

Gestão de Recursos Hídricos e Sustentabilidade

Luis Miguel Schiebelbein
(Organizador)

Luis Miguel Schiebelbein
(Organizador)

Gestão de Recursos Hídricos e Sustentabilidade

Atena Editora
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

G393 Gestão de recursos hídricos e sustentabilidade / Organizador Luis Miguel Schiebelbein. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018.
– (Gestão de Recursos Hídricos e Sustentabilidade; v.1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-024-7

DOI 10.22533/at.ed.247190901

1. Desenvolvimento de recursos hídricos. 2. Política ambiental – Brasil. 3. Sustentabilidade. I. Schiebelbein, Luis Miguel. II. Título. III. Série.

CDD 343.81

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Gestão de Recursos Hídricos e Sustentabilidade” aborda uma série de artigos e resultados de pesquisa, em seu Volume I, contemplando em seus 21 capítulos, os novos conhecimentos científicos e tecnológicos para as áreas em questão.

Estrategicamente agrupados na grande área temática de GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS, ne nas seções de Meteorologia, Modelagem, Conceitos Aplicados & Estudos de Caso, traz à tona informações de extrema relevância para a área dos Recursos Hídricos, assim como da Sustentabilidade.

Os capítulos buscam de maneira complementar, abordar as diferentes áreas além de concentrar informações envolvendo não só os resultados aplicados, mas também as metodologias propostas para cada tipo de estudo realizado.

Pela grande diversidade de locais e instituições envolvidas, na realização das pesquisas ora publicadas, apresenta uma grande abrangência de condições e permite, dessa forma, que se conheça um pouco mais do que se tem de mais recente nas diferentes áreas de abordagem.

A todos os pesquisadores envolvidos, autores dos capítulos inclusos neste Volume I, e, pela qualidade e relevância de suas pesquisas e de seus resultados, os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora.

Ressalta-se ainda e indica-se a consulta ao Volume II, o qual aborda as grandes áreas temáticas de QUALIDADE DA ÁGUA, RECURSOS HÍDRICOS NO ABASTECIMENTO, UTILIZAÇÃO AGRÍCOLA DOS RECURSOS HÍDRICOS & SUSTENTABILIDADE.

Complementarmente, espera-se que esta obra possa ser de grande valia para aqueles que buscam ampliar seus conhecimentos nessa magnífica área da Gestão de Recursos Hídricos, associada à Sustentabilidade. Que este seja não só um material de apoio, mas um material base para o estímulo a novas pesquisas e a conquista de resultados inovadores.

Luis Miguel Schiebelbein

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
A FLORESTA E A DINÂMICA HIDROLÓGICA DE NASCENTES	
Jéssica Fernandez Metedieri	
Mariana Santos Leal	
Kelly Cristina Tonello	
DOI 10.22533/at.ed.2471909011	
CAPÍTULO 2	17
REQUALIFICAÇÃO FLUVIAL: CONCEITOS E CASOS DE ESTUDO	
Aline Pires Veról	
Bruna Peres Battemarco	
Matheus Martins de Sousa	
Marcelo Gomes Miguez	
DOI 10.22533/at.ed.2471909012	
CAPÍTULO 3	34
ANÁLISE DA VARIABILIDADE TEMPORAL DE BASE NA PROPAGAÇÃO DA ONDA DIFUSA EM UM RIO	
Maria Patricia Sales Castro	
Patrícia Freire Chagas	
Karyna Oliveira Chaves de Lucena	
Raimundo Oliveira de Souza	
DOI 10.22533/at.ed.2471909013	
CAPÍTULO 4	43
PLANO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL PARA OS ASSENTAMENTOS DOS MUNICÍPIOS DE DELMIRO GOUVEIA E ÁGUA BRANCA NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO CANAL DO SERTÃO ALAGOANO	
Eduardo Jorge de Oliveira Motta	
DOI 10.22533/at.ed.2471909014	
CAPÍTULO 5	53
ZONEAMENTO DE ÁREAS DE RESTRIÇÃO E CONTROLE RELEVANTES PARA A CONSERVAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA APLICADA À BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VELOSO (SUB-BACIA DO RIO PARAPEBA), MINAS GERAIS, BRASIL	
Joselaine Aparecida Ribeiro	
Thiago Vieira da Silva Matos	
Antônio Pereira Magalhães Júnior	
DOI 10.22533/at.ed.2471909015	
CAPÍTULO 6	65
PROJETO DA PAISAGEM NOS SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA - CASO DA BACIA DO RIO JOANA	
Isadora Tebaldi	
Ianic Bigate Lourenço	
Aline Pires Veról	
Marcelo Gomes Miguez	
DOI 10.22533/at.ed.2471909016	

