

## **AMPLIAÇÃO DO PORTO DE PESCA DE RABO DE PEIXE, SÃO MIGUEL, AÇORES ESTUDOS, PROJETOS E ENSAIOS FÍSICOS TRIDIMENSIONAIS**

Lucília Luís e Sofia Costa Freire (CONSULMAR, Projectistas e Consultores, Lda.)

Maria Teresa Reis, Gabriel Silva e Euclides Rodrigues (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P.)

### **RESUMO**

Rabo de Peixe é uma das mais importantes comunidades piscatórias da ilha de S. Miguel e, simultaneamente, a mais carenciada do país. Dispõe de um pequeno porto de pesca com deficientes condições de operacionalidade, onde operam cerca de 70 embarcações, necessitando de ver as suas infraestruturas significativamente melhoradas.

Para o efeito, a Lotação – Serviço de Lotas dos Açores, encomendou à CONSULMAR – Projectistas e Consultores, Lda. os respetivos estudos e projetos.

Foi analisado um conjunto de onze soluções alternativas, tendo a solução selecionada sido validada no que diz respeito à estabilidade, aos galgamentos e às condições de agitação e sobrelevação, através de modelação física tridimensional.

Nos ensaios em modelo físico foi também analisada a possível influência das obras na alteração das características das ondas na zona de surf.

### **1 – INTRODUÇÃO**

O porto de pesca de Rabo de Peixe, tal como existe atualmente, foi concebido, projetado e construído para ter condicionantes importantes de operacionalidade (CONSULMAR, 2001) devido à sua localização totalmente exposta à agitação do quadrante de norte, ao programa de necessidades então estabelecido e a restrições de ordem financeira.

Foi assumido e verificado nos ensaios em modelo físico reduzido (LNEC, 1998) que a obra de abrigo era francamente galgável, que só se previa estacionamento em flutuação de embarcações em condições favoráveis e que a operacionalidade do cais só se mantinha enquanto as condições de agitação permitiam a faina no mar (condições de agitação caracterizadas por alturas de onda significativa inferiores a 3 m).

Atualmente, dada a importância que este porto tem vindo a assumir, é pretensão da comunidade piscatória de Rabo de Peixe que sejam eliminados os problemas resultantes da: i) Insuficiência de abrigo da bacia portuária; ii) Ausência de postos de estacionamento em flutuação; iii) Inundações resultantes do espraiamento sobre a retenção do terraplano; iv) Inundações resultantes dos galgamentos.

Face aos problemas de operacionalidade e segurança existentes, à perspetiva de crescimento da frota de pesca local, às pretensões da comunidade piscatória de Rabo de Peixe e aos recursos financeiros disponíveis para a região, estabeleceu-se, em conjunto com as entidades tutelares, como Programa de Necessidades a satisfazer, o seguinte (por ordem decrescente de importância):

- Melhorar as condições de abrigo do porto;
- Criar postos de estacionamento em flutuação para cerca de 100 embarcações com comprimentos inferiores a 11 m e calados inferiores a 2 m;
- Reduzir (se possível, eliminar) as inundações do terraplano atual;
- Aumentar a área de terraplano portuário;
- Reduzir as inundações resultantes dos galgamentos do molhecais existente;

- Prever também postos de acostagem para embarcações de recreio e para embarcações marítimoturísticas.

Com vista a satisfazer o Programa de Necessidades estabelecido, foi estudado um conjunto de onze soluções distintas, das quais se selecionou a considerada técnica e economicamente mais vantajosa.

Tratou-se de um estudo que se revestiu de alguma complexidade, não só pelas condições de agitação severas que assolam frequentemente toda a costa norte da ilha, como pelas particularidades das infraestruturas existentes e do Programa de Necessidades a satisfazer.

A sua realização envolveu o uso de várias ferramentas de cálculo, designadamente de um programa matemático de refração espectral para transferência da agitação do largo para o local, modelação matemática da propagação da agitação para o interior do porto, e formulações várias para pré-dimensionamento estrutural dos mantos de proteção, muros cortina e verificação da estabilidade do molhe em estrutura mista.

Envolveu igualmente a realização de ensaios em modelo físico tridimensional para verificação da estabilidade das novas estruturas de abrigo, para avaliação e redução dos galgamentos sobre o molhecais existente e novo contramolhe e para confirmação do grau de abrigo conferido pelas novas obras. Adicionalmente, foram analisados no modelo físico os efeitos das novas obras de abrigo do porto nas características das ondas na área de surf adjacente às novas obras de ampliação do porto de pesca.

Na presente comunicação, é feita apenas a descrição das Soluções Alternativas, em termos conceptuais, dispensando-se a apresentação do seu dimensionamento hidráulico e estrutural, na medida em que foi efetuado pelos métodos convencionais, não merecendo, por isso, destaque, além de que, no capítulo 3, se apresentam os resultados dos ensaios em modelo físico reduzido que incluíram a verificação da estabilidade, dos galgamentos e da agitação no interior e exterior das bacias portuárias.

## **2 – ESTUDOS E PROJETOS REALIZADOS COM VISTA À AMPLIAÇÃO DO PORTO DE PESCA DE RABO DE PEIXE**

### **2.1 – Caracterização das condições naturais locais**

Os agentes naturais mais relevantes para o presente estudo são a hidrografia e natureza dos fundos, as marés e as sobrelevações, e a agitação marítima, sendo, por isso, apenas estes os descritos.

#### **Hidrografia e natureza dos fundos**

A baía de Rabo de Peixe é delimitada a sul por uma escarpa de cerca de 30 m de altura, sendo o seu perímetro caracterizado pelo afloramento da plataforma rochosa, a nascente, e pequenas praias de pedra de razoável dimensão, a sul e a poente, resultantes da erosão da arriba [Fig. 1a)].

A batimétrica -5 m (ZH) apresenta distâncias variáveis à orla costeira, com valores na ordem de 100 a 200 m. Na zona frontal à baía, entre as batimétricas de -5 e -10 m (ZH), os fundos são extremamente irregulares, definindo uma extensa plataforma com um declive médio menor. A partir da batimétrica -10 m (ZH), as profundidades crescem mais rapidamente, mantendo ainda os fundos a configuração geral da baía definida pela linha da costa.

O reconhecimento dos fundos foi efetuado através de registo fotográfico e de ensaios de penetração em 54 estações de inspeção subaquática. Constatou-se que os fundos do interior da bacia são maioritariamente constituídos por substrato e blocos rochosos, podendo estes variar a sua dimensão entre os 0,20 a 0,30 m e cerca de 1,50 m.

Embora nas zonas mais próximas de terra ocorra alguma areia que colmata as pequenas depressões no maciço rochoso, a sua quantidade não tem expressão, não ultrapassando 10 cm de espessura. Refira-se, no entanto, a existência de um depósito sedimentar com alguma expressão, constituído por uma mancha de areia situada a cerca de 70 m a sul do atual cais (100 x 40 m), tendo o eixo maior a direção N-S, com espessuras máximas encontradas de 1 m.

## Níveis de maré e sobrelevações

As marés no Arquipélago dos Açores são do tipo semidiurno regular, apresentando amplitudes médias da ordem de 1,0 m e máximas próximas de 1,9 m (IH, 2011).

Em 2001, no âmbito das 2.<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, organizadas pela PIANC, foi apresentada por Trigo Teixeira et al. (2001) uma análise sobre o temporal de Outubro de 1999, que se apoia em observações visuais de fotografias, onde se refere que os níveis de água no tardoz do molhe se excederam em 1 m. No entanto, não existem quaisquer registos ou dados que corroborem as referidas sobrelevações.

Apesar disso, tendo por base a referida análise, assim como hipóteses simplificativas de funcionamento hidrodinâmico, considerou-se neste estudo que os níveis do mar, nas proximidades e interior do porto, poderiam elevar-se cerca de 0,8 a 1,0 m sobre os níveis estáticos teóricos, em condições de tempestade excepcionais, valores estes que foram analisados nos ensaios em modelo físico tridimensional, tendo sido registado valores compreendidos entre 34 e 57 cm (ver subcapítulo 3.8).

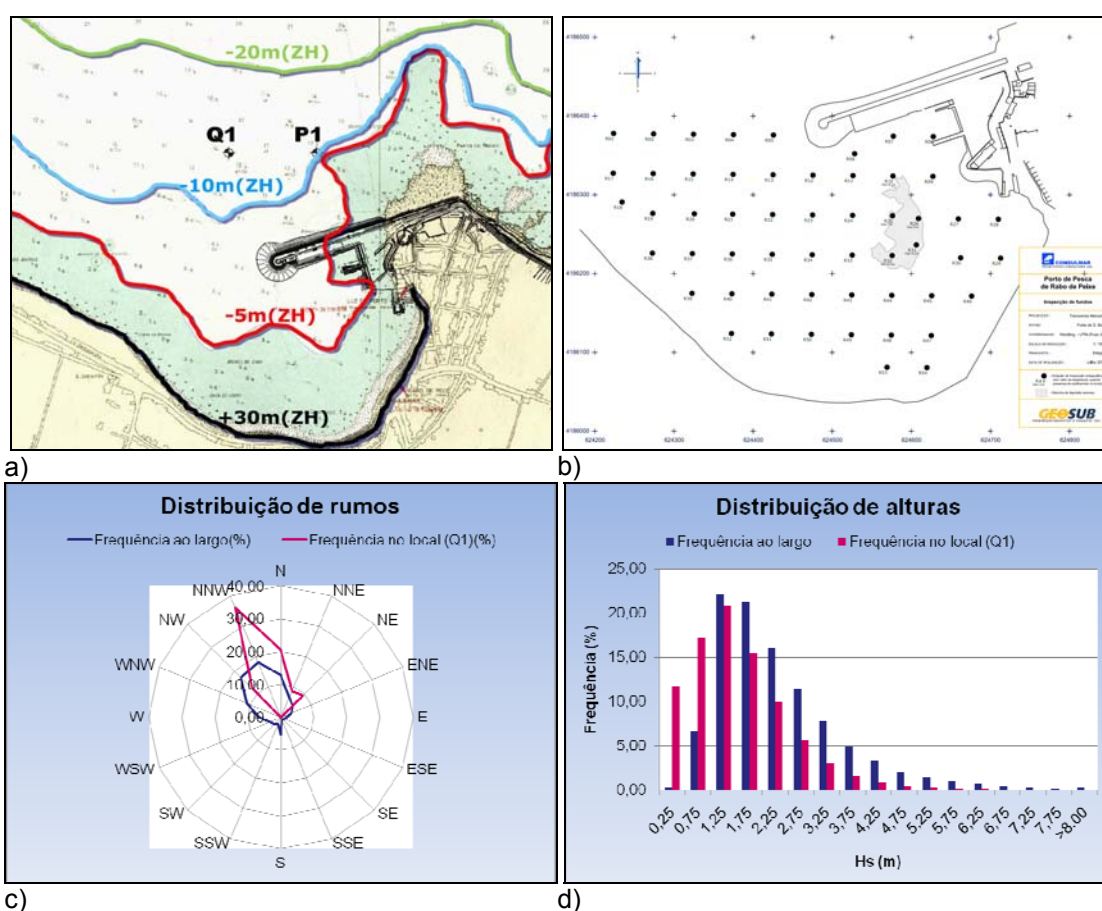


Fig. 1 – a) – Hidrografia; b) – Natureza dos fundos; c) – Agitação – distribuição de rumos; d) – Agitação – distribuição de alturas

## Agitação ao largo e local

O porto de Rabo de Peixe encontra-se exposto à agitação dos quadrantes (sectores de 90°) NW e NE (quase 80%), sendo do primeiro que provém a agitação mais frequente e intensa ao largo (56%). A percentagem de ocorrência de agitação por octantes de rumos (sectores de 45°) toma valores máximos de 17% (NW) e 18% (NNW), diminuindo depois até 8% a oeste e 2% a este [Fig. 1c].

