



GUIOMAR: DESENVOLVIMENTOS RECENTES E APLICAÇÃO AO CASO DE SINES

Diogo R.C.B. NEVES

Eng. Civil, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, +351.218443446, dneves@lnec.pt

Ana Catarina ZÓZIMO

Eng. Civil, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, +351.218443446, aczozimo@lnec.pt

Liliana V. PINHEIRO

Eng. Civil, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, +351.218443 912, lpinheiro@lnec.pt

Conceição J. E.M. FORTES

Eng. Civil, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, +351.218443451, jfortes@lnec.pt

RESUMO

O sistema GUIOMAR pode ser definido como um sistema integrado que permite a utilização de modelos numéricos de propagação de ondas através de um sistema de informação geográfica.

A interface desta aplicação está a ser desenvolvida no LNEC com base no software ArcGis™ e programada em linguagem *Visual Basic for Applications*, sendo que os modelos e programas seus constituintes utilizam o FORTRAN™ como linguagem. Neste momento, o sistema GUIOMAR inclui 6 modelos de propagação de ondas, cada um com características diferentes para aplicação em estudos diferentes e um programa de geração de malhas irregulares.

Desta forma, o sistema GUIOMAR consegue aliar as potencialidades de um SIG, que permite a fácil construção de mapas de risco, mapas temáticos e mapas de análise geográfica, com a automatização de procedimentos para o pré e o pós processamento de dados e resultados dos modelos numéricos de propagação de ondas, bem como a sua execução. O resultado deste sistema é a constituição de uma ferramenta que permite realizar os estudos de agitação marítima de forma interactiva e amigável, reduzindo o tempo de preparação dos dados e visualização dos resultados, sistematizando todo o processo de obtenção das características da agitação marítima e diminuindo assim erros da parte do utilizador.

Nesta comunicação, apresenta-se o mais recente desenvolvimento do sistema GUIOMAR, que é a utilização acoplada dos modelos SWAN e DREAMS, que permite a transferência de informação do primeiro para o segundo modelo de forma automática. Esta nova funcionalidade é especialmente importante em estudos associados a áreas de grandes dimensões e diferentes características, em que se torna indispensável a utilização de dois ou mais modelos numéricos para a correcta caracterização da agitação marítima. De forma a testar a nova versão do sistema, este foi aplicado na propagação da agitação marítima para o interior do Porto de Sines.

Palavras-chave – Modelos Numéricos, Agitação Marítima, GUIOMAR, SIG, Sines.



1 INTRODUÇÃO

A actividade humana está intrinsecamente relacionada com a gestão de zonas costeiras, sendo o conhecimento da agitação marítima um dos factores chave. A utilização de modelos numéricos de propagação da agitação marítima tem facilitado e potenciado um melhor conhecimento das características da agitação marítima tanto a nível operacional como para o estabelecimento de regimes de agitação marítima, uma vez que, em certos casos já se dispõe de uma considerável quantidade de dados. Os modelos numéricos são capazes de tratar e produzir largas quantidades de informação de forma rápida e flexível. Adicionalmente, o seu vasto leque de aplicações exige a construção de uma ferramenta capaz de extrair a informação relevante de uma grande quantidade de dados e de resultados.

As potencialidades dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são vitais no cumprimento do que foi mencionado acima porque permitem uma análise espacial e temporal concisa de fenómenos naturais complexos. Tal deve-se à grande capacidade dos SIG para organizar e interpretar grandes quantidades de dados e para extrair informação, rapidamente demonstrando tendências e padrões, auxiliando assim as tomadas de decisão no âmbito da gestão costeira.

Um exemplo da utilização deste tipo de sistemas é o sistema GUIOMAR (Zózimo *et al.*, 2005, 2006, 2008) (Nahon *et al.* 2007) (Favreu M., 2005), em desenvolvimento no LNEC que tem a capacidade de aproveitar os recursos de um software de SIG para apoiar a modelação numérica em engenharia costeira. Para garantir a comunicação entre o software SIG e os modelos numéricos de propagação de ondas foi construída uma interface que permite ao utilizador executar os modelos numéricos, efectuar o pré e o pós processamento dos dados e resultados dos modelos e utilizar todas as capacidades do software SIG, contribuindo para a obtenção de uma resposta rápida e fiável.

Dadas as limitações intrínsecas de cada modelo numérico e as extensões das áreas de estudo, a caracterização da agitação marítima em vários pontos da costa portuguesa requer a utilização acoplada de dois ou mais modelos numéricos. Uma funcionalidade importante nos sistemas do tipo do GUIOMAR é a existência de procedimentos automáticos para a transferência de informação entre modelos numéricos.

O principal objectivo desta comunicação é a descrição do procedimento automático desenvolvido para o sistema GUIOMAR que permite o acoplamento entre os modelos numéricos SWAN, (Booij *et al.*, 1999) e DREAMS (Fortes, 2002). Assim, para qualquer zona costeira em que se pretenda conhecer a agitação marítima, esta metodologia permite a utilização desses dois modelos de forma rápida e simples, evitando o tempo dispendido e a possibilidade de ocorrência de erros na transferência manual de informação entre modelos.

O caso de estudo da propagação de ondas marítimas na zona do Porto de Sines foi utilizado para testar o funcionamento e potencialidades do acoplamento SWAN/DREAMS através da interface do sistema GUIOMAR. Para tal, através da interface do sistema foi primeiramente aplicado o modelo SWAN desde o largo até à zona de entrada do porto, a partir da qual foi utilizado o modelo DREAMS. A aplicação do modelo DREAMS foi precedida pela caracterização das fronteiras sólidas do porto de Sines, com vista à determinação dos respectivos coeficientes de reflexão. O resultado final deste trabalho representa um passo em frente no desenvolvimento de um sistema robusto em ambiente SIG, capaz de constituir uma ferramenta válida de apoio à tomada de decisão em estudos em engenharia costeira.

2 O SISTEMA GUIOMAR

2.1 ESTRUTURA

O sistema GUIOMAR (Zózimo *et al.*, 2005, 2006, 2008) (Nahon *et al.* 2007) (Favreu M., 2005) teve a sua evolução a partir do sistema SIMAR (Charneca *et al.*, 2004), no qual foi testada a funcionalidade do software ArcGisTM para a zona costeira de Sines. Nessa primeira abordagem foi aplicado o modelo REF/DIF 1, (Dalrymple e Kirby, 1991). Foram confirmadas as

capacidades do software em termos de manipulação e visualização de dados e resultados. É de salientar que o software ArcGis™ foi escolhido pela sua utilização generalizada em diversas áreas, e pelo facto de suportar uma linguagem de programação simples e de fácil aprendizagem como o VBA

A automatização dos processos deu origem ao sistema GUIOMAR (Zózimo *et al.*, 2005, 2006, 2008) (Nahon *et al.* 2007) (Favreu M., 2005). O sistema na sua essência coordena a análise geográfica com o uso dos modelos numéricos, gerindo os dados de entrada, a geração de malhas computacionais e a visualização dos resultados gerados pelos modelos numéricos.

O sistema tem três componentes principais: o software comercial SIG, ArcGis™; um conjunto de modelos numéricos de propagação de ondas e programas utilitários de pré e pós processamento em linguagem FORTRAN™. A natureza modular do sistema permite facilmente a sua expansão e aperfeiçoamento, como é o caso da inclusão de mais modelos ou substituição dos já existentes por versões mais actualizadas, de forma a contemplar os diferentes processos físicos associados à modelação numérica da propagação de ondas costeiras. De acordo com o conceito do sistema GUIOMAR está previsto que os modelos possam funcionar de forma independente ou acoplada de acordo com o caso em estudo.

A interface gráfica que permite ao utilizador aceder e comunicar com o computador através do sistema GUIOMAR, foi inteiramente construída em VBA (*Visual Basic for Applications*) e permite: (i) a elaboração dos ficheiros de entrada dos modelos; (ii) a visualização automática dos dados batimétricos; (iii) executar diversos modelos numéricos de propagação de ondas, de acordo com o seu domínio de aplicação; e (iv) a visualização e análise dos resultados através do software SIG, permitindo visualizações 2D e 3D.

