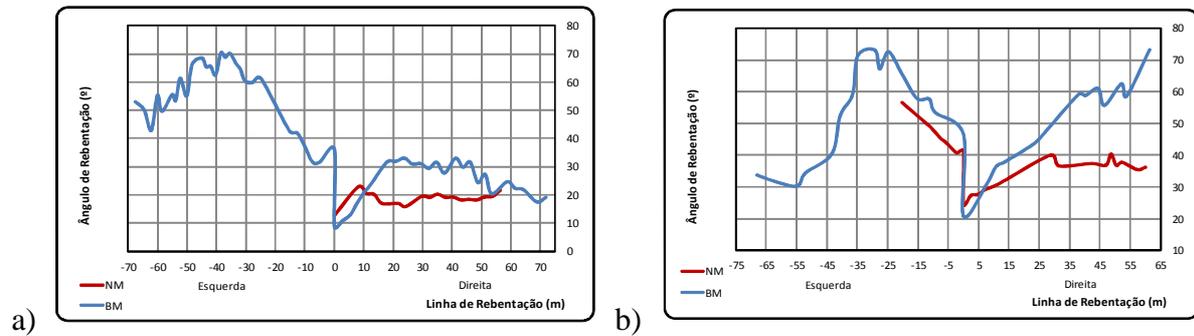


Figura 44. Ângulo de Rebentação ao longo das linhas de rebentação sobre o recife para BM e NM, DIR= 300°, T=8,0 s, H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.

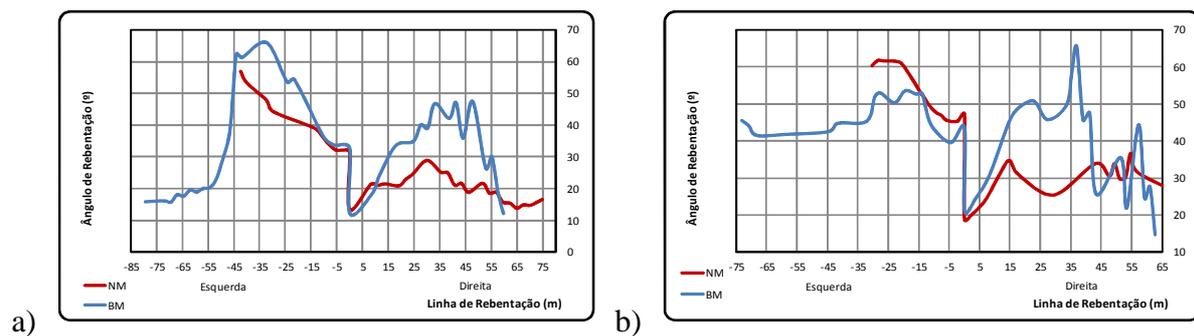


Figura 45. Ângulo de Rebentação ao longo das linhas de rebentação sobre o recife para BM e NM, DIR= 300°, T=7,0 s, H=2,0 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.

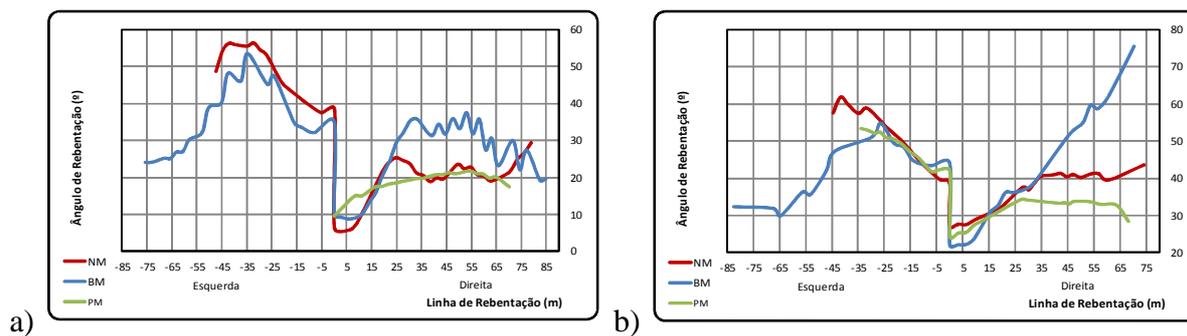


Figura 46. Ângulo de Rebentação ao longo das linhas de rebentação sobre o recife para BM, NM e PM, DIR= 300°, T=8,0 s, H=2,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.

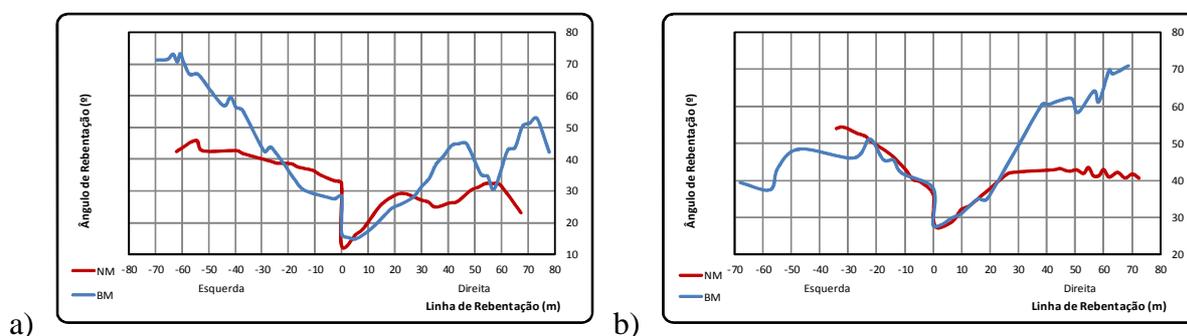


Figura 47. Ângulo de Rebentação ao longo das linhas de rebentação sobre o recife para BM e NM, DIR= 290°, T=9,0 s, H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.

