

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 22/12/2017.

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**Dissipação de Energia de Ondas Geradas por Ventos em
Reservatórios de Barragens, devido à presença de Vegetação.**

GERMANO DE OLIVEIRA MATTOSINHO

Orientador: Prof. Dr. Geraldo de Freitas Maciel

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia - UNESP – Campus de Ilha Solteira, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Área de Conhecimento: Ciências Térmicas.

Ilha Solteira

2016

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Mattosinho, Germano de Oliveira.
M444d Dissipação de energia de ondas geradas por ventos em reservatórios de barragens, devido à presença de vegetação / Germano de Oliveira Mattosinho. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2016
84 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Ciências Térmicas, 2016

Orientador: Geraldo de Freitas Maciel
Inclui bibliografia

1. Reservatório de barragem. 2. Ondas geradas por ventos. 3. Vegetação. 4. Atenuação de ondas gravitacionais. 5. SWAN-Veg. 6. Bioengenharia.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

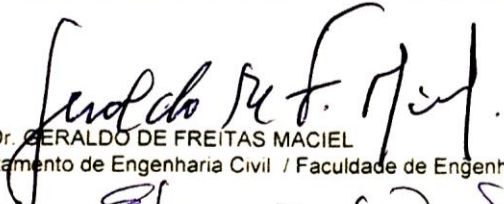
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO


TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: DISSIPAÇÃO DE ENERGIA DE ONDAS GERADAS POR VENTOS EM RESERVATÓRIOS DE BARRAGENS, DEVIDO À PRESENÇA DE VEGETAÇÃO.

AUTOR: GERMANO DE OLIVEIRA MATTOSINHO

ORIENTADOR: GERALDO DE FREITAS MACIEL

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em ENGENHARIA MECÂNICA, área: CIÊNCIAS TÉRMICAS pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. GERALDO DE FREITAS MACIEL
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. EDSON DEL RIO VIEIRA
Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


PROFESSOR DOUTOR TIAGO ZENKER GIRELI
Departamento de Recursos Hídricos / UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Ilha Solteira, 22 de dezembro de 2016

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial aos meus pais, Luiz Celso e Inez, e meu irmão Rodrigo, por todo o suporte e apoio ao longo dessa jornada, sempre acreditando em meu potencial.

Ao professor Geraldo de Freitas Maciel, por toda a orientação que tem expandido meus horizontes, e, principalmente, pelos conselhos e conversas que levarei como experiência.

Ao pessoal integrante do Laboratório de Hidrologia e Hidrometria (LH²) da FEIS-UNESP.

Aos amigos, de república, minha segunda família, que sempre estiveram ao meu lado, apoiando e incentivando.

Agradeço em especial meu amigo Leonardo Lachi Manetti (PPGEM), que foi peça chave em minha adaptação à mudança de área (Civil – Mecânica) e sempre esteve presente auxiliando nos estudos.

A todos os professores do curso de Engenharia Civil (básico e profissional) pelos ensinamentos, tanto teóricos, como práticos, passados ao longo da minha graduação, que me deram toda a base de conhecimento em Engenharia.

A todos os professores do PPGEM – Ciências Térmicas, por todos os ensinamentos, conselhos e compartilhamento de experiências, que fazem parte da minha formação.

A todos os funcionários, principalmente aos técnico-administrativos pela presteza e auxílios, e em especial aos pertencentes à Seção de Pós Graduação.

Por fim, ao Prof. Cláudio Freitas Neves pelos alertas profícuos quando do meu Exame de Qualificação.

PREFÁCIO

A pesquisa ora apresentada traz à discussão a ação de ondas geradas por ventos em reservatórios de barragens e seus efeitos de atenuação, quando estas se propagam sobre fundos com vegetação.

Nestas últimas décadas, trabalhos sobre o assunto têm sido reportados na literatura, quase que exclusivamente desenvolvidos em nível de laboratório, sob condições controladas em canais de fundo horizontal ou simulando o fenômeno sobre fundos com declividade constante. Merecem destaque os trabalhos de Dalrymple et al. (1984), modificados e aperfeiçoados por Mendez e Lozada (2004) e, mais recentemente os trabalhos de Karambas et al. (2016). Todos eles desenvolvidos a partir do balanço de energia e leis de atenuação prescritas.

No cenário brasileiro, pesquisas pioneiras sobre o assunto foram realizadas na Rede "Amigos de Boussinesq - Rede Cooperativa de Pesquisa sobre Hidrodinâmica Costeira e de Águas Rasas", (UFRJ, UNESP, UFRGS), com apoio da Capes, e estendida para outras IES (Instituições de Ensino Superior) e laboratórios e universidades portuguesas.

Ressaltando os aspectos biomecânicos da vegetação, duas publicações merecem destaque: o trabalho de doutorado de Lima (2005) e a dissertação de mestrado de Vasco (2005). O primeiro, construído com base no balanço da quantidade de movimento, qual seja, desenvolvimento de um modelo mecânico que utiliza a velocidade relativa fluido-haste para calcular as forças exercidas pelas ondas sobre uma haste flexível, em função de um único parâmetro, o coeficiente de arraste. A inserção desta força na equação do movimento, integrada na vertical, e promediada no tempo, como um termo de resistência, possibilitou a determinação do decaimento da altura da onda ao longo de um campo de hastes e apontou para a importância da interação entre as mesmas no amortecimento total. O segundo, pautado no comportamento de vigas viscoelásticas e lei de atenuação tipo quociente, é baseado na dissipação de energia, e, a priori, seria mais aplicável à atenuação de ondas evoluindo sobre espécies de maior rigidez.

Assim exposto, a presente dissertação de mestrado objetiva explorar o código de cálculo SWAN-VEG (SUZUKI et al. 2011), no estudo de fatores de atenuação de ondas (energia) para espécies vegetais encontradas às margens do reservatório da UHE de Ilha Solteira. Outrossim, comparar resultados do modelo com a propositura de Lima (2005) que, a partir de ensaios laboratoriais controlados, e calibração de seu código numérico, fornece modelo de fácil exploração, este voltado para atenuação de ondas devido à presença de espécies vegetais de elevada flexibilidade, mais próximas às braquiárias encontradas às margens do reservatório.

RESUMO

A propagação de ondas geradas por vento em reservatórios de barragens de grande dimensão pode pôr em risco a geração de energia, segurança da navegação interior, bem como contribuir para a ocorrência de fenômenos erosivos recorrentes às margens desses reservatórios. O reservatório da barragem da UHE (usina hidrelétrica) de Ilha Solteira também se encontra exposto aos fenômenos de formação de ondas por ventos com possíveis efeitos econômicos e uma análise aprofundada envolve uma grande interdisciplinaridade. Dentro dessa perspectiva, e privilegiando medidas não-estruturais como soluções de engenharia de forma a mitigar ação de ondas no processo de erosão de margens do entorno do reservatório, este trabalho de mestrado visa quantificar, com apoio da simulação numérica, os coeficientes de atenuação de energia de ondas produzidas por ventos quando estas se propagam sobre fundos com vegetação. Neste estudo, são analisadas, utilizando-se o software SWAN-VEG, as alturas de ondas geradas para uma gama de ventos e sua atenuação, nos casos sem e com a presença de diversos cenários ou *layouts* de vegetação no fundo. Ainda é verificada a influência do efeito de refinamento de malhas (250, 150 e 100 m) no modelo sobre os coeficientes de atenuação. Análises comparativas com estudos da literatura são realizadas, apontando para a necessidade de se determinar, com acurácia, o coeficiente de arraste, C_D , no complexo fenômeno de atenuação de ondas propagando-se em águas confinadas com presença de vegetação. Após explorada a potencialidade do SWAN-VEG, pode-se verificar que a atenuação devido à vegetação é um processo altamente dinâmico e complexo, cuja quantificação é importante na modelagem da hidrodinâmica costeira. Por fim, foi verificado que as simulações apontam para fatores de atenuação de ondas que dependem da densidade de plantas, do *habitat* e da submergência.

Palavras-chave: Reservatório de barragem. Ventos. Ondas geradas por ventos. Vegetação. Atenuação de ondas gravitacionais. SWAN-VEG. Bioengenharia.

