Charline Dalinghaus
Laura Ribas de Almeida
Mauricio González
Antonio Henrique da Fontoura Klein
Organização

sistema de MODELAGEM COSTEIRA DO BRASIL

estudos de caso

DISTRIBUIÇÃO GRATUITA
VENDA PROIBIDA

editora ufsc

SISTEMA DE MODELAGEM COSTEIRA DO BRASIL

estudos de caso

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

Reitor
Ubaldo Cesar Balthazar

Vice-Reitora
Alacoque Lorenzini Erdmann

EDITORA DA UFSC

Diretora Executiva
Gleisy R. B. Fachin

Conselho Editorial
Gleisy R. B. Fachin (Presidente)
Adriano Luiz Duarte
Aguinaldo Roberto Pinto
Carlos Luiz Cardoso
Eliete Cibele Cipriano Vaz
Ione Ribeiro Valle
Gestine Cássia Trindade
José Paulo Speck Pereira
Josimari Telino de Lacerda
Katia Jakovljevic Pudla Wagner
Luana Renostro Heinen
Luis Alberto Gómez
Mauri Furlan
Pedro Paulo de Andrade Júnior

Editora da UFSC
Campus Universitário – Trindade
Caixa Postal 476
88040-900 – Florianópolis-SC
Fone: (48) 3721-9408
editora@contato.ufsc.br
www.editora.ufsc.br

Charline Dalinghaus
Laura Ribas de Almeida
Mauricio González
Antonio Henrique da Fontoura Klein
Organização

SISTEMA DE MODELAGEM COSTEIRA DO BRASIL

estudos de caso

editora ufsc
2018

© 2018 Editora da UFSC

Termo de Cooperação nº 02/2011 entre o governo brasileiro e a Universidade Federal de Santa Catarina. Projeto Transferência de Metodologias e Ferramentas de Apoio à Gestão da Costa Brasileira. Financiado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA).

Coordenação técnica:
Universidade Federal de Santa Catarina
Laboratório de Oceanografia Costeira

Ministério do Meio Ambiente
Coordenação-Geral de Gerenciamento Costeiro

Responsáveis técnicos:
Universidade Federal de Santa Catarina
Professor Antonio Henrique da Fontoura Klein (líder do projeto), *Charline Dalinghaus, Ana Paula da Silva*

Ministério do Meio Ambiente
Diego Pereira de Oliveira, Régis Pinto de Lima, Angelita de Souza Coelho, Rodrigo Cesar Azevedo Miguel

Revisores técnicos:
Ada Cristina Scudelari
Anderson Targino da Silva Ferreira
Jacqueline Albino
José Maria Landim Dominguez
Julio Tomás Aquije Chacaltana
Moyses Gonsalez Tessler
Paula Gomes da Silva
Pedro de Souza Pereira
Renê Jota Arruda de Macêdo
Rodrigo Barletta
Tais Kalil Rodrigues
Tiago Castro Alves Oliveira
Venerando Eustáquio Amaro

Coordenação editorial:
Flavia Vicenzi

Projeto gráfico, capa e editoração:
pamalero artes

Revisão:
Júlia Crochemore Restrepo

Catalogação na fonte pela Biblioteca Universitária da Universidade Federal de Santa Catarina

S623
Sistema de modelagem costeira do Brasil [recurso eletrônico] : estudos de caso / Charline Dalinghaus ...[et al.] organização. – Dados eletrônicos – Florianópolis : Editora da UFSC, 2018.
411 p. : ils., gráfs., mapas

Inclui bibliografia.
E-book (PDF)
Disponível em: <http://editora.ufsc.br/estante-aberta/>
ISBN 978-85-328-0835-6

1. Oceanografia – Brasil. 2. Meio ambiente – Brasil. 3. Geociências. I. Dalinghaus, Charline.

CDU: 551.46(81)

Ficha catalográfica elaborada por Jonathas Troglio – CRB 14/1093

Este livro está sob a licença Creative Commons, que segue o princípio do acesso público à informação. O livro pode ser compartilhado desde que atribuídos os devidos créditos de autoria. Não é permitida nenhuma forma de alteração ou a sua utilização para fins comerciais.

br.creativecommons.org

SUMÁRIO

PREFÁCIO ---------- 7

CAPÍTULO 1

Processos costeiros brasileiros: ventos, clima de ondas e nível do mar com base em reanálises de dados ---------- 11

CAPÍTULO 2

O uso do SMC-Brasil como ferramenta de ensino de processos costeiros erosivos ---------- 65

CAPÍTULO 3

Comparação de versões do SMC-Brasil no estudo da circulação hidrodinâmica na Praia de Soledade, litoral setentrional do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil ---------- 83

CAPÍTULO 4

Método de identificação de áreas de inundação costeira por sobrelevação do nível do mar a eventos extremos, em escala local ---------- 109

CAPÍTULO 5

Avaliação do clima de ondas e transporte sedimentar do litoral norte do município de Goiana (PE) utilizando o Sistema de Modelagem Costeira (SMC-Brasil) ---------- 127

CAPÍTULO 6

Modelagem numérica da dinâmica costeira no litoral de Paulista (PE) ---------- 147

CAPÍTULO 7

Estudo de caso de erosão costeira na Praia de Candeias (PE) ---------- 173

CAPÍTULO 8

Utilização do SMC-Brasil para simulação de um recife artificial multifuncional adequado para a prática do surfe e proteção costeira na Praia de Camburi, Vitória (ES) ---------- 193

CAPÍTULO 9

Modelagem numérica da morfodinâmica de praias do Espírito Santo---------- 219

CAPÍTULO 10

Variabilidade praial nas praias do Lázaro, Domingas Dias e Sununga, litoral norte de São Paulo, relacionada à passagem dos sistemas frontais – Ubatuba (SP) ---------- 233

CAPÍTULO 11

Potencialidades da utilização da ferramenta Sistema de Modelagem Costeira (SMC-Brasil) no órgão estadual de meio ambiente de Santa Catarina ---------- 257

CAPÍTULO 12

Modelagem dos processos morfodinâmicos da Praia de Perequê, Porto Belo (SC): determinação das causas de origem ---------- 273

CAPÍTULO 13

Estudo da dinâmica costeira e modelo de funcionamento da região sul da Praia de Piçarras (SC)---------- 297

CAPÍTULO 14

Altura de ondas, *runup* e cota de inundação nas praias da Barra da Lagoa e Moçambique – Florianópolis (SC), com base em séries de dados de 60 anos de reanálise ---------- 327

CAPÍTULO 15

Análise hidrodinâmica e de transporte de sedimentos para elaboração de alternativas de recuperação da Praia da Armação do Pântano do Sul – Florianópolis (SC)---------- 351

CAPÍTULO 16

Avaliação numérica do potencial hidrodinâmico e do transporte de sedimentos na Praia do Cassino e Molhe Oeste da Barra de Rio Grande (RS) ---------- 377

Sobre os autores ---------- 401

ALTURA DE ONDAS, *RUNUP* E COTA DE INUNDAÇÃO NAS PRAIAS DA BARRA DA LAGOA E MOÇAMBIQUE – FLORIANÓPOLIS (SC) – COM BASE EM SÉRIES DE DADOS DE 60 ANOS DE REANÁLISE

Paula Gomes da Silva
Antonio Henrique da Fontoura Klein
Omar Quetzalcóatl Gutiérrez
Mauricio González

RESUMO

Este trabalho apresenta a análise de altura de onda, *runup* e cota de inundação ao longo das praias de Moçambique e Barra da Lagoa. Os dados foram obtidos a partir de propagações da série de 60 anos de dados de reanálise de onda da base de dados do SMC-Brasil até águas rasas utilizando o modelo OLUCA-SP. Com base nas séries propagadas, o *runup* foi calculado com formulação adaptada para praias de enseada. Em seguida, para obtenção da cota de inundação, a esses valores foram somados os valores de maré astronômica e maré meteorológica. A partir dessa série foram obtidos os valores de cota de inundação associados a três cenários de regime extremo: período de retorno (PR) de 5, 25 e 50 anos. Então, foram somados os valores de elevação do nível médio do mar previstos para cada um dos cenários. Observam-se maiores valores de H_s na porção central da praia, correspondente à

zona mais exposta à ação das ondas, com média de 1,71 m e PR50 igual a 4,22 m. As estatísticas de *runup* também indicam maiores valores na parte central do sistema praial (média de 1,43 m e PR50 de 2,23 m). Valores médios de cota de inundação apresentaram o mesmo padrão demonstrado nas análises de H_s e *runup,* com maiores valores sendo observados na zona mais exposta da praia. Nessa zona, o valor de cota de inundação apresentado para períodos de retorno de 5, 25 e 50 anos foi de 2,68, 2,93 e 3,0 m respectivamente.

Palavras-chave: Propagação de ondas. *Runup*. Cota de inundação. SMC-Brasil.

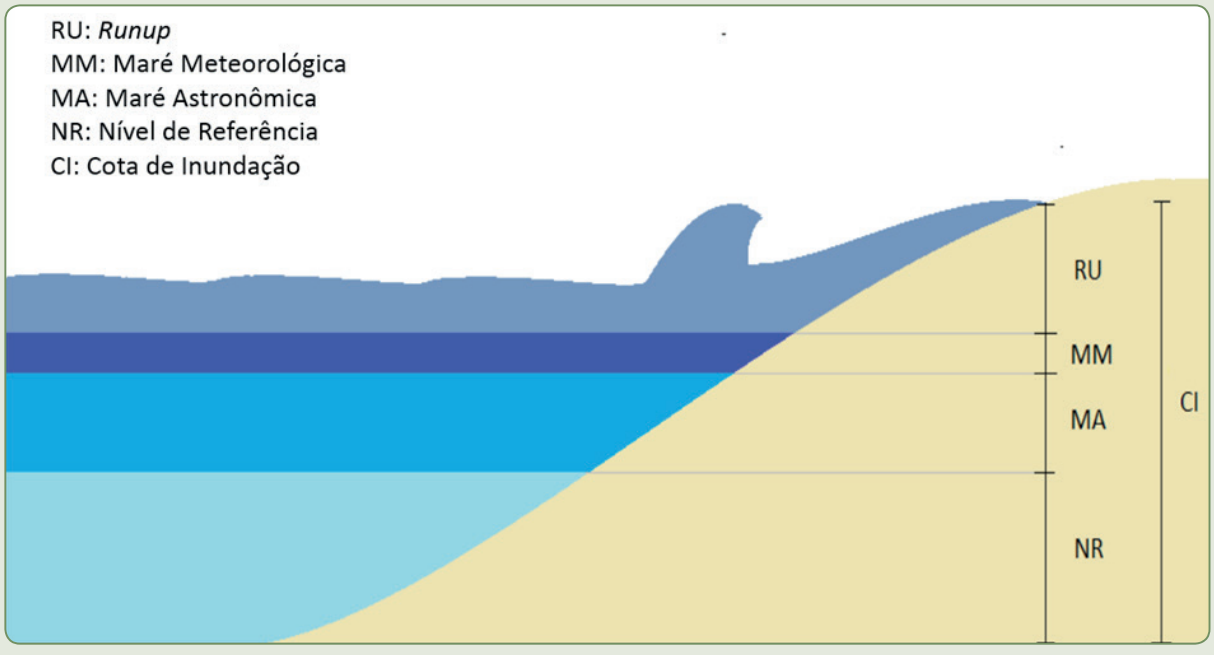
INTRODUÇÃO

O desenvolvimento rápido e desordenado das cidades localizadas junto à costa submete a população a uma série de riscos relacionados à dinâmica dos processos que determinam e modificam as feições costeiras (SIMÓ; HORN FILHO, 2004), como aqueles riscos relacionados à inundação decorrente de eventos extremos de tempestade, conhecidos popularmente por "ressacas".