No local, a agitação que atinge o ponto Q1 abrange uma “janela” de direções entre NW e NE, sendo claramente mais frequentes os rumos do octante NNW. De poente para nascente,

verificam-se frequências de 12, 36, 21, 9 e 9%, nos octantes NW, NNW, N, NNE e NE, respetivamente [Fig. 1c)].

Quanto às alturas de onda ao largo, as inferiores a 1 m têm uma ocorrência média de cerca de 7%. As maiores frequências correspondem a ondas com alturas entre 1 e 2 m, com aproximadamente 43% das ocorrências. As ondas com alturas superiores a 3 e 5 m representam aproximadamente 23% e 4 % das ocorrências, respetivamente [Fig. 1d)].

No local, a frequência de alturas de onda inferiores a 1 m é da ordem de 30%, sendo máxima para alturas entre 1 e 2 m (aproximadamente 35%). As ondas com alturas superiores a 3 e 5 m representam cerca de 6 e 0,5% das ocorrências, respetivamente [Fig. 1d)].

Relativamente aos períodos ao largo, verifica-se a predominância dos escalões relativamente baixos, com a quase totalidade (99%) das ondas com períodos inferiores a 11 s. Os períodos mais frequentes pertencem ao escalão dos 6 s, com cerca de 53% das ocorrências. O segundo escalão mais frequente é o de 8 s com aproximadamente 28% dos valores. Os períodos inferiores a 5 s têm uma frequência média anual de cerca de 10%.

No local, os períodos inferiores a 7 s apresentam frequência máxima, quase 50%, seguindo-se períodos de 8 e 10 s, com uma frequência total de aproximadamente 38%. Os períodos superiores a 11 s representam apenas 0,5 das ocorrências.

Com base numa amostra de 25 anos, estimou-se o regime de extremos através da distribuição de máximos de Gumbel, tendo-se obtido os valores indicados no Quadro 1.

**Quadro 1 – Regime de extremos**

Período de Retorno (anos)	RUMO LOCAL (em Q1, a -14 m (ZH))				
	NW	NNW	N	NNE	NE
1	1,2	4,1	<b>5,5</b>	4,0	2,4
5	1,9	4,9	<b>6,9</b>	5,7	3,0
10	2,3	5,2	<b>7,5</b>	6,4	3,2
50	3,0	6,0	<b>9,0</b>	8,1	3,8
100	3,3	6,3	<b>9,6</b>	8,8	4,0

No entanto, as ondas de maior altura patentes neste quadro não têm condições de atuar diretamente sobre as obras de abrigo exteriores, existente e propostas, por limitação dos fundos. São, aliás, características nesta baía as frentes de rebentação que se sucedem para barlamar do molhe existente, em ocasião de tempestade.

No Quadro 2 apresentam-se os valores da altura de onda, Hs, limitada pelos fundos, determinados pelo método de Goda (Takahashi, 1996), para uma gama de profundidades variável entre 13,5 m e 3,5 m.

**Quadro 2 – Alturas de onda limitadas pela profundidade**

Batimétricas m (ZH)	-1	-3	-5	-7	-9	-11
Hs (m)	3,2	4,4	5,6	6,8	8,1	8,4

Como se pode observar pelos valores apresentados no quadro anterior, a partir da batimétrica -10 m (ZH), as alturas de onda limite que aí ocorrem são condicionadas pela profundidade, sendo estes os valores a adoptar para o pré-dimensionamento estrutural das obras de abrigo (CONSULMAR, 2010).

## 2.2 – Descrição sucinta das infraestruturas portuárias existentes e das atuais condições de operacionalidade

O porto tem cerca de 11 anos e, apesar das inúmeras tempestades a que já esteve sujeito, encontra-se em bom estado estrutural. Dispõe de um molhecais em estrutura convencional de taludes, com 240 m de comprimento e orientação NE-SW, com o tronco protegido por blocos Antifer de 150 kN até à -5 m (ZH) e 300 kN na restante extensão e cabeça (CONSULMAR, 1999). Para reduzir os galgamentos, dispõe de um murocortina com cota de coroamento de +9,5 m (ZH), o qual se apresenta francamente galgado para alturas de onda superiores a Hs = 5 m.

O cais no intradorso apresenta cerca de 100 m de comprimento, 23 m de largura e fundos de serviço de -5 e -3 m (ZH). Para descarga e aprovisionamento, o porto dispõe ainda de uma ponte-cais com 35 m de comprimento por 5,5 m de largura e fundos de serviço de -3 m (ZH). Para alagem, o porto dispõe de uma doca de pórtico e de duas rampas-varadouro, estruturas que apenas são operacionais com condições de agitação caracterizadas por alturas de onda inferiores a 2,5 a 3 m (CONSULMAR, 1997).

Para estacionamento a seco da frota de médio porte, o porto dispõe de um terraplano com cerca de 0,7 ha ao nível do cais, sendo as embarcações aladas pelo pórtico. A frota de pequeno porte estaciona na parte superior das rampas, no terraplano do Clube Naval e na zona de acesso à Lota.

### 2.3– Atividades profissionais e desportivas praticadas na baía de Rabo de Peixe

A baía de Rabo de Peixe é fundamentalmente utilizada para atividades relacionadas com a pesca profissional, sendo este porto o mais importante da costa norte da ilha de S. Miguel. Devido às particularidades da maioria da frota de pesca, caracterizada essencialmente por pequenas embarcações de boca aberta, a faina só é possível para condições de agitação em que a altura de onda não excede 2,5 a 3 m, ou seja, cerca de 270 dias por ano.

De entre os 15 spots identificados na ilha de S. Miguel para a prática de surf (Fig. 2), a baía de Rabo de Peixe é também apreciada para a prática da modalidade, especialmente quando as condições de agitação são caracterizadas por alturas de onda de 3 a 4 m, com direção de NW, N ou NE, entre outubro e maio (USBA, 2010), condições que apenas se verificam 20 a 25 dias por ano.

O porto é ainda utilizado pelo Clube Naval para o ensino da vela e da canoagem, bem como para actividades ligadas ao mergulho e pesca submarina.



Fig. 2 – Locais com potencial para a prática de surf

### 2.4 – Programa de Necessidades

Para fazer face aos condicionantes atuais de exploração, nomeadamente ao insuficiente abrigo da bacia portuária, à ausência de postos de estacionamento em flutuação, às inundações resultantes do espriamento sobre a retenção e às inundações resultantes dos galgamentos, foi estabelecido o seguinte Programa de Necessidades (CONSULMAR, 2010):

- Melhorar as condições de abrigo, sem alterar o atual rumo de entrada;
- Criar cerca de 100 postos de estacionamento em flutuação para embarcações até 11 m;
- Reduzir (se possível eliminar) as inundações do terraplano atual;
- Aumentar a área do terraplano portuário;
- Reduzir as inundações resultantes dos galgamentos do molhecais existente;
- Servir as atividades marítimoturísticas e de recreio náutico.

### 2.5 – Descrição das soluções pré-selecionadas ao nível do Estudo Prévio

As onze soluções alternativas previamente equacionadas, em termos conceptuais, correspondem a três soluções alternativas distintas:

**Solução 1** – que envolvia a construção de um grande contramolhe enraizado na ponta de S. Sebastião, correspondendo esta à reivindicada, há muito, pelos pescadores. Tratava-se de

uma solução que excedia largamente o Programa de Necessidades e muito onerosa, demonstrando-se economicamente inviável.

**Solução 2** – Tentava eliminar a grande desvantagem da Solução 1 que resulta do elevado custo, consistindo assim numa solução minimalista. A solução consistia na criação de um anteporto para garantir que as condições de entrada não fossem substancialmente alteradas e a criação de uma pequena bacia a sul. Esta solução não cumpria o Programa de Necessidades e acabou por se revelar também demasiado onerosa, devido ao excessivo número de obras de abrigo.

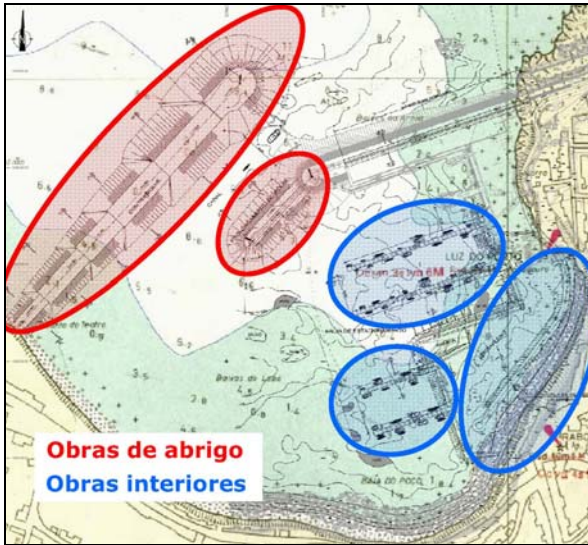
**Solução 3** – Para fazer face às desvantagens apresentadas pelas soluções anteriores surgiu a Solução 3, consistindo esta na construção de um contramolhe enraizado na base da arriba, implantado ainda na zona de sombra do atual molhe, criando-se assim uma ampla bacia de estacionamento em flutuação e um amplo terraplano.

