

XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

PREVISÃO DE ALTURAS DE ONDAS EM RECINTOS FECHADOS UTILIZANDO O MODELO NUMÉRICO SWAN

Geraldo de Freitas Maciel¹ ; Adriana Silveira Vieira² & Carlos Roberto Minussi³

RESUMO

Este trabalho consiste em uma análise do comportamento do modelo numérico Swan no que diz respeito à geração e propagação de ondas geradas por vento em recintos fechados. Nossos casos de estudo são o lago da barragem de Ilha Solteira – SP e o lago da barragem de Porto Primavera-SP. Uma das grandes vantagens do modelo Swan é a sua versatilidade: pode ser aplicado tanto em grandes zonas costeiras abertas como em zonas confinadas (como estuários e lagos). Em ambos os casos, o forçamento pode ser efetuado por ventos, ondas e/ou correntes. Para todas as situações, o modelo efetua a geração e/ou propagação dessas ondas desde o largo até à zona costeira/portuária ou no interior do estuário até à sua rebentação nas suas fronteiras (praias, falésias). A geração, propagação e transformação de ondas em corpos d'água interiores de grande superfície, como é o caso de lagos de reservatórios e lagoas, fornece condições excepcionais para estudos de engenharia costeira. Acidentes com embarcações de navegação, especialmente nos grandes lagos, motivaram o estabelecimento de serviços de alerta e de previsão de ondas.

ABSTRACT

In this work we analyze the behavior of the “Swan” numerical model of generation and wave propagation produced by wind inland. Our study cases are the Ilha Solteira -SP and Porto Primavera lakes. A great advantage of the SWAN model is its versatility, which can be applied to large coastal open or confined areas (such as estuaries or reservoirs); both cases the forcing can be carried out by winds, waves and / or currents. In both situations, the model performs the generation and / or propagation of these waves from offshore to the coastal area / port or within the estuary until they are bursting at their borders (beaches, cliffs). The generation, propagation and transformation of waves in inland water bodies of large surface, as is the case of lakes, reservoirs and lakes, provides exceptional conditions for coastal engineering studies. Accidents with inland navigation, especially on the Great Lakes, lead to the establishment of alerting services and wave forecast.

Palavras-Chave – Swan, Ilha Solteira, Porto Primavera.

1) Departamento de Engenharia Civil, Unesp – Ilha Solteira-Brasil, maciel@dec.feis.unesp.br

2) Departamento de Engenharia Elétrica, Unesp – Ilha Solteira – Brasil. adriana.ilha@gmail.com

3) Departamento de Engenharia Elétrica, Unesp – Ilha Solteira – Brasil.minussi@dee.feis.unesp.br

MOTIVAÇÃO

A geração, propagação e transformação de ondas nestes corpos d'água, como lagos de reservatórios e lagoas, fornece condições excepcionais para estudos de engenharia costeira. O estudo deste fenômeno para a segurança de embarcações de navegação interior vem contribuindo para o estabelecimento de serviços de alerta e de previsão de ondas. No entanto, no Brasil, apesar de já se contar com especialistas e experiência acumulada em engenharia costeira, pouco se tem utilizado desta experiência em prol da segurança marítima nestes lagos, principalmente porque os projetos da maioria das barragens foram elaborados na década de 60. Uma clara vantagem de se estudar este assunto em águas interiores é que as dimensões físicas do problema em relação às proporções oceânicas são reduzidas. Além disso, as condições nestes lagos são menos agressivas e possuem melhor apoio logístico.

Comprova-se a presença e a importância deste fenômeno pelos acidentes já verificados na Hidrovia Tietê-Paraná. Não apenas as embarcações, mas também barragens sofrem com as agressões destas ondas e muitas possuem obras de proteção na tentativa de minimizar seus efeitos. Ademais, vários são os relatos da população local reportando sobre condições de ventos e ondas severas varrendo sobre lagos de barragens. Dentro deste trabalho, foca-se em especial o lago da barragem de Ilha Solteira e o lago da barragem de Porto Primavera, os quais possuem relatos e dados característicos de ventos e ondas adquiridos em campanhas de estudo através do sensor de pressão da marca Druck, modelo PDCR 1830.

INTRODUÇÃO

Os modelos numéricos de propagação de ondas em zonas costeiras e portuárias têm-se apresentado como uma excelente alternativa para a determinação do clima de ondas em regiões carentes desse tipo de informações. São assim utilizados para transferir as características da onda (alturas, direção e período) do largo ou de um local na costa onde sejam conhecidos para o local de interesse de estudo. Dependendo da complexidade do modelo numérico, estes podem incluir diferentes fenômenos que afetam a propagação das ondas em zonas costeiras, tais como: a refração, a difração, a reflexão, a rebentação de ondas, efeitos não lineares e interação onda-corrente.