As ressacas são o resultado da elevação do nível da água oceânica induzida pela ação de ventos e gradientes de pressão (maré meteorológica), somada à ação das ondas (CARTER, 1988). Tal fenômeno está relacionado aos principais perigos naturais que atingem a população costeira (NICHOLLS; SMALL, 2002), especialmente quando sua ocorrência coincide com preamares de sizígia.

Esses fatos têm motivado a realização de estudos com enfoque no cálculo da inundação costeira (CHEUNG et al., 2003; BONETTI et al., 2012; CARRASCO et al., 2012, DALINGHAUS et al., 2013; VILLATORIO et al., 2014). O cálculo da chamada cota de inundação, por exemplo, é uma forma bastante aceita e utilizada para representar tal fenômeno. Trata-se da soma de quatro variáveis: i) nível médio do mar, ii) maré astronômica, iii) maré de tempestade e iv) *runup* (*setup* + espraiamento) (Figura 14.1) (DALINGHAUS et al., 2013; VIEIRA DA SILVA, 2012; BRASIL, 2018a; HOLTHUIJSEN, 2007; MEDINA; MENDEZ, 2006).

Figura 14.1 – Componentes da cota de inundação



Fonte: Dos autores (2018).

Séries longas de cota de inundação permitem a obtenção de valores críticos a partir da análise de regime extremo, valores estes comumente utilizados como base para o planejamento territorial e a gestão da zona costeira (TANK et al., 2009). Medina e Méndez (2006), por exemplo, apresentaram uma análise do regime extremo de cota de inundação com base em dados de boias e marégrafos ao longo de toda a costa da Espanha. Mais recentemente, um trabalho da Comissão Econômica para América Latina e Caribe da ONU (CEPAL-ONU, 2011) apresentou um estudo de tendências e dinâmicas decorrentes das mudanças climáticas para a América Latina e Caribe. Resultados como tendências de cota de inundação, elevação do nível médio do mar e dinâmicas marinhas, baseados em dados de reanálises, foram apresentados para toda a área estudada em tal projeto.

No Brasil, os problemas relacionados à inundação costeira motivaram a publicação do documento *Uma proposta de abordagem para o estabelecimento de regime probabilístico de área de inundação costeira do Brasil* (BRASIL, 2018a). Utilizando a base de dados de reanálise do Projeto SMC-Brasil e modelos simplificados de propagação de ondas e cálculo de *runup,* foram geradas séries de cota de inundação e suas análises de regime extremo para toda a costa do país. Os resultados gerados, além de serem utilizados para fins de gestão de território, também são utilizados em fase de pré-desenho de projetos.

Dada a relevância da análise das dinâmicas costeiras em áreas suscetíveis à inundação, o presente trabalho apresenta uma avaliação do regime de ondas, *runup* e cota de inundação ao longo das praias de Barra da Lagoa e Moçambique (Santa Catarina), sistema assolado frequentemente por eventos de ressaca, a partir das séries temporais de 60 anos de reanálise de onda, maré astronômica e maré meteorológica, disponibilizadas pelo Projeto SMC-Brasil (BRASIL, 2018b, 2018c).

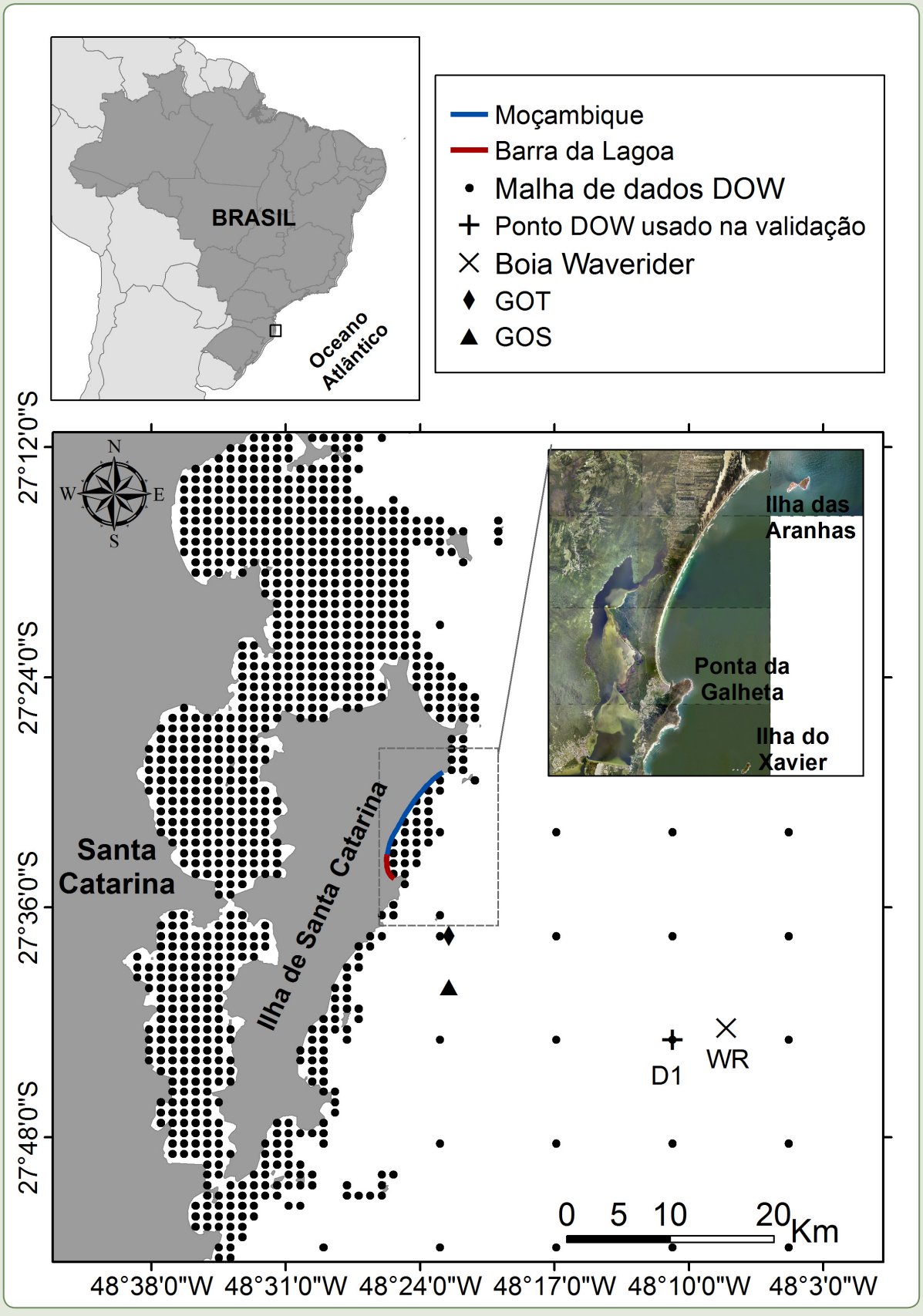
ÁREA DE ESTUDO

Localizadas no nordeste da Ilha de Santa Catarina – Florianópolis (SC) –, as praias da Barra da Lagoa e Moçambique formam juntas um arco praial de 12 km de extensão, com linha de costa orientada para leste-sudeste (ESE). Barra da Lagoa e Moçambique são os nomes dados às porções sul e norte do sistema, respectivamente (Figura 14.2). Trata-se de um sistema praial assolado frequentemente por eventos extremos de ressaca. Maiores danos são verificados principalmente na Praia da Barra da Lagoa, onde a urbanização é mais intensa (SIMÓ; HORN FILHO, 2004).

Características ambientais como granulometria, declividade da face da praia, exposição à energia das ondas e estágio morfodinâmico variam consideravelmente de um setor a outro do arco praial. Sedimentos mais finos são observados nas extremidades da praia chegando a granulometria grossa na porção central (LEAL et al., 2000; HORN FILHO, 2006). Padrão semelhante é observado no que diz respeito às declividades da face (tanβ) com maiores valores na parte central da praia (chegando a valores 0,17) e mínimos nos extremos (menores valores na zona sul da praia, aproximadamente 0,02) (MULER et al., 2013). Silveira, Klein e Tessler (2011), através de análises de imagens de satélite classificaram a praia como intermediária, enquanto Miot da Silva (2006), tomando como base a granulometria e a hidrodinâmica local, identificou, na porção norte, o estágio intermediário, alcançando o estágio dissipativo na porção sul da praia.

A região em que está inserida a Ilha de Santa Catarina é caracterizada por um regime de micromaré, predominantemente semidiurno, com desigualdades diurnas. A elevação de maré de sizígia varia de 0,46 a 1,06 m (KLEIN, 2004). Já os valores médios das elevações (positivas) decorrentes de fatores meteorológicos chegam a 1 m (TRUCCOLO; FRANCO; SCHETTINI, 2006).

Figura 14.2 – Localização da área de estudo e malha de pontos DOW, GOT e GOS disponíveis para a região da Ilha de Santa Catarina



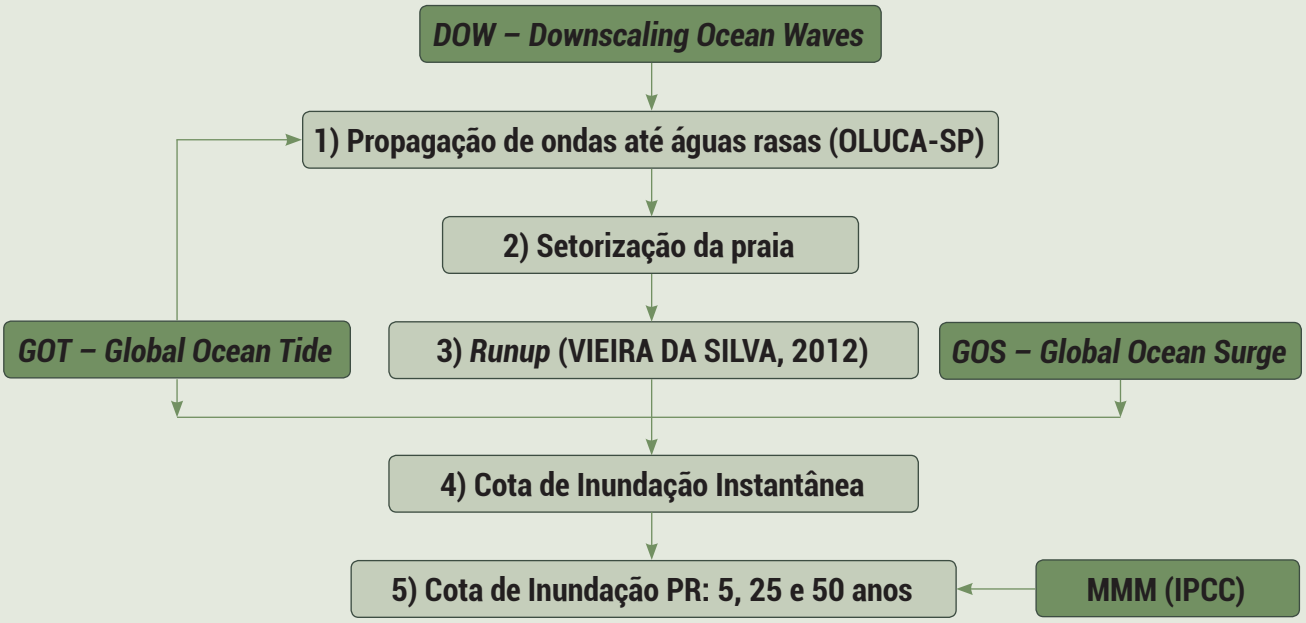
Fonte: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (2010).