CAPÍTULO 7	82
GESTÃO DA DRENAGEM URBANA EM MUNICÍPIOS DE PEQUENO PORTE: ESTUDO DE CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAJAÍ AÇU	
Fabiane Andressa Tasca Roberto Fabris Goerl Jakcemara Caprário Aline Schuck Rech Alexandra Rodrigues Finotti	
DOI 10.22533/at.ed.2471909017	
CAPÍTULO 8	92
ANÁLISE AMBIENTAL DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESPAÇO URBANO DE CAMPO GRANDE/MS	
Eva Faustino da Fonseca de Moura Barbosa	
DOI 10.22533/at.ed.2471909018	
CAPÍTULO 9	108
APLICAÇÃO DO MÉTODO SIMPLIFICADO A BARRAGENS DO ESTADO DE MINAS GERAIS	
Carlos Eugenio Pereira Maria Teresa Viseu Marcio Ricardo Salla Kevin Reiny Rocha Mota	
DOI 10.22533/at.ed.2471909019	
CAPÍTULO 10	117
INFLUÊNCIA PLUVIOMÉTRICA NA SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS NO MUNICÍPIO DE IPOJUCA - PE	
Fernanda Soares de Miranda Torres Enjôlras de Albuquerque Medeiros Lima Margarida Regueira da Costa Alexandre Luiz Souza Borba Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff Roberto Quental Coutinho	
DOI 10.22533/at.ed.24719090110	
CAPÍTULO 11	125
CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DOS AQUÍFEROS JUROCRETÁCEOS DO OESTE DO RIO GRANDE DO SUL	
Guilherme Vargas Teixeira Antonio Pedro Viero Romelito Regginato	
DOI 10.22533/at.ed.24719090111	
CAPÍTULO 12	134
AVALIAÇÃO DA EFETIVIDADE DOS INSTRUMENTOS DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO ESTADO DO TOCANTINS	
Fernán Enrique Vergara Viviane Basso Chiesa Cecília Amélia Miranda Costa	
DOI 10.22533/at.ed.24719090112	

CAPÍTULO 13 143

ATENUAÇÃO DE ONDAS EM MARGENS DE RESERVATÓRIOS DE BARRAGENS PELA PRESENÇA DE VEGETAÇÃO NO FUNDO – ANÁLISE NUMÉRICA ATRAVÉS DO MODELO SWAN-VEG

Adriana Silveira Vieira
Germano de Oliveira Mattosinho
Geraldo de Freitas Maciel

DOI 10.22533/at.ed.24719090113

CAPÍTULO 14 153

MODELO DE FRAGILIDADES AMBIENTAIS COMO INSTRUMENTO DE TOMADA DE DECISÃO PARA CONTROLE DE CHEIAS NA ÁREA URBANA DE ITAQUI-RS

Francisco Lorenzini Neto
Marcelo Jorge de Oliveira
Nájila Souza da Rocha
Raul Todeschini
Rafael Cabral Cruz

DOI 10.22533/at.ed.24719090114

CAPÍTULO 15 163

PREVISÃO DE VAZÃO DE CHEIA EM UM TRECHO DA BACIA DO RIO POTENGI

Patrícia Freire Chagas
Maria Patricia Sales Castro
Fernando José Araújo da Silva
Mário Ângelo Nunes de Azevedo Filho
Raimundo Oliveira de Souza

DOI 10.22533/at.ed.24719090115

CAPÍTULO 16 173

SENSIBILIDADE DOS PARÂMETROS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS DO MODELO SWAT EM UMA BACIA NA AMAZÔNIA OCIDENTAL: BACIA DO RIO MACHADINHO/RO