A evolução de cada solução alternativa passou pelo estudo de várias variantes: quatro no caso da Solução 1 e duas no caso das Soluções 2 e 3, perfazendo um total de onze.

As principais características das soluções pré-selecionadas resumem-se no Quadro 3, enquanto as vantagens e desvantagens de cada uma se resumem na Fig. 3.

**Quadro 3 – Resumo das características das soluções pré-selecionadas**

<b>Características</b>	<b>Solução 1</b>	<b>Solução 2</b>	<b>Solução 3</b>
Comprimento total das obras de abrigo (m):	415	425	300
• Contramolhe	340	205	260
• Prolongamento do Molhe	75	130	40
• Molhe interior		90	
Peso dos blocos (kN):			
• Contramolhe	800; 600; 300 e 150	300 e 150	150
• Prolongamento do Molhe	150	150	300
• Molhe interior		30 a 60	30 a 60
Área molhada abrigada (ha)	Área total – 12 Área útil – 4,5	2,4	4,1
Área do novo terraplano (ha)	1,5	0,4	2,6
Extensão dos novos cais de acostagem para a pesca (m)	490 98 postos 196 “abraçados”	335 45 postos 56 “abraçados”	340 68 postos 127 “abraçados”
Extensão dos novos cais de acostagem para o recreio (m)	105 (24 postos)	55 (14 postos)	155 (46 postos)
Volume de materiais (m <sup>3</sup> ):			
• Enrocamento/Betão	172 100 / 83 100	97 800 / 39 000	85 200 / 36 700
Grau de abrigo	Bom	Bom	Bom
Condições de entrada	Boas	Díficeis, especialmente à noite	Boas
Custo total (M€)	<b>28,3</b>	<b>16,3</b>	<b>14,7</b>
Custo por hectare de área molhada abrigada (M€/ha)	<b>6,3</b>	<b>6,8</b>	<b>3,6</b>



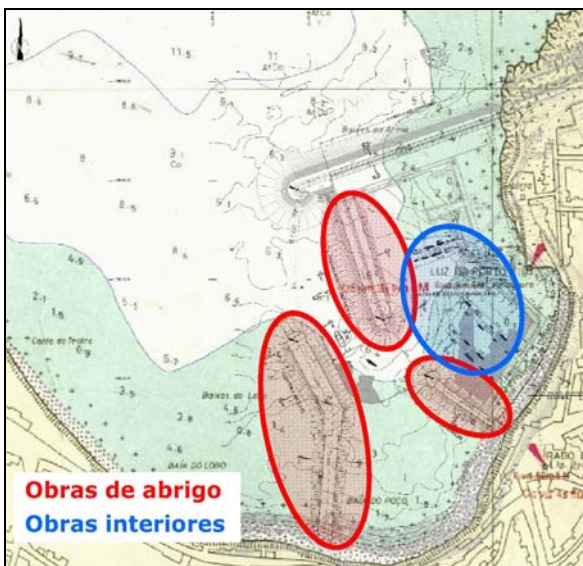
### SOLUÇÃO 1

#### Vantagens:

- Melhoria das condições de abrigo;
- Reduz inundações do terrapleno;
- Cria ampla bacia;
- Permite criação de postos de estacionamento requeridos;
- Aumenta áreas de terrapleno;
- Permite futuras expansões.

#### Desvantagens:

- Altera as atuais condições de entrada;
- Processo construtivo complicado;
- Solução ambiciosa excedendo as necessidades definidas;
- Muito onerosa.



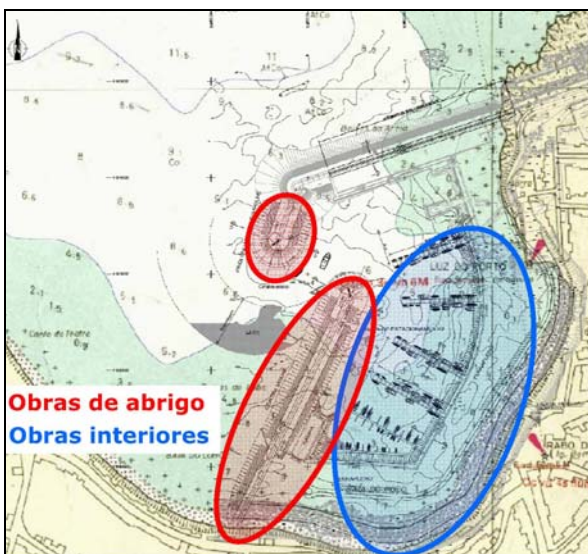
### SOLUÇÃO 2

#### Vantagens:

- Melhoria das condições de abrigo;
- Reduz inundações do terrapleno;
- Aumenta ligeiramente as áreas de terrapleno.

#### Desvantagens:

- Altera as atuais condições de entrada e o acesso é feito em zona de rebentação frequente;
- Dragagens em rocha;
- Reduzido aumento do plano de água abrigado;
- Não permite a futura expansão do porto;
- Elevado número de obras de abrigo;
- Muito onerosa.



### SOLUÇÃO 3

#### Vantagens:

- Melhoria das condições de abrigo;
- Reduz inundações do terrapleno;
- Permite criação de postos de estacionamento requeridos;
- Aumenta as áreas de terrapleno;
- É menos onerosa que as anteriores soluções;
- Processo construtivo convencional.

#### Desvantagens:

- Dragagens em rocha apenas na zona de entrada;
- Altera condições de entrada.

Fig. 3 – Soluções previamente consideradas

Comum a todas as soluções alternativas e com o objetivo de minimizar os galgamentos do atual molhe, propôs-se que o murocortina fosse alteado em cerca de 2 a 2,5 m. Para não instabilizar este muro, que, quanto mais alto mais fica exposto à ação das ondas, a par do alteamento, será também necessário efetuar o seu alargamento, para assim se garantir a sua estabilidade, quer ao derrubamento, quer ao deslizamento.

A Solução 3 foi a recomendada na fase de Estudo Prévio, por cumprir integralmente o Programa de Necessidades e apresentar, não só um custo mais reduzido, como rácios mais baixos, logo, uma melhor relação custo/benefício, além de processos construtivos convencionais.

## 2.6 – Solução otimizada na fase de Projeto Base

As alternativas estudadas correspondem a uma tentativa de otimização da Solução 3 e surgem da necessidade de, por um lado, a tornar mais económica, e por outro, de alterar o mínimo possível o atual trajeto de entrada no porto (Fig. 4) (CONSULMAR, 2010).

Para o efeito, interveio-se essencialmente na estrutura de prolongamento do molhe existente, que tendo sido deslocada para o seu interior, passou assim a usufruir do abrigo proporcionado por este e a necessitar de elementos de proteção menos robustos logo, mais económicos.

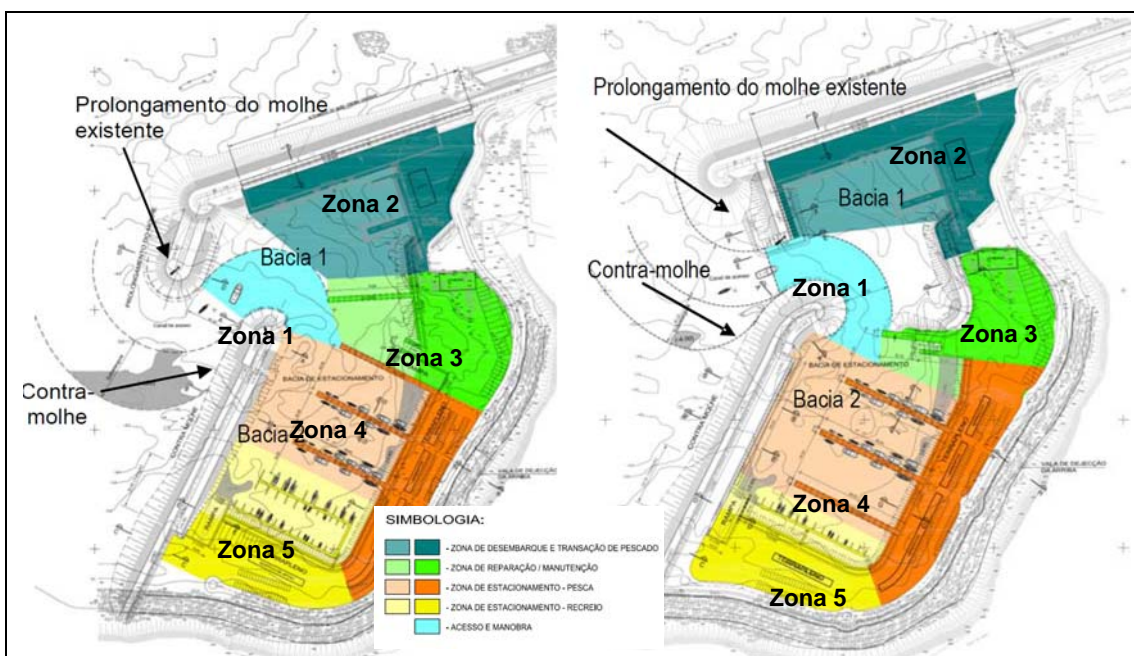
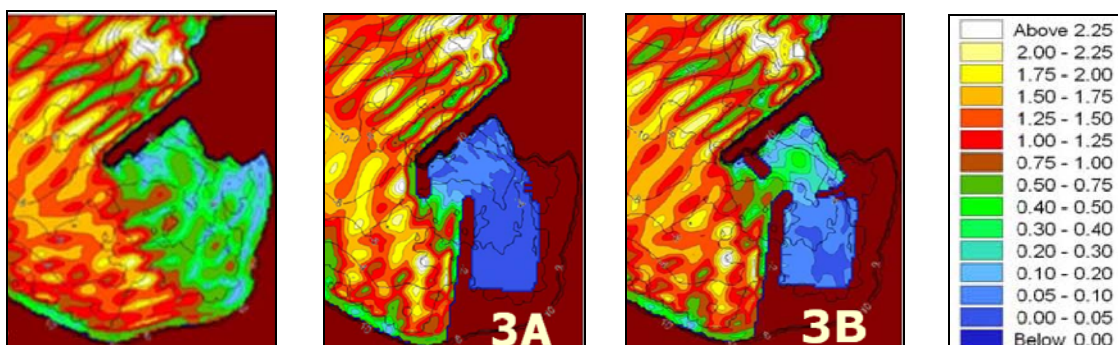


Fig. 4 – Esquema da Solução 3A e 3B

Com esta nova implantação consegue-se também interferir menos no atual trajeto das embarcações, mas à custa de uma maior exposição da Bacia 1 à agitação e consequente redução das suas condições de segurança e operacionalidade (Fig. 5).

