



**Flávia Rebelo Mochel**  
**(Organizadora)**

# Gerenciamento Costeiro e Gerenciamento Portuário 2

**Atena**  
Editora  
Ano 2019

Flávia Rebelo Mochel  
(Organizadora)

# Gerenciamento Costeiro e Gerenciamento Portuário 2

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Executiva: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira  
Diagramação: Rafael Sandrini Filho  
Edição de Arte: Lorena Prestes  
Revisão: Os Autores

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

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

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  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

#### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará



Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
G367	Gerenciamento costeiro e gerenciamento portuário 2 [recurso eletrônico] / Organizadora Flávia Rebelo Mochel. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. – (Gerenciamento Costeiro e Gerenciamento Portuário; v. 2)  Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-620-1 DOI 10.22533/at.ed.201191109  1. Portos – Administração. I. Atena Editora.  CDD 387.1
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

A obra “Gerenciamento Costeiro e Gerenciamento Portuário 2” é uma coletânea de trabalhos científicos que situa a discussão sobre tópicos do desenvolvimento e seus impactos socioambientais em diversas localidades da zona costeira brasileira, de maneira interdisciplinar e contextualizada.

Os capítulos abordam resultados de investigações, estudos de caso, aplicações de tecnologias, modelagens e protocolos de pesquisa, nos campos das Ciências Ambientais e Sociais, Geociências, Engenharia Ambiental, Planejamento e Gestão de atividades socioeconômicas.

Neste segundo volume, o objetivo essencial foi difundir o conhecimento adquirido por diferentes grupos de pesquisa e apresentar o que está sendo desenvolvido nas instituições de ensino e pesquisa do país no tocante às aplicabilidades desse conhecimento para a gestão das áreas costeiras e portuárias. A demanda crescente por áreas para o estabelecimento de indústrias, terminais, embarcadouros, expansão das cidades, para o incremento da economia, geração de emprego e renda, desemboca nos desafios de gerir atividades conflitantes e nas consequências sobre a sociedade e o meio ambiente. Somam-se à ocupação humana, a dinâmica natural da zona costeira, influenciada por uma indissociável interação oceano-atmosfera, por movimentos sísmicos e eustáticos, modelando ambientes de alta e baixa energia, alterando o nível dos mares e reestruturando o litoral e as populações que aí vivem.

A complexidade dos fatores intrínsecos à uma zona de interface entre moduladores continentais e marinhos remete à importância de políticas públicas específicas de gerenciamento socioambiental, debatidas e construídas em consonância com a sociedade.

Conteúdos apresentados aqui se propõem a contribuir com o conhecimento de educadores, pesquisadores, estudantes e todos os interessados na zona costeira em seus aspectos metodológicos, conceituais e operacionais, ambiente esse frágil e heterogêneo vital para a manutenção da economia, da sociedade e da vida.

A Atena Editora investe na relevância da divulgação científica ao oferecer ao público uma obra que contém registros obtidos por diversos grupos de pesquisa comprometidos com a sustentabilidade e exposta de maneira objetiva e educativa.

Flávia Rebelo Mochel

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
COMPACTAÇÃO DE PRAIS ARENOSAS: EFEITOS DE ESPIGÕES COSTEIROS E TRÁFEGO DE VEÍCULOS, ILHA DO MARANHÃO – BRASIL	
Janiussom da Costa Botão	
Brunno Jansen Franco	
Daniel de Matos Pereira	
Jordan Syllas Saraiva Leite	
Saulo Santiago de Albuquerque	
Thais da Silva Melo	
Valléria Vieira Pereira	
Leonardo Gonçalves de Lima	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2011911091</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>13</b>
AVALIAÇÃO DO CLIMA DE ONDAS <i>SWELL</i> NA PLATAFORMA CONTINENTAL DO MARANHÃO E SEU COMPORTAMENTO SOB CONDIÇÕES EXTREMAS	
Gustavo Souza Correia	
Cláudia Klose Parise	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2011911092</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>26</b>
APLICABILIDADE DO MODELO HABITAT RISK ASSESSMENT DO INVEST PARA GESTÃO DE ÁREAS DE PROTEÇÃO AMBIENTAL	
Laura Dias Prestes	
Julia Nyland do Amaral Ribeiro	
Milton Lafourcade Asmus	
Tatiana Silva da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2011911093</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>36</b>
ESTIMATIVA DAS TAXAS DE TRANSPORTE SEDIMENTAR AO LONGO DA COSTA BRASILEIRA	
Tháisa Beloti Trombetta	
William Correa Marques	
Ricardo Cardoso Guimarães	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2011911094</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>48</b>
A PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO CULTURAL COSTEIRO E O PROGRAMA DE VISITAÇÃO E CONSERVAÇÃO DA ILHA DO CAMPECHE	
Gabriela Decker Sardinha	
Camila Andreussi	
Diego Melo Arruda Rodrigues	
Fernanda Cirello	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2011911095</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>59</b>
ABORDAGEM INTEGRADA PARA A RECUPERAÇÃO DE MANGUEZAIS DEGRADADOS EM ÁREAS PORTUÁRIAS COM ESTUDO DE CASO EM SÃO LUÍS, MARANHÃO	
Flávia Rebelo Mochel	
Ivanilson Luiz Alves Fonseca	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2011911096</b>	