Vinicius Alexandre Sikora de Souza
Marcos Leandro Alves Nunes
Otto Corrêa Rotunno Filho
Claudia Daza Andrade
Vitor Paiva Alcoforado Rebello

DOI 10.22533/at.ed.24719090116

CAPÍTULO 17 183

ABASTECIMENTO HUMANO DE ÁGUA EM COMUNIDADES RURAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CEARÁ MIRIM RN

Vera Lucia Rodrigues Cirilo
João Abner Guimarães Junior
Lara Luana Cirilo Silva
Priscila Gosson Cavalcanti

DOI 10.22533/at.ed.24719090117

CAPÍTULO 18	191
ELABORAÇÃO DE CONSISTÊNCIA DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS: ESTUDO DE CASO DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA DE TUCURUÍ- PARÁ	
Alcione Batista da Silva	
Laysse Alves Ferreira	
Lucas Rodrigues do Nascimento	
Andressa Magalhães Gonçalves	
Rafael Oliveira da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.24719090118	
CAPÍTULO 19	200
ANÁLISE DO IMPACTO DO USO DE DADOS DIÁRIOS OU MÉDIAS CLIMATOLÓGICAS NA SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA COM O MODELO MGB-IPH	
Bibiana Rodrigues Colossi	
Daniela Santini Adamatti	
Fernando Mainardi Fan	
Paulo Rógenes Monteiro Pontes	
DOI 10.22533/at.ed.24719090119	
CAPÍTULO 20	211
MÉTODOS NUMÉRICOS E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADOS À DETECÇÃO DE ANOMALIAS EM DADOS HIDROLÓGICOS	
Alana Renata Ribeiro	
Mariana Kleina	
DOI 10.22533/at.ed.24719090120	
CAPÍTULO 21	220
CONCEPÇÃO SISTÊMICA PARA SOLUÇÕES DE CONTROLE DE CHEIAS URBANAS EM VILA VELHA, ES	
Paulo Canedo de Magalhães	
Matheus Martins de Sousa	
Antonio Krishnamurti Beleño de Oliveira	
Osvaldo Moura Rezende	
Victor Augusto Almeida Fernandes de Souza	
Marcelo Gomes Miguez	
DOI 10.22533/at.ed.24719090121	
SOBRE O ORGANIZADOR	236

ATENUAÇÃO DE ONDAS EM MARGENS DE RESERVATÓRIOS DE BARRAGENS PELA PRESENÇA DE VEGETAÇÃO NO FUNDO – ANÁLISE NUMÉRICA ATRAVÉS DO MODELO SWAN-VEG

Adriana Silveira Vieira

UEMS – Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul – Coxim - MS.

Germano de Oliveira Mattosinho

IFMG – Campus Avançado de Piumhi – Piumhi-MG.

Geraldo de Freitas Maciel

UNESP - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira– Ilha Solteira - S.P – Departamento de Engenharia Civil – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

RESUMO: Este trabalho trata do estudo da variação das alturas significativas de ondas devido à presença de vegetação de fundo em margens de reservatórios de barragens. Diferentes parâmetros de vegetação foram simulados. A zona de estudo foi o lago da barragem de Ilha Solteira- São Paulo- Brasil e trecho da rota comercial da Hidrovia Tietê-Paraná. Foram analisadas as alturas significativas de ondas geradas por ventos reinantes no lago e sua atenuação através do modelo numérico SWAN (*Simulating WAVes Nearshore*) com o módulo vegetação (SWAN-VEG). Com o intuito de analisar a influência da vegetação sobre a redução da energia das ondas perto das margens do lago, o modelo numérico foi aplicado e analisado para uma profundidade local de 4.8 m, distante de 300 m

da margem. Nos estudos de casos realizados, variaram-se as alturas, densidades e espessura das plantas; adotaram-se velocidades de 5 m/s (vento reinante) e de 20 m/s (vento máximo), ambos atuando na direção de maior persistência do vento (direção NE) no reservatório. Obteve-se uma atenuação máxima de altura significativa de onda da ordem de 55% em alguns dos casos simulados, quando comparados a situações sem a presença de vegetação.

PALAVRAS-CHAVE: SWAN, Margens de Reservatórios, Vegetação, Atenuação de Ondas.

