

**Metodologia para quantificação
de perigos costeiros e projeção
de linhas de costa futuras como
subsídio para estudos de
adaptação das zonas costeiras:**

Litoral norte da Ilha de
Santa Catarina e entorno

Brasília, 2016

Dados Internacionais para Catalogação na Publicação

M593q Metodologia para quantificação de perigos costeiros e projeção de linhas de costa futuras como subsídio para estudos de adaptação das zonas costeiras: litoral norte da Ilha de Santa Catarina e entorno/[Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Extrativismo e Desenvolvimento Rural Sustentável; Laboratório de Oceanografia Costeira; Universidade Federal de Santa Catarina; Elaboração Antonio Henrique da Fontoura Klein ... [et al]]. Brasília: MMA, 2016.

252 p.; Il. Color.; mapas; gráficos.

ISBN: 978-85-7738-266-8

1. Perigos costeiros. 2. Linhas de costa futuras. 3. Inundação costeira. I. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Extrativismo e Desenvolvimento Rural Sustentável. II. Laboratório de Oceanografia Costeira. Universidade Federal de Santa Catarina. III. Klein, Antonio Henrique da Fontoura. IV. Prado. Michel Franco Volpato. V. Charline Dalinghaus. VI. De Camargo. José Maurício. VII. Título.

CDU 502.51(210.5)

Ministério do Meio Ambiente
Biblioteca Cid Ambiental

GOVERNO BRASILEIRO

Presidente

DILMA VANA ROUSSEFF

Vice-Presidente

MICHEL MIGUEL ELIAS TEMER LULIA

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE

Ministra

IZABELLA MÔNICA VIEIRA TEIXEIRA

Secretário Executivo

FRANCISCO GAETANI

Secretário de Extrativismo e Desenvolvimento

Rural Sustentável(SEDRE)

CARLOS MÁRIO GUEDES DE GUEDES

Diretor de Zoneamento Territorial (DZT)

ADALBERTO EBERHARD

RESPONSÁVEIS TÉCNICOS

Professor: Antonio Henrique da Fontoura Klein

Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, SC- Brasil - CEP: 88040-900

E-mail: antonio.klein@ufsc.br

Tel.: 55-48-37212577

<http://loc.ufsc.br/>

Márcia Regina Lima de Oliveira (Gerente) /

Leila Affonso Swerts (Analista Ambiental)

Ministério do Meio Ambiente

ANEXO 1 SEPN 505 Norte, Bloco B, Edifício Marie

Prendi Cruz, sl. 107

Brasília - DF CEP 70730-542

E-mail: marcia.oliveira@mma.gov.br;

leila.swerts@mma.gov.br; gerco@mma.gov.br

Tel.: 55- 61- 2028-1161 / 55-61-2028-1364

<http://www.mma.gov.br/gestao-territorial/>

[gerenciamento-costeiro](#)

OBSERVAÇÃO JURÍDICA

Nenhum dos participantes, nem as instituições as quais representam no desenvolvimento do projeto, são responsáveis pela utilização dada a esta publicação.

ELABORAÇÃO

Antonio Henrique da Fontoura Klein

Michel Franco Volpato Prado

Charline Dalinghaus

José Maurício de Camargo

EQUIPE TÉCNICA

COORDENADOR:

Antonio Henrique da Fontoura Klein - **LOC/UFSC**

GERENTE DE PROJETO:

Michel Franco Volpato Prado - **INCT-MAR COI**

REVISORES:

Elírio Ernestino Toldo Junior - **CECO/UFRGS**

Jarbas Bonetti Filho - **LOC/UFSC**

AQUISIÇÃO DE DADOS BATIMÉTRICOS:

Rafael Sartori Valdiviezo de Camargo

Diego Fhelipe Porpilho da Silva - **PFRH 240**

Michel Franco Volpato Prado - **INCT-MAR COI**

AQUISIÇÃO DE DADOS TOPOGRÁFICOS:

Michel Franco Volpato Prado - **INCT-MAR COI**

Rafael Sartori Valdiviezo de Camargo

Mariela Muler

Arthur de Oliveira Hernandez - **PFRH 240**

Maiara Werner Pinto - **PFRH 240**

CARTOGRAFIA E GEOPROCESSAMENTO:

Mariela Muler

José Maurício de Camargo - **PFRH 240**

Michel Franco Volpato Prado - **INCT-MAR COI**

Ronaldo dos Santos Rocha - **LACAAP/UFRGS**

PROCESSAMENTO DE DADOS BATIMÉTRICOS:

Diego Fhelipe Porpilho da Silva - **PFRH 240**

Daniel Carazzai

Jhersyka Klein Machado - **PIBIC/CNPq**

Vanessa Guessser - **PIBIC/CNPq**

PROCESSAMENTO DE DADOS TOPOGRÁFICOS:

Michel Franco Volpato Prado - **NCT-MAR COI**

Matheus Bose

José Roberto Miranda - **INCT-CLIMA**

MODELAGEM DE ONDAS:

Paula Gomes da Silva - **CAPES**

Charline Dalinghaus - **CAPES**

Wagner Langer Costa





VOLUNTÁRIOS:

Ana Paula da Silva
Diogo Mees Delfes Varela
Gabriela Reis Flemming - **PIBIC/CNPq**
Marina Miguel Borges
Marina Martins Bousfield
Natália Martins Nogueira da Cunha
Sheyla Siepierski Malaquias

DESENVOLVIMENTO:

Laboratório de Oceanografia Costeira.