<b>CAPÍTULO 7 .....</b>	<b>72</b>
ROUTE BRASIL: UMA ROTA DE SOLUÇÕES PARA O PROBLEMA DO LIXO NO MAR	
<a href="#">Simao Filippe Pedro da Costa</a> <a href="#">Tony de Carlo Vieira</a> <a href="#">Nicole Machado Correa</a> <a href="#">Julia Nyland do Amaral Ribeiro</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2011911097</b>	
<b>CAPÍTULO 8 .....</b>	<b>75</b>
MONTAGEM, VALIDAÇÃO E INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA SENSOR ULTRASSÔNICO DE BAIXO CUSTO PARA MEDIÇÃO DE NÍVEL FREÁTICO EM AMBIENTES COSTEIROS	
<a href="#">Bento Almeida Gonzaga</a> <a href="#">Deivid Cristian Leal Alves</a> <a href="#">Jean Marcel de Almeida Espinoza</a> <a href="#">Miguel da Guia Albuquerque</a> <a href="#">Tatiana de Almeida Espinoza</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2011911098</b>	
<b>CAPÍTULO 9 .....</b>	<b>85</b>
MORPHODYNAMICS AND MACROFAUNA COMMUNITIES IN 12 SANDY BEACHES OF BRAZIL NORTHEAST: A SEMIARID TROPICAL STUDY	
<a href="#">Liana Rodrigues Queiroz</a> <a href="#">Cristina de Almeida Rocha-Barreira</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2011911099</b>	
<b>CAPÍTULO 10 .....</b>	<b>107</b>
OS OBJETIVOS DA AGENDA AMBIENTAL PORTUÁRIA COMO INSTRUMENTOS DE ARTICULAÇÃO ENTRE GESTÃO AMBIENTAL PORTUÁRIA E GERENCIAMENTO COSTEIRO: AÇÕES DESENVOLVIDAS NO PORTO DE SUAPE (PERNAMBUCO)	
<a href="#">Sara Cavalcanti Wanderley de Siqueira</a> <a href="#">Danielle Cássia dos Santos</a> <a href="#">Thaís de Santana Oliveira</a> <a href="#">Ingrid Zanella Andrade Campos</a> <a href="#">Daniele Laura Bridi Mallmann</a> <a href="#">Matheus Aragão de Melo Gusmão</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.20119110910</b>	
<b>CAPÍTULO 11 .....</b>	<b>114</b>
ANÁLISE POR SENSORIAMENTO REMOTO DE ÁREAS SOB EROÇÃO EM MANGUEZAIS E SISTEMAS COSTEIROS NO MUNICÍPIO DE APICUM AÇU, ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL-APA- DAS REENTRÂNCIAS MARANHENSES, BRASIL	
<a href="#">Flávia Rebelo Mochel</a> <a href="#">Cássio Ibiapina Cardoso</a> <a href="#">Ivanilson Luís Alves Fonseca</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.20119110911</b>	
<b>SOBRE A ORGNIZADORA .....</b>	<b>126</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO .....</b>	<b>127</b>

## AVALIAÇÃO DO CLIMA DE ONDAS SWELL NA PLATAFORMA CONTINENTAL DO MARANHÃO E SEU COMPORTAMENTO SOB CONDIÇÕES EXTREMAS

### **Gustavo Souza Correia**

Universidade Federal do Maranhão,  
Departamento de Oceanografia e Limnologia,  
Laboratório de Estudos e Modelagem Numérica,  
São Luís – Maranhão.

### **Cláudia Klose Parise**

Universidade Federal do Maranhão,  
Departamento de Oceanografia e Limnologia,  
Laboratório de Estudos e Modelagem Numérica,  
São Luís – Maranhão.

**RESUMO:** A implementação de obras de engenharia costeira e de atividades de tráfego náutico demandam o conhecimento da dinâmica de propagação de ondas oceânicas superficiais de gravidade em condições não somente climatológicas, mas especialmente do estado de agitação marítima em condições extremas ou de alta energia. A escassez de dados *in situ* ainda dificulta os estudos de caracterização física dos ambientes marinhos, os quais baseiam-se em dados de reanálise oceânica e modelagem numérica. O presente estudo teve como objetivo a implementação de um modelo numérico regional de águas rasas (Modelo SWAN) capaz de simular a geração e propagação de ondas oceânicas sobre a Plataforma Continental do Maranhão (PCMA), de modo a avaliar o padrão de propagação de ondas de mais longo período (ondas *swell*)

sob condições climáticas extremas e suas transformações ao se propagar de águas profundas para águas rasas. Os experimentos numéricos foram realizados no modo estacionário, para cada mês do ano (Janeiro a Dezembro), utilizando-se como condição de borda a climatologia mensal da altura significativa ( $H_s$ ), período de pico ( $T_p$ ) e direção de pico ( $D_p$ ) das ondas para as simulações climatológicas e considerando valores máximos de  $H_s$  nas simulações de eventos extremos, e velocidade e direção do vento constantes ao longo da grade computacional, considerando-se a variação entre os meses. Os resultados apontaram que as simulações das ondas *swell* registraram alturas entre 1,5 m e 2 m nas simulações climatológicas sobre a PCMA. Sob condições extremas de  $H_s$ , a altura de *swell* chegou aos 3m, principalmente no verão austral, na região norte do domínio, apresentando sazonalidade em seu padrão espacial de propagação. Em condições extremas de  $H_s$  na PCMA, observou-se alterações na altura do *swell*, embora espacialmente seu padrão de propagação se mantenha similar às condições climatológicas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Modelo SWAN; Clima de Onda *Swell*; Plataforma Continental do Maranhão.



## EVALUATION OF SWELL WAVES CLIMATE IN THE CONTINENTAL PLATFORM OF MARANHÃO AND ITS BEHAVIOR UNDER EXTREME CONDITIONS

**ABSTRACT:** The implementation of coastal engineering works and nautical traffic activities demand knowledge of the propagation dynamics of surface gravity waves in conditions not only climatological but especially the state of marine agitation in extreme or high energy conditions. The scarcity of in situ data still hampers studies of the physical characterization of marine environments, which are based on data from oceanic reanalysis and numerical modeling. The present study aimed to implement a regional numerical model of shallow water (SWAN Model) capable of simulating the generation and propagation of ocean waves on the Continental Platform of Maranhão (PCMA), in order to evaluate the wave propagation pattern (swell waves) under extreme climatic conditions and their transformations when propagating from deep water to shallow water. The numerical experiments were carried out in stationary mode for each month of the year (January to December), using the monthly climatology of significant height ( $H_s$ ), peak period ( $T_p$ ) and peak direction ( $D_p$ ) of the waves for the climatological simulations and considering maximum values of  $H_s$  in the simulations of extreme events, and wind speed and wind direction constant along the computational grid, considering the variation between the months. The results showed that the swell wave simulations registered heights between 1.5 m and 2 m in the climatological simulations on PCMA. Under extreme  $H_s$  conditions, swell height reached 3m, mainly in austral summer, in the northern region of the domain, showing seasonality in its spatial propagation pattern. Under extreme conditions of  $H_s$  in PCMA, changes in swell height were observed, although spatially its propagation pattern remained similar to the climatic conditions.