WAVE ATTENUATION ON MARGINS OF RESERVOIRS DUE TO THE VEGETATION - NUMERICAL ANALYSIS THROUGHOUT SWAN-VEG MODEL APPLICATION.

ABSTRACT: This paper deals with the study of variations in significant wave heights due to the presence of submerged vegetation in margins of reservoirs. Different vegetation parameters were simulated. The study area was the reservoir of Ilha Solteira - São Paulo - Brazil (segment of Tietê-Paraná waterway). It were analyzed the significant wave height generated by prevailing winds on the reservoir and their attenuations through numerical model SWAN (*Simulating Waves Nearshore*) with vegetation

module (SWAN-VEG). In order to analyze the influence of vegetation on the wave energy attenuation, the numerical model was applied and analyzed for a local depth of 4.8 m, 300 m far from the reservoir shore. In this case, the height, density and diameter of the plants were varied. Winds speed were adopted of 5 m/s (prevailing) and maximum speed wind of 20 m/s, both acting in the direction of greater persistence of the wind (direction NE). There was obtained a maximum wave attenuation of the order of 55% in some cases, when compared to the cases without vegetation.

KEYWORDS: SWAN, Margins of reservoirs, Vegetation, Gravity waves Attenuation.

1 | INTRODUÇÃO

A Hidrovia Tietê-Paraná é uma rota de navegação que atravessa as regiões sul, sudeste e centro-oeste do Brasil. Permite a navegação do transporte de cargas e passageiros ao longo dos rios Paraná e Tietê, sendo de extrema importância para o escoamento da produção agrícola dos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e para uma parcela de Rondônia, Tocantins e Minas Gerais. A Figura 1 mostra o segmento da Hidrovia Tietê-Paraná, no reservatório da barragem de Ilha Solteira.

Em certas áreas do reservatório, as ondas geradas pelos ventos, além de poderem trazer dificuldades à navegação, são responsáveis pela erosão das margens e desbarrancamentos. Para mitigar tais efeitos, a vegetação natural ou ali inserida pode vir a atenuar as ondas e seus efeitos, traduzindo-se como opção de bioengenharia interessante, pois dissipa energia ambientais e econômicos. Portanto, é fundamental analisar a influência da vegetação sobre a redução da energia das ondas no entorno do reservatório.

Em trabalho anterior de Vieira, A.S *et al.* (2013), o modelo SWAN, Booij *et al.* (1996) foi aplicado para caracterizar as ondas geradas pelo vento sobre o reservatório da barragem (sem vegetação). É importante salientar que para o caso de Ilha Solteira houve um plano de monitoramento com medições realizadas no âmbito de projetos de investigação FINEP - ONDISA5, UNESP (1997, 2008). No entanto, essas medições foram feitas apenas em quatro locais distribuídos no reservatório, o que impossibilita uma visão geral de todo o espelho d'água, como o modelo numérico é capaz de fornecer.

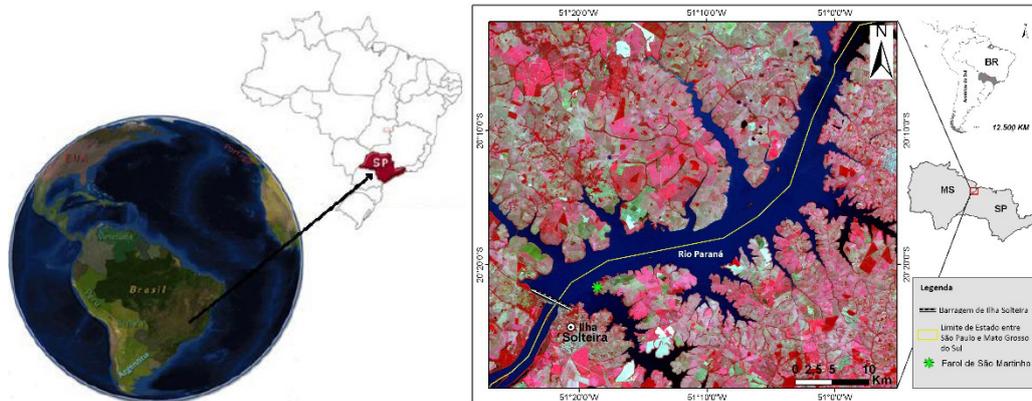


Figura 1: Reservatório da barragem de Ilha Solteira, São Paulo, Brasil.
Representação do segmento / rota da Hidrovia Tietê-Paraná. Vistas gerais.

