



## PYMOIA – PREVISÃO, EM TEMPO REAL, DA AGITAÇÃO MARÍTIMA EM ZONAS PORTUÁRIAS

Artur Clérigo Palha

(1) Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas, Departamento de Hidráulica e Ambiente, LNEC  
Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Tel. +351 21 844 3446, Fax. 351 21 844 3019  
E-mail: aclerigo@lnec.pt

### RESUMO

O conhecimento da agitação marítima no interior de um porto é de elevada importância para a segurança das infra-estruturas, da navegação e das operações portuárias. De maior importância é o conhecimento da previsão da agitação marítima. Sendo possível prever, com uma janela de tempo adequada, as condições de agitação no interior de um porto é possível efectuar um melhor agendamento das tarefas portuárias e, em casos extremos, accionar alertas às autoridades competentes, com vista à protecção das embarcações e à mitigação dos danos causados.

Neste sentido, revela-se importante o desenvolvimento de uma ferramenta integrada para apoio à gestão portuária capaz de prever os efeitos da agitação marítima e das correntes de maré nas infra-estruturas, na navegação e nas operações portuárias e de emitir avisos ou alertas às entidades portuárias competentes sempre que a segurança do porto esteja em causa.

Nesta comunicação é apresentado o pyMOIA, que é uma primeira abordagem, ou seja, um *proof of concept* da implementação de um sistema operacional de previsão em tempo real da agitação marítima em zonas portuárias e de envio de alertas via SMS em condições de agitação marítima que coloquem em perigo o porto.

Actualmente, este projecto é baseado no modelo REFDIF, Dalrymple e Kirby (1991), para a propagação da agitação marítima, podendo, no futuro, ser acoplado a outros modelos de propagação de ondas como os modelos DREAMS, FUNWAVE, BOUSS2D, etc..

pyMOIA – REFDIF v1.0, trata-se de um pacote integrado, que se apresenta como uma solução única capaz de automatizar todo o processo de obtenção de resultados de propagação de ondas, desde a geração de malhas de diferenças finitas até à visualização de resultados, assim como de realizar previsões em tempo real da agitação marítima tendo por base dados online do Instituto Hidrográfico e de enviar alertas por SMS.

Este pacote é desenvolvido inteiramente na linguagem de programação python, permitindo assim, obter-se um software *Open Source* que poderá ser utilizado livremente, sem quaisquer custos, em qualquer computador e sem qualquer constrangimento no que respeita a sistemas operativos uma vez que pode ser executado em ambientes Windows, Linux, Unix, OSX e outros.

### 1. INTRODUÇÃO

A agitação marítima e as correntes de maré são factores determinantes em vários aspectos das actividades portuárias, nomeadamente na segurança das infra-estruturas, da navegação e das operações portuárias.

Presentemente, os modelos numéricos de escala regional conseguem produzir estimativas muito boas da agitação marítima e das correntes de maré ao largo de um porto que podem ser depois transferidas para o interior da bacia portuária, através de modelos de propagação de ondas e correntes. Uma vez conhecidas as características da agitação e correntes no interior do porto e comparando esses valores com um conjunto de valores limite que estabelecem as boas condições de segurança e operacionalidade do porto, avalia-se da necessidade de accionar procedimentos de emergência.



## 5<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

Assim, conhecidas as previsões do estado do mar ao largo com um ou dois dias de antecedência é possível prever situações de risco e emitir atempadamente avisos ou alertas, reduzindo a ocorrência de situações de emergência nas actividades portuárias.

Estes argumentos justificam o objectivo de um projecto em desenvolvimento, MOIA, que se apresenta como uma ferramenta integrada para apoio à gestão portuária capaz de prever os efeitos da agitação marítima e das correntes de maré nas infra-estruturas, na navegação e nas operações portuárias e de emitir avisos ou alertas às entidades portuárias competentes sempre que a segurança do porto esteja em causa. A concepção da arquitectura, a implementação e a validação do MOIA constituem assuntos inovadores de investigação.

O MOIA apresentar-se-á ao utilizador como uma interface para os vários módulos que o compõem e respectivas funcionalidades:

- caracterização da agitação marítima e das correntes de maré no interior do porto a partir de estimativas de parâmetros da agitação marítima, obtidos ao largo do porto com modelos de previsão à escala regional;
- caracterização dos efeitos da agitação marítima e das correntes de maré nas infra-estruturas, na navegação e nas operações portuárias;
- accionamento de alertas e/ou aviso para as várias zonas do porto;
- gestão em tempo real dos procedimentos e recursos necessários para mitigação de potenciais riscos;
- base de dados para armazenamento da informação relevante.

Na caracterização da agitação marítima e das correntes de maré ao largo do porto em estudo recorrer-se-á a modelos de previsão de escala regional ou a dados provenientes de bóias ondógrafo. Depois, utilizando um conjunto de modelos numéricos de propagação de ondas e correntes acoplados, transferem-se aquelas características para o interior do porto.

O SOPRO, na sua versão 1.0, Pinheiro *et al.* (2005a, 2005b) e Fortes *et al.* (2006), e na sua versão 3.0, a mais actual, Pinheiro *et al.* (2007), é uma abordagem que facilita e otimiza o processo de preparação e execução dos modelos de propagação de ondas. Apresenta-se ao utilizador como uma interface gráfica que permite a montagem de forma intuitiva de projectos de caracterização da agitação marítima numa dada região ou de simulação de trajectórias de navios em zonas portuárias.

No entanto, este pacote está vocacionado para a propagação da agitação marítima e não para a previsão, em tempo real, dessa agitação marítima numa dada zona portuária a partir de dados de agitação marítima obtidos em bóias ondógrafo junto a esses locais.

Neste sentido, é necessária uma re-estruturação total do pacote SOPRO, com vista à caracterização em tempo real da agitação marítima com base em dados de agitação marítima obtidos ao largo (bóias ondógrafo ou por *hindcast*), para posteriormente ser integrado no sistema de alerta e gestão portuária, MOIA. Foi desenvolvido assim, o pacote pyMOIA que se descreve nesta comunicação.

O pyMOIA é um pacote integrado, neste momento direccionado apenas para o modelo REFDF, que se apresenta como uma solução única capaz de automatizar todo o processo de obtenção de resultados de propagação de ondas, desde a geração de malhas de diferenças finitas até à visualização de resultados, assim como a realização previsões em tempo real da agitação marítima tendo por base dados online do Instituto Hidrográfico e o envio alertas por SMS.

Este pacote é desenvolvido inteiramente na linguagem de programação *Python*, permitindo assim, obter-se um software *Open Source* que poderá ser utilizado livremente em qualquer computador e sem qualquer constrangimento no que respeita a sistemas operativos uma vez que pode ser executado em ambientes Windows, Linux, Unix, OSX e outros. Foram desenvolvidos ferramentas específicas para visualização dos resultados do modelo. Note-se, que ao contrário de SOPRO não utiliza quaisquer programas de software comercial (por exemplo, TECPLOT<sup>TM</sup>, Surfer<sup>TM</sup> e Matlab<sup>TM</sup>) pois o objectivo do MOIA é ser fornecido às



administrações portuárias, sem necessidade de adquirirem software adicional de custos elevados.

Procurou-se também, nesta primeira abordagem a um sistema operacional de previsão em tempo real da agitação marítima, implementar a possibilidade de accionamento de alertas. A opção escolhida recaiu sobre o envio automático de SMS, passíveis de serem recebidos por um qualquer telemóvel, sempre que as condições de agitação previstas se encontrassem fora de certos limites considerados seguros. Este sistema de alerta que, actualmente, apenas permite o envio de um tipo de alerta para todos os agentes, poderá, facilmente, ser extendido a situações mais complexas, nas quais poderão existir diversos grupos de agentes responsáveis pelo tratamento de alertas específicos.

Nesta comunicação descreve-se o pacote de previsão em tempo real da agitação marítima pyMOIA. Depois desta introdução apresenta-se no capítulo 2 uma descrição do pacote pyMOIA e dos módulos que o constituem. Para ilustrar as potencialidades desta ferramenta, apresenta-se, no capítulo 4, a aplicação do pyMOIA na previsão e caracterização da agitação marítima numa zona portuária: o porto de Sines.