ABSTRACT

The propagation of waves generated by winds in reservoirs of large dams can jeopardize the generation of energy, safety of inland navigation, as well as contributing to the occurrence of recurrent erosive phenomena on the banks of these reservoirs. The dam reservoir of Ilha Solteira's hydroelectric power plant have been exposed to wind wave formation phenomena with possible economic effects; and, an in-depth analysis on it involves a great interdisciplinary. In this perspective, and emphasizing non-structural measures as engineering solutions in order to mitigate wave action in the process of erosion of the banks around the reservoir, this master's work aims to quantify, with the support of numerical simulation, the energy attenuation coefficients of waves produced by winds when the waves propagate on vegetated bottoms. In this study, the waves heights generated by a range of winds and their attenuation, in the cases without and with the presence of several scenarios or vegetation layouts in the background, were analyzed using SWAN-VEG software. In addition, the influence of the refinement effect of meshes (250, 150 and 100 m) on the model on the attenuation coefficients was verified. Comparative analyzes with literature studies were performed, pointing out the necessity to determine, with accuracy, the drag coefficient, C_D , in the complex phenomenon of waves attenuation that propagate in reservoirs with vegetation. After exploring the potential of the SWAN-VEG, it can be verified that the attenuation due to the vegetation is a highly dynamic and complex process, whose quantification is important in the modeling of coastal hydrodynamics. Finally, it was verified that the simulations point out to wave attenuation factors that depend of density of plants, habitat, and submergence.

Keywords: Dam reservoir. Winds. Waves generated by winds. Vegetation. Attenuation of gravitational waves. SWAN-VEG. Bioengineering.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Planta Geral da Hidrovia do Rio Paraná – Itaipú – São Simão.....	12
Figura 2- Representação de trecho/rota da hidrovia Tietê-Paraná no reservatório de Ilha Solteira – SP.....	13
Figura 3 – Processos erosivos nas margens do reservatório de Ilha Solteira – SP (a) erosão da margem pelas ondas; b) amortecimento de ondas pela vegetação; c) geração de ondas por embarcação).....	15
Figura 4 - Região de validade para diversas teorias de onda.....	22
Figura 5 - Representação das alturas significativas de ondas e ventos, para o período de 01 a 23 de fevereiro de 2011.	29
Figura 6 – Comparação da evolução de H_{rms} para o SWAN-VEG e para ondas randômicas de Mendez e Losada (2004) com período de 8 s.....	31
Figura 7 – Comparação de altura de onda entre SWAN-VEG e Mendez e Losada (2004) através do perfil de forma de Dean, com d sendo a altura da vegetação.....	31
Figura 8 – Comparação de altura de onda: SWAN-VEG, Lovas (2000) e Mendez e Losada (2004).	32
Figura 9 – Comparação de altura de onda: Vo-Long e Massel (2006) e SWAN com $Vf = 0,30$	33
Figura 10 – Posição dos eixos coordenados.	37
Figura 11 - Fluxograma de funcionamento do SWAN-VEG.....	41
Figura 12 – Representação georreferenciada do reservatório de Ilha Solteira (zona de estudo, dentro da qual serão dispostos layouts de campos vegetados, no entorno do reservatório).....	43
Figura 13 – Croqui dos pontos da FASE 1.....	43
Figura 14 – Croqui dos pontos da FASE 2.....	44
Figura 15 – Exemplo de arquivo de ventos para entrada no SWAN-VEG.....	44
Figura 16 - Representação gráfica 3D da batimetria do Lago de Ilha Solteira.	45
Figura 17 - Arquivo de entrada do Aquaveo SMS 10.....	46
Figura 18 - Configuração de entrada no Aquaveo SMS 10.....	46
Figura 19 - Exibição da batimetria completa e do contorno da malha no Aquaveo SMS 10...46	
Figura 20 - Características da malha com resolução de 200 m criada.	47
Figura 21 – Espectro de resolução.....	48
Figura 22 – Processos físicos e características da vegetação.	49

Figura 23 – Condições estacionárias de onda.....	49
Figura 24 – Condições estacionárias de vento.	50
Figura 25 – Decaimento do amortecimento em relação ao afastamento da margem.	53
Figura 26 – Aumento do amortecimento de acordo com o Vf	53
Figura 27 - Decaimento de H_s em relação à submergência para vel. vento 20 m/s.....	56
Figura 28 – Amortecimento da H_s em relação à submergência com variação de velocidade do vento referente ao ponto P1.....	56
Figura 29 - Decaimento do amortecimento em relação ao afastamento da margem.....	58
Figura 30 - Aumento do amortecimento de acordo com o Vf	58
Figura 31 - Decaimento de H_s em relação à submergência para vel. vento 20 m/s.....	60
Figura 32 - Amortecimento de H_s em relação à submergência com variação de velocidade do vento referente ao ponto P1.....	60
Figura 33 – Decaimento do amortecimento em relação ao afastamento da margem.	62
Figura 34 – Aumento do amortecimento de acordo com o Vf	62
Figura 35 - Decaimento de H_s em relação à submergência para vel. vento 20 m/s.....	64
Figura 36 - Amortecimento de H_s em relação à submergência com variação de velocidade do vento referente ao ponto P1.....	64
Figura 37 – Amortecimento de ondas na margem para vel. Vento 5 m/s.	67
Figura 38 - Amortecimento de ondas na margem para vel. Vento 20 m/s.....	68
Figura 39 – Aumento do amortecimento em função do Vf para vel. vento 5 m/s.....	68
Figura 40 - Aumento do amortecimento em função do Vf para vel. vento 20 m/s.....	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo dos principais estudos sobre amortecimento de ondas gravitacionais.....	34
Tabela 2 – Altura significativa de onda em relação ao fator de vegetação para cada ponto de análise.	52
Tabela 3 – Percentagem de amortecimento de onda relativo ao fator de vegetação, V_f	52
Tabela 4 - Percentagem de amortecimento de onda relativa à velocidade do vento.	54
Tabela 5 - Altura significativa de ondas em relação à submergência.	55
Tabela 6 - Altura Significativa de Onda em relação ao fator de vegetação, V_f , para cada ponto de análise.	57
Tabela 7 – Percentagem de amortecimento de onda relativo ao fator de vegetação.	57
Tabela 8 - Percentagem de amortecimento de onda relativa à velocidade do vento.	59
Tabela 9 - Altura significativa de onda em relação ao fator de vegetação, V_f , para cada ponto de análise.	61
Tabela 10 - Percentagem de amortecimento de onda relativo ao fator de vegetação, V_f	61
Tabela 11 - Percentagem de amortecimento de onda relativa à velocidade do vento.	63
Tabela 12 – Comparação das H_s [m] em relação a submergência para vel. do vento = 20 m/s.	65
Tabela 13 – Percentagem de amortecimento de H_s referente aos fator de vegetação, V_f , para vel. do vento = 10 m/s.	65
Tabela 14 - Percentagem de amortecimento de H_s referente aos fator de vegetação, V_f , para vel. do vento = 15 m/s.	66
Tabela 15 – Pontos e profundidades utilizados na FASE 2.....	67
Tabela 16 – Altura significativa de onda [m] dos casos de estudos da FASE 2 com $\alpha h = 0.5$	67
Tabela 17 – Altura de onda local [m] no ponto PM1 para vel. vento 5 m/s.....	71
Tabela 18 - Altura de onda local [m] no ponto PM1 para vel. vento 20 m/s.	71

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	12
2	OBJETIVOS.....	18
3	ESTADO DA ARTE.....	19
3.1	Geração de Onda pelo Vento	19
3.2	Modelos de Geração de Ondas.....	20
3.3	Estudos de Atenuação de Ondas pela Vegetação.....	23
3.4	estudos de Ondas Geradas por Ventos através do modelo SWAN e efeitos de Atenuação pela Vegetação na versão SWAN-VEG	27
3.5	Interação Onda-Vegetação	35
3.5.1	Leis de Decaimento de Altura de Onda.....	37
3.5.1.1	Queda exponencial da altura da onda definida pela Equação 4:	37
3.5.1.2	Queda da altura da onda segundo uma função do tipo quociente definida pela Equação 5:	38
4	MATERIAIS E MÉTODOS	40
4.1	Modelo SWAN-VEG	40
4.2	Características da Zona de Estudo	42
4.3	Arquitetura dos dados de ventos no SWAN-VEG.....	44
4.4	Metodologia utilizada para a construção da batimetria.....	44
4.5	Obtenção do Domínio de Cálculo para o SWAN-VEG.....	45
4.6	Contorno do Lago.....	47
4.7	Parâmetros Numéricos	47
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
5.1	Descrição das fases de estudo	51
5.2	Resultados da FASE 1.....	51
5.2.1	Análises dos parâmetros de Vegetação e Submergência.....	51