Os modelos numéricos de propagação de ondas que constituem o sistema GUIOMAR foram seleccionados de modo a permitir uma abordagem diferente de acordo com o caso em estudo. Neste momento, o sistema GUIOMAR alberga seis módulos/modelos: modelos baseados na equação de declive suave, DREAMS (Fortes, 2002), REF/DIF 1 (Dalrymple e Kirby, 1991), REF/DIF S (Kirby e Ozkan, 1994); modelos baseados na equação de Boussinesq, FUNWAVE 1D e 2D (Kirby *et al.*, 1998); e o modelo espectral de propagação de ondas SWAN (Booij *et al.*, 1999). O programa GMALHA (Pinheiro *et al.*, 2006) constitui também um módulo, sendo responsável pela geração de malhas computacionais não estruturadas.

A Figura 1 exemplifica a estrutura de funcionamento do sistema GUIOMAR.



Figura 1 – Estrutura do sistema GUIOMAR.

2.2 INTERFACE GERAL

Após a instalação do sistema GUIOMAR, o utilizador está habilitado a aceder a todos os seus recursos através do programa ArcMap™ (incluído no software ArcGIS™). O sistema GUIOMAR está presente no ArcMap™ como uma extensão do programa (como, por exemplo, a extensão *3D Analyst*), Figura 2.

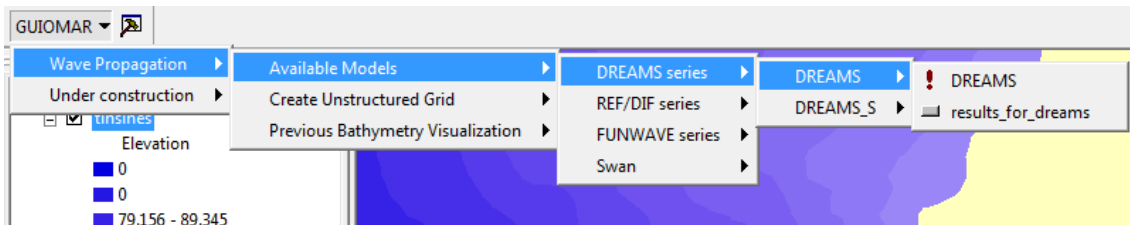


Figura 2 – Barra de ferramentas GUIOMAR.

É através da barra de ferramentas que o utilizador escolhe o modelo a aplicar de acordo com o estudo que deseja fazer. Uma vez seleccionado o modelo, é escolhida a directoria de trabalho para o projecto e é apresentada uma série de formulários que ajudam o utilizador a introduzir, manipular, e visualizar os dados de entrada no modelo. Posteriormente, os resultados produzidos podem ser visualizados acedendo à zona de visualização dos resultados nos formulários referentes a cada modelo.

Como os modelos numéricos trabalham directamente com ficheiros de entrada, o sistema GUIOMAR permite, não só a introdução de novos dados manualmente, mas também a utilização de dados já existentes em ficheiros, facilitando assim a construção de novos conjuntos de dados. A importação dos dados no sistema GUIOMAR tem que ser feita de acordo com o formato pré estabelecido pelo software ArcGIS™.

2.3 MÓDULOS DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS - INTERFACES

2.3.1 Interface do modelo SWAN

SWAN - acrónimo de *Simulating WAVes Nearshore* - é um modelo numérico espectral para geração, propagação e dissipação da agitação marítima, baseia-se na equação da conservação da acção de onda (Booij *et al.*, 1999).

O modelo SWAN é capaz de simular a propagação da agitação marítima desde o largo até próximo da costa considerando os processos físicos de refacção, difracção e emolamento devido a variações do fundo e presença de correntes, crescimento de onda por acção dos ventos, rebentação por influência do fundo e por excesso de declividade (*whitecapping*), dissipação de energia devido ao efeito da fricção do fundo, bloqueio e reflexão por correntes opostas, e transmissão através de obstáculos. O modelo pode ser executado em modo estacionário ou não estacionário.

Os dados necessários para a execução do SWAN são: a malha batimétrica da zona a modelar, as condições de agitação na fronteira de entrada do domínio de cálculo ou alternativamente o campo de ventos para o forçamento da geração de ondas e os fenómenos físicos a ter em conta. Pode ainda ser definido o campo de correntes.

A interface do modelo SWAN (Nahon *et al.*, 2007) inicia-se com a selecção do modelo SWAN na barra de ferramentas da Figura 1. Surge, então, uma janela onde o utilizador define a directoria de trabalho para o caso em estudo, Figura 3. Em seguida, aparece o formulário de construção do projecto, Figura 4. No primeiro separador do formulário é inserido o nome do

projecto, que vai dar nome a uma sub-directoria onde vão constar todos os ficheiros do modelo (ficheiros de entrada e saída do modelo).

O segundo separador é o conjunto de formulários que possibilita que o utilizador forneça a informação necessária para que se construam os ficheiros de entrada do cálculo, desde as batimetrias utilizadas para cada malha, domínios computacionais, fenómenos físicos a incluir, e pontos de extracção de resultados. Para executar o modelo, através da barra do GUIOMAR referente ao modelo SWAN selecciona-se “Launch run(s)”.

Para visualizar e analisar os resultados, procede-se da mesma forma e selecciona-se “post-processing” onde o utilizador tem a possibilidade de visualizar resultados já formatados para cada variável, Figura 5. Os resultados do SWAN que podem ser visualizados através da interface são a altura de onda significativa, os períodos de pico e médio, as direcções de pico e média, a dispersão direccional, o parâmetro de largura de banda e nível de água, e a probabilidade de ocorrência de rebentação em qualquer parte do domínio computacional.

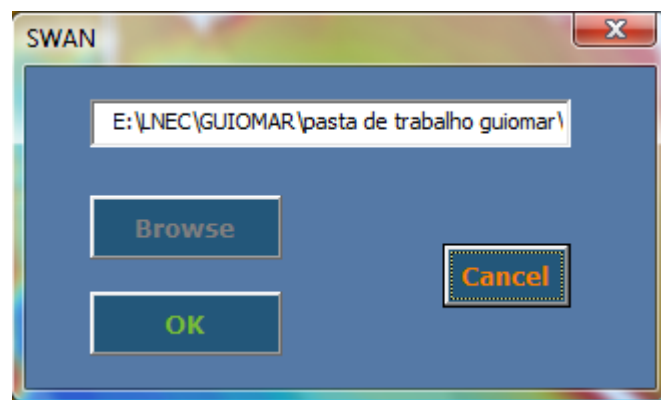


Figura 3 - Directoria de trabalho do SWAN.

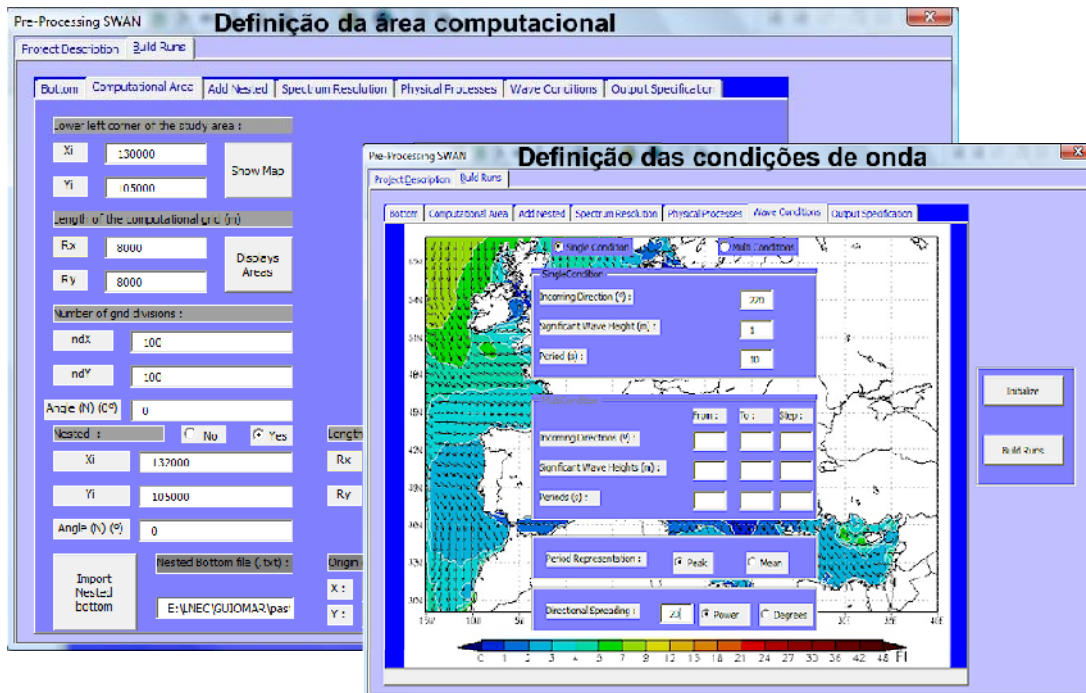


Figura 4 – Formulário de construção do projecto.