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, 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.

O presente trabalho tem por objetivo aplicar o modelo numérico Swan ao Lago da Barragem de Ilha Solteira e ao Lago da Barragem de Porto Primavera - São Paulo- Brasil, com o intuito de analisar a sua aplicabilidade na geração e propagação de ondas geradas por vento.

A Figura 1 representa a área de estudo deste trabalho.

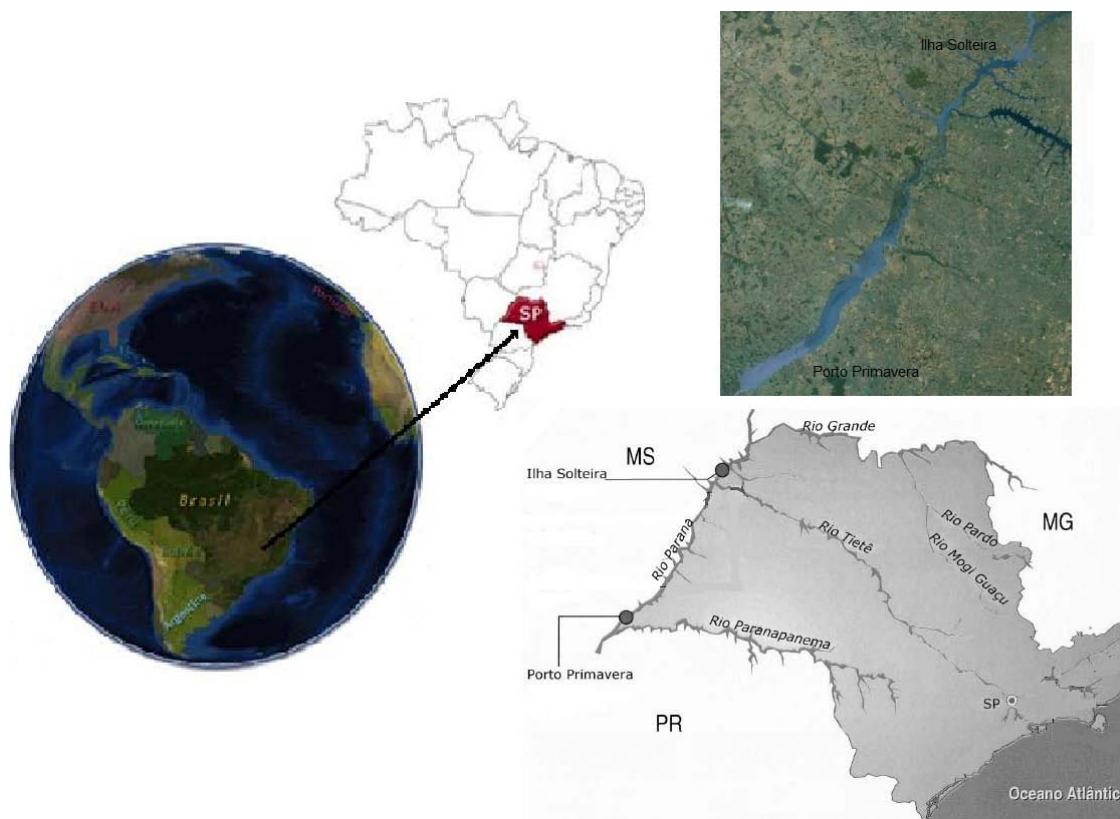


Figura 1: Posicionamentos dos Lagos da Barragem de Ilha Solteira e Porto Primavera.

MÉTODO NUMÉRICO

O SWAN é utilizado para obter estimativas do espectro de ondas em áreas costeiras, lagos e estuários, podendo utilizar campos de vento, batimetria e correntes, havendo a possibilidade destes dados serem fornecidos por outros modelos. Foi desenvolvido na Universidade Técnica de Delft (TUDelft), Holanda. Se trata de um modelo numérico de terceira geração que permite obter parâmetros característicos da agitação marítima desde águas profundas à águas pouco profundas.