**KEYWORDS:** SWAN Model; Swell Wave Climate; Continental Platform of Maranhão.

### 1 | INTRODUÇÃO

A análise da gênese e propagação das ondas oceânicas superficiais de gravidade e suas transformações ao se deslocarem de águas profundas para águas rasas é peça primordial na determinação da evolução da linha de costa e dos processos costeiros que a modulam. O estado de agitação marítima é estudado pelo comportamento de ondas de gravidade superficiais que surgem da interação dinâmica da baixa troposfera com a superfície do oceano. A formação dessas ondas oceânicas ocorre principalmente nas médias latitudes (especificamente na região das *storm tracks*) e latitudes tropicais (região sob a influência dos ventos alísios e tempestades tropicais), tendo um papel importante na variabilidade do clima de ondas global e conseqüentemente no transporte de sedimentos em água rasas (da SILVA, 2013).

As ondas do tipo vagas (ou ondas *sea*) são geradas na zona de atuação do vento (*fetch*) e viajam com velocidade de fase, enquanto que as ondas do tipo ondulações (ou ondas *swell*) são geradas na zona de dispersão, onde não há mais a atuação direta do vento e após agruparem-se com outras ondas passam a viajar com velocidade de

grupo (FERNANDES *et al.* 2015). À medida que as ondas se propagam para longe de sua zona de geração, ou quando sua velocidade de fase se sobrepõe à velocidade do vento, elas são chamadas de *swell* e são conhecidas por percorrerem longas distâncias pelo globo.

O conhecimento do clima de ondas oceânicas de uma região é de extrema importância para a gestão e ordenamento da zona costeira, constituindo informação base para a determinação do grau de exposição de uma praia a eventos energéticos e conseqüentemente seu potencial erosivo (SAMPAIO, 2008). Neste sentido, os modelos numéricos de geração e propagação de ondas oceânicas de gravidade têm se apresentado como uma excelente ferramenta para o estudo das características da agitação marítima em regiões costeiras pois, além de simular suas características integradas (e.g., altura, direção e período), permitem a realização de experimentos de sensibilidade que visem avaliar suas transformações (onda-sedimento) em águas rasas por processos costeiros tais como refração e difração.

A melhoria na representação dos processos iniciais de formação e crescimento das ondas têm sido o foco principal para desenvolvedores de modelos numéricos de propagação de ondas, visando o aprimoramento e acurácia das previsões de onda geradas pelo vento. Recentemente, o interesse sobre o estudo das ondas *swell* tem aumentado na comunidade científica, uma vez que estas transportam a maior parte da energia das ondas na superfície do oceano, motivo de preocupação para a infraestrutura *offshore* e costeira. Estudos também têm mostrado que as ondas *swell* têm maior impacto sobre a camada limite oceânica e atmosférica, aumentando o trabalho gerado sobre a atmosfera sobreposta à perturbação e resultando num fluxo reverso de momento (SEMEDO *et al.*, 2011).

Um dos modelos mais utilizados na geração e previsão da agitação marítima é o modelo *SWAN (Simulating WAVes Nearshore)*, que permite o cálculo da evolução do espectro direcional desde a zona de geração até à zona costeira, obtendo-se os parâmetros da ondulação característicos dos locais de interesse. A análise do clima de ondas de mais longo período geradas pelo vento é fundamental para estudos sobre a atuação das ondas e seus efeitos sobre a dinâmica costeira, sobretudo em condições energéticas associadas a eventos extremos. Dessa forma, espera-se que os produtos obtidos deste estudo possam servir como base para a continuidade das pesquisas sobre as ondas oceânica e processos costeiros no litoral maranhense, auxiliando na tomada de decisões do poder público quanto às atividades econômicas, como comércio, indústria e turismo, que dependem da navegação, e, conseqüentemente, das condições climatológicas e extremas da agitação marítima na região.

## 2 | METODOLOGIA

Este estudo foi realizado para o domínio regional referente à Plataforma Continental do Maranhão (PCMA) e região oceânica adjacente, entre as latitudes de

2°S e 4°N e longitudes de 46°W e 40°W.

Os dados obtidos foram utilizados como condições de borda (para as bordas abertas Norte, Leste e Oeste do domínio) em duas modalidades de simulações estacionárias com o modelo de ondas SWAN: climatológica e extremo máximo. Na primeira, a partir da criação de um climatológico, foi possível representar as condições normais para cada mês (janeiro a dezembro) das ondas oceânicas ao longo da PCMA. Na segunda, foi realizado um tratamento prévio para determinar valores máximos de altura significativa de onda ( $H_s$ ) para cada borda do domínio, os quais foram inseridos como condição de contorno, juntamente com as condições climatológicas das demais variáveis.

## 2.1 Dados de Entrada para o Modelo de Propagação de Ondas

Este estudo baseou-se na análise dos parâmetros de altura significativa ( $H_s$ ), período de pico ( $T_p$ ) e direção de pico ( $D_p$ ) das ondas e suas forçantes (i.e., velocidade e direção do vento) para o domínio da PCMA e região oceânica adjacente oriundos da base de dados de reanálise oceânica do *WaveWatch III* para o período de onze (11) anos (2006 a 2016). Os dados do *WaveWatch III* são gerados pelo *National Oceanic and Atmospheric Administration* sob forçantes do *Climate Forecast System Reanalysis Reforecast* (CFSRR) (TOLMAN, 2002), disponível em <http://polar.ncep.noaa.gov>. Esses dados possuem resolução espacial de 0,5° em latitude e 0,5° em longitude, disponíveis em domínio global, e uma resolução temporal de 3h. O *WaveWatch III* é um modelo de ondas de terceira geração desenvolvido pelo *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP), órgão subordinado ao NOAA. O modelo calcula a evolução espacial e temporal do espectro bidimensional de ondas, baseada na Conservação da Densidade Espectral por meio da equação de transporte advectivo (MASSEL, 2017).

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(C_x N) + \frac{\partial}{\partial y}(C_y N) + \frac{\partial}{\partial \sigma}(C_\sigma N) + \frac{\partial}{\partial \theta}(C_\theta N) = \frac{S_\Sigma}{\sigma} \quad (1)$$

Onde,  $N$  é a densidade de ação de onda,  $t$  é o tempo,  $\omega$  é a frequência angular relativa,  $\theta$  é a direção de onda. Os quantificadores  $C_x$  e  $C_y$  são as velocidades de grupo no espaço geográfico e  $C_\sigma$  e  $C_\theta$  são as velocidades de propagação no espaço espectral. Todos os outros processos físicos são determinados por termos de ganho e perda de energia diretamente inseridos como formulações empíricas no termo  $S$  no último termo da equação.

