

## VI SEMINÁRIO E WORKSHOP EM ENGENHARIA OCEÂNICA

Rio Grande, de 12 a 14 de Novembro de 2014

### APLICAÇÃO DO MODELO NUMÉRICO SWAN EM LOCAIS COM VEGETAÇÃO NA HIDROVIA TIETE-PARANÁ – LAGO DA BARRAGEM DE ILHA SOLTEIRA, BRASIL

A.S. Vieira<sup>1</sup>, I.C. Gregório<sup>2</sup>, C.J.E.M. Fortes<sup>3</sup>, T. Suzuki<sup>4</sup>, G.F. Maciel<sup>5</sup>

<sup>1</sup>UNESP- Universidade Estadual Paulista, Alameda Bahia, 550, Ilha Solteira – S.P/Brazil  
adriana.ilha@gmail.com

<sup>2</sup>FCUL - Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal  
igorcgreg@gmail.com

<sup>3</sup>LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal  
jfortes@lnec.pt

<sup>4</sup>Flanders Hydraulics Research, Antwerp, Belgium  
tomohiro.suzuki@mow.vlaanderen.be

<sup>5</sup>UNESP- Universidade Estadual Paulista, Alameda Bahia, 550, Ilha Solteira – S.P/Brazil  
maciel@dec.feis.unesp.br

#### RESUMO

*Este artigo descreve a aplicação do modelo SWAN-VEG para o lago da barragem de Ilha Solteira - São Paulo, Brasil, que faz parte da Hidrovia Tietê-Paraná, a fim de analisar a influência da vegetação sobre a redução da energia das ondas perto das margens do lago. Primeiramente, o modelo é aplicado, considerando uma profundidade constante em todo o reservatório da barragem e uma pequena área de vegetação localizada junto ao paredão da barragem. São testados vários valores de velocidade e direção do vento, bem como diferentes tipos de vegetação. Em seguida, a batimetria real do lago é considerada, bem como vegetação em determinadas zonas nas margens do lago. Várias condições de vento são testadas e comparadas para as situações com e sem vegetação.*

#### 1. INTRODUÇÃO

A Hidrovia Tietê-Paraná é uma rota de navegação localizada nas regiões sul, sudeste e centro-oeste do Brasil. Permite a navegação do transporte de cargas e passageiros ao longo dos rios Paraná e Tietê. É considerado importante para o escoamento da produção agrícola para os estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e para uma parcela de Rondônia, Tocantins e Minas Gerais. Detém doze terminais, espalhados por 76 milhões de hectares. O início deste sistema promoveu a implementação de 23 pólos industriais, 17 pólos turísticos e 12 centros de distribuição, criando assim diretamente cerca de 4.000 postos de trabalho. A Figura 1 mostra o segmento da Hidrovia Tietê-Paraná, que é parte da barragem do lago de Ilha Solteira.

Em certas áreas do lago, as ondas geradas pelos ventos e pela passagem dos navios que atravessam frequentemente a hidrovia, são responsáveis pela erosão das margens e por grandes deslizamentos de terra. Para aliviar estes problemas, o uso da vegetação, que leva à redução consequente das ondas geradas, é uma opção atraente, pois dissipa a energia das ondas, sem cargas ambientais e económicas. Portanto, é fundamental analisar a influência da vegetação sobre a redução da energia das ondas perto da margem do lago.

Num trabalho anterior de Vieira *et al.* (2013), o modelo SWAN (Booij *et al.*, 1996) foi aplicado para caracterizar as ondas geradas pelo vento sobre o lago da barragem (sem vegetação). É importante salientar que para o lago Ilha Solteira há um extenso plano de monitorização para medições realizado no âmbito do projeto de investigação FINESP - ONDISA5, UNESP (1997, 2008). No entanto, essas medições são feitas apenas em quatro locais distribuídos no lago, o que impossibilita uma visão geral de todo o lago como o modelo numérico faz.



Figura 1: Barragem do reservatório de Ilha Solteira, São Paulo, Brasil. Representação do segmento / rota da Hidrovia Tietê-Paraná. Vistas gerais.

Para analisar a influência da vegetação na redução da altura das ondas junto às margens, a intenção deste trabalho foi aplicar a versão mais recente do modelo numérico SWAN (versão 41.01, SWAN team, 2014), que inclui a dissipação de energia devido à vegetação, SWAN-VEG (Suzuki *et al.*, 2011), na área do lago da barragem de Ilha Solteira.

O modelo foi aplicado para os dados de vento obtidos a partir de um anemômetro sônico 2D instalado numa árvore no lago, localizada a cerca de 250 metros de distância da margem. Foi analisado o efeito da vegetação existente quanto à atenuação da altura das ondas, tendo sido primeiramente considerada uma profundidade constante em todo o reservatório da barragem e vários valores de velocidade e de direção do vento, bem como diferentes tipos de vegetação. Posteriormente, considerando a batimetria real do lago, realizaram-se testes sem vegetação e com vegetação situada em vários lugares ao redor do lago. Para ambas as situações, foram consideradas diversas condições de onda e características de vegetação.

Este artigo começa com uma breve descrição da área de estudo (secção 2) e da coleta de dados. Em seguida, a descrição do modelo numérico utilizado (secção 3) e a sua aplicação para a área de estudo (secção 4) são apresentadas, considerando-se batimetria constante e real. A discussão dos resultados obtidos para as diferentes condições é apresentada na secção 5 e, por fim, as conclusões são discutidas na secção 6.