A redução de custo é também conseguida à custa da redução das áreas, tanto do plano de água como do plano de terra, bem como de uma redução ligeira dos postos de acostagem e da supressão de algumas obras de alagem.

As Soluções 3A e 3B (Fig. 4) caracterizam-se por apresentar um contra-molhe, com uma orientação aproximada SW-NE, que enraíza na base da arriba, entre a Baía do Lobo e a Baía do Poço, e que protege o sector SE da bacia portuária, abrigo esse que é complementado com o prolongamento do molhe atual. Estas estruturas proporcionam o abrigo necessário ao plano de água, quer dos rumos de agitação incidente compreendidos entre NW e NNW, quer dos restantes rumos (sector NW-NE) que penetram na bacia por difração na cabeça do atual molhe.



**Fig. 5 – Simulação numérica – Situação de referência; Solução 3A e 3B (Hs = 1 m; N30°W e T = 12 s)**

No extenso plano de água abrigado, prevê-se a criação de cinco zonas distintas:

1. Na entrada, a zona de acesso e manobra;
2. Na zona do atual cais e pontecais, a zona de desembarque e transação de pescado;
3. Na zona das atuais rampas varadouro, uma zona de reparação/manutenção, onde na Solução 3A se manterá a existência de uma rampa varadouro e em ambas se prevê a criação de uma doca de pórtico;
4. Uma zona de estacionamento dedicada à frota da pesca artesanal;
5. Uma zona de estacionamento destinada a embarcações de recreio e marítimoturísticas, esta última provida de uma rampa varadouro em ambas as soluções.

As primeiras três zonas correspondem à bacia de entrada ou Bacia 1 e as restantes à bacia interior ou Bacia 2.

Associada ao novo plano de água foi prevista a ampliação do terraplino, passando o porto a dispor de quatro áreas portuárias terrestres que se relacionam com as Zonas 2 a 5 do plano de água abrigado, já referidas (Fig. 4):

- As duas primeiras, a verde (Zonas 2 e 3), na atual área, localizadas a norte com cerca de 0,7 ha cada, dedicadas ao desembarque e transação de pescado e à reparação e manutenção, a serem futuramente apoiadas por um Entrepasto Frigorífico e uma Oficina, respetivamente;
- As restantes duas, a laranja e amarelo (Zonas 4 e 5), na futura área localizada a Sul e a Este, apresentam cerca de 0,9 ha e 0,7 ha, respetivamente, e servem de apoio à pesca e ao recreio.

Encontram-se já previstas nesta fase zonas para implantação de edifícios de aprestos e edifício de apoio ao recreio, apesar destas infraestruturas, tal como o Entrepasto Frigorífico e a Oficina, fazerem parte de uma fase posterior.

Foram definidos dois acessos aos novos terraplenos (Zonas 3, 4 e 5): um superiormente, através da ligação entre a atual estrada de acesso ao porto e a rampa de acesso ao parque de varagem antigo, atual Clube Naval, sendo o mesmo, contido por um muro de suporte em betão armado; e um inferiormente, através do atual terraplino, que permite a ligação entre as Zonas 2 e 3, garantido pelo avanço do terraplino no sentido da bacia e do corte do conto sobrelevado do terraplino do Clube Naval.

Associados aos edifícios, encontram-se já previstos lugares de estacionamento, quer seja para embarcações (aproximadamente 25 lugares na zona de reparação e manutenção) ou de veículos, que correspondem a aproximadamente 100 e 40 lugares, respetivamente, na zona dedicada à pesca e na zona dedicada ao recreio.

Os novos terraplenos são limitados, do lado do mar, por estruturas pouco refletoras, constituídas por retenções marginais revestidas por enrocamento selecionado, e do lado de terra, pela base da arriba que, nesta extensão, passa a ficar protegida da erosão marítima.

A proteção dos terraplenos contra o risco de desprendimentos de materiais constituintes da arriba em resultado da erosão causada pelo vento e/ou pela chuva, efetua-se através de uma vala de dejeção de grande dimensão, da ordem dos 15 m de largura, separada do terraplino através de um muro de betão.

### **3 – ENSAIOS EM MODELO REDUZIDO**

#### **3.1 – Nota prévia**

A pedido da Secretaria Regional do Ambiente e do Mar (SRAM) da Região Autónoma dos Açores, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P. (LNEC) realizou em 2011 ensaios em modelo reduzido tridimensional das obras de expansão do porto (LNEC, 2011).

Os ensaios foram efetuados de acordo com a versão final das especificações técnicas elaboradas em Julho de 2010 pela CONSULMAR e com as alterações entretanto acertadas entre o LNEC e a CONSULMAR.

Seguidamente, apresentam-se os resultados dos ensaios realizados para a situação de referência do porto (Situação Atual) e para a solução de projeto selecionada (Solução Projetada).

#### **3.2 – Objetivos do estudo**

Tendo em conta a pretensão de melhorar as condições de segurança e de operacionalidade do atual Porto de Pesca de Rabo de Peixe, os objetivos do estudo em modelo reduzido tridimensional realizado no LNEC foram os seguintes:

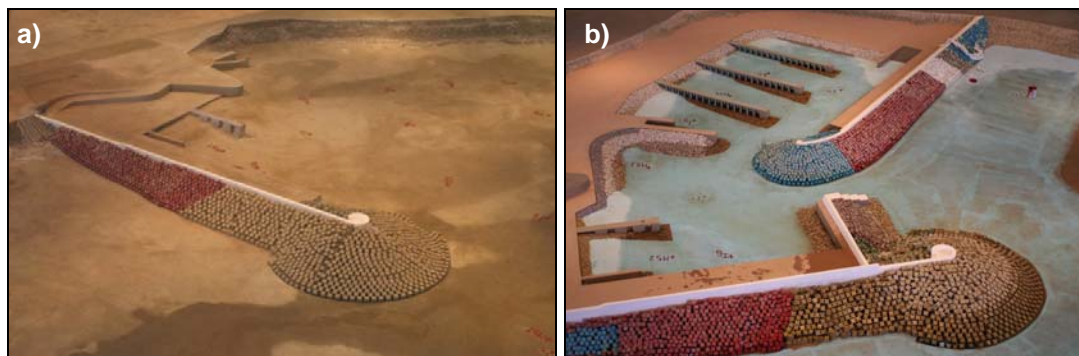
- verificação da tranquilidade portuária para a Solução Projetada e a sua comparação com a Situação Atual;
- avaliação expedita das sobrelevações registadas para a Solução Projetada e a sua comparação com a Situação Atual;
- avaliação das condições de estabilidade do manto resistente e dos galgamentos do molhe existente para a Solução Projetada (tendo em conta o alteamento da cota do murocortina) e a sua comparação com a Situação Atual;
- verificação da estabilidade e avaliação qualitativa dos galgamentos das novas obras marítimas;
- análise do eventual impacto das obras de expansão do porto nas características da agitação marítima na zona de prática de surf, localizada a oeste do porto.

#### **3.3 – Caracterização do modelo**

Para que fossem atingidos os objetivos mencionados anteriormente, foi construído um modelo reduzido à escala geométrica de 1:54 num tanque do Pavilhão de Hidráulica Marítima do LNEC. A exploração do modelo foi efetuada de acordo com a lei de semelhança de Froude.

No modelo foram representados os seguintes elementos (Fig. 6):

- configuração dos fundos desde a linha de costa até à batimétrica -20,0 m (ZH), de acordo com o levantamento disponibilizado para o efeito pela CONSULMAR;
- a totalidade da bacia portuária;
- a linha de costa envolvente da bacia portuária;
- as obras de abrigo e as obras interiores existentes - Situação Atual;
- as obras de abrigo e as obras interiores previstas, incluindo o alteamento do murocortina do molhe existente - Solução Projetada.



**Fig. 6 – Aspeto geral do modelo: a) Situação Atual e b) Solução Projetada**

Procurou-se simular da forma mais correta possível as condições de reflexão de todos os elementos em redor do plano de água abrigado, de modo a que os resultados dos ensaios de agitação fossem representativos da situação real, deste ponto de vista.

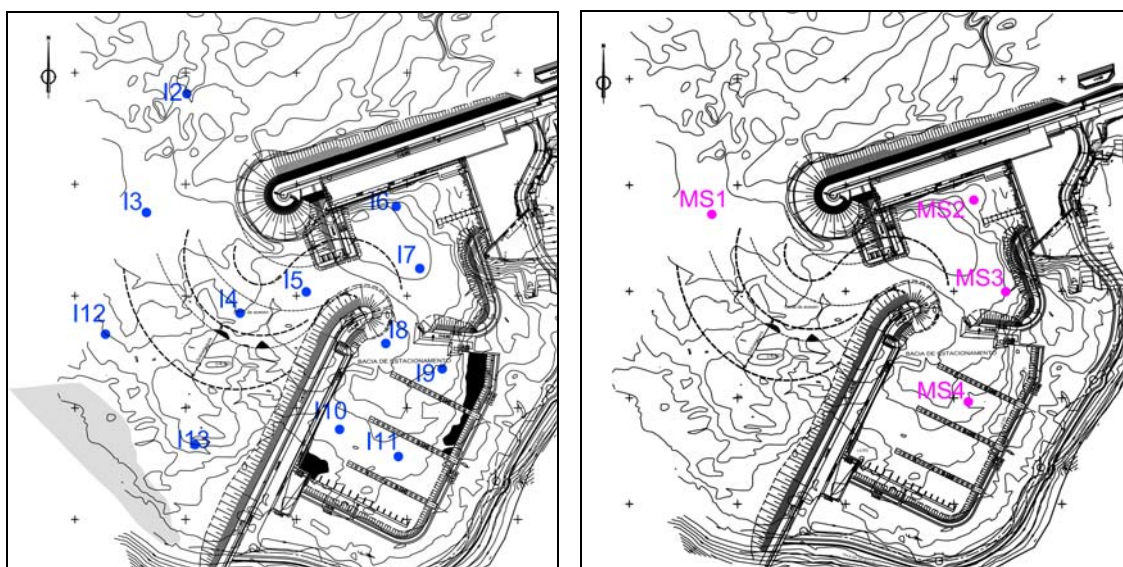
O tanque de ensaios foi preparado de modo a minorar as reflexões no perímetro artificial do modelo.