Os dados de batimetria utilizados nas simulações numéricas com o modelo SWAN foram obtidos do *Gridded Bathymetric Chart of the Oceans* (IOC, IHO, BODC, 2003), disponíveis em [www.gebco.net](http://www.gebco.net) na resolução de 0,5 minuto de arco (aproximadamente 0,0083°). A base de dados utilizada no presente estudo (GEBCO 2014) é uma versão atualizada da GEBCO 2008, oriunda de um modelo de terreno contínuo para oceano

e continente. A porção batimétrica da grade foi desenvolvida de uma base de dados de sondagem realizada por navios, com interpolação entre as sondagens guiadas por dados de gravidade derivados de satélite. O GEBCO também inclui dados de mapeamento regional com o intuito de melhorar o modelo batimétrico global. A partir da batimetria oriunda da base de dados GEBCO, foi criada uma grade de resolução espacial de  $0,1^\circ$ , para ser fornecida ao modelo de onda como condição de fundo (Figura 1).

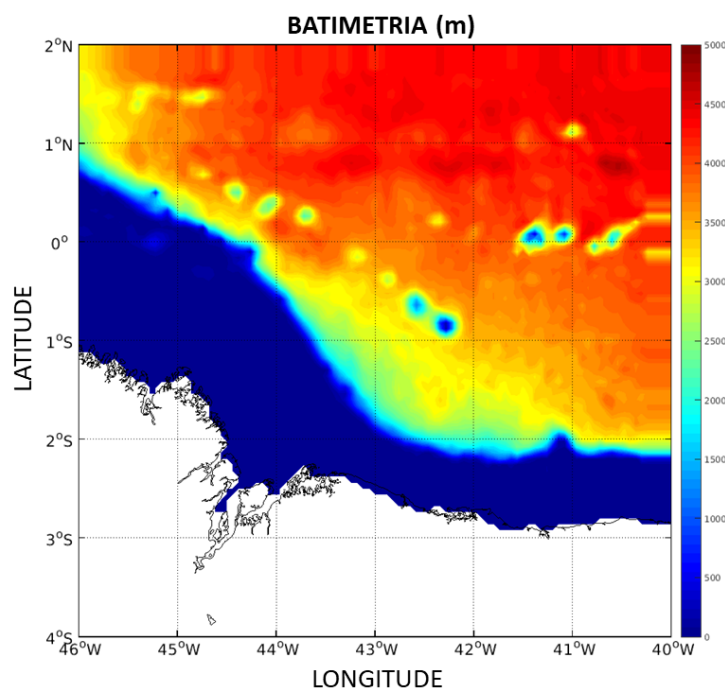


Figura 1: Batimetria regional para o domínio da Plataforma Continental do Maranhão (PCMA) elaborada a partir da base de dados GEBCO com resolução espacial de  $0,0083^\circ$ .

Fonte: Do autor.

## 2.2 Modelo de Águas Rasas

O modelo regional utilizado neste estudo foi o *Simulating Waves Nearshore* (SWAN) (HOLTHUIJSEN et al., 1993), um modelo de ondas de terceira geração, desenvolvido pela *Delft University of Technology*, que calcula a propagação espectral das ondulações, partindo das condições de batimetria e condições de onda iniciais e de contorno, e usa como forçante do sistema, o vento local (BOUIJ et al, 1999; RIS et al., 1999). O modelo SWAN resolve a equação de transporte advectivo na forma espectral e representa os processos costeiros de refração, difração e empolamento (ou *shoaling*) de onda, bem como o bloqueio e reflexão das ondas causados por correntes opostas e obstáculos. A dissipação é representada pela quebra das ondas devido à diminuição da profundidade, atrito de fundo e interações não lineares. Este modelo foi projetado para estimativas realistas de ondas em regiões costeiras, mas pode ser utilizado em outras escalas relevantes para estudos de ondas de gravidade de superfície forçadas pelo vento.



## 2.3 Simulações Numéricas com o Modelo SWAN

Os experimentos numéricos realizados com o modelo de ondas de águas rasas SWAN foram configurados de modo a simular condições climatológicas e extremas de  $H_s$ , visando a avaliação dos padrões espaciais de propagação das ondas swell sobre a PCMA para cada mês do ano (Janeiro a Dezembro), ou seja, no modo estacionário no tempo. As condições de borda para os experimento climatológicos constituíram-se do ciclo anual ou ano climatológico (considerando o período de 2006 a 2016) dos parâmetros de onda ( $H_s$ ,  $T_p$  e  $D_p$ ) e vento (velocidade e direção do vento). Esse último, além de estacionário no tempo, foi mantido constante em toda a grade computacional (Tabela 4), considerando-se também a climatologia mensal. Já as condições de borda para as simulações de ondas sob condições extremas de  $H_s$  foram utilizados os valores máximos de  $H_s$  para cada uma das bordas abertas do domínio. As condições de contorno para ambos os grupos de experimentos são mostradas nas Tabelas 1, 2 e 3 as quais são referentes às bordas Norte (Tabela 1), Leste (Tabela 2) e Oeste (Tabela 3) do domínio.

<b>Borda Norte</b>				
<b>Mês</b>	<b><math>H_s</math> (Clim)</b>	<b><math>H_s</math> (Máx)</b>	<b><math>T_p</math></b>	<b><math>D_p</math></b>
Jan	3,61	3,61	11,51	359,92
Fev	3,76	3,76	11,49	359,80
Mar	3,36	3,36	11,71	359,95
Abr	2,89	2,89	10,92	359,92
Mai	2,59	2,59	9,63	359,61
Jun	2,56	2,56	9,02	358,12
Jul	2,81	2,81	9,03	129,49
Ago	3,01	3,01	8,64	202,23
Set	3,22	3,22	9,38	359,65
Out	3,20	3,20	11,41	359,93
Nov	2,93	2,93	11,46	359,93
Dez	3,81	3,81	11,79	359,96

Tabela 1: Condições de contorno da borda Norte utilizadas nas simulações estacionárias sob condições climatológicas ( $H_{s \text{ Clim}}$ ) e máximas ( $H_{s \text{ Máx}}$ ) de  $H_s$ .