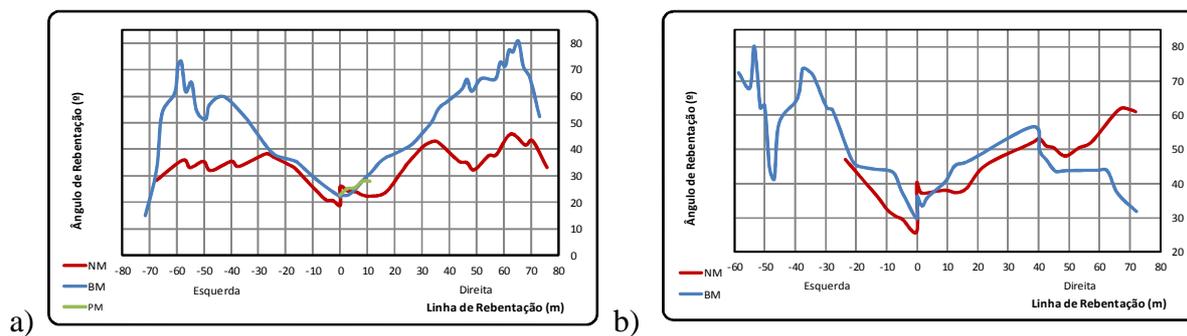


Figura 48. Ângulo de Rebentação ao longo das linhas de rebentação sobre o recife para BM, NM e PM, DIR= 280°, T=8,0 s, H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.

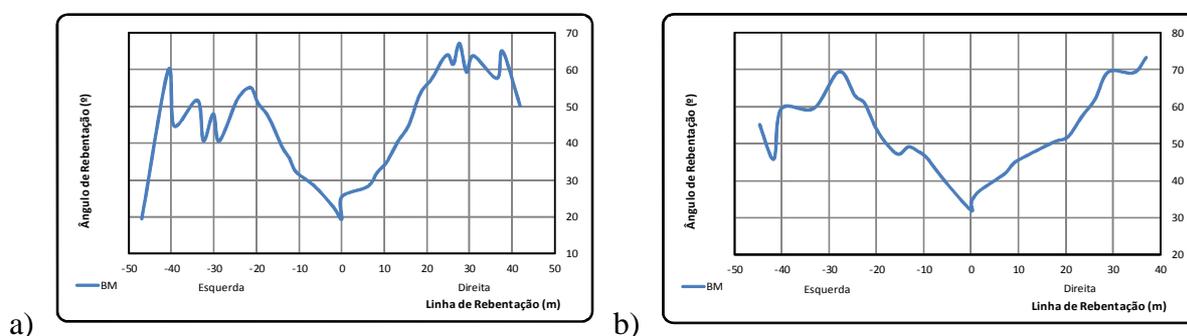


Figura 49. Ângulo de Rebentação ao longo das linhas de rebentação sobre o recife para BM, DIR= 280°, T=7,0 s, H=1,0 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.

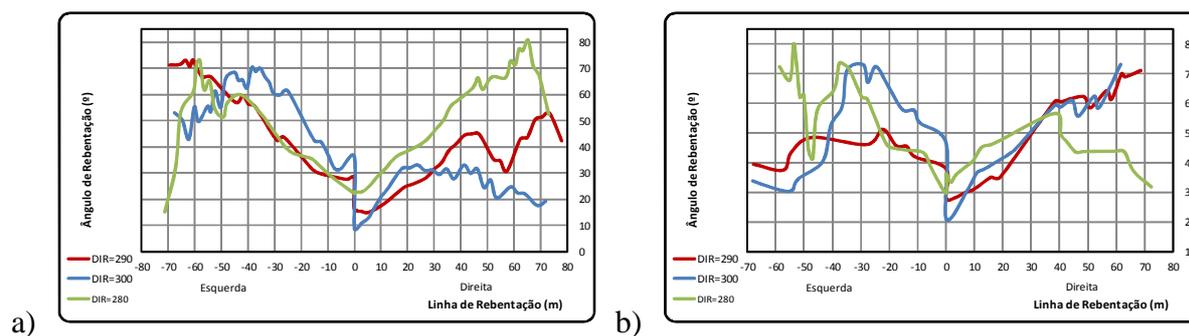


Figura 50. Ângulo de Rebentação ao longo das linhas de rebentação sobre o recife para BM, DIR= 300°, T=8,0 s, H=1,5 m, DIR= 290°, T=9,0 s, H=1,5 m e DIR= 280°, T=8,0 s, H=1,5 m.
a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.