FINANCIAMENTO DO PROJETO

Fundo Nacional Para Mudanças Climáticas - **FUNDO CLIMA**
(EDITAL MMA/FNMC No 04/2011).
TERMO DE COOPERAÇÃO Nº010/2011.
Ministério do Meio Ambiente - MMA Brasil

APOIO

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT)
para Mudanças Climáticas
Sub-rede Zonas Costeiras

COLABORAÇÃO E FORNECIMENTO DE DADOS

Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis - **IPUF**
Instituto de Hidráulica Ambiental - IH Cantabria
Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável
de Santa Catarina - **SDS**
Secretária do Patrimônio da União - **SPU**
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - **UFRGS**
Projeto SMC- Brasil

GESTÃO FINANCEIRA

Fundação de Amparo à Pesquisa e Extensão Universitária -
FAPEU

FOTOGRAFIA DA CAPA

Fotografia aérea vertical obtida no ano de 2010 e cedida
por: Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico
Sustentável de Santa Catarina - **SDS**
Local: Barra da Lagoa - Florianópolis, SC.

OUTRAS FOTOGRAFIAS

Base de dados do Laboratório de Oceanografia
Costeira - **UFSC**



Aviso Legal

As informações presentes neste relatório não são fornecidas como conselhos profissionais, e não devem ser invocadas para a tomada de decisão específica ou para assumir compromissos financeiros ou qualquer outro.

Este trabalho foi elaborado a partir de diversos dados gerados ou coletados por órgãos públicos e oficiais, os quais são responsáveis pela veracidade e precisão dos mesmos, não sendo os elaboradores deste trabalho os responsáveis por eventuais divergências existentes nestes dados.

Foram elaboradas cartas temáticas de retração da linha de costa e inundação costeira para os cenários de 5, 10, 25 e 50 anos futuros. Estas não levam em consideração obras de contenção e recuperação costeira que venham a ser efetuadas no futuro, bem como não leva em consideração possíveis mudanças nos padrões climáticos e oceanográficos que por ventura possam ocorrer.

Cabe salientar que os cenários propostos neste trabalho não contam com fatores como obstáculos antrópicos, rugosidade e infiltração no solo, os quais podem apresentar influência no processo analisado. Este trabalho não considera inundação devido à precipitação. Portanto é possível que haja diferenças entre os cenários propostos neste estudo e os observados em campo.



Resumo

Este relatório apresenta a aplicação de uma metodologia para quantificação de perigos 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 entorno, nas praias localizadas entre a Praia da Barra da Lagoa e a Praia da Daniela. Além da capital do estado, os municípios de São José, Biguaçu e Governador Celso Ramos têm partes de suas linhas de costa (Praia de Anhatomirim, Caieiras, São Miguel, Pitangueiras, Oscar e Rabelo) inseridas na área de estudo.

Em um primeiro momento foi necessária à verificação das precisões das bases cartográficas disponíveis para a área de estudo. Este item apresentou uma análise da qualidade das bases cartográficas digitais oficiais disponíveis para o norte da Ilha de Santa Catarina e entorno, através de pontos de aferição coletados em campo com o auxílio de receptor GNSS privilegiando-se a localização dos pontos distribuídos nas regiões de maior concentração de informações cartografadas.

A base cartográfica disponibilizada pela SPU apresenta um erro sistemático de aproximadamente -1,611 m (Leste). Foi possível concluir que, seguindo o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), esta base apresenta imprecisão de 2,54 m, não estando dentro das três classes pré-estabelecidas A, B e C no Decreto Federal. Na base disponibilizada pelo IPUF, diferenças de aproximadamente 4,20 m na direção Norte e 1,00 m na direção Leste foram encontradas referentes a diferenças de transformações entre sistema de referência SAD 69 com ajustamento anterior e posterior a 1996. As diferenças puderam ser checadas utilizando-se o aplicativo ProGrid versão 1.1, chegando-se aos valores de erro de -0,706 m na direção Leste e 4,799 m na direção Norte, os quais foram descontados das coordenadas para redução dos resíduos encontrados. Assim, a base cartográfica do IPUF é classificada como B, sendo o PEC de 1,63 m.

A Taxa de Evolução Costeira (TEC) foi calculada através da comparação entre linhas de costas pretéritas extraídas de fotografias aéreas verticais e

imagens de satélites (1957-2010) e a linha de costa de 2012 obtida em campo. Para a previsão das linhas de costa futuras utilizou-se o método da Regressão Linear (LRR). As principais vantagens deste método é o uso dos dados de todas as datas no cálculo da taxa de evolução da costa, reduzindo a influência de dados espúrios (ex. eventos de pequena escala). O diagnóstico das praias apontou processos erosivos para diversas praias em estudo com retrações de até 100% da linha de costa, como é o caso da Praia dos Ingleses, Jurerê e Anhatomirim. No total cerca de 60% (26.504,79 m) da linha de costa da área de estudo está em processo de retração. Este número pode ainda ser agravado levando-se em consideração que aproximadamente 23% (10.446,88 m) da linha de costa encontra-se em estabilidade, um frágil estágio que pode ser quebrado através de intervenções antrópicas mal estudadas ou calculadas. A previsão de linhas de costas futuras foi feita para 5, 10, 25 e 50 anos. A geração destes cenários deu-se pela multiplicação da taxa de variação da linha de costa obtida para cada transecto pelos anos de previsão. Para as porções de linha de costa que apresentaram valores positivos, ou valores abaixo do erro, isto é, cenários de estabilidade ou progradação, manteve-se o cenário atual, por este se tratar do pior cenário. O cálculo da retração adicional devido à aceleração da subida do nível do mar foi realizado utilizando a Regra de Bruun, apontando recuos da linha de costa de mais de um metro em setores da Praia da Barra da Lagoa.

