

PROPOSTA PARA UMA REDE DE MONITORIZAÇÃO E PREVISÃO DA AGITAÇÃO MARÍTIMA NOS AÇORES

Mário Luís Gomes Ramalho Alves

Prof. Auxiliar da Universidade dos Açores
Laboratório de Ambiente Marinho e Tecnologia da Universidade dos Açores

José Manuel Morim de Oliveira

Eng.º Civil
WW – Consultores de Hidráulica e Obras Marítimas, Lda

RESUMO

O conhecimento do regime de agitação marítima dos Açores é, ainda, incipiente. Com efeito, até agora só foram realizados registos com bóia ondógrafa em três locais e durante curtos espaços de tempo.

Para suprir esta lacuna tem-se recorrido a compilações de dados de observações do mar feitas a partir de navios em rota, e, recentemente, de resultados de modelos de “hindcast” baseados em cartas sinópticas.

Tendo em vista a validação destes modelos e a criação de uma base de dados correspondente a um período de tempo suficientemente longo compatível com as extrapolações que é necessário fazer para a definição da onda de projecto das obras marítimas, propôs-se a instalação de uma rede de monitorização e de previsão da agitação contemplando:

- Instalação de quatro bóias ondógrafas e quatro sistemas RADAR banda X estrategicamente instalados para caracterizarem as condições nas diversas ilhas do arquipélago;
- Comparação sistemática dos registos das bóias com os resultados dos modelos de “hindcast” disponíveis;
- Selecção do modelo mais fiável;
- Criação de uma base de dados a partir da reconstituição dos estados do mar que teriam ocorrido no passado feitas pelo modelo seleccionado e dos que forem ocorrendo;
- Estabelecimento de um sistema de informação marinha “on line” da previsão do estado do mar para pontos seleccionados da costa (por exemplo, portos ou zonas de pesca), determinada pelo modelo seleccionado.

Neste sistema serão utilizados e testados diversos programas de previsão e de reconstituição do estado do mar e de propagação das ondas.

INTRODUÇÃO

O elevado número de obras marítimas bem como as actividades económicas que dependem do mar, requerem um conhecimento aprofundado do regime de agitação no mar dos Açores. Como no presente tal conhecimento é escasso, em particular devido à falta de dados obtidos de forma sistemática nesta região, este documento visa propor a instalação de um sistema de aquisição de dados de agitação marítima e ondulação, em conjugação com um sistema de análise e simulação numérica que, uma vez integrados, permitirão a calibração das simulações e a reconstrução de séries históricas de agitação com base nos dados do vento observado nos últimos 40 anos.

No que se segue, será feita uma descrição sumária da informação disponível e qual a importância de se recolherem novos dados. Segue-se a descrição do sistema integrado de recolha de dados e simulação matemática que aqui se propõe.

SITUAÇÃO PRESENTE

Para além das compilações de observações do mar feitas a partir de navios em rota, os dados existentes para caracterizar a agitação marítima e a ondulação na Região dos Açores resultam essencialmente dos registos de 3 bóias ondógrafas que estiveram instaladas nas Lajes (ilha das Flores) entre Setembro de 1986 e Dezembro de 1994, em Ponta Delgada (ilha de São Miguel) entre Março de 1989 e Dezembro de 1994 e em Vila do Porto (ilha de Santa Maria) entre Abril de 1990 e Dezembro de 1994. Na figura 1 pode-se ver a localização destas bóias. Os dados obtidos consistem em séries temporais de altura e período das ondas, com um registo de 3 em 3 horas obtido a partir da análise de 20 minutos de dados recolhidos com uma taxa de amostragem de 4Hz. Em períodos de tempestade (altura significativa superior a 3m no verão e 5.5m no Inverno), o registo foi efectuado de 20 em 20 minutos, isto é, sem interrupção de aquisição. Uma vez que estas bóias ondógrafas não eram direccionais, a direcção de propagação da ondulação foi obtida através de observações a partir de terra, pouco rigorosas. Para agravar a situação, dentro dos períodos de observação há várias interrupções na aquisição de dados, em consequência de avaria das bóias.