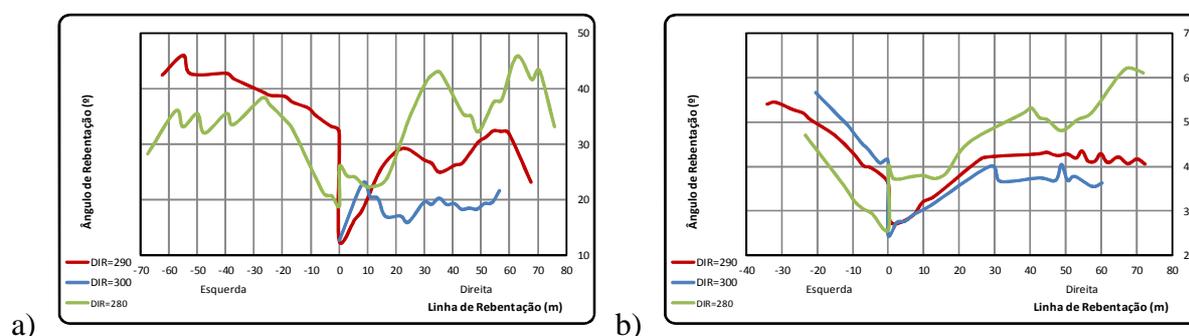


Figura 51. Ângulo de Rebentação ao longo das linhas de rebentação sobre o recife para NM, DIR= 300°, T=8,0 s, H=1,5 m, DIR= 290°, T=9,0 s, H=1,5 m e DIR= 280°, T=8,0 s, H=1,5 m.
a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.

A determinação do ângulo de rebentação para a caracterização do nível de dificuldade dos *surfistas* na execução de manobras implica o conhecimento do ângulo de propagação da onda e do ângulo da linha de rebentação.

Neste trabalho, o cálculo do ângulo de rebentação foi simplificado: o ângulo da linha de rebentação é analisado para os dois “braços” do recife, considerando-se aproximadamente constante em cada um (45 e 66°, para as duas geometrias de recife em estudo, respectivamente), uma vez que a linha de rebentação acompanha o coroamento dos recifes.

Os valores do ângulo de rebentação, para todos os casos de agitação marítima, variam entre:

Recife de 45°:

- Mínimo – **6°**, no caso 3, em NM, no “braço direito” do recife;
- Máximo – **81°**, no caso 5, em BM, no “braço direito” do recife.

Recife de 66°:

- Mínimo – **15°**, no caso 2, em BM, no “braço direito” do recife;
- Máximo – **80°**, no caso 3, em BM, no “braço esquerdo” do recife.

Dado que o intervalo de valores do ângulo de rebentação é muito elevado, o que corresponde a uma grande abrangência de níveis de dificuldade na execução de manobras (Tabela 1), importa olhar com mais detalhe para esta variável.

Deste modo, são apresentados nas Tabelas 8 a 13, as médias, os mínimos e os máximos dos valores do ângulo de rebentação, assim como o nível de dificuldade na execução de manobras, denominado “Nível de *Surf*”, Tabela 1, para os casos de agitação marítima simulados nos dois recifes.

Tabela 8. Média, mínimo e máximo dos valores do ângulo de rebentação. Caso C1

Casos de Agitação Marítima	Nível de Maré	“Braço”	Recife	Ângulo de Rebentação (°)			
				Média	Mínimo	Máximo	Nível de Surf
C1	BM	Direito	45°	25	9	33	8
			66°	50	21	73	5
		Esquerdo	45°	55	32	70	4
			66°	53	30	73	4
	NM	Direito	45°	19	13	23	8
			66°	34	25	40	6
		Esquerdo	66°	47	41	57	5

Tabela 9. Média, mínimo e máximo dos valores do ângulo de rebentação. Caso C2

Casos de Agitação Marítima	Nível de Maré	“Braço”	Recife	Ângulo de Rebentação (°)			
				Média	Mínimo	Máximo	Nível de Surf
C2	BM	Direito	45°	25	9	37	8
			66°	42	22	75	5
		Esquerdo	45°	36	24	53	6
			66°	42	30	55	5
	NM	Direito	45°	20	6	30	8
			66°	37	27	44	6
		Esquerdo	45°	50	38	56	5
			66°	52	39	62	4
	PM	Direito	45°	19	9	22	6
			66°	31	24	34	8
		Esquerdo	66°	48	42	53	5

Tabela 10. Média, mínimo e máximo dos valores do ângulo de rebentação. Caso C3

Casos de Agitação Marítima	Nível de Maré	“Braço”	Recife	Ângulo de Rebentação (°)			
				Média	Mínimo	Máximo	Nível de Surf
C3	BM	Direito	45°	32	12	47	6
			66°	39	15	65	6
		Esquerdo	45°	33	16	66	6
			66°	47	40	54	5
	NM	Direito	45°	20	13	29	8
			66°	29	19	37	7
		Esquerdo	45°	41	32	57	5
			66°	53	45	62	4
	PM	Direito	45°	16	15	17	8