O modelo SWAN, surgiu da necessidade de complementar os modelos de terceira geração desenvolvidos, essencialmente, para aplicações operacionais, quando se trata de águas profundas. Quanto a modelagem matemática, o mesmo, é baseado na equação do balanço espectral da ação de onda (Booji *et al.*, 1999). O modelo é capaz de verificar a propagação de ondas em um domínio

geográfico, o espectro direcional da onda e, conseqüentemente, identificar a evolução das ondas geradas pelo vento em zonas costeiras.

A formulação matemática do modelo SWAN, envolve não só os fenômenos de geração, dissipação e interação não linear entre quatro ondas características, conforme apresenta do modelo WAM (Komen *et al.*, 1994), mas trata também dos processos existentes em águas pouco profundas, tais como, a dissipação devido ao atrito do fundo, interação não linear entre três ondas e rebentação induzida pela diminuição de profundidade.

O campo de ondas na zona em estudo, é descrito por uma malha retangular, caracterizado-se pelo espectro bidimensional de densidade da ação de ondas. Esta representação permite a aplicação em áreas onde o crescimento de ondas pela ação do vento seja notável ou realizar uma análise prévia do mar, onde as ondulações, estejam presentes. Permite também, analisar propagação da agitação, nos modos estacionário ou não estacionário, nos espaços geográfico e espectral. Sendo utilizados esquemas numéricos implícitos. Além disso, deve-se ressaltar que a zona em estudo pode ser descrita em coordenadas cartesianas ou esféricas.

Para executar o SWAN é necessário definir alguns dados, tais como, a malha batimétrica da zona a modelar, as malhas computacionais de diferenças finitas e as condições de agitação na fronteira de entrada do domínio. Os resultados do SWAN acessíveis com o SOPRO (interface do SWAN) são, atualmente, a altura significativa da onda, os períodos de pico, que é caracterizado pelo tempo máximo de geração da onda e também os períodos médios, as direções de pico e médias, a dispersão direcional, o parâmetro de largura de banda e nível de água em qualquer parte do domínio computacional.

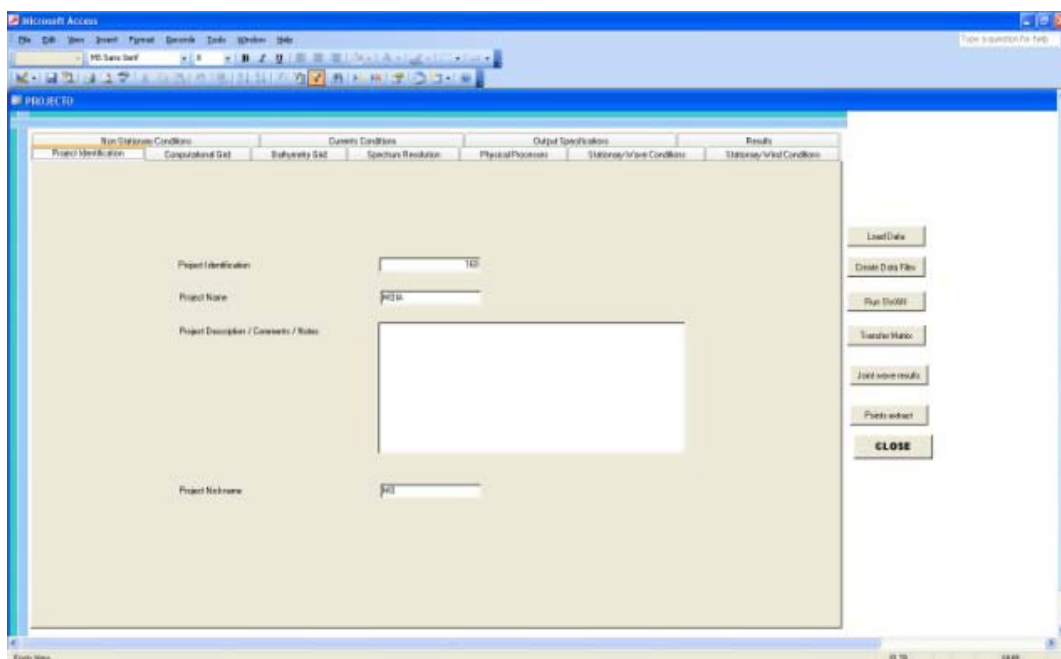


Figura 2: Modulo Swan – Acess 2007.

ESTUDO DE CASOS

Lago de Ilha Solteira

O modelo numérico SWAN é aplicado ao lago da barragem de Ilha Solteira que 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 hidrovia Tietê-Paraná, principal meio de transporte do MERCOSUL. O reservatório de Ilha Solteira estende-se pelas águas do Rio Paraná e São José dos Dourados. Possui uma área de 1.231Km² com um volume total de 21 bilhões e 166 milhões de m³ de água, o que equivale a 5 ou 6 vezes a Baía de Guanabara, sendo o terceiro maior do país.