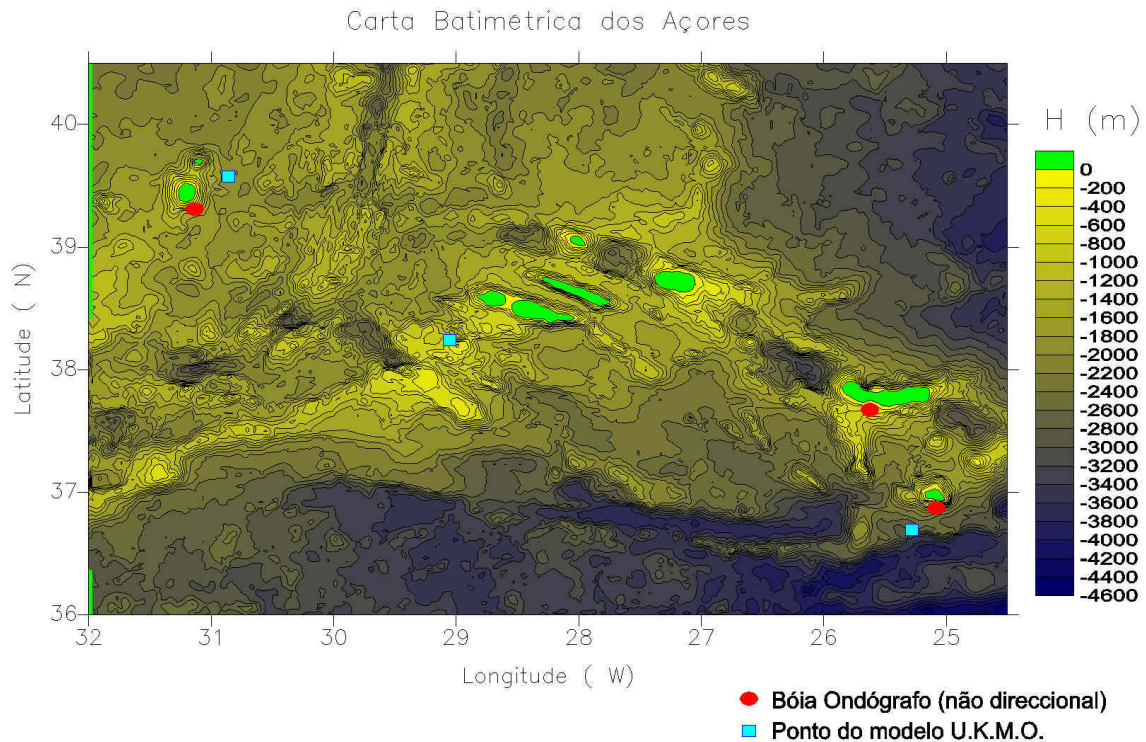


Fig. 1 Posição das bóias ondógrafas do início dos anos 90 (a vermelho) e posição dos pontos do modelo UKMO (a azul) em relação às ilhas do arquipélago dos Açores.

Para além destes registos locais de dados, têm sido usados também os resultados de modelos matemáticos de “hindcast” que permitem a reconstituição das condições de agitação marítima e de ondulação com base nas cartas sinópticas do estado do tempo. Dispõe-se, actualmente, dos resultados dos modelos do U.K.M.O. e do WERATLAS. No primeiro caso os resultados são obtidos sob a forma de séries temporais de velocidade e rumo do vento, altura, período e rumo das vagas e da ondulação, calculadas de 12 em 12 horas (ou 6 em 6 horas a partir de 1989). Deste modelo apenas são usados 3 pontos (os mais próximos do arquipélago dos Açores), situados a NW da ilha das Flores, a SW da ilha do Faial e a SW da ilha de Santa Maria (fig.1). Estes dados têm-se revelado úteis mas insuficientes para caracterizar o regime de agitação marítima nos Açores, já que a sua calibração com base nos dados das bóias ondógrafas não pode ser realizada adequadamente, quer pela falta dos dados da direcção de propagação das ondas e do vento medidos localmente, quer porque os pontos de observação e simulação não são coincidentes, o que obriga à utilização de um modelo de refacção espectral para sobrepor os resultados.

