

# MONITORAMENTO DE ONDAS GERADAS POR VENTOS EM RECINTOS FECHADOS UTILIZANDO O MODELO NUMÉRICO SWAN E SENSOR DE PRESSÃO

VIEIRA, A.S.<sup>1,2</sup>, FORTES, C.J.E.M<sup>2</sup>; MACIEL, G. F<sup>3</sup>

## RESUMO

A geração e propagação de ondas de vento em lagos de barragens de grande dimensão pode por em causa a segurança da navegação interior bem como contribuir para a ocorrência de fenómenos erosivos nas margens desses lagos. É, por isso, muito importante a correta estimação dessas ondas de vento e o desenvolvimento de metodologias e ferramentas capazes de promover a sua monitorização e a previsão atempada dessas ondas de modo a minimizar as suas consequências do ponto de vista económico e ambiental.

É, neste âmbito, que se insere o trabalho que está a ser desenvolvido para o lago da barragem de Ilha Solteira no estado de São Paulo, Brasil, onde um vasto conjunto de dados *in situ* (ventos, ondas, correntes e sedimentos) está a ser coletado desde 2007 assim como se iniciaram as aplicações de modelos numéricos de geração e propagação de ondas.

Nesta comunicação, apresenta-se a comparação das estimativas produzidas pelo modelo numérico SWAN, utilizando a caracterização do vento obtida a partir do Anemómetro 2D sônico instalado no lago da barragem de Ilha Solteira, com as medições da elevação da superfície livre obtidas com o sensor de pressão instalado a 1 m da superfície e 8 m de profundidade local para um período de 2 meses (janeiro e fevereiro de 2011).

As comparações efectuadas mostram a capacidade do modelo SWAN em reproduzir globalmente as características de agitação verificadas no lago em função da boa concordância entre os valores experimentais e os resultados do modelo numérico, onde em 97% dos casos se obteve um índice de concordância (IC) de 73%.

**Palavras-chave:** Ilha Solteira, Ondas de vento, Segurança da Navegação, Sensor de Pressão, SWAN.

---

<sup>1</sup>Doutor em Engenharia Elétrica, Bolseira Pós Doutorado – Engenharia Mecânica/Civil, UNESP, 15385-000 Av. Brasil, 54, Brasil, adriana.ilha@gmail.com

<sup>2</sup>Doutor em Engenharia Mecânica, Investigadora Principal, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil, 101, Lisboa, Portugal, jfortes@lnec.pt

<sup>3</sup>Doutor em Engenharia Mecânica, Professor do Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, UNESP, 15385-000 Av. Brasil, 54, Brasil, maciel@dec.feis.unesp.br

## 1. INTRODUÇÃO

Na maioria das situações, os estudos da geração e propagação de ondas por ação do vento têm sido efectuados para zonas costeiras abertas. Estudos dessa natureza têm sido convalidados, com significativo sucesso, a partir de códigos de cálculo consagrados no meio costeiro, e de resultados confrontados com medições oportunas ao largo e/ou na costa (boias).

Uma segunda vertente, ainda bastante carente em termos de estudos de previsão e validação, são as ondas geradas por vento em corpos d'água interiores de grande superfície, como é o caso de lagos de reservatórios de barragens, que no caso do Brasil podem ser de dimensão muito significativa. Veja-se, por exemplo, a Hidrovia Tietê-Paraná, um canal de navegação importante na ligação entre as regiões produtoras no cerrado e o sistema ferroviário que se destina ao porto de Santos. Mais ainda, sob a ótica moderna da sustentabilidade em face das mudanças climáticas, a navegação interior e no caso da hidrovia Tietê-Paraná constitui um elo fundamental para a economia brasileira sendo que o transporte aquaviário é efetivamente uma opção mitigadora das emissões de gases de efeito estufa, devendo ser significativamente ampliado nas próximas duas décadas.

Esta hidrovia inclui reservatórios do oeste Paulista que são reservatórios de barragens de usos múltiplos e de grande dimensão. Mas estes lagos/reservatórios de grande dimensão permitem a geração de ondas de vento com consequências prejudiciais para a navegação e para a erosão das margens dos lagos. Com efeito, os acidentes com embarcações de navegação interior, especialmente em lagos ou em trechos de hidrovias em lagos de barragens, têm sido frequentes com prejuízos económicos e ambientais importantes. Por outro lado, a ação destas ondas de vento (e ondas causadas pelas embarcações também) nas margens destes reservatórios levam frequentemente ao escorregamento das encostas sobre as quais incidem.

A segurança da navegação, em particular da navegação interior, bem como a mitigação de fenómenos erosivos requer assim uma estimativa precisa das ondas de vento e da sua ação (forças das ondas) sobre estruturas (sejam estas, fixas - barragem, muros de contenção, encostas – ou móveis, a própria embarcação, etc.) ou sobre as próprias margens do lago.