O domínio de cálculo do modelo SWAN foi discretizado, de acordo com as características do ambiente em estudo. Essa discretização foi elaborada através de três malhas retangulares, sendo, uma cobre toda a região do lago da barragem de Ilha Solteira, conforme ilustra a Figura 3). A malha maior (global) possui as dimensões 54km por 33km, 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 3).

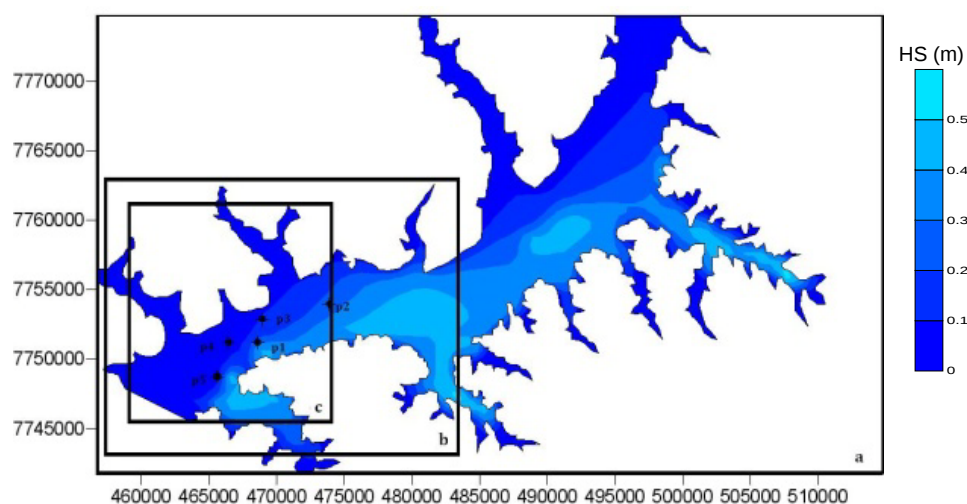


Figura 3: Definição das malhas do modelo SWAN e localização dos pontos no lago da barragem de Ilha Solteira para a obtenção dos resultados: a) malha1, b) malha2 e c) malha3.

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

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

A partir de então se pretende fazer as análises com diferentes períodos de coletas de dados. Utilizando-se dos dados obtidos através de campanhas de estudos, realizadas no lago da barragem de Ilha Solteira, com o auxílio do sensor de pressão da marca Druck, modelo PDCR 1830, para até 50 *psig*, com não linearidade de 0,06% do fundo de escala, dotado de cabo de alimentação de 150m (500 *ft*), com tubo de ventilação que fornece a pressão atmosférica de referência.

RESULTADOS

Foram realizados testes para o dia 13 de janeiro de 2011 com intervalo de tempo de 1 em 1 minuto e para o intervalo de dias de 11 a 17 de janeiro com médias a cada 10 minutos.

Caso1: Comparação entre as alturas de ondas obtidas pelo sensor de pressão e alturas de ondas geradas pelo swan com dados de ventos obtidos pelo anemômetro 2D sônico com período de 10 em 10 minutos.