O clima de ondas na plataforma de Santa Catarina apresenta características bimodais, sendo dominado por ondulações de nordeste e sul (ARAUJO et al., 2003; SIGNORIN, 2010). Franco e Melo Filho (2008) demonstraram a importância dos mares secundários na região, com quase 32% dos estados de mar sendo representados por condições bimodais. Araujo et al. (2003) verificaram sazonalidade nas alturas de onda no decorrer do ano, observando maiores valores de H_S (altura significativa de onda) no inverno, estação em que as ondulações predominantes têm direção de sul. Ondas de direção sul também são predominantes no outono, enquanto nas estações de verão e primavera predominam as ondulações de nordeste. Os períodos e alturas significativas mais frequentes no local ficam entre 8-10 s e 1-1,5 m, respectivamente (MIOT DA SILVA; MOUSAVI; JOSE, 2012). Valores extremos de altura significativa estão relacionados principalmente a ondulações provenientes do quadrante S-E, chegando a atingir valores de altura individual de 13 m (H_S = 6 m) (MELO FILHO, HAMMES; FRANCO, 2006). Essas ondulações atingem diretamente as praias analisadas, já que elas se encontram em grande parte de sua extensão orientadas para SE.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia do estudo consistiu em cinco fases principais: 1) propagação de dados de reanálise até a área de estudo; 2) setorização da praia de acordo com o grau de exposição às ondas; para cada setor calculou-se então o 3) *runup* e 4) a cota de inundação instantânea (sem considerar o nível médio do mar (NMM)); 5) por fim, realizou-se a análise de regime extremo da cota de inundação instantânea, da qual foram obtidos os valores de período de retorno de 5, 25 e 50 anos, que foram somados à elevação do nível do mar prevista para cada um desses cenários (5, 25 e 50 anos). Optou-se por trabalhar com tais cenários para representar diversas escalas temporais sem exceder o período total da série de dados (60 anos), gerando resultados consistentes com base em métodos probabilísticos. A Figura 14.3 mostra um esquema da metodologia aplicada no presente estudo. A descrição detalhada de cada uma das etapas está apresentada a seguir.

Figura 14.3 – Metodologia aplicada



Fonte: Dos autores (2018).

Bases de dados

Dados de onda (DOW)

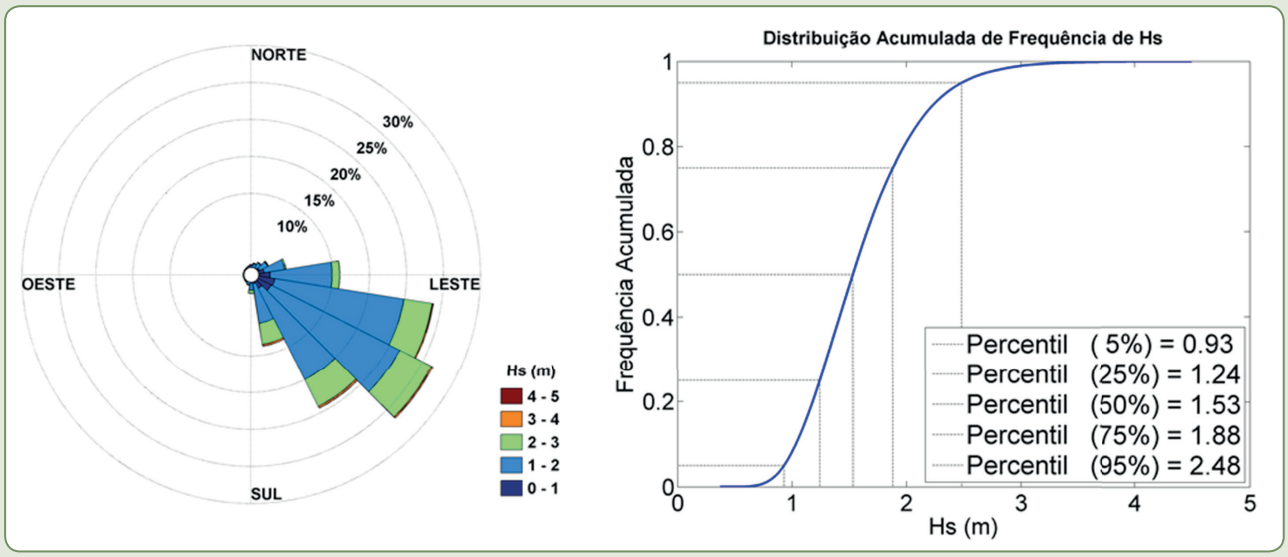
A base de dados DOW (*Downscaled Ocean Waves*) da costa brasileira foi gerada dentro do âmbito do Projeto SMC-Brasil. Trata-se de dados de onda ao longo de toda a costa brasileira com alta resolução espacial (1 km, de 0 a 20 m de profundidade, e 10 km, a partir de 20 m de profundidade (Figura 14.2)) e temporal (1 hora) para um período total de 60 anos (1948-2008). Os parâmetros compreendidos na base de dados são altura significativa de onda (H_S), período médio (T_m), período de pico (T_p), direção média de onda (θ_m), direção de pico (θ_p), espalhamento direcional e espectro de energia (BRASIL, 2018b).

As séries temporais foram geradas em duas etapas principais: i) em um primeiro momento, uma reanálise global foi realizada com o modelo *WaveWatch III*, na versão 2.22 (TOLMAN, 1991), utilizando dados de ventos globais (Reanálise 1 – NCEP/NCAR), gelo (NCEP/NCAR) e batimetria da base GEBCO como dados de entrada, o que resultou em parâmetros de onda para todo o globo (*Global Ocean Waves* – GOW) (REGUERO et al., 2012); ii) a seguir, o modelo SWAN (BOOIJ; HOLTHUIJSEN; RIS, 1999) foi utilizado para realizar um *downscaling* propagando os dados da base GOW até a costa brasileira com base em batimetrias GEBCO e cartas náuticas, e em dados de ventos (Reanálise 1 – NCEP/NCAR) (BRASIL, 2018b; CAMUS et al., 2013).

Gomes da Silva et al. (2015) validaram a base de dados DOW para a costa catarinense. A validação consistiu na comparação de quantis da distribuição de Gumbel de Máximos de 10 meses de dados de um ponto da base DOW (D1) com os dados de uma boia *Waverider* (WR), situada a 80 m de profundidade a uma distância de 35 km da costa (Figura 14.2). Com base em parâmetros estatísticos (RMSE de 0,02 e 2,57 e BIAS de 0 e 2,53 para H_S e T_P respectivamente), constatou-se que as séries simuladas representam bem os dados medidos em campo, especialmente com relação aos valores de H_S.

A série de 60 anos de dados de ondas do ponto D1 foi utilizada no presente estudo para propagação até a área de estudo. A Figura 14.4 apresenta a rosa de ondas e a distribuição acumulada de frequência dessa série temporal.

Figura 14.4 – Dados ponto D1: rosa direcional e distribuição acumulada de frequência de H_S



Fonte: Dos autores (2018).

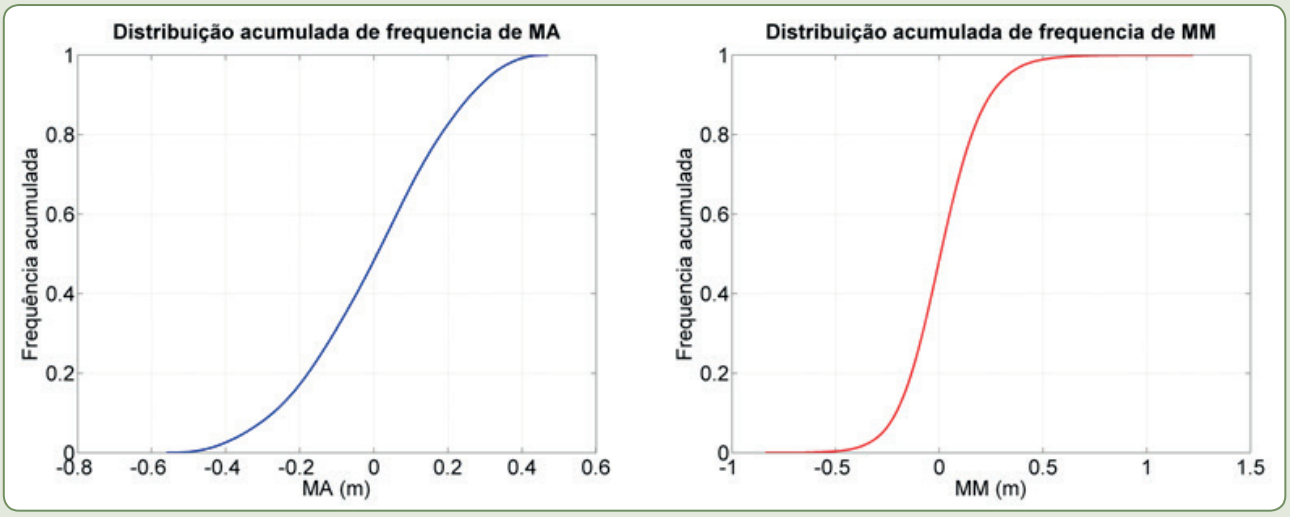
Dados de maré astronômica (GOT)

A base de dados de maré astronômica – *Global Ocean Tide* (GOT) – do SMC-Brasil consiste em 60 anos de dados-horários de elevação do nível do mar resultantes das forças de atração do sistema Terra-Lua-Sol (1948-2008). Essa base foi gerada a partir de constantes harmônicas do modelo global de maré TPXO (EGBERT; BENNETT; FOREMAN, 1994; EGBERT; EROFEEVA, 2002). O TPXO gera constantes harmônicas em todo o globo a partir da assimilação de dados altimétricos de satélite em um modelo hidrodinâmico (BRASIL, 2018c). A série temporal de um dos pontos da malha da base de dados GOT (Figura 14.2) na costa catarinense foi utilizada neste trabalho. A distribuição acumulada de frequência da série para a zona de estudo está apresentada na Figura 14.5. Valores máximos de elevação apresentados na série chegam a 0,47 m.

Dados de maré meteorológica (GOS)

A base de dados de maré meteorológica do SMC-Brasil, denominada *Global Ocean Surge* (GOS), consiste em séries temporais horárias de variação do nível do mar decorrente de fatores atmosféricos também para o período de 1948 a 2008. Os dados foram gerados a partir de simulações com o modelo de circulação regional ROMS (SHCHEPETKIN; MCWILLIAMS, 2003, 2005). Dados de batimetria do modelo ETOPO2 (NOAA), pressão ao nível do mar e ventos globais (a 10 m de altura) da Reanálise 1 (NCEP/NCAR) foram os dados utilizados como forçante do modelo. Vinte e quatro pontos distribuídos ao longo da costa brasileira compõem a base de dados GOS do SMC-Brasil (BRASIL, 2018c). A distribuição acumulada de frequência da série de dados GOS para a área de estudo (ver localização do ponto utilizado na Figura 14.2) está apresentada na Figura 14.5. Elevações máximas decorrentes da maré meteorológica chegam a atingir 1,22 m.