Tabela 11. Média, mínimo e máximo dos valores do ângulo de rebentação. Caso C4

Casos de Agitação Marítima	Nível de Maré	“Braço”	Recife	Ângulo de Rebentação (°)			
				Média	Mínimo	Máximo	Nível de Surf
C4	BM	Direito	45°	34	15	53	6
			66°	54	28	73	4
		Esquerdo	45°	52	28	71	4
			66°	44	37	51	5
	NM	Direito	45°	26	13	32	8
			66°	36	25	41	8
		Esquerdo	45°	39	32	46	6
			66°	48	41	53	5

Tabela 12. Média, mínimo e máximo dos valores do ângulo de rebentação. Caso C5

Casos de Agitação Marítima	Nível de Maré	“Braço”	Recife	Ângulo de Rebentação (°)			
				Média	Mínimo	Máximo	Nível de Surf
C5	BM	Direito	45°	53	23	81	4
			66°	42	32	57	5
		Esquerdo	45°	47	15	73	5
			66°	57	30	80	3
	NM	Direito	45°	34	22	46	6
			66°	49	37	62	5
		Esquerdo	45°	31	19	38	6
			66°	33	26	47	6
	PM	Direito	45°	26	23	28	8

Tabela 13. Média, mínimo e máximo dos valores do ângulo de rebentação. Caso C6

Casos de Agitação Marítima	Nível de Maré	“Braço”	Recife	Ângulo de Rebentação (°)			
				Média	Mínimo	Máximo	Nível de Surf
C6	BM	Direito	45°	51	26	67	4
			66°	46	29	67	5
		Esquerdo	45°	40	19	60	5
			66°	52	32	70	4

De acordo com os valores de “Nível de Surf” apresentados nas tabelas anteriores, foi possível verificar que as ondas que rebentam nos dois recifes apresentam ângulos de rebentação adequados para o *surfista* que esteja a aprender as manobras *standard* do Surf (*surfista* amador) até ao *surfista* profissional. No entanto, em média, estamos perante ondas com ângulos de rebentação adequados para *surfistas* que executam manobras *standard* de Surf consecutivamente.

6.4.2.3 Alturas de onda

Nas Figuras 52 a 59 apresentam-se os valores das Alturas de Onda ao longo da linha de rebentação.

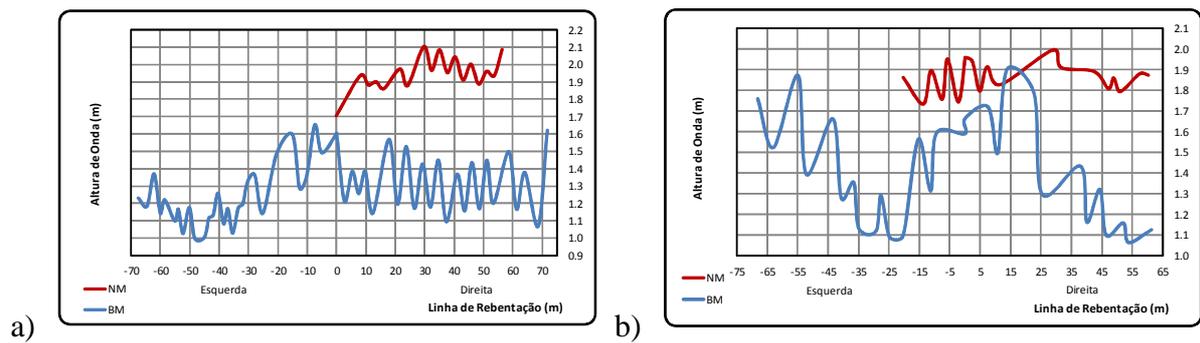


Figura 52. Altura de Onda ao longo das linhas de rebentação sobre o recife para BM e NM, DIR= 300°, T=8,0 s, H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.

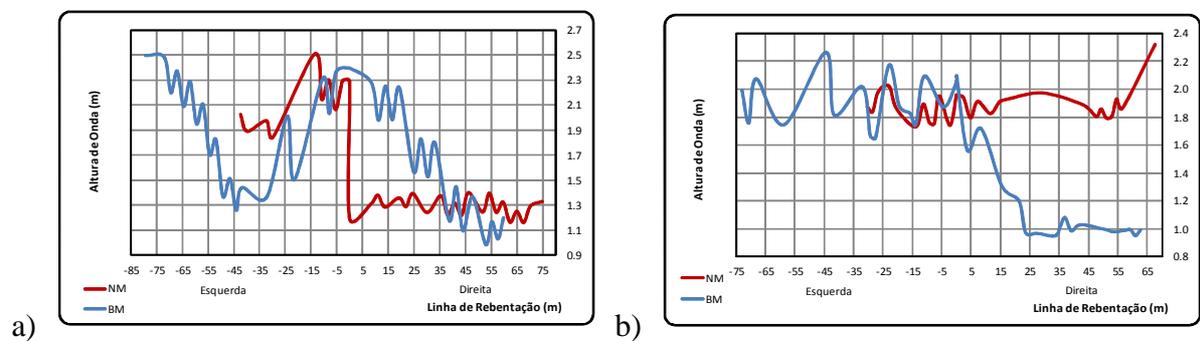


Figura 53. Altura de Onda ao longo das linhas de rebentação sobre o recife para BM e NM, DIR= 300°, T=7,0 s, H=2,0 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.