## 2. ÁREA DE ESTUDO

### 2.1 Visão Geral

A área de estudo é o reservatório da barragem de Ilha Solteira, a terceira maior barragem no Brasil. Situa-se perto da cidade de Ilha Solteira, um dos municípios do Brasil na região noroeste do estado de São Paulo, Brasil (Figura 1), a cerca de 699 km de distância da capital de São Paulo. O lago artificial tem uma extensão de 100 km e sua barragem está localizada na latitude 20°25'58 "S, longitude 51°20'33" W, e uma altitude de próxima de 335 m. A barragem é uma das mais importantes na hidrovia Tietê-Paraná e está localizada onde os rios Tietê e Paraná se encontram, perto da fronteira do Mato Grosso do Sul.

A vegetação no lago é dispersa no lago e encontra-se distribuída na maioria das áreas de baixa profundidade, perto da margem do lago. A vegetação tem um diâmetro que varia entre 5 e 7 mm, uma densidade de cerca de 1 000 plantas/m<sup>2</sup> e uma altura de cerca de 0.7 m, localizado em áreas de águas rasas (0.1 m).

### 2.2 Coleta de Dados

Um extenso plano de monitoramento na região está sendo realizado, Morais *et al.* 2009, assim como também a definição de um sistema de alerta, no âmbito do projeto de investigação FINESP - ONDISA5. O objetivo é desenvolver modelos preditivos para geração de ondas de vento a fim de ser incluído num sistema de alerta para navegação. Várias campanhas de medição de vento e ondas já foram realizadas.

O sistema de aquisição de dados para a velocidade do vento e a sua direção compreende anemômetros 2D distribuídos ao redor do lago e posicionado a 30 m de altura, em faróis. Os dados são coletados e enviados por telemetria para serem processados e armazenados no Laboratório de Hidrologia e Hidrometria da UNESP de Ilha Solteira. Para a análise e processamento de dados de vento, o software OndisaCsat3 é usado (Maciel *et al.*, 2009).

Além disso, existe também uma estrutura vertical, de 6 m de altura implementada dentro do lago, próximo da barragem, ligada a uma árvore, onde foram ligados anemômetros tipo concha posicionados a 0.3, 0.6, 1.2 m, tal como demonstrado na Figura 2. O objetivo é de perfilar os dados de vento (usado no presente trabalho) neste local, o que é feito por o anemômetro 2D, situado no topo da torre, Figura 2. Os dados de vento são registrados num CR1000 data-

logger de Campbell Scientific. Os anemômetros tipo concha apenas permitem a medição da velocidade do vento, enquanto o anemômetro 2Dsonic mede a velocidade e direção do vento.

Para as medições da onda, um sistema de boias onda piloto e ADCP onda, colocados no fundo do lago, foram utilizados. Os dados são transmitidos online para a central de recepção de dados. Um exemplo de processamento de onda é ilustrado na Figura 3.

Em detalhe, o equipamento implementado dentro do lago e perto da árvore consiste em (Figura 2): (1) um ADCP-ondas, a 8 m de profundidade, 20 metros de distância da base da árvore e conectados via cabo ao rádio localizado na caixa de instrumentação; (2) um transdutor de pressão (Druck), a 1 m de profundidade e ligado ao conjunto datalogger / rádio localizado na caixa de instrumentação; (3 e 4) anemômetros tipo concha convencionais, a 0,3, 0,6, 1,2 m de altura na estrutura amarrada à árvore; (5) um anemômetro Ultrasonic 2D, localizado na parte superior da estrutura; (6) instrumentação Box, que contém rádio, coletores de dados, baterias, etc.; (7) antenas de transmissão de dados; (8) um sistema de energia solar painel, 80W; (9) uma câmara de vídeo de alta resolução e baixo consumo de energia, para a visualização de onda em tempo real.

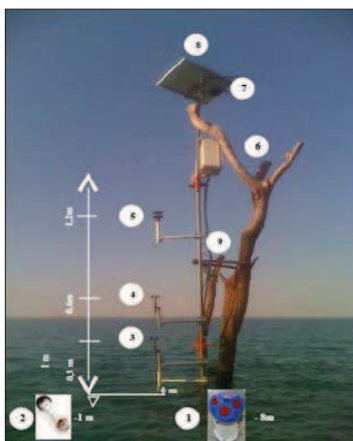


Figura 2: Instrumentação e telemetria.

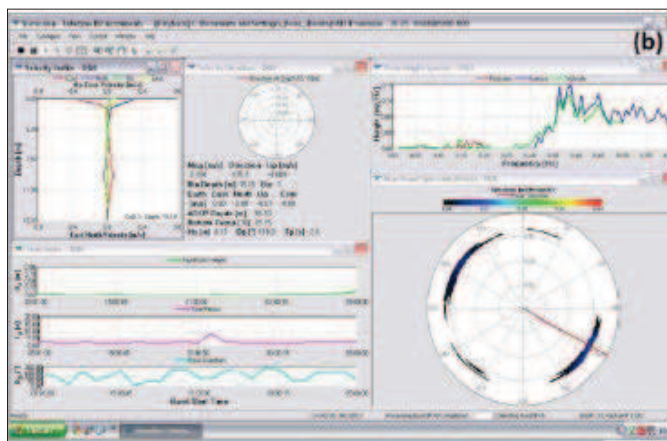


Figura 3: Tela de software de processamento de WAVESMON.

### 3. MODELO NUMÉRICO SWAN

#### 3.1 Conceitos Básicos

O modelo numérico SWAN (*Simulating WAVes Nearshore*) modela a geração, propagação e dissipação de ondas do mar com base na equação de balanço da ação das ondas, Booij *et al.* (1999). Este modelo, disponível na internet, é continuamente atualizado pela Delft University of Technology (Holanda).

O modelo SWAN é capaz simular a propagação de ondas do mar a partir de alto mar até à costa e considera os principais processos físicos de refração, difração e empolamento, devido à variação da profundidade do fundo e à presença de correntes, de ondas. Inclui também o crescimento de onda induzida pelo vento, quebras de onda devido à variação do fundo e à declividade, dissipação de energia por atrito no fundo, bloqueio de onda e reflexão, bem como a transmissão de ondas.

