

## PRAIA ARTIFICIAL DE MACHICO (MADEIRA)

Sanches do Valle, A., Mil-Homens, J.

WW – Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, S.A.

Rotunda Nuno Rodrigues dos Santos, 1B – 10<sup>o</sup>, 2685-223 Portela LRS

[sanchesvalle@wwsa.pt](mailto:sanchesvalle@wwsa.pt) , [joamilhomens@wwsa.pt](mailto:joamilhomens@wwsa.pt)

### RESUMO

Na presente comunicação apresentam-se os estudos realizados no âmbito da concepção e projecto da Praia Artificial de Machico, empreendimento realizado em 2008 por iniciativa da **Direcção Regional de Ordenamento do Território (DROT)** da **Secretaria Regional do Equipamento Social e Transportes da Região Autónoma da Madeira**.

Esta praia localiza-se no extremo nordeste da baía de Machico (costa sul da ilha da Madeira), na margem esquerda da foz da ribeira de Machico, tendo sido construída através de enchimento artificial de uma zona ao abrigo de um esporão especialmente implantado e concebido para garantir a estabilidade dinâmica da praia e a respectiva integração urbanística e funcional.

### 1. LOCALIZAÇÃO

A baía de Machico localiza-se na zona nascente da costa sul da Ilha da Madeira (Figura 1)

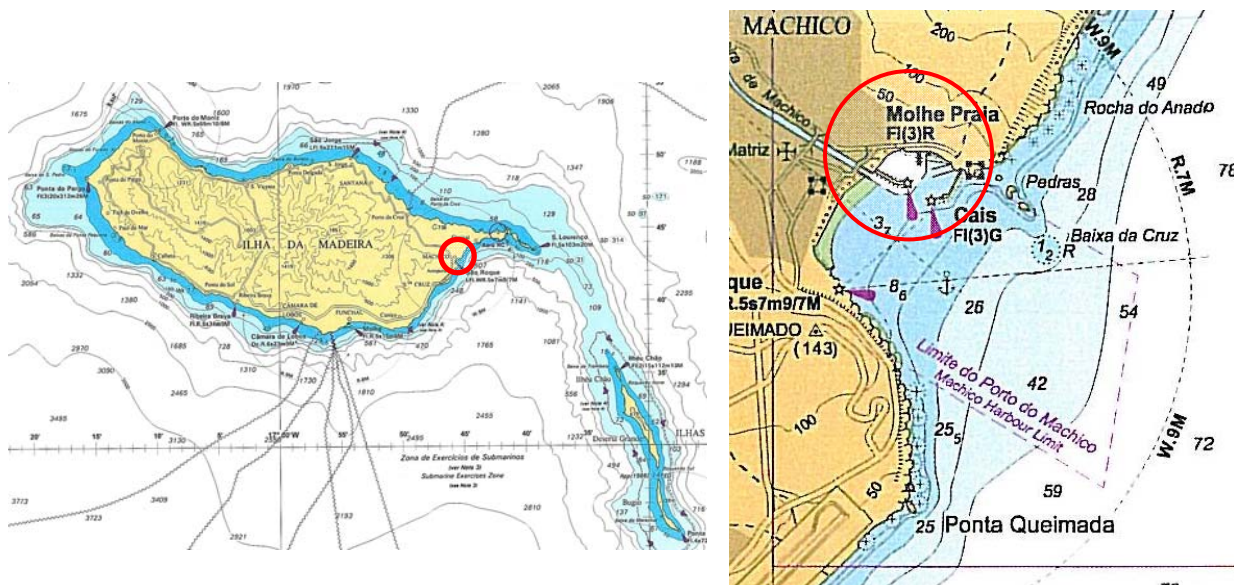


Figura 1 – Localização da Baía de Machico

Esta baía é, basicamente, um plano de água confinado (Figuras 1 e 2) com uma forma rectangular, com um comprimento de cerca de 700 metros e uma largura da ordem de 420 metros, inserido num trecho costeiro com uma orientação E-60°-N, pelo que a entrada da baía está orientada a SE.

Os limites laterais da baía são constituídos por falésias escarpadas enquanto que ao longo da zona central da baía a respectiva orla marginal é constituída por uma praia de calhau rolado, ao longo da qual se desenvolve a frente urbana da cidade de Machico.



## 6<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

Sensivelmente na zona intermédia da baía da baía desagua a ribeira de Machico, cujo troço terminal, no atravessamento da praia, se encontra canalizado entre dois muros de ala definindo um canal de escoamento com 22 metros de largura.



**Figura 2 – Vista geral da Baía de Machico**

A fim de não afectar a visibilidade para a baía da frente urbana de Machico nem ocupar a respectiva praia de calhau considerou-se que a praia artificial deveria ficar implantada a nascente da foz da ribeira, zona no limite da qual já existia uma intervenção de requalificação da frente marginal, estendendo-se até à área do porto de Machico (Figura 3).