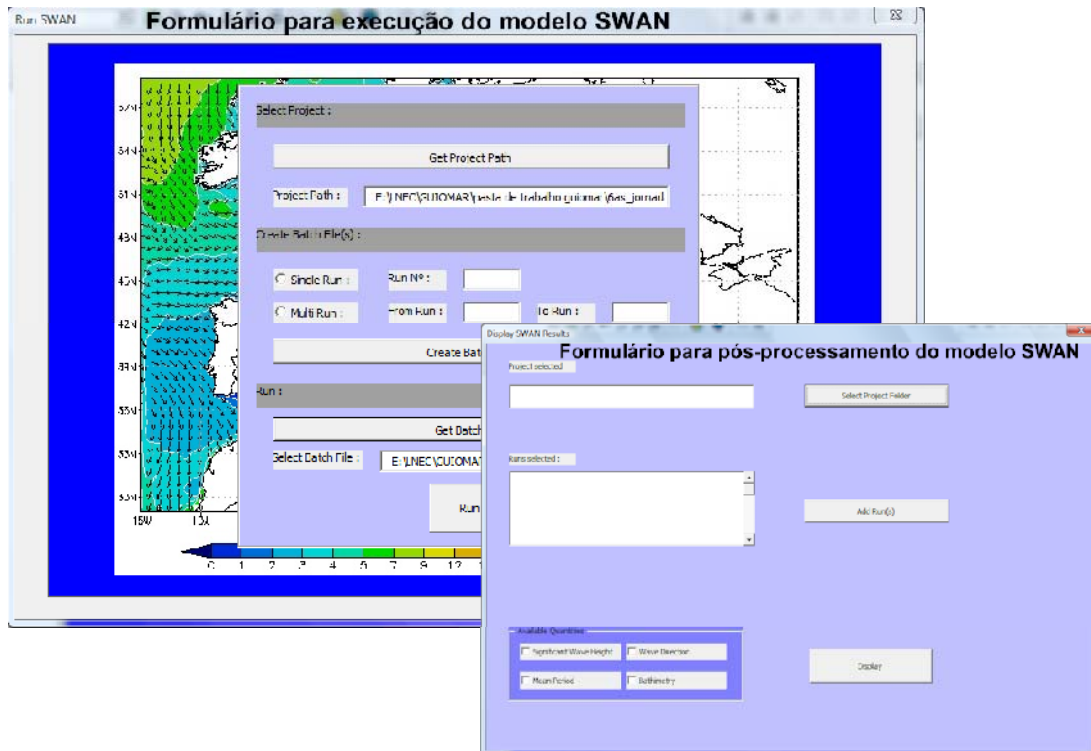


Figura 5 – Formulário para execução e pós processamento do projecto.

2.3.2 Interface do modelo DREAMS

DREAMS (Fortes, 2002), é um modelo numérico para o cálculo da propagação e deformação de ondas regulares em zonas costeiras. O modelo pode ser aplicado para estudar as condições de agitação marítima dentro de um porto ou numa zona abrigada. É baseado na equação elíptica de declive suave, que descreve os efeitos combinados da refacção e difracção de ondas monocromáticas propagando-se em fundos de inclinação suave característicos de portos, baías e zonas costeiras.

O modelo DREAMS requer como dados de entrada, as características da agitação incidente (período, direcção da onda e nível de maré) bem como da malha de elementos finitos com que foi discretizado o domínio em estudo e da fronteira desse domínio. Os resultados do modelo DREAMS são os índices de agitação (H/H_0), relação entre a altura de onda no ponto do domínio de cálculo, H , e a altura de onda à entrada do domínio de cálculo, H_0 , ou coeficientes de amplificação (em estudos de ressonância portuária), direcções de propagação da onda, e ainda o campo de velocidades horizontais na superfície livre e as linhas representativas das cristas das ondas (linhas de igual fase).

Tal como o módulo do modelo SWAN também a interface do modelo DREAMS, (Zózimo et al. 2006) é acessível através da barra de ferramentas, Figura 1, depois de se indicar qual a pasta de trabalho para o projecto. Após a abertura do projecto aparece a janela com os formulários, Figura 6a, cada um no seu separador, para construção dos ficheiros de entrada no modelo.

Nesta fase insere-se o nome do projecto, define-se os dados de entrada (parâmetros do modelo, condições de agitação incidente e principalmente as características da malha de elementos finitos) para o modelo, onde se especifica a localização dos ficheiros de dados necessários ao DREAMS e que foram gerados automaticamente pelo programa GMALHA (através do módulo de geração de malhas não estruturadas). Existe também a possibilidade, ainda em desenvolvimento, de aceder directamente ao módulo de geração de malhas através dos formulários do DREAMS.

Nos campos adequados são indicados os nomes dos ficheiros de resultados do modelo e efectua-se a construção dos ficheiros de dados de entrada de acordo com o caso em estudo. O botão “*Build main file and run DREAMS*” permite a execução do modelo. Após a execução do modelo aparece uma janela com a possibilidade de visualizar os resultados num formato já pré-definido pelo sistema GUIOMAR. Note-se que os resultados são sempre passíveis de serem tratados conforme o utilizador desejar de acordo com as capacidades do software ArcGis™. A janela de visualização de resultados pode também ser acedida através da barra de ferramentas inicial de forma a facilitar a operacionalidade do sistema.

É possível efectuar cálculos sistemáticos com o modelo DREAMS considerando a mesma batimetria e parâmetros do modelo mas diferindo as características da onda incidente, período e direcção da onda, Figura 6 a) e b).

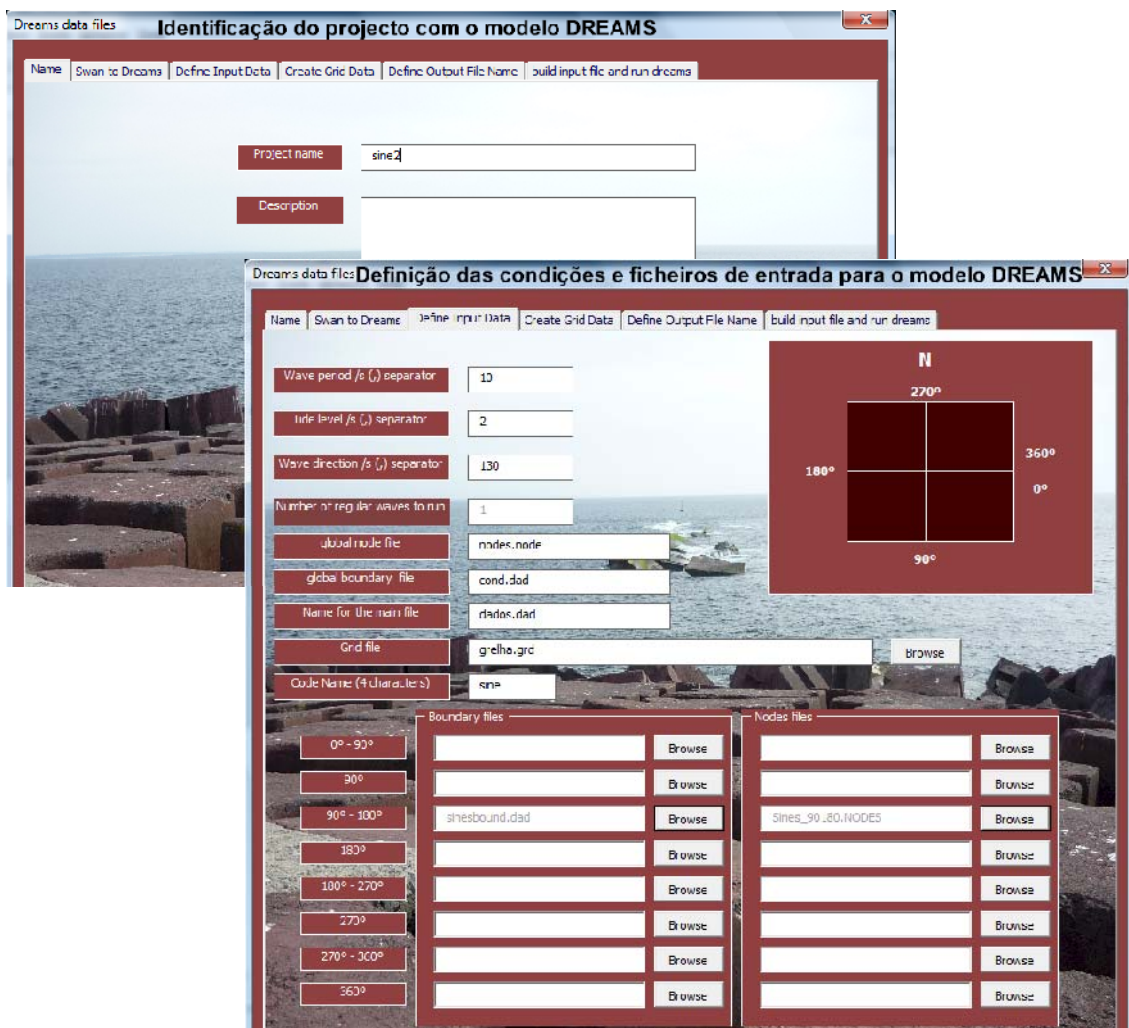


Figura 6 a) – Interface para o modelo DREAMS – definição do projecto e condições de entrada.