O campo de onda na região de estudo é caracterizado por um espectro de ação das ondas 2D, que permite que o modelo represente o crescimento das ondas causadas por vento ou pela presença de ondulação.

Os dados necessários para executar o modelo SWAN são a batimetria da região de estudo, as condições de contorno na entrada de domínio e um conjunto de parâmetros de cálculo. Entre os diversos resultados produzidos por SWAN são importantes mencionar a altura significativa e média das ondas e os períodos de pico, a propagação de direção, o parâmetro de largura de banda e o nível médio de água em qualquer ponto do domínio computacional definido.

#### 3.2 SWAN VEG

Neste trabalho, o modelo SWAN-VEG (Suzuki *et al.*, 2011) é usado. Este é o modelo SWAN original com a adição do módulo de vegetação, que contém um termo de dissipação de energia devido à vegetação, que é subtraído à energia das ondas de entrada. Isso resulta numa altura de onda inferior uma vez que a energia da onda é inferior na área com vegetação e na área atrás da mesma.

Assim, para ondas com propagação numa certa direção  $x$ , o fluxo de energia de onda permanece constante se nenhuma energia for perdida ou adquirida. Isto é indicado como:

$$\frac{\partial F}{\partial x} = 0 \rightarrow \frac{\partial}{\partial x} [E \cdot c_g] = 0 \quad (1)$$

Contudo, a vegetação provoca uma perda de energia que resulta numa diminuição do fluxo de energia das ondas e em novas condições de onda. Aqui o módulo de vegetação determina uma dissipação de energia de longo prazo,  $\varepsilon_v$  [ $\text{kg}\cdot\text{s}^{-3}$ ], que é subtraída ao fluxo de energia das ondas. O próprio modelo SWAN original não muda, apenas um termo de dissipação extra é adicionado ao modelo, denotado na equação 2:

$$\frac{\partial F}{\partial x} = -\varepsilon_v \rightarrow \frac{\partial}{\partial x} [E \cdot c_g] = -\varepsilon_v \quad (2)$$

Esta força é traduzida numa quantidade de energia que dá a seguinte dissipação de energia de longo prazo,  $\varepsilon_v$ , com base em Dalrymple *et al.* (1984), e Kobayashi *et al.* (1993) e de acordo com Mendez e Losada (2004).

O termo de dissipação é sempre negativo, uma vez que provoca uma perda de energia. A equação 3 mostra que a expressão de dissipação é uma função das seguintes condições de onda e de vegetação.

$$\varepsilon_v = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \rho C_D b_v N \left(\frac{kg}{2\sigma}\right)^3 \frac{\sinh^3(kah) + 3\sinh(kah)}{3k\cosh^3(kh)} H_{rms}^3 \quad (3)$$

A vegetação é modelada como obstáculos cilíndricos causando força de arrasto. A vegetação é definida por quatro características (altura -  $ah$  [m]; diâmetro -  $b_v$  [m]; densidade -  $N$  [planta/ $\text{m}^2$ ] e coeficiente de arrasto -  $C_D$  [-]). Há também um parâmetro usado para quantificar a vegetação, denominado fator de vegetação ( $V_f$  [planta/m]) e que é dado por:

$$V_f = b_v \times N \times C_D \quad (4)$$

#### 4. APLICAÇÕES DO MODELO SWAN

A aplicação do modelo SWAN para a área de trabalho do reservatório da barragem de Ilha Solteira, a fim de caracterizar o campo de ondas, na presença de vegetação, é aqui descrito.

Em primeiro lugar, devido à falta de informação detalhada sobre a vegetação existente na zona em estudo, foram realizados vários testes de sensibilidade, um com batimetria de profundidade constante e outro com a batimetria real, variando a velocidade e direção de vento, bem como as características da vegetação (altura, densidade, etc.). Desta forma, foi possível avaliar o efeito da vegetação e das suas características no campo de ondas gerado.

Nas seções seguintes, apresentamos as condições de entrada do modelo para as batimetrias constante e real. Os resultados numéricos são apresentados e discutidos.

##### 4.1 Condições de Entrada

O cálculo do domínio do modelo SWAN foi discretizado com 3 grelhas (Figura 4 para batimetria constante, Figura 8 para batimetria real). A maior grelha é de 58 km por 33 km, o espaçamento em  $x$  e em  $y$  é de 1000 m para batimetria constante e 500 m para os testes de batimetria real, e abrange todo o território do reservatório da barragem de Ilha Solteira. A grelha seguinte é, para batimetria constante, 26.6 km por 28.4 km e com uma distância entre nós de 500 m e para a batimetria real de 5 km por 13.5 km e 250 m de distância entre nós.

Finalmente, para a batimetria constante, foi utilizada uma terceira grelha com 14.8 km por 14.3 km e 250 m entre nós, e para a batimetria real, 11.3 km por 5.2 km e 50 m entre os nós. Foram definidos vários pontos (P1 a P9, embora apenas P1, P6 e P9 para batimetria constante e P7 e P9 para a batimetria real, foram utilizados neste trabalho) a fim de se obter os resultados SWAN.

O espectro direcional nos cálculos SWAN foi definido com uma discretização de frequência de 30 intervalos de 0.05-3.0 Hz com uma distribuição logarítmica e uma discretização direcional de 2.5° cobrindo os 360° (que resulta em 44 intervalos de direção). Todas os testes foram realizados com a versão SWAN 41.01, SWAN team (2014), em modo estacionário, sem a presença de correntes. Os fenômenos físicos considerados foram: refração, difração, empolamento e interação não linear entre três e quatro ondas. Todos os parâmetros relevantes foram introduzidos no pacote SOPRO-SWAN (Fortes *et al.*, 2006).