### 3.4 – Equipamento experimental

Para a geração da agitação marítima utilizou-se um gerador de ondas irregulares de 6,0 m de comprimento e 1,3 m de altura.

Lateralmente à zona de propagação da agitação marítima foram colocadas guias com um desenvolvimento o mais próximo possível do andamento das ortogonais das ondas, tendo em conta os fundos, os períodos de pico do espectro e os níveis de maré a reproduzir.

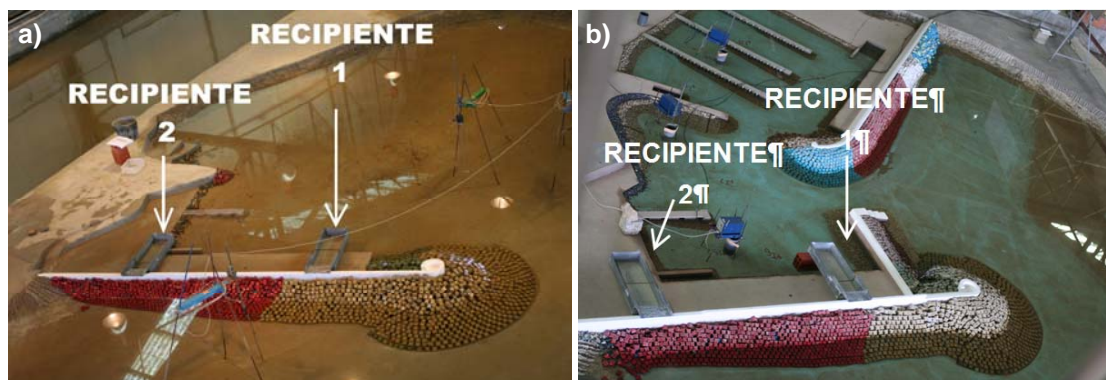
Para a verificação da tranquilidade portuária procedeu-se à medição das características da agitação marítima com sondas de condutância em treze pontos (Fig. 7): um (I1) colocado à saída do gerador [a -20,0 m (ZH)]; quatro (I2, I3, I12 e I13) situados no exterior do porto, estando o ponto I2 posicionado sensivelmente sobre a batimétrica -10,0 m (ZH); dois (I4 e I5) localizados na entrada do porto; e seis (I6 a I11) posicionados no interior do porto. Como alturas de onda nominais de ensaio foram consideradas as registadas no ponto I1.



**Fig. 7 – Representação esquemática da localização dos pontos de medição da agitação marítima (pontos I2 a I13) e de avaliação das sobrelevações (pontos MS1 a MS4)**

Para a avaliação expedita das sobrelevações foram utilizados limnómetros em quatro pontos (Fig. 7): um (MS1) posicionado em “mar aberto”, em frente à cabeça do molhe existente, e os outros (MS2 a MS4) no interior da bacia portuária.

Para a avaliação dos galgamentos do molhe existente, quer na Situação Atual, quer para a Solução Projetada (com alteamento da cota do murocortina), procedeu-se à medição de volumes de galgamentos utilizando dois recipientes posicionados nos locais que se apresentam na Fig. 8.



**Fig. 8 – Posicionamento dos recipientes para recolha da água dos galgamentos:**  
a) Situação Atual e b) Solução Projetada

### 3.5 – Níveis de maré e agitação marítima

Os ensaios foram realizados com os rumos da agitação marítima correspondentes às direções de NNW e N [sobre a batimétrica -20,00 m (ZH)], simulando-se agitação irregular de acordo com uma configuração espectral empírica do tipo JONSWAP (fator de pico  $\gamma = 3,3$ ) e contemplando-se a reprodução de grupos de ondas segundo o método utilizado usualmente no LNEC.

Ensaïaram-se dois níveis de maré: +0,00 m (ZH) (BM, Baixa-mar mínimo) e +2,00 m (ZH) (PM, Preia-mar máximo). Foram ainda realizados, para um conjunto reduzido de condições de agitação marítima, ensaios com um nível de água excepcional de +2,50 m (ZH) (PM+S, Preia-mar máximo acrescido de sobrelevação meteorológica).

Foram reproduzidos valores de período de pico do espectro da agitação incidente,  $T_p$ , de 8 s, 11 s e 14 s. A cada valor de  $T_p$  associaram-se valores de altura de onda significativa,  $H_s$ , crescentes, que dependeram do tipo de ensaios, mas que estavam compreendidos entre 3,0 m e o limite imposto pela rebentação das ondas na aproximação ao porto, com escalões de 1 m até  $H_s = 5$  m e com escalões de 0,5 m para valores de  $H_s$  superiores. Cada um dos valores de  $H_s$  atuou no modelo durante um período correspondente a 1 hora no protótipo para os ensaios de agitação e de sobrelevação e a 3 horas para os ensaios de estabilidade e de galgamentos.

### 3.6 – Metodologia geral dos ensaios

Reproduzidas as condições de fundos e da linha de costa, procedeu-se à construção do modelo das obras para a Situação Atual (Fig. 6). Seguidamente, realizou-se uma série de calibrações com o objetivo de ajustar convenientemente a configuração do espectro a utilizar nos ensaios e de determinar o ganho do gerador de ondas correspondente às alturas de onda a ensaiar. Nestas calibrações, foi utilizada uma sonda colocada à saída do batedor (ponto I1), a uma profundidade de -20,0 m (ZH). As alturas de onda registadas nesta sonda foram consideradas as alturas de onda nominais de ensaio.

Efetuada a calibração da agitação marítima, procedeu-se à preparação do modelo para a realização dos ensaios de agitação para o rumo NNW, com a colocação do batedor na posição correspondente a este rumo e com a colocação das sondas de medição da agitação marítima nos pontos previamente definidos (Fig. 7). Seguidamente, calibraram-se as sondas e realizaram-se os ensaios.

Após a realização destes ensaios de agitação, colocaram-se e calibraram-se os limnímetros para medição da sobrelevação nos pontos pré-definidos (Fig. 7), tendo posteriormente sido realizados estes ensaios.

Por fim, foram realizados os ensaios de estabilidade e galgamentos. Durante estes ensaios procedeu-se à contagem do número de blocos do manto resistente da estrutura com deslocamentos e efetuou-se uma pequena reportagem vídeo. No final de cada ensaio procedeu-se à inspeção do estado da estrutura, à realização de registos fotográficos do mesmo e à medição do volume total de galgamentos. Cada série de ensaios consistiu na reprodução das várias alturas de onda significativas associadas a um nível de maré e a um período de pico do espectro. No final de cada série de ensaios procedeu-se à reconstrução do manto resistente da estrutura.

Todos os ensaios foram repetidos e procedeu-se a uma dupla repetição sempre que os resultados da primeira repetição diferiram significativamente dos do primeiro ensaio.

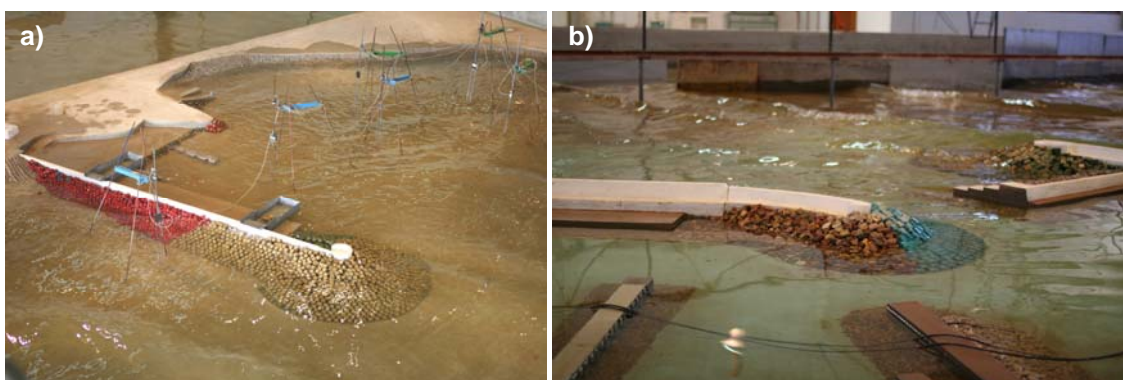
Terminados os ensaios para o rumo NNW, procedeu-se à realização dos ensaios para o rumo N, colocando o batedor na posição correspondente a este novo rumo e seguindo uma metodologia em tudo semelhante à utilizada para o rumo NNW.

Terminados os ensaios da Situação Atual, iniciou-se a construção das obras previstas na Solução Projetada (Fig. 6), após a qual se realizaram os respetivos ensaios, utilizando uma metodologia semelhante à utilizada nos ensaios da Situação Atual.

### 3.7 – Ensaios de agitação

Com base nos registos obtidos pelas sondas de condutância com uma frequência de aquisição de 25 Hz, foram estabelecidos índices de agitação calculados através da relação entre a altura de onda medida em cada um dos pontos apresentados na Fig. 7 e a altura de onda medida no ponto situado à profundidade -20,0 m (ZH). Estes índices de agitação foram calculados, tanto a partir dos valores de  $H_s$ , como dos valores de altura de onda máxima,  $H_{max}$ , e ainda da média das alturas,  $H_{med}$ , dos registos efetuados.

Para o rumo da agitação marítima correspondente à direção NNW, foi nítida a melhoria da tranquilidade no interior da bacia portuária em virtude da interposição do contramolhe e do prolongamento do molhe existente (Fig. 9). De facto, com a implementação das obras, os valores dos índices de agitação no anteporto reduziram-se, em média, para menos de metade dos valores atuais, e na bacia de estacionamento reduziram-se para um quinto, independentemente do período da agitação marítima e do nível de maré ensaiados.



**Fig. 9 – Condições de agitação no interior e no exterior do porto para o ensaio com o rumo NNW, nível de maré de PM+S,  $T_p = 14$  s e  $H_s = 6.0$  m: a) Situação Atual e b) Solução Projetada**

Relativamente ao rumo N, verificou-se também uma acentuada melhoria da tranquilidade portuária, apesar de ser ligeiramente inferior à observada para o rumo NNW, em termos percentuais.

Em relação à zona utilizada para a prática de surf e considerando apenas dois pontos de medição da agitação marítima, notou-se um aumento ligeiro da agitação no ponto próximo do contramolhe, especialmente para o nível de baixa-mar associado ao rumo NNW (15%) e para o nível de preia-mar associado ao rumo N (10%), enquanto para as restantes condições de maré e no ponto mais afastado, a variação registada foi residual.