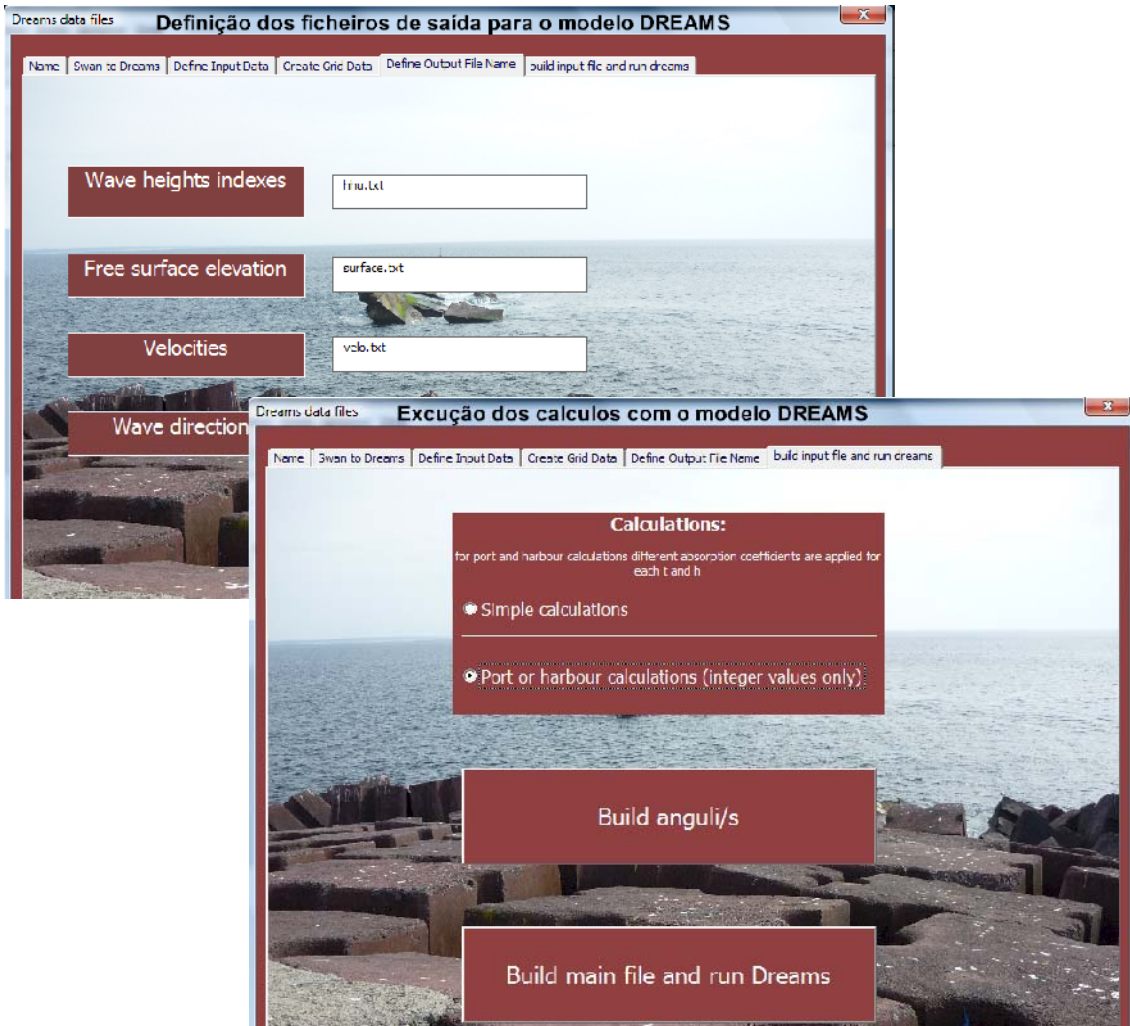
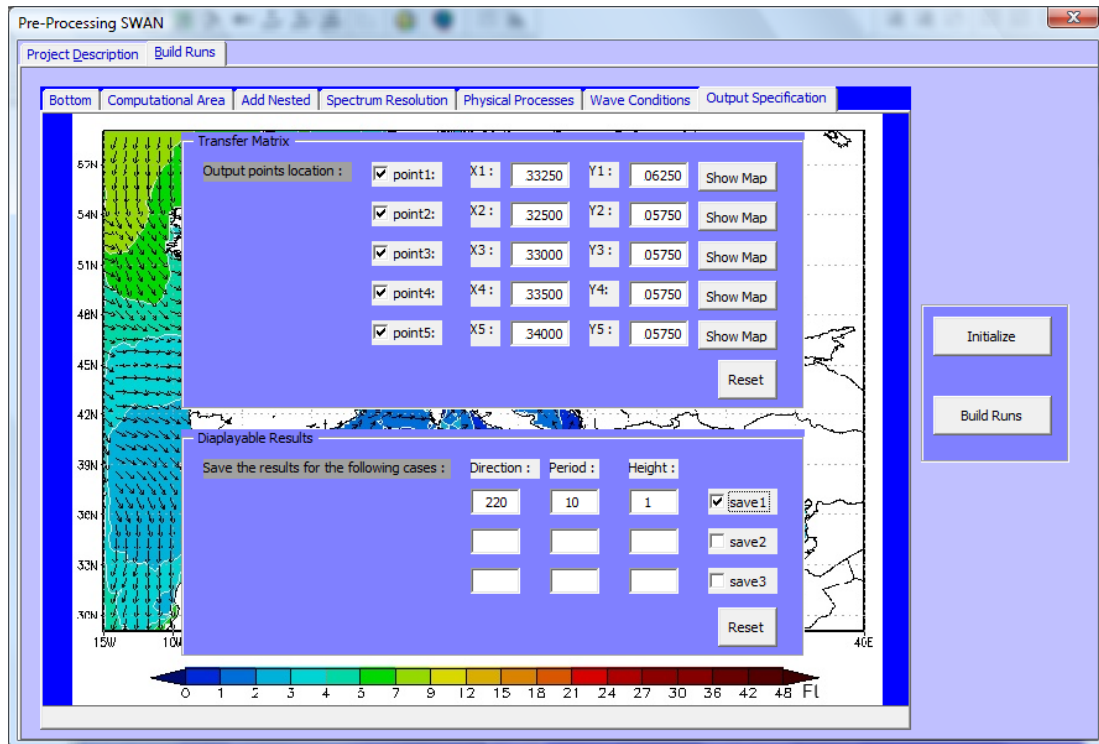


Figura 6 b) – Interface para o modelo DREAMS – definição dos ficheiros de saída e execução do modelo

2.3.3 Acoplamento do modelo SWAN com o modelo DREAMS

Para efectuar o acoplamento entre os modelos SWAN e DREAMS foi necessário proceder à implementação de algumas alterações em cada um dos módulos correspondentes. A metodologia seguida foi idêntica à efectuada no pacote SOPRO (Fortes *et al.*, 2008).

No módulo do modelo SWAN, foi incluído um campo onde o utilizador define os pontos em que pretende obter as características da agitação marítima que servirão de condições de agitação incidente para os cálculos com o modelo DREAMS. É importante salientar que estes pontos devem fazer parte da fronteira do domínio de cálculo do modelo DREAMS (Figura 7).