Por estes motivos, tem-se tornado cada vez mais importante o desenvolvimento de metodologias e ferramentas capazes de promover a monitorização, a previsão e a geração de ondas geradas por ventos em espelhos d'água de reservatórios, lagoas e trechos de hidrovias, bem como das consequências dessa agitação em termos de navegabilidade e estabilidade das margens de reservatórios. Estas ferramentas constituirão a base de um sistema de alerta e alerta de situações de emergência.

É, neste âmbito, que se insere o presente trabalho que trata do monitoramento e da previsão da geração de agitação pela ação do vento e da propagação de estados de agitação no Lago da Barragem de Ilha Solteira – São Paulo – Brasil. A metodologia abordada utiliza o modelo numérico SWAN (*Simulating WAVes Nearshore*), Booij *et al.* (1999), que é capaz de simular a geração, propagação e dissipação da agitação marítima, com base na equação da conservação da ação de onda. Na propagação da agitação marítima, em zonas costeiras abertas ou confinadas, o modelo simula os processos físicos de refração, difração e empolamento devido a variações do fundo e a presença de correntes. Também integra na simulação o crescimento de onda por ação dos ventos, a

arrebentação por influência do fundo e por excesso de declividade (*whitecapping*), a dissipação de energia por causa de fricção do fundo, o bloqueio e reflexão por correntes opostas, e a transmissão através de obstáculos. Entre os vários resultados obtidos através do SWAN, destacam-se a altura significativa, os períodos de pico e médio, as direções de pico e média, a dispersão direcional, o parâmetro de largura de banda e nível de água em qualquer parte do domínio computacional.

A aplicação do SWAN envolve o estabelecimento das características das malhas computacionais, das condições de fronteira e de um conjunto de parâmetros, os quais têm de ser calibrados para cada caso de estudo. É, pois, especialmente interessante a aplicação do modelo em situações para as quais existam dados de medição que permitam fazer essa calibração, e avaliar o desempenho do modelo.

Assim, na presente comunicação, analisa-se o desempenho do modelo numérico SWAN na caracterização da agitação no lago da barragem de Ilha Solteira, considerando as condições de vento obtidas a partir do anemômetro 2D sônico instalado no lago da barragem para um período de 2 meses (janeiro e fevereiro de 2011). As estimativas das ondas geradas no lago obtidas com o modelo SWAN são comparadas com as medições da elevação da superfície livre obtidas com o sensor de pressão Druck instalado no lago da barragem.

## 2. LAGO DE ILHA SOLTEIRA

O lago da barragem de Ilha Solteira está situado na cidade de Ilha Solteira a qual é um município brasileiro que pertence a região Noroeste do Estado de São Paulo, a 699 km da Capital. Localiza-se a uma latitude 20°25'58" sul e a uma longitude 51°20'33" oeste, estando a uma altitude de aproximadamente 335 metros. Tal localização, próximo ao encontro dos rios Tietê e Paraná e à divisa com o Estado do Mato Grosso do Sul, é uma das mais importantes da hidrovía Tietê-Paraná, principal meio de transporte do Mercosul.

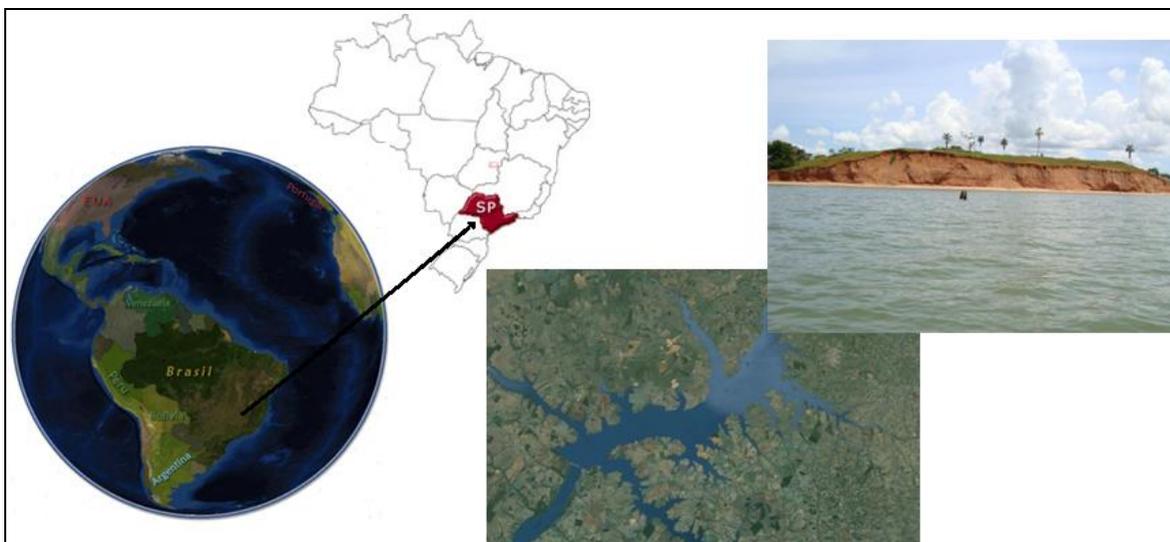


Figura 1. Lago da Barragem de Ilha Solteira.