<b>Borda Leste</b>				
<b>Mês</b>	<b><math>H_s</math> (Clim)</b>	<b><math>H_s</math> (Máx)</b>	<b><math>T_p</math></b>	<b><math>D_p</math></b>
Jan	3,33	3,33	12,18	359,97
Fev	3,32	3,32	11,79	359,94
Mar	3,02	3,02	12,30	359,97
Abr	2,58	2,58	11,50	359,96
Mai	2,71	2,71	9,76	359,90
Jun	2,81	2,81	9,17	359,37
Jul	3,07	3,07	8,74	132,77
Ago	3,29	3,29	8,36	130,65

Set	3,43	3,43	9,02	359,06
Out	3,27	3,27	11,08	359,92
Nov	3,12	3,12	11,24	359,98
Dez	3,53	3,53	12,00	359,97

Tabela 2: Condições de contorno da borda Leste utilizadas nas simulações estacionárias sob condições climatológicas ( $H_{s \text{ Clim}}$ ) e máximas ( $H_{s \text{ Máx}}$ ) de  $H_s$ .

<b>Borda Oeste</b>				
<b>Mês</b>	<b><math>H_s</math> (Clim)</b>	<b><math>H_s</math> (Máx)</b>	<b><math>T_p</math></b>	<b><math>D_p</math></b>
Jan	2,96	2,96	10,72	358,96
Fev	2,85	2,85	10,48	359,33
Mar	2,62	2,62	10,37	358,85
Abr	2,42	2,42	10,00	332,93
Mai	2,08	2,08	9,02	330,40
Jun	2,06	2,06	8,52	292,84
Jul	2,23	2,23	7,78	116,17
Ago	2,35	2,35	7,63	249,65
Set	2,31	2,31	8,32	247,38
Out	2,64	2,64	10,43	330,70
Nov	2,29	2,29	10,26	320,62
Dez	2,90	2,90	10,64	321,39

Tabela 3: Condições de contorno da borda Oeste utilizadas nas simulações estacionárias sob condições climatológicas ( $H_{s \text{ Clim}}$ ) e máximas ( $H_{s \text{ Máx}}$ ) de  $H_s$ .

<b>Vento</b>		
<b>Mês</b>	<b>Direção (°)</b>	<b>Velocidade (m/s)</b>
Jan	269,38	7,68
Fev	269,73	7,76
Mar	269,51	7,69
Abr	268,50	7,26
Mai	255,02	7,12
Jun	213,88	7,25
Jul	175,76	8,20
Ago	176,56	8,95
Set	184,16	8,81
Out	216,26	8,48
Nov	197,76	8,14
Dez	214,71	7,93

Tabela 4: Valores de ventos inseridos uniformemente em toda a grade computacional.

### 3 | PROPAGAÇÃO DE ONDAS SWELL NA PLATAFORMA CONTINENTAL DO MARANHÃO

As figuras 2 a 4 mostram a propagação das ondas *swell* sobre a região da PCMA sob condições climatológicas e máximas de  $H_s$  para o período de 2006 a 2016.

As simulações climatológicas apontaram que as maiores alturas de onda *swell* estão ocorreram principalmente no verão austral (Dezembro – Janeiro – Fevereiro), com valores variando entre 1,5 m e 2 m, e se propagando a partir do nordeste do domínio e diminuindo em altura a medida que se aproxima da costa. O mês de Junho mostrou-se com as menores alturas de ondas *swell*, com valores abaixo de 1m em todo o domínio da PCMA (Figura 2 a 4).

A partir da simulação sob condições extremas de  $H_s$ , pôde-se observar que as alturas das ondas *swell* foram bastante modificadas em comparação às condições climatológicas, embora o padrão espacial de propagação tenha se mantido. Ou seja, nos meses de Dezembro – Janeiro – Fevereiro (verão austral), as alturas de ondas *swell* chegaram a 3 m na borda norte do domínio (Figura 2). O mês com as menores alturas de onda *swell* nas simulações climatológicas (no caso, Junho) também sofreu mudanças, apresentando ondas *swell* com altura próxima a 1,7 m, localizadas entre as latitudes de 2°N a 0° e longitude de 43°W a 40°W.

As maiores diferenças entre as simulações máximas e climatológicas foram registradas nos meses de Maio – Junho e Agosto (Figura 3) e Setembro (Figura 4), com extensas áreas do oceano apresentando um viés de +0,6 m. Houveram registros de 0m de diferença, como nas regiões mais próximas da costa, especialmente nos meses de Janeiro, Março e Dezembro. Ou seja, nesses casos a altura de onda *swell* não se alterou em função de um aumento, a nível extremo, da altura significativa de onda no domínio da PCMA.

Dentre os fatores geradores de eventos extremos de ondas *swell* estão as alterações na temporada dos furacões do Atlântico Norte ocasionadas principalmente por modos de variabilidade climáticos tais como o Modo Meridional do Atlântico, o El Niño – Oscilação Sul, a Oscilação do Atlântico Norte e a Oscilação Madden-Julian (KOSSIN *et al.*, 2010; NOAA, 2014).