## 4.2 Batimetria Constante

Nestes cálculos com o modelo SWAN nesta região, considerou-se um valor de 5 m de profundidade de água constante em todo o lago da barragem. Junto à estrutura da barragem, foi implantada uma zona de vegetação, como indicado a verde na Figura 4.

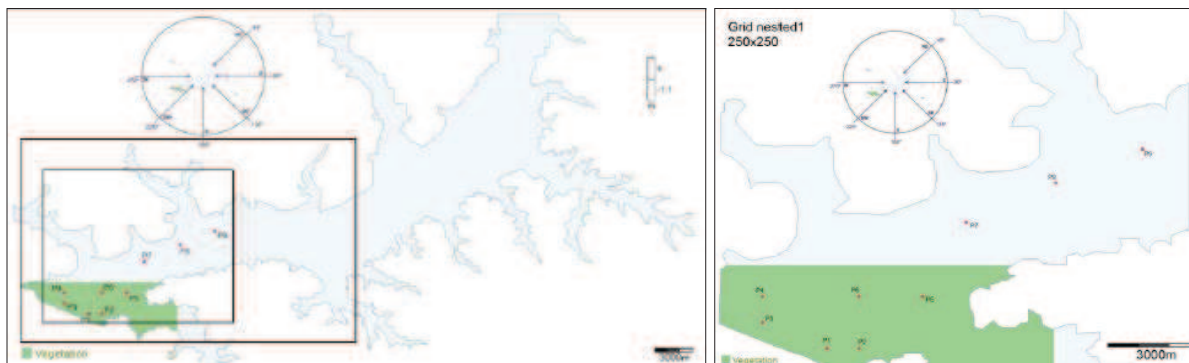


Figura 4: Batimetria constante: grades com localização vegetação. Vertical e escalas horizontais em UTM.

Foram efetuados cálculos para onze diferentes condições, correspondentes à variação de parâmetros da vegetação e condições de vento, como indicado na Tabela 1. Foram consideradas as direções de vento de 45°, 90°, 135°, 180°, 270° e 225° e para cada direção dois valores de velocidade (7.055 e 14.11 m/s). As características da vegetação corresponderam a: 2 valores para a altura da vegetação ( $\alpha h$ ), 4.3 e 5.5 metros; quatro valores para a largura de caule ( $b_v$ ), 0.015, 0.2, 0.7 e 0.01 metros; três valores para a densidade (N), 60, 258 e 10 plantas/m<sup>2</sup> e dois valores para o coeficiente de arrasto ( $C_D$ ) 0.8 e 1. Estes valores correspondem a cinco valores diferentes de parâmetros de vegetação (V): 0.72, 3.096, 9.60, 18.06, 0.10 plantas/m. Os resultados, em termos de altura significativa, foram obtidos em cada uma das malhas de cálculo e em 9 pontos representados na Figura 4.

Tabela 1: Casos testados para batimetria constante.

Caso	Velocidade do vento [m/s]	$\alpha h$ [m] (altura)	$b_v$ [m] (largura do caule)	N [plantas/m <sup>2</sup> ] (densidade)	$C_D$ [-] (coeficiente de arrasto)	V [plantas/m] (vegetation parameter)	Detalhes da vegetação	Outras notas
1	7.055	-	-	-	-	-	Nenhuma	-
2	7.055	4.3	0.015	60	0.8	0.72	Submersa (0.7m abaixo)	-
3	7.055	4.3	0.015	258	0.8	3.096	Submersa (0.7m abaixo)	-
4	7.055	4.3	0.2	60	0.8	9.6	Submersa (0.7m abaixo)	-
5	7.055	4.3	0.07	258	1	18.06	Submersa (0.7m abaixo)	-
6	7.055	5.5	0.015	60	0.8	0.72	Emersa (0.5m acima)	-
7	7.055	5.5	0.015	258	0.8	3.096	Emersa (0.5m acima)	-
8	7.055	5.5	0.2	60	0.8	9.6	Emersa (0.5m acima)	-
9	7.055	5.5	0.07	258	1	18.06	Emersa (0.5m acima)	-
10	14.11	-	-	-	-	-	Nenhuma	Caso 1, dobro da velocidade
11	14.11	5.5	0.07	258	1	18.06	Emersa (0.5m acima)	Caso 9, dobro da velocidade
12	14.11	5.5	0.01	10	1	0.1	Emersa (0.5m acima)	90% wgpr
13	7.055	5.5	0.01	10	1	0.1	Emersa (0.5m acima)	90% wgpr
14	7.055	5.5	0.01	10	1	0.1	Emersa (0.5m acima); svdv	90% wgpr; só para 45°
15	14.11	5.5	0.01	10	1	0.1	Emersa (0.5m acima); svdv	90% wgpr; só para 45°

\*wgpr - wet grid points requirement  
\*svdv - sem vento dentro da vegetação

Para os pontos P1, P6 e P9, obtiveram-se as alturas de onda ( $H_s$ ) para a malha 3, cujos valores se encontram representados para cada direção de vento na Figura 5, Figura 6 e Figura 7. Estes pontos foram escolhidos por estarem alinhados pela dimensão maior do lago e estão incluídos em todas as três grelhas. Todos os testes são comparados com os sem vegetação.