## **2. pyMOIA**

### **2.1 Estrutura**

O principal objectivo do pyMOIA é a previsão, em tempo real, da agitação marítima numa zona costeira a partir de dados de agitação marítima obtidos ao largo, por bóias-ondógrafo ou por *hindcast*. Assim, para um dado valor de agitação marítima ao largo (H, T e D), pyMOIA fornece a previsão da agitação marítima em pontos pré-definidos da zona em estudo.

Dado que a utilização de modelos numéricos para a propagação da agitação marítima numa dada zona costeira envolve um razoável tempo de cálculo, tal é incompatível com a previsão em tempo real da agitação marítima. Por forma a contornar esta dificuldade, optou-se, na implementação do pyMOIA, por determinar *a priori* para a zona em estudo a(s) matriz(es) de transferência da agitação marítima, i.e., os valores que relacionam a agitação marítima ao largo e a agitação num ponto(s).

Uma vez conhecida a matriz de transferência da zona em estudo, para cada valor de agitação marítima ao largo (H, T e D) obtido num dado instante, pyMOIA procede à interpolação utilizando a matriz de transferência desse valor e fornece a previsão, em tempo real, das características da agitação marítima no ponto(s) em estudo, Figura 1.



Figura 1: pyMOIA. Esquema simplificado.

O pyMOIA permite obviamente quer a propagação da agitação marítima numa dada zona em estudo uma vez fornecidas as condições de agitação ao largo quer a obtenção de regimes de agitação marítima (geral observado).

Este sistema foi desenvolvido inteiramente em linguagem de programação *Python*, contendo, neste momento cerca de 6000 linhas de código (não incluindo o módulo REFIDIF). A escolha da utilização da linguagem python ficou a dever-se aos seguintes factores:

- Permite obter um software *Open Source* que poderá ser utilizado livremente em qualquer computador e sem qualquer constrangimento no que respeita a sistemas operativos uma vez que pode ser executado em ambientes Windows, Linux, Unix, OSX e outro;
- Permite o desenvolvimento de um ambiente gráfico quer de visualização de dados e resultados quer de interface gráfica com o utilizador, sem recorrer a softwares comerciais, o que tem grande vantagem de redução significativa dos custos na sua utilização.
- Uma vez que é uma linguagem de alto nível, com funções/programas já pré-definidos, permite a realização de programas de forma mais fácil e rápida;
- Outro factor determinante na escolha desta linguagem de programação reside no facto de permitir uma programação orientada por objectos. Esta abordagem de programação apresenta diversas vantagens, entre as quais:
  - Facilidade de reutilização de código feito, dado o nível de abstracção que é possível com este tipo de programação. Desta forma o melhoramento do programa e a sua extensão, por exemplo, a outras fontes de dados de agitação marítima em tempo real, ou a outros modelos de agitação marítima, torna-se bastante mais simples, reduzindo o tempo de produção.
  - Ênfase nos dados ao invés de nos procedimentos.
  - Os programas são divididos em objectos.
  - Os dados podem ser escondidos, restringindo o seu acesso apenas através de métodos pré-definidos, aumentando a robustez, reduzindo os erros.

O pyMOIA é constituído por três módulos principais, vide Figura 2:

- CoreMOIA, módulo que permite a montagem de um projecto para a determinação da matriz de transferência do regime de agitação marítima ao largo para uma dada zona em estudo: Esta montagem envolve:
  - o armazenamento e manipulação de dados (condições de agitação, geração de malhas de diferenças finitas, parâmetros do modelo numérico);
  - a execução do modelo de propagação da agitação para várias condições de agitação;
  - a obtenção dos resultados e a criação das correspondentes visualizações gráficas;
  - a construção da matriz de transferência.
- REFDFIF, Dalrymple e Kirby (1991) corresponde ao modelo de propagação de ondas que se baseia na versão parabólica da equação de declive suave, Berkhoff (1972);
- WebMOIA, módulo que permite a criação de um projecto de previsão em tempo real da agitação marítima. Permite, entre outras coisas:
  - a consulta e extracção dos dados das bóias-ondógrafo do site do Instituto Hidrográfico;
  - a previsão, em tempo real, das características da agitação marítima num ponto(s) com base na matriz de transferência obtida por CoreMOIA ;
  - a visualização desses resultados numéricos conjuntamente com os medidos em tempo real.
  - o envio de alertas, por SMS, caso as previsões de agitação marítima se encontrem fora de um intervalo de segurança pré-definido. Isto é, por exemplo, em caso da altura de onda exceder 5 m (por exemplo), é automaticamente enviado um SMS de alerta desta situação às entidades responsáveis. Tal constitui o embrião do sistema de alertas e gestão portuária, MOIA.

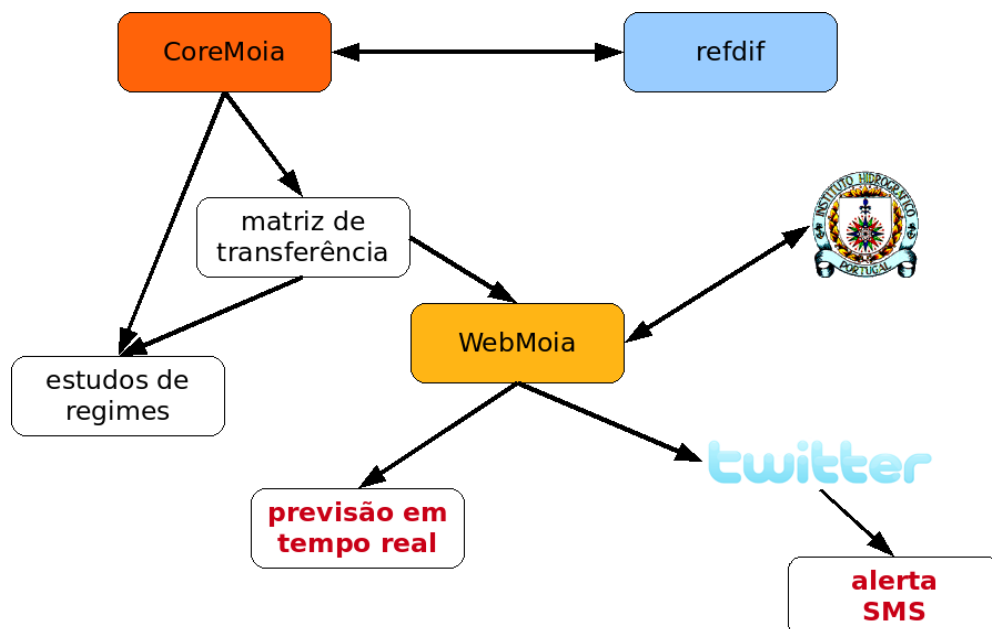


Figura 2: pyMOIA: módulos constituintes e suas funções.

Nas sub-seccões seguintes descrevem-se os módulos que constituem o pyMOIA.

## 2.2 Módulo CoreMOIA

O módulo CoreMOIA permite a montagem de um projecto de propagação de ondas numa dada região costeira ou portuária, levando à criação da matriz de transferência da agitação marítima do largo para a zona em estudo. Esta matriz será de posterior utilização na previsão em tempo real.

Mais concretamente, permite o armazenamento e manipulação de dados dos modelos, a execução do modelo de propagação da agitação para várias condições de agitação, assim como a obtenção dos resultados e a criação das correspondentes visualizações gráficas. Isto inclui também a construção da matriz de transferência.

Como indicado anteriormente, a programação foi efectuada segundo o paradigma da orientação por objectos, tendo sido criadas classes e métodos que permitem armazenar e manipular os diversos dados, Figura 3.