**Figura 3 – Local de construção da praia**

## 2. CONDIÇÕES NATURAIS

### 2.1- Marés

A maré na zona marítima da Madeira é do tipo semi-diurno regular com os seguintes níveis de referência:



## 6<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

- Máxima preia-mar de águas vivas (PM<sub>máx</sub>) ..... ~ +2,80 m (ZH)
- Nível médio (NM)..... +1,40 m (ZH)
- Mínima baixa-mar de águas vivas (BM<sub>mín</sub>) ..... ~ +0,10 m (ZH)

Nas figuras a seguir (Figuras 4 e 5) representam-se graficamente a densidade de ocorrência das amplitudes da maré, por escalão de amplitude, e a respectiva distribuição acumulada.

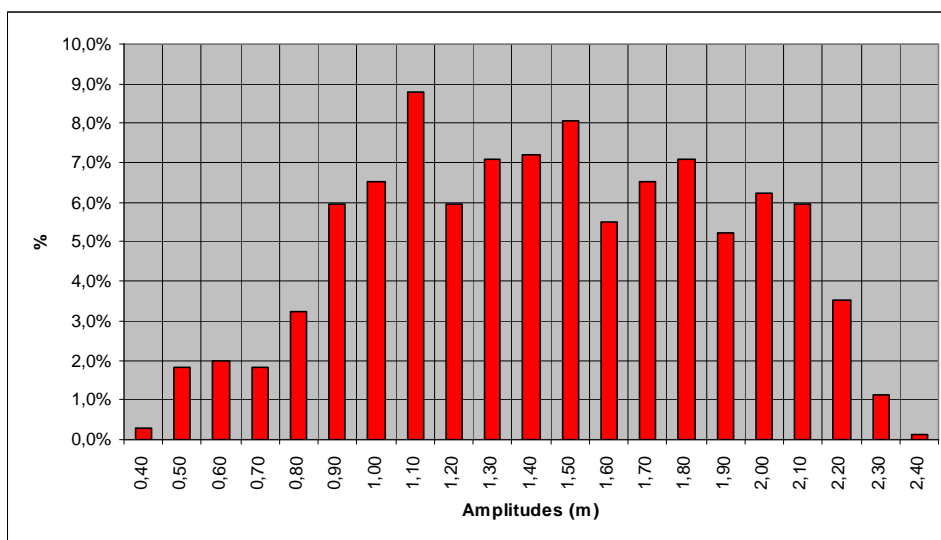


Figura 4 – Densidade de amplitudes de maré (2008)

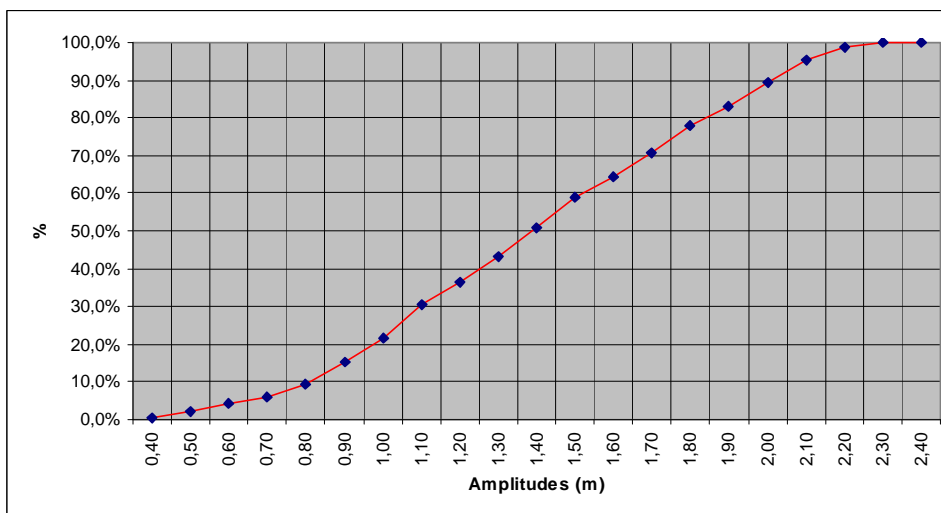


Figura 5 – Distribuição de amplitudes de maré (2008)

### 2.2- Fundos naturais

De uma forma geral os fundos da baía de Machico, constituídos por calhau rolado, são bastante regulares com uma inclinação média da ordem de 2,8%.

A batimétrica -10,00 m(ZH) desenvolve-se praticamente ao longo de toda a extensão da zona da entrada da baía.



## 6<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

### 2.3- Agitação marítima

A agitação marítima ao largo da Baía de Machico é condicionada pela posição particular desta baía na costa sul da Ilha da Madeira e o grau de abrigo provocado pela Ponta de S. Lourenço e pelas Ilhas Desertas.

Efectivamente, tendo em conta as características da referida localização conclui-se que apenas a agitação proveniente do sector SW-SE é que é determinante em termos de alturas de onda na zona da baía, dado que a agitação proveniente de rumos mais rodados a norte ou a oeste só atingirá esta zona com as ondas muito refractadas.