Para analisar a influência da vegetação na redução da altura das ondas junto às margens, o objetivo 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, módulo SWAN-VEG, Suzuki *et al.* (2011), na área do reservatório da barragem de Ilha Solteira.

No modelo foram aplicados dois ventos constantes de 5 m/s e de 20 m/s, ambos na direção NE, variando as características do fator de vegetação V_f [plantas/m], altura, diâmetro e densidade de plantas para uma profundidade local de 4.8 m. Foram analisados os percentuais de atenuação das alturas significativas de ondas em três pontos do reservatório.

Assim exposto, este artigo inicia com uma breve descrição do modelo numérico utilizado (seção 2). Apresenta, na sequência, a área de estudo e características utilizadas no modelo (seção 3), e sua aplicação na seção 4. A discussão de resultados e comentários gerais são arrolados na seção 5.

2 | MODELO NUMÉRICO SWAN-VEG

2.1 Conceitos Básicos

O modelo numérico SWAN (*Simulating WAVes Nearshore*) é um modelo espectral que simula geração, propagação e dissipação de ondas do mar com base na equação de balanço da ação das ondas, Booij *et al.* (1999). Este modelo, de domínio público; é continuamente atualizado pela *Delft University of Technology* (Holanda).

O modelo SWAN é capaz de 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 e 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.

2.2 SWAN-VEG

Neste artigo, utilizou-se o modelo SWAN-VEG, Suzuki *et al.* (2011). Trata-se do modelo SWAN original com a adição do módulo de vegetação, que contém um termo de dissipação de energia devido à presença da vegetação (subtrai-se parte da energia das ondas de entrada). Isso resulta numa altura de onda inferior, uma vez que a energia da onda é menor na área com vegetação e na área posterior a mesma.

Assim, para ondas com propagação numa certa direção x , o fluxo de energia $F = E \cdot c_g$ de onda permanece constante, se nenhuma energia E for perdida ou adquirida. Isto é indicado pela equação 1.

$$\frac{\partial F}{\partial x} = 0 \rightarrow \frac{\partial}{\partial x} [E \cdot c_g] = 0, \text{ com } c_g : \text{ celeridade de grupo} \quad (1)$$

Contudo, a vegetação provoca uma diminuição do fluxo (dissipação) de energia das ondas e em novas condições de onda. Aqui o módulo de vegetação determina uma dissipação de energia de longo prazo, ε_v [kg.s⁻³], que é subtraída do fluxo de energia das ondas (Dalrymple *et al.* (1984), e Kobayashi *et al.* (1993), Mendez e Losada (2004)). O próprio modelo SWAN original não muda, apenas um termo de dissipação extra é adicionado ao mesmo, conforme indicado pela equação 2:

$$\frac{\partial F}{\partial x} = -\varepsilon_v \rightarrow \frac{\partial}{\partial x} [E \cdot c_g] = -\varepsilon_v, \text{ com } \varepsilon_v : \text{ dissipação de energia} \quad (2)$$

A expressão de dissipação é uma função das condições de onda e de vegetação, conforme demonstra a equação 3:

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

com : ρ a massa específica da água, H_{rms} o erro médio quadrático, k o número de onda e σ a frequência de onda.

A vegetação é modelada como obstáculos cilíndricos causando força de arrasto e definida por quatro parâmetros (altura - ah [m]; diâmetro - b_v [m]; densidade - N [plantas/m²] e coeficiente de arrasto - C_D [-]). Há também um parâmetro usado para quantificar a vegetação, denominado fator de vegetação (V_f [plantas/m]), dado pela equação 4.

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

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

Para este estudo de caso utilizou-se uma malha batimétrica com dimensão aproximada de 51 km por 40 km, e uma malha de vegetação, encaixadas e com resolução de 70 x 70 metros, a fim de refinar os resultados a serem obtidos. Ademais, foram locados três pontos de interesse a serem estudados, como ilustrado pela Figura 2.