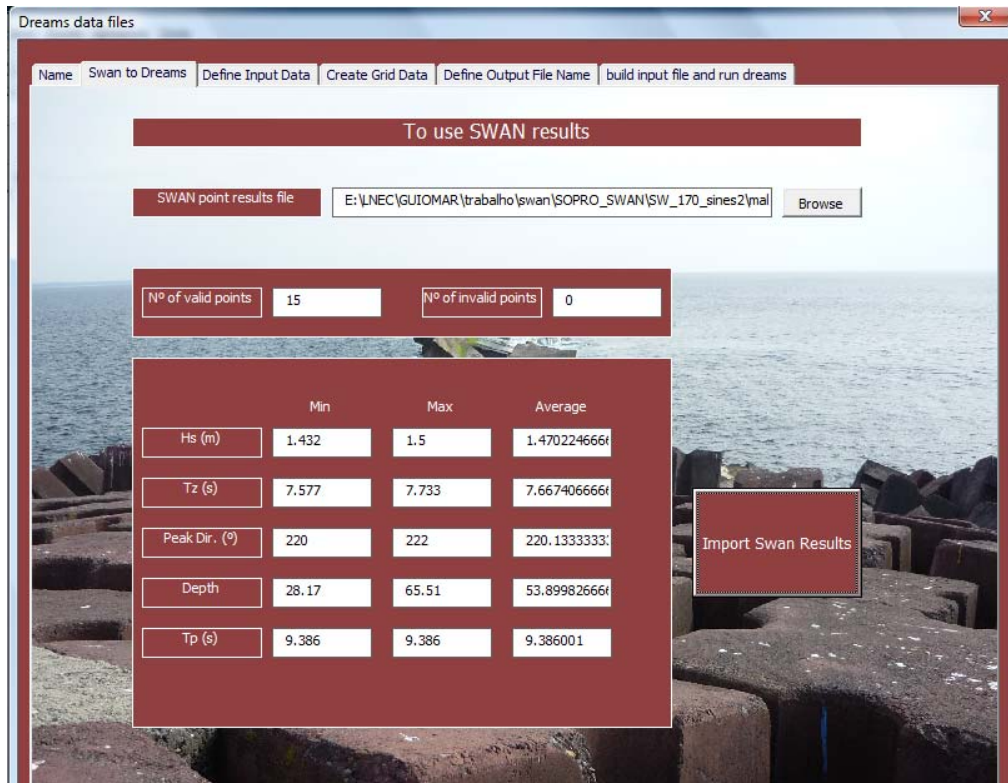
point	X	Y	Show Map
point1	33250	06250	<input type="checkbox"/>
point2	32500	05750	<input type="checkbox"/>
point3	33000	05750	<input type="checkbox"/>
point4	33500	05750	<input type="checkbox"/>
point5	34000	05750	<input type="checkbox"/>

Case	Direction	Period	Height	save
save1	220	10	1	<input checked="" type="checkbox"/>
save2				<input type="checkbox"/>
save3				<input type="checkbox"/>

Figura 7 – Formulário de introdução dos pontos para o modelo SWAN.

Por outro lado, na interface do modelo DREAMS foi criado um novo separador, que executa (Figura 8):

- Leitura do ficheiro que contém os resultados do modelo SWAN - altura significativa (HS), período médio de zero ascendente (TZ), Direcção média de pico (Dir), Profundidade (DEPTH) e período de pico (TP), nos pontos escolhidos pelo utilizador, i.e., nos pontos da fronteira de entrada do modelo DREAMS;
- Filtração e aferição da qualidade dos dados, onde se indica, do ficheiro de resultados, quais os pontos que são válidos (por exemplo, se o valor do ponto for igual a -999 o ponto é considerado inválido);
- Determinação dos valores mínimos e máximos e cálculo da média de cada um dos parâmetros dos resultados do modelo.



Dreams data files

Name: Swan to Dreams | Define Input Data | Create Grid Data | Define Output File Name | build input file and run dreams

To use SWAN results

SWAN point results file: E:\NEC\GUIOMAR\trabalho\swan\SOPRO_SWAN\SW_170_sines2\mal Browse

Nº of valid points: 15 | Nº of invalid points: 0

	Min	Max	Average
Hs (m)	1.432	1.5	1.470224666
Tz (s)	7.577	7.733	7.667406666
Peak Dir. (°)	220	222	220.1333333
Depth	28.17	65.51	53.89982666
Tp (s)	9.386	9.386	9.386001

Import Swan Results

Figura 8 –Modelo DREAMS. Formulário para o acoplamento.

Com esta metodologia, é possível passar a informação necessária para o modelo DREAMS de forma automática, uma vez que os ficheiros de resultados dos pontos são pré-formatados para a interface do modelo DREAMS, bastando para isso indicar a sua localização.

3 Caso de estudo - Porto de Sines

3.1 INTRODUÇÃO

Para testar e ilustrar o funcionamento do acoplamento dos modelos SWAN e DREAMS dentro do sistema GUIOMAR foi realizado o estudo de propagação de ondas para a zona marítima do porto de Sines, para o qual existem dados de agitação marítima medidos por uma bóia ondógrafo localizada perto do porto.

Para a caracterização das condições de abrigo dentro do porto e dada a extensão da área de estudo e as limitações inerentes aos modelos de propagação existentes, houve a necessidade de acoplar dois modelos numéricos – o modelo SWAN e o modelo DREAMS. Com efeito, enquanto que o modelo SWAN permite a propagação das ondas desde águas profundas até junto à entrada do porto, mas não pode ser utilizado em zonas confinadas, o modelo DREAMS permite a simulação da agitação marítima na zona interior do porto, mas dado o esforço computacional envolvido não pode ser aplicado a grandes áreas de cálculo.

A Figura 9 a) e b), mostra as batimetrias utilizadas para efectuar os cálculos com os modelos SWAN e DREAMS, respectivamente. Estas batimetrias foram construídas a partir de dados batimétricos do Instituto Hidrográfico.

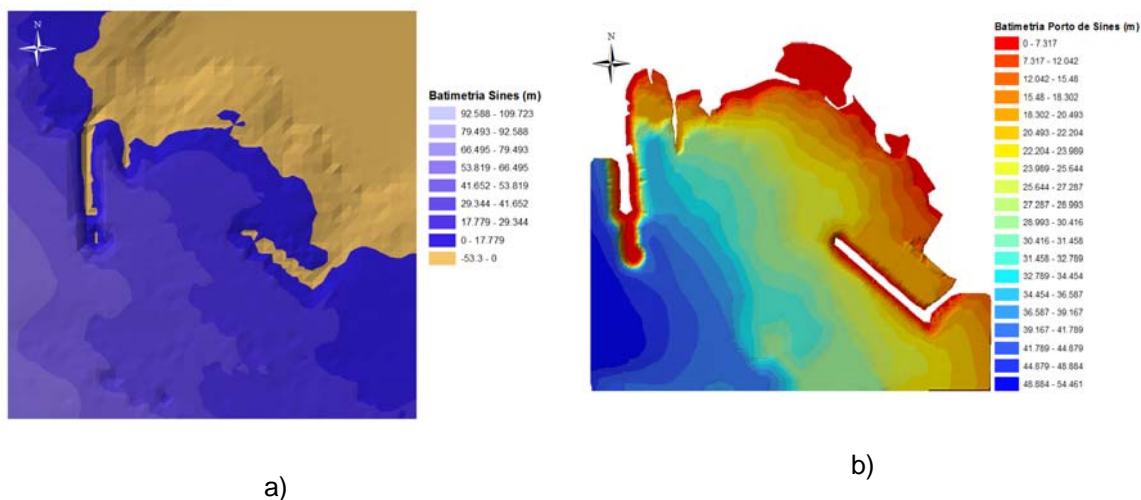


Figura 9 – a) Batimetria para o modelo SWAN; b) Batimetria para o modelo DREAMS.

A condição de agitação incidente para testar o acoplamento dos dois modelos no sistema GUIOMAR foi uma onda com altura significativa, $HS=1$ m, período de pico, $TP=10$ s e direcção, $\theta = 220^\circ$. Esta condição corresponde a uma situação em que a onda entra francamente no porto de Sines.

3.2 APLICAÇÃO DO MODELO SWAN

No modelo SWAN foram definidas 2 malhas computacionais, em que a malha principal tem uma resolução de 80 m e uma dimensão de 8 km por 8 km, cobrindo todo o domínio de cálculo. Foi definida uma malha encaixada na malha principal com resolução de 40 m e uma dimensão de 5 km por 5 km.

Foram definidos 11 pontos de estudo para transferir resultados do modelo SWAN para o modelo DREAMS (Figura 10), dos quais 5 pontos estão localizados na fronteira Oeste da malha do modelo DREAMS, 5 localizados na fronteira Sul e 1 é o ponto de vértice da malha DREAMS.