O estabelecimento das condições de agitação marítima à entrada da Baía de Machico foi baseado nos seguintes elementos e estudos:

- a) Elementos constantes de estudos anteriores realizados para esta zona;
- b) Dados constantes dos seguintes documentos técnicos sobre a agitação na costa da Madeira
  - “Regime de Agitação Marítima. Ondógrafo do Funchal. Nota Técnica”, elaborada em Outubro de 1998 pela WW – Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, Lda., para a Administração dos Portos da Região Autónoma da Madeira.
  - “Regime de Agitação Marítima. Ondógrafo do Caniçal (Novembro de 1996 a Junho de 1998). Nota Técnica”, elaborada em Maio de 1999 pela WW – Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, Lda., para a Administração dos Portos da Região Autónoma da Madeira.
- c) Estudo realizado por W. Baird, intitulado “Algumas observações sobre o clima de ondas de Portugal”, no qual é feita uma caracterização, e uma análise comparativa com outros métodos, do clima de agitação na zona da Ilha da Madeira através dos dados de vento (“hindcast”) relativos a um período de 40 anos no oceano Atlântico (norte e sul).
- d) Dados (não tratados estatisticamente) da bóia ondógrafo do Caniçal.

Com base nestes elementos considerou-se que o regime de extremos da altura significativa da agitação marítima ao largo da costa sul da Ilha da Madeira, proveniente dos rumos que poderão afectar directamente a Baía de Machico, é o representado no Quadro 1.

**Quadro 1**

#### Ilha da Madeira. Costa Sul

#### Regime de agitação marítima (valores extremos)

PERÍODO DE RETORNO (anos)	RUMOS		
	SW	S	SE
1 ano	Hs = 3,9 m	Hs = 3,2 m	Hs = 2,0 m
5 anos	Hs = 4,6 m	Hs = 4,3 m	Hs = 2,6 m
10 anos	Hs = 5,1 m	Hs = 4,9 m	Hs = 3,0 m
25 anos	Hs = 5,6 m	Hs = 5,7 m	Hs = 3,4 m
50 anos	Hs = 6,1 m	Hs = 6,4 m	Hs = 3,8 m
100 anos	Hs = 6,5 m	Hs = 7,0 m	Hs = 4,1 m

### 3. METODOLOGIA ADOPTADA

A metodologia adoptada para o estabelecimento da configuração de equilíbrio da praia baseou-se na caracterização da orientação das cristas e da distribuição das alturas de onda na zona de implantação da praia, tendo em consideração o efeito das respectivas obras de abrigo e de contenção. Esta metodologia revelou-se como particularmente adequada, dada a sua grande simplicidade, para praias encaixadas em que não se verifica uma variação significativa da orientação das cristas das ondas incidentes, qualquer que seja o rumo e o período das ondas ao largo.

O estudo da propagação da agitação marítima desde o largo até à zona de implantação da praia foi realizado em duas fases distintas, tendo sido usados os modelos matemáticos de elementos finitos NSW e BW do sistema Mike21 do Danish Hydraulic Institute (DHI):

- Propagação desde o largo até à entrada da Baía de Machico;
- Propagação no interior da baía.

De referir que o módulo NSW tem em consideração o efeito da refacção e empolamento devido à variação de profundidade, efeito do vento e dissipação de energia por atrito no fundo e por rebentação e o módulo BW simula a propagação de ondas de pequeno período em profundidades pequenas e intermédias, reproduzindo a maior parte dos fenómenos ligados à propagação das ondas em batimetrias complexas que interessam à Engenharia Costeira, nomeadamente o empolamento, a refacção, a difracção e a reflexão parcial de ondas, podendo adoptar-se ondas regulares ou irregulares.

Para a propagação da agitação desde o largo até à entrada da Baía de Machico consideraram-se dois domínios de cálculo (Figura 6):

- Domínio 1, para os rumos 210°N, 195°N, 180°N, 165°N e 150°N
- Domínio 2, para os rumos 150°N, 135°N e 120°N