Uma adaptação metodológica baseada na interpretação da Regra de Bruun foi proposta para o cálculo da retração adicional em praias abrigadas da incidência de ondas. Na metodologia proposta, a retração da linha de costa (R_a) devido à subida do nível do mar inclui a retração decorrente do efeito da inundação (I), o qual é inversamente proporcional a declividade do perfil praial. Para as praias abrigadas localizadas na Costa Norte da Ilha de Santa Catarina, a retração devido à inundação gerada pela aceleração da subida do nível do mar apresentou valores que chegaram a 1,8 m (Praia de Canavieiras) para o cenário de 50 anos. Enquanto que para as praias continentais, localizadas no interior da Baía Norte a retração alcançou os 9,0 m (Praia de São Miguel, cenário 50 anos). Os valores mais elevados encontrados nas praias continentais são explicados pela baixa declividade dos perfis praiais nesta região. O Método da Convolução apresentou resultados coerentes de retração decorrentes de grandes tempestades, se comparados aos valores descritos na literatura. Nas praias da Barra da Lagoa/Moçambique e Ingleses os setores com maiores valores de altura de quebra das ondas apresentaram maiores valores de retração.

A Praia Brava evidenciou os maiores valores de retração, os quais ultrapassam os 51m de retração (perfil 4, Praia Brava, cenário 50 anos), devido à baixa declividade e baixa altura da duna frontal. O cálculo da cota de inundação proporcionou a construção das cartas temáticas, as quais têm como principal objetivo fornecer subsídios para novos estudos de adaptação de zonas costeiras. Cabe salientar que os cenários propostos neste trabalho não contam com fatores como obstáculos antrópicos, rugosidade e infiltração no solo, os quais podem apresentar influência no processo analisado.

Foram também avaliados os possíveis padrões de impactos causados pela sobre-elevação do nível do mar devido a eventos de tempestade sobre a praia e o sistema de dunas. Quatro regimes de resposta da costa frente a eventos de alta energia foram propostos: Espraçamento, Colisão, Sobrelavagem e Inundação. Sendo registrados os regimes de sobrelavagem e inundação nas praias da Barra da Lagoa, Ingleses, Ponta das Canas, Canasvieiras, Daniela e em todas as praias continentais.

A ocorrência dos regimes de sobrelavagem e inundação em áreas de ocupação humana podem causar diversos prejuízos às estruturas antrópicas e naturais como já foram evidenciados em setores das praias de Ingleses e da Barra da Lagoa, nesta última os prejuízos decorrentes de eventos de alta energia forçaram o governo municipal de Florianópolis a decretar situação de emergência em 2010. Por fim foram geradas cartas temáticas na escala 1:10.000 para cada cenário (5,10, 25 e 50 anos) representando a integração dos perigos costeiros (Retração Linear (TEC); Retração Adicional; Retração por Tempestades e Área Exposta a Inundação costeira).