Nesta zona está a ser realizado um vasto plano de monitorização que faz parte do projecto FINEP – ONDISA5 (Amorim *et al.*, 2007), que visa o desenvolvimento de modelos de previsão de ondas geradas por ventos para fins de segurança à navegação. Uma das tarefas do projeto é a recolha de dados de vento, ondas, correntes, batimetria e outras informações em várias localizações no Lago. A elaboração dos mapas temáticos da hidrovia foram compostos a partir de relações vento e ondas são relevantes para os gestores do sistema de navegação fluvial Tietê-Paraná. Eles permitem estabelecer e normatizar as condições limites de tráfego hidroviário seguro, podendo contribuir, sobretudo, para a mitigação de acidentes. A concepção dos sistemas e softwares para a aquisição, comunicação, tratamento e armazenamento dos dados de campo, em tempo real, considerou o propósito de monitoramento visando gerar capacidade de integração direta ao centro de alerta. O monitoramento de descargas atmosféricas para alertas de tempestades severas na hidrovia, desenvolvido a partir de adaptação de instrumentação aviônica e seu acoplamento com outro software do projecto SISNAVEGA de monitoramento de embarcações, já operacional em sectores de gestão da hidrovia, representa um avanço extraordinário para o sistema de alerta.

## 2.1 Coleta de dados de ventos e tratamentos

No âmbito do projeto referido, ONDISA5, um grupo desses instrumentos foram instalados na árvore de instrumentação localizada na latitude 20°20'49.07" e longitude 51°18'17.63", Figura 2, para medir o vento e as características de onda continuamente (UNESP, 2011). Em detalhe, o equipamento implantado no interior do lago e perto da árvore consiste em (Figura 2a) e b)):

- (1) Um ADCP-Waves, que foi implantado a 8 m de profundidade, a 20 m de distância da base da árvore, e conectado via cabo ao rádio localizado na caixa de instrumentação;
- (2) Um transdutor de pressão (Druck), o qual foi implantado a 1 m de profundidade e ligado ao conjunto de dados do registador/rádio localizado na caixa de instrumentação;
- (3 e 4) Anemómetros convencionais do tipo concha, que estão localizados em 0.3 e 0.6 m no topo da estrutura ligada à árvore. Os dados de vento são obtidos a cada minuto, com médias armazenadas a cada 5 minutos;
- (5) Um Anemómetro Ultrasônico 2D, que foi localizado a 1.2 m de altura;
- (6) Caixa de instrumentação, que contém dados de rádio, baterias, etc.;
- (7) Antenas para transmissão de dados;
- (8) Um sistema de painel solar de energia, 80 w;
- (9) Uma câmara de vídeo com baixo consumo de energia e alta resolução, para visualização de onda em tempo real.

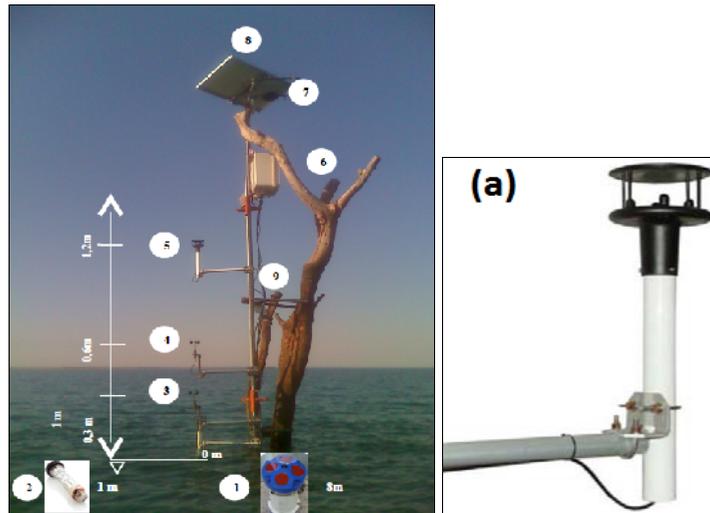


Figura 2. Árvore de instrumentação no lago da barragem de Ilha Solteira. (a) Anemômetro Sônico 2D.

Os dados são transmitidos continuamente para o laboratório de Hidrologia e Hidrometria da UNESP, por telemetria. Por se tratar de uma topografia desfavorável entre a árvore de instrumentação e a estação base, localizada no laboratório de Hidrologia e Hidrometria da UNESP, foi necessária a utilização de uma torre repetidora para intermediar tal caminho e para isso foi utilizado a telemetria com rádios de espectro VHF de 900Mhz para assegurar a confiabilidade do link que seria estabelecido entre a torre de instrumentação e a estação base. Para isso, foi cedido para instalação da estação repetidora o Farol de São Martinho (Figura 3), de propriedade da AHRANA – Administração da Hidrovia do Paraná, localizado próximo (~3 km) do local onde se encontra a torre de instrumentação para coleta dos dados. A Figura 3 mostra a torre no Farol de São Martinho.