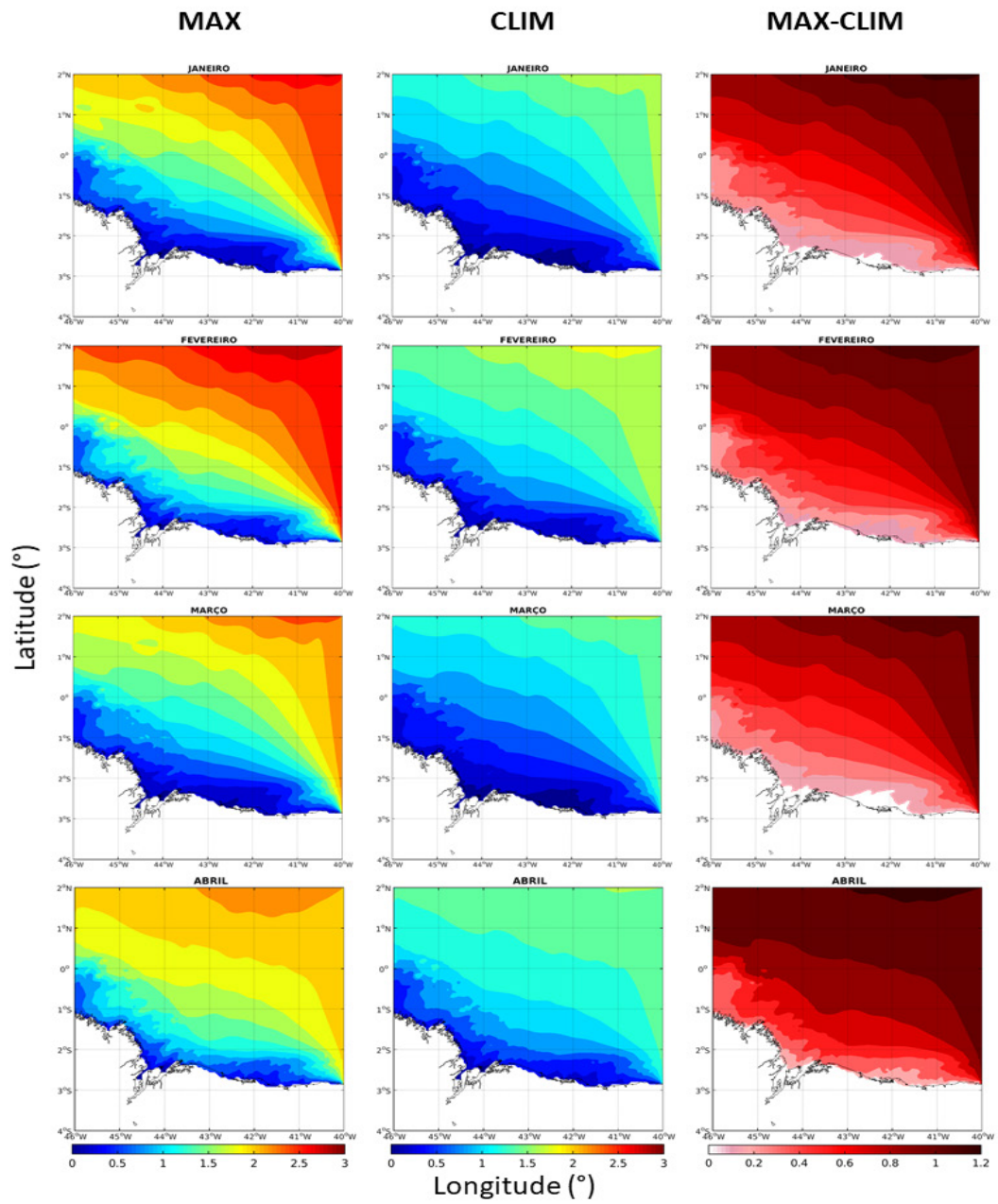


Figura 2: Altura de ondas swell (experimento máximo, climatológico e diferença) para o domínio da PCMA, nos meses de Janeiro a Abril.



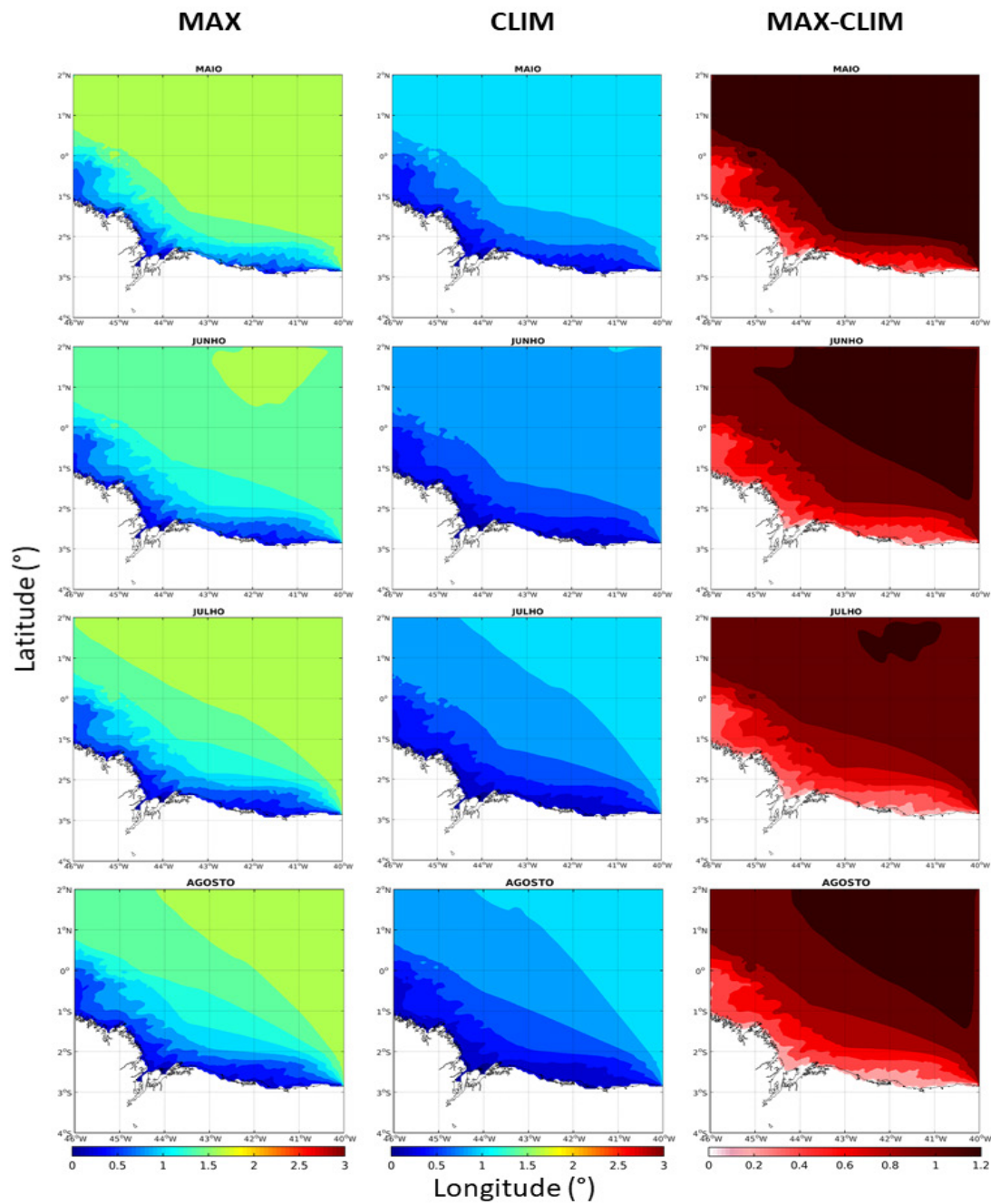


Figura 3: Altura de ondas *swell* (experimento máximo, climatológico e diferença) para o domínio da PCMA, nos meses de Maio a Agosto.