### 3.8 – Ensaios de sobrelevação

Os dados provenientes dos quatro limnímetros utilizados para a avaliação expedita das sobrelevações que ocorriam na bacia portuária foram adquiridos com uma frequência de 25 Hz, durante 9 min, o que corresponde a cerca de 1 hora no protótipo. A precisão das medições de sobrelevação é inferior a 0,2 mm, ou seja, o erro de precisão é da ordem de 1 cm no protótipo.

Os sinais medidos nos limnímetros foram filtrados através de uma média móvel de 6 s (valor de modelo), o que corresponde a filtrar oscilações de curto período, isto é, inferiores a cerca de 45 s no protótipo. Os sinais filtrados foram analisados no domínio do tempo (zero ascendente). Com base nessa análise, obtiveram-se os valores da sobrelevação máxima e ainda a média das sobrelevações que excederam um determinado número de ocorrências  $x$ ,  $S_{1/x}$ , com  $x = 3$ .

Os ensaios confirmaram a existência de sobrelevações, não só no interior do porto (Fig. 10), como também a oeste da cabeça do atual molhe.



Fig. 10 – Exemplificação da elevação do nível de água no anteporto, visível junto ao cais

Para a Situação Atual, os maiores valores das sobrelevações em cada ensaio ocorreram quase sempre na posição MS3 (Fig. 7), apresentando os seguintes valores máximos: i) rumo NNW – 54 cm, para BM,  $T_p = 11$  s e  $H_s = 6,5$  m; e 57 cm, para PM,  $T_p = 11$  s e  $H_s = 7,0$  m; ii) rumo N – 43 cm, para BM,  $T_p = 11$  s e  $H_s = 6,5$  m; e 43 cm, para PM,  $T_p = 8$  s e  $H_s = 6,5$  m.

Para a Solução Projetada, os maiores valores das sobrelevações em cada ensaio ocorreram quase sempre na posição MS4 (Fig. 7), apresentando os seguintes valores máximos: i) rumo NNW – 39 cm, para BM,  $T_p = 11$  s e  $H_s = 6,5$  m; e 44 cm, para PM,  $T_p = 14$  s e  $H_s = 6,5$  m; ii) rumo N – 34 cm, para BM,  $T_p = 11$  s e  $H_s = 6,5$  m; e 46 cm, para PM,  $T_p = 14$  s e  $H_s = 6,5$  m.

Para os níveis mais elevados da maré, as sobrelevações causaram inundação dos terraços portuários (Fig. 11). Como tal, o LNEC recomendou a subida da cota dos terraços e/ou a construção de um murete com as devidas condições de drenagem, ao longo do perímetro da bacia portuária.



Fig. 11 – Inundação dos terraços do porto para a Solução Projetada, para o ensaio com o rumo N, nível de maré de PM,  $T_p = 14$  s e  $H_s = 6,5$  m

### 3.9 – Ensaios de estabilidade

No que respeita à estabilidade das obras, procedeu-se à quantificação e à qualificação das quedas e dos movimentos dos blocos Antifer constituintes dos mantos de proteção das obras da Situação Atual e da Solução Projetada, sendo os resultados apresentados em termos de

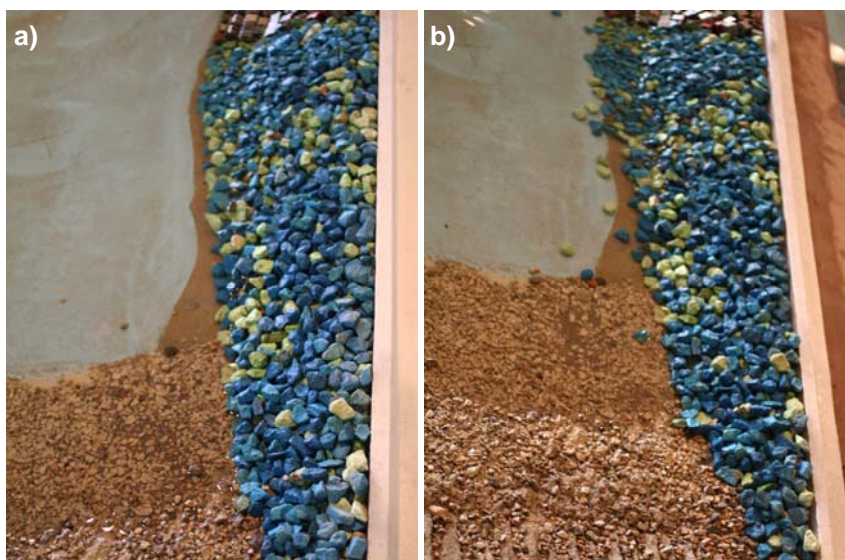
graus dos respetivos critérios de classificação em uso no LNEC. Foi contabilizada uma “queda de bloco” sempre que um bloco apresentava um deslocamento superior à sua dimensão característica.

No que diz respeito à zona do contramolhe previsto na Solução Projetada protegida por blocos de enrocamento de 60 a 90 kN, os resultados foram apresentados em termos de percentagem de blocos removidos, relativamente ao número total de blocos colocados nessa zona, no modelo.

Para efeitos de análise e apresentação dos resultados dos ensaios de estabilidade, considerou-se ainda um vasto conjunto de fotografias obtidas no final da atuação de cada valor de Hs (Figs. 12 e 13).



**Fig. 12 – Situação Atual. Aspeto do tronco do molhe principal no ensaio com o rumo NNW, nível de maré de BM, Tp = 14 s: a) início do ensaio e b) após atuação de Hs = 6,0 m**



**Fig. 13 – Solução Projetada. Aspeto do enraizamento do contramolhe no ensaio com o rumo N, PM, Tp = 11 s: a) início do ensaio e b) após atuação de Hs = 7,5 m**

Os ensaios permitiram constatar que a subida da cota de coroamento do murocortina do molhe não pôs em causa a estabilidade do molhe principal, apesar de para a Solução Projetada se ter observado um número superior de quedas e movimentos dos cubos Antifer do manto resistente do tronco, relativamente ao verificado para a Situação Atual.

Os ensaios de estabilidade da Solução Projetada para o rumo da agitação marítima correspondente à direção N (primeiro rumo em que a estabilidade desta solução foi ensaiada) permitiram concluir que a estabilidade da cabeça do contramolhe evidenciava a possibilidade de uma diminuição da sua robustez, especialmente no seu sector interior. Perante estes

resultados, realizaram-se os ensaios de estabilidade para o rumo NNW (rumo mais desfavorável para a cabeça do contramolhe) já com o manto de cubos Antifer de 150 kN substituído por enrocamento de 30 a 60 kN, com vista a testar o comportamento do modelo face a esta alteração. O contramolhe apresentou-se estável para todas as condições de ensaio, quer no corpo da obra, quer na sua cabeça.

Face à observação no modelo físico das condições de agitação na entrada do porto e da estabilidade evidenciada pela cabeça do contramolhe, o LNEC sugeriu que o Projetista pudesse ainda considerar um maior aligeiramento do sector exterior da cabeça.

### 3.10 – Ensaio de galgamentos

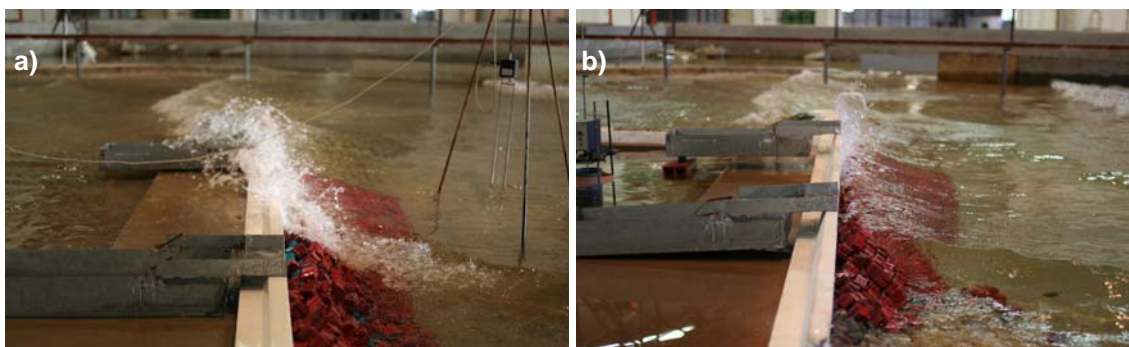
Os galgamentos admitidos pelo molhe existente foram avaliados qualitativa e quantitativamente, enquanto que os galgamentos do contramolhe foram apenas avaliados qualitativamente.

A avaliação qualitativa da obra resultou da observação visual do modelo e da utilização do critério de classificação de galgamentos em ensaios com agitação irregular em uso no LNEC.

A medição dos volumes de galgamentos em duas secções do modelo permitiu determinar os caudais médios de galgamentos em litros por segundo e por metro linear de estrutura (l/s/m).

Os ensaios da Situação Atual permitiram confirmar que, na realidade, o molhe principal é francamente galgado para condições de agitação marítima adversas associadas aos níveis de maré mais elevados (Fig. 14).

O alteamento da cota do murecortina em 2,5 m mostrou-se bastante eficaz, tendo reduzido o volume de galgamentos para 1/5 a 1/6 dos volumes registados para a Situação Atual. Para a Solução Projetada, o caudal médio máximo medido para o rumo NNW foi de 1,2 l/s/m (valor de protótipo) no ensaio com o nível de maré de PM+S,  $T_p = 14$  s e  $H_s = 7,0$  m (Fig. 14), enquanto que para o rumo N, o valor máximo foi de 3,1 l/s/m para as mesmas condições de ensaio.



**Fig. 14 – Exemplificação do aspeto de alguns dos maiores galgamentos observados no decurso dos ensaios: a) Situação Atual, rumo NNW, nível de maré de PM,  $T_p = 14$  s e  $H_s = 7,0$  m; b) Solução Projetada, rumo NNW, nível de maré de PM+S,  $T_p = 14$  s e  $H_s = 7,0$  m**

Face às condições de agitação reproduzidas no modelo, o contramolhe pode considerar-se como uma estrutura quase não galgável, apenas se tendo verificado uma única situação em que foi observado galgamento de lâminas de água.

Importa, no entanto, salientar que as condições de galgamento das obras observadas no modelo não foram influenciadas por condições de vento locais, questão que deverá ser tida em consideração ao se analisarem os resultados obtidos.