A Figura 3 apresenta a localização da torre de instrumentação para a aquisição simultânea de dados de vento e ondas sobre o espelho d'água do Lago de Ilha Solteira, com acoplamento a um sistema de transmissão por link via rádio (Árvore – Farol São Martinho – Base Receptora LH<sup>2</sup> UNESP). Na Figura 4 apresenta-se visualização do software WAVEMON de tratamento dos dados de ondas que são coletados pelo ADCP-Waves.



Figura 3. Torre repetidora no Farol de São Martinho. Localização da torre de instrumentação, repetidora e receptora.

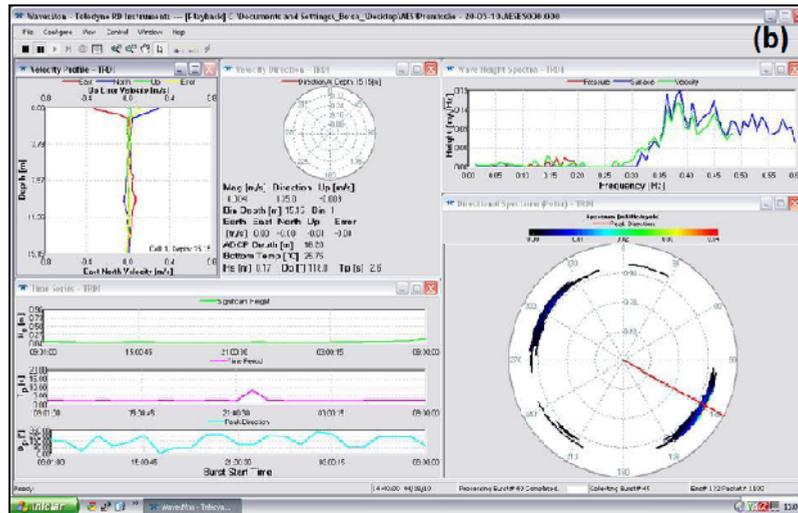


Figura 4. Software WAVESMON (ADCP-Waves).

## 2.2 Metodologia utilizada para a construção da batimetria

Com o auxílio do grupo de pesquisa de ondas gravitacionais da UNESP de Ilha Solteira, foi determinada a batimetria do Lago. O levantamento hidrográfico utiliza um conjunto de métodos e técnicas que visam cobrir uma determinada área aquática, por meio de um sistema de linhas de sondagem, dispostas regularmente. Este levantamento é realizado por uma embarcação que percorre estas linhas, medindo simultaneamente a profundidade do local e a suas coordenadas, resultando na expressão cartográfica de curvas semelhantes às curvas de nível topográficas.

Para a obtenção de dados de profundidade utiliza-se um sonar (ecobatímetro), que emite ondas sonoras numa determinada frequência, a qual ao se deparar com algum obstáculo, é refletida e captada pelo instrumento, medindo a profundidade através do tempo de retorno da onda. O posicionamento das coordenadas é feito por um GPS de boa precisão, que integrado ao computador, juntamente com o sonar, fornece os dados de cada ponto do traçado.

Mais concretamente, foi usado um Ecobatímetro Navisound 205 (Figura 5a), após um ajuste prévio de frequência (de acordo com a quantidade de interferências, causadas por algas e demais objetos no fundo do rio), para ler a distância vertical, da superfície da água até o fundo, de cada ponto da rota traçada pelo barco.

As coordenadas foram obtidas por um DGPS Max (Figura 5b), que captou todos os pontos de localização geográfica ao longo do trajeto, com alta precisão. Este equipamento necessita de um intervalo de tempo de aproximadamente 30 minutos para ajuste de posição automático, preferencialmente estando em posição estagnada, visando a redução dos erros de leitura.



Figura 5. a) Imagem do Ecobatímetro Navisound 205, b) Imagem do DGPS Max – CSI Wireless

Estes dados foram tratados e a partir de então foram organizados em 3 colunas, x, y e z onde z representa a profundidade, x as coordenadas UTM leste e y norte. Tomou-se como nível do lago a cota 326.5 m que foi a mesma obtida pela equipe no momento do levantamento batimétrico. A Figura 6 mostra o levantamento batimétrico 3D, feito no Software Grapher (Vieira, 2013).