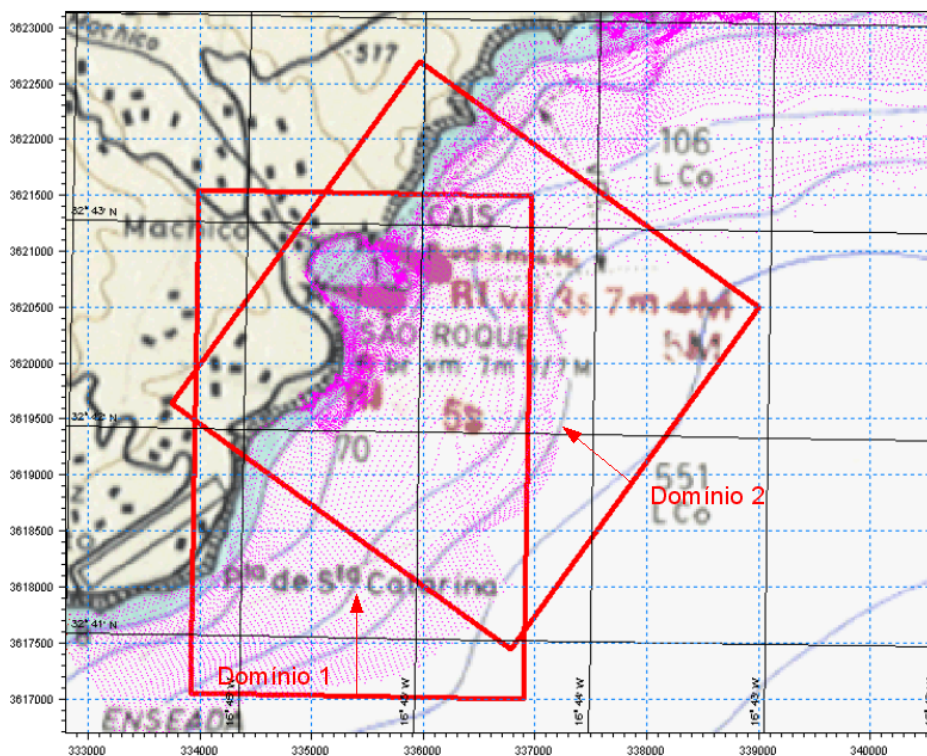
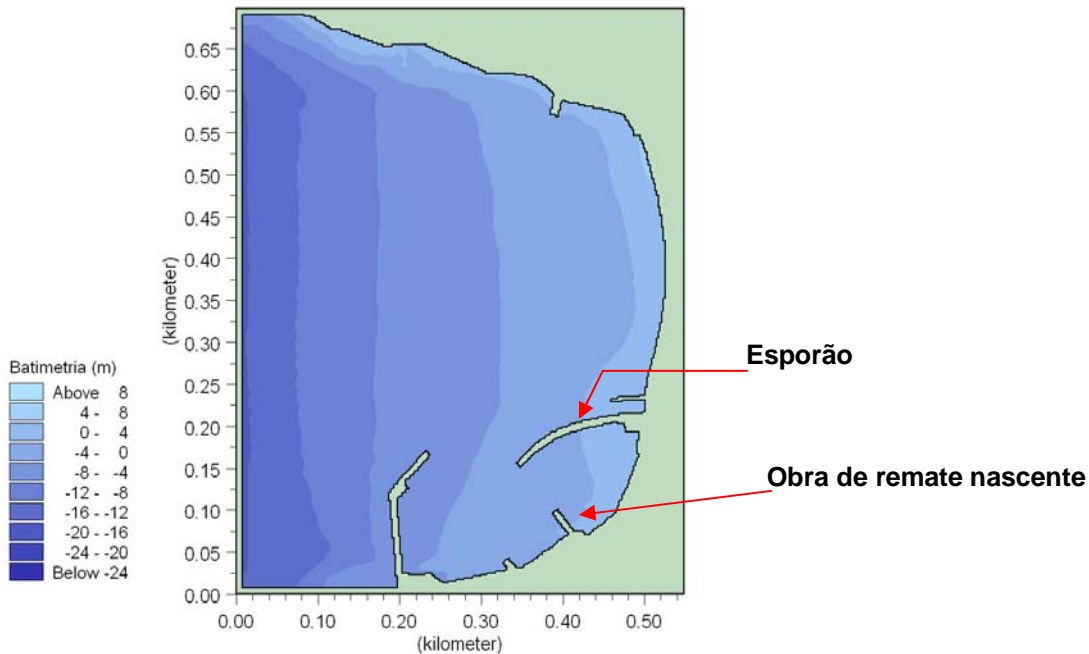


Figura 6 – Domínios de cálculo do modelo NSW

Para os rumos indicados foi estudada a propagação da agitação associada aos períodos de 8, 10 e 12 segundos.

Na segunda fase, correspondente ao estudo da propagação da agitação no interior da baía, foi possível, com base nas características da agitação na zona da entrada da baía, obtidas na fase precedente, avaliar, numa escala menor, as condições de incidência das ondas na zona da praia e simular, para diferentes implantações, configurações e comprimentos do esporão de abrigo a construir, a respectiva eficiência (Figura 7).



**Figura 7 – Esquema das obras de abrigo da praia**

Com base nos valores da direcção da agitação na zona do alinhamento de entrada da baía, após a sua propagação desde o largo, foi possível definir as condições de simulação com o modelo BW, tendo para cada período sido escolhidas as direcções extremas e uma direcção intermédia (Quadro 2).

**Quadro 2 – Direcções da agitação adoptadas no modelo BW**

Tm (s)	Direcção
<b>8</b>	165° N
	145° N
	120° N
<b>10</b>	160° N
	140° N
	120° N
<b>12</b>	155° N
	135° N
	120° N

Na Figura 8 apresentam-se os resultados obtidos, em termos de elevação da superfície livre, relativos a ondas com o período de 12 s, que representam a configuração das cristas das ondas na zona abrigada pelas obras, o que constitui um dado importante na previsão da configuração aproximada da praia a criar, dado que a respectiva configuração planimétrica tende a orientar-se paralelamente às cristas das ondas incidentes.