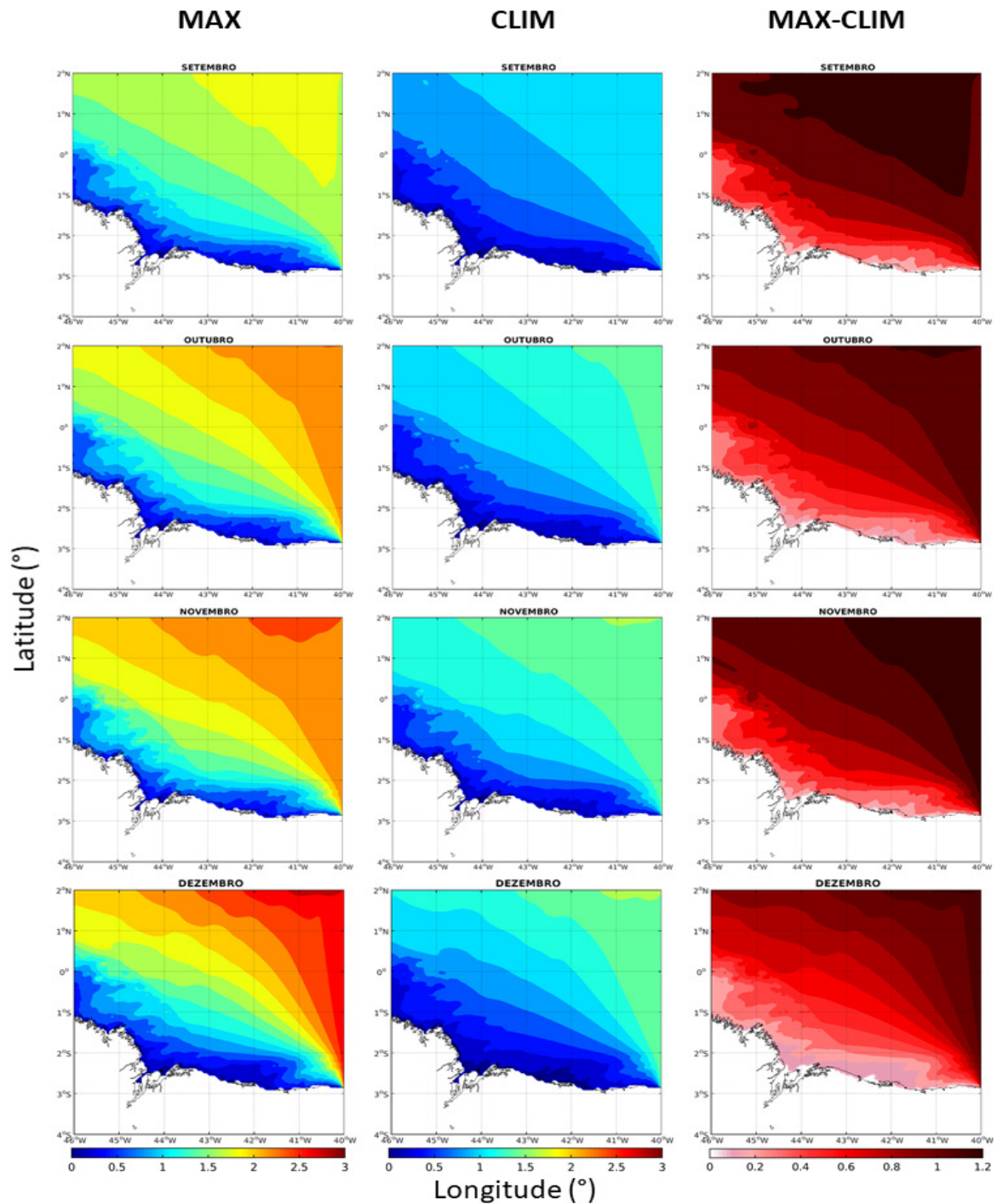


Figura 4: Altura de ondas *swell* (experimento máximo, climatológico e diferença) para o domínio da PCMA, nos meses de Setembro a Dezembro.

#### 4 | CONCLUSÃO

O entendimento das diferenças entre o que está dentro da normalidade (climatologia) e o que pode mudar sob condições adversas (como pelo aumento da altura significativa de onda) é indispensável para o manejo mais eficiente de obras costeiras e gerenciamento costeiro.

O clima de ondas *swell* atuante sobre a Plataforma Continental do Maranhão apresenta sazonalidade em seu comportamento e propagação, registrando maiores valores principalmente no verão austral (Dezembro a Fevereiro). As simulações de

eventos extremos exibiram um aumento no tamanho da onda (altura de  $swell_{m\acute{a}x}$ : 3m), ou seja, em condição de altura significativa de onda superior às medias climatologicas, o estado de agitação maritima, no que se refere às ondas de mais longo período, sobre a PCMA se altera em magnitude, mas nem tanto espacialmente. Este estudo concluiu que condições extremas de altura de onda significativa para os últimos 11 anos analisados (2006-2016) elevam em 1 m a altura de ondulações de mais longo período, as quais atuam no retrabalhamento mais eficiente da região costeira adjacente à PCMA.

Os experimentos realizados com o modelo SWAN foram pioneiros em simular e propor um padrão de propagação de ondas *swell* sobre a PCMA. O estudo não visou determinar o espectro de energia, mas  possível inferir que o setor nordeste e borda leste são os mais energéticos do domínio estudado, considerando o registro de ondas *swell* de maior altura (as quais, por natureza, propagam mais energia que ondas vagas) observados nessas áreas, reduzindo em tamanho durante sua propagação em direção à profundidades mais rasas. A caracterização energética pode ser ferramenta de trabalhos futuros, a partir dos produtos obtidos nessa pesquisa.

## REFERÊNCIAS

BOOIJ, N.; RIS, R. C.; HOLTHUIJSEN, L. H. A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation, **J. Geophys. Res.**, v. 104, n. C4, 1999.

Da SILVA, P. E. D. **Caracterização do padrão de ondas na costa do Brasil por meio de modelagem numérica**, São José dos Campos: INPE, 2013, xxxiv + 194 p.