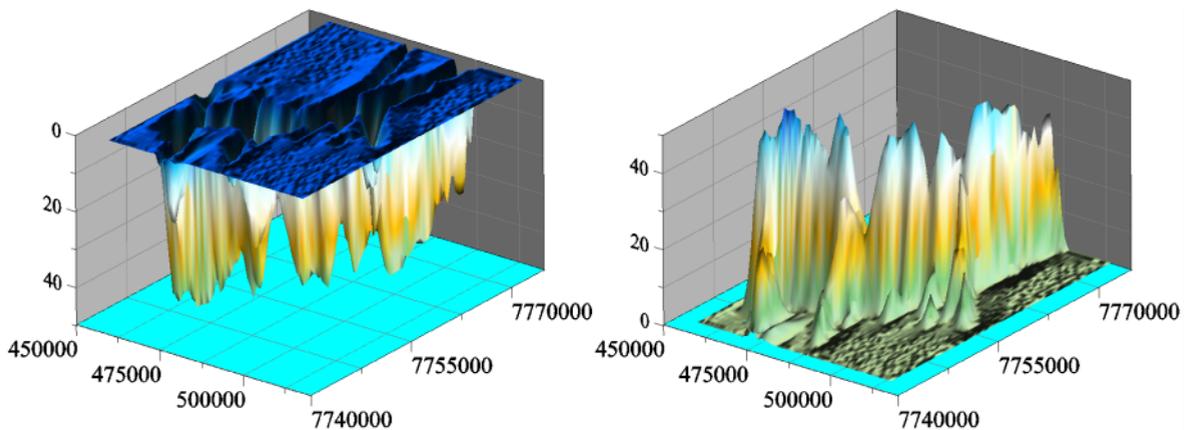


Figura 6. Representação gráfica 3D da batimetria do Lago de Ilha Solteira (unidade de medida (m)).

### 2.3 Metodologia utilizada para o cálculo de $H(f)$

Tomando como base a coleta de dados obtida a partir do sensor de pressão, o sinal de pressão é amostrado com uma frequência de 5 leituras por segundo e transmitido para a base juntamente com uma *string* identificadora da data, hora, minuto e segundo da leitura.

A primeira atividade, Vieira (2013), da sequência de cálculo é a determinação da profundidade média do sensor. Esse cálculo é efectuado a cada minuto, ou seja, abrangendo uma amostra de 300 leituras. A profundidade média de cada minuto é subtraída do sinal total, gerando o sinal de variação de pressão,  $X(i)$ , com  $i$  variando de 0 a 299. Apenas a variação de pressão é submetida à transformada discreta de Fourier, gerando duas séries de 150 dados,  $ReX(k)$  e  $ImX(k)$ , correspondendo à parte real e a imaginária da transformada. Com a profundidade total do local de instalação e com a imersão do sensor dada pela profundidade média é calculado o fator de correção  $H(f)$ , que depende de  $k$  (número de onda), que por sua vez depende do comprimento de onda  $L$ .

Com  $H(f)$  calculado, a correção é aplicada aos vetores  $ReX$  e  $ImX$ , sendo então chamada a transformada inversa. Após a inversão, os dados ficam disponíveis em um vetor  $XC(i)$  e são também registrados em arquivo, juntamente com a informação sobre a data e hora. O vetor de valores de onda  $XC(i)$  é então ordenado em ordem decrescente e calcula-se a média dos maiores 100 valores a cada minuto. Essa média é armazenada no vetor  $Hs(j)$  com  $j$  correspondente ao minuto do dia sendo tratado. Ao final do dia, o processo repetiu-se 1440 vezes, produzindo o vetor de alturas significativas a cada minuto. O protótipo do programa foi testado em planilhas Excel, usando macros codificadas em VBA, *Visual Basic for Applications*, com as entradas e saídas de resultados parciais directamente na planilha

Apesar do protótipo rodar em um esquema bastante ineficiente, pois o processo de escrever valores parciais nas células da planilha consome muito mais tempo que a gravação em arquivos texto, o tratamento completo de 1 dia de dados foi efectuado em cerca de 5 minutos num processador I5 de 3.2 GHz rodando Windows7-64bits.

É possível calcular as médias das alturas significativas, máximas, médias e profundidades com intervalos de 1, 5, 10, 30 minutos e 1 hora. Este procedimento foi efectuado para um período de 2 meses (janeiro e fevereiro de 2011).

### 3. APLICAÇÃO DO MODELO SWAN

O objectivo deste capítulo é a aplicação do modelo SWAN no lago de Ilha Solteira para o período de janeiro e fevereiro de 2011, tendo em conta as condições de vento, Vieira (2013). Os resultados numéricos, alturas significativas de ondas são comparados com dados experimentais com o intuito avaliar o desempenho do modelo numa zona confinada.

#### 3.1 Batimetria, condições fronteira ao largo, ventos e marés

A execução do modelo SWAN requer a introdução de diferentes dados base, referentes às variáveis físicas que caracterizam o local e as condições ambientais tais como a batimetria, e ventos.

A batimetria da zona foi obtida como descrito em 2.2.

Utilizaram-se os dados de vento aos 1.2 m, obtidos com o Anemómetro Ultrassónico 2D, no período de janeiro e fevereiro de 2011, como ilustra a Figura 7 que apresenta a distribuição, por rumos, de valores tri-horários da velocidade do vento. Foram utilizadas correções de altura do vento a 1.2 m e médias a cada 1 minuto. Foi feita ainda uma segunda correcção aos ventos medidos, visto que o anemómetro se encontrar a 1.2 m de altura e não ao nível de referência de 10 m, através da lei da potência (CEM, 2002).

Da Figura 7, verifica-se que nestes dois meses do ano, o vento mais frequente tem intensidade entre 2 a 6 m/s e provém essencialmente do quadrante 0-90º, embora se verifiquem ventos com alguma frequência dos restantes quadrantes.