## 4 – COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS DO MODELO MATEMÁTICO MIKE 21 BW E OS RESULTADOS DO MODELO FÍSICO

### 4.1 – Implementação do modelo numérico

Para o desenvolvimento das várias fases do projeto de ampliação do porto de pesca de Rabo de Peixe, foi necessário efetuar simulações em modelo numérico. Para a avaliação do grau de abrigo proporcionado pelas estruturas propostas, ainda em fase de Estudo Prévio e Projeto Base,

foram realizadas simulações em modelo matemático de propagação da agitação marítima, desde a batimétrica -30 m (ZH) até ao interior da bacia portuária, tendo o domínio de cálculo sido discretizado através de uma malha regular composta por células de dimensão 5 x 5 m.

O modelo utilizado para o efeito foi o modelo comercial MIKE 21 – BW, que se baseia nas equações de Boussinesq, foi desenvolvido pelo DHI (Danish Hydraulic Institute) e permite simular grande parte dos fenómenos associados à propagação das ondas em domínio local, tais como, a refração, o empolamento, a difração, a reflexão e a rebentação das ondas (DHI, 2009).

A seleção das condições de fronteira aberta a aplicar nos modelos de escala local, foi efetuada com base nos resultados do modelo de escala regional.

As condições de fronteira aplicadas no modelo numérico para a comparação restringiram-se à reprodução de parte das condições simuladas em modelo físico, adotando-se uma única altura de maré, correspondente à PM [+2,0 m (ZH)] e uma única altura de onda,  $H_s = 3,0$  m. As condições de ondas irregulares (espectro JONSWAP) e unidirecionais consideradas listam-se no Quadro 4. As configurações apresentadas correspondem à situação de referência (Situação Atual) e à solução projetada selecionada para a ampliação do porto de pesca de Rabo de Peixe (Solução Projetada).

**Quadro 4 - Simulações efetuadas com o modelo de escala local (Mike21-BW)**

Simulação	Configuração	Rumo	Período (s)
1	Situação Atual	NNW	8
2		NNW	14
3		N	8
4		N	14
5	Solução Projetada	NNW	8
6		NNW	14
7		N	8
8		N	14

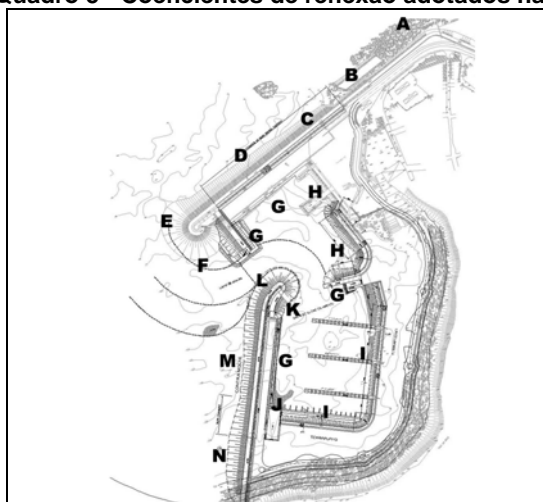
Para além das condições anteriormente referidas, foi também definida a condição de fronteira de terra, tendo sido especificada como de reflexão total ou parcial, através da inclusão do efeito de dissipação em camadas de porosidade variável e ajustável.

No Quadro 5 apresentam-se os valores dos coeficientes de reflexão adotados para cada estrutura de acordo com a condição de fronteira ensaiada, estimados com base nas formulações da bibliografia da especialidade.

#### 4.2 – Análise dos resultados obtidos em modelo numérico

Os resultados obtidos pelo modelo em cada simulação estão representados sob a forma do índice de agitação ou altura significativa normalizada pela altura incidente na fronteira do modelo, que em parte se representam nas Figs. 15 e 16.

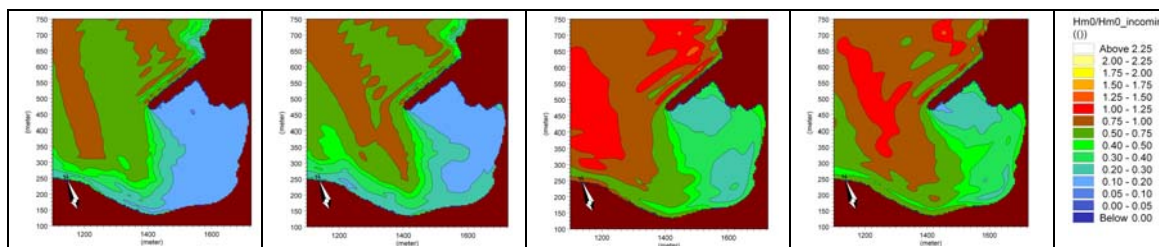
**Quadro 5 - Coeficientes de reflexão adotados na Solução de Projeto para cada estrutura**



Estrutura	T = 8s	T = 14 s
A	0.40	0.57
B	0.39	0.69
C	0.58	0.61
D	0.54	0.64
E	0.40	0.53
F	0.54	0.64
G	0.90	0.86
H	0.54	0.59
I	0.55	0.62
J	0.22	0.35
K	0.54	0.61
L	0.58	0.61
M	0.58	0.61
N	0.35	0.47

Relativamente aos resultados obtidos com o modelo de campo próximo, verifica-se que na situação de referência (Situação Atual):

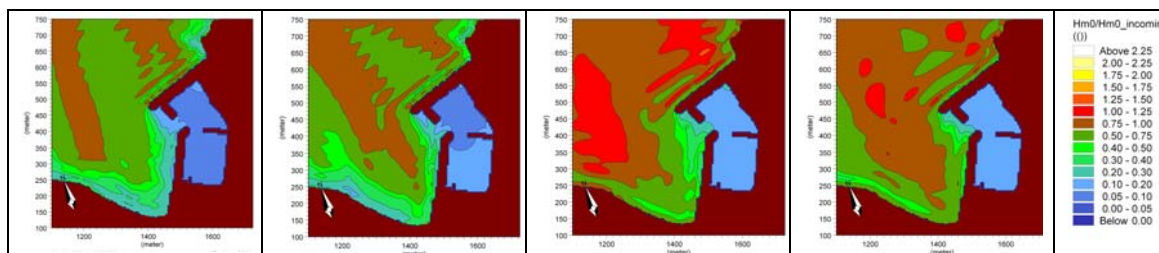
- A bacia portuária apresenta valores do índice de agitação mais elevados para o rumo NNW, correspondendo este ao rumo mais frequente. Para os dois rumos simulados verificam-se índices de agitação médios no interior da bacia de estacionamento, entre os valores 0,10 e 0,40.



Rumor: N; T = 8 s Rumor: NNW; T = 8 s Rumor: N; T = 14 s Rumor: NNW; T = 14 s  
**Fig. 15 – Distribuição do índice de agitação para a Situação Atual. Condição de fronteira: Hs = 3 m (espectro JONSWAP) e nível de maré de PM**

Da análise dos resultados referentes à simulação da Solução Projetada verifica-se que:

- Face à Situação Atual, esta solução permite criar duas bacias com condições favoráveis de agitação, uma à entrada servida pelos atuais cais (Bacia 1) e uma interior destinada principalmente ao estacionamento em flutuação (Bacia 2). O índice de agitação médio nas bacias varia entre 0,05 e 0,20.

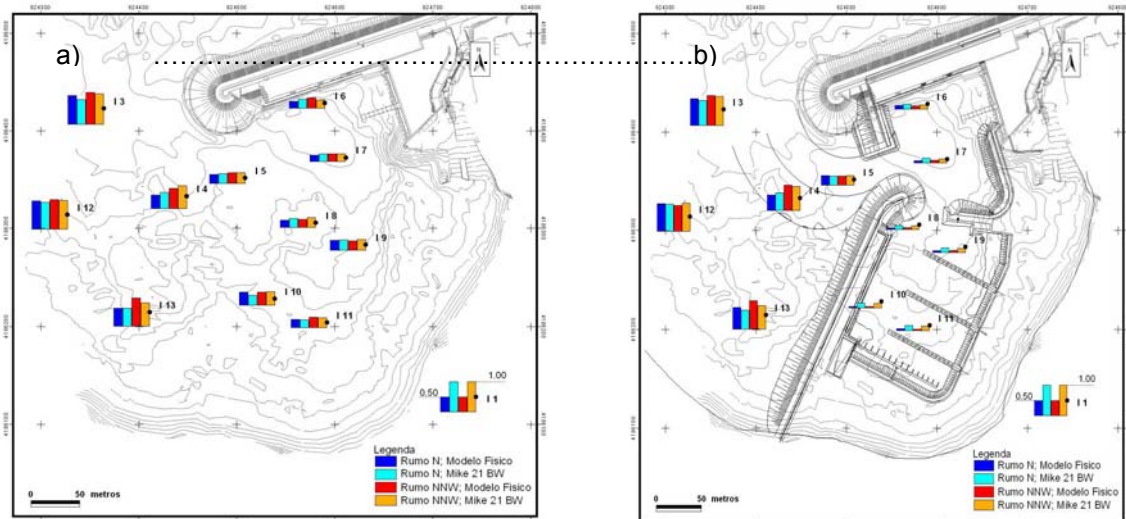


Rumor: N; T = 8 s Rumor: NNW; T = 8 s Rumor: N; T = 14 s Rumor: NNW; T = 14 s  
**Fig. 16 – Distribuição do índice de agitação para a Solução Projetada. Condição de fronteira: Hs = 3 m (espectro JONSWAP) e nível de maré de PM**

#### 4.3 – Comparação dos resultados modelo físico/modelo numérico

Da comparação dos resultados do modelo numérico e do modelo físico pode observar-se que (Fig. 17):

- Em termos gerais, o modelo numérico consegue reproduzir o andamento e a ordem de grandeza dos resultados experimentais. Verifica-se que na maioria dos pontos em estudo, os resultados numéricos e experimentais são semelhantes, para qualquer das configurações portuárias, embora, nalguns pontos, ocorram diferenças com algum significado, resultantes das limitações quer do modelo numérico, quer do modelo físico;
- Na zona exterior ao porto (I2 a I5 e I12 e I13), os resultados numéricos e experimentais são semelhantes;
- Nas zonas mais abrigadas (I6 a I11), surgem algumas diferenças entre os resultados numéricos e experimentais. Tal pode ser devido ao facto de se encontrarem mais próximos de estruturas, onde os valores dos coeficientes de reflexão admitidos têm mais influência nos valores de agitação obtidos. Verifica-se ainda que, em geral, os resultados numéricos são sempre superiores aos experimentais.