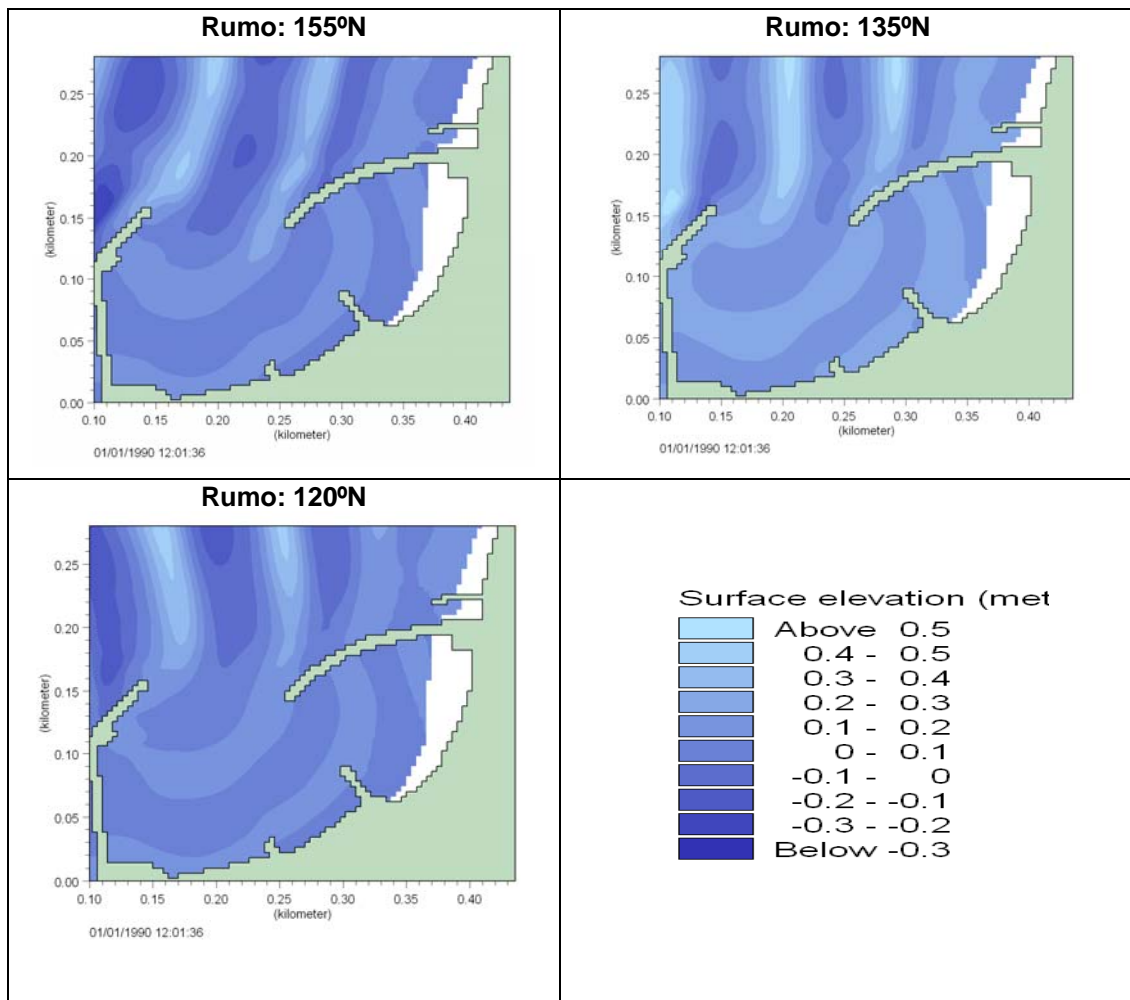


Figura 8 – Elevação da superfície com T=12s

Nas Figuras 9 e 10 apresenta-se a sobreposição das cristas das ondas, na zona abrigada pelas obras de contenção da praia artificial, relativas às diferentes direcções e períodos considerados.

Através da observação destas figuras pode concluir-se que a configuração das cristas das ondas na zona abrigada pelo esporão é praticamente independente do rumo e do período das ondas incidentes.

Com base nesta metodologia definiram-se as obras de abrigo e de contenção da futura praia e, em função destas, estabeleceu-se a configuração de equilíbrio da praia a criar através de enchimento artificial na zona abrigada por essas obras.