Figura 14.5 – Distribuição acumulada de frequência das séries de maré astronômica e maré meteorológica das bases GOT e GOS



Fonte: Dos autores (2018).

As bases de dados GOT e GOS foram validadas com dados de marégrafos ao longo de toda a costa do país. Detalhes da geração e validação dos dados podem ser verificados em Brasil (2018c).

Dados de nível médio do mar (CEPAL)

Para o cálculo final da cota de inundação, foram utilizados valores de estimativas apresentados no documento da CEPAL-ONU (2011). De acordo com tal estudo, a taxa de elevação linear do nível médio do mar é de 2 mm/ano na costa sul do Brasil. O mesmo estudo indica ainda que essa elevação vem sofrendo uma aceleração global nas últimas décadas correspondente a 0,0083 mm/ano^2. Com base nisso, os valores adotados para o cálculo em 5, 25 e 50 anos estão apresentados no Quadro 14.1.

Quadro 14.1 – Valores de nível do mar adotados para o cálculo da cota de inundação

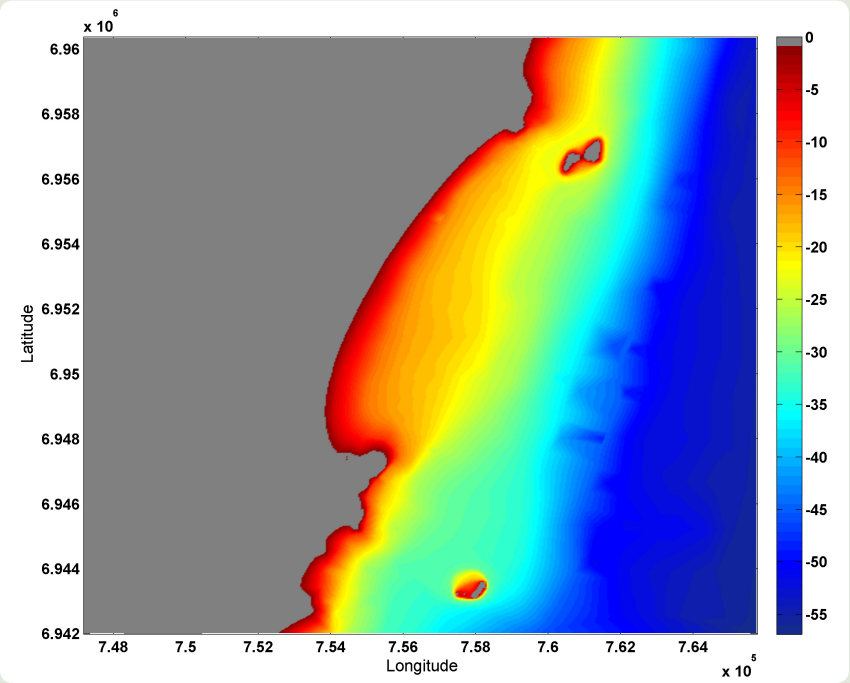
Cenário	Elevação do nível do mar (m)
5 anos	0,01
25 anos	0,05
50 anos	0,1

Fonte: CEPAL-ONU (2011).

Batimetria e declividade da face da praia

Dados de batimetria da base de dados do SMC-Brasil foram utilizados para a propagação de ondas até a costa. Trata-se de dados digitalizados de cartas náuticas e folhas de bordo da DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil). Tais dados estão referenciados conforme a altimetria da DHN (nível médio das baixamares de sizígia). Na falta de uma batimetria de detalhe, e a fim de evitar instabilidades do modelo, foi realizado o processamento da batimetria através da inserção de pontos de profundidade onde os dados se apresentaram escassos. A batimetria final utilizada nas propagações está apresentada na Figura 14.6.

Figura 14.6 – Batimetria da área de estudo



Fonte: Dos autores (2018).

Já os valores de declividade da face foram disponibilizados pelo Laboratório de Oceanografia Costeira da UFSC e utilizados na etapa de cálculo do *runup*.

Setorização da praia

O cálculo do *runup* proposto por Vieira da Silva (2012) (explicado em detalhe mais adiante) é realizado com formulação diferente para cada setor de uma praia de enseada, de acordo com a exposição do setor às ondas incidentes. Dessa forma, a área de estudo deste trabalho foi dividida em três setores e, de acordo com a exposição de ondas em cada um deles, o *runup* foi calculado.

A setorização foi realizada com base em dados de H_S e declividade da face ao longo de toda a praia. Para isso, foi necessário um processo realizado em quatro etapas:

1) três estados de mar extremos (H_S>3 m) representativos do mar local (optou-se por utilizar valores reais das séries de reanálises) de distintas direções (S, E e N) foram propagados até a área de estudo;
2) valores de H_S foram obtidos em pontos equidistantes ao longo de toda a praia em profundidade aproximada de 5 m;
3) valores de declividade da face foram obtidos para pontos da praia correspondentes a cada ponto de onda (pontos na costa mais próximos aos pontos de ondas);
4) os valores das "quatro variáveis" (H_SS, H_SE, H_SN e declividade da face) foram representados graficamente e, a partir de uma análise visual, foram determinados os três setores e o grau de exposição de cada um deles.

Propagação de ondas

Para a propagação de ondas até a costa, foi utilizada a metodologia proposta por Camus et al. (2013) e recomendada para utilização no projeto SMC-Brasil. Essa metodologia consiste na seleção de casos da série de ondas em águas intermediárias, propagação dos casos selecionados até águas rasas e reconstrução da série temporal nos pontos de interesse. Para que se tenha em conta o nível do mar nas propagações, os casos selecionados devem ser propagados em dois níveis distintos: baixamar e preamar. Após a reconstrução das séries, elas são então interpoladas ao nível (MA + MM) real de cada estado de mar.

Os dados do ponto DOW D1 (Figura 14.2) foram utilizados nas propagações. Da série temporal do ponto D1 foram desconsiderados no processo de seleção os casos com direção provenientes do continente ($0° < \theta\ m < 190°$). A seguir, na impossibilidade de propagar todos os casos da série (alto custo computacional), foi necessária a seleção de uma subamostra de estados de mar representativos para serem propagados. Com base nessa subamostra, as séries foram reconstruídas posteriormente nos pontos de interesse em águas rasas. Detalhes de cada uma dessas etapas estão descritos a seguir.

Seleção de casos a propagar

A seleção dos casos de ondas foi realizada através da técnica MaxDiss (Máxima Dissimilaridade) proposta por Camus, Mendez e Medina (2011). De acordo com testes realizados pelos autores, após um N amostral igual a 100, os erros referentes à seleção passam a ser pouco representativos. Dessa forma, foram selecionados 100 casos da série para propagação.

Propagação dos casos selecionados até a costa

Os casos selecionados foram propagados do ponto D1 até a costa. Para isso, utilizou-se o modelo OLUCA-SP.

Modelo OLUCA-SP

O modelo OLUCA-SP faz parte do Sistema de Modelagem Costeira (SMC), desenvolvido pelo Instituto de Hidráulica da Cantabria (IH-Cantabria) (GONZÁLEZ et al., 2007). Na simulação o modelo possibilita a propagação de ondas espectrais (SP) calculando os processos de empinamento, refração, difração e dissipação por quebra. A discretização espacial se dá através de um esquema de diferenças finitas.

A equação governante da propagação de ondas desse modelo é a Equação Parabólica da Declividade Suave (*Parabolic Mild Slope*), desenvolvida por Radder (1979), que é uma adaptação da Equação Elíptica da Declividade Suave (BERKOFF, 1972). A aproximação de Radder impõe uma restrição ao modelo parabólico: o modelo não é capaz de propagar ondas com direções maiores que 45° com relação à direção principal de propagação da malha. Dessa forma, para que todos os casos possam ser propagados, é necessária a utilização de distintas malhas com diferentes direções de propagação. Booij (1981) adaptou ainda o modelo de forma a permitir a entrada de ondas com direções de até 50° com relação ao eixo principal da malha. A formulação proposta por este último autor é a utilizada no modelo OLUCA-SP para a propagação das ondas (Eq. 14.1) (BRASIL, no prelo):

$$C_g \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial y} + i(\bar{k} - k) C_g A + \frac{\sigma}{2} \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{C_g}{\sigma}\right) A - \frac{i}{2\sigma} \frac{\partial}{\partial y}\left[p \frac{\partial A}{\partial y}\right] - \frac{i\sigma k^2 N |A|^2 A}{2} = 0 . \qquad \text{(Eq. 14.1)}$$

Onde C_g é a celeridade de grupo, A é a amplitude da onda, $p = CC_g$, k é o número de onda e $\bar{k}$ é o número de onda de referência, tomado como a média ao longo do eixo y, e N faz parte do termo não linear e é definido por (Eq. 14.2):

$$N = \frac{cosh\ (4kh) + 8 - 2tanh^2(kh)}{8\ senh^4\ (kh)} \qquad \text{(Eq. 14.2)}$$

onde h é a profundidade no ponto do domínio.

Em um trabalho realizado na Praia de Piçarras, litoral centro-norte do estado de Santa Catarina, o modelo foi calibrado com base em dados medidos em campo (OLIVEIRA, 2013).

Malhas de cálculo

As malhas de propagação foram geradas com diferentes ângulos e diferentes resoluções de forma que todos os casos selecionados pudessem ser propagados. No total foram geradas sete malhas para Moçambique/Barra da Lagoa (duas acopladas). As características das malhas de propagação estão apresentadas no Quadro 14.2.

Quadro 14.2 – Descrição das malhas de cálculo

Malha	Origem (WGS84 22S)		Espaçamento (m)		Direção (Nº)
	x	y	x	y	
M1	757178,34	6962430,54	38	38	25
M2	793103,18	6980375,64	200	200	90
M3 (acoplada a M2)	770367,38	6960501,96	491	491	90
M4	780541,79	6946578,76	41	41	155
M5	785723,14	6965633,87	35	35	90
M6 (acoplada a M5)	765530,33	6959229,49	14	17	90
M7	763066,13	6957649,20	10	15	90

Fonte: Dos autores (2018).

Reconstrução da série em águas rasas

Após a propagação dos casos selecionados, as séries foram reconstruídas em águas rasas a 15 m de profundidade em frente a cada um dos setores estabelecidos anteriormente. Para a reconstrução da série, foi utilizada a metodologia RBF (*Radial Basis Function*) (CAMUS; MENDEZ; MEDINA, 2011). Trata-se de uma técnica de interpolação baseada em funções de bases radiais gaussianas. O método consiste em uma soma ponderada de funções básicas radiais simétricas localizadas nos pontos de dados. A série é reconstruída no ponto escolhido em águas rasas, em função dos casos selecionados e dos valores em águas profundas para cada parâmetro de onda.

Os valores de H_S das séries propagadas em nível de baixamar e preamar foram reconstruídos nos pontos de interesse e interpolados ao nível real de cada estado de mar.