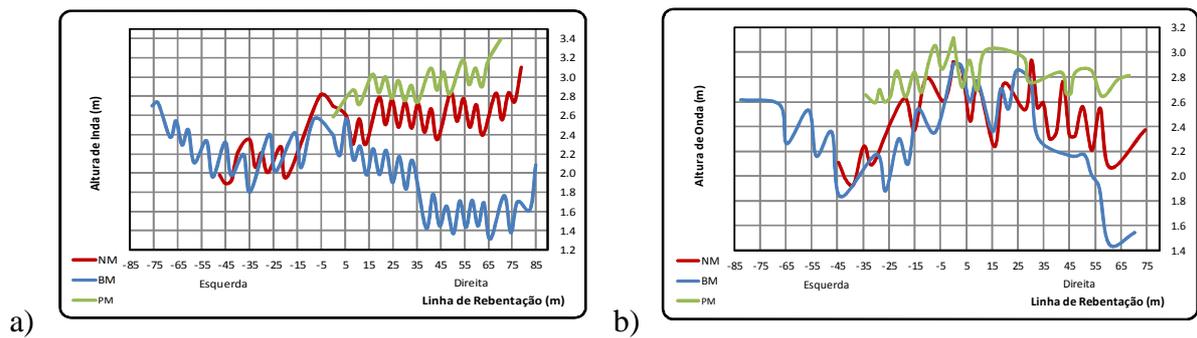


Figura 54. Altura de Onda ao longo das linhas de rebentação sobre o recife para BM, NM e PM, DIR= 300°, T=8,0 s, H=2,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.

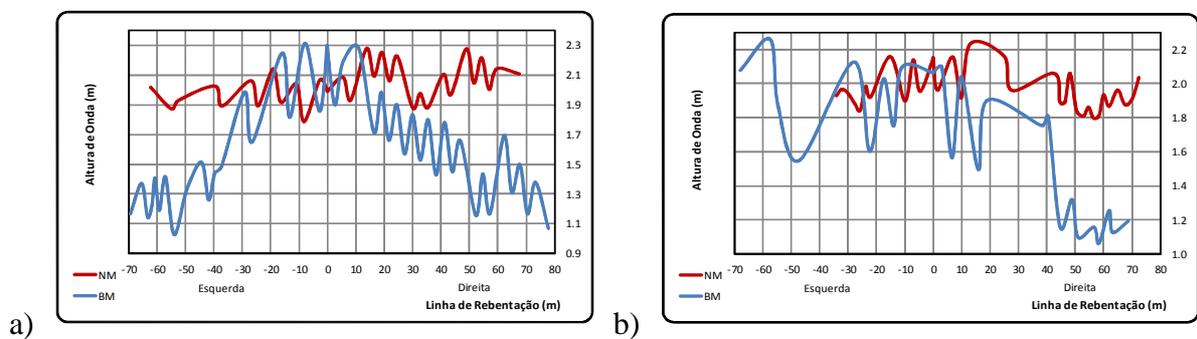


Figura 55. Altura de Onda ao longo das linhas de rebentação sobre o recife para BM e NM, DIR= 290°, T=9,0 s, H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.

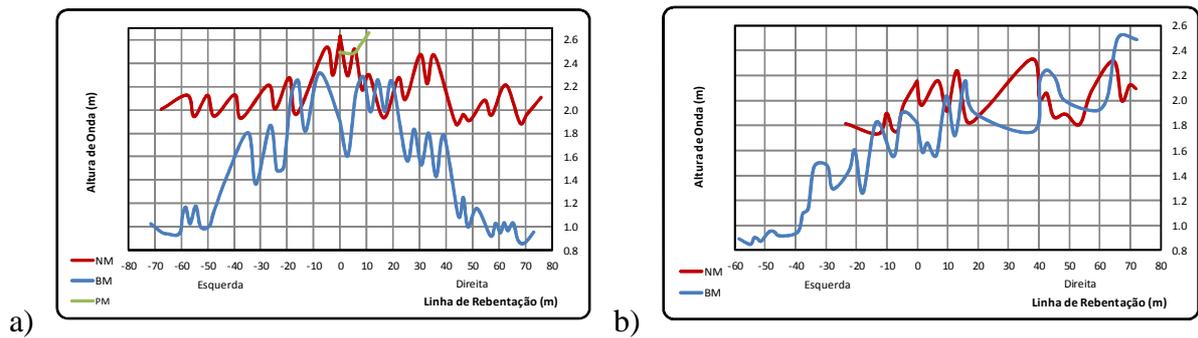


Figura 56. Altura de Onda ao longo das linhas de rebentação sobre o recife para BM, NM e PM, DIR= 280°, T=8,0 s, H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.