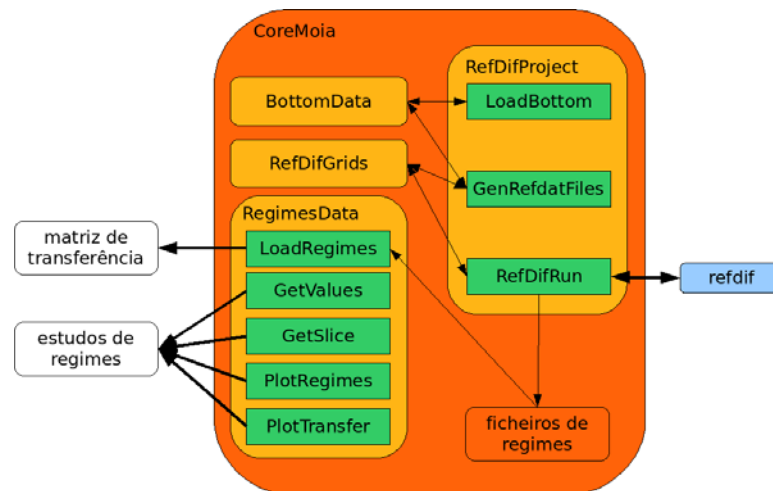


Figura 3: Módulo CoreMOIA: principais classes constituintes.

As classes que constituem este módulo são:

### RefDifProject:

Classe que contém dados sobre:

- definições do projecto em execução, tais como: nome, directório de trabalho, dados de batimetria e métodos que permitem operações sobre a batimetria (contidos num objecto da classe BottomData);
- as malhas de diferenças finitas e métodos que permitem operações sobre estas (contidos num objecto da classe RefDifGrids);
- os pontos nos quais se pretende obter o regime de agitação marítima e métodos que permitem operações sobre estes pontos;
- a malha restrita de visualização dos resultados e métodos que permitem realizar operações sobre esta malha.

### BottomData:

Classe que contém toda a informação relativamente à batimetria do projecto em execução: coordenadas x e y e profundidade z. Esta classe contém também métodos para:

- a importação de dados de um ficheiro (actualmente apenas em pontos igualmente espaçados);
- a ordenação dos dados (uma vez que se encontram em geral desordenados);
- a exportação dos dados de batimetria em gráficos (formato PNG ou PDF);





## 5<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

- a exportação dos dados de batimetria para dois formatos de ficheiros: formato Tecplot<sup>TM</sup> (comercial) e formato VTK que permite a visualização com programas de visualização gráfica *Open Source*, como, por exemplo, o *ParaView*.

### RefDifGrids:

Classe que contém toda a informação relativa à definição das malhas do projecto em execução. Desta informação constam:

- as coordenadas do ponto de origem da primeira malha (P0);
- os quatro vértices de cada uma das malhas de diferenças finitas;
- o ângulo de rotação das malhas relativamente ao eixo das abcissas;
- o espaçamento das malhas na direcção de propagação das ondas e na direcção perpendicular;
- as dimensões das malhas na direcção de propagação das ondas e na direcção perpendicular e número de subdivisões da malha.

Os métodos implementados permitem a adição de uma nova malha (em número ilimitado), a geração das malhas de diferenças finitas no formato compatível com o modelo REFDIF e outras funcionalidades de uso interno que procuram minimizar os erros na introdução de dados, tais como, os métodos para mudança das dimensões da malha que verificam se as novas dimensões são compatíveis com as malhas já existentes e em caso de incompatibilidade compatibilizam as malhas com os novos dados.

### RegimesData:

Classe que contém todos os dados de agitação marítima nos pontos em estudo, permitindo construir um regime de agitação. Esta classe contém também métodos para:

- extrair e organizar dados de ficheiros de regimes, obtidos aquando da execução de um projecto.
- interpolação dos dados de regimes num determinado conjunto disperso de estados de agitação ao largo, obtendo-se, assim, uma previsão da agitação nos pontos em estudo.
- interpolação dos dados de regimes em regiões conexas do regime de agitação marítima e a sua respectiva representação gráfica em gráficos de contorno. Desta forma, é possível visualizar o regime de agitação, por exemplo, em gráficos de contorno de altura de onda e período ao largo para altura de onda no ponto em estudo.
- obtenção de gráficos de dispersão do regime de agitação a partir de registos históricos de agitação ao largo.

## 2.3 Módulo REFDIF

O modelo REFDIF é um modelo de propagação e deformação da agitação marítima em zonas de profundidade variável desenvolvido por (Dalrymple & Kirby, 1991). Este modelo efectua a propagação de ondas regulares em zonas de declive suave e na presença de correntes, tendo em conta os efeitos da refacção e difracção (apenas na direcção perpendicular à direcção principal de propagação da onda), empolamento, dissipação de energia (por atrito ou por percolação do fundo e rebentação das ondas) e outros efeitos não-lineares. É um modelo essencialmente adaptado para a modelação de grandes áreas costeiras.

O modelo baseia-se na aproximação parabólica da equação de declive suave de Berkhoff, 1972. Para zonas de águas profundas e intermédias, os autores desenvolveram um modelo baseado na teoria de Stokes de 3<sup>a</sup> ordem. Para águas pouco profundas, esta teoria perde validade, pelo que os autores propuseram uma modificação empírica da relação de



## 5<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

dispersão da teoria de Stokes de 3<sup>a</sup> ordem, ajustando-a à relação da teoria da onda solitária. O efeito principal desta alteração consiste no aumento da celeridade da onda em relação à obtida pela relação de dispersão linear e na diminuição em relação à da onda de Stokes de 3<sup>a</sup> ordem, efeito este que se repercutirá nos cálculos da altura de onda.

A modelação da dissipação de energia por rebentação é efectuada de acordo com o modelo de Dally et al. (1985), que se baseia no facto de a onda, após rebentar, atingir uma altura estável num fundo plano. Assim, os autores propuseram que a taxa de dissipação de energia fosse proporcional à diferença dos fluxos de energia entre uma dada posição e a zona onde a altura de onda é estável.

Para a aplicação do modelo, deve-se garantir que:

- fundo é de inclinação suave (até um valor do declive de 1:3);
- ângulo entre a direcção de propagação da onda e a direcção de propagação principal, não deve ultrapassar os  $\pm 60^\circ$ , devido à utilização da aproximação parabólica de ângulo largo;

A escolha da relação de dispersão a utilizar no modelo, de entre as três disponíveis, é feita pelo utilizador e depende dos valores do parâmetro de Ursell no problema em estudo.

Como limitações do modelo REFDIF salienta-se o facto de se tratar de um modelo de ondas regulares, não propagando estados de agitação irregular nem permitindo a transferência de energia entre componentes harmónicas de um espectro. O modelo apenas tem em conta a difracção de ondas na direcção transversal à direcção de propagação de ondas pelo que não é o mais adequado à utilização em zonas abrigadas por obstáculos. Além disso, este modelo, por ser parabólico, não deve ser aplicado a zonas onde os efeitos da reflexão sejam importantes, pois a componente de onda reflectida é desprezada. Esta apresenta-se como uma das principais limitações do sistema desenvolvido. No entanto este sistema apresenta-se como um *proof of concept*, sendo que a extensão a outros modelos mais adequados a zonas portuárias é relativamente simples, apresentando-se como um dos melhoramentos mais prioritários a implementar.

Para a aplicação do modelo REFDIF, são necessários dados de batimetria da zona a modelar, das características das malhas, das opções de cálculo e das condições iniciais de agitação marítima.

Na definição das malhas de cálculo do modelo REFDIF há que ter em conta os seguintes aspectos:

Na definição das dimensões e resolução dessas malhas, foram tidos em conta os seguintes factores:

- o espaçamento de cada malha tem de ser tal que garanta um número mínimo de 5 pontos por comprimento de onda para as condições de agitação escolhidas. No entanto as malhas geradas não podem exceder as capacidades computacionais disponíveis;
- a orientação de cada malha deve garantir que a direcção das ondas propagadas no seu interior não exceda  $\pm 60^\circ$  da direcção principal de propagação;
- a última malha, para ambos os casos, tem de envolver a zona de interesse;
- as dimensões das várias malhas em x e y são estabelecidas de modo a não ocorrer perda de informação entre as mesmas.

O modelo fornece as alturas e as direcções de propagação de onda em qualquer zona, incluindo a de rebentação.

### 2.4 WebMOIA

O módulo WebMOIA permite a criação de um projecto de previsão em tempo real da agitação marítima em determinada região. Inclui, portanto, a) a consulta e extracção de dados online de



bóias-ondógrafo, presentes no site do Instituto Hidrográfico; b) a previsão, em tempo real, das características da agitação marítima num ponto(s), tendo por base a matriz de transferência obtida por CoreMOIA; c) a visualização desses resultados numéricos conjuntamente com os medidos em tempo real. O módulo WebMOIA permite também o envio de alertas, por SMS, caso as previsões de agitação marítima se encontrem fora de um intervalo de segurança pré-estabelecido pelo utilizador.