**Fig. 17 – Índices de agitação nos pontos I2 a I13 para a condição de fronteira de  $H_s = 3$  m,  $T_p = 14$  s (espectro JONSWAP), nível de maré de PM: a) Situação Atual; b) Solução Projetada**

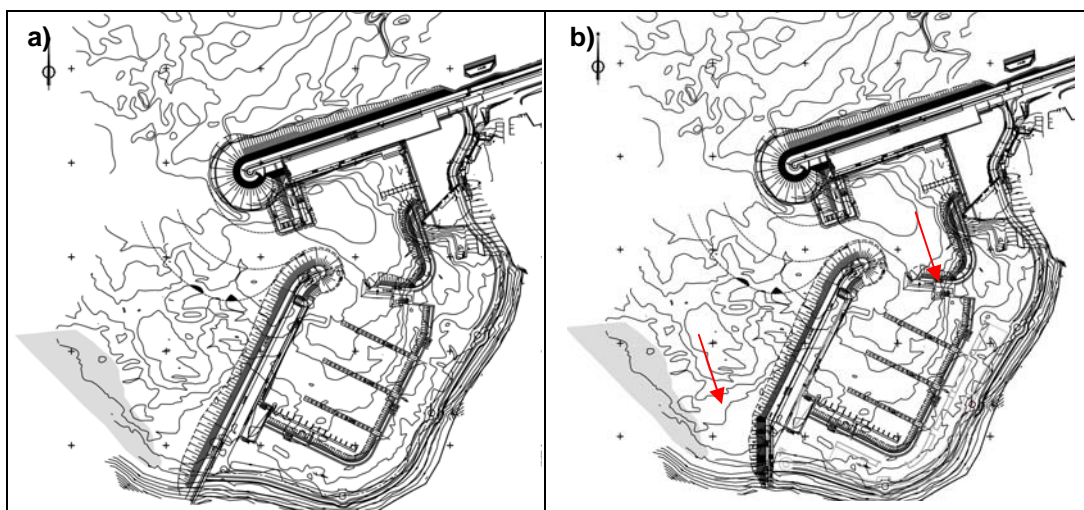
As diferenças entre os modelos numérico e físico podem estar relacionadas com as seguintes questões:

- A batimetria dos modelos não é exatamente a mesma devido a limitações quer de espaço, quer construtivas do modelo físico, nomeadamente a rugosidade dos fundos;
- Os aparelhos de medição apresentam limitações principalmente em zonas onde as alturas de onda são pequenas ou quando ocorre significativa reflexão;
- O modelo numérico não tem em conta a interação de ondas com conseqüente geração de harmónicas, a presença de correntes, a ocorrência de galgamentos, nem o efeito do atrito no fundo, como acontece no caso do modelo físico;
- Os coeficientes de reflexão calculados nos diferentes trechos do domínio são valores aproximados pois não consideram o efeito da direção da onda, e de eventuais interações entre ondas no interior da baía. Para além disso, e tendo em conta que está a ser reproduzido um espectro de onda, este índice está associado ao período de pico e altura significativa da onda do espectro, não existindo um coeficiente de reflexão ponderado com base nas várias componentes do espectro.

## **5 – OTIMIZAÇÃO DO PROJETO TENDO EM CONTA A UTILIZAÇÃO DA BAÍA PARA A PRÁTICA DE MODALIDADES DESPORTIVAS COMO O SURF, A VELA E A CANOAGEM**

Na sequência da apresentação pública do Estudo Prévio de Ampliação do porto de Rabo de Peixe que decorreu em Julho de 2010, a USBA - União de Surfistas e Bodyboarders dos Açores contactou por carta a Lotaçor (Agosto de 2010) manifestando a sua preocupação sobre os possíveis efeitos que as obras de ampliação do porto poderiam causar às ondas da parte oeste da baía de Rabo de Peixe.

Nessa altura, foram analisadas pelo Projetista as preocupações da USAB, tendo sido efetuada a implantação das obras sobre uma imagem que continha a implantação da atual zona de surf, tendo-se verificado que não havia sobreposição (Fig. 18).



**Figura 18 – a) Solução do Projeto Base; b) Solução do Projeto de Execução**

Apesar de esclarecido o equívoco, em Novembro de 2010, a SOS – Salvem o Surf, uma associação nacional, apresentou uma proposta para a realização de estudos para a construção de um recife artificial.

Dado que, à data, estavam a decorrer os ensaios em modelo físico reduzido, considerou-se oportuno avaliar por esta via (cujos resultados são mais fidedignos que a modelação matemática) os possíveis efeitos na zona de surf, nomeadamente possíveis alterações das características das ondas decorrentes de reflexões no novo contramolhe, tendo-se para o efeito colocado 2 sondas próximas da zona de surf para registar as alturas de onda e efetuado o registo vídeo, para posterior análise e comparação com a situação de referência.

No decurso dos ensaios, deslocou-se ao LNEC uma comitiva que acompanhou o Senhor Presidente do Governo Regional – Carlos César, sendo constituída por representantes dos Pescadores, representante do Clube Naval e representante da USAB.

Nessa altura, apesar de não ser visualmente evidente qualquer influência das novas estruturas nas ondas da zona de prática de surf, dado que estas são pouco refletoras por serem constituídas por mantos suaves de enrocamento e pelo facto da incidência da onda no local ser quase paralela ao contramolhe (para o rumo que estava a ser ensaiado – N), o Projetista propôs infletir ligeiramente para SE o troço do enraizamento do contramolhe, para desta forma aumentar a área de “escapatória” e, por conseguinte, aumentar a segurança dos surfistas (Fig. 18b)), respondendo, assim, a uma das suas solicitações.

A pedido do representante da USBA, foi ainda incluída uma escada de acesso ao plano de água e, posteriormente, uma coluna de iluminação para iluminar o acesso e o plano de água adjacente.

Para facilitar o acesso ao plano de água das pequenas embarcações para o ensino das modalidades desportivas, como a canoagem e a vela ligeira, foi também instalado um cais flutuante adicional, tão próximo quanto possível do Clube Naval, para evitar que as crianças se tenham que deslocar para a parte sul do porto, onde se implanta o núcleo de recreio náutico.

## **6 – CONCLUSÃO**

Nesta comunicação apresentou-se a caracterização das infraestruturas portuárias existentes e descreveram-se as atuais deficientes condições de operacionalidade do porto de pesca de Rabo de Peixe. Fez-se, igualmente, referência às condições naturais locais, com especial destaque para as severas condições de agitação.

Com vista a fazer face às deficientes condições de operacionalidade e ao Programa de Necessidades estabelecido, foram analisadas onze soluções alternativas de layout, das quais se apresentaram as três pré-selecionadas na fase de Estudo Prévio e as duas analisadas na fase de Projeto Base.

Apresentou-se também, resumidamente, a descrição dos ensaios em modelo físico tridimensional, realizados para verificação da estabilidade da solução selecionada na fase de Projeto Base (Solução 3B), análise dos galgamentos, das sobrelevações e das condições de agitação, quer no interior das bacias portuárias, quer à entrada, bem como na zona de prática de surf, tendo os resultados sido satisfatórios.

Adicionalmente, apresentou-se a análise comparativa dos dados de agitação obtidos através de modelação matemática e de modelação física, tendo-se concluído que as diferenças encontradas são pouco expressivas.

Finalmente, descreveram-se as alterações propostas com vista a otimizar o projeto tendo em conta a utilização da baía para a prática de modalidades desportivas como o surf, a vela ligeira e a canoagem, sendo estas: uma pequena inflexão para SE do enraizamento do contramolhe; a inclusão de uma escada de acesso e a iluminação desta e do plano de água adjacente, bem como a instalação de um cais flutuante adicional, próximo das instalações do Clube Naval.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONSULMAR, Região Autónoma dos Açores – Secretaria Regional da Habitação e Equipamentos – - Direcção Regional de Obras Públicas, *Empreitada de Reformulação e Melhoramento do Porto de Pesca de Rabo de Peixe na ilha de S. Miguel – Obras interiores – Projecto de Execução*, Tomo I, Agosto de 1997.

CONSULMAR, Região Autónoma dos Açores – Secretaria Regional da Habitação e Equipamentos – - Direcção Regional de Obras Públicas e Transportes Terrestres, *Empreitada de Reformulação e Melhoramento do porto de Pesca de Rabo de Peixe na ilha de S. Miguel, Molhe – Projecto de Execução*, Março de 1999.

CONSULMAR, Região Autónoma dos Açores – Secretaria Regional da Habitação e Equipamentos – - Direcção Regional de Obras Públicas, Porto de Pesca de Rabo de Peixe na ilha de S. Miguel, *Condições actuais de operacionalidade condicionada pelo estado do mar*, Janeiro de 2001.

CONSULMAR, Região Autónoma dos Açores – LOTAÇOR – Serviço de Lotas dos Açores, S.A., *Ampliação do porto de pesca de Rabo de Peixe, na ilha de S. Miguel, Estudo Prévio*, Março de 2010.

CONSULMAR, Região Autónoma dos Açores – LOTAÇOR – Serviço de Lotas dos Açores, S.A., *Ampliação do porto de pesca de Rabo de Peixe, na ilha de S. Miguel, Projecto Base, Volume 1 – Infra-estruturas marítimas, Tomo I – Memória descritiva e justificativa e estimativas orçamentais*, Julho de 2010.

IH – Instituto Hidrográfico, Ministério da Defesa Nacional – Marinha, *Tabelas de Marés*, 2010.

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, *Ensaio adicionais em modelo reduzido do quebra-mar de proteção do porto de pesca de Rabo de Peixe. Relatório Final*, Relatório 289/98 – NPP, Lisboa, Novembro de 1998.

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P., *Obras de expansão do porto de pesca de Rabo de Peixe (Ilha de S. Miguel – Açores). Ensaio em modelo reduzido*, Relatório 247/2011 - NPE, Lisboa, Julho de 2011.

Takahashi S., *Design of Vertical Breakwaters*; Reference Document No. 34, Port and Harbour Research Institute, Japan, 1996.

Trigo Teixeira, A., Mota Oliveira, I., Pires Silva, A. A., *Ação do Temporal de Outubro de 1999 sobre a Obra de Reformulação do Porto de Pesca de Rabo de Peixe, 2.ªs Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, PIANC, Sines, 2001.

USBA – União de Surfistas e Bodyboarders dos Açores – Relatório – *Inventariação e caracterização dos locais próprios para a prática de desportos de ondas na Região Autónoma dos Açores*, 2010.