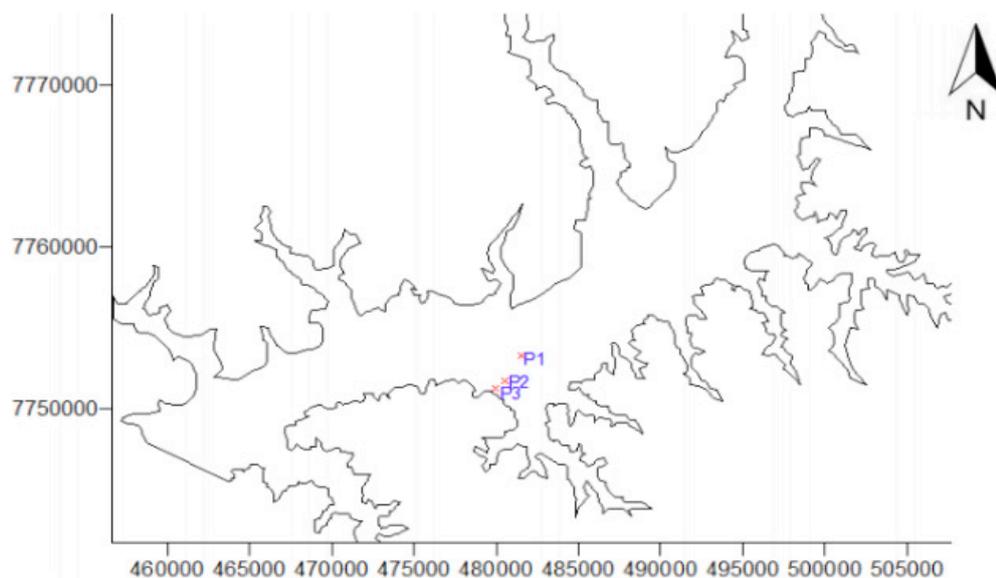


Figura 2 – Esquema de localização dos pontos para estudo.

A malha de vegetação utilizada neste estudo é ilustrada na Figura 3 em detalhe, juntamente com os pontos de interesse. Esta malha tem dimensão aproximada de 8 km na horizontal e 1,5 km na vertical (no plano desta folha).

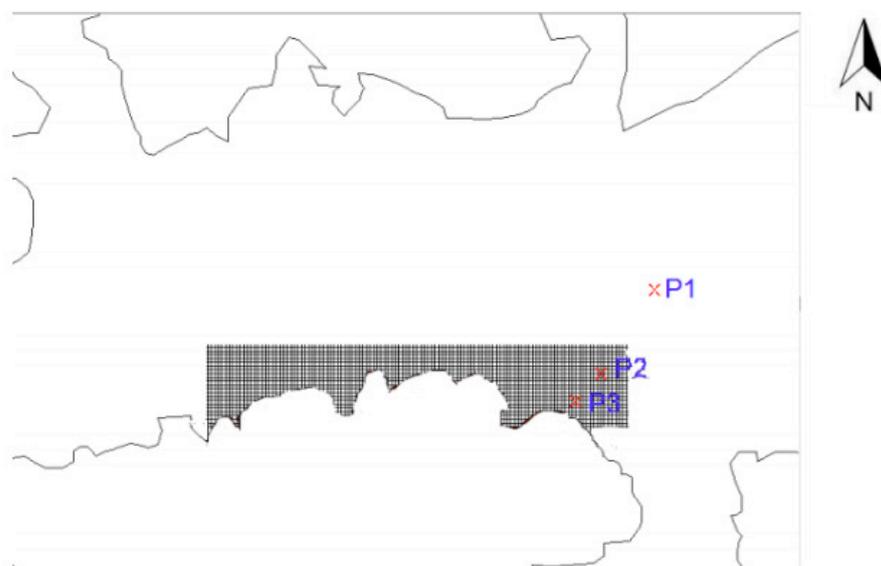


Figura 3 – Esquema de localização dos pontos para estudo.

Os pontos de interesse P1, P2 e P3 distam da margem aproximadamente 2800 m, 1000 m, e 315 m respectivamente, e suas coordenadas (UTM, para X e Y) constam na Tabela 1. O ponto P3 escolhido encontra-se no limiar entre as zonas de águas profundas e intermediárias, sendo no estudo em questão apenas considerada zona de águas profundas.