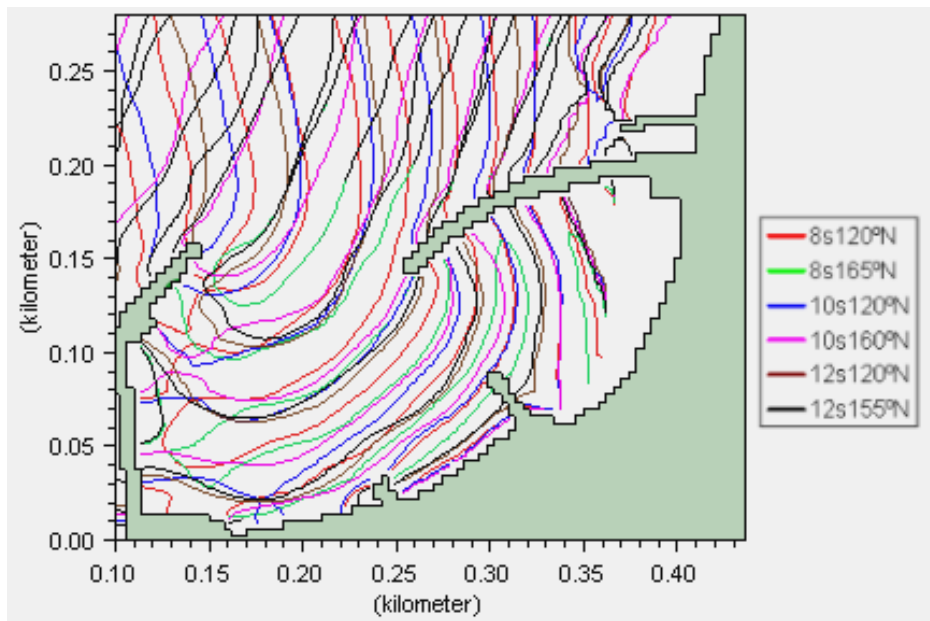


Figura 9 – Cristas das ondas incidentes para vários rumos e períodos

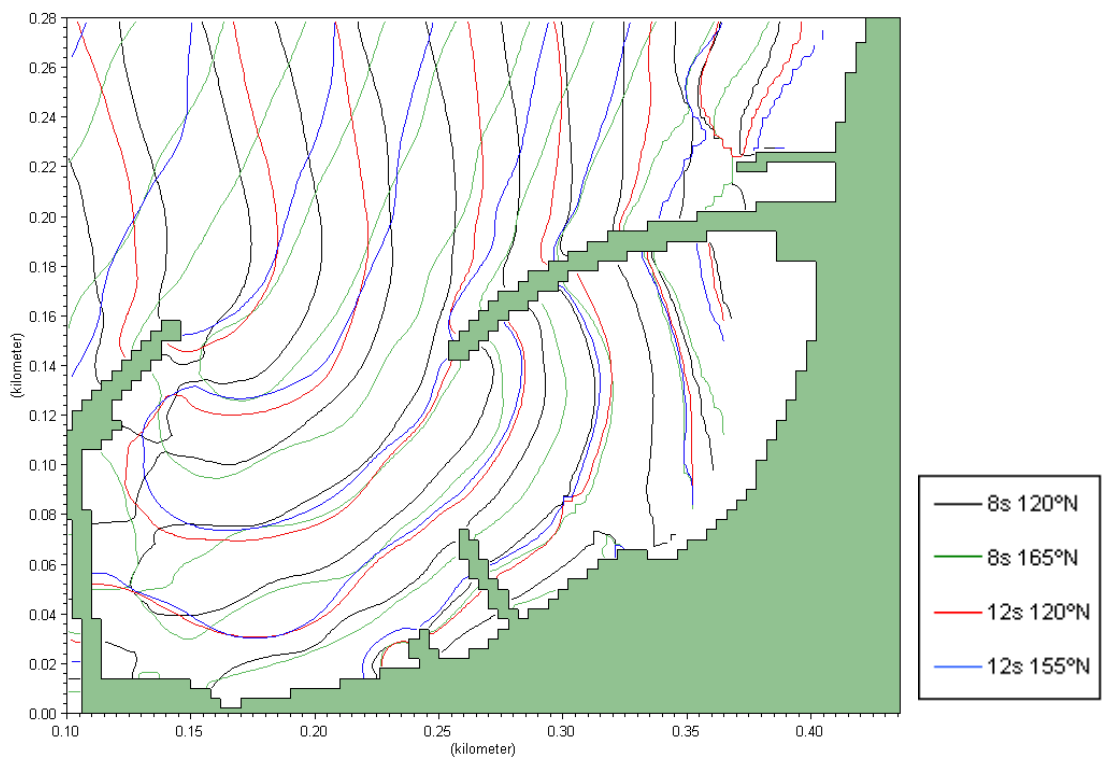


Figura 10 – Solução adoptada. Cristas das ondas incidentes para vários rumos e períodos

#### 4. DEFINIÇÃO GERAL DAS OBRAS DE ABRIGO E DA PRAIA

A praia artificial é limitada pelas seguintes três obras (Figura 11):

- Esporão principal de abrigo, implantado na zona imediatamente adjacente ao muro de guiamento da margem esquerda da embocadura da ribeira de Machico. Este esporão, com um comprimento total da ordem de 142 m, é constituído por dois alinhamentos rectos concordados entre si por uma curva circular, estando a respectiva cabeça implantada em profundidades de -3,00 m(ZH).
- Esporão de remate nascente, implantado no extremo nascente da praia, com um desenvolvimento rectilíneo e um comprimento de cerca de 42 m.
- Soleira submersa, coroada à cota 0,00 m(ZH), implantada em toda a largura da entrada da enseada definida pelas extremidades do esporão de abrigo e da obra de remate nascente, numa extensão da ordem de 70 m, destinada a minimizar as perdas de areia em resultado do transporte aluvionar transversal, prevê-se a construção de uma soleira submersa em toda a largura da entrada da enseada definida pelas extremidades do esporão de abrigo e da obra de remate nascente.