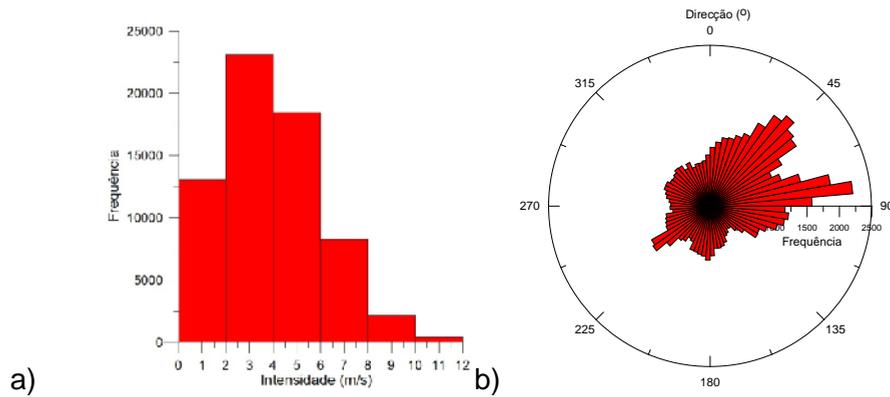


Figura 7. Características do vento no período de janeiro e fevereiro de 2011: a) intensidade, b) direção.

### 3.2 Domínio Computacional

O domínio de cálculo do modelo SWAN foi discretizado através de três malhas retangulares, uma que cobre toda a região do lago da barragem de Ilha Solteira, Figura 8 e Tabela 1. A malha maior (global) possui as dimensões 54 km por 33 km, e é composta de unidades quadrangulares de 1000 m de lado. A 2ª malha (encaixada) foi definida com uma resolução de 500 m, cobrindo um retângulo de 26.6 km por 18.4 km. A 3ª malha (encaixada) foi definida com uma resolução de 250 m, cobrindo um retângulo de quadrado de 14.8 km por 14.3 km. Na malha encaixada foram definidos 5 pontos P1 a P5, onde se extraíram resultados das execuções do SWAN (Figura 8).

As coordenadas dos pontos P1 a P5 encontram-se indicadas na Tabela 2 onde o Ponto 5 representa a posição da árvore instrumental de onde foram coletados os dados de vento e ondas.

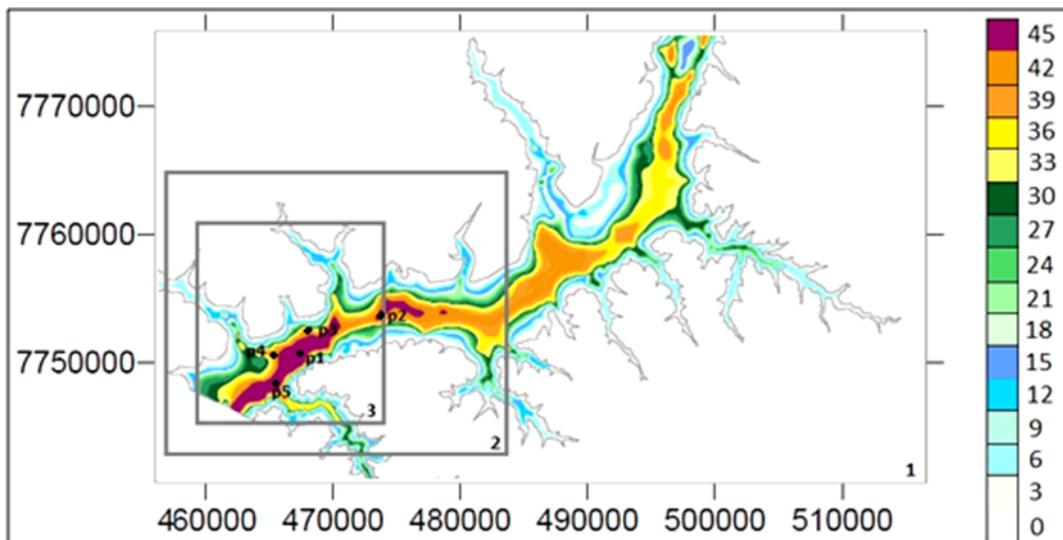


Figura 8. Definição das malhas do modelo SWAN e localização dos pontos no lago da barragem da Ilha Solteira para a obtenção dos resultados: a) malha 1, b) malha 2 e c) malha 3.

Malha	X inicial	Y inicial	Nº. DX	Nº. DY	DX (m)	DY (m)
1	456680	7741700	58	33	1000	1000
2	457220	7744520	53	34	500	500
3	459329	7745690	58	57	250	250

Tabela 1 - Características das malhas utilizadas na simulação com o SWAN.

Ponto	X	Y	Prof.
1	473800	7754000	42
2	468900	7753000	33
3	466400	7751000	41
4	468200	7750000	13
5	468200	7749000	12

Tabela 2 - Características dos pontos simulados com o SWAN.

### 3.3 Características das Simulações

Para os cálculos do SWAN, o espectro direccional foi definido a partir da discretização de um espectro em frequência contendo 21 intervalos, de 0.070 a 2.0 Hz, com distribuição logarítmica, e de uma discretização em direcção cobrindo os 360º, dividida em 144 intervalos ( $\Delta\theta = 2.5^\circ$ ).