	X	Y	Z [m]
P1	481525	7753263	23.6
P2	480503	7751726	15.0
P3	479992	7751213	4.8

Tabela 1 – Coordenadas dos pontos de estudo.

Como supracitado, neste estudo foram utilizadas forçantes do vento de 5 m/s e 20 m/s, como condição de reinância local e cinética extrema, respectivamente.

O espectro direcional nos cálculos com o SWAN foi definido com uma discretização de frequência de 30 intervalos de 0.05 Hz a 3.0 Hz e uma discretização direcional de 2.5° cobrindo os 360°, o que resultou em 44 intervalos de direção. Todos 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 a 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 | ESTUDOS DE CASOS

Foram utilizados nove situações para este estudo, o que possibilitou analisar a influência do parâmetro de vegetação V_f na dissipação de energia das ondas. Nas simulações, o coeficiente de arrasto (C_D) foi considerado constante e igual a um ($C_D = 1$), com as seguintes características da vegetação: altura da vegetação (ah) igual a 2.5, 3.0, 3.5 m ; dois diâmetros (b_v), de 0.005 e 0.2 m; e quatro valores de densidade de plantas (N) de 60, 2000, 2500 e 3600 plantas/m². Estes valores geraram valores distintos de parâmetros de vegetação (V_f) de 10.0, 12.0, 12.5 e 18.0 plantas/m. Os resultados em termos de alturas significativas de ondas foram obtidos a partir destes dados e constam na Tabela 2.

	V_f (parâmetro de vegetação) [plantas/m]	ah (altura da planta [m])	b_v (diâmetro da planta) [m]	N (densidade) [plantas/m ²]	Velocidade do Vento [m/s]	H_s (altura significativa de onda) [m]
C - 1	0	-	-	-	5	1.384
	0	-	-	-	20	3.235
C - 2	12	2.5	0.2	60	5	1.390
	12	2.5	0.2	60	20	1.739
C - 3	12	3	0.2	60	5	1.394
	12	3	0.2	60	20	1.653
C - 4	12	3.5	0.2	60	5	1.410
	12	3.5	0.2	60	20	1.586
C - 5	10	2.5	0.005	2000	5	1.390
	10	2.5	0.005	2000	20	1.829
C - 6	10	3	0.005	2000	5	1.393
	10	3	0.005	2000	20	1.744
C - 7	10	3.5	0.005	2000	5	1.393
	10	3.5	0.005	2000	20	1.744
C - 8	12.5	3.5	0.005	2500	5	1.393
	12.5	3.5	0.005	2500	20	1.639
C - 9	18	3.5	0.005	3600	5	1.397
	18	3.5	0.005	3600	20	1.465

Tabela 2 – Características dos casos (C-1, C-2, C-3, ...) em estudo.

INVERTER A LINHA 5 E 20M/S E MAIS: INVERTER ESSAS COLUNAS : PRIMEIRO V_f , ah , b_v , N e depois Veloc do vento e H_s , como ultima coluna. Nas linhas: primeiro 5m/s depois 20 m/s. Ficaria um quadro mais lógico

Os dados contidos na Tabela 2 são referentes ao ponto P3, mais próximo à margem, uma vez que esta é a zona mais interessante em termos de análise para mitigação de problemas de erosão, por exemplo.

Realizando-se a análise em termos de altura significativa de onda, pôde-se determinar a percentagem de atenuação dos casos com vegetação em relação ao caso sem vegetação (C-1), levando em consideração a velocidade do vento de 20m/s, conforme apresentado na Tabela 3.

ATENUAÇÃO (%)	
C -2	46.24
C -3	48.89
C -4	50.98
C -5	43.46

C -6	46.11
C -7	46.11
C -8	49.35
C -9	54.72

Tabela 3 – Percentagem de atenuação devido a um campo vegetado, com velocidade do vento igual a 20 m/s.