O módulo WebMOIA foi desenvolvido inteiramente na linguagem de programação *Python* tendo sido criadas classes e métodos que permitem efectuar as operações anteriormente descritas, Figura 4.

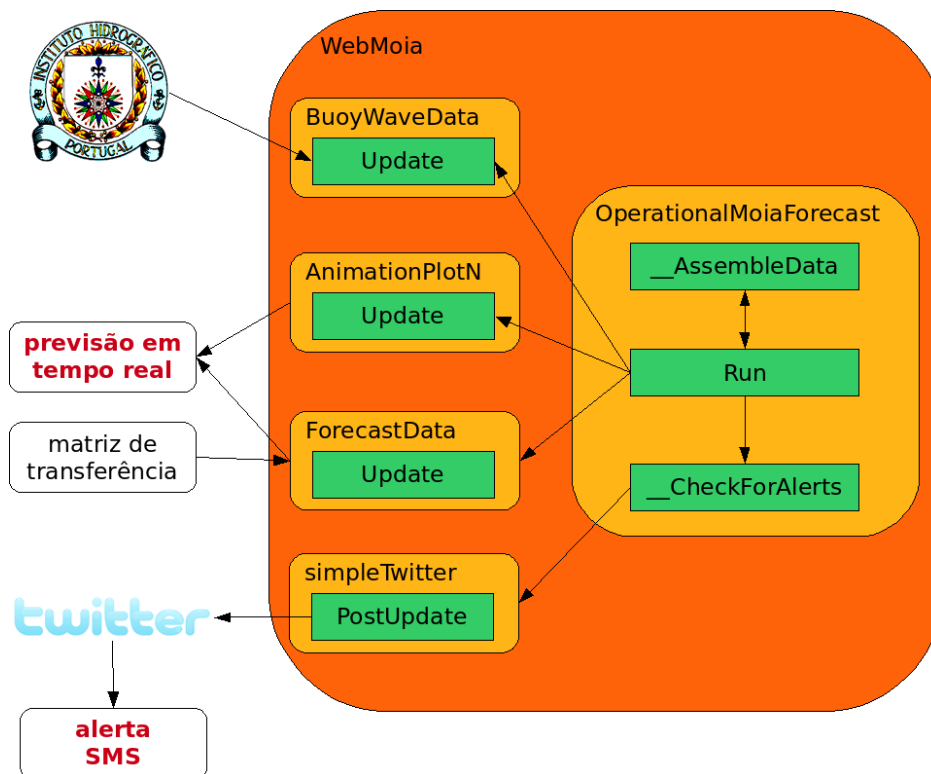


Figura 4: Módulo WebMOIA: principais classes constituintes.

As classes que constituem este módulo são:

#### **BuoyWaveData:**

Classe que contém os dados mais recentes de agitação marítima registados na bóia seleccionada e os métodos necessários para a extracção desses dados do site do Instituto Hidrográfico.

#### **simpleTwitter:**

Classe que cria um interface mais simplificado com a API (*Application Programming Interface*, ou seja, interface de programação) do serviço Twitter, permitindo o envio de mensagens de alerta via SMS sempre que necessário.

#### **AnimationPlotN:**

Classe encarregue da visualização dos dados de previsão da agitação marítima. Estes gráficos permitem a visualização simultânea dos últimos 15 estados de agitação marítima previstos.

#### **ForecastData:**



Classe que faz a previsão do estado de agitação marítima no ponto em estudo, com base nos dados obtidos pela classe BuoyWaveData e da matriz de transferência presente na classe RegimesData.

#### **OperationalMOIAForecast:**

Classe que gere todo o processo de obtenção de uma previsão em tempo real da agitação marítima num dado ponto em estudo. Esta classe, mediante a utilização das classes ForecastData, AnimationPlotN, simpleTwitter e BuoyWaveData, é a encarregue da automação de todo o processo de obtenção e visualização de novos dados de previsão, sempre que novos dados de agitação marítima estejam presentes na bóia seleccionada.

### **3. PORTO DE SINES: Aplicação de pyMOIA**

De forma a ilustrar as funcionalidades do pacote pyMOIA apresenta-se, de seguida, a sua aplicação ao porto de Sines, com os seguintes objectivos:

- Propagação da agitação marítima na zona adjacente ao porto de Sines, para uma dada condição de agitação incidente;
- Determinação do regime de agitação marítima à entrada do porto de Sines;
- Previsão, em tempo real, das características da agitação marítima à entrada do porto de Sines.

Nas secções seguintes apresenta-se a zona em estudo, as condições de aplicação do módulo REFDIF, e os resultados obtidos para cada um dos objectivos atrás indicados.

#### **3.1 Zona em estudo**

O porto de Sines situa-se a 120 km a sul de Lisboa e é um amplo porto de águas profundas, Figura 5. O complexo do Porto de Sines é composto por várias infra-estruturas marítimas para abrigo e acostagem, tornando-o num dos poucos portos europeus de águas profundas, permitindo a acostagem de navios de grande porte. Os elevados valores anuais de movimentação de mercadorias transformaram o porto de Sines no primeiro porto nacional em tonelagem anual movimentada.

O porto é abrigado por dois molhes principais, o Oeste e o Este, que protegem um conjunto de terminais (o Terminal XXI, Terminal de Gás Natural Liquefeito, Terminal Petrolero, Terminal Petroquímico e Terminal Multiusos), o porto de recreio, o porto de pesca e a praia.



Figura 5 – Porto de Sines.

A batimetria da região pode ser visualizada na Figura 6.

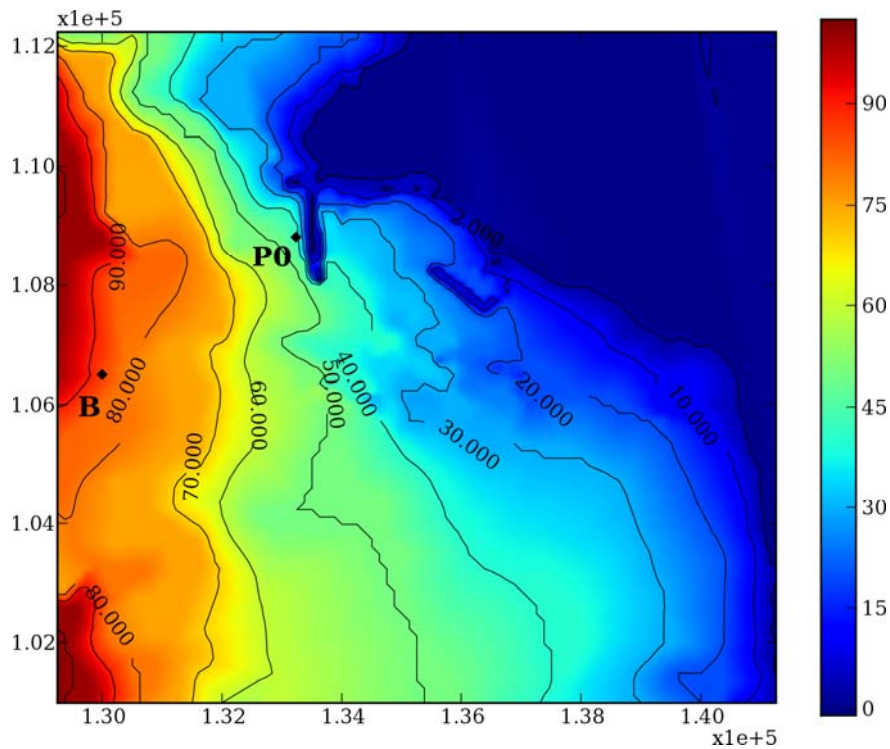


Figura 6 – Porto de Sines. Batimetria e localização da bóia-ondógrafo e ponto de estudo.