NECESSIDADES FUTURAS

O facto de os Açores serem um arquipélago no meio do Atlântico Norte, leva a que estejam expostos às situações de tempestade que aqui ocorrem com alguma frequência, em especial no Inverno. A indiscutível importância das obras marítimas, tanto para a economia da Região

como para a segurança das populações, torna imprescindível o conhecimento rigoroso das condições do estado do mar que as condicionam.

A curta extensão temporal quer das séries observacionais (máximo de 8 anos nas Flores e mínimo de 4.5 anos em Santa Maria), quer das simulações não calibradas com o modelo de “hindcast” (máximo de 25 anos), revela-se insuficiente para o cálculo da onda de projecto mais adequada em cada obra marítima dos Açores.

A escolha da onda de projecto é feita, em geral, com base na onda associada a um período de retorno de 50 anos. Tal escolha significa que a probabilidade de um dado estado do mar exceder a onda de projecto ao longo da vida útil da obra (25 a 50 anos) é da ordem dos 40 a 60%. Se a onda de projecto só puder ser determinada com um erro grande, a solução escolhida para um dada obra marítima pode ficar longe daquela que seria mais adequada. Uma vez que tal obra tanto poderá ficar subdimensionada como sobredimensionada, é fácil antever que no primeiro caso haverá um acréscimo dos custos de manutenção e uma redução dos prazos entre grandes reparações, ao passo que no segundo caso a obra terá um custo de execução desnecessariamente elevado.

A REDE DE MONITORIZAÇÃO E PREVISÃO DA AGITAÇÃO MARÍTIMA A CRIAR

Pelo exposto, é agora clara a necessidade e a urgência de aumentar o rigor do cálculo da onda de projecto para cada ponto do arquipélago dos Açores. Além disso, é igualmente fundamental o conhecimento das características das ondas que atingem as obras, quer durante a sua construção (para avaliar o comportamento durante o período de garantia), quer durante a sua vida útil (para avaliar a correlação entre essas ondas e o estado de conservação da obra, ou para planear intervenções futuras).

Para satisfazer estas necessidades, o sistema a implementar terá que permitir uma cobertura observacional, temporal e espacial, representativa da totalidade do arquipélago dos Açores, mas que ao mesmo tempo seja capaz de permitir a análise das consequências das ondas sobre os pormenores de cada local de obra.

Tais objectivos serão conseguidos conjugando as observações da agitação marítima e ondulação (com base em 4 bóias ondógrafas direccionais e 4 sistemas de Radar de banda X) com as simulações numéricas com base em modelos matemáticos de geração e propagação de ondas a partir do estado atmosférico observado (WAVEWATCH III, Tolman 1997 e 1999, modelo espectral vento-onde de terceira geração).

As observações do estado do mar:

As observações do estado do mar serão efectuadas através de 4 bóias ondógrafas direccionais, fundeadas ao largo das ilhas dos Açores, uma no Grupo Ocidental, duas no Grupo Central e uma no Grupo Oriental (Fig. 2). Além destas 4 bóias, serão igualmente

usados 4 radares marítimos standard de banda X (9.41 GHz, 3cm), 3 fixos e um móvel, cujos dados têm diversas vantagens face aos das bóias, mas não prescindem da utilização daquelas.