5.2.2	Malha de 250 m	51
5.2.2.1	Análises com variação de velocidades dos ventos.....	54
5.2.2.2	Análise de Submergência.	55
5.2.3	Malha de 150 m	56
5.2.3.1	Análises com variação de velocidades dos ventos.....	58
5.2.3.2	Análise de Submergência	59
5.2.4	Malha de 100 m	60
5.2.4.1	Análises com variação de velocidades dos ventos.....	63
5.2.4.2	Análise de Submergência	63
5.2.4.3	Análises com variação de velocidades dos ventos e fator de vegetação	65
5.3	Análises dos parâmetros de Vegetação e Submergência – FASE 2.....	66
5.3.1	Variação do coeficiente de arrasto, C_D	69
5.3.2	Análise de atenuação de ondas pela equação de Lima (2005).....	70
6	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS	72
6.1	Perspectivas Futuras	74
	REFERÊNCIAS	75

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Na divisa entre os estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul e próximo ao encontro dos rios Tietê e Paraná localiza-se a UHE de Ilha Solteira, cujo reservatório faz parte de uma das mais importantes hidrovias do MERCOSUL, a hidrovia Tietê-Paraná (Figura 1 e Figura 2), que liga a região Sul, Sudeste e Centro-oeste do país, ao longo dos rios Paraná e Tietê.

Figura 1 – Planta Geral da Hidrovia do Rio Paraná – Itaipú – São Simão.

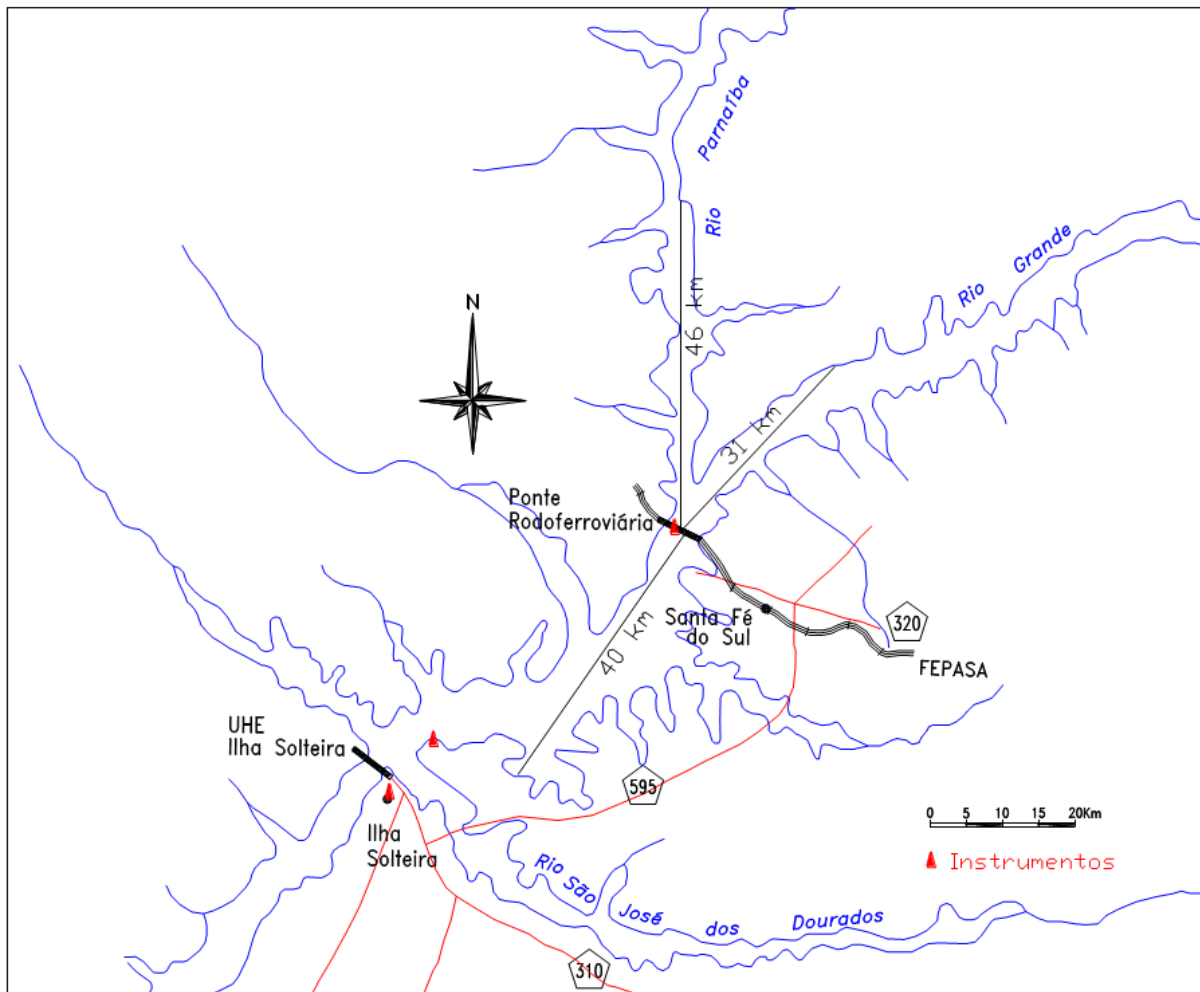


Fonte: Página do DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte ¹.

A hidrovia é de extrema importância para o escoamento de grãos dos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e parte de Rondônia, Tocantins e Minas Gerais. Outrossim, o transporte hidroviário é de grande viabilidade econômica, principalmente em relação ao rodoviário, mais difundido no país, e de custo de manutenção mais elevado (FREITAS, 2015). Segundo a ANTAQ (Agência Nacional de Transporte Aquaviários, 2012), a equivalência entre modais fornece uma relação de 1 barcaça (900 ton), para 35 carretas (26 ton). Considerando um comboio (6 barcaças), a diferença se expande e atinge a equivalência de 210 carretas.

¹ Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/hidrovias/hidrovias-interiores/hidrovia-parana/TRECHOS_HIDROVIA_DO_PARANA.jpg/@images/image.jpeg> Acesso em julho/2016.

Figura 2- Representação de trecho/rota da hidrovía Tietê-Paraná no reservatório de Ilha Solteira – SP.



Fonte: Vieira, 2013.

Em termos de competitividade do mercado, vê-se nas hidrovias uma das melhores soluções para se reduzir os custos de transporte, uma vez que o Brasil possui uma extensa rede hidrográfica, que é pouco aproveitada.

Para a criação de novas hidrovias, e/ou ampliação/modernização das existentes, são necessárias grandes obras de engenharia, já que nem todos os pontos de um rio são navegáveis, dessa forma há a necessidade de construção de eclusas e canais de navegação.

Na perspectiva de maior utilização das hidrovias no transporte de cargas e maior taxa de ocupação da Tietê-Paraná, vê-se a necessidade de se incrementar e aprofundar em estudos sobre o acoplamento meteorológico-hidrodinâmico (vento X onda), com previsão de ondas geradas por ventos no reservatório da barragem de Ilha Solteira, seus efeitos relativos à segurança da própria navegação, efeito de ondas sobre processos de erosão de margens, transporte de sedimentos, entre outros.

Acidentes com impactos econômicos significativos têm sido reportados na literatura. Como exemplo, podem-se citar alguns acidentes ocorridos na hidrovía Tiete-Paraná, como fortes ventos em Ilha Solteira (em 17/10/2010), que derrubaram nove torres de transmissão da Usina Hidrelétrica. O vento danificou quatro das seis linhas de transmissão, impossibilitando a geração plena de energia pela UHE, que foi obrigada a abrir seus vertedouros para manter o sistema estável. Na ocasião, ondas da ordem de 1,5 m de altura foram estimadas no reservatório (VIEIRA, 2013).