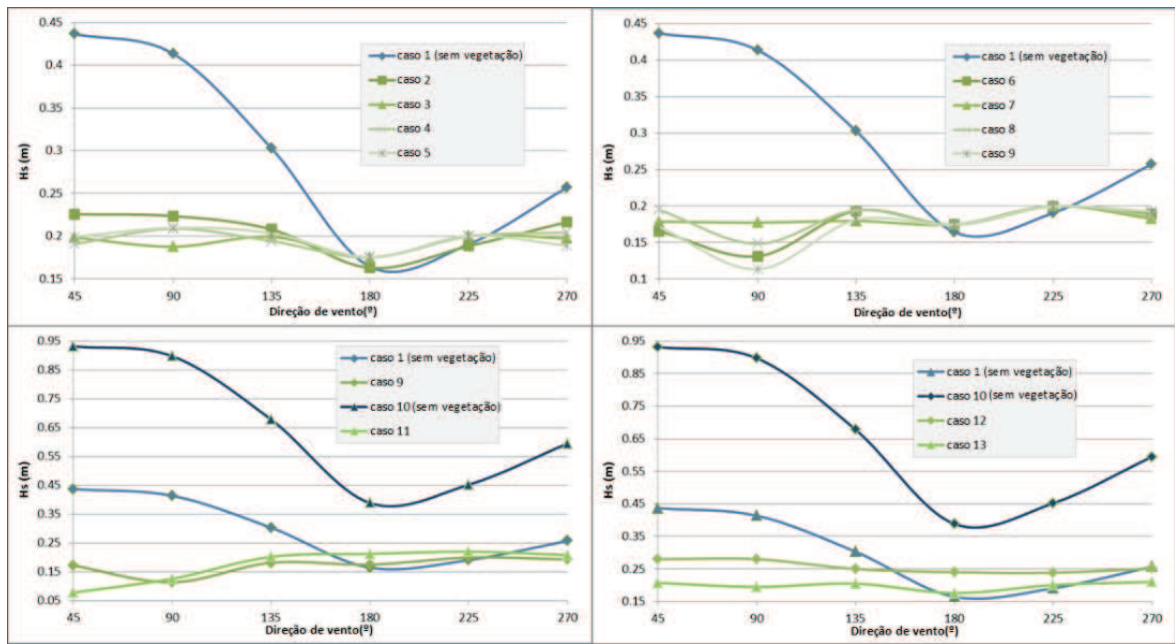


Figura 5: Batimetria Constante – Comparação dos casos para o ponto P1.

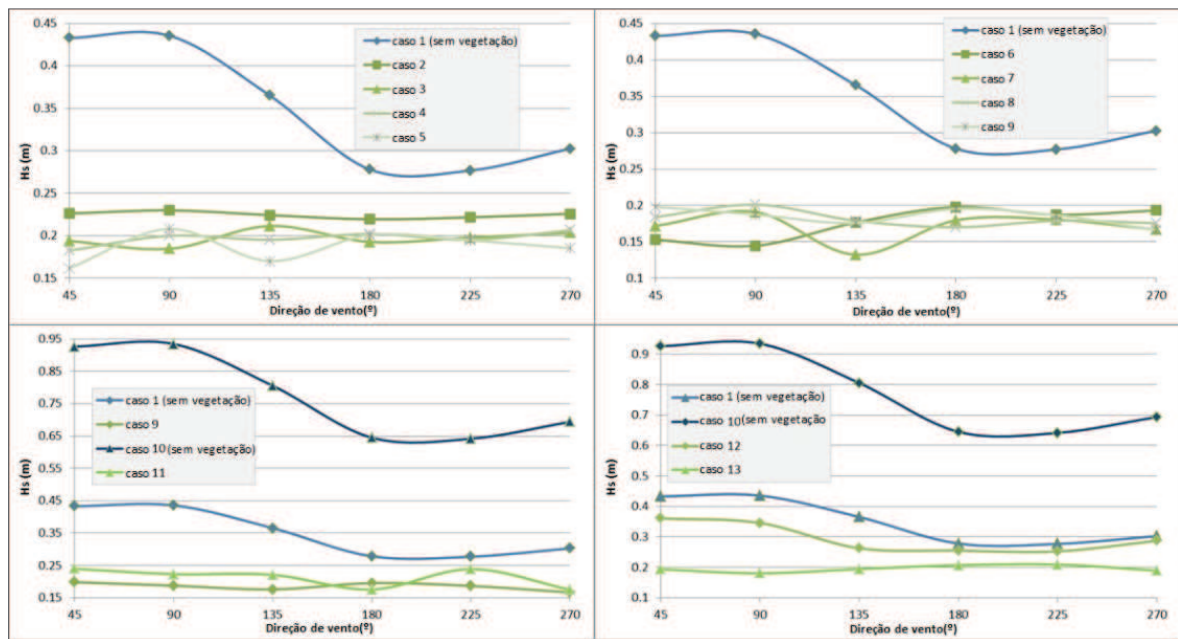


Figura 6: Batimetria Constante – Comparação dos casos para o ponto P6.

Para os pontos P1 e P6 dentro da área de vegetação, observa-se, como esperado, que as alturas de onda obtidas com vegetação sejam mais baixas do que aquelas sem vegetação. Esta diferença é ainda mais evidente nos casos em que a velocidade do vento é maior. Nos casos em que a vegetação se encontra emergida, as alturas de onda são mais elevadas do que quando está submersa, também como esperado.

A variação de altura de onda com a direção de onda não é notória nos pontos P1 e P6 para os casos com vegetação, como acontece para os casos sem vegetação. Com efeito, no caso sem vegetação,  $H_s$  é maior para as direções de onda entre  $45^\circ$  e  $135^\circ$  e é significativamente menor para as outras direções, devido a um muito menor fetch. Tal não é possível verificar nos casos com vegetação.

De notar também que a variação de  $H_s$  não é significativa com o parâmetro de vegetação ( $V_f$ ), embora seja perceptível uma redução mínima quando maior que a densidade de plantas. Os valores  $H_s$  do ponto P6 são maiores do que P1, uma vez que está mais perto da fronteira da zona de rebentação.