Pôde-se inferir da Tabela 3 que se obtém atenuação devido a um campo vegetado da ordem de 50%, o que nos mostra que a elevação do parâmetro de vegetação V_f de 10 para 18 plantas/m² não representou alteração significativa no mecanismo de atenuação, para o estudo em questão. Todavia, observa-se que com o aumento do parâmetro de vegetação, há uma alteração na atenuação da onda, demonstrando boa resposta e sensibilidade do modelo numérico, conforme ilustra a Tabela 4.

<i>ah (m)</i>	V_f	ATENUAÇÃO (%)
2.5	10.0	43.46
	12.0	46.24
3.5	10.0	46.11
	12.5	49.35
	18.0	54.72

Tabela 4 – Análise da atenuação em relação ao parâmetro de vegetação.

5 | COMENTÁRIOS FINAIS

Este estudo apresenta a aplicação do modelo SWAN-VEG, SWAN (Team 2014), no reservatório da barragem de Ilha Solteira, São Paulo, Brasil. O modelo foi usado para simular as ondas geradas por vento no reservatório, e sua sensibilidade à quantificação da atenuação quando da presença de vegetação no fundo, junto às margens.

Foram simulados cerca de 20 estudos de caso, considerando a batimetria real, variando-se a velocidade do vento e as características da vegetação. Verificou-se que existe uma redução expressiva da altura significativa de onda quando esta atravessa uma área com vegetação. Isto é mais evidente nos casos em que a velocidade do vento é maior. Ademais, verificou-se que quando se altera o parâmetro de vegetação, não há uma variação significativa na dissipação de energia. Forte provavelmente, parâmetros de vegetação menores poderiam já ser suficientes para um nível de atenuação desejável. Vale ressaltar que a altura relativa da planta (submergência) é um parâmetro a ser considerado. Para os casos simulados, tal feito se manifestou de forma moderada no efeito da atenuação.

Assim posto, O SWAN-VEG mostrou-se eficiente na simulação de alturas

significativas de ondas e suas atenuações, para a configuração testada nestes estudos de casos, ainda que as alturas de plantas utilizadas tenham sido pouco realistas para vegetação de fundo, junto a margens, fato que não desqualifica o estudo realizado, *vis à vis* da capacidade demonstrada pelo modelo na determinação de fatores de atenuação.

Observando as percentagens significativas de atenuação os resultados se mostram promissores, afastando a alternativa ou opção de utilização de obras de contenção convencionais (de forte impacto ambiental), fazendo prevalecer a opção de bioengenharia, para contenção e proteção de margens ao embate de ondas geradas por vento no entorno do reservatório.

A caracterização da vegetação real presente no reservatório de Ilha Solteira, com medições *in situ*, junto às margens, assim como uma batimetria mais atual e refinada, constituem tarefas cruciais para trabalhos futuros, dada a necessidade de se prever a contribuição efetiva desse agente dinâmico no processo erosivo e nos indicadores de fragilidade do entorno do reservatório.

REFERÊNCIAS

- 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 FINESP Brazilian agencies.**

VIEIRA, A.S., 2013. **Análises, Aplicações e Validações – Numérico/Experimentais do Modelo SWAN em Áreas Restritas e ao Largo.** 251f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira – SP – Brasil.

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.** Proc. 6th SCACR – International Short Course/Conference on Applied Coastal Research, 4-7 June, LNEC, Lisbon.

SOBRE O ORGANIZADOR

LUIS MIGUEL SCHIEBELBEIN Possui graduação em Agronomia pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (1997) e mestrado em Ciências do Solo pela Universidade Federal do Paraná (2006), Doutorado em Agronomia - Fisiologia, Melhoramento e Manejo de Culturas, pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (2017). Atualmente é Professor dos Cursos de Agronomia, Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo e Superior Tecnológico em Radiologia e de Pós-Graduação em Agronegócio e Gestão Empresarial do Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais (CESCAGE). É revisor da Revista de Ciências Agrárias - CESCAGE, Professor Colaborador do Curso de Agronomia da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) . Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Agricultura de Precisão, atuando principalmente nos seguintes temas: Agricultura de Precisão, Geoprocessamento, Modelagem e Ecofisiologia da Produção Agrícola, Agrometeorologia, Hidrologia, Mecanização, Aplicação em Taxa Variável, Fertilidade do Solo e Qualidade.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-024-7