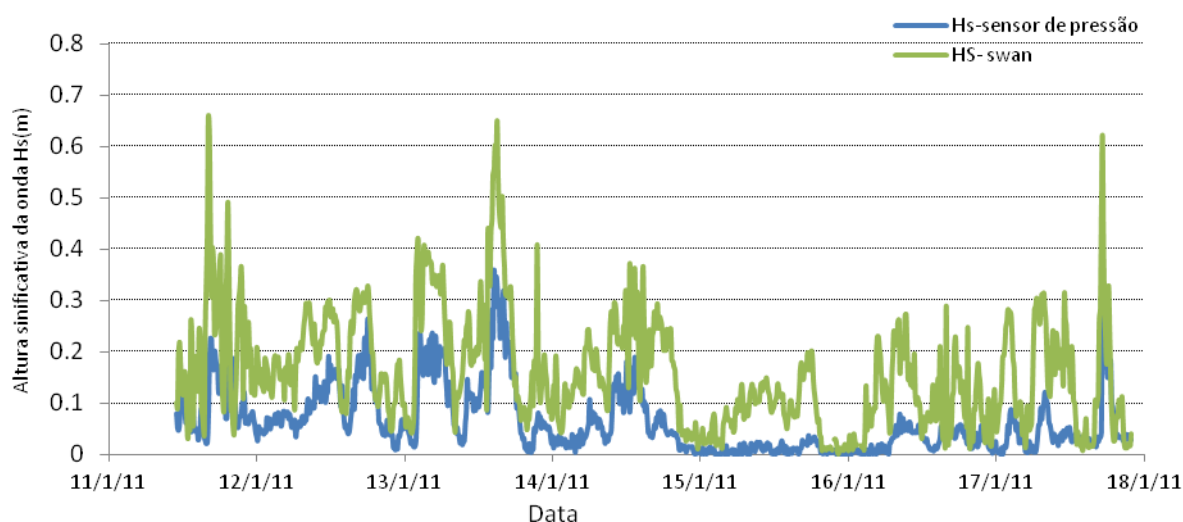


Figura 4: Altura significativa da onda.

Observa-se que com uma variação temporal de 10 em 10 minutos para um período de 7 dias, o modelo espectral swan apresenta um comportamento que exerce praticamente as mesmas características das obtidas a partir do sensor de pressão, entretanto com uma super estimativa das alturas significativas.

Observa-se que com uma variação temporal de 1 em 1 minuto para um período de 1 dia, o swan apresenta um comportamento que exerce praticamente as mesmas características das obtidas a partir do sensor de pressão, entretanto com uma superestimação das alturas significativas de onda.

Caso2: Estudo de caso, utilizando o modelo numérico espectral swan no Lago da Barragem de Ilha Solteira, adotando como dados de entrada: velocidade do vento a 25m/s na direção 210^0 .

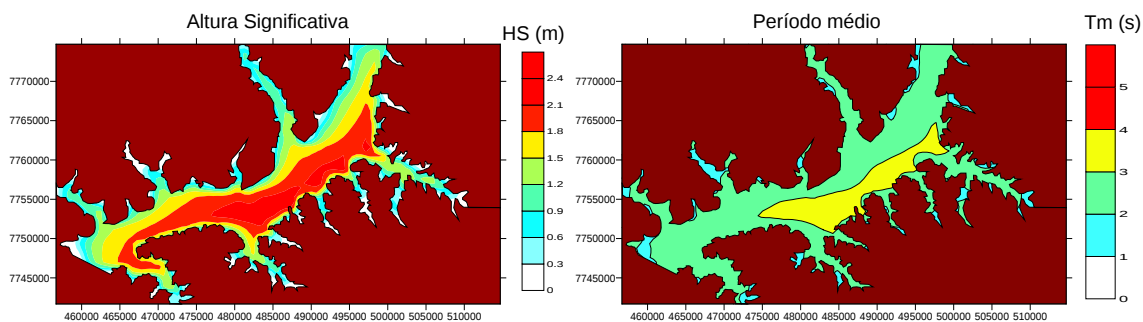


Figura 5: Altura significativa da onda e período médio.

Observa-se na figura 5 que para um ângulo de incidência do vento em 210^0 , a pista de vento tem um comprimento grande, e com uma velocidade de 25m/s obteve-se alturas significativas de ondas em torno de 2,4m.

Lago de Porto Primavera

O modelo numérico SWAN é aplicado ao lago da barragem de Porto Primavera que é um município brasileiro que pertence à região Centro Oeste Paulista do Estado de São Paulo, a 780 km da Capital. Localiza-se a uma latitude $22^{\circ}28' S$ e a uma longitude $52^{\circ}58' W$, estando a uma altitude de aproximadamente 259 metros, esta próximo à divisa de Mato Grosso do Sul com o Paraná e é banhado pelas águas do Rio Paraná; pertence a hidrovia Tietê-Paraná, principal meio de transporte do MERCOSUL. Possui uma área de 2.250Km² com um volume total de 20000 Km³ de água.



Figura 6: Representação geográfica do Lago de Porto Primavera.

RESULTADOS

Foram realizados alguns estudos de casos para o lago da barragem de Porto Primavera. Foi discretizada apenas uma malha para a simulação de casos-testes, esta malha aborda todo o reservatório que tem aproximadamente de 11 a 15km de largura e por volta de 125km de comprimento.

Caso1: Aplicação do modelo numérico swan ao lago de porto primavera com um ângulo de incidência do vento em 225° e com uma velocidade de 30m/s (caso extremo).