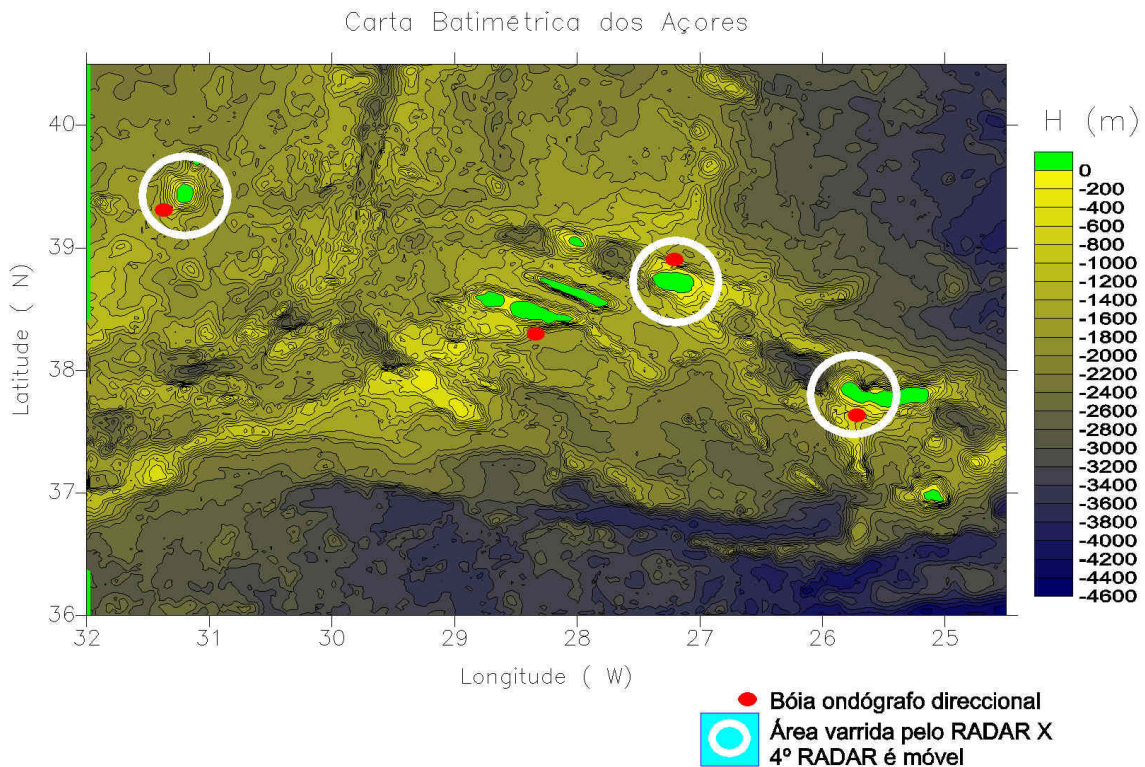


Fig. 2 Posição dos equipamentos da rede proposta, com a localização das 4 bóias ondógrafas direccionais e dos 3 radares de banda X fixos. O 4º Radar será móvel e pode ser usado em estudos específicos em qualquer ilha ou local ao largo.

Com efeito, estes radares permitirão obter dados para uma área espacial (em vez de para um só ponto, como acontece com cada bóia) com 1 a 5 milhas de raio e um arco com extensão igual à zona de varrimento do radar. Além disso, como não estão no mar, permitirão obter dados para estados do mar extremos (tempestades), mesmo quando as bóias não sobrevivem, poderão ser móveis e assim usados em vários sítios das ilhas, poderão operar em contínuo e fornecer os dados em tempo real, serão mais adequados à assimilação nos modelos matemáticos, pois cobrem uma área espacial ao longo do tempo. As bóias são, porém, fundamentais para calibrar as observações dos radares e, por isso, não podem ser dispensadas.

Através do uso destes meios observacionais, estarão disponíveis parâmetros como espectro bidimensional de número de ondas, espectro bidimensional em frequência e direcção das ondas, espectro de frequência, altura significativa das ondas, período de pico, período médio, direcção de pico, direcção média das ondas, c.d.o. da onda de pico.