Sumário

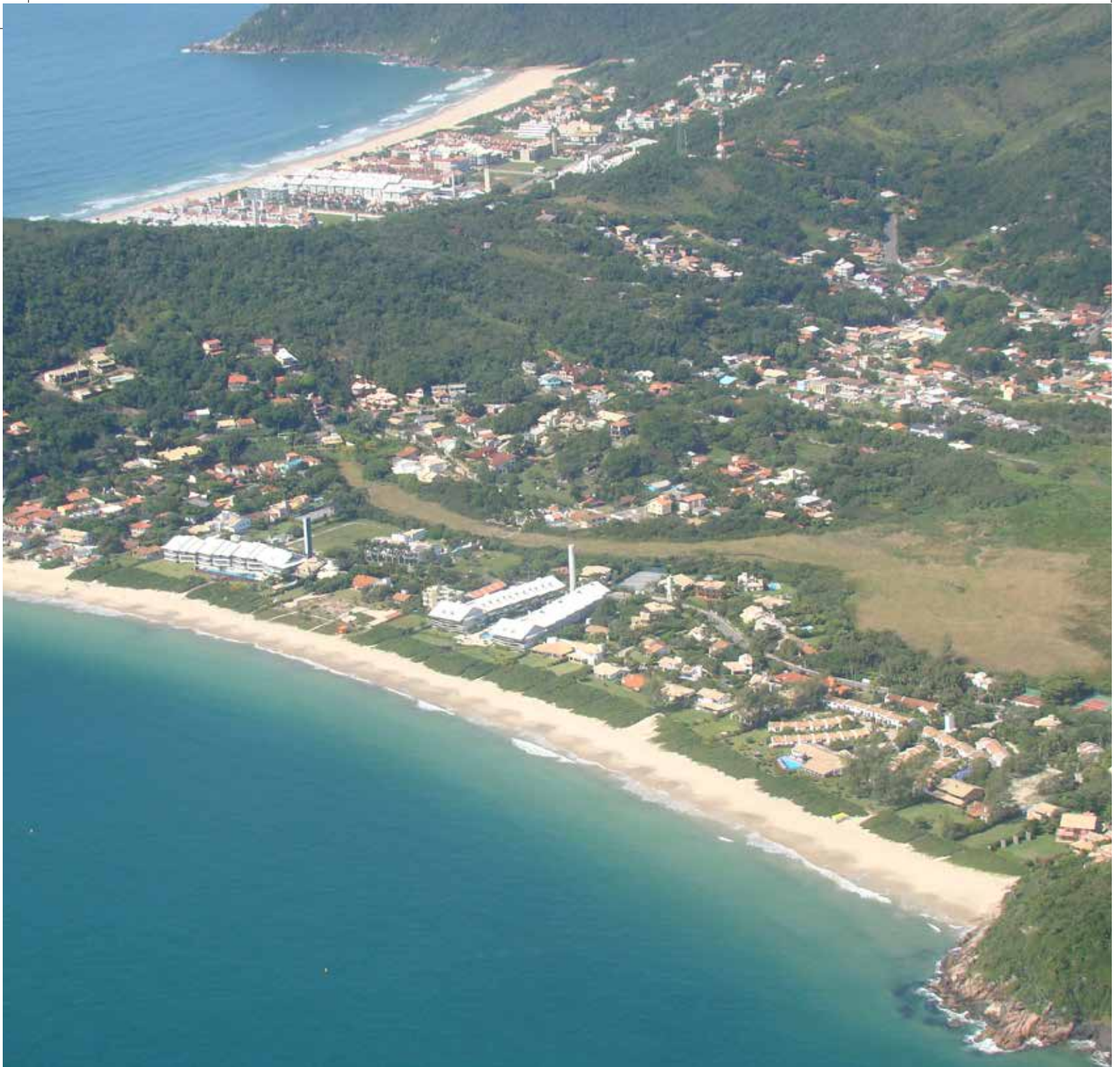
Aviso Legal.....	VI
Resumo	VIII
Sumário	XII
1. Introdução	18
1.1.Objetivos	23
Geral	23
Específicos.....	24
1.2.Área de estudo	24
2.Descrição da Metodologia.....	28
2.1. Verificação da precisão das bases cartográfica	31
Rastreio dos pontos de controle.....	31
Transferência das Bases de Apoio.....	35
Definição do tamanho da amostra de pontos.....	36
Seleção dos pontos de controle.....	38
Processamento dos pontos de apoio rastreados	40
2.2.Obtenção linhas de costa pretéritas.....	41
Cálculo do tamanho do pixel em metros.....	43
Bases cartográficas.....	44
Georreferenciamento das fotografias aéreas verticais e imagens de satélites....	45
Extração da linha de costa	46
2.3.Obtenção das linhas de costa atuais.....	50
2.4.Determinação da taxa de evolução costeira – TEC	51
2.5.Previsão das linhas de costa futuras	56

2.6. Ajuste da linha de costa considerando a aceleração subida do nível do mar	59
Retração Adicional (Regra de Bruun).....	60
Praias expostas.....	60
Coleta de dados – Altura da duna frontal (Perfil praial).....	63
Processamento dos dados de perfil praial	63
Profundidade de fechamento	65
Propagação de ondas até a costa	67
Escolha dos pontos DOW	67
Validação dos dados DOW.....	72
Seleção de casos	74
Processamento da batimetria	77
Malhas de cálculo	83
Propagação de ondas	91
Limitações das propagações de ondas	91
Setorização ao longo da costa de acordo com dados de onda e declividade	95
Reconstrução da série em águas rasas.....	98
Cálculo da profundidade de fechamento (interna e externa)	99
Praias abrigadas	100
Profundidade de fechamento – Áreas abrigadas.....	102
2.7. Identificação dos perigos decorrentes de grandes tempestades (retração da linha de costa).....	106
Declividade do perfil praial e altura da duna frontal	110
Tamanho do grão.....	111

Altura e profundidade de quebra (H_b e h_b)	111
Sobre-elevação do nível do mar (S_m)	112
Tempo de Duração da Tempestade (TD)	112
Tempo de Resposta do Perfil (T_s)	113
2.8.Cálculo da cota de inundação	114
Praias expostas.....	114
Praias abrigadas	115
Maré astronômica e maré meteorológica.....	115
Runup	116
Análise de regime extremo	119
Nível médio do mar.....	120
Datum vertical.....	121
Área exposta à inundação costeira.....	124
2.9.Identificação dos padrões de impactos causados pela sobre-elevação do nível do mar devido a eventos de alta energia sobre a praia e o sistema de dunas frontais.	127
Regime de espraiamento (<i>Swash Regime</i>)	130
Regime de colisão (<i>Collision Regime</i>)	130
Regime de sobrelavagem (<i>Overwash</i>)	131
Regime de inundação (<i>Inundation Regime</i>)	131
3. Resultados e Discussão do Teste Metodológico	132
3.1.Precisão das bases cartográficas	133
Base cartográfica SPU	133