FERNANDES, E. H. L.; JÚNIOR, O. O. M. e CUCHIARA, D. C. Ondas. *In*: CASTELLO, J. P. e KRUG, L. C. **Introdução às Ciências do Mar**. Pelotas: Editora Textos, 2015.

HOLTHUIJSEN, L.H.; VAN VLEDDER, G.P. The directional response of ocean waves to turning winds, **Journal of Physical Oceanography**, V. 24, N. 2, 1993.

IOC, lho. BODC. **Centenary edition of the GEBCO digital atlas**, 2003.

KOSSIN, J. P.; CAMARGO, S. J. e SITKOWSKI, M. **Climate modulation of North Atlantic hurricane tracks**. *Journal of Climate*, v. 23, n. 11, p. 3057-3076, 2010.

MASSEL, S. R. **Ocean Surface Waves: Their Physics and Prediction (Third Edition)**, World Scientific: Singapore, 800 pp, 2017.

NOAA. 2014. **Impacts of El Niño and La Niña on the hurricane season**. Disponível em: <https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/impacts-el-ni%20o-and-la-ni%20a-hurricane-season>. Acessado em: 01/06/2019.

RIS, R.C.; BOOIJ, N.; HOLTHUIJSEN L.H. A third-generation wave model for coastal regions, Part II, Verification, **J. Geophys. Res.**, v. 104, n. C4, 1999.

SAMPAIO, M. J. R. T. **Aplicaão do modelo SWAN na caracterização da agitação maritima na zona adjacente a Pinheiro da Cruz**, Universidade Tcnica de Lisboa, 2008.

SEMEDO, Alvaro et al. **A global view on the wind sea and swell climate and variability from ERA-40**. Journal of Climate, v. 24, n. 5, p. 1461-1479, 2011.

TOLMAN, H. L., **Validation of WAVEWATCH III version 1.15 for a global domain**. NOAA / NWS / NCEP / OMB Technical Note Nr. 213, 33 pp., 2002.



## **SOBRE A ORGANIZADORA**

**FLÁVIA REBELO MOCHEL** Possui graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, mestrado em Zoologia - Museu Nacional / UFRJ , doutorado em Geociências pela Universidade Federal Fluminense e pós doutorado em Wageningen University, Holanda, com Recuperação de Manguezais. Atualmente é professora associada do Departamento de Oceanografia e Limnologia da Universidade Federal do Maranhão, responsável pelo LAMA- Laboratório de Manguezais e fundadora/coordenadora do CERMANGUE- Centro de Recuperação de Manguezais na UFMA. Possui experiência na área de Ecologia e Oceanografia Biológica, com ênfase em Ecologia e Recuperação Ecológica de Manguezais e em Educação Ambiental e Oceanografia Social, com ênfase em Sustentabilidade de Ecossistemas, atuando em ensino, pesquisa e extensão, principalmente nos seguintes temas: manguezais, macrofauna bêntica, sensoriamento remoto, ecossistemas costeiros, interação natureza e sociedade, educação ambiental e produção de materiais lúdico-pedagógicos.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Arduino 75, 76, 77, 78, 79, 80, 83

Áreas de Proteção Ambiental 26, 35

Atividade Turística 48, 53

### C

CERC 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46

Clima de Onda Swell 13

Compactação de Praias 2

Conservação 16, 26, 27, 28, 34, 35, 38, 48, 49, 51, 53, 54, 55, 57, 62, 71, 111, 117, 124, 125

### D

Dunas 1, 9, 10, 28, 83, 114, 117, 119

### E

Educação Ambiental 54, 56, 65, 67, 72, 124, 126

Erosão Costeira 103, 105, 114

### G

Gestão 11, 15, 26, 27, 28, 29, 32, 34, 35, 46, 48, 53, 55, 56, 57, 69, 71, 72, 75, 76, 105, 107, 108, 110, 111, 112, 115, 117, 124, 125

Gestão Ambiental Portuária 107, 108, 110, 112

Gestão de Praia 72

### I

Ilha do Campeche 48, 51, 52, 53, 54, 55, 57, 58

Invest 35

### K

Kamphuis 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46

### L

Lixo no Mar 73

### M

Macrobentos 86

Macrofauna Bentônica 86, 105, 106  
Manguezais 2, 6, 59, 60, 61, 62, 63, 65, 66, 71, 109, 114, 115, 116, 117, 118, 122, 124, 125, 126  
Medição de Alta Frequência 75  
Modelagem Numérica de Ondas 45  
Modelo SWAN 13, 15, 16, 17, 18, 24  
Morfodinâmica 3, 4, 11, 46, 86, 103, 114, 115, 119, 121, 123  
Morfodinâmica Costeira 3, 114, 121, 123

## **N**

Nível do Lençol Freático 75, 78, 83

## **O**

Ondas Swell 13, 14, 15, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24

## **P**

Patrimônio Arqueológico 48, 51, 53, 57  
Patrimônio Cultural Costeiro 48, 49  
Permeabilidade 1, 2, 6, 9, 10  
Plataforma Continental 13, 15, 17, 19, 23, 36, 41, 50  
Plataforma Continental do Maranhão 13, 15, 17, 23  
Poluição Marinha 72  
Praias 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 11, 12, 37, 41, 46, 72, 73, 86, 103, 105, 109, 114, 117, 118, 119, 121, 122, 124  
Praias Arenosas 1, 2, 12, 86, 103, 105, 109  
Praias Tropicais 86

## **R**

Recuperação de Manguezais 59, 60, 62, 65, 114, 126  
Restauração de Manguezais 59, 61  
Restauração Ecológica 59, 60, 61, 64  
Risco de Ecossistemas 26, 28, 34

## **S**

Sedimentologia 2, 40  
Sensores de Nível 75  
Sensoriamento Remoto 35, 84, 114, 115, 124, 125, 126

## **T**

Terminal Portuário 59, 65  
Tipos de Praia 10, 86

TOMAWAC 36, 38, 39, 40, 41, 42

Transporte de Sedimentos 3, 7, 14, 36, 38, 39, 40, 41, 44, 45, 46

Transporte Sedimentar 36, 37, 39, 41, 43, 45

## **U**

Unidades de Conservação 34, 51, 111

## **V**

Visitação 48, 53, 54, 55, 56, 57

## **Z**

Zonas Costeiras 36, 37, 48, 57, 61, 75, 83



Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-620-1