Acidentes desta natureza, causando prejuízos semelhantes, têm sido também registrados em hidrovias do rio Mississippi (G1, 2011) e em trechos do rio Reno na Europa (REUTERS, 2011).

A análise e estudo de ondas geradas por ventos em recintos fechados, como reservatórios de barragens, têm ainda recebido, relativamente, pouca dedicação dos pesquisadores, *vis à vis* dos inúmeros estudos realizados em engenharia costeira. Vale lembrar que muitos dos nossos aproveitamentos hidroelétricos datam dos anos 60/70, e os poucos modelos disponíveis no tema são de natureza semi-empírica.

Um problema comum em reservatórios é o assoreamento, principalmente imediatamente à montante da hidrelétrica, que pode ser devido à erosão das margens próximas ou devido ao transporte de sedimentos de trechos a montante. Tal fato colabora para a redução do potencial energético dos reservatórios das hidrelétricas, bem como para a degradação ambiental/ecológica que afeta a fauna presente.

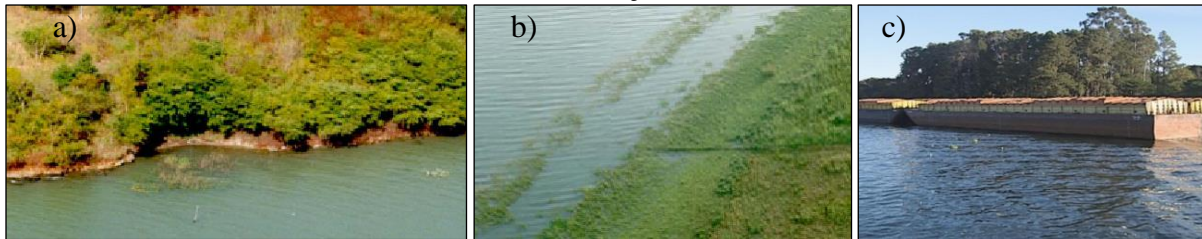
Em se tratando de assoreamento de reservatórios, pode-se verificar nos estudos de Soares (2015) que a diminuição da capacidade de armazenamento do reservatório da hidrelétrica do Funil, por exemplo, foi da ordem de 1%. Este valor é maior que os prognósticos e que os valores de referência, da ordem de 0,5%.

Soares (2015) ainda afirma que o assoreamento está ocorrendo de forma mais acelerada nos últimos anos e, conseqüentemente, a sobrelevação do fundo do reservatório tem aumentado o risco de interferência e inundações em área de ocupação antrópica que cresce no entorno do mesmo.

Voltando ao contexto regional e ressaltando, como supracitado, a potencialidade da navegação para o noroeste paulista, esta pode ser prejudicada pela ação intensa de ondas geradas por ventos, trazendo prejuízos às embarcações, desestabilizando margens e acelerando processos erosivos (às vezes a desestabilização das margens pode ser acelerada devido às ondas geradas pela própria embarcação). Diante deste cenário, observa-se, em contrapartida, no caso do

reservatório da UHE de Ilha Solteira e tantos outros, que a própria natureza criou mecanismos para se proteger dos impactos gerados pelas ondas, como a vegetação às margens dos rios e lagos (Figura 3), que dissipa parte da energia proveniente das ondas, cujo mecanismo de dissipação (interação onda \times vegetação) não é ainda totalmente esclarecido.

Figura 3 – Processos erosivos nas margens do reservatório de Ilha Solteira – SP (a) erosão da margem pelas ondas; b) amortecimento de ondas pela vegetação; c) geração de ondas por embarcação).



Fonte: adaptado de Vasco, 2005.

Apesar de ser de conhecimento geral que a vegetação atenua a energia proveniente das ondas, a solução adotada por muitas vezes são investimentos na construção de obras rígidas, como diques e quebra-mares (medidas estruturais), interferindo drasticamente na conformação ou *layout* natural. Entretanto, soluções alternativas (medidas não-estruturais) de obras que não alterem de modo considerável o ecossistema no qual estão inseridas ganham força nos dias de hoje, face ao apelo constante pela manutenção e proteção do meio ambiente como um todo.

O interesse por estudos e avaliações de coeficientes de dissipação de energia sobre campos vegetados é necessário, a fim de verificar e quantificar as perdas, na forma de altura significativa (energia potencial), de ondas geradas por ventos em reservatórios de barragens, minimizando seus efeitos erosivos em margens. Estudos nesse campo têm sido feitos em alguns países da Europa e nos Estados Unidos. No Brasil, estudo dessa natureza, enquanto pesquisa, (aspectos biomecânicos / interação vento \times onda \times vegetação) teve seu início com a Rede "Amigos de Boussinesq - Rede Cooperativa de Pesquisa sobre Hidrodinâmica Costeira e de Águas Rasas", (UFRJ, UNESP, UFRGS), com apoio da Capes, e estendida para outras IES (Instituições de Ensino Superior) e laboratórios e universidades portuguesas.

Nos lagos, devido às alterações antropogênicas, o restabelecimento da vegetação aquática nativa é altamente desejável, especialmente nos locais de solos friáveis e erodíveis, pois a vegetação auxilia a conservação e complementa os corredores para proteção da biodiversidade e o *habitat*.

Ainda que poucos, os estudos nesse tema têm sido feitos em situações idealizadas em laboratório (LIMA et al., parte 2, 2007), na natureza, através da instalação de sensores de

velocidade de vento e nível da superfície livre (VIEIRA et al., 2013), o que sempre exige uma logística mais complexa, vindo se complementar com a abordagem numérica.

No que tange à simulação numérica, o modelo utilizado, nessa dissertação, é, na sua base, o SWAN (*Simulating WAVes Nearshore*), modelo de geração e propagação de ondas, utilizado para obter estimativas do espectro de ondas em áreas costeiras, lagos e estuários, a partir de campos de vento, batimetria e correntes. Desenvolvido na *Delft University of Technology* (TUDelft), Holanda, o SWAN é classificado como modelo de 3^o geração² permitindo obter parâmetros das características da agitação marítima desde águas profundas a águas rasas. Em estudos anteriores, como o de Vieira et al. (2013), entre outros, este modelo apresentou bom desempenho na previsão de ondas geradas por ventos, com resultados significativamente próximos aos medidos, para o reservatório de Ilha Solteira.

Devido à necessidade de quantificar e analisar a influência que um determinado campo de vegetação produz sobre as ondas incidentes, a *University of Twente e Deltares (Delft)* introduziram no modelo SWAN o efeito da vegetação, representada por obstáculos cilíndricos rígidos. Este modelo é baseado no método desenvolvido por Dalrymple et al. (1984), Kobayashi et al. (1993) e Mendez e Losada (2004), com validade em ambientes oceânicos. O modelo aprimorado recebeu o nome de SWAN-VEG (OUDE, 2010 e SUZUKI et al. 2011), com o qual é possível analisar os efeitos da vegetação sobre as ondas, como a dissipação de energia.

Voltado a ambientes lacustres ou zonas confinadas, o trabalho de pós-doutoramento de Vieira (2014), do Grupo de Ondas Gravitacionais da Unesp, foi desenvolvido em colaboração com o LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa-Portugal), utilizando o modelo SWAN-VEG. Este foi aprimorado e adaptado para o reservatório de Ilha Solteira com os parâmetros de vegetação para ambientes lacustres. Parâmetros esses como altura, diâmetro, densidade de plantas e coeficiente de arrasto, os quais são introduzidos de acordo com o caso a ser estudado. O parâmetro de vegetação (V_f), resultado do produto de três parâmetros (diâmetro X densidade de plantas X coeficiente de arrasto), varia de 0 a 20 (OUDE, 2010).

Assim, utilizar-se-á o modelo numérico SWAN-VEG a fim de determinar e quantificar efeitos de atenuação das ondas para casos sem vegetação e com presença de vegetação de fundo. Dessa forma será possível analisar a influência da presença da vegetação na dissipação de energia e

² Estado da Arte sobre mecanismos de geração de ondas por vento e de modelos numéricos de geração.

amortecimento das ondas geradas por ventos e, mais detalhadamente, a influência do refinamento de malhas nos resultados. Cabe, por fim, lembrar que a proposta numérica (coeficientes de atenuação de ondas pela vegetação), traduz-se em elemento de supra importância na determinação da matriz de fragilidade do entorno do reservatório³.