Base cartográfica IPUF.....	137
3.2.Taxa de evolução costeira – TEC	140
Diagnóstico da situação das praias.....	140
Beira-mar Norte	146
3.3. Previsão das linhas de costa futuras	151
3.4. Ajuste da linha de costa considerando a aceleração na subida do nível do mar .	153
Praias expostas.....	153
Validação dos dados DOW.....	153
Propagação de Ondas	156
Setorização das praias	166
Reconstrução da série em águas rasas.....	173
Cálculo da profundidade de fechamento (interna e externa)	176
Retração Adicional (regra de Brunn).....	177
Praias abrigadas	180
Profundidade de fechamento	180
Retração adicional- Praias abrigadas	181
Praias Insulares	181
Praias Continentais	184
Lagoa da Conceição (Praia das Rendeiras).....	187
3.5. Identificação dos perigos decorrentes de grandes tempestades (retração da linha de costa).....	189
3.6.Cálculo da cota de inundação costeira (CI)	192
Praias expostas.....	192

<i>Runup</i>	192
Praias abrigadas	201
Lagoa da Conceição.....	202
3.7. Exposição à inundação costeira	203
3.8 Previsão dos impactos gerados por tempestades sobre a praia.....	206
Praias expostas.....	208
Praias Abrigadas.....	213
Praias Insulares	214
Praias Continentais	215
4. Considerações finais	216
5. Recomendações futuras	222
Referências	224
Lista de figura e tabelas	234
Lista de abreviaturas e símbolos.....	246



1. Introdução

A distribuição espacial da população no mundo ocorre de forma heterogênea. Segundo Strohaecker (2008), as zonas costeiras são as áreas do globo em que a ocupação é mais elevada, devido principalmente à disponibilidade de recursos, fácil acesso e oferta de melhor qualidade de vida. Nicholls e Small (2002) observaram que, aproximadamente 23% da população mundial vivem em uma estreita faixa adjacente à costa (até 100 km do mar). No Brasil cerca de 26,6% da população reside na zona costeira, onde estão localizadas 13 das 27 capitais estaduais e 16 das 28 regiões metropolitanas brasileiras (MMA, 2008; IBGE, 2011).

A concentração de habitantes fez destas as áreas mais desenvolvidas do mundo, e hoje algumas das maiores metrópoles estão localizadas na zona costeira. No entanto, seja por fatores naturais, antrópicos ou por combinação de ambos, cerca de 70% das costas arenosas do mundo vem sofrendo com quadros erosivos desde as últimas décadas do século passado (BIRD, 1985). No litoral brasileiro, de forma genérica os registros apontam que os segmentos costeiros sob efeito de erosão predominam em relação aos trechos em progradação, com cerca de 40% do total dos registros de erosão concentrados nas praias, 20% nas falésias sedimentares e 15% nas desembocaduras fluviais. Registros de progradação indicam que 10% se concentram nas praias e 15% nas desembocaduras fluviais ou estuarinas (MUEHE, 2006).

A urbanização principalmente sobre o sistema de dunas frontais com a implantação de avenidas beira-mar e construção de calçadões sobre o prisma praial ativo agrava ainda mais os processos erosivos, colocando em risco as populações litorâneas devido à dinâmica dos processos que constantemente atuam na modificação das feições da costa (CARTER e WOODROFFE, 1994; VILES e SPENCER, 1995; SIMÓ e HORN FILHO, 2004; KLEIN et al., 2006).

Atualmente, o foco das preocupações internacionais sobre vulnerabilidade costeira está diretamente voltado às previsões de mudanças climáticas para os próximos 100 anos, apresentadas pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2013), que projetam uma subida do nível do mar de 0,26 m a 0,98 m durante os próximos 100 anos. Estes números são corroborados pelo relatório sobre os efeitos das mudanças climáticas elaborado pela *Comisión Económica para América Latina y el Caribe* (CEPAL), o

qual aponta que uma subida do nível do mar de um metro afetaria uma ampla parcela da população costeira no Brasil (CEPAL, 2011).

É notório que mudanças no nível médio do mar podem afetar processos de evolução da linha de costa e alterar sua conformação. Sabe-se também que muitas áreas costeiras estão em risco devido aos perigos naturais e/ou induzidos (proveniente de ações antrópicas), como retração da linha de costa e grandes enchentes, os quais estão associados a grandes tempestades, déficit sedimentar, aumento do nível do mar, furacões, ou seja, por adversidades atmosféricas (FERREIRA et al., 2006).

A costa sul do Brasil está sujeita às frequentes passagens de frentes frias, que são por vezes associadas a intensos ciclones extratropicais. Estes ciclones extratropicais produzem vários efeitos, tais como ondas de tempestade, ventos fortes, marés meteorológicas e erosão costeira (NOBRE et al., 1986; CALLIARI et al., 1998; SARAIVA et al., 2003; OLIVEIRA et al., 2009; PARISE et al., 2009; MACHADO et al., 2010). Um evento meteorológico extremo se torna um desastre quando a sociedade e/ou os ecossistemas são incapazes de lidar de forma eficaz com a ríspida situação imposta por esses eventos (IPCC, 2007).

No Estado de Santa Catarina, a erosão costeira tem causado grandes danos materiais. Estudos apontaram a ocorrência de eventos erosivos decorrentes da ação das marés de tempestade na costa do estado que afetaram a população, estando estes na maior parte dos casos relacionados à ocupação indevida da orla (POLETTE, 1997; MENEZES, 2002; SIMÓ E HORN FILHO, 2004; HORN FILHO, 2006; KLEIN et al., 2006; RUDORFF et al., 2007).