As simulações do estado do mar:

A análise do estado do mar em todo o arquipélago será conseguida através do uso do modelo WAVEWATCH III (Tolman 1997 e 1999), que é um modelo de ondas de terceira geração e que foi desenvolvido pelo “National Center for Environmental Prediction – NCEP”. Trata-se de um modelo do tipo WAM (Wave Action Model, Komen *et al* 1994), mas mais completo. O WAVEWATCH III resolve a equação de balanço da densidade espectral da acção de onda para o espectro número de onda – direcção. Implicitamente, assume-se que o estado de base em que as ondas se propagam (profundidade, correntes oceânicas e o próprio campo das ondas) varia numa escala espaço-temporal muito superior à de uma única onda. Este modelo, porém, não deve ser aplicado na zona de rebentação das ondas nem em malhas espaciais inferiores a 1km, porque não resolve a física dos processos destas escalas. No entanto, com este modelo será possível simular a refacção e a deformação do campo de ondas que possa resultar da existência de variações de profundidade ou da presença de correntes oceânicas. Permitirá igualmente simular a geração e a dissipação do campo das ondas devido à acção do vento, à existência de interacções ressonantes e não lineares, à dissipação superficial e no fundo.

A interligação entre observações e modelação matemática:

Uma vez que o modelo matemático a empregar está preparado para aceitar a assimilação de dados, este facto permitirá produzir simulações numéricas dos estados do mar com grande rigor. A estratégia a usar é simples: os dados observacionais calibrados e analisados serão assimilados no modelo matemático através de técnicas numéricas apropriadas; a execução do modelo irá obrigá-lo a ajustar-se às observações nos locais em que elas estejam disponíveis; o modelo assim ajustado irá propagar a informação sobre o estado do mar para os locais onde não há observações. Ficar-se-á, deste modo, com a cobertura integral do arquipélago e em elevada resolução.

Os resultados deste modelo podem ser seguidamente usados para inicializar um modelo das equações de Navier Stokes completo, com o qual será possível propagar as ondas geradas com o WAVEWATCH III para dentro de sub-domínios de muito menor dimensão, como é o caso dos portos. A selecção dos sub domínios a simular será efectuada conforme o local de uma ilha pretendido ou para o local de uma obra marítima. A conjugação destes dois sistemas numéricos com a simulação do estado atmosférico local permitirá, por exemplo, simular a eventual formação de marés de vento sobrepostas à ondulação e agitação marítima e prever as suas consequências sobre obras costeiras, já que estas são, quase sempre, de grande gravidade.

Os resultados deste sistema poderão estar facilmente acessíveis através de uma página Internet construída para o efeito e poderão ter múltiplas utilizações.

Seguidamente exemplifica-se a sequência de uma simulação deste tipo para o caso do porto da Praia da Vitória e para a tempestade de 21 de Dezembro de 2001, em que o molhe sul foi fortemente destruído e o molhe norte seriamente danificado.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO SISTEMA INTEGRADO DE MONITORIZAÇÃO E PREVISÃO AO PORTO DA PRAIA DA VITÓRIA

No dia 21 de Dezembro de 2001, o arquipélago dos Açores foi assolado por uma depressão atmosférica bastante cavada, centrada a sudeste do Grupo Oriental dos Açores (fig. 3).