Cálculo do *runup*

O cálculo do *runup* em praia é normalmente realizado através de formulações empíricas que relacionam a elevação do *runup* com parâmetros de ondas (H_S e T_P) e a declividade da face da praia (NIELSEN; HANSLOW, 1991; STOCKDON et al., 2006; HOLMAN, 1986). Grande parte das formulações apresentadas até o momento foram obtidas com base em dados de praias oceânicas expostas, sem diferenciar zonas abrigadas de zonas expostas (VOUSDOUSKAS et al., 2009). Tais formulações podem gerar superestimações dos valores de *runup* em praias abrigadas por promontórios (praias de enseada e *pocket beaches*) e ilhas.

Dessa forma, o modelo proposto por Vieira da Silva (2012) foi escolhido para o cálculo do *runup* por ser o único modelo apresentado até o momento para aplicação em praias de enseada, onde se observam variações longitudinais de altura de onda e *runup*.

Modelo empírico Vieira da Silva (2012)

A formulação apresentada por Vieira da Silva (2012) foi obtida a partir da calibração do modelo proposto por Nielsen e Hanslow (1991) (para praias oceânicas) com base em dados medidos de onda (a 15 m de profundidade) e *runup* para uma praia de enseada no litoral centro-norte de Santa Catarina. Em tal modelo, o cálculo do *runup* superado por 2% das ondas ($R_{2\%}$) é realizado de forma diferente para cada setor da praia, de acordo ao grau de exposição que o setor apresenta:

- Setor exposto:

$$R_{2\%e} = 0{,}601 * R_{2\%NielseneHanlow(1991)} + 0{,}603 \quad \text{(Eq. 14.3)}$$

- Setor semiexposto:

$$R_{2\%se} = 0{,}529 * R_{2\%NielseneHanlow(1991)} + 0{,}421 \quad \text{(Eq. 14.4)}$$

- Setor semiprotegido:

$$R_{2\%sp} = 0{,}195 * R_{2\%Nielsen\ e\ Hanlow(1991)} + 0{,}59 \quad \text{(Eq. 14.5)}$$

- Setor protegido:

$$R_{2\%p} = 0{,}269 * R_{2\%Nielsen\ e\ Hanlow(1991)} + 0{,}360 \quad \text{(Eq. 14.6)}$$

onde

$$R_{2\%\ Nielsen\ e\ Hanslow\ (1991)} = 1{,}98L \quad \text{(Eq. 14.7)}$$

$$L \sim 0{,}6(H_{s15}L_{15})^{0{,}5} tan\beta_F \ \text{ para } tan\beta_F > 0{,}1 \quad \text{(Eq. 14.8)}$$

$$L \sim 0{,}05\ (H_{s15}L_{15})^{0{,}5} \ \text{ para } tan\beta_F < 0{,}1 \quad \text{(Eq. 14.9)}$$

Onde $R_{2\%}$ Nielsen e Hanslow (1991) é o *runup* calculado de acordo com a formulação de Nielsen e Hanslow (1991). Na calibração apresentada por Vieira da Silva (2012), H_{S15} e L_{15} são a altura significativa e o comprimento de onda a 15 m de profundidade, e $\tan\beta_F$ a declividade da face da praia.

Cálculo do runup

O cálculo do *runup* foi realizado utilizando o modelo proposto por Vieira da Silva (2012). Para tanto, foram utilizados os valores de H_{S15} e L_{15} das séries reconstruídas nos pontos a 15 m de profundidade, e declividade média da face da praia de cada setor. Dessa forma, a série de *runup* ($R_{2\%}$) foi calculada para cada setor da praia.

Cálculo da cota de inundação

As séries de 60 anos de dados de MA, MM e *runup* foram somadas para gerar a série de mesmo tamanho e resolução de CI instantânea (cota de inundação sem considerar a elevação do nível do mar) para cada setor.

$$CI_{inst} = MA + MM + Ru \quad \text{(Eq. 14.10)}$$

As séries de cota de inundação instantânea foram ajustadas à distribuição de Gumbel de Máximos utilizando o método de Máximos Anuais, e os percentis para cada cenário (5, 25 e 50 anos) foram obtidos. Por fim, aos valores obtidos na análise de regime extremo somou-se o valor de elevação do nível médio do mar (NM) previsto para 5, 25 e 50 anos:

$$CI_{5\ anos} = NM_{5\ anos} + CI_{inst(PR=5\ anos)} \quad \text{(Eq. 14.11)}$$

$$CI_{25\ anos} = NM_{25\ anos} + CI_{inst(PR=25\ anos)} \quad \text{(Eq. 14.12)}$$

$$CI_{50\ anos} = NM_{50\ anos} + CI_{inst(PR=50\ anos)} \quad \text{(Eq. 14.13)}$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Setorização da praia

Os valores de H_SS, H_SE, H_SN e declividade da face obtidos nos pontos ao longo da costa estão representados na Figura 14.7. De acordo com os valores apresentados, optou-se por dividir a praia em três setores:

- **Setor 1:** zona com menores valores de H_SS devido à proteção oferecida pela Ponta da Galheta. Além disso é a zona onde se verifica um valor crescente (em direção a norte) de H_SN e declividade da face.

  Classificação: Protegido

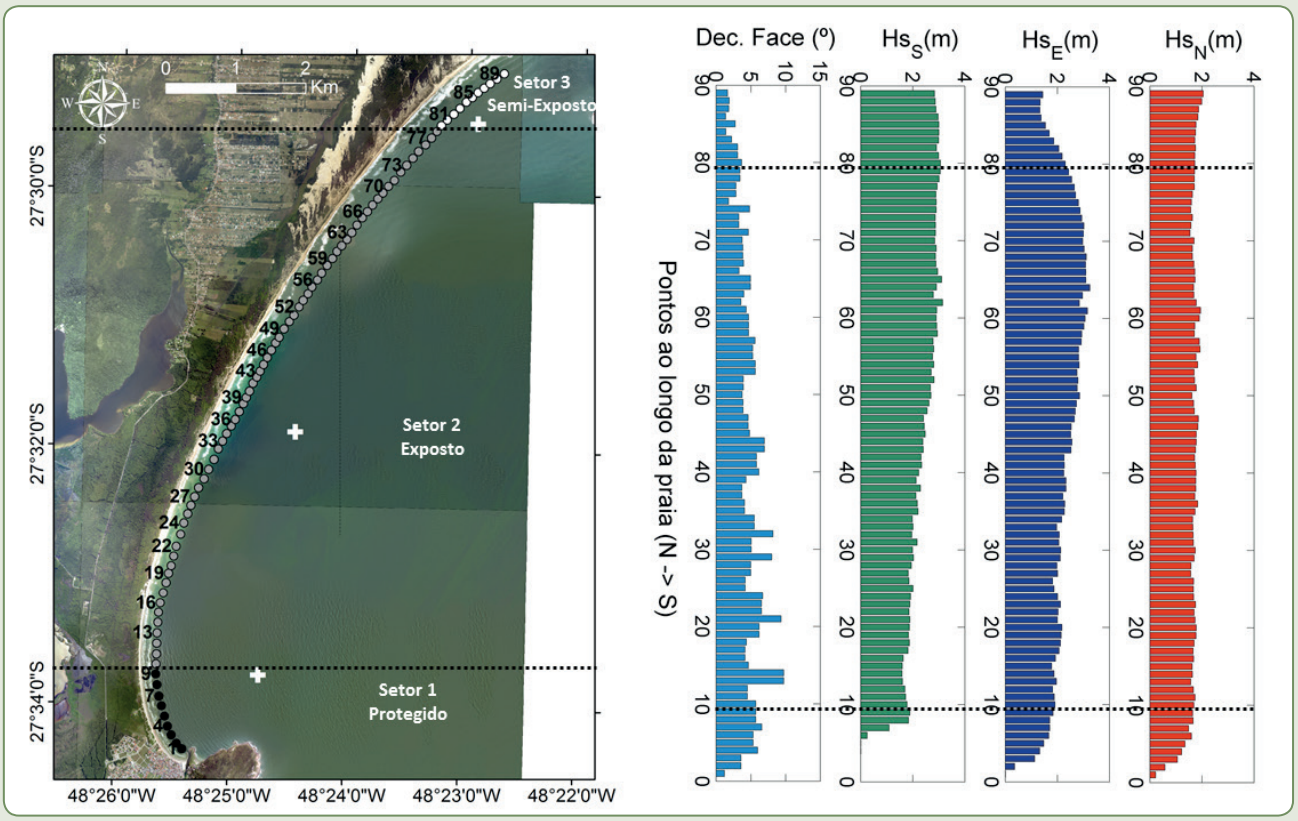
- **Setor 2:** zona com valores relativamente constantes e altos para todas as variáveis.

  Classificação: Exposto

- **Setor 3:** zona onde se verifica uma redução representativa nos valores de H_SE e declividade da face devido à presença da Ilha das Aranhas, o que torna este setor um pouco mais abrigado que o anterior.

  Classificação: Semiexposto

Figura 14.7 – Setorização da área de estudo de acordo com o grau de exposição às ondas



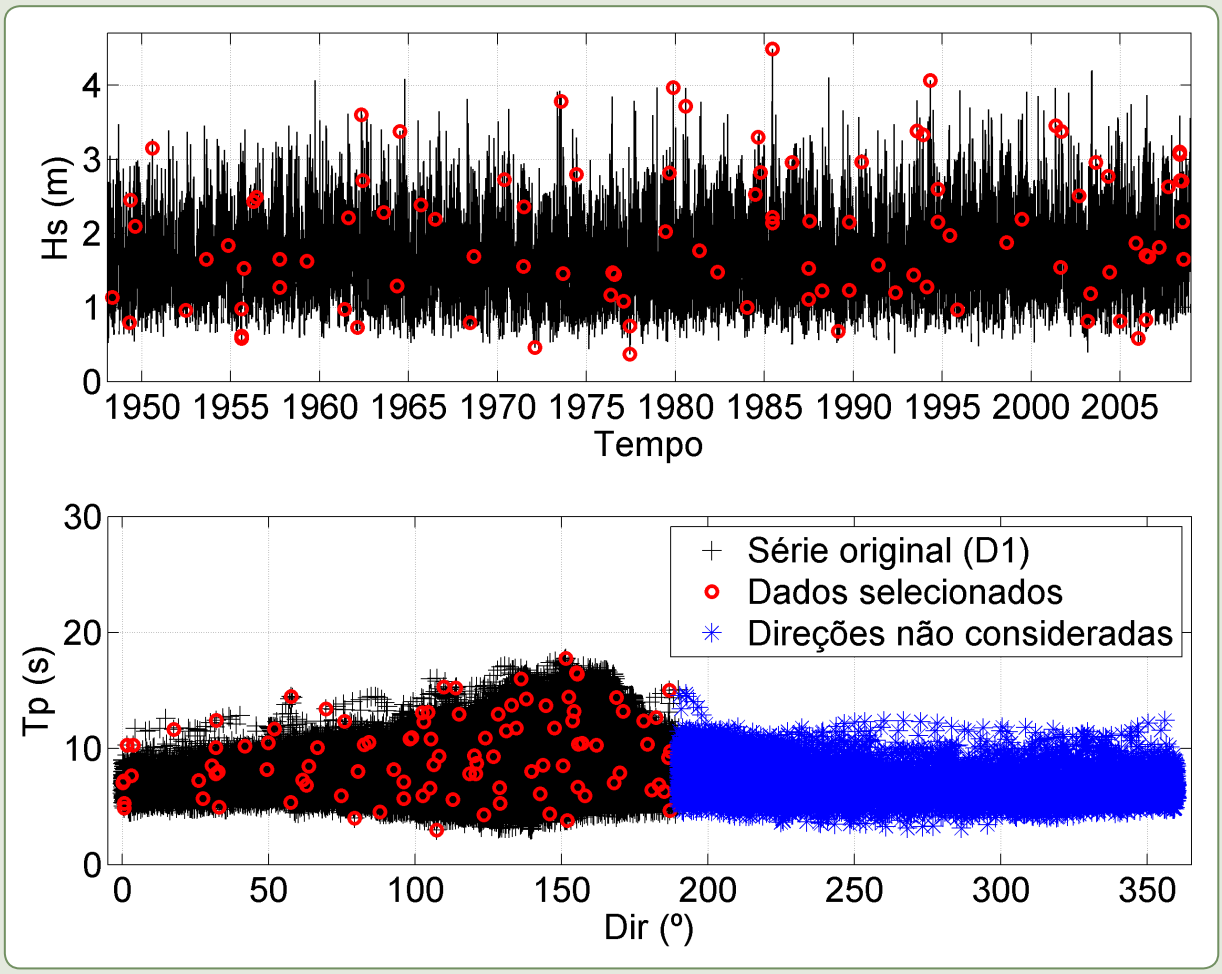
Legenda: Os pontos próximos à linha de costa indicam os pontos de H_S utilizados para a setorização. Nos gráficos à direita, estão representados os valores de cada variável em todos os pontos analisados. As cruzes indicam os pontos a 15 m de profundidade onde foram extraídos os valores de H_S propagados, utilizados para o cálculo do *runup*

Fonte: Dos autores (2018). Foto: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (2010).