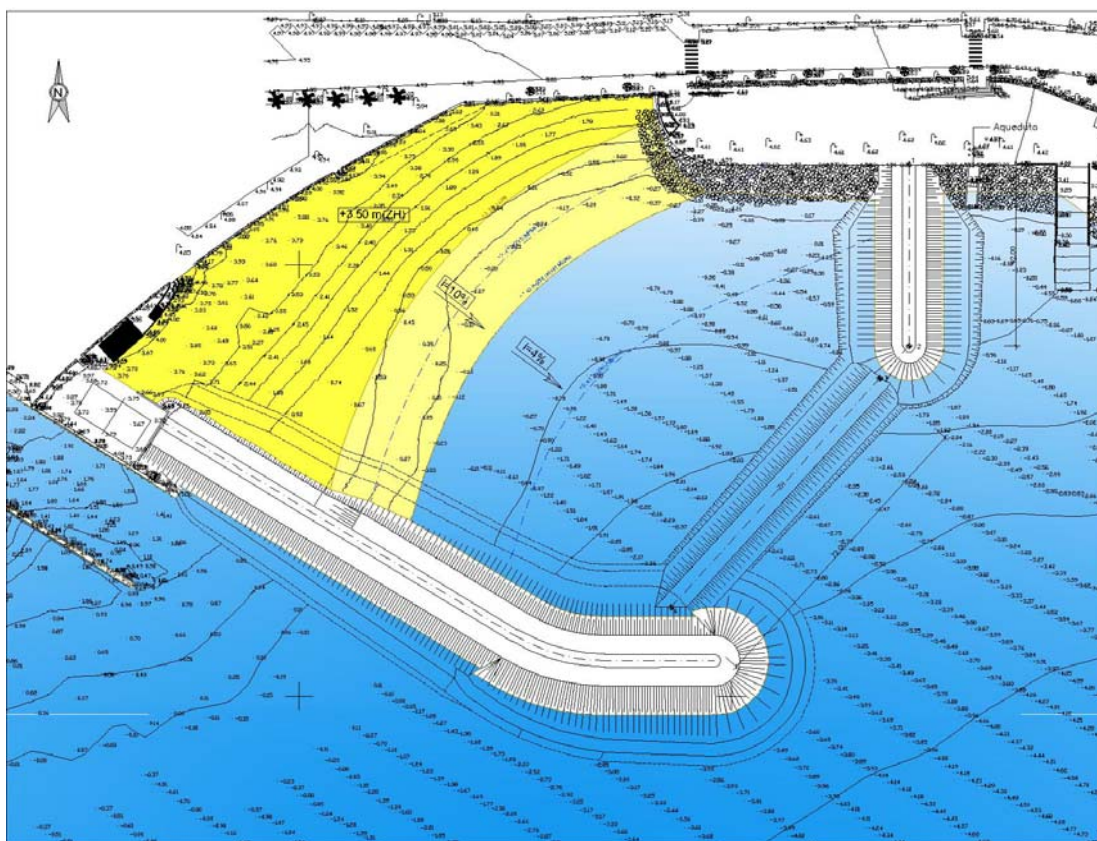
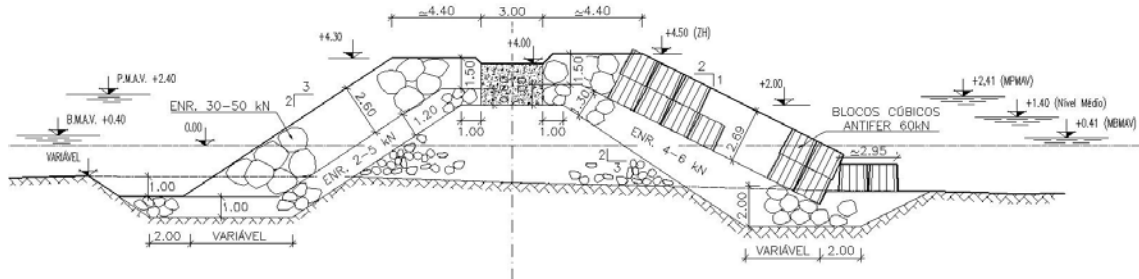


Figura 11 – Planta geral da praia e das respectivas obras de abrigo

O esporão principal de abrigo é uma obra de talude, para cujo manto exterior de protecção foram adoptados dois tipos de revestimento, em função das cotas dos fundos adjacentes à respectiva zona de aplicação e, consequentemente, das alturas de onda significativas compatíveis com tais profundidades, a saber:

- Desde o enraizamento até à zona com fundos da ordem de -1,50 m(ZH) o manto exterior de protecção tem uma inclinação de 3(H):2(V), sendo constituído por duas camadas de enrocamento de 30 a 50 kN.

- No trecho da obra implantado em zonas com profundidades superiores a -1,50 m(ZH), incluindo a zona da cabeça, o manto exterior de protecção tem uma inclinação de 2(H):1(V) e é constituído por duas camadas de blocos cúbicos Antifer, em betão, com um peso unitário de 60 kN – Figura 12.



**Figura 12 – Perfil transversal do trecho final do esporão principal de abrigo (poente)**

A obra de remate nascente é também um esporão de taludes protegido por duas camadas de enrocamentos de 10 a 30 kN

A soleira submersa é constituída por um prisma de ToT, protegido exterior e superiormente por enrocamento seleccionado de 10 a 30 kN.