Depois de definidas as características das malhas, os nomes dos ficheiros de saída e introduzida a batimetria no módulo SWAN através do formulário apresentado na Figura 4, foram completados os campos, com as características da agitação incidente.

Não foram considerados no funcionamento do modelo SWAN os fenómenos devidos a correntes ou ventos, mas apenas os associados à difracção, fricção de fundo, e o efeito das tríades. A agitação incidente na fronteira do domínio de cálculo do SWAN (isto é, ao largo) foi definida através do produto de um espectro em frequência JONSWAP, com um factor de pico $\gamma=3.3$, por uma função de dispersão direccionada co-seno de potência 20. No cálculo do espectro da agitação ao longo do domínio impôs-se uma discretização em frequência com 23 intervalos de 0.04 a 1 Hz, e uma discretização em direcção de 2° , de 0° a 360° .

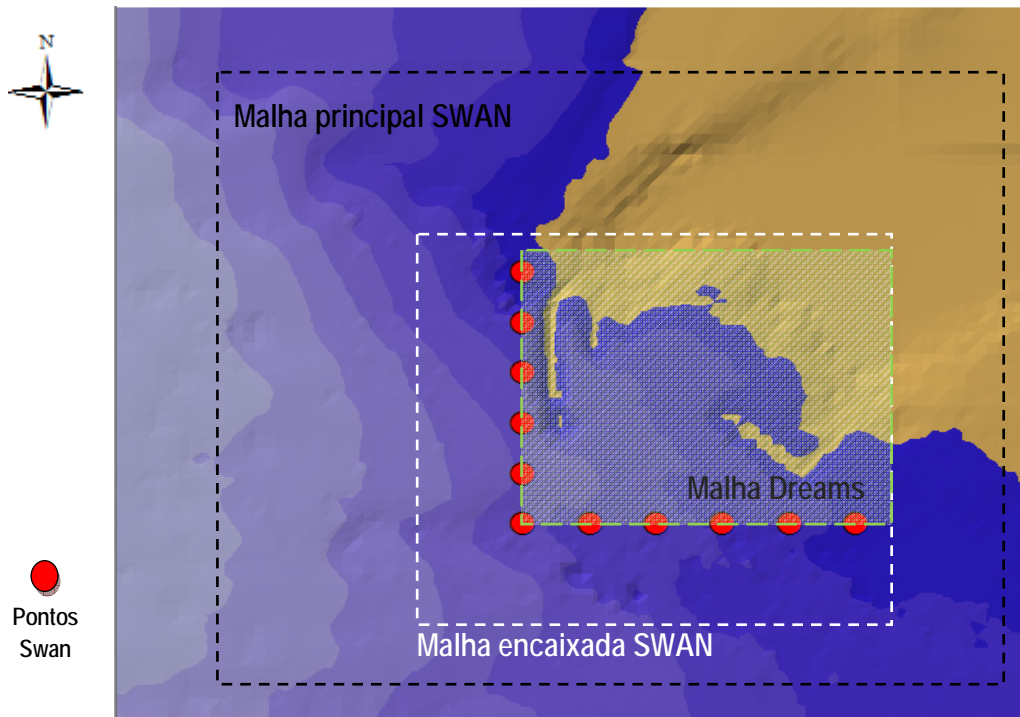


Figura 10 – Modelo SWAN. Malhas e pontos onde foram extraídos resultados.

Na Figura 11 a), b), e c), apresentam-se as características da agitação marítima, em termos de altura significativa, H_s , e direcção e período de pico calculadas pelo SWAN em todo o domínio, para a condição de agitação ao largo com $TP=10$ s, $HS=1$ m e $\theta=220^\circ$.

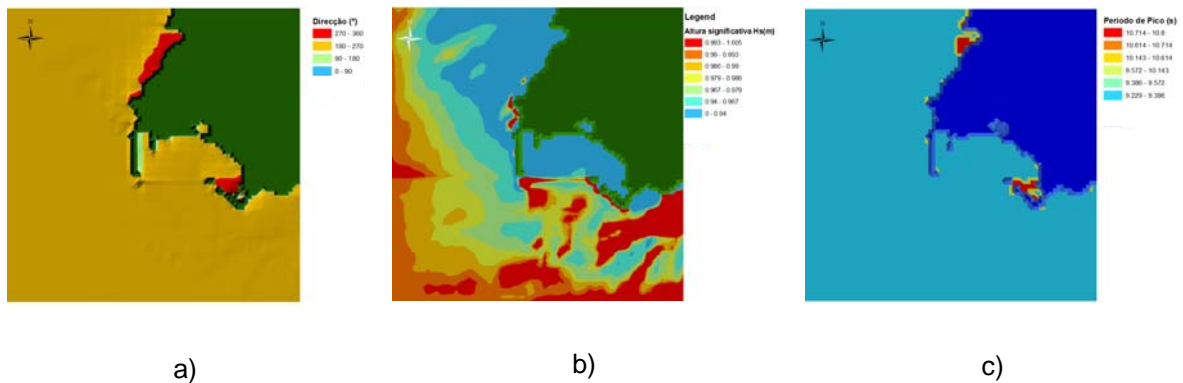


Figura 11 – Resultados do modelo SWAN: a) direcções; b) altura significativa; c) período de pico

Com base nos resultados do modelo SWAN para os 11 pontos seleccionados, efectuou-se o cálculo dos valores máximos, mínimos e médios de H_s , TZ , Dir , TP e profundidade obtidos nesses pontos (Figura 12). O cálculo desses valores foi efectuado considerando os 5 pontos da fronteira Oeste e os 5 pontos da fronteira Sul (Tabela 1).

Os resultados do acoplamento (cálculos dos valores máximos, mínimos e médios), foram divididos em 4 Casos, no Caso 1 considerando os 11 pontos de resultados SWAN na fronteira da malha DREAMS, que no Caso 2 apenas foram considerados os 5 pontos da fronteira Oeste e no Caso 3 foram considerados os pontos da fronteira Sul. Por fim, também foram verificados

os valores do ponto localizado no vértice Sudoeste da malha DREAMS constituindo assim o Caso 4.

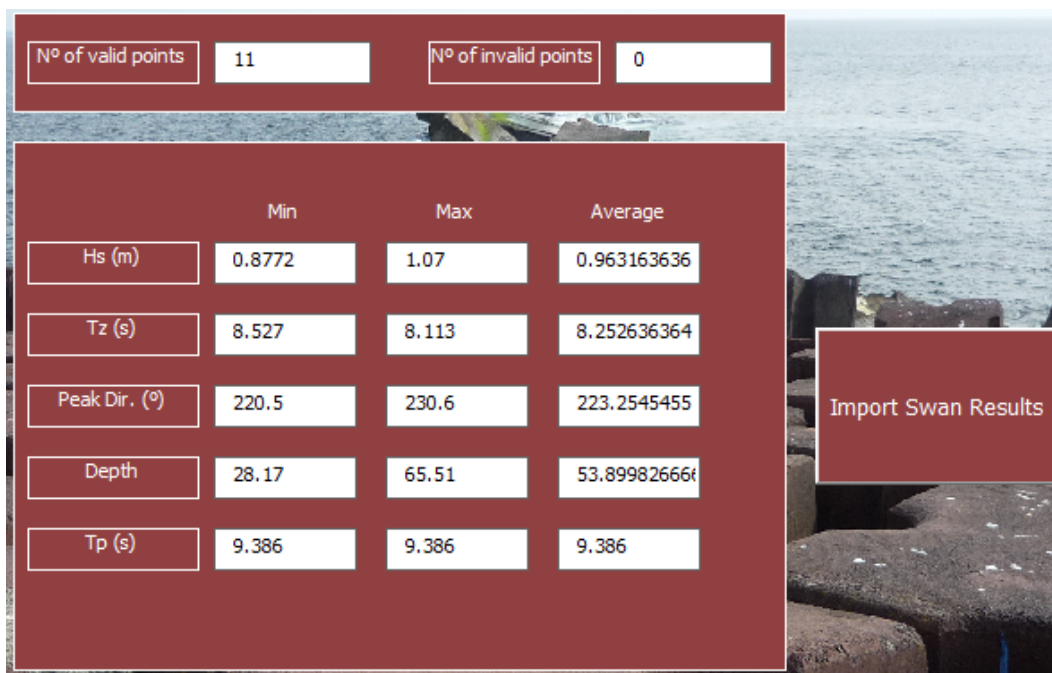


Figura 12 – Interface de acoplamento com valores de todos os pontos SWAN.