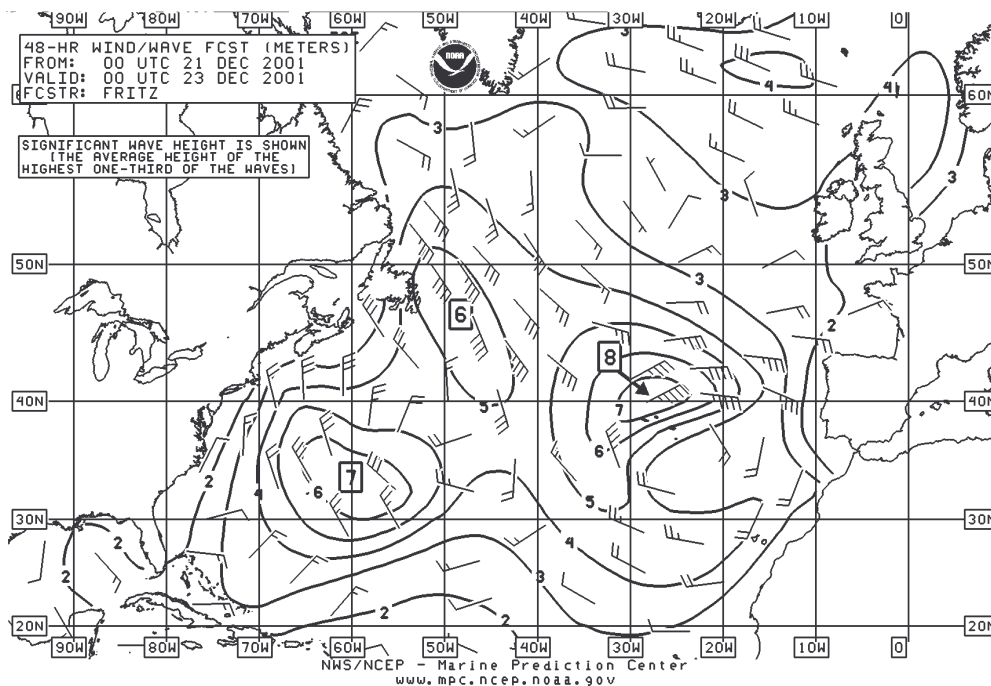


Fig.3 Vector vento e simulação da altura significativa das ondas no Atlântico Norte para o período de 21 a 23 de Dezembro de 2001. Note-se a depressão cavada a sudeste dos Açores (ventos médios da ordem dos 100km/h e altura significativa de 8m). Simulação efectuada pelo Centro de Previsão da NOAA.

A partir dos ventos médios observados com 70 a 100 km/h na zona dos Açores e a partir da malha regular espacial em que os mesmos são conhecidos, foi possível inicializar o modelo de simulação do estado do mar e determinar a altura significativa associada (fig. 3), bem como o período e direcção de propagação das ondas naquelas datas no arquipélago dos Açores (fig. 4). A simulação numérica mostra que no Grupo Central dos Açores estiveram presentes ondas com uma altura significativa de 8m, provenientes de Este e com um período de cerca de 10 a 12s.