Casos selecionados para propagação

De um total de 533.944 estados de mar da série original, 524.067 foram utilizados no processo de seleção (casos com direção $0° < \theta\ m < 190°$). Com base na série já truncada, foram selecionados 100 casos para propagação até águas rasas (Figura 14.8).

Figura 14.8 – Dados do ponto D1



Legenda: Acima, a série completa e os pontos selecionados para propagação; abaixo, os valores de T_P e Dir da série total, os casos desconsiderados provenientes do continente e os casos selecionados para propagação

Fonte: Dos autores (2018).

Análise ao longo da praia

Ondas

O Quadro 14.3 mostra a estatística das séries de H_S nos três pontos a 15 m de profundidade em frente a cada setor da praia. A distribuição acumulada de frequência (regime médio) e a análise de regime extremo de cada setor estão apresentadas na Figura 14.9. As estatísticas de regime extremo (PR5, PR25 e R50) de H_S indicam maiores valores de H_S na porção central da praia (PR50 igual a 4,22 m) quando comparados aos valores de H_S próximos às extremidades do arco praial. Menores valores de H_S (PR50 igual a 3,49 m) são observados no Setor 1 (protegido), e valores intermediários são observados no Setor 3 (PR50 igual a 4,0 m). Os valores extremos de H_S apresentados corroboram a classificação realizada no item "Setorização da praia" deste trabalho, ou seja, maior exposição às ondas foi atribuída ao setor com maiores valores de H_S em regime extremo.

Os valores de regime médio (Figura 14.9), no entanto, mostram um padrão diferente de variação longitudinal, se comparados aos valores obtidos da análise de regime extremo. Nesse caso,

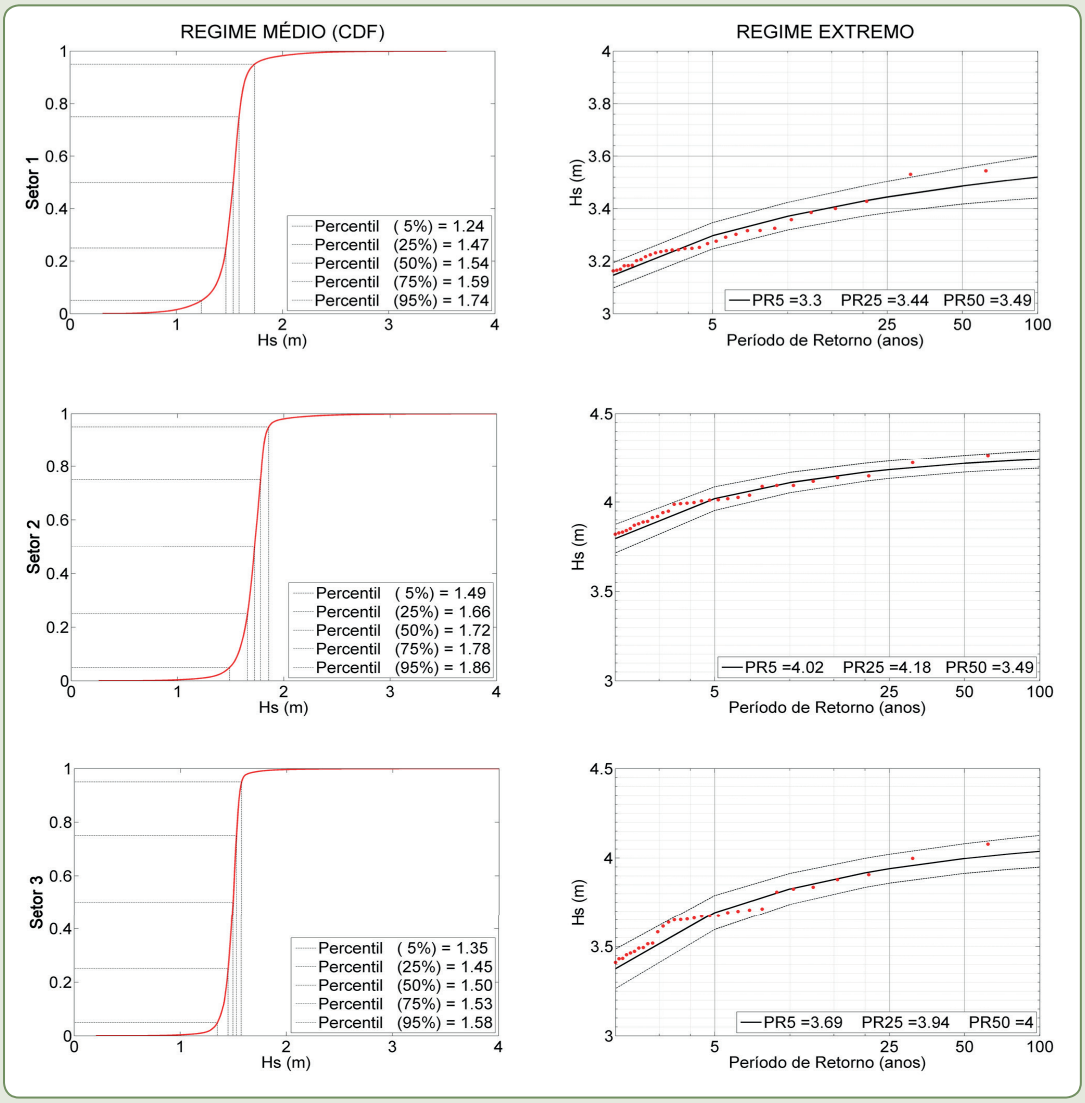
foram observados valores maiores de percentis de H_S no Setor 1 que no Setor 3. Dita diferença sugere que, em regime médio, a exposição às ondas ao longo da praia é diferente e que a classificação adotada não corresponde a tais situações. Como o enfoque do presente estudo é a análise de regime extremo, optou-se por manter a classificação adotada anteriormente.

Quadro 14.3 – Estatística de H_S nos pontos de reconstrução da série de ondas em águas rasas (15 m de profundidade em frente a cada setor) e PR correspondente ao ajuste de regime extremo

H_S (m)						
Setor	**Moda**	**Média**	**Perc. 50%**	**PR 5 anos**	**PR 25 anos**	**PR 50 anos**
1	1,49	1,52	1,54	3,3	3,44	3,49
2	1,70	1,71	1,72	4,02	4,18	4,22
3	1,50	1,49	1,50	3,69	3,94	4,00

Fonte: Dos autores (2018).

Figura 14.9 – Regime médio (à esquerda) e extremo (à direita) de H_S a 15 m de profundidade em frente a cada um dos setores da praia



Fonte: Dos autores (2018).

Runup

Os valores estatísticos obtidos da série de *runup* ($R_{2\%}$) para cada setor das praias analisadas estão apresentados no Quadro 14.4. Menores valores foram obtidos no setor protegido, enquanto os maiores foram apresentados no setor exposto. O Setor 3, semiexposto, apresentou valores intermediários.

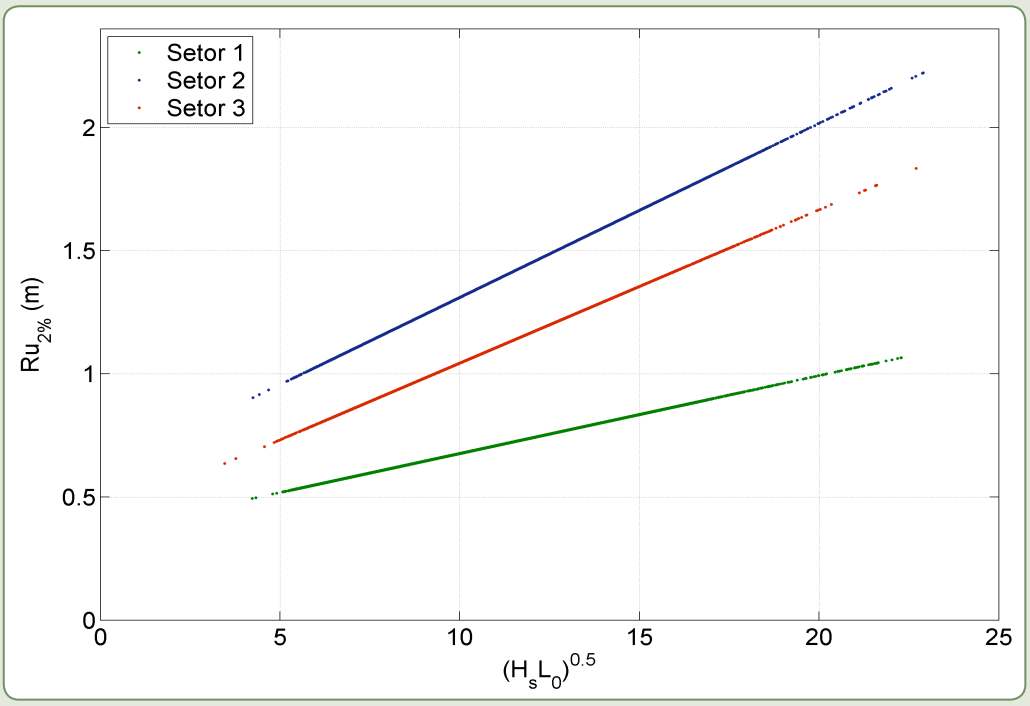
Quadro 14.4 – Estatística das séries de *runup* em cada setor das praias analisadas e PR correspondente ao ajuste de regime extremo

$R_{2\%}$(m)						
Setor	**Moda**	**Média**	**Perc. 50%**	**PR 5 anos**	**PR 25 anos**	**PR 50 anos**
1	0,70	0,71	0,71	1,01	1,19	1,36
2	1,38	1,43	1,43	2,06	2,17	2,23
3	1,06	1,10	1,10	1,63	1,73	1,79

Fonte: Dos autores (2018).