Tabela 1 – Máximos, mínimos e médias para os Casos 1, 2, 3 e 4.

	MAX			MIN			MED		
	TP	HS	Dir	TP	HS	Dir	TP	HS	Dir
Caso 1 – Todos os pontos	9.386	1.07	230.6	9.386	0.877	220.5	9.386	0.963	223.2
Caso 2 - 5 pontos a Oeste	9.386	0.971	230.6	9.386	0.877	220.5	9.386	0.936	222.8
Caso 3 - 5 pontos a Sul	9.386	1.07	226.2	9.386	0.945	222.3	9.386	0.990	224.2
Caso 4 - 1 ponto Vértice da malha DREAMS	9.386	0.959	220.6	9.386	0.959	220.6	9.386	0.959	220.6

Em geral, verifica-se que, para os casos considerados, existe pouca variabilidade entre os valores calculados nos vários pontos SWAN a nível de altura significativa (Hs), Período de Pico (Tp) e direcção de onda (θ).

Verifica-se que a altura significativa é da ordem dos 0.96 m, o período de pico médio igual a 9.4 s e quanto à direcção da onda, verifica-se uma rotação da direcção SW (220°) para direcções médias de 223.2°.

3.3 APLICAÇÃO DO MODELO DREAMS

O módulo DREAMS efectua a propagação da agitação marítima desde a entrada no porto de Sines até ao seu interior, onde os fenómenos de difracção e reflexão são importantes. O domínio computacional foi discretizado por uma malha de elementos finitos, construída a partir do programa GMALHA, e é constituída por 300 139 elementos e 151 669 nós. No interior do porto, foram definidos 6 pontos de análise dos resultados do modelo DREAMS (Figura 13).

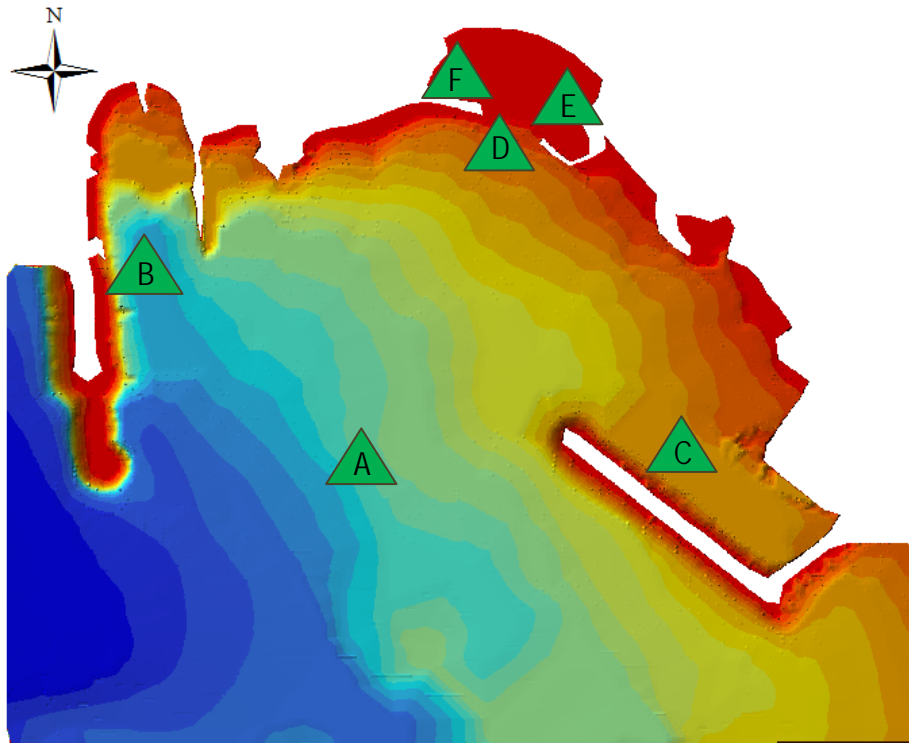


Figura 13 – Malha do Modelo DREAMS. Localização dos pontos A a F no interior do porto.

As malhas, os nomes dos ficheiros de entrada e saída, a batimetria da zona em estudo são introduzidos nos através dos formulários do sistema GUIOMAR para o módulo DREAMS, Figura 6 a) e b).

Partindo dos parâmetros dos estados de agitação calculados pelo modelo SWAN, definiram-se as condições de ondas regulares incidentes na fronteira do modelo DREAMS.

Foram efectuados cálculos com o modelo DREAMS para duas situações: (i) fronteiras com reflexão nula e (ii) com reflexão variável ao longo da fronteira do domínio de cálculo.

No caso de fronteiras de reflexão variável, o cálculo dos coeficientes de reflexão foi definido de acordo com o método de Seeling e Arens (1995), que entra em consideração com as características e configuração da linha de costa e também com as características da onda incidente (período e altura de onda). Tal envolveu a caracterização no local, da linha de costa e das estruturas do porto de Sines a nível da porosidade, declive do talude, profundidade no pé do talude, número de Iribarren, entre outros. O coeficiente de reflexão foi calculado considerando um nível de maré de 2 m.

Na Figura 14 a), b), e c), apresentam-se os resultados do modelo DREAMS para $HS=1$ m, $TP=10$ s e $Dir=220^\circ$ para a situação de reflexão nula (absorção total). Na Figura 15 a), b), e c), apresentam-se para as mesmas condições de onda incidente os resultados com as fronteiras caracterizadas pelos coeficientes de absorção calculados através da fórmula empírica de Seeling e Arens (1995).

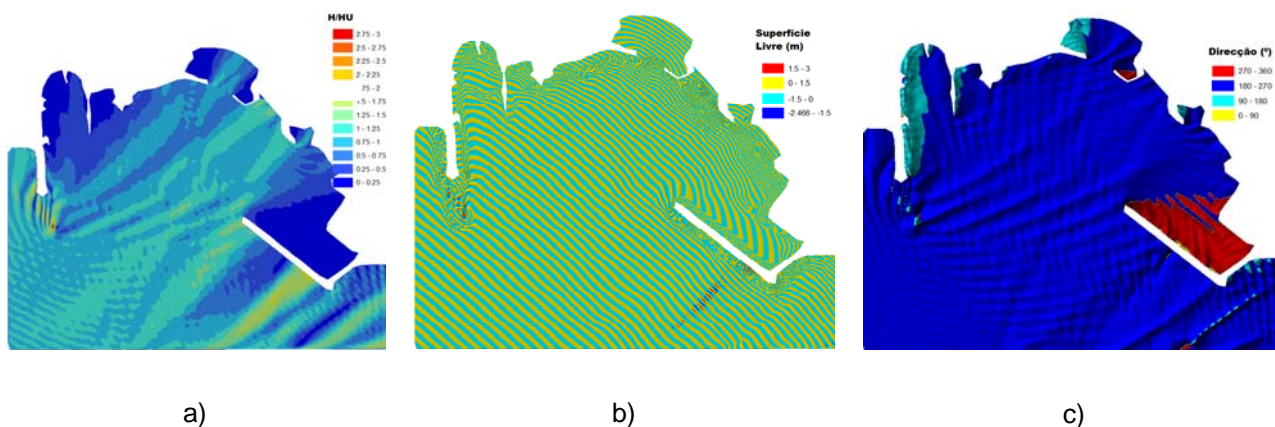


Figura 14 – Resultados com o modelo DREAMS com absorção total nas fronteiras, a) Índice de agitação (H/H_o); b) Elevações da superfície livre; c) Direcções de onda.

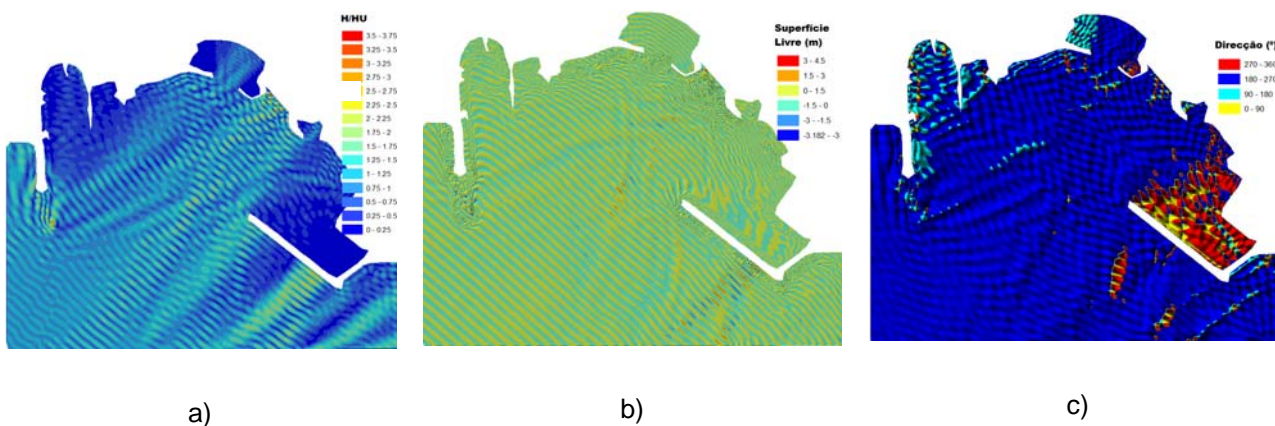


Figura 15 - Resultados com o modelo DREAMS com coeficientes de reflexão calculados pela fórmula de Seelig e Arens (1995), a) Índice de agitação (H/H_o); b) Elevação da superfície livre; c) Direcções de onda.