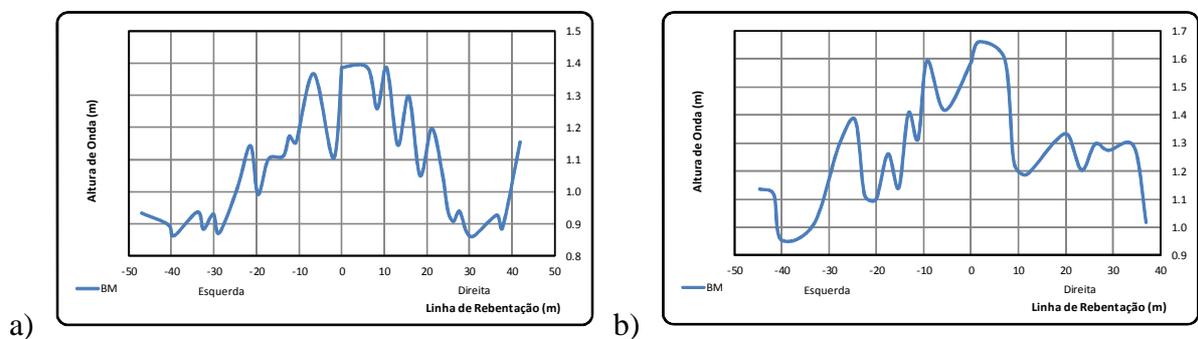


Figura 57. Altura de Onda ao longo das linhas de rebentação sobre o recife para BM, DIR= 280°, T=7,0 s, H=1,0 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.

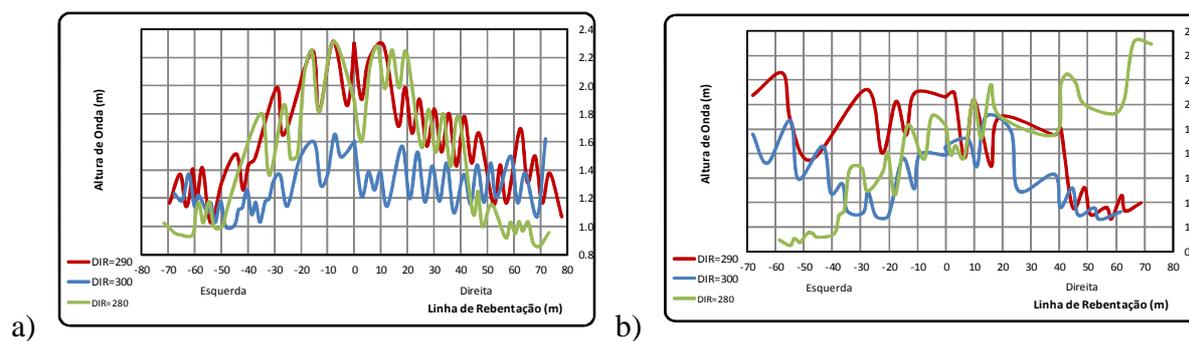


Figura 58. Altura de Onda ao longo das linhas de rebentação sobre o recife para BM, DIR= 300°, T=8,0 s, H=1,5 m, DIR= 290°, T=9,0 s, H=1,5 m e DIR= 280°, T=8,0 s, H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.

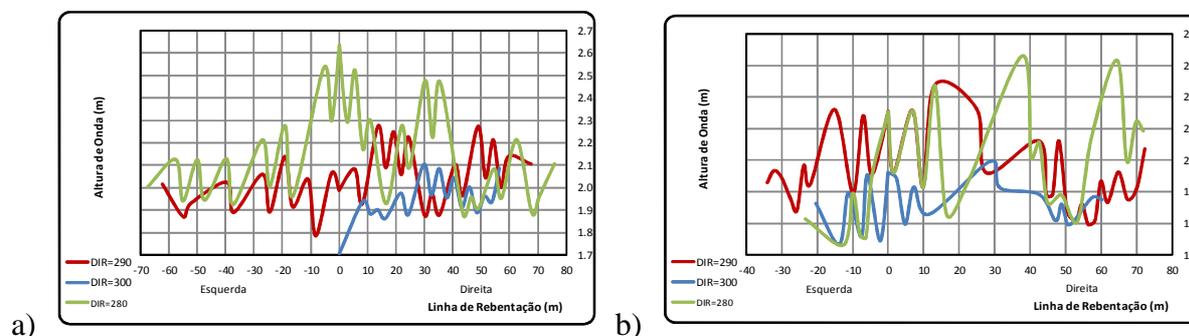


Figura 59. Altura de Onda ao longo das linhas de rebentação sobre o recife para NM, DIR= 300°, T=8,0 s, H=1,5 m, DIR= 290°, T=9,0 s, H=1,5 m e DIR= 280°, T=8,0 s, H=1,5 m. a) Recife de 45°. b) Recife de 66°.

Das Figura 58 e 59 pode-se verificar que para as direções de agitação (300°, 290° e 280°) e altura de onda incidente (1,5 m) mais frequentes, ocorre o seguinte (em ambos os recifes):

- Em BM – Uma diminuição da altura de onda para a direção de 300° e um aumento para as direções de 290° e 280°;
- Em NM – Um aumento da altura de onda para as três direções, embora seja mais acentuado na direção de 280°.

7 CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi analisar o desempenho de um recife artificial a construir na praia da Leirosa para melhorar as condições locais para a prática do *Surf*.