Uma característica comum aos diferentes compartimentos do estado de Santa Catarina, é que estão submetidos a níveis extremos de água (maré astronômica + maré meteorológica) associados a ondas de tempestades (ressacas). Estes fenômenos ocorrem durante a passagem de sistemas atmosféricos intensos como as frentes polares atlânticas e os ciclones extratropicais. A sobre-elevação associada com as ondas faz com que sejam potencializados os processos de inundação em costas de baías e lagunares e inundação e erosão em costas expostas, provocando destruição de construções e infraestruturas localizadas na orla.

Entre 1997 e 2010, a ocorrência de 66 registros de marés meteorológicas associadas a ondas de tempestades, causaram danos significativos nos municípios da costa catarinense (KRUEGER, 2011). Especificamente entre 2000 e 2003, as marés de tempestade deixaram nove municípios em situação de emergência, um em estado de calamidade pública, 84 desabrigados, 219 desalojados, 1.900 afetados e um prejuízo de R\$ 11.983.832,00 (RUDORFF et al., 2014). Número similar é apontado por Simó e Horn Filho (2004) para o período entre 1991 a 2001.

Os municípios mais afetados encontram-se no litoral norte de Santa Catarina, devido a estes apresentarem grandes concentrações urbanas nas orlas marítimas (número maior de pessoas/Km de linha de costa). Um pico foi verificado em 2001. O fenômeno que atingiu todo o estado de SC esteve associado à ocorrência de um ciclone extratropical muito intenso em condições de maré de sizígia entre os dias 5 e 8 de maio. Nesta ocasião, onze municípios foram atingidos, deixando o município de Barra Velha em estado de calamidade pública e os municípios de Balneário Barra do Sul, Balneário Camboriú, Bombinhas, Itapema, Itapoá e Navegantes em situação de emergência. Para este evento os prejuízos somaram R\$ 11.355.632,00, sendo que não foram contabilizados os prejuízos nos municípios de Florianópolis, Içara e São Francisco do Sul (RUDORFF et al., 2007).

Outro evento ocorrido em agosto de 2005 atingiu nove municípios, deixando dois em situação de emergência e dois em estado de calamidade pública. Esta ressaca trouxe um prejuízo de cerca de R\$ 6.000.000 ao cultivo de ostra do centro-norte catarinense. Em maio de 2010 ocorreu uma série de ressacas que afetaram principalmente a capital do Estado, afetando as praias da Armação do Pântano do Sul, Campeche e a Praia da Barra da Lagoa, levando o governo municipal a decretar situação de emergência. A força do mar danificou cerca de 74 casas e resultou em 1.803 pessoas afetadas e 21 desalojadas (KRUEGER, 2011).

Neves Filho (1992) estudando as variações da maré meteorológica para as décadas de 1960, 1970 e 1980, ou seja, dos níveis máximos do nível do mar, sugeriu uma tendência de incremento das ocorrências das chamadas marés meteorológicas para região sudeste do Brasil, o que amplificaria o poder de inundação e erosivo dos processos costeiros, no contexto das mudanças globais, ainda mais quando se associa a um aumento absoluto do nível do mar e presença de ciclones extratropicais atípicos (ex.: Furacão Catarina). A zona

costeira como um todo sofrerá processos de adaptação em função disso, e o homem terá de se adaptar também, ou resistir às mudanças.

Segundo Cooper e Pile (2014) a maioria das medidas tomadas para preservar as infraestruturas e atividades humanas frente a perigos naturais são na verdade respostas visando à resistência a estes eventos extremos. Estas medidas conservadoras e de proteção em curto prazo de ativos fixos e de atividades pré-existentes são prejudiciais ao meio ambiente, envolvem um custo elevado e possuem alto risco de falhas futuras. No entanto, medidas adaptativas em relação aos perigos naturais tendem a ser mais sustentáveis em longo prazo, as quais envolvem mudança de atividades para se adequar ao ambiente em transformação, projetos de construções inovadores, realocação de infraestrutura e/ou pessoas e novos usos do espaço físico são politicamente mais difíceis de implantar.

Perigo pode ser definido como sendo o fenômeno ou processo potencialmente prejudicial, já perigos naturais são fenômenos naturais os quais podem resultar em danos materiais e humanos, paralização das atividades sociais e econômicas e degradação ambiental. Tais fenômenos podem variar em magnitude ou intensidade, frequência, duração, extensão, velocidade de impacto, dispersão espacial e espaçamento temporal (EIRD, 2004). Neste sentido, o conceito de perigo abrange fenômenos como ciclones, tornados, enchentes, marés meteorológicas, tempestades entre outros.

Para CEPAL (2011), perigo constitui um dos vértices do “tetraedro de risco”, utilizado para a avaliação dos riscos frente às mudanças climáticas, o qual é composto ainda pelas variáveis exposição ou área afetada, vulnerabilidade e a incerteza dos dados utilizados. Deste modo risco pode ser definido como a probabilidade de consequências prejudiciais ou perdas esperadas resultantes de interações entre perigo, vulnerabilidade, exposição e incertezas.

Segundo o Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas (*United Nations Development Programme*) (UNDP, 2004), suscetibilidade está vinculada somente às condições físicas do meio, tratando apenas da intensidade ou probabilidade de um determinado ambiente sofrer o impacto de um perigo natural tendo como fatores as características físicas e sendo independente de fatores humanos.