Na Tabela 2 apresentam-se os resultados nos 6 pontos considerados (A, B, C, D, E, F) (Figura 13), para as condições de absorção parcial calculada através da fórmula empírica e para condições sem absorção.

Da análise da Figura 14 e da Figura 15 observa-se que existem algumas diferenças relevantes entre as simulações com fronteiras de absorção total e as com fronteiras com reflexão parcial. As zonas onde essas diferenças são mais evidentes correspondem a zonas mais abrigadas e próximas dos molhes devido aos efeitos de reflexão na fronteira.

A Tabela 2 corrobora a afirmação anterior demonstrando que os pontos mais abrigados são aqueles que mostram maiores diferenças entre simulações com reflexão variável e sem reflexão. Nota-se um aumento da agitação em termos de altura significativa (HS) em zonas abrigadas para uma simulação com reflexão não nula, ou seja, o fenómeno de amplificação. Em relação à direcção de onda existem algumas diferenças, embora mais subtis, derivadas de fenómenos de difracção.



6^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária
Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

Tabela 2 – Valores dos pontos DREAMS para fronteiras de absorção total e absorção parcial.

Pontos/Coordenadas*	Absorção total (sem reflexão)		Absorção parcial (com reflexão)	
	Hs (m)	Dir (°)	Hs (m)	Dir (°)
Ponto A (134616,108112)	0.968	225.2	0.924	225.2
Ponto B (133650,109010)	0.215	124.4	0.108	124.4
Ponto C (136059,108109)	0.045	338.6	0.372	335.4
Ponto D (135285,109560)	0.837	229.9	0.777	228.8
Ponto E (135576,109721)	0.490	220.9	0.683	220.9
Ponto F (135036,109773)	0.045	150.2	0.091	150.5

* Coordenadas definidas de acordo com o sistema de coordenadas Hayford-Gauss Militar.

4 CONCLUSÕES

Neste artigo, apresentaram-se os recentes desenvolvimentos realizados no sistema GUIOMAR que consistiram no acoplamento dos modelos SWAN e DREAMS, automatizando a transferência de informação entre os dois modelos. Este aperfeiçoamento do sistema permite de forma praticamente automática a modelação da propagação da agitação marítima em regiões de grande dimensão desde o largo até ao interior de bacias portuárias, como é o caso do porto de Sines.

A aplicação ao porto de Sines serviu de exemplo e teste a esta nova funcionalidade do sistema GUIOMAR que permitirá de forma mais expedita, com menos falhas e num período de tempo bem mais reduzido efectuar o acoplamento do modelo SWAN com o modelo DREAMS.

No exemplo apresentado, confirmou-se que o sistema GUIOMAR permite a realização de estudos de forma interactiva e amigável, que de outra maneira se tornariam dispendiosos em termos de tempo e trabalho. Desta forma, um utilizador não familiarizado com o processo pode num tempo reduzido executar tarefas complexas, como é o caso da preparação dos dados e visualização dos resultados. A automatização de todo o processo levada a cabo pelo sistema GUIOMAR implica a redução drástica de erros que podem ocorrer na constituição de um caso de estudo.

A melhoria do sistema GUIOMAR constitui uma aposta de futuro, podendo-se referir a implementação de procedimentos automáticos e interactivos de definição de características da fronteira a aplicar nos cálculos com o modelo DREAMS. Também está previsto o acoplamento entre os outros modelos que constituem o pacote de calculo numérico do sistema GUIOMAR, incluindo a verificação com dados reais do bom funcionamento desta acoplagem, e a melhoria da visualização automática e interactiva com o utilizador dos dados e resultados dos modelos. Estes melhoramentos encontram-se presentemente em desenvolvimento.



6^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Funchal, 8 e 9 de Outubro de 2009

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a autorização concedida pela Administração do Porto de Sines, S.A. para realizar os estudos de caracterização da linha de costa e estruturas do porto. Agradecem ainda à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) pelo financiamento concedido através dos projectos PTDC/AMB/67450/2006 e PTDC/ECM/73145/2006 e pela bolsa SFRH/BD/18183/2004.

BIBLIOGRAFIA

- BOUIJ, N., RIS, R.C., HOLTHUIJSEN, L.H., 1999. A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation, *J. Geographical Research*, C4, 104, 7649-7666.
- CHARNECA, N., ZÓZIMO, A.C., FORTES, C.J.E.M., 2004. Aplicação de uma ferramenta SIG em estudos de propagação de ondas marítimas. VII Congresso da Água, Lisboa, versão electrónica.
- DALRYMPLE, R.A., KIRBY, J.T., 1991. REF/DIF 1. Version 2.3 Documentation Manual. Combined Refraction/Diffraction Model, CACR Report n.º 91-2, University of Delaware, Janeiro.
- FAVREAU, M., 2005. A GIS Tool For Coastal Wave Propagation. Relatório de Estágio. LNEC.
- FORTES, C.J.E.M. 2002. Transformações não-lineares de ondas marítimas em zonas portuárias. Análise pelo método dos Elementos Finitos. Tese de doutoramento, IST/DEM.
- FORTES, C.J.E.M.; PINHEIRO, L.V.; SANTOS, J.A., 2008. A Acoplagem de Modelos Numéricos no Pacote SOPRO. 9.º Congresso da Água, 2 a 4 de Abril.
- KIRBY, J.T., OZKAHN, H.T., 1994. REF/DIF S Version 1.1 Documentation and Users Manual. CACR Report n.º 94-04, University of Delaware.
- KIRBY, J.T., WEI, G., CHEN, Q., KENNEDY, A.B., DALRYMPLE, R.A., 1998. FUNWAVE 1.0 – Fully Nonlinear Boussinesq Wave Model Documentation and User's Manual. Research Report No.CACR-98-06, Center for Applied Coastal Research, University of Delaware.
- NAHON, A., ZÓZIMO, A C., FORTES, C.J.E.M., 2007. GUIOMAR: Interface para utilização do modelo SWAN. 5^{as}. Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária, Lisboa, 11 e 12 Outubro, 21 pp (versão electrónica).
- PINHEIRO, L.V., FERNANDES, J.L.M., FORTES, C.J.E.M., 2006. Sobre um gerador de malhas de elementos finitos com densidade local condicionada à batimetria para modelos de propagação de ondas em zonas portuárias. I Conferência Nacional de Métodos Numéricos em Mecânica dos Fluidos e Termodinâmica, Lisboa, 8 e 9 de Junho.
- PINHEIRO e tal (2008)
- SEELING, W.N., ARENS, J.P., 1995. Wave reflection and energy dissipation by coastal structures, in *Wave forces on inclined and vertical wall structures*, editado por N. Kobayashi, ASCE, 1995, pp. 28-55.
- ZÓZIMO, A.C., GONÇALVES, A., FORTES, C.J.E.M., CHARNECA, N., 2005. "Ferramenta SIG para modelos de propagação de ondas. Desenvolvimentos preliminares", 7.º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa (SILUSBA), Évora, Portugal.
- ZÓZIMO, A.C., FORTES, C.J.E.M., 2006. GUIOMAR: Geo(graphical User Interface for coastal and Marine Modeling. Interactive Grid Generation. EUA4X#21, pp. 91-100.
- ZÓZIMO, A.C., FORTES, C.J.E.M., NEVES, D., 2008. GUIOMAR: Geographical User Interface for cOastal and MARine modeling. Recent developments and assessment of potential geographical errors. Mediterranean Days of Coastal and Port Engineering. Palermo, 7 a 9 de Outubro.