A Figura 14.10 apresenta os valores de $R_{2\%}$ com relação ao parâmetro $(H_S L_0)^{0,5}$ para os três setores da praia. Com base na formulação utilizada se observa a dependência linear entre os parâmetros analisados. No entanto, estudos anteriores baseados em registros obtidos em campo apontam a ocorrência da saturação dos maiores valores de *runup* com relação aos valores de H_S, ou seja, a partir de determinados valores de H_S, as elevações do *runup* não variam (RUGGIERO; HOLMAN; BEACH, 2004; BRYAN; COCO, 2010). Isso ocorre porque o *runup* junto à praia é controlado não só pela energia de ondas incidente, mas também pelos processos que ocorrem dentro da zona de surfe, removendo e transferindo energia entre frequências. Nesses casos, formulações do tipo hiperbólicas representariam melhor o processo (VOUSDOUSKAS et al., 2009; BRYAN; COCO, 2010).

Figura 14.10 – Valores de $R_{2\%}$ com relação ao parâmetro $(H_S L_0)^{0,5}$ nos três setores da praia



Fonte: Dos autores (2018).

Cota de inundação

A estatística da série de cota de inundação instantânea (cota de inundação sem considerar a elevação do NMM) está apresentada no Quadro 14.5. Os valores de H_S de percentil 50% (regime médio) variaram de 0,72 m no Setor 1 a 1,44 m no Setor 2 e por fim, a 1,12 m no Setor 3.

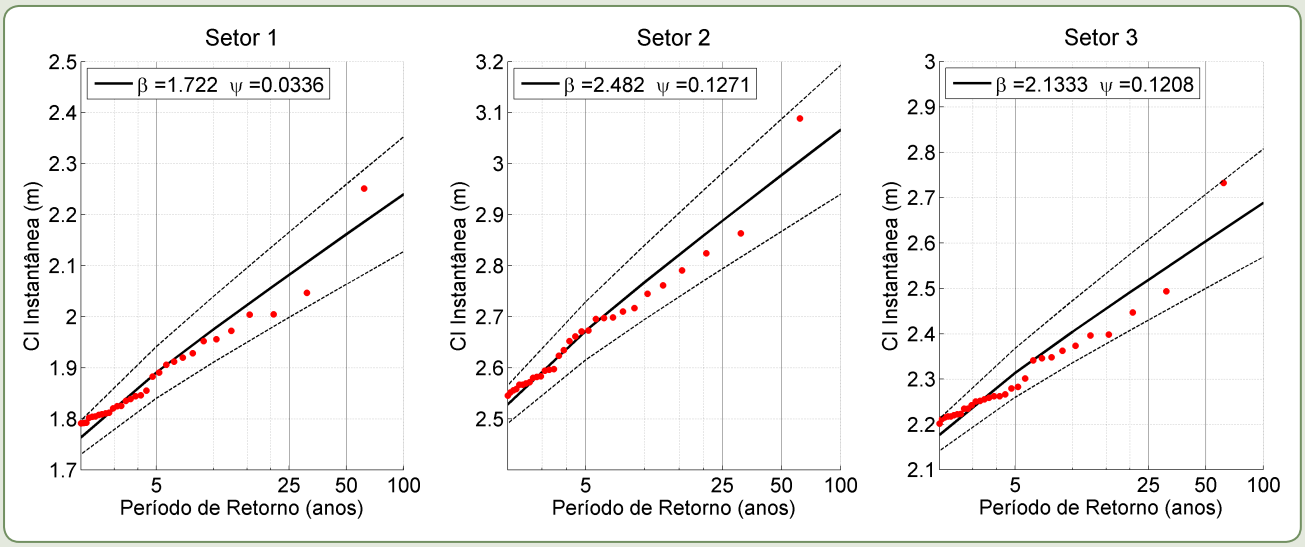
Quadro 14.5 – Estatística das séries de cota de inundação instantânea em cada setor

Cota de inundação instantânea (m)			
Setor	**Moda**	**Média**	**Perc. 50%**
1	0,65	0,72	0,72
2	1,16	1,45	1,44
3	0,97	1,12	1,12

Fonte: Dos autores (2018).

Com base na análise de regime extremo de cota de inundação instantânea (Figura 14.11), foram obtidos os valores de CI para os períodos de retorno de 5, 25 e 50 anos. A estes foram somados os valores de elevação no NM (Quadro 14.1). Os resultados obtidos estão apresentados no Quadro 14.6. Os valores mais extremos, referentes ao período de retorno de 50 anos, variaram de 2,26 a 3,0 m ao longo da praia.

Figura 14.11 – Regime extremo de cota de inundação instantânea (ajuste à distribuição de Gumbel de máximos)



Legenda: β e Ψ são os parâmetros de localização e escala da distribuição, respectivamente. A linha pontilhada indica o limite de confiança de 95%

Fonte: Dos autores (2018).

Quadro 14.6 – Valores de período de retorno de CI (m) obtidos para as praias de Moçambique e Barra da Lagoa

Cota de Inundação (m)			
Setor	**PR (5)**	**PR (25)**	**PR (50)**
1	1,90	2,13	2,26
2	2,68	2,93	3,0
3	2,31	2,52	2,60

Legenda: Valores CI_{inst} + NMM de cada cenário

Fonte: Dos autores (2018).

Valores de cota de inundação em regime extremo foram calculados para toda a costa do Brasil em trabalho realizado pelo Projeto SMC-Brasil (BRASIL, 2018a). Os valores de cota de inundação instantânea com período de retorno igual a 5, 25 e 50 anos para o Setor 1 de Moçambique/Barra da Lagoa obtidos no presente estudo e aqueles apresentados em Brasil (2018a) estão demonstrados no Quadro 14.7 para comparação.

Quadro 14.7 – Resultados de CI instantânea obtidos no presente estudo e apresentados em Brasil (2018a) para o Setor 1 de Moçambique/Barra da Lagoa

Cenário	**CI Instantânea Setor 1 (m)**	
	Presente estudo	**BRASIL (2018a)**
PR(5)	1,89	3,6
PR(25)	2,09	3,9
PR(50)	2,16	4,0

Fonte: Dos autores (2018).

Como é possível observar, os valores apresentados por Brasil (2018a) para a área de estudo apontam valores aproximadamente duas vezes maiores que estes calculados no presente estudo. Isso se deve ao fato de que o estudo apresentado por Brasil (2018a) teve por objetivo a geração de dados em grande escala ao longo de toda a costa do Brasil e que servem de base para uma análise preliminar em fase de pré-projeto. As diferenças verificadas se devem a três principais causas:

1) Base de dados de ondas utilizadas: com o intuito de gerar dados regionais, a base de dados de reanálise de ondas utilizada em Brasil (2018a) foi a base GOW. Diferente da base DOW utilizada no presente estudo, a base GOW não considera os processos de transformação de águas intermediária para águas rasas.
2) Método de propagação de ondas utilizado: os valores de cota de inundação apresentados por Brasil (2018a) foram calculados a partir de alturas de ondas propagadas com o método de Snell da refração. Esse método calcula a transformação das ondas ao longo de raios de propagação em que são considerados apenas os processos de refração e empinamento da onda, desconsiderando a difração e a dissipação de energia por atrito e pela quebra, resultando em maiores valores de H_S.

3) Método de cálculo de *runup*: o cálculo do *runup* em Brasil (2018a) é realizado com base na formulação proposta por Nielsen e Hanslow (1991) gerada para aplicação em praias expostas, que não é o caso de Moçambique/Barra da Lagoa.

CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentada a aplicação de uma metodologia de cálculo de cota de inundação em praias de enseada levando em conta os diferentes graus de exposição às ondas.

Variações no grau de exposição às ondas em regime médio e extremo foram observadas na porção norte do arco praial Moçambique/Barra da Lagoa. Esse fato sugere que um mesmo setor pode apresentar comportamento diferente em análises de regime médio e regime extremo, fato que deve ser levado em consideração nesse tipo de análise.

Cabe advertir, no entanto, algumas limitações da metodologia aplicada:

- Os dados de *runup* utilizados para o cálculo da cota de inundação foram obtidos a partir de propagações de ondas. Para representar de forma real o comportamento das ondas até águas rasas considera-se ideal utilizar dados de batimetria de detalhe. No entanto, tais dados não estavam disponíveis para uso até o momento da realização deste trabalho.
- Não havia disponíveis dados de ondas medidos em águas rasas na área de estudo e, por esse motivo, a validação do modelo não pôde ser realizada. Ainda assim, as validações realizadas por Gomes da Silva et al. (2015) demonstraram o ajuste da base de dados utilizada. Por outro lado, a calibração do modelo OLUCA em uma praia no norte do estado (OLIVEIRA, 2013) mostrou sua eficiência em simular as transformações de ondas na costa catarinense.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Ministério do Ministério do Ambiente e ao Fundo Clima do Brasil, à Agência Brasileira de Cooperação, e à CAPES (Projeto Rede de Riscos Costeiros – Edital 03/2009) pelo suporte financeiro a esta pesquisa. Este projeto faz parte da Rede Costeira INCT CLIMA.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, C. E. S.; FRANCO, D.; MELO, E.; PIMENTA, E. Wave regime characteristics of the Southern Brazilian Coast. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COASTAL AND PORT ENGINEERING IN DEVELOPING COUNTRIES – COPEDEC, 6., **Proceedings**… Colombo, Sri Lanka, 2003. p. 15.

BERKHOFF, J. C. W. Computation of combined refraction-diffraction. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COASTAL ENGINEERING, 13., **Proceedings**… Vancouver, 1972. p. 471-490.

BONETTI, J.; KLEIN, A. H. F.; MULER, M.; DE LUCA, C. B.; SILVA, G. V.; TOLDO JUNIOR, E. E.; GONZÁLEZ, M. Spatial and numerical methodologies on coastal erosion and flooding risk assessment. In: FINKL, C. (Ed.). **Coastal hazards**. Dordrecht: Coastal Research Library Series, Springer 2012. Chapter 16. (ISBN 978-94-00-5233-7).

BOOIJ, N. **Gravity waves on water with non-uniform depth and current**. 1981. 130 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Geociências) – Delft University of Technology, Delft, 1981.

BOOIJ, N.; HOLTHUIJSEN, L. H.; RIS, R. C. A third-generation wave model for coastal regions. Part 1: Model description and validation. **Journal of Geophysical Research**, v. 104, n. C4, p. 7649-7666, 1999.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Uma proposta de abordagem para o estabelecimento de regime probabilístico de área de inundação costeira do Brasil**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2018a.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Sistema de Modelagem Costeira, SMC**: Documento temático – Ondas. Brasília: MMA, 2018b.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Sistema de Modelagem Costeira, SMC**: Documento temático – Níveis. Brasília: MMA, 2018c.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Sistema de Modelagem Costeira, SMC**: Manual do usuário – OLUCA-SP. Brasília: MMA, no prelo.

BRYAN, K. R.; COCO, G. Observations of nonlinear runup patterns on plane and rhythmic beach morphology. **Journal of Geophysical Research**, v. 15, n. C9, 2010. DOI 10.1029/2009JC005721.

CAMUS, P.; MÉNDEZ, F. J.; MEDINA, R.; TOMAS, A.; IZAGUIRRE, C. High resolution Downscaled Ocean Waves (DOW) reanalysis in coastal areas. **Coastal Engineering**, v. 72, p. 56-68, 2013.