Analisaram-se duas geometrias para o recife, comparando os valores das características das ondas (alturas de onda, períodos e direções) e dos parâmetros de *surfabilidade* (linha de rebentação, número de Iribarren e ângulo de rebentação) para condições de agitação incidente frequente na zona em estudo.

O estudo iniciou-se com uma análise de funcionamento do recife, onde se descreveram os parâmetros que permitem aquela análise em termos da prática do *Surf*, apresentando-se também uma metodologia de análise do funcionamento de um recife artificial.

Seguidamente, foi feita uma caracterização geral da zona de estudo e uma apresentação das soluções de recife adotadas.

Caracterizou-se a agitação marítima na zona de estudo, utilizando o modelo numérico SWAN para simular a propagação da agitação marítima desde uma boia-ondógrafo existente nas proximidades até à zona de implantação do recife. Dessa caracterização foi possível determinar quais os casos de agitação mais frequentes correspondentes a um período de recolha de dados, entre o dia 7 de Outubro de 2008 e o dia 31 de Março de 2009, (IH, 2009), da boia-ondógrafo já mencionada (816 registos na totalidade).

Com a aplicação do modelo numérico DREAMS (Fortes, 1993) e tendo em conta os casos de agitação marítima mais frequentes (com direções de agitação a variar entre 300° e 280°, períodos de onda a variar entre 9,0 s e 7,0 s e com alturas de onda a variar entre 2,5 m e 1,0 m) determinaram-se os valores de alturas de onda, os índices de rebentação, as velocidades e as direções, para as duas soluções de recife, assim como para a situação sem recife.

Com base nos resultados do modelo DREAMS, foram determinados os parâmetros de *surfabilidade*, nomeadamente, o ângulo de rebentação, o número de Iribarren (tipo de rebentação) e a linha de rebentação, que caracterizam o funcionamento do recife para a prática do *Surf*.

Verificou-se, por fim, que os resultados do modelo, preveem, na maioria dos casos de agitação estudados, uma rebentação do tipo mergulhante, um valor do ângulo de rebentação ao longo da linha de rebentação muito oscilante, mas que em média apresenta um valor de 40°, assim como, um aumento dos valores da altura de onda incidente.

Pode então concluir-se que, para ambas as soluções de recife (45° e 66°), os resultados foram os esperados, induzindo desta forma boas condições para a prática de *Surf*.

Para o recife de 45° a média do valor do ângulo de rebentação é inferior (cerca de 36°) à do recife de 66° (45°), o que corresponde a um recife indicado para *surfistas* avançados/profissionais e para *surfistas* intermédios, respectivamente.

Importa referir que, em relação à proteção costeira, serão necessários estudos para a determinação da morfodinâmica do local de implantação do recife, por forma a determinar de que modo se comporta a erosão e sedimentação dos fundos marinhos locais.

Outro aspecto importante a ter em conta no futuro será o da realização de estudos económicos, considerando diferentes tipos de materiais e técnicas de construção para o recife artificial.

BIBLIOGRAFIA

Antunes do Carmo, J.S.; Schrek Reis, C.; Freitas, H. (2010). “*Working with Nature by protecting Sand Dunes: A Case Study*”. *Journal of Coastal Research* (em revisão).

Battjes, J.A. (1974). “Surf similarity”. *Proc. 14th International Conference on Coastal Engineering*, pp. 466-479.

Berkhoff, J.C.W. (1972). “Computation of combined refraction-diffraction”. *Proc. 13th International Conference in Coastal Engineering, Vancouver, Canada, Vol. 2*, pp. 471-490.

Booij, N.; Ris, R.C.; Holthuijsen, L.H. (1999). *A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation*. *J. Geographical Research*, C4, 104, 7649-7666.

Boscombe Surf Reef, Bournemouth: <http://www.bournemouth.co.uk/things-to-do/surf-reef>, acessado a 12 de Abril de 2012.

Coleman, A. (2001). *Adept Collections*.

Covas, J.A.; Fortes, C.J.E.M.; Fernandes, J.L.M. (1992). “Modelação da refração e difração de ondas marítimas pelo método dos elementos finitos”, in *Proc. III Encontro Nacional de Mecânica Computacional*. Coimbra, 28 a 30 de Setembro.

Fredsøe, F.; Deigaard, R. (1997). *Mechanics of Coastal Sediment Transport. Advanced Series on Ocean Engineering*, Institute of Hydrodynamics and Hydraulic Engineering – Technical University Denmark. Singapore, New Jersey, Hong Kong: ed. World Scientific, v.3.

Fortes, C.J.E.M. (1993). *Modelação matemática da refração e difração combinadas de ondas marítimas (análise pelo método dos elementos finitos)*. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica, perfil de Energia. IST.

Fortes, C.J.E.M.; Covas, J.A.; Fernandes, J.L.M. (1996). *Modelos Matemáticos DIFRES e DREAMS. Aplicação nos Estudos de Ressonância e Agitação do Porto da Baleeira*. *Revista da Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, APRH*, vol. 17, no 1, março.

Fortes C. J. E. M.; 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. E. M.; Neves, M. G.; Mendes, L.; Monteiro, P. (2007b). *Viabilidade de 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. Recifes artificiais para o Surf: revisão bibliográfica. Relatório ***/07-NPE.*

Fortes, C.J.E.M.; Pinheiro, L.V.; Palha, A.C. (2007c). “O pacote SOPRO_3.1: Evoluções recentes”. 4as. Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária. Lisboa, Outubro.