Vale observar que as boas estimativas de ondas produzidas pelo modelo estão diretamente ligadas à calibração e fidedignidade dos dados inseridos (qualidade dos dados de entrada).

³ Fragilidade entende-se como respostas de maior, ou menor intensidade no entorno do reservatório a agentes internos (tipos de solos, tipo de vegetação, ocupação, etc) e externos (ação eólica, ação de ondas, etc).

6 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

A partir das análises realizadas neste trabalho e tendo explorado a potencialidade do SWAN-VEG, pode-se verificar que a atenuação de ondas devido à vegetação é um processo altamente dinâmico, complexo, cuja quantificação é importante na modelagem da hidrodinâmica costeira e, no caso tratado nesta dissertação, nas medidas de proteção das margens de reservatórios, muitas vezes, expostas e submetidas a processos erosivos e de solapamento devido a ondas.

De plano, como resultado acumulado da literatura, da vivência do grupo brasileiro com o tema em nível de laboratório e experiência em sítio (ainda que breve, quando da medição de ondas no lago dentro da vegetação, na fazenda da Unesp (LIMA (2005) e VASCO (2005)) e, em posse das simulações numéricas realizadas nesta dissertação, o código de cálculo SWAN-VEG aponta para fatores de atenuação de onda que dependem fortemente da densidade de plantas do *habitat* e da razão entre a altura da vegetação e a profundidade local (submergência).

- Quanto ao parâmetro de vegetação V_f :

O parâmetro balizador V_f ($V_f = C_D x b_v x N$) do SWAN-VEG, ainda que aparentemente mal posto, retrata, na verdade, a mesma problemática e necessidade do conhecimento prévio do C_D , uma vez que em situação real de campo, dispondo de ordem de grandeza da densidade de plantas e de sua geometria característica (diâmetro e altura), a determinação do V_f recai sobre a determinação do C_D .

- Quanto ao coeficiente de arrasto C_D :

A partir dos estudos de Suzuki et al. (2011) e Oude (2010), usando o SWAN-VEG, propõe-se, com base na bio-morfologia e em análises com plantas de espécies com diferentes níveis de flexibilidade (*Echinodorus grandiflorus*, *Cabomba caroliniana* e *Nymphaea rubra* (lírio d'água)), assim como em estudos de laboratório (MENDEZ e LOSADA (2004) LOVAS (2000)) e de campo (estudos de VO-LONG e MASSEL (2006)) que o coeficiente de arrasto mais indicado é C_D da ordem de 1 para plantas mais rígidas e $C_D < 1$, para espécies de maior flexibilidade (OUDE, 2010 e SUZUKI et al., 2011). Coeficiente este fortemente dependente do KC (Keulegan-Carpenter) local, nível de submergência e das forçantes, sejam elas ação de ondas regulares ou randômicas.

De qualquer forma, a literatura é taxativa afirmando que a calibração do modelo de atenuação deve ser feita com base no parâmetro C_D , este devendo ser obtido, preferencialmente, para cada tipo de estudo e vegetação.

Lima (2005), a partir de seus experimentos físicos realizados em canal, com materiais artificiais (cordas), simulando organismos mais flexíveis, já fornecia uma expressão experimental, a partir de regressão, para o coeficiente de arrasto C_D como função do diâmetro da planta, parâmetros locais da onda (H e L) e profundidade local. Vale ressaltar que a quase totalidade dos C_D calibrados por Lima (2005) se apresentaram no domínio $C_D < 1$.

Nas simulações realizadas nesta dissertação (SWAN-VEG), aplicou-se um $C_D = 1$ (conforme recomendação da literatura, como 1ª estimativa), o que leva a fator de vegetação V_f mais elevado e, por conseguinte, maior fator de atenuação. Não obstante, um $C_D < 1$ estaria mais propício à dinâmica de plantas mais flexíveis, parâmetro este dependente do Keulegan-Carpenter (KC) local, lembrando, como supracitado, que o arrasto está associado ao ambiente local e tipo de vegetação (LIMA, 2005; OUDE, 2010, SUZUKI et. al., 2011; KARAMBAS et al., 2016)).

Segundo o trabalho de Lima (2005), a expressão algébrica obtida para a curva de decaimento da altura da onda é semelhante à deduzida analiticamente para estruturas rígidas. Em Lima (2005) afirma-se que o fator de amortecimento mostrou-se independente da altura da onda incidente, logo, mantidas as características físicas do campo, o decaimento pode ser expresso como uma função exclusiva da profundidade relativa. As expressões obtidas configuram uma ferramenta para dimensionamento das características físicas necessárias a um campo formado pelos elementos estudados, de modo que uma onda considerada nociva atinja padrões aceitáveis após percorrê-lo.

- Quanto ao refinamento de malhas:

O refinamento de malha foi executado na primeira fase do estudo, já que na segunda fase era necessária a maior precisão possível sendo utilizada apenas a malha de 100 m de resolução.

O tempo de cálculo foi aumentado exponencialmente com o refinamento, que não se mostrou satisfatório quando consideramos pontos mais afastados da margem. Todavia, voltando-se à análise de submergência, pode-se observar que com o refinamento foi possível verificar a sensibilidade do modelo.

O comportamento do amortecimento foi semelhante em ambas as malhas e com valores absolutos próximos, com variação da ordem de 5% para forçante de 20 m/s, sendo que o maior percentual de amortecimento (88%) foi observado na malha de 100 m.

De maneira geral, nestes estudos de caso não se pode afirmar que houve vantagem no refinamento de malhas, uma vez que o tempo de cálculo foi aumentado exponencialmente passando de 02 horas para 08 horas na simulação com 04 forçantes. No entanto, estudos mais específicos com esse intuito devem ser executados.

6.1 Perspectivas Futuras

Como perspectivas futuras ficam evidenciadas:

- A necessidade de estudos em campo para verificação das formulações propostas pela literatura, bem como calibração do modelo SWAN-VEG para o caso de Ilha Solteira-SP, uma vez que o parâmetro de calibração é o coeficiente de arrasto, dado para cada tipo de vegetação, segundo a literatura.
- A análise da influência da altura de onda incidente no campo vegetado, a altura de onda amortecida e seus períodos.
- A necessidade de se promover estudos definindo o período e altura significativa de onda a fim de se obter os amortecimentos, além de elaborar uma análise pormenorizada de quebra ou não de onda na região de arrebentação.

Outro ponto chave a ser perseguido é a atualização da batimetria do reservatório para efeito comparativo real com os dados a serem medidos em campo, valendo ressaltar o nível de exigência atual do levantamento batimétrico (sistema multifeixes) pelos órgãos governamentais.

Cabe salientar que não sabemos, de fato, se o refinamento de malhas mostrou-se eficaz por limitação do modelo ou por efeito da batimetria.

Por fim, o monitoramento contínuo vento-onda é de supra importância para estudos futuros, sendo recomendado, no mínimo, um período de 02 a 05 anos de acompanhamento (quanto maior a série histórica, melhor o prognóstico) a fim de verificar a sazonalidade das variáveis do problema. Soma-se, a isso, uma campanha densa que, obrigatoriamente, execute a caracterização da vegetação da área de estudo e que se proceda, em definitivo, medição simultânea de ventos e ondas ao largo e dentro da vegetação.