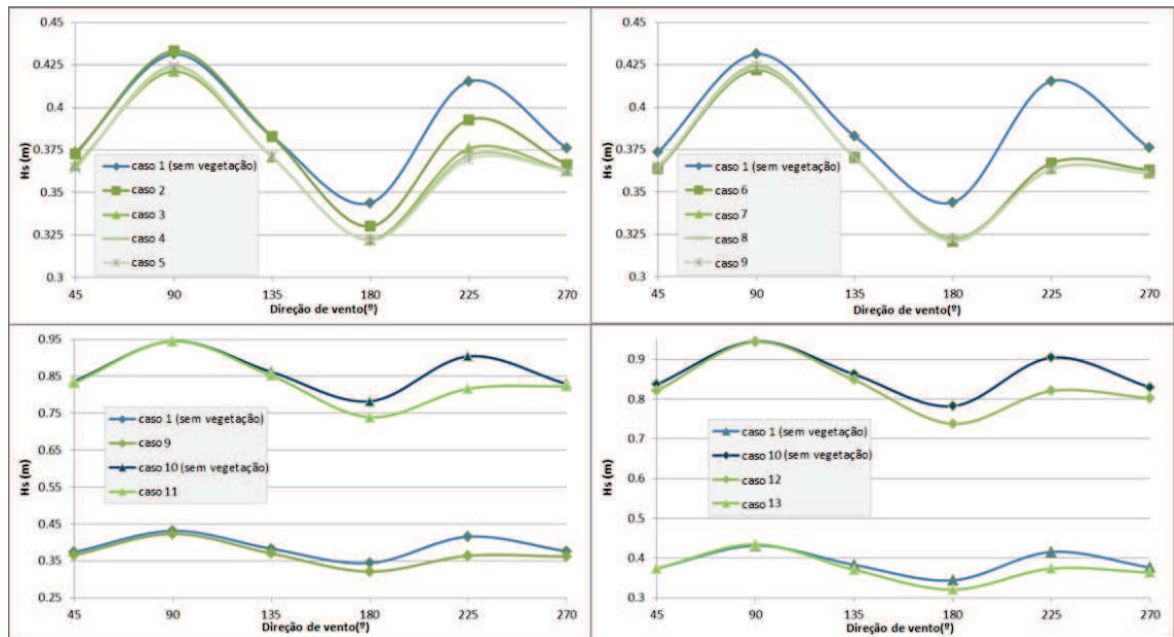


Figura 7: Batimetria Constante – Comparação dos casos para o ponto P9.

Para P9, Figura 7, os valores  $H_s$  não são significativamente afetados pela presença de vegetação, exceto para as direções  $180^\circ$  a  $270^\circ$ , devido ao menor fetch.

### 4.3 Batimetria Real

A batimetria real bem como as áreas consideradas para o domínio de cálculo e para as zonas de vegetação são mostradas na Figura 8. Todas as áreas com profundidades iguais ou superiores a 0.7 m foram considerados como tendo vegetação. Os cálculos foram feitos usando as malhas anteriormente descritas para o caso de batimetria constante.

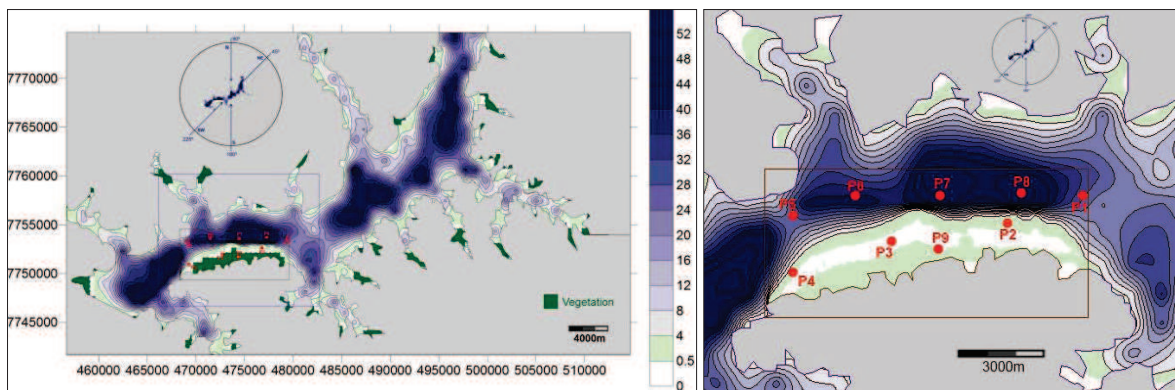


Figura 8: Batimetria Real com vegetação e grelhas. Pontos P1 a P9. Escalas verticais e horizontais em UTM.

Quanto às condições de vento, foram consideradas as direções de vento de  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  e  $225^\circ$  e quatro valores para as velocidades de vento (3.53, 7.055, 10.58 e 14.11 m/s).

Devido à falta de informações sobre as características da vegetação da área, foram efetuados os mesmos testes usados para a batimetria constante, com o intuito de analisar a influência da batimetria real nas características da onda. A visita às margens do lago permitiu também analisar in situ a vegetação e assim também se considerou um teste adicional, como uma tentativa de reproduzir estas características observadas.

Assim, as características da vegetação utilizadas nos testes corresponderam a: uma única altura da vegetação ( $\alpha h$ ) estudada foi 0.7 m, como foi observado in situ, cinco valores de largura da caule ( $b_v$ ), 0.015, 0.2, 0.7, 0.01 e 0.006 m, quatro valores de densidade (N), 10, 60, 258 e 1000 plantas/m<sup>2</sup> e três coeficientes de arrasto ( $C_D$ ) de 0.8, 1 e 0.6. Estes levam a valores de seis diferentes parâmetros de vegetação (V): 0.10, 0.72, 3.096, 9.60, 18.06 e 3.6 plantas/m, Tabela 2. Os resultados dos cálculos foram obtidos para as várias malhas e, mais especificamente, em 9 pontos, Figura 8.