Hasselmann K.; Barnett, T.P.; Bouws, E.; Carlson, H.; Cartwright, D.E.; Enke, K.; Ewing, J.A.; Gienapp, H.; Hasselmann, D.E.; Kruseman, P.; Meerburg, A.; Miller, P.; Olbers, D.J.; Richter, K.; Sell, W.; Walden, H. (1973). *Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP)*. *Ergänzungsheft zur Deutschen Hydrographischen Zeitschrift Reihe, A(8) (Nr. 12)*, pp.95.

Henderson, A., R. (2001). “Breaking Wave Loads On Offshore Wind Turbines”. EWEA Special Topic Conference on Offshore Wind Energy, Brussels.

Hoefel, F. G. (1998). *Morfodinâmica de praias arenosas oceânicas: uma revisão bibliográfica*. Editora da Univali. Itajaí, 92p.

Hutt, J.A.; Black, K.P.; Mead, S.T. (2001) *Classification of surf Breaks in Relation to Surfing Skill*. *Journal of Coastal Research*, special issue 29, pp. 66 - 81.

IH – Instituto Hidrográfico (2009). *Tratamento de dados de agitação marítima: Leirosa*, Relatório Técnico.

Life On Perth (2007). Surfing at Cables Artificial Surfing Reef: <http://www.lifeonperth.com/cablessurf.htm>, acedido a 29 de Abril de 2012.

Lynett, P.; Liu, P. L.-F. (2002). *Modeling Wave Generation, Evolution, and Interaction with Depth Integrated, Dispersive Wave Equations*. COULWAVE Code Manual Cornell University Long and Intermediate Wave Modeling Package.

Mendonça, A.; Proença, B.; Fortes, C.J.; Neves, M.G. (2010a). *Estudo da Hidrodinâmica em torno do Recife Artificial para o Surf a construir em São Pedro do Estoril, Cascais. Aplicação dos Modelos de Boussinesq: DREAMS e FUNWAVE*. Revista da Gestão Costeira Integrada 10(1), pp. 95 - 125.

Mendonça, A.; Fortes, C.J.; Capitão, R.; Neves, M.G.; Antunes do Carmo, J.S. (2010b). “Simulação da propagação de ondas sobre um recife artificial. Modelação numérica com o modelo DREAMS. 10º Congresso da Água – Marcas d’Água, Algarve, 2 a 24 de Março, cd-rom.

Narrowneck Artificial Surfing Reef: <http://www.surfingramps.com.au/Narrowneck.htm>, acessado a 12 de Abril de 2012.

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*. Relatório182/07-NPE.

Pinheiro, L.V.; Fortes, C.J.E.M.; Fernandes, J.L. (2008). *Gerador de Malhas de Elementos Finitos para a Simulação Numérica de Propagação de Ondas Marítimas*. Revista Internacional de Métodos Numéricos para o Cálculo y Diseño en Ingeniería, 24, pp. 369-391.

Ramos, A. (2012). *Análise do comportamento de uma estrutura de protecção submersa face a diferentes regimes de ondulação*. Tese de mestrado em Engenharia do Ambiente. Coimbra, Janeiro.

Reis, C.S.; Antunes do Carmo J.S.; Freitas, H. (2005). “Leirosa sand dunes: A case study on coastal protection.” Proc. IMAM - Maritime Transportation and Exploitation of Ocean and Coastal Resources, Lisbon, 26-30 September, 1469-1474. Ed. Taylor & Francis / Balkema. ISBN Vol. 2: 0 415 39374 4, cd-rom: 0 415 39433 3.

Reis, C.S.; Freitas, H. (2002). "Rehabilitation of the Leirosa sand dunes". In: Littoral 2002: The Changing Coasts. Eurocoast/EUCC (Porto, 22-26 September), III, 381-384.

Surflines (2008). "After years of unspectacular closeouts, Pratte's Reef is removed from El Segundo": http://www.surflines.com/surf-news/after-years-of-unspectacular-closeouts-prattes-reef-is-removed-from-el-segundo-sandbagged_19261/, acessado a 30 de Maio de 2012.

Surflines (2006). "New Zealand artificial surfing reef goes off": http://www.surflines.com/surf-news/new-zealand-artificial-surfing-reef-goes-off-welcome-to-the-future_1980/, acessado a 30 de Maio de 2012.

ten Voorde, M.; Neves, M.G.; Antunes do Carmo, J.S. (2008). *Estudo Preliminar da Geometria de um Recife Artificial para Protecção Costeira e para a Prática de Surf na Costa Oeste Portuguesa*. Revista da Gestão Costeira Integrada 8(1), pp. 65 - 79.

Walker, J.R. (1974). *Recreational Surf Parameters*. Tech. rept. 30. University of Hawaii, James K.K. Look Laboratory of Oceanographic Engineering.

Zundel, A.K. (2005). *Users Manual for the Surface Water Modeling System, Version 9.0, 2005*. Brigham Young University, Provo, Utah, U.S.A.