REFERÊNCIAS

- AIRY, G. B. TIDES AND WAVES. IN: ROSE, H. J. ET AL. **ENCYCLOPAEDIA METROPOLITANA**. LONDON: B. FELLOWES, 1845. V. 192, P. 241-396.
- ALBEN, S.; SHELLEY, M.; JUN ZHANG, J. D. Drag reduction through self-similar bending of a flexible body. **Nature**, Washington, v. 420, p. 479-481, 2002.
- ALONGI, D. M. Mangrove forests: Resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. **Estuarine Coastal and Shelf Science**, London, v. 76, n. 1, p. 1-13, 2008.
- ANTAQ (Agência Nacional de Transporte Aquaviário). **Situação atual da hidrovia Tietê – Paraná**. 2012. Disponível em <<http://www.antaq.gov.br/portal/pdf/palestras/palestrajulho2012.pdf>>. Acesso em: 24 set. 2015.
- ARMY COASTAL ENGINEERING RESEARCH CENTER – CERC. **Shore Protection Manual**. 3. ed. Washington: Department of Army Corps of Engineers, 1977.
- ASANO, T.; DEGUCHI, H.; KOBAYASHI, N. Interaction between water waves and vegetation. In: PROCEEDINGS OF THE COASTAL ENGINEERING CONFERENCE, 23, 1993, New York. **Proceedings of the...** New York: ASCE, 1993. p. 27102723.
- BAO, Q. T. Effect of mangrove forest structures on wave attenuation in coastal Vietnam. **Oceanologia**, Warsaw, v. 53, n. 3, p. 807-818, 2011.
- BEVER, A. J.; MACWILLIAMS, M. L. Simulating sediment transport processes in San Pablo Bay using coupled hydrodynamic, wave, and sediment transport models. **Marine Geology**, Amsterdam, v. 345, p. 235-253, 2013.
- BERKHOFF, J. C. W. Computation of combined refraction-diffraction. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE COASTAL ENGINEERING, 13, 1972, Vancouver. **Proceedings of the ...** Vancouver: [S. n.], 1972. p. 741–790.
- BERKHOFF, J. C. W. **Mathematical models for simple harmonic linear:** water waves refraction and diffraction. Publ. 163, Delft Hydraulics. 1976. Disponível em: <<http://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:381c691b-eea8-4f67-be8f-d471a7da1d58?collection=research>>. Acesso em: 13 dez. 2016.

BOOIJ, N. R.; HOLTHUIJSEN, L. H.; RIS, R. C. The SWAN wave model for shallow water. In: INTERNATIONAL COASTAL ENGINEERING CONFERENCE – ICCE'96, 25., 1996, Orlando. **Proceedings...** Orlando: American Society of Civil Engineers, 1996. p. 668-676.

BOOIJ, N.; RIS, R. C.; HOLTHUIJSEN, L. H. A third-generation wave model for coastal regions, Part I: Model description and validation. **Journal Geophysical Research**, Hoboken, v. 104, C4, p. 7649-7666. 1999. Disponível em: <http://iodlabs.ucsd.edu/falk/modeling/swan1_jgr99.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2016.

BOUSSINESQ, J. Théorie de l'intumescence liquide, appelée onde solitaire ou de translation, se propageant dans un canal rectangulaire. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, 1871, 72, pp. 755–759.

BORUM, J.; DUARTE, C. M.; KRAUSE-JENSEN, D.; GREVE, T. M. (Ed.). 2004. **European seagrasses: an introduction to monitoring and management**. Monitoring and Managing of European Seagrasses Project EVK3-CT-2000-00044. 2004. 95 p. Disponível em: <http://www.seagrasses.org/handbook/european_seagrasses_high.pdf>. Acesso em: 21 dez. 2016.

BRADLEY, K.; HOUSER, C. Relative velocity of seagrass blades: implications for wave attenuation in low-energy environments. **Journal of Geophysical Research**, Hoboken, v. 114, n. 1, F01004, 2009. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2007JF000951/pdf>>. Acesso em: 21 dez. 2016.

BRETSCHNEIDER, C.L. A theory for waves of finite height. **Proc. 7th Coastal Engr. Conf.**, Vol. 1, 1960, pp. 146–183.

BROCCHINI, M. **A reasoned overview on Boussinesq-type models: the interplay between physics, mathematics and numerics**. 2013. Disponível em: <<http://rspa.royalsocietypublishing.org/content/royprsa/469/2160/20130496.full.pdf>>. Acesso em: 21 dez. 2016.

CAMFIELD F. E. Wind-wave growth with high friction. **Journal of Waterways, Port, Coastal and Ocean Engineering**, Reston, v. 109, p. 115-117, 1983.

CAPITÃO, R.; FORTES, C. Análise comparativa entre estimativas do modelo SWAN e medições de agitação marítima efectuadas na Praia da Amoreira, Portugal. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, Lisboa, v. 11, n. 3, p. 283-296, 2011. Disponível em: <http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-269_Capitao.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2016.

- CHEN, S. N.; SANFORD, L. P.; KOCH, E. W.; SHI, F.; NORTH, E. W. A nearshore model to investigate the effects of seagrass bed geometry on wave attenuation and suspended sediment transport. **Estuaries and Coasts**, New York, v. 30, n. 2, 296–310, 2007.
- CUC, N. T. K.; SUZUKI, T.; VAN STEVENINCK, E. D. R.; HAI, H. Modelling the impacts of mangrove vegetation structure on wave dissipation in Ben Tre Province, under different climate change scenarios. **Journal of Coastal Research**, Coconut Creek, v. 31, n. 2, p. 340–347, 2013.
- DALRYMPLE R. A.; KIRBY, J. T.; HWANG, P. A. Wave refraction due to areas of energy dissipation. **Journal of Waterways, Port, Coastal and Ocean Engineering**, Reston, v. 110, p. 67-79, 1984.
- DAS, S.; CRÉPIN, A. S. Mangroves can provide protection against wind damage during storms. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, London, v. 134, p. 98-107, 2013.
- DEUSSFELD, N. Numerical Simulation of Flexible Vegetal Roughness in Coastal Zones. TUHH, Anniversary Publication, p. 40-43, 2003.
- EL MEKADEN, N.; BERNADEU, A. M.; EL MOUTCHOU, B.; EL HAJJAJI, K. H. **Aplicación del modelo SWAN para caracterizar el impacto del oleaje sobre la costa: ejemplo para la costa atlántica entre Asilah y Larache (NO Marruecos)**. ACT 2, 2011. Disponível em: <[https://www.google.com.br/search?q=Aplicaci%C3%B3n+del+modelo+SWAN+para+caracterizar+el+impacto+del+oleaje+sobre+la+costa%3A+ejemplo+para+la+costa+atl%C3%A2ntica+entre+Asilah+y+Larache+\(NO+Marruecos\)&ie=utf-8&oe=utf-8&client=firefox-b&gfe_rd=cr&ei=_mtaWMzvI4qF8QeRyqC4CQ](https://www.google.com.br/search?q=Aplicaci%C3%B3n+del+modelo+SWAN+para+caracterizar+el+impacto+del+oleaje+sobre+la+costa%3A+ejemplo+para+la+costa+atl%C3%A2ntica+entre+Asilah+y+Larache+(NO+Marruecos)&ie=utf-8&oe=utf-8&client=firefox-b&gfe_rd=cr&ei=_mtaWMzvI4qF8QeRyqC4CQ)>. Acesso em: 15 set. 2016.
- ELGINOZ, N.; KABDASLI, M. S.; TANIK, A. Effects of *Posidonia oceanica* seagrass meadows on storm waves. **Journal of Coastal Research**, Coconut Creek, n. 64, p. 373–377, 2011.
- FARACI, C.; FOTI, E.; MUSUMECI, R. E. Waves plus currents at a right angle: the rippled bed case. **Journal of Geophysical Research**, Hoboken, v. 113, p. C07018, 2008.
- FENTON, J.D. (1985). **A fifth order Stokes theory for steady waves**. J. Waterw., Port, Coastal and Ocean Engng., 11, pp. 216–234.
- FONSECA, M. S. ; CAHALAN, J. H. A preliminary evaluation of wave attenuation by four species of seagrass. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, London, v. 35, n. 6, p. 565–576, 1992.

FORTES, C. J.; PINHEIRO, L.; SANTOS, J. A.; NEVES, M. G.; CAPITÃO, R. SOPRO – Pacote integrado de modelos de avaliação dos efeitos das ondas em portos. **Tecnologias da Água**, v. 1, p. 51-61, 2006.

FREDSØE, J.; ANDERSEN, K. H.; SUMER, B. M. Wave plus current over a ripple-covered bed. **Coastal Engineering**, Amsterdam, v. 38, n. 4, p. 177– 221, 1999.