Para os pontos P7 e P9, obtiveram-se as alturas de onda ( $H_s$ ) para a malha 3, cujos valores se encontram representados para cada direção de vento na Figura 9 e Figura 10. Todos os testes são comparados com o sem vegetação.

Tabela 2: Condições dos casos para batimetria real.

Caso	$\alpha h$ [m] (altura)	$b_v$ [m] (largura do caule)	N [plantas/m <sup>2</sup> ] (densidade)	$C_D$ [-] (coeficiente de arrasto)	V [plantas/m] (vegetation parameter)
1	-	-	-	-	-
2	0.7	0.01	10	1	0.1
3	0.7	0.015	60	0.8	0.72
4	0.7	0.015	258	0.8	3.096
5	0.7	0.2	60	0.8	9.6
6	0.7	0.07	258	1	18.06
7	0.7	0.006	1000	0.6	3.6

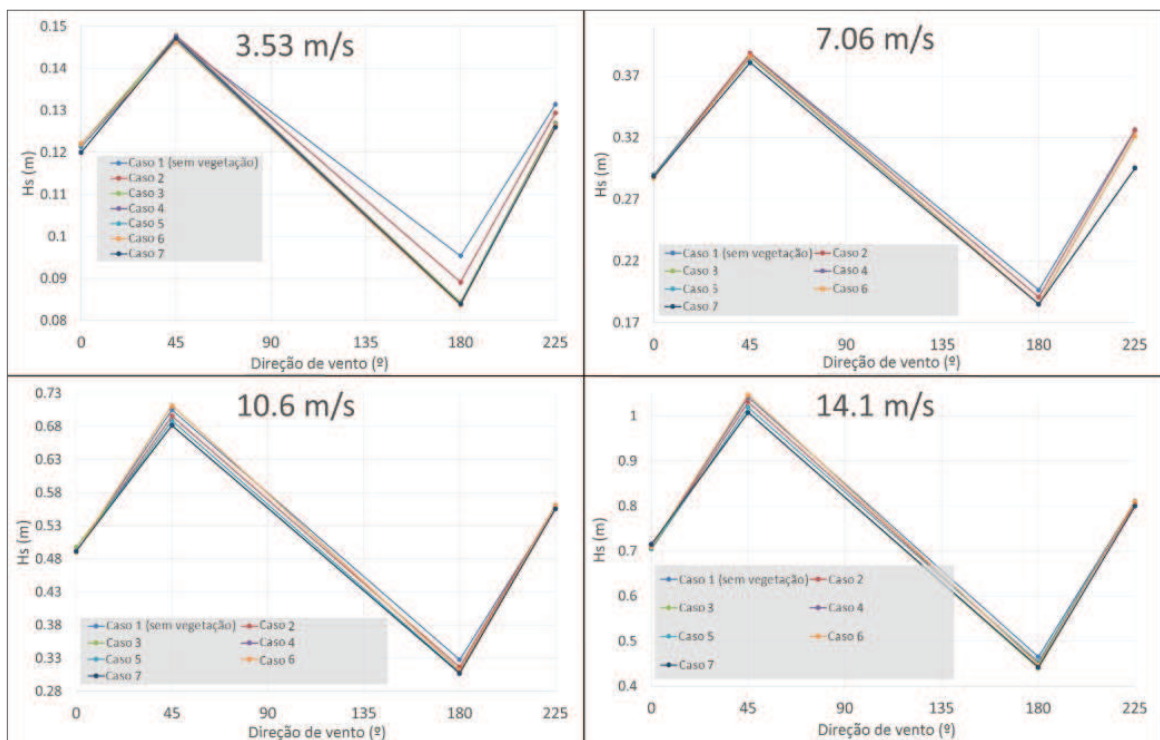


Figura 9: Batimetria Real - Comparação dos casos para o ponto P7.