Todas as execuções foram realizadas com a versão 40.72 do SWAN e os fenômenos físicos incluídos foram refração, o empolamento e a rebentação por influência do fundo e do excesso de declividade (*whitecapping*), interações entre tríades de ondas (*triad wave-wave interactions*) e a geração de harmónicas (*frequency shifting*).

Como termos fonte e sumidouro foram considerados a aquisição de energia devido à acção do vento, a rebentação induzida pelo fundo e a rebentação parcial (*whitecapping*), interações não lineares de quatro e três ondas e a dissipação induzida por atrito no fundo. Usaram-se as formulações padrão constante de SWAN Team (2008), i.e., para a rebentação parcial utilizou-se a aproximação de Komen *et al.* (1984).

Para uma utilização mais rápida e eficiente do modelo SWAN foi usado o programa de interface SOPRO (Pinheiro *et al.*, 2007).

Assim, foram efetuados os cálculos com o modelo SWAN para as condições de vento de janeiro e fevereiro de 2011 e obtiveram-se as características da agitação no lago nos pontos assinalados P1 a P5 (Figura 8). Quanto ao tempo necessário ao cálculo, uma simulação do SWAN com uma malha (a 1ª malha assinalada na Figura 8 demora cerca de 40 s enquanto que com as três malhas de cálculo mencionadas acima uma simulação demora tipicamente 120 s.

## 4. RESULTADOS E COMENTARIOS

A Figura 9 representa as análises comparativas efetuadas entre as alturas significativas de ondas obtidas pela SWAN e as alturas significativas de ondas adquiridas pelo sensor de pressão, indicando-se também as velocidades dos ventos para o período que vai de 1 a 31 de janeiro de 2011.

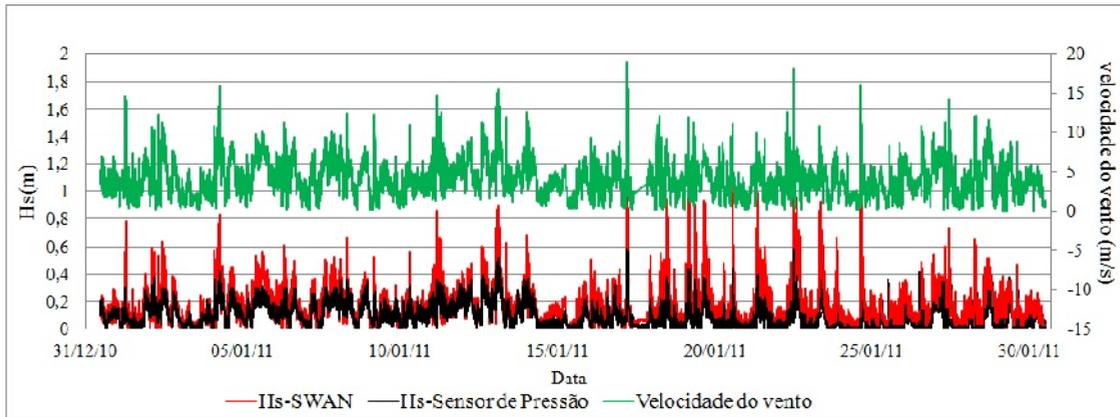


Figura 9. Representação das alturas significativas de ondas e ventos para o período que vai de 01 a 31 de janeiro de 2011.

A Figura 10 representa as análises comparativas efetuadas entre as alturas significativas de ondas obtidas pela SWAN e as alturas significativas de ondas adquiridas pelo sensor de pressão, indicando-se também as velocidades dos ventos para o período que vai de 1 a 23 de Fevereiro de 2011.

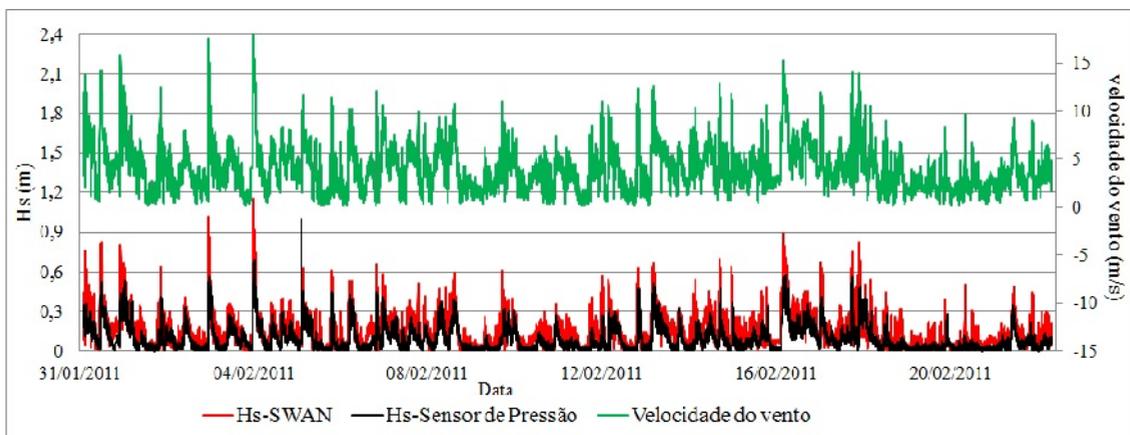


Figura 10. Representação das alturas significativas de ondas e ventos, para o período que vai de 01 a 23 de fevereiro de 2011.