FREEMAN, G. E.; RAHMEYER, W. H. ; COPELAND, R. R. **Determination of resistance due to shrubs and woody vegetation**. Washington: US Army Corps of Engineers, Engineer Research and Development Center, 2000. Disponível em: <<http://uwrl.usu.edu/sites/default/files/pdf/TR-00-25.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2016.

FREITAS, E. **Hidrovia Tietê-Paraná**. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/brasil/hidrovia-tieteparana.htm>>. Acesso em: 24 set. 2015.

G1-2011. **Choque de barcas fecha temporariamente trecho do rio Missipi**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/mundo/noticia/2011/05/choque-de-barcas-fecha-temporariamente-trecho-do-rio-mississippi.html>>. Acesso em: 12 jan. 2016.

GELCI, R., CAZALE, H., VASSAL, J. (1957). **Prevision de la houle. La methode des densitesapectroangulaires**. Bull. Inform. Comite Central Oceanogr. Etudes Cotes, pp. 9–416.

GHISALBERTI, M.; NEPF, H. M. Mixing layers and coherent structures in vegetated aquatic flows. **Journal of Geophysical Research**, Hoboken, v. 107, n. 3, p. 1–11, 2002.

GREEN, E. P. ; SHORT, F. T. **World atlas of seagrasses**. Oakland: UNEP-WCMC, University of California Press, 2003. 298 p.

HASSELMANN, K., COLLINS, J. Spectral dissipation of finite-depth gravity waves dueto turbulent bottom friction. **Journal of Marine Research**, New Haven, v. 26, p. 1–12, 1968.

HASSELMANN K., T. P.; BARNETT, E.; BOUWS, H.; CARSON, D. E.; CARTWRIGHT, K.; ENKE, J. A.; EWING, H.; GIENAPP, D. E.; HASSELMANN, P.; KRUSEMAN, A.; MEERBURG, P.; MILLER, D. J.; OLBERS, K.; RICHTER, W.; SELL, H.; WALDEN. **Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP)**. Hamburg: Ergänzungsheft zur Deutschen Hydrographischen Zeitschrift, 1973. 95 p. Disponível em: <<http://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:f204e188-13b9-49d8-a6dc-4fb7c20562fc?collection=research>>. Acesso em: 14 nov. 2016.

HASSELMANN, S.; HASSELMANN, K.; BAUER, E.; JANSSEN, P. A. E. M.; KOMEN, G. J.; BERTOLLI, L.; LIONELLO, P.; GUILLAUME, A.; CARDONE, V. C.; GREENWOOD, J. A.; REISTAD, M.; ZAMBERSKY, L.; EWING, J. A. (TheWAMDI Group). The WAM model - a third-generation ocean wave prediction model. **Journal of Physical Oceanography**, Boston, v. 18, p. 1775–1810, 1988.

HENRY, P. Y.; MYRHAUG, D. Wave-induced drag force on vegetation under shoaling random waves. **Coastal Engineering**, Amsterdam, v. 78, p. 13-20, 2013.

HORSTMAN, E.; DOHMEN-JANSSEN, M.; NARRA, P.; VAN DEN BERG, N. J.; SIEMERINK, M.; BALKE, T.; BOUMA, T.; HULSCHER, S. **Wave attenuation in mangrove forests; field data obtained in trang, Thailand**. 2012. Disponível em: <http://doc.utwente.nl/84816/1/Horstman_et_al_2012_ICCE.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2016.

HUSRIN, S.; STRUSINSKA, A.; OUMERACI, H. Experimental study on tsunami attenuation by mangrove forest. **Earth Planets Space**, Setagaya-ku, v. 64, p. 15, 2012. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.5047/eps.2011.11.008>>. Acesso em: 12 jun. 2016.

JOHNSON A. S. Drag, drafting, and mechanical interactions in canopies of the red alga *Chondrus crispus*. **The Biological Bulletin**, Chicago, v. 201, p. 126-135, 2001.

KARAMBAS, T.; KOFTIS, T.; PRINOS, P. Modeling of nonlinear wave attenuation due to vegetation. **Journal of Coastal Research**, Coconut Creek, v. 32, n. 1, p. 142–152, 2016.

KATHIRESAN, K.; RAJENDRAN, N. Coastal mangrove forest mitigated tsunami. **Estuarine Coastal and Shelf Science**, London, v. 65, n. 3, p. 601-606, 2005.

KNUTSON, P. L.; SEELING, W. N.; INSKEEP, M. R. Wave dampening in *Spartina alterniflora* marshes. **Wetlands**, Dordrecht, v. 2, n. 1, p. 87– 104, 1982.

KOBAYASHI, N.; RAICHLE, A.; ASANO, T. Wave attenuation by vegetation. **Journal of Waterways, Port, Coastal and Ocean Engineering**, Reston, v. 199, p. 30-48, 1993.

KOCH, E. W.; SANFORD, L. P.; CHEN, S. N.; SHAFER, D. J.; MCKEE SMITH, J. **Waves in seagrass systems: review and technical recommendations**. Washington, D.C.: U.S. Army Corps of Engineers, 2006. 81 p. (Technical Report ERDC TR-06-15)

KOFTIS, T. H.; PRINOS, P.; STRATIGAKI, V. Wave damping over artificial *Posidonia oceanica* meadow: A large-scale experimental study. **Coastal Engineering**, Amsterdam, v. 73, p. 71–83, 2013.

KOMEN, G. J.; CAVALERI, L.; DONELAN, M.; HASSELMAN, M.; HASSELMAN, S.; JANSSEN, P. A. E. M. **Dynamics and modeling of ocean waves**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

LAVRENOV, I. V. **Wind-waves in oceans - dynamics and numerical simulations**. New York: Springer, 2003.

LIMA, S. F. **Amortecimento de ondas gravitacionais por campos de vegetação simulados por elementos de grande flexibilidade**. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Oceânica) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

LIMA, S. F.; NEVES, C. F.; ROSAURO, N. M. L. Amortecimento de ondas gravitacionais por campos de vegetação flexível - parte 2: experimentos e modelação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 163-175, 2007.

LOVAS, S. M. **Hydro-physical conditions in kelp forests and the effect on wave dumping and dune erosion: a case study on Laminaria hyperbore**. 2000. PhD Thesis (Doctor) - The Norwegian Institute of Technology, University of Trondheim, Trondheim, Norway, 2000.

MöLLER, I.; SPENCER, T.; FRENCH, J. R.; LEGGETT, D. J.; DIXON, M. Wave transformation over salt marshes: a field and numerical modelling study from North Norfolk, England. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, London, v. 49, n. 3, p. 411–426, 1999.

MATOS, M. F. A.; FORTES, C. J. E. M.; AMARO, V. E.; SCUDELARI, A. D. Análise comparativa da agitação obtida com o modelo numérico (SWAN) na modelagem de ondas no litoral setentrional do Rio Grande do Norte, Brasil e dados de campo. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, Lisboa, v. 13, n. 3, p. 283-299, 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.mec.pt/pdf/rgci/v13n3/v13n3a03.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2016.

MATTOSINHO, G. O. **Comparação entre os softwares ondisaCAD e SWAN na estimativa de altura significativa de ondas geradas por vento no reservatório de barragem de Ilha Solteira – SP**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2015.

MAZA, M.; LARA, J. L.; LOSADA, I. J. A coupled model of submerged vegetation under oscillatory flow using Navier-Stokes equations. **Coastal Engineering**, Amsterdam, v. 80, p. 16–34, 2013.

MENDEZ F. J.; LOSADA I. J, An empirical model to estimate the propagation of random breaking and nonbreaking waves over vegetation fields. **Coastal Engineering**, Amsterdam, v. 51, n. 2, p. 103-118, 2004.

MILES, J. W. On the generation of surface waves by shear flows. *Journal of Fluid Mechanics*, Cambridge, v. 3, p. 185–204, 1957.

MORISON, J. R. M.; O'BRIEN, M. P.; JOHNSON, J. W.; SCHAAF, S. A. The force exerted by surface waves on piles. **Journal of Petroleum Technology**, Houston, v. 2, n. 5, p. 149–154, 1950.

MORK, M. Wave attenuation due to bottom vegetation. In: GRUE, J.; GJEVIK, B.; WEBER, J. E. (Ed.). **Waves and nonlinear processes in hydrodynamics**. Oslo: Kluwer Academic Publishing, 1996. p. 371–382.