Nesta região marítima encontra-se uma bóia-ondógrafo a 3km ao largo, num ponto (denominado B, Figura 6.), com profundidade 87m. Esta bóia é da responsabilidade do Instituto Hidrográfico, encontra-se em funcionamento desde 1992 e fornece dados de agitação marítima *on-line*, actualizados em média a cada duas horas, com os valores de altura significativa, altura máxima, período médio, período máximo observado, período da onda de altura máxima e direcção da ondulação, ver Figura 7.



Figura 7 – Porto de Sines. Dados on-line da bóia-ondógrafo.

Para os três tipos de estudo que se pretende efectuar, o ponto seleccionado encontra-se junto ao molhe Norte do porto de Sines, ponto P0, Figura 6.

### 3.2 Propagação da agitação marítima no porto de Sines para uma condição de agitação incidente

Nesta aplicação do pacote pyMOIA, pretende-se efectuar a propagação de uma dada condição de agitação marítima pré-definida na zona marítima adjacente ao porto de Sines.

A condição de agitação marítima admitida foi  $HS=2$  m,  $T_m=7$  s e Direcção de NW, W e SW. O nível de maré é o correspondente ao nível médio à cota +2 m em relação ao zero hidrográfico (ZH).

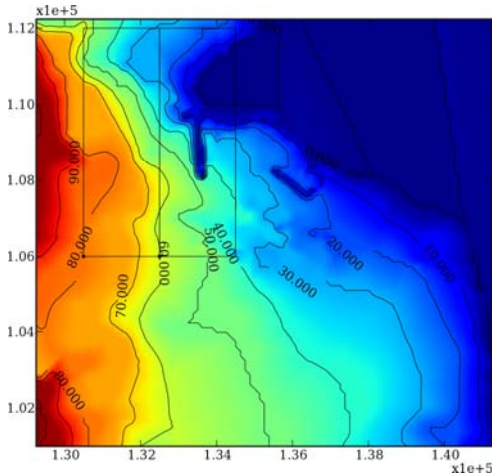


Figura 8 – Posicionamento das malhas. Malha para direcção de NW. Gráfico de contorno com profundidade em metros.

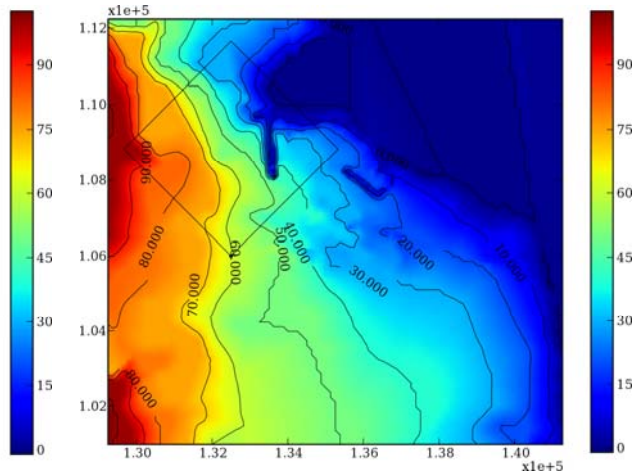


Figura 9 – Posicionamento das malhas. Malha para direcções de W a S. Gráfico de contorno com profundidade em metros.

Dadas as condições de agitação, foram utilizados dois domínios de cálculo, um constituído por duas malhas de diferenças finitas, para a direcção NW, Figura 8, de  $(2 \times 2000) \times 6000$  m e o outro constituído por uma malha de diferenças finitas, para as direcções W e SW, Figura 9, de  $4000 \times 4000$  m, ambos com espaçamento em x e em y de 4 m.

De seguida foi feita a aplicação do sistema pyMOIA. Tal envolve a criação de um ficheiro *Python* com as seguintes linhas de código, exemplo para a direcção NW, período 7s e altura de onda 2m e para a malha presente na Figura 8:

```
# módulos a carregar
from coremoia import *
import os

# define o directório do projecto a criar
project_path = os.path.join(os.path.abspath(os.curdir), "sines")

# cria o project refdif
sines_refdif = RefDifProject("sines", project_path, angle_notation="west")

# muda o ponto de origem da malha
sines_refdif.grids.change_p0(numpy.array([130500.0, 106000.0]))

# muda o ângulo de rotação da malha
sines_refdif.grids.change_alpha(0.0)

# adiciona a primeira malha, espaçamento 4m em x e 4m em y
# dimensão 2000m em x e 6000m em y, 1 subdivisão e tolerância
# de profundidade 10 e de seguida a segunda malha
sines_refdif.grids.add_grid(4.0, 4.0, 2000.0, 6000.0, 1, 10)
sines_refdif.grids.add_grid(4.0, 4.0, 2000.0, 6000.0, 1, 10, midpoint=0.5)

# carrega para a memória a batimetria contida no ficheiro sines.bth
sines_refdif.load_bottom(os.path.join(project_path, "sines.bth"))

# gera as malhas de diferenças finitas definidas anteriormente
sines_refdif.generate_refdat_files()

# altera as amplitudes de onda para as quais o projecto irá ser corrido
# neste caso inicia na amplitude 1 m e termina na amplitude 1m, com um espaçamento de
0m
```



```
sines_refdif.update_amplitudes(1.0,1.0, 0.)

# altera os períodos de onda para os quais o projecto irá ser corrido
# neste caso inicia no período 7s e termina no período 7s, com um espaçamento de 0s
sines_refdif.update_periods(7.0,7.0,0.0)

# altera as direcções de onda para as quais o projecto irá ser corrido
# neste caso inicia na direcção -45° e termina na direcção -45°, com um
# espaçamento de 0°, direcções estas relativas à fronteira da malha
sines_refdif.update_directions(-45.0,-45.0,0.0)

# corre localmente o modelo refdif para o projecto definido não serão registados
# regimes, não existe malha restrita e os resultados de saída nas malhas são guardados
sines_refdif.run_refdif_local(regimes=False, restricted_grid=False, save_outputs=True)
```

Ao ser executado este ficheiro de exemplo, são geradas automaticamente as malhas de diferenças finitas e o modelo REFDIF é corrido para as condições de agitação definidas. Os resultados de altura de onda e direcção são armazenados em ficheiros passíveis de serem visualizados com o programa TECPLOT ou PARAVIEW e em ficheiros de imagens, como os presentes nas figuras seguintes.

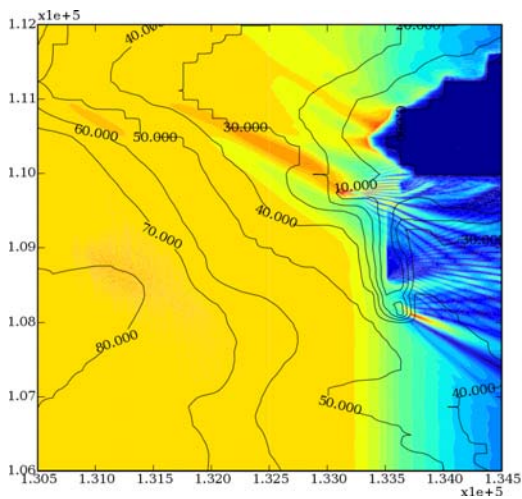


Figura 10 – D=NW, H=2m, T=7s. Gráfico de contorno de altura de onda, em metros, com curvas de nível de profundidade.