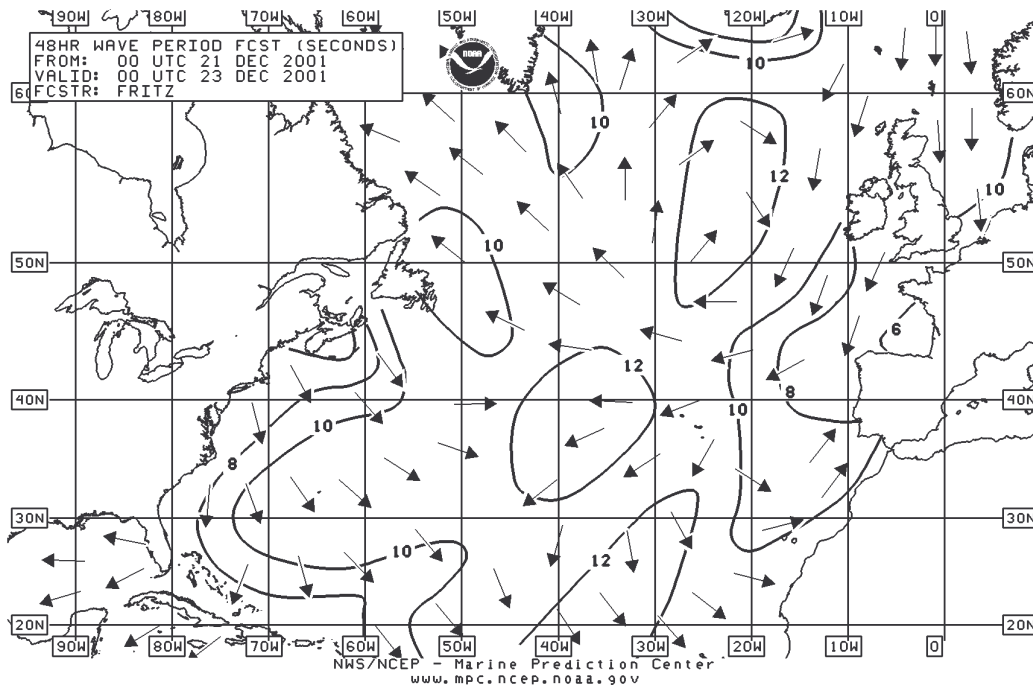


Fig. 4 Simulação do período e da direcção de propagação das ondas no Atlântico Norte para o período de 21 a 23 de Dezembro de 2001. Note-se na Região dos Açores a presença de ondas de Este com períodos da ordem dos 12s. Simulação efectuada pelo Centro de Previsão da NOAA.

Os resultados da simulação do estado do mar para o Atlântico Norte e, em particular, para a região dos Açores foram seguidamente usados para simular (modelo Navier-Stokes) o comportamento das ondas na proximidade e dentro do próprio porto da Praia da Vitória (figuras 5 e 6).

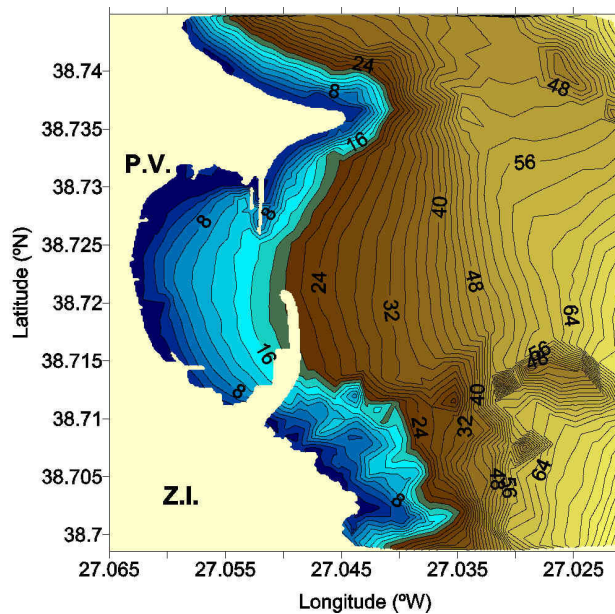


Fig. 5 Representação digital da batimetria da baía do porto da Praia da Vitória (ilha Terceira) usada nas simulações numéricas.