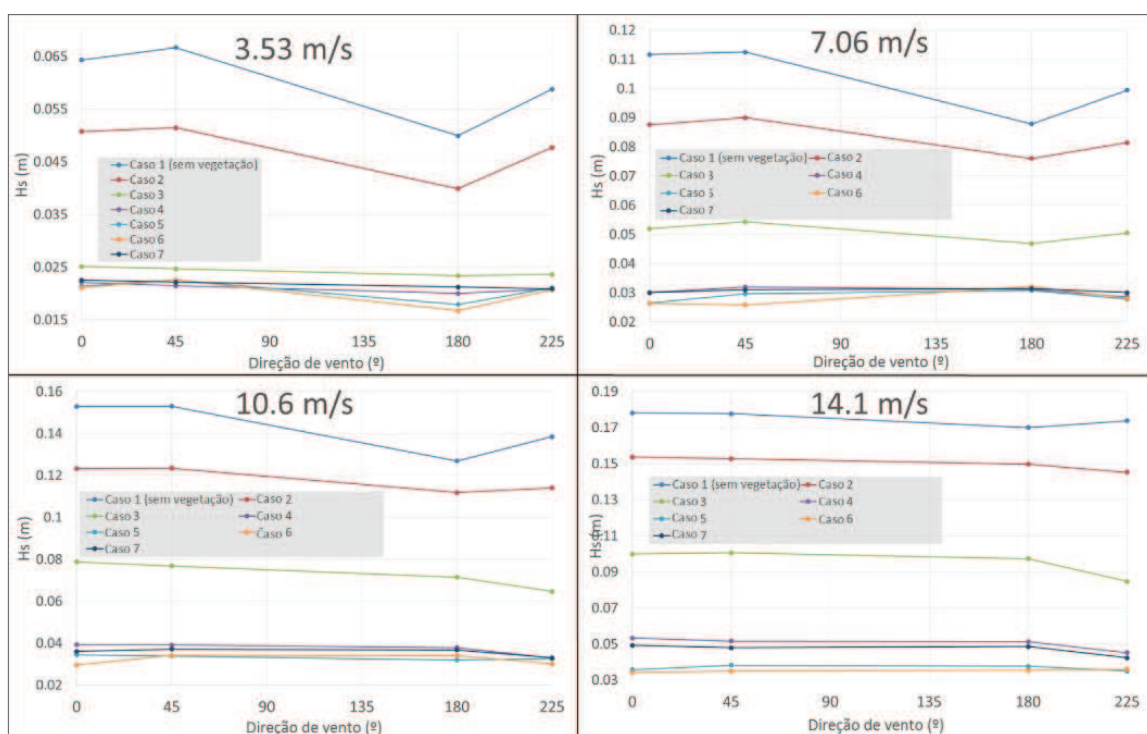


Figura 10: Batimetria Real - Comparação dos casos para o ponto P9.

Os resultados apresentados para a batimetria real mostram que há uma redução significativa de Hs em casos de teste com vegetação e no ponto (P9) dentro da área de vegetação. A variação de direção das ondas não afeta de forma significativa a redução de Hs. Como a velocidade de vento aumenta, os valores de Hs nos pontos de fora da área de vegetação também aumentam e a redução no valor de Hs é menor em pontos localizados dentro da área com vegetação.

## 5. CONCLUSÕES

Esta comunicação apresenta a aplicação do modelo SWAN-VEG, SWAN team (2014), ao lago da barragem de Ilha Solteira, São Paulo, Brasil. O modelo foi usado para simular as ondas geradas por vento no reservatório, na presença de vegetação.

Alguns testes de sensibilidade foram primeiramente realizados para a zona em estudo considerando uma batimetria de profundidade constante, variando as características do vento e da vegetação. Verificou-se que existe uma redução significativa, quando uma área de vegetação é considerada e para os pontos dentro ou perto dessa área. Isto é mais evidente nos casos em que a velocidade do vento é maior. Além disso, verificou-se que não há uma variação significativa de Hs com a direção das ondas nos casos com vegetação.

Posteriormente, foram realizados testes considerando a batimetria real da zona em estudo e verificou-se que as conclusões foram as mesmas, embora a redução nas alturas de onda seja menos evidente do que a verificada no caso de batimetria constante.

A caracterização da vegetação real no lago de Ilha Solteira e comparações com medições in situ constitui o trabalho futuro.

## AGRADECIMENTOS

Este estudo é financiado pela FCT pelos projetos HIDRALERTA - Flood forecast and alert system in coastal and port areas, ref. PTDC/AAC-AMB/120702/2010, e EROS. Os autores agradecem o apoio dos projetos financiados pela CAPES - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico contratos de refs. 0022101 e PPGEM/FEIS-UNESP - Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica- Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira-Brasil, e do projeto financiado pela CAPES/FCT (cooperação Brasil / Portugal) "Construindo uma Base para Pesquisa e Conhecimento em Engenharia Costeira".

## REFERENCIAS

- Booij, N., Ris, R.C., Holthuijsen, L.H.. 1999. A Third-generation Wave Model for Coastal Regions, Part I, Model Description and Validation. *Journal Geophysical Research*, 104 (C4), pp. 7649-7666.
- Dalrymple, R.A., Kirby, J.T., Hwang, P.A., 1984. Wave diffraction due to areas of energy dissipation. *J. Waterw. Port Coast. Ocean Eng.* 110, 67–79.
- Fortes, C.J.E.M., Pinheiro, L.V., 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, March, pp. 51-61.
- Kobayashi, N., Raichle, A.W., Asano, T., 1993. Wave attenuation by vegetation. *J. Waterw. Port Coast. Ocean Eng.* 119, 30–48.
- Maciel, G.F. et al.. 2009. Alerta de ventos e ondas para a segurança da navegação. *Proc. 6º Seminário de Transporte e Desenvolvimento Hidroviário Interior*. Rio de Janeiro, 21 and 22 October.
- Mendez, F.M., Losada, I.J., 2004. An empirical model to estimate the propagation of random breaking and nonbreaking waves over vegetation fields. *Coastal Engineering* 51, 103–118.
- Morais, V.S., Cunha, E.F., Maciel, G.F., 2009. Medição, Previsão e Análise Numérica dos Mecanismos de Geração de Ondas a Partir da Cinética de Ventos e Dissipação de Ondas na Presença de Fundos com Vegetação, em Lagos de Barragens, *Proc. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Campo Grande - Mato Grosso do Sul - Brasil: Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.
- Suzuki, T., Zijlema, M., Burger, B., Meijer, M.C., Narayan, S., 2011. Wave dissipation by vegetation with layer schematization in SWAN. *Coastal Engineering* 59, 64–71.
- SWAN Team, 2014. SWAN scientific and technical documentation. SWAN Cycle III version 41.01. Report. Delft University of Technology.
- UNESP 1997, 2008. ONDISA Project. Project support by FAPESP and FINEP Brazilian agencies.
- Vieira, A.S., Maciel G.F., Fortes, C.J.E.M., Minussi, C.R., Sobrinho, M., Dall’Aglío, 2013. Comparative analysis of the SWAN numerical model predictions and of the pressure sensor measurements at the Ilha solteira Lake. *Proc. 6th SCACR – International Short Course/Conference on Applied Coastal Research*, 4-7 June, LNEC, Lisbon.