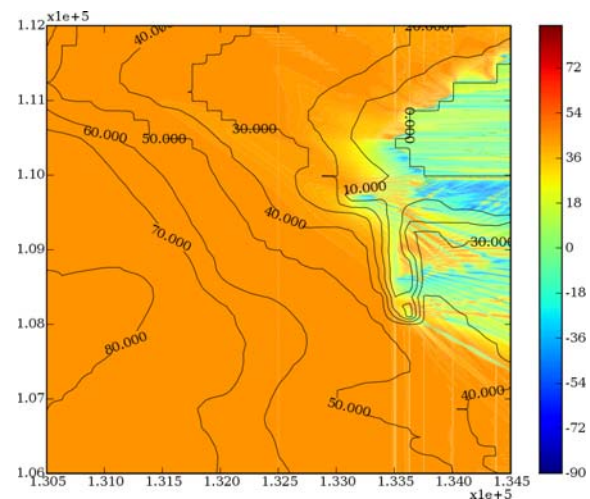


Figura 11 – D=NW, H=2m, T=7s. Gráfico de contorno de direcção de onda, em graus, com curvas de nível de profundidade. Considera-se W (0°) e N(90°) e S (-90°)

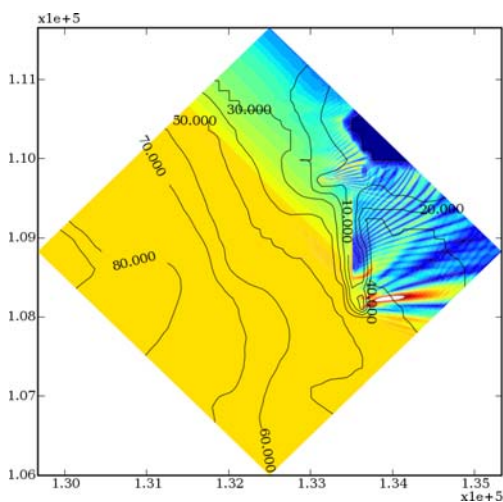


Figura 12 – D=W, H=2m, T=7s. Gráfico de contorno de altura de onda, em metros, com curvas de nível de profundidade.

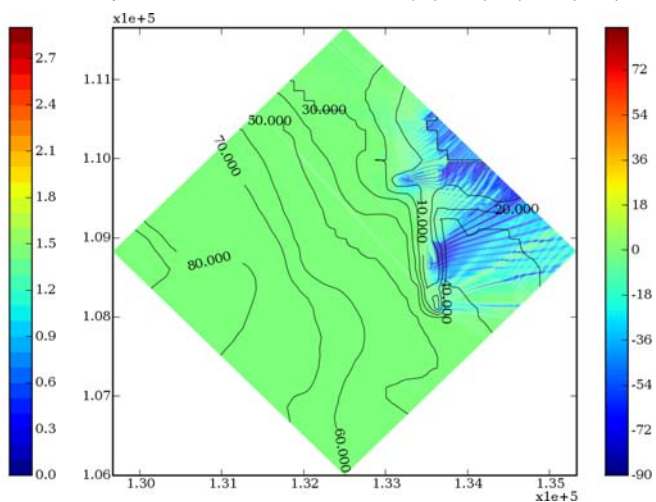


Figura 13 – D=W, H=2m, T=7s. Gráfico de contorno de direcção de onda, em graus, com curvas de nível de profundidade. Considera-se W (0°) e N(90°) e S (-90°)



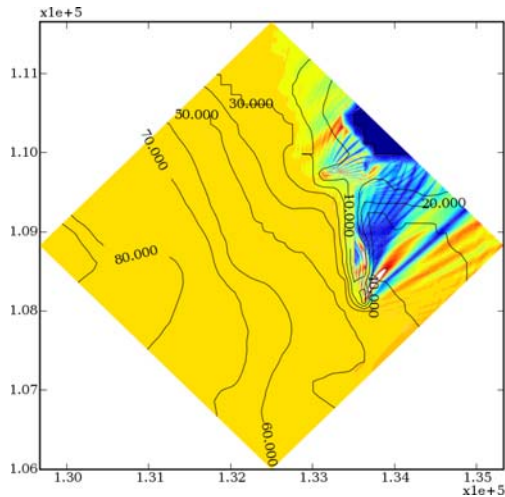


Figura 14 – D=W, H=2m, T=7s. Gráfico de contorno de altura de onda, em metros, com curvas de nível de profundidade.

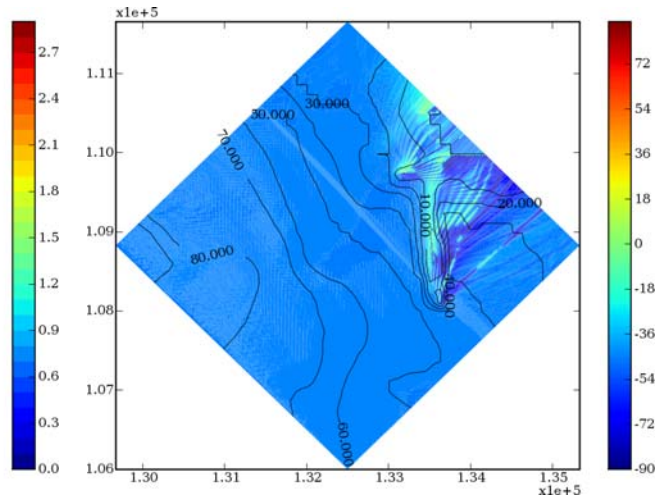


Figura 15 – D=SW, H=2m, T=7s. Gráfico de contorno de direcção de onda, em graus, com curvas de nível de profundidade. Considera-se W (0°) e N(90°) e S (-90°).

A aplicação do pyMOIA permitiu a efectuar a propagação de várias condições de agitação marítima na zona marítima adjacente ao porto de Sines, ver Figura 10 a Figura 15. É de salientar que nestas figuras os resultados da zona protegida pelo molhe do Porto de Sines não são válidos uma vez que o modelo não deve ser aplicado em zonas abrigadas por obstáculos onde os efeitos da difracção são importantes.

### 3.3 Determinação do regime de agitação marítima junto ao molhe norte do porto de Sines

Nesta aplicação do pacote pyMOIA, pretende-se caracterizar o regime geral observado num ponto à entrada do porto de Sines, com profundidade de 35.7 m, no ponto designado por P0, Figura 6.

Como não existem registos de agitação marítima neste local, mas sim a cerca de 3km ao largo, no ponto (denominado B, Figura 6) com profundidade 87m, é necessário proceder à transferência desses dados de agitação da bóia para o ponto pretendido junto ao molhe norte do porto de Sines, utilizando a aplicação pyMOIA.

No entanto, a transferência individual dos 32807 trios de valores de agitação marítima, que constituem o regime obtido ao largo para P0, seria impraticável do ponto de vista do tempo de cálculo necessário, pelo que se optou pela construção de uma matriz de transferência, que permite uma operação de transferência mais eficaz e rápida, apesar de mais simplificada. A metodologia utilizada foi a seguinte:

- Análise dos dados disponíveis na bóia-ondógrafo B. Estes dados correspondem a 32807 registos obtidos entre Maio de 1988 e Dezembro de 2002 (15 anos de observações).
- Com base nestes registos, estabeleceram-se as gamas de valores de período e direcção de altura de onda que englobam esses dados para definição da matriz de transferência;
- Uma vez definida a matriz de transferência, foram interpolados os valores do regime ao largo e assim obtidos os correspondentes ponto do regime local, junto ao molhe norte do porto de Sines

Da análise dos 32807 valores, foram assim seleccionadas as seguintes condições de agitação incidente para aplicação do modelo REFDIF:



## 5<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007

1. Nível de maré: nível médio, correspondente à cota +2 m em relação ao zero hidrográfico (ZH);
2. Direcções de onda: de S (180°) a WNW (315°), espaçadas de 15° (9 direcções);
3. Para cada direcção de onda, os períodos considerados foram T=2s a 16s, espaçados de 1 s, e as alturas H0=0.25m a 5.25 m, com um espaçamento de 0.25m.

Para estas condições de agitação, foi necessária a criação de dois domínios de cálculo apresentados nas Figura 8 e Figura 9, definidos de acordo com o indicado anteriormente para o estudo da propagação da agitação marítima.

Uma vez definidos estes dados, o que se seguiu foi a criação de um projecto com a aplicação pyMOIA. Tal envolve a criação de um projecto com as seguintes linhas de código (em tudo idêntico ao apresentado acima, pelo que se apresenta apenas as linhas de código distintas e para direcções NW a W):

```
# altera as amplitudes de onda para as quais o projecto irá ser corrido
# neste caso inicia na amplitude 0.125m e termina na amplitude 2.625m, com um
# espaçamento de 0.125m
sines_refdif.update_amplitudes(0.125,2.625, 0.125)

# altera os períodos de onda para os quais o projecto irá ser corrido
# neste caso inicia no período 2s e termina no período 16s, com um espaçamento de 1s
sines_refdif.update_periods(2.0,16.0,1.0)

# altera as direcções de onda para as quais o projecto irá ser corrido
# neste caso inicia na direcção -45° e termina na direcção -15°, com um
# espaçamento de 15°, direcções estas relativas à fronteira da malha
sines_refdif.update_directions(-45.0,-15.0,15.0)

# corre localmente o modelo refdif para o projecto definido
# não serão registados regimes, não existe malha restrita e os resultados
# de saída nas malhas são guardados
sines_refdif.run_refdif_local(regimes=True, restricted_grid=False, save_outputs=False)
```

Estas linhas de código chamam o módulo CoreMOIA que, sem qualquer intervenção do utilizador, irá gerar as malhas de diferenças finitas e os ficheiros de dados de entrada, executar sistematicamente o modelo REFDIF, produzindo a matriz de transferência.