Já vulnerabilidade pode ser definida como a capacidade que as zonas, entidades ou entes possuem de antecipar, enfrentar, resistir e recuperar-se dos impactos produzidos por um evento de uma dada magnitude, sendo a vulnerabilidade constituída de múltiplos fatores institucionais, econômicos e socioculturais (CEPAL, 2011). Para a Comissão Oceanográfica Internacional (IOC, 2010), vulnerabilidade está relacionada ao estado das comunidades costeiras, ou seja, leva em conta sua estrutura social, economia, ativos físicos e suporte ambiental. Assim, dependendo do estado em que se encontra uma comunidade, esta pode ser mais ou menos afetada por eventos extremos. Estudos de identificação dos perigos e das áreas mais suscetíveis, participação da comunidade, aliados a medidas de planejamento urbano e gestão costeira, são fatores que podem diminuir a vulnerabilidade das comunidades expostas aos perigos naturais (EIRD, 2004; UNDP, 2004).

Em função disso, estudos referentes à evolução costeira, focados em prever novas linhas de costa e apontar áreas de vulnerabilidade aos perigos naturais, vêm contribuir para a melhor compreensão dos processos que governam essa evolução, e têm por fim, auxiliar no gerenciamento costeiro e no planejamento urbano. Além do mais, o mapeamento dos perigos costeiros é visto como o primeiro passo para a mitigação destes e prevenção a possíveis desastres e erosões repentinas (PILKEY e NEAL, 1988; FINKI, 1994).

Neste contexto, este relatório apresenta a aplicação de uma metodologia para quantificação de perigos 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 entorno.

1.1. OBJETIVOS

Geral

Desenvolver metodologia para quantificação de perigos costeiros relativos ao aumento do nível do mar, grandes tempestades e processos de sobrelavagem da duna frontal, e projeção de linhas de costa futuras quantificando e integrando esses perigos para o litoral norte da Ilha de Santa Catarina e área adjacente na escala de 1:10.000, como subsídio para estudos de adaptação de zonas costeiras.

Específicos

Para alcançar o objetivo geral, uma série de objetivos específicos foram desenvolvidos, sendo estes:

- a) Determinação da linha de costa atual (LC_0) e sua taxa de evolução costeira (TEC).
- b) Previsão de novas linhas de costa (LC_5 , LC_{10} , LC_{25} e LC_{50}) para um período de 5, 10, 25 e 50 anos utilizando a TEC.
- c) Ajuste das novas linhas de costa (LC_{5C} , LC_{10C} , LC_{25C} e LC_{50C}) considerando uma aceleração na taxa de aumento do nível do mar.
- d) Cálculo dos perigos decorrentes de grandes tempestades associado à retração instantânea da linha de costa (LC_{5S} , LC_{10S} , LC_{25S} e LC_{50S}) indicando seções praiais com maior exposição.
- e) Mensurar a cota de inundação decorrentes dos processos de sobre-elevação do nível do mar devido à eventos extremos.
- f) Identificar padrões de impactos causados pela sobre-elevação do nível do mar devido a eventos de alta energia sobre a praia e o sistema de dunas frontais.
- g) Representação das linhas de costa futuras e áreas expostas a inundação em cartas temáticas, representando a integração dos perigos costeiros.
- h) Produzir e disponibilizar as cartas temáticas na base de dados da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais INDE.

1.2. Área de estudo

Este trabalho foi desenvolvido no litoral norte da Ilha de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina. Além da capital do Estado, os municípios de São José, Biguaçu e Governador Celso Ramos têm partes de suas linhas de costa inseridas na área de estudo. A população destes municípios somada ultrapassa 700 mil habitantes (IBGE, 2010). A área de estudo apresenta diversos ambientes costeiros naturais como mangues,

lagunas, praias arenosas abrigadas e expostas à ação das ondas, assim como os costões rochosos (Figura 1).

As principais feições geológicas encontradas na área de estudo fazem parte do complexo cristalino ou de bacias sedimentares. Conforme síntese de Caruso Jr (1993), no texto explicativo do mapa geológico da Ilha de Santa Catarina, ocorrem na área de estudo depósitos quaternários, diques de diabásio do Juro-cretáceo e os distintos magmatismos, diferentes granitos locais - formados entre o Proterozóico superior e o Eo-Paleozóico.

A geomorfologia nas proximidades da área de estudo tanto na Ilha de Santa Catarina como no continente próximo revela dois grandes compartimentos, o dos maciços com morros costeiros (escarpas, vertentes, rampas e cones detriticos) e o da planície costeira com subcompartimentos (baixos terraços, cristas praias, dunas, várzeas, manguezais, marismas, banhados, lagoas) (CRUZ, 1998). Essa configuração leva à presença de diversas pequenas vertentes que drenam as encostas da Serra do Mar e atravessam a planície costeira desaguando no mar. Das bacias hidrográficas que deságuam na área de estudo destacam-se a Bacia Hidrográfica do Rio Ratones, a Bacia Hidrográfica do Itacorubi, a Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição e a Bacia Hidrográfica do Rio Biguaçu.