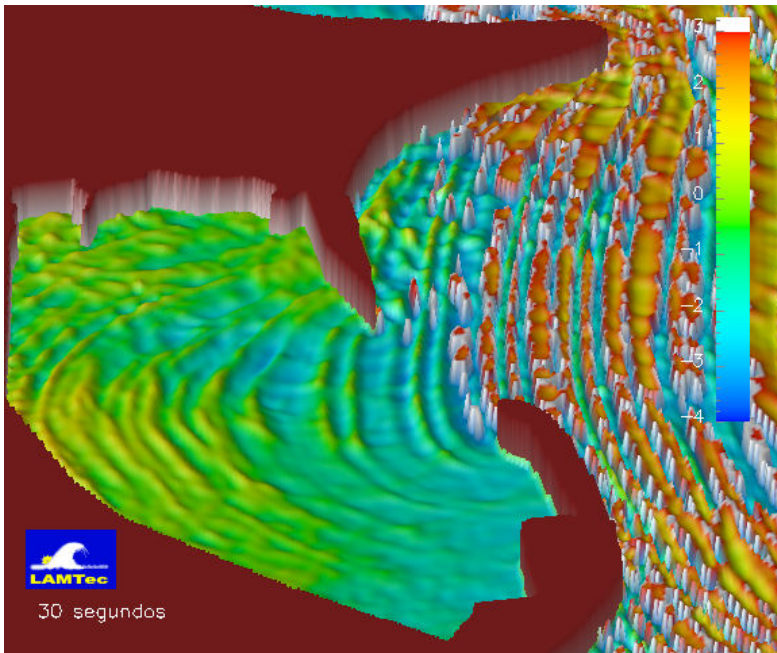


Fig. 6 Representação tridimensional instantânea da simulação do estado do mar dentro e fora da zona próxima da baía do porto da Praia da Vitória (ilha Terceira). A escala de cor varia entre os -4m os +4m.

Analisando com maior detalhe estes resultados, podemos concluir que, pela acção combinada do vento e da ondulação de Este com as características acima enunciadas, se formou uma zona de rebentação das ondas no exterior dos molhes, o que mesmo assim não impediu que se propagassem ondas de grande amplitude para o interior da baía e do porto (fig. 7).

Do mesmo modo, uma sequência de instantes calculados de modo semelhante ao apresentado na figura 6 permite determinar o empilhamento médio da água do mar nesta zona (fig. 8). Essa simulação revelou que em torno dos molhes se formou uma depressão do nível médio do mar (em particular dentro da baía) que contribuiu para os vulnerabilizar.



Fig. 7 Imagem do estado do mar junto aos molhes do porto da Praia da Vitória obtida pelas 12 horas do dia 21 de Dezembro de 2001.

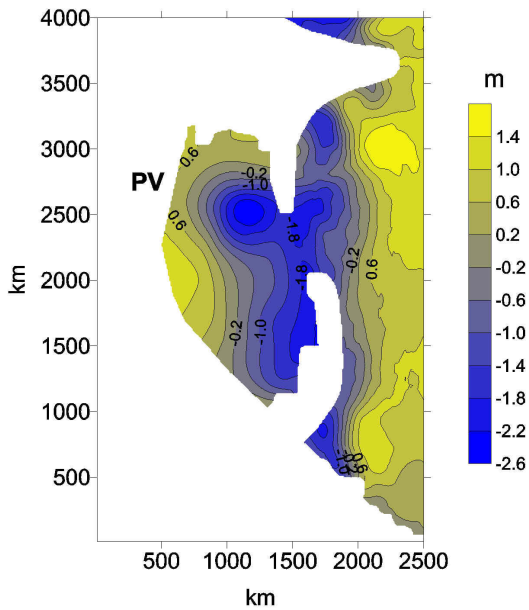


Fig. 8 Nível médio do mar em relação a uma situação em repouso (sem ondas nem vento). Note-se a formação de uma depressão com cerca de 1.8m de profundidade face ao repouso em torno dos molhes e a formação de uma elevação com quase 1m acima do repouso na zona mais afastada. Note-se que a propagação de ondas num nível médio do mar como este expõe de forma crítica os molhes.

Com a altura significativa das ondas de 8m, é possível a ocorrência de alguns grupos de onda dominados por ondas de 15m de altura e períodos de 14s. A tais ondas corresponde uma potência média por metro linear de 1.5 MW ($P = \frac{1}{2}H^2T$), um valor enorme.

Este exemplo de aplicação mostra claramente a vantagem que representará a existência de um sistema de monitorização e previsão para o estado do mar como o aqui exposto.

REFERÊNCIAS

- Komen, G. J., L. Cavaleri, M. Donelan, K. Hasselmann and P.A.E.M. Jansen, 1994 : Dynamics and Modelling of Ocean Waves. Cambridge University Press, 532 pp.
- Tolman, H. L., 1997: User manual and system documentation of WAVEWATCH – III version 1.15. NOAA / NWS / NCEP / OMB Technical Note 151, 97 pp.
- Tolman, H. L., 1999: User manual and system documentation of WAVEWATCH – III version 1.18. NOAA / NWS / NCEP / OMB Technical Note 166, 110 pp.