Com esta matriz, podem construir-se os gráficos presentes na Figura 16.

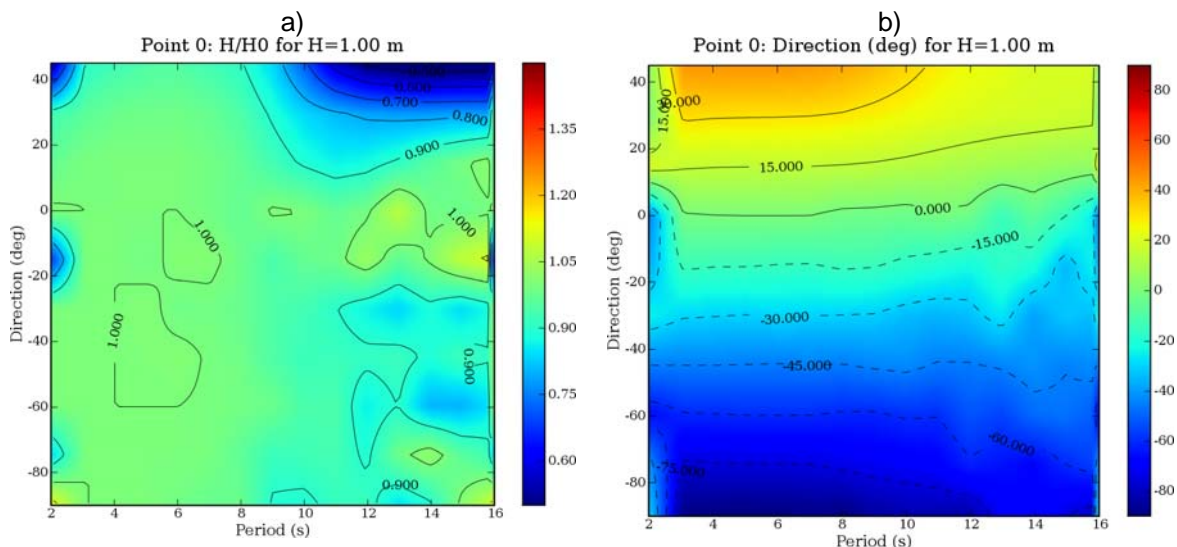


Figura 16 – a) Isolinhas de índices de agitação, H/H0; b) isolinhas de direcção da onda, D; no ponto P0, em função do período, T0, e direcção de onda incidente, D0, para uma altura de onda ao largo de 1m.

A partir dos dados de agitação em B, e com base na matriz de transferência, obtiveram-se as condições de agitação no ponto P0 próximo do molhe. Apresenta-se, como exemplo, as relações  $\Theta = f(HS)$ ,  $HS = f(TZ)$  e  $TZ = f(\Theta)$  no ponto P0.

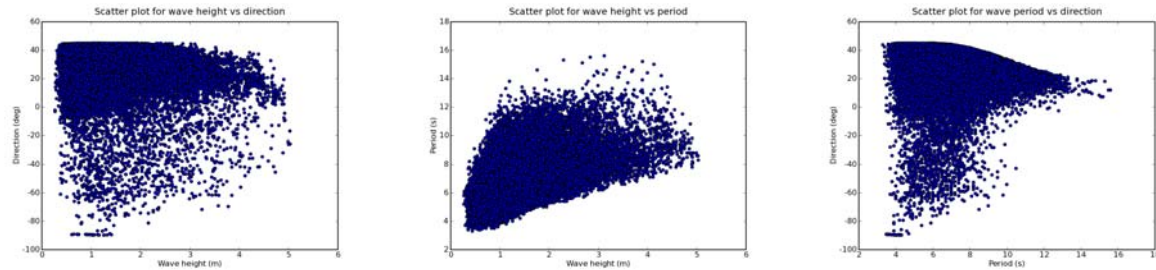


Figura 17 – Relação  $\Theta = f(HS)$ ,  $TZ = f(HS)$  e  $\Theta = f(TZ)$  no ponto P0.

### 3.4 Previsão, em tempo real, da agitação marítima junto ao molhe norte do porto de Sines

Nesta aplicação de pyMOIA, pretende-se efectuar a previsão, em tempo real, da agitação marítima junto ao molhe norte do porto de Sines.

A metodologia seguida foi:

0. Procedeu-se primeiramente à obtenção da matriz de transferência considerando todas as possíveis condições de agitação que podem ocorrer na zona em estudo, baseando-nos para tal nos dados históricos obtidos na bóia-ondógrafo.
1. Assim, previamente foi executado o módulo CoreMOIA para geração da matriz de transferência para as mesmas condições de agitação e características dos domínios de cálculo referidas em 3.3.
2. Em seguida, é utilizado o módulo WebMOIA para:
  - 2.1. Aceder à página da Internet do Instituto Hidrográfico, para a obtenção dos dados online de agitação, nomeadamente os valores de altura significativa, período médio, direcção da onda, altura máxima, período da onda de altura máxima
  - 2.2. Interpolar estes dados na matriz de transferência de forma a obter os correspondentes resultados no ponto pretendido, constituindo este passo a previsão em tempo real da agitação marítima nesse ponto.
  - 2.3. Verificar se os valores previstos se encontram fora do intervalo de segurança estabelecido pelo utilizador, e, nesse caso, enviar um alerta via mensagem SMS, informando dessa ocorrência.

A definição do projecto de previsão em tempo real pode ser implementada executando um ficheiro *Python* com as seguintes linhas de código:

```
# importa os módulos necessários
import os
from coremoia import *
from webmoia import *

# define os directórios de trabalho do projecto
project_path = os.path.abspath(os.curdir)
project_root_dir = os.path.join(project_path, "sines")
regimes_directory = os.path.join(project_root_dir, project_directories["results"],
project_directories["regimes"])

# selecciona o ponto onde se pretende efectuar a previsão em tempo real
regimes_point = 0

# define a notação angular utilizada
angle_notation = "west"

# constrói o projecto para a previsão em tempo real com base na bóia-ondógrafo de Sines
# é definido o nome do projecto, a bóia a utilizar, o directório onde se encontra
# a matriz de transferência, o ponto onde se efectua a previsão, a notação angular,
# que se constrói a matriz de transferência a partir das matrizes de transferência
```

```
# parciais, os limites dos eixos para a altura de onda, período e direcção, os
# intervalos para envio de alertas e que o envio de alertas está activado
operational_sines = OperationalSoproForecast("Sines_teste", "sines", regimes_directory,
regimes_point, angle_notation, regimes_assemble=True, height_yaxis=[0,6],
period_yaxis=[3, 15], direction_yaxis=[-180,180], height_notify=numpy.array([1.0,
100]), period_notify=numpy.array([20, 60]), direction_notify=numpy.array([-45, -90]),
alerts=True)

# arranca a previsão em tempo real
operational_sines.run()
```

A título de exemplo, apresenta-se na Figura 18 os dados *on-line* obtidos da bóia-ondógrafo e a previsão resultante da aplicação de pyMOIA, no dia 21 de Agosto de 2007 das 02h41m07s às 20h02:50s.