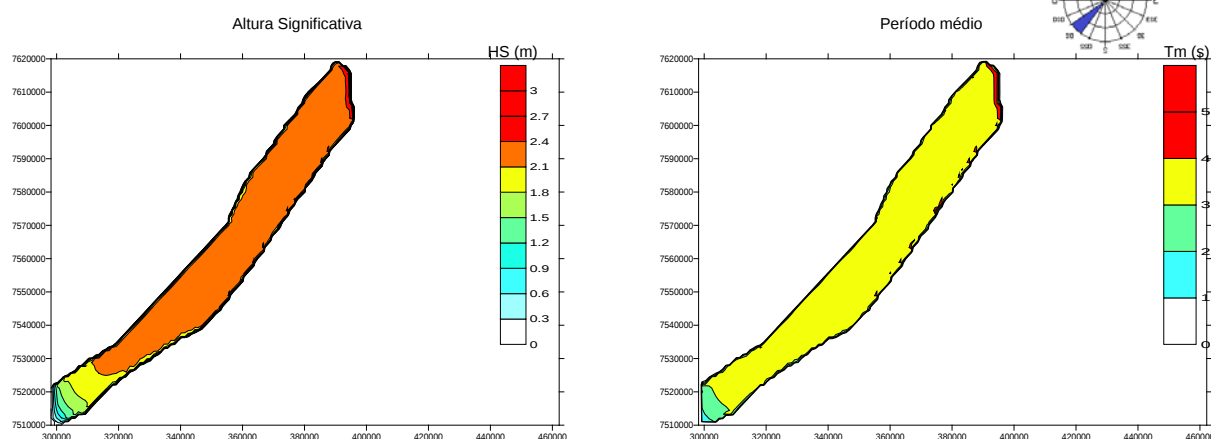


Figura 7: Representação gráfica de altura significativas de ondas no Lago de Porto Primavera.

Observa-se através da figura7, que devido a este ângulo de incidência do vento, e com essa alta velocidade do vento, que já foram veridicamente encontradas nesse lago, obtivemos alturas significativas de ondas na maior parte do lago por volta de 2,1 a 2,4m, com um período médio de 3 a 6 segundos.

CONCLUSÕES GERAIS

O modelo numérico Swan, adaptado para a utilização no lago da barragem de Ilha Solteira, com o objetivo de medir alturas significativas de ondas geradas por vento, apresentou resultados satisfatórios quando comparados com o sensor de pressão. Entretanto em algumas situações ainda apresenta superestimação nas alturas significativas de ondas, conforme mostrado em trabalho anterior (Vieira *et all* 2011).

Quando o modelo foi aplicado ao lago da barragem de Porto Primavera, obteve-se resultados esperados, tomando como base casos verídicos acontecidos naquele lago, dados esses comprovados por pescadores e moradores da região.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP, ao CNPq e a Reitoria pelos financiamentos de Mestrado, Doutorado, respectivamente, e pelos auxílios de projeto. E, ao Laboratório de Hidrologia e Hidrometria LH² da UNESP de Ilha Solteira.

BIBLIOGRAFIA

- BOOIJ, N., RIS, R. C. and HOLTHUIJSEN, L. H. (1999), *A third-generation wave model for coastal regions, Part I: Model description and validation*, J. Geophys. Res. Vol. 104, C4, pp.7649-7666.
- CUNHA, E. F. ; MORAIS, V. S. ; MACIEL, G. F., MAGINA, F., (2009), “*Sistema de Transmissão de Dados de Vento e Onda, Via Rádio Telemetria, em Lagos de Barragens*”, In XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.
- KOMEN, G. J., L. CAVALERI, M. DONELAN, K. HASSELMANN, S. HASSELMANN and P. A. E. M. JANSSEN, 1994: *Dynamics and Modelling of Ocean Waves*. Cambridge University Press, 532 pp.
- PINHEIRO, L.V.; FORTES, C.J.E.M.; SANTOS, J.A. E NEVES, M.G. (2006) – “*Caracterização de regimes de agitação marítima utilizando a ferramenta SOPRO*”, 8º Congresso da Água, Figueira da Foz.
- VIEIRA, A.S ; MACIEL, G.F; FORTES, C.J.E.M; MINUSSI, C.R; TROVATI, L. R; SOBRINHO, M.D; MORAES, V.S; CUNHA, E.F; LIMA, G.B; e OLIVEIRA, E.B. (2011), *Proposta de dois Simuladores de Ondas Geradas por Vento em águas restritas: Swan e Ondisacad*. In XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Maceió - Alagoas – Brasil.