CAMUS, P.; MENDEZ, F. J.; MEDINA, R. A hybrid method to downscale wave climate to coastal areas. **Coastal Engineering**, v. 58, p. 851-862, 2011.

CARRASCO, A. R.; FERREIRA, O.; MATIAS, A.; FREITE, P. Flood hazard assessment and management of fetch-limited coastal environments. **Ocean and Coastal Management,** v. 65, p. 15-25, 2012.

CARTER, R. W. G. **Coastal environments: an introduction to physical, ecological, and cultural systems of coastlines**. Londres: Academic Press, 1988. 617 p. (ISBN 0-12-161855-2).

COMISSÃO ECONÔMICA PARA AMÉRICA LATINA E CARIBE (CEPAL-ONU). **Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe**, 2011. Disponível em: <www.cepal.org/cgi-bin/getProd.asp?xml=/dmaah/noticias/paginas/5/48025/P48025.xml&xsl=/dmaah/tpl/p18f.xsl&base=/dmaah/tpl/top-bottom.xsl>. Acesso em: ago. 2105.

CHEUNG, K. F.; PHADKE, A. C.; WEI, Y.; ROJAS, R.; DOUYERE, Y. J. M.; MARTINO, C. D.; HOUSTON, S. H.; LIU, P. L.-F.; LYNETT, P. J.; DODD, N.; LIAO, S.; NAKAZAKI, E. Modeling of storm-induced coastal flooding for emergency management. **Ocean Engineering**, v. 30, p. 1353-1386, 2003.

DALINGHAUS, C.; SILVA, P. G.; MULER, M.; CAMARGO, R. S. V.; PRADO, M. F. V.; BOSE, M. A.; GUTIÉRREZ, O.; GONZÁLEZ, M.; ESPEJO, A.; ABASCAL, A.; KLEIN, A. H. F. Regimes probabilísticos de cota de inundação costeira do Brasil – exemplo de aplicação no arco praial Barra da Lagoa-Moçambique, Florianópolis, SC, Brasil. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM ZONAS COSTEIRAS, 3., **Anais**... 2013, Florianópolis, Brasil. 1 CD-ROM. Sem paginação.

EGBERT G. D.; EROFEEVA, S. Y. Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 19, p. 183-204, 2002.

EGBERT, G. D.; BENNETT, A. F.; FOREMAN, M. G. G. TOPEX/Poseidon tides estimated using a global inverse model. **Journal of Geophysical Research**, v. 99, n. C12, p. 24821-24852, 1994.

FRANCO, D.; MELO FILHO, E. Relevância dos mares secundários na caracterização do regime de ondas ao largo da Ilha de Santa Catarina, SC (2002-2005). In: SEMINÁRIO E WORKSHOP EM ENGENHARIA OCEÂNICA, 3., **Anais...** 2008, Rio Grande, Brasil, 2008. 1 CD-ROM. Sem paginação.

GOMES DA SILVA, P.; KLEIN, A. H. F.; GONZÁLEZ, M.; GUTIÉRREZ, O.; ESPEJO, A. Performance assessment of the database downscaled ocean waves (DOW) on Santa Catarina coast, South Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 87, n. 2, p. 623-634, 2015.

GONZÁLEZ, M.; MEDINA, R.; GONZÁLEZ-ONDINA, J.; OSORIO, A.; MÉNDEZ, F. J.; GARCÍA, E. An integrated coastal modeling system for analyzing beach processes and beach restoration projects, SMC. **Computers and Geosciences**, v. 33, p. 916-931, 2007.

HOLMAN, R. A. Extreme value statistics for wave run-up on a natural beach. **Coastal Engineering**, v. 9, p. 527-544, 1986.

HOLTHUIJSEN, L. H. **Waves in oceanic and coastal waters**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

HORN FILHO, N. Granulometria das praias arenosas da Ilha de Santa Catarina, SC. **Gravel**, n. 4, p. 1-21, 2006.

KLEIN, A. H. F. **Morphodynamics of headland bay beaches**: examples from the coast of Santa Catarina State, Brazil. Tese (Doutorado em Ciências do Mar) – Universidade do Algarve, Faro, 2004. 257 p.

LEAL, P. C.; HORN FILHO, N. O.; OLIVEIRA, J. S. Granulometria do arco praial Moçambique-Barra da Lagoa, Ilha de Santa Catarina, SC – Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE PRAIAS ARENOSAS; MORFODINÂMICA, ECOLOGIA, USOS, RISCOS E GESTÃO, 2000, Itajaí, **Anais**... Itajaí, 2000. p. 166-167.

MEDINA, R.; MÉNDEZ, F. J. Inundación costera originada por la dinámica marina. **Ingeniería y territorio,** v. 74, p. 68-75, 2006.

MELO FILHO, E.; HAMMES, G. R.; FRANCO, D. Estudo de caso: a ressaca de agosto de 2005 em Santa Catarina. In: SEMINÁRIO E WORKSHOP EM ENGENHARIA OCEÂNICA, 3., 2006, **Anais**... 2006, Rio Grande, Brasil, 2006. 1 CD-ROM. Sem paginação.

MULER, M.; CAMARGO, R.; PRADO, M. F.; ROCHA, R.; BORGES, M.; BOSE, M.; VIEIRA DA SILVA, G.; GOMES DA SILVA, P.; DALINGHAUS, C.; BONETTI, J.; KLEIN, A. H. F. **Metodologia para quantificação de riscos costeiros e projeção de linhas de costa futuras como subsídio para estudos de adaptação das zonas costeiras do litoral norte da Ilha de Santa Catarina e regiões de entorno**. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM ZONAS COSTEIRAS, 3., 2013, Florianópolis, Brasil. 1 CD-ROM. Sem paginação.

NICHOLLS, R. J.; SMALL, C. Improved estimates of coastal population and exposure to hazards released. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 83, n. 28, p. 301-305, 2002.

NIELSEN, P.; HANSLOW, D. J. Wave runup distributions on natural beaches. **Journal of Coastal Research**, v. 7, n. 4, p. 1139-1152, 1991.

OLIVEIRA, J. G. **Modelagem numérica das respostas do perfil praial a eventos extremos em praias de enseada**: estudo de caso da Enseada do Itapocorói, Santa Catarina, Brasil. 163 p. Monografia (Graduação em Oceanografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

RADDER, A. C. On the parabolic equation method for water-wave propagation. **Journal of Fluid Mechanics**, v. 95, p. 159-176, 1979.

REGUERO, B. G.; MENÉNDEZ, M.; MÉNDEZ, R.; MÍNGUEZ, R.; LOSADA, I. J. A Global Ocean Wave (GOW) calibrated reanalysis from 1948 onwards. **Coastal Engineering**, v. 65, p. 38-55, 2012.

RUGGIERO, P.; HOLMAN, R. A.; BEACH, R. A. Wave run-up on a high-energy dissipative beach. **Journal of Geophysical Research**, v. 109, n. C6, 2004. DOI 10.1029/2003JC002160.

SEMINÁRIO INTERNACIONAL BRASIL-ESPANHA: A EXPERIÊNCIA ESPANHOLA E A APLICAÇÃO DO SMC BRASIL NO APOIO À GESTÃO DA COSTA BRASILEIRA, 2., **Resumo executivo**... Brasília: IABS, abr. 2013.

SHCHEPETKIN, A. F.; MCWILLIAMS, J. C. A method for computing horizontal pressure-gradiente force in an oceanic model with nonaligned vertical coordinate. **Journal of Geophysics Research**, v. 108, n. C3, 2003. DOI 10.1029/2001JC001047.

SHCHEPETKIN, A. F.; MCWILLIAMS, J. C. The regional ocean modeling system: a split-explicit, freesurface, topography following coordinates ocean model. **Ocean Modeling**, v. 9, p. 347-404, 2005.

SIGNORIN, M. **Análise e comparação do clima de ondas do norte, centro e sul de Santa Catarina utilizando modelagem numérica**. Monografia (Graduação em Oceanografia) – Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2010, 167 p.

MIOT DA SILVA, G.; MOUSAVI, S. M. S.; JOSE, F. Wave-driven sediment transport and beach-dune dynamics in a headland bay beach. **Marine Geology**, v. 323-325, p. 29-46, 2012.

MIOT DA SILVA, G.; **Orientação da linha de costa e dinâmica dos sistemas praia e duna**: praia de Moçambique, Florianópolis, SC. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

SILVEIRA, L. F.; KLEIN, A. H. F.; TESSLER, M. G. Classificação morfodinâmica das praias do estado de Santa Catarina e do litoral norte do estado de São Paulo utilizando sensoriamento remoto. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 15, n. 2, p. 13-28, 2011.

SIMÓ, D. H.; HORN FILHO, N. O. Caracterização e distribuição espacial das "ressacas" e áreas de risco na Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. **Gravel**, n. 2, p. 93-103, 2004.

STOCKDON, H. F.; HOLMAN, R. A.; HOWD, P. A.; SALLENGER JUNIOR, A. H. Empirical parametrization of setup, swash and runup. **Coastal Engineering**, v. 53, p. 573-588, 2006.

TANK, A. M. G.; ZWIERS, F. W.; ZHANG, X. Guidelines on analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. **WMO-TD**, n. 1500, 2009. 56 p.

TOLMAN, H. L. A third-generation model for wind waves on slowly varying unsteady and inhomogeneous depths and currents. **Journal of Physical Oceanography**, v. 21, p. 782-797, 1991.

TRUCCOLO, E. C., FRANCO, D.; SCHETTINI, C. A. F. The low frequency sea level oscillations in the northern coast of Santa Catarina, Brazil. **Journal of Coastal Research,** v. 39, p. 547-552, 2006.

VIEIRA DA SILVA, G. **Cota de inundação e recorrência para a enseada do Itapocorói e praia de Morro dos Conventos, Santa Catarina**. 98 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

VILLATORO, M.; SILVA, R.; MÉNDEZ, F. J.; ZANUTTIGH, B.; PAN, S.; TRIFONOVA, E.; LOSADA, I. J.; IZAQUIRRE, C.; SIMMONDS, D.; REEVE, D. E.; MENDOZA, E.; MARTINELLI, L.; FORMENTIN, S. M.; GALIATSATOU, P.; EFTIMOVA, P. An approach to assess flooding and erosion risk for open beaches in a changing climate. **Coastal Engineering**, v. 87, p. 50-76, 2014.

VOUSDOUSKAS, M. I.; VELEGRAKIS, A. F.; DIMOU, K; ZERVAKIS, V.; CONLEY, D. C. Wave run-up observations in microtidal, sediment-starved pocket beaches of the Eastern Mediterranean. **Journal of Marine Science System**, v. 78, p. S37-S47, 2009.

Este livro foi editorado com as fontes Minion Pro e Roboto.
Publicado *on-line* em: <editora.ufsc.br/estante-aberta>.

Este livro reúne artigos que apresentam os primeiros resultados da aplicação das metodologias de trabalho, bases de dados e modelos numéricos proporcionados pelo Projeto SMC-Brasil. Esses resultados são apresentados de forma a promover o entendimento do leitor sobre a importância do estudo das áreas costeiras no Brasil e sobre a atual facilidade de integrar metodologias e ferramentas no gerenciamento costeiro brasileiro.

SMCBrasil
Sistema de Modelagem Costeira

9 788532 808356