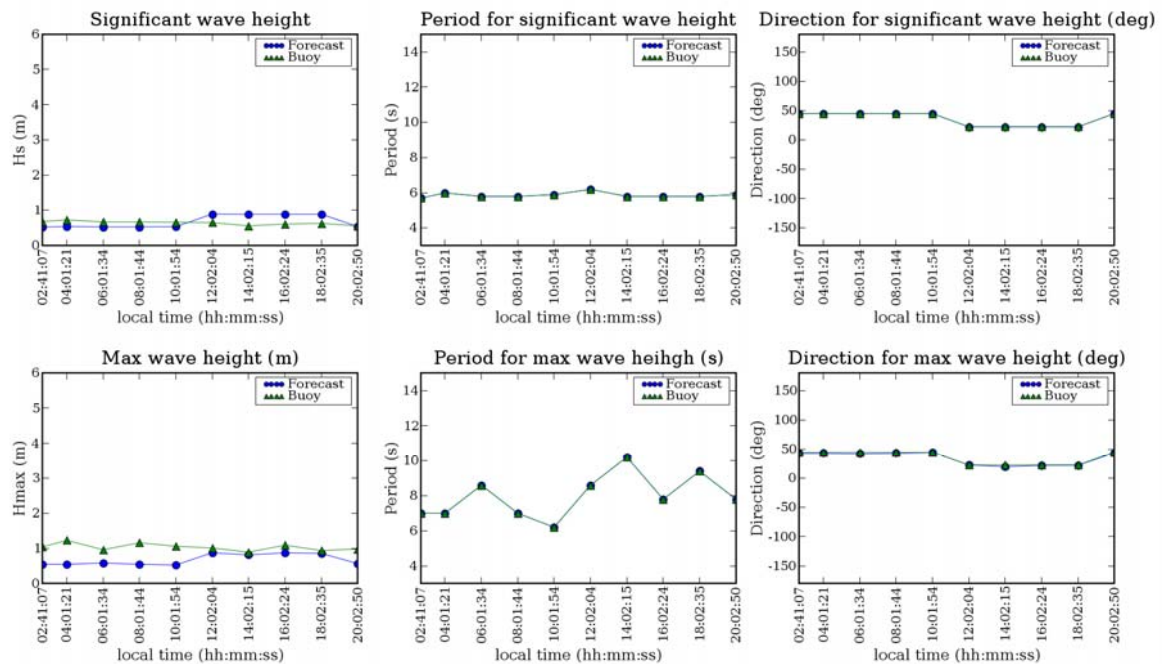


Figura 18 – Previsão da agitação marítima com base em dados online da bóia ondógrafo em Sines no dia 21 de Agosto das 02h41m07s às 20h02:50s.

Com a configuração actual é possível apresentar ao utilizador 15 previsões da agitação simultaneamente.

Na Figura 19, ilustra-se o alerta enviado por mensagem SMS recebido num telemóvel às 04h01m quando a altura de onda excedeu os 1.0 m.





Figura 19 – Alerta por mensagem SMS recebida num telemóvel quando a altura de onda máxima excedeu 1m.

## 4. CONCLUSÕES

Neste artigo, apresentou-se uma descrição da aplicação pyMOIA que é *um proof of concept* do sistema de alerta e gestão MOIA.

Consiste numa aplicação informática que permite a previsão, em tempo real, da agitação marítima num ponto em estudo, a partir de dados *on-line* obtidos por bóia-ondógrafo, e o envio de alertas por SMS para telemóvel em situação que exceda os limites de segurança da agitação marítima, pré-definidos pelo utilizador.

O pyMOIA foi desenvolvido em linguagem Python e apresenta-se como dois módulos programados nesta linguagem, podendo assim ser facilmente executado e utilizado, inclusive no seio de outras aplicações. É constituído por três núcleos CoreMOIA, REFDIF e WebMOIA, que permitem, em conjunto, a geração de malhas e ficheiros de dados, propagação da agitação marítima, tratamento e visualização dos resultados, previsão em tempo real da agitação marítima e envio de alertas por SMS.

### 4.1 Vantagens e limitações

#### Vantagens

A principal vantagem do pacote pyMOIA é a previsão em tempo real das características da agitação marítima numa zona costeira ou portuária a partir de dados de agitação marítima obtidos ao largo. Esta previsão pode ser efectuada pelo tempo que o utilizador pretender pois após configuração inicial do pacote pyMOIA, este executa as previsões continuamente sem a intervenção deste.

Mais ainda, permite avisar o utilizador por envio de alertas, por SMS, quando os valores previstos se encontrem fora de um intervalo de segurança pré-estabelecido por esse utilizador. Esta funcionalidade é extremamente importante, uma vez que aliada à identificação de procedimentos a serem executados nessas situações constitui a base de um sistema de gestão portuária.

Mais especificamente, em termos da concepção da aplicação computacional:

- trata-se de uma aplicação *Open Source*, não necessitando de aquisição de licenças de softwares comerciais o que reduz o custo significativamente;
- é constituída por classes facilitando a sua expansão para a utilização de outros modelos de propagação de ondas e introdução de novas funcionalidades;





Em termos da modelação da propagação de ondas permite:

- a propagação de um dado estado de agitação marítima para qualquer região costeira portuguesa;
- a obtenção de regimes de agitação marítima em zonas costeiras desde que seja fornecido o conjunto de dados de agitação marítima ao largo.

**Limitações:**

- O modelo apenas admite que a batimetria seja fornecida em pontos igualmente espaçados.
- Como actualmente o pyMOIA utiliza o modelo REF/DIF para a propagação da agitação marítima, as limitações inerentes a este modelo numérico constituem também limitações do pyMOIA, ver 2.3.
- A frequência de actualização dos dados de previsão está limitada pela frequência de actualização dos dados de agitação ao largo. Neste momento, os dados das bóias são actualizados de 2 em 2 horas.
- Neste momento não se guarda quer os resultados da previsão da agitação marítima quer os dados online da bóia.

## **4.2 Trabalho futuro**

Como trabalho futuro pretende-se, essencialmente, colmatar as limitações do pyMOIA indicadas acima:

- Generalizar a rotina de interpolação para incluir a possibilidade de interpolar com base em pontos irregularmente distribuídos, sendo possível utilizar outros modelos de propagação da agitação marítima mais precisos mas que funcionam tendo por base malhas não estruturadas.
- Incluir o modelo DREAMS por forma a permitir uma correcta propagação da agitação marítima no interior de zonas portuárias ou abrigadas.
- Desenvolver um ambiente gráfico que facilite a utilização do pyMOIA
- Acoplar modelos de previsão da agitação marítima pelo vento (modelos *hindcast*) por forma a ter uma previsão em tempo real com uma janela de tempo mais alargada.
- Conceber e implementar uma forma de armazenamento dos dados e resultados obtidos na previsão.

## **AGRADECIMENTOS**

O autor gostaria de agradecer à Eng. Conceição Juana Fortes por todo o apoio dado e pela criação de um bom ambiente onde este e outros trabalhos puderam ser desenvolvidos.

O autor agradece também o financiamento concedido pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) através dos projectos POCTI/CTA/48065/2002

## **BIBLIOGRAFIA**

Dalrymple, R.A.; Kirby, J.T. (1991) – REF/DIF 1 Version 2.3 Documentation manual. Combined refraction/diffraction model, CACR Report nº 91-2, University of Delaware, Janeiro.  
Fortes, C.J.E.M.; Pinheiro, L.; Santos, J.A.; Neves, M.G.; Capitão, R. (2006) - SOPRO – Pacote integrado de modelos de avaliação dos efeitos das ondas em portos. Tecnologias da Água, Edição I, Março, 51-61.



**5<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária  
Lisboa, 11 e 12 de Outubro de 2007**

- Pinheiro, L.V.; Fortes, C.J.E.M.; Santos, J.A.; Neves, M.G. (2006c) - Caracterização de Regimes de Agitação Marítima Utilizando a Ferramenta SOPRO, 8<sup>o</sup> Cong. Água, Figueira da Foz.
- Pinheiro, L.V.; Fortes, C.J.E.M.; Santos, J.A.; Neves, M.G.; Capitão, R.; Coli, A.B. (2005a) – SOPRO. Caracterização da agitação marítima. Aplicações. 4<sup>as</sup> Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária. Angra do Heroísmo, Outubro. 2005
- Pinheiro, L.V.; Fortes, C.J.E.M.; Santos, J.A.; Neves, M.G; Capitão, R.; Coli, A.B. (2005b) SOPRO – Sistema Operacional de Previsão da Ondulação em Portos. 7<sup>o</sup> Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, Évora, 30 de Maio a 2 de Junho.