Considerando que o enchimento da praia iria ser feito com areia com um diâmetro médio de 300  $\mu$ , determinou-se pela aplicação do método de Dean, o perfil de equilíbrio da praia nas zonas abaixo do nível médio. De acordo com este critério concluiu-se que em perfil transversal o perfil de enchimento da praia, abaixo do nível médio [+1,40 m(ZH)] teria ter uma inclinação máxima da ordem de 4%.

A berma superior da praia foi fixada à cota +3,50 m(ZH). Por razões de ordem económica, preveu-se que a camada de enchimento artificial de areia tivesse apenas uma espessura de 1,0 m, pelo que a modelação do perfil da praia abaixo desta camada superior de areia fosse feito parcialmente com ToT e com o aproveitamento do material da berma superior da praia pré-existente (areia escura e calhau) retirado para permitir o enchimento de areia amarela com a espessura preconizada.

A praia tem um desenvolvimento total de cerca de 125 metros sendo a sua largura, medida ao nível médio, variável entre 70 m, do lado poente, e 25 m, do lado nascente, enquanto que a área do plano da água na zona abrigada relativamente ao nível médio (+1,4 m/ZH) é de aproximadamente 6.800 m<sup>2</sup>.

Complementarmente, foram executadas escadas e rampas de acesso à praia e equipamentos de apoio (balneários, duchas, etc.).

## **5. CONSTRUÇÃO DA PRAIA**

O conjunto de obras da Praia Artificial de Machico foi executado no primeiro semestre de 2008 pela TECNOVIA MADEIRA, Sociedade de Empreitadas, S.A., sendo o Dono da Obra a Direcção Regional do Ordenamento do Território (Secretaria Regional do Equipamento Social e Transportes, Região Autónoma da Madeira).

Nas Figuras 13 e 14 apresentam-se, respectivamente, uma perspectiva com a previsão da configuração da praia tal como foi prevista na fase de projecto e uma imagem da mesma praia após a respectiva construção.



**Figura 13 – Previsão da configuração da praia (fase de projecto)**



**Figura 14 – Vista geral da praia, após construção**

Nas Figuras 15 a 17 apresentam-se diversas fotografias da fase de construção das obras de abrigo da praia e do respectivo enchimento artificial com areia.



**Figura 15 – Construção do esporão principal de abrigo (poente)**

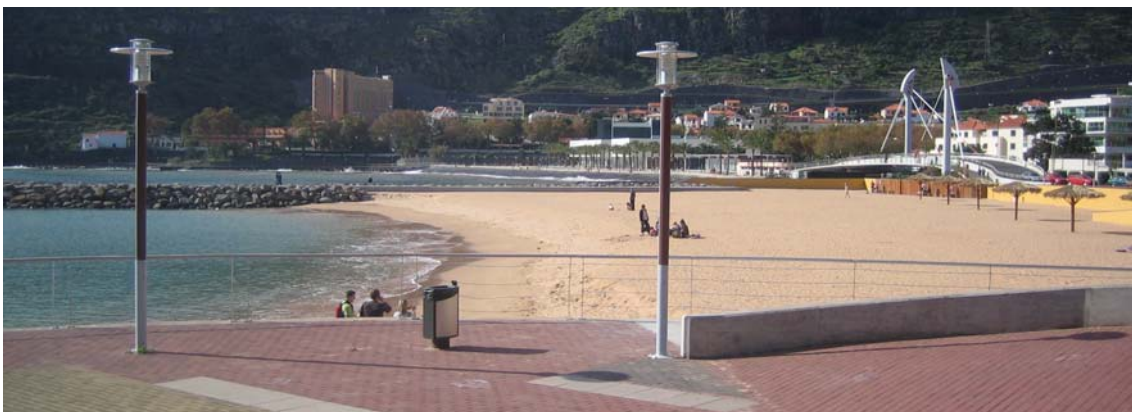


**Figura 16 – Esporão principal de abrigo (poente) e obra de remate nascente**



**Figura 17 – Enchimento artificial de areia**

Nas Figuras 18 e 19 apresentam-se imagens da praia após a respectiva construção e começo de utilização.



**Figura 18 – Aspecto geral da praia**



Figura 19 – Aspecto geral da praia

Apesar da Praia Artificial de Machico ser uma praia ainda bastante recente, durante o Inverno de 2008/09 e a Primavera de 2009 já foi sujeita a diversas situações de temporal. Até à data, pode considerar-se que o comportamento desta praia, tanto em termos de estabilidade como da respectiva configuração geral, é totalmente concordante com definido a nível de projecto.

## 6. FICHA TÉCNICA DA OBRA

**Dono da Obra:** Direcção Regional do Ordenamento do Território (Secretaria Regional do Equipamento Social e Transportes, Região Autónoma da Madeira).

**Projecto:** TPF PLANEGE, Consultores de Engenharia e Gestão, S.A. / WW, Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, S.A.

**Empreiteiro:** TECNOVIA MADEIRA, Sociedade de Empreitadas, S.A.

**Data de conclusão da obra:** Agosto de 2008