OUDE, R. **Modelling wave attenuation by vegetation with SWAN-VEG**. 2010. Dissertation (Master Thesis: Water Engineering & Management) – University of Twente, Delft, 2010.

PEREIRA, A. I. S. **Modelação da agitação marítima em zonas costeiras**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Arquitetura Naval) - Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2008.

PHILLIPS, O. M. On the geration of waves by turbulent wind. **Journal of Fluid Mechanics**, Cambridge, v. 2, p. 417- 445, 1957.

PIERSON, W.J., MOSKOWITZ, L. A proposed spectral form for fully developed wind seas based in the similarity theory of S.A. Kitiagorodskij. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 9, p. 5181–5190, 1964.

PRICE, W. A.; TOMLINSON, K. W.; HUNT, J. N. **The effect of artificial seaweed in promoting the build-up of beaches**. In: PROCEEDINGS OF THE COASTAL ENGINEERING CONFERENCE, ASCE, 11, 1968, p. 570-578. Disponível em: < <https://icce-ojs-tamu.tdl.org/icce/index.php/icce/article/view/2539/2204>>. Acesso em: 12 abr. 2016.

QUARTEL, S.; KROON, A.; AUGUSTINUS, R. G. E. F.; VAN SANTEN, P.; TRI, N. H. Wave attenuation in coastal mangroves in the Red River Delta, Vietnam. **Journal of Asian Earth Sciences**, Kidlington, v. 29, n. 4, p. 576-584, 2007.

REUTERS BRASIL. Remoção de navio com ácido do Reno deve levar dias. 2011. Disponível em: <<http://br.reuters.com/article/worldNews/idBRSPE70D08020110114>>. Acesso em: 21 jun. 2016.

STRATIGAKI, V.; MANCA, E.; PRINOS, P.; LOSADA, I. J.; LARA, J. L.; SCLAVO, M.; AMOS, C. L.; CÁCERES, I.; SÁNCHEZ-ARCILLA, A. Large scale experiments on wave propagation over *Posidonia oceanica*. **Journal of Hydraulic Research**, Abingdon, v. 49, n. 1, S31–S43, 2011.

SHORE PROTECTION MANUAL. Coastal Engineering Research Center, Department of The Army. 4. ed. Washington: US Army Corps of Engineers, 1984. V. 1.

STOKES, G.G. On the theory of oscillatory wave transitional. **Cambridge Philosophical Society**, London, v. 8, p. 441–455, 1847.

STOKES, G.G. Supplement to a paper on the theory of oscillatory waves. **Mathematical and Physical Papers**, v. 1, p. 197–229, 1880.

SUZUKI, T.; ZIJLEMA, M.; BURGER, B.; MEIJER, M. C.; NARAYAN, S. Wave dissipation by vegetation with layer schematization in SWAN. *Coastal Engineering*, Amsterdam, v. 59, p. 64–71, 2011.

STWAVE (STeady State Spectral WAVE) – US Army engineer Research and Development. SWAN Team (2014) – **SWAN scientific and technical documentation**. SWAN Cycle III version 41.01. Report. Delft University of Technology. Disponível em: <<http://swanmodel.sourceforge.net/download/zip/swantech.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2016.

TIGNY, V.; OZER, A.; DE FALCO, A.G.; BAROLI, M.; DJENIDI, S. Relationship between the evolution of the shoreline and the *Posidonia oceanica* meadow limit in a Sardinian coastal zone. **Journal of Coastal Research**, Coconut Creek, v. 23, n. 3, 787–793, 2007.

UTTER B. D.; DENNY M. W. Wave-induced forces on the giant kelp *Macrocystis pyrifera* (agardh): field test of a computational model. **Journal of Experimental Biology**, Cambridge, v. 199, p. 2645-2654, 1996.

VAN RIJN, L. C. **Handbook—Sediment transport by currents and waves**. S.l.: Delft Hydraulics Report, 1989. (Volume 461 de Delft Hydraulics communication).

VASCO, J. R. G. ; MACIEL, G. F. Coeficiente de arrasto em estruturas flexíveis: Estudo de caso de plantas aquáticas sob ação de ondas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17, 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABRH, 2007. Disponível em: <http://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/0064b7e8349958e3d2d5f40289fb375d_ad472312d508aa9f85d4fdabac59a0c3.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2016.

VASCO, J. R. G. ; MACIEL, G. F. Propagação de ondas em áreas vegetadas. In: CONGRESSO DE MÉTODOS COMPUTACIONAIS EM ENGENHARIA (CILAMCE), Lisboa, 2004. **Anais...** Lisboa: [S.n.], 2004.

VASCO, J. R. G. **Modelo conceitual de dissipação da energia da onda que se propaga por fundos vegetados**. 2005. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005.

VIEIRA, A. S.; MACIEL, G. F.; FORTE, J. C. O modelo SWAN como ferramenta útil na previsão de onda em recinto fechado – estudo de caso no lago da barragem de Ilha Solteira – SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20, 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: ABRH, 2013. Disponível em: <https://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/e4b5cab78aeed820730679967a7592f3_bd28762ae8be5b7384c4823c63d62fa6.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2016.

VIEIRA, A. S.; MACIEL, G. F.; MATTOSINHO, G. O. Atenuação de ondas pela vegetação: estudo de sensibilidade de malhas no SWAN para o Lago da Barragem de Ilha Solteira. In: CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA, 8, 2015, Aveiro. **Anais...** Aveiro: [S.n.], 2015. Disponível em: <http://www.aprh.pt/ZonasCosteiras2015/pdf/3B6_Artigo_096.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2016.

VIEIRA, A.S. **Análises, aplicações e validações – numérico/experimentais do modelo SWAN em áreas restritas e ao largo**. 251 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2013.

VIEIRA, A. S.; GREGÓRIO, I. C.; FORTES, C. J. E. M.; SUZUKI, T.; MACIEL, G. Application of the numerical model SWAN in locations with vegetation in the Tiete-Paraná waterway – Lake of IlhaSolteira’s Dam – Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MARITIME TECHNOLOGY AND ENGINEERING THE NATIONAL CONFERENCES IN NAVAL ARCHITECTURE AND MARINE, MARTECH, 2014, Lisboa. **Conference of the...** Lisboa: [S.l.], 2014.

VIEIRA, A. S.; MACIEL G. F.; FORTES, C. J. E. M.; MINUSSI, C. R.; SOBRINHO, M. DALL’AGLIO, 2013. Comparative analysis of the SWAN numerical model predictions and of the pressure sensor measurements at the Ilha Solteira Lake. In: SCACR – INTERNATIONAL SHORT COURSE/CONFERENCE ON APPLIED COASTAL

RESEARCH, 6, 2013, Lisboa. **Proceedings of the...** Lisboa: LNEC, 2013. Disponível em: <http://6scacr.lnec.pt/24_Vieira_Adriana.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2016.

VIOLA, C. N. A.; GRIFOLL, M.; PALALANE, J.; OLIVEIRA, T. **Propagação da agitação marítima do largo para à Costa de Maputo: aplicação ao transporte de sedimentos.** 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/261134239_PROPAGACAO_DA_AGITACAO_MARITIMA_DO_LARGO_PARA_A_COSTA_DE_MAPUTO_APLICACAO_AO_TRANSPORTE_DE_SEDIMENTOS>. Acesso em: 12 ago. 2016.

VO-LUONG, H. ; MASSEL, S. Experiments on wave motion and suspended sediment concentration at nang hai, can gio mangrove forest, southern vietnam. **Oceanologia**, Warsaw, v. 48, n. 1, p. 23–40, 2006.

VO-LUONG, P.; MASSEL, S. Energy dissipation in non-uniform mangrove forests of arbitrary depth. **Journal of Marine Systems**, Amsterdam, v. 74, n. 1–2, p. 603–622, 2008.

WARD, L. G.; KEMP, W. M.; BOYNTON, W. E. The influence of waves and seagrass communities on suspended particulates in an estuarine embayment. **Marine Geology**, Amsterdam, v. 59, n. 1–4, p. 85–103, 1984.

WMO. **Guide to wave analysis and forecasting.** Geneve: World Meteorological Organization, 1988. Publication, 702.