Para avaliar quantitativamente o desempenho do modelo numérico, procedeu-se ao cálculo do Bias, do valor médio quadrático do erro (RMSE), o SI (*scatter index*), o ID (índice de desempenho) e o R (índice de correlação). O SI representa o quociente entre o RMSE e o valor médio das observações. Este conjunto de estatísticas está representado na Tabela 3.

Tabela 3 - Estatísticas referentes à Figura 3 ( $H_m0$ ) no Ponto5.

	RMSE (m)	SI (%)	IC (%)	Bias (m)	ID (%)	R (%)
$H_s$	0.096	100	73	0.053	61	83.3

A partir da comparação, os resultados do modelo SWAN apresentaram grandes semelhanças em comportamento com os resultados experimentais, o que permite indicar o

código como ferramenta promissora para previsão de ondas geradas por ventos em lagos de barragens. O modelo apresentou resultados de alturas significativas de onda  $H_s$  superiores aos registrados pelo sensor de pressão, o que pode ser consequência de se ter considerado um vento constante igual ao medido na posição da árvore de instrumentação em todo o domínio de cálculo. Além disso, foram considerados os parâmetros por defeito indicados no manual do SWAN, sem se efetuar qualquer análise de sensibilidade.

## 5. CONCLUSÕES

Nesta comunicação, descreve-se a aplicação do modelo SWAN ao lago da barragem de Ilha Solteira situada no estado de São Paulo, Brasil, no período de Janeiro e Fevereiro de 2011 para as quais existem dados medidos *in situ*. A comparação entre as observações e as simulações numéricas com o SWAN mostra uma boa concordância.

O código SWAN conduziu a índices de concordância IC (IC = 73%) com os valores medidos pelo sensor de pressão DRUCK instalado a uma lâmina de 1.0 metros da superfície livre, na profundidade de 8 m, distando 10 metros da “árvore de instrumentação”, esta localizada a cerca de 50 metros da margem.

As diferenças encontradas entre os resultados numéricos e os medidos podem ser devidas às simplificações admitidas nos cálculos efectuados, por falta de informação, especificamente no que diz respeito aos ventos (ventos constantes em todo o domínio computacional e baseados nos valores obtidos no anemómetro 2D, muito próximo à superfície). Será também importante efectuar uma análise de sensibilidade a alguns parâmetros considerados por defeito, nomeadamente, o parâmetro de atrito de fundo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos projetos à Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) o financiamento concedido através do projeto HIDRALERTA – *Flood forecast and alert system in coastal and port areas*, PTDC/AAC-AMB/120702/2010. Também agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo financiamento concedido ao pós-doutoramento.

## REFERÊNCIAS

- Amorim, A.E.A., Mendonça, E.T; Trovati, L.R. (2007). ONDISA5: Hidrovia Tietê – Paraná: Alerta de Vento e Onda para a Segurança da Navegação.
- Booij, N., Ris, R.C., Holthuijsen, L.H. (1999). A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation, *J. Geoph. Research*, 104, C4, 7649-7666.
- CEM (2002). Coastal Engineering Manual, U.S. Army Corps of Engineers.
- Komen, G.J., Hasselman, S., Hasselman, K., (1984). On the existence of a fully developed wind-sea spectrum, *J. Phys. Oceanogr.*, 14, 1271-1285.

Pinheiro, L., Santos, J.A., Fortes, C.J.E.M., Capitão, R. (2007). SOPRO – Pacote integrado de modelos para avaliação dos efeitos das ondas em portos. Revista da Tecnologia da Água, Edição I, março.

SWAN Team (2008). “SWAN: Technical Documentation. SWAN Cycle III version 40.72”, Delft University of Technology.

UNESP - Universidade Estadual Paulista (2011). Faculdade de Engenharia. Laboratório de Hidrologia e Hidrometria. Projeto ONDISA5: Hidrovia Tietê–Paraná: alerta de vento e ondas para segurança da navegação: relatório final. Ilha Solteira: Laboratório de Hidrologia e Hidrometria, jun. 2011. Disponível em: <[http://200.145.241.31/dec/lh2/documentos/Relatorio\\_FINAL\\_FINEP\\_ONDISA5.pdf](http://200.145.241.31/dec/lh2/documentos/Relatorio_FINAL_FINEP_ONDISA5.pdf)>. Acesso em: 3 ago. 2013.

Vieira, A.S. (2013). Análises, Aplicações e Validações – Numérico/Experimentais do Modelo SWAN em Áreas Restritas e ao largo. Tese de Doutorado área de Automação. Universidade Estadual Paulista-UNESP/Ilha Solteira-S.P.