Segundo Klein et al. 2016, a costa da Ilha de Santa Catarina pode ser dividida em dois tipos, uma costa abrigada com orientação para oeste e uma costa exposta à incidência de ondas com praias orientadas para norte e leste. A margem exposta de orientação norte com extensão total de 25 km compreende as praias entre a Praia da Daniela e a Praia da Lagoinha, sendo estas classificadas como praias abrigadas refletivas (*reflective*) (segundo a classificação de Wright e Short, 1984). A costa exposta leste se estende por 79 km com orientação geralmente de leste-sudeste, sendo suas praias predominantemente classificadas como banco e cava rítmicos (*rhythmic bar & beach*) e banco transversal e corrente (*transverse bar & rip*). No total a costa exposta possui 30 praias com cerca de 62 km, o que corresponde a 62% da costa, intercaladas por promontórios graníticos.

A Baía de Florianópolis, corpo aquoso que divide a Ilha de Santa Catarina do continente, pode ser subdividida em dois corpos d'água confinados, conectados, na porção central do embaixamento por uma constrição de cerca de 400 m de largura (BONETTI et al., 1998). A sua linha de costa inclui a costa abrigada com orientação para oeste da Ilha de Santa Catarina, bem como a costa abrigada continental que contém 119 e 273 praias, respectivamente. Sendo caracterizadas como praias modificadas pela maré e praias dominadas pela maré (KLEIN et al., 2016).

O clima de Santa Catarina é do subtipo Cfa, ou seja, clima temperado chuvoso, sem estações de seca e com verões quentes (GAPLAN, 1986). A grande Florianópolis, de acordo com IBGE (2004), está situada na região de clima temperado de categoria Subquente. Em todas as áreas a intensidade dos ventos de sul apresenta as maiores velocidades médias e podem soprar em rajadas que atingem 80 km/h, em geral associados ao Anticiclone Polar. Já os ventos do quadrante nordeste, associados ao Anticiclone Tropical Atlântico, possuem velocidades médias de 12 km/h (Monteiro, 1992).

As ondas que atingem a Ilha de Santa Catarina, segundo análise de Araújo et al. (2003), provêm predominantemente do quadrante sul com período de 12 s, seguidas pelas vagas de leste com período de 8 s. A maior energia de onda provém de sul e sudeste, com períodos acima de 11 s e ondas que ultrapassam 4 m de altura em águas profundas.

O regime de marés no Estado de Santa Catarina é do tipo de Micromaré, podendo ser influenciado ainda pelas marés meteorológicas. Truccolo (1998) ressaltou que a variação da maré na Ilha de Santa Catarina pode ser influenciada pela atuação de frentes polares (elevando o nível da maré conforme aumento da pressão atmosférica) e empilhamento das águas costeiras (gerado por ventos fortes principalmente do sul).

A área de estudo é de relevante importância ambiental, tendo em vista que nos limites propostos para este estudo ocorrem algumas unidades de conservação tanto federal como estadual e municipal. Destacam-se as três unidades de conservação federais inseridas na área: a Estação Ecológica de Carijós (decreto federal nº 94.656/87), a Área de Proteção Ambiental de Anhatomirim (decreto federal nº 528/92), além da zona de amortecimento da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo (decreto federal nº 99.142/90). No âmbito estadual ressalta-se a presença do Parque Estadual do Rio Vermelho (decreto estadual nº 308/2007) que se estende entre a Lagoa da Conceição e a Praia do Moçambique, sendo este parque vizinho a RPPN Morro das Aranhas (portaria nº 43N/99).

Ainda se destacam as áreas tombadas pelo poder municipal de Florianópolis devido ao valor histórico e natural: as áreas da Restinga da Ponta das Canas e da Ponta do Sambaqui (decreto municipal nº 216/85), das Dunas dos Ingleses e do Santinho (decreto municipal nº 112/85), da Região da Costa da Lagoa (decreto municipal nº 247/86) e do Parque das Dunas da Lagoa da Conceição (decreto municipal nº 1.261/75).



Figura 1: Área de estudo compreendendo os setores do Litoral Norte da Ilha de Santa Catarina e áreas de entorno (continente).



2. Descrição da Metodologia

Na Figura 2 apresentam-se de forma sucinta os procedimentos realizados para gerar as cartas de perigos integrados. O trabalho baseou-se na metodologia utilizada no trabalho executado na Península do Ancão, Portugal, por Ferreira et al. (2006). Neste, a determinação das zonas de perigos costeiros fundamenta-se em combinar a taxa de evolução costeira com padrão de resposta do perfil costeiro a um esperado aumento do nível do mar e impactos gerados por grandes tempestades.

No entanto, esta metodologia não pôde ser empregada para toda a área de estudo, uma vez que a mesma foi desenvolvida para áreas expostas à incidência de ondas e, devido às premissas computacionais do Modelo SMC-Brasil, não permitirem a modelagem de ondas até as praias do norte da Ilha de Santa Catarina e porção continental da área de estudo. Para estas praias, a metodologia proposta por Ferreira et al. (2006) para o cálculo da retração adicional devido à aceleração da subida do nível do mar, foi adaptada através da interpretação da Regra de Brunn feita por Van Rijn (1998). Em relação aos perigos gerados por eventos de alta energia foi adaptada a metodologia proposta por Carrasco et al. (2012), a qual leva em consideração apenas a taxa de evolução costeira combinada à inundação causada pela soma da maré astronômica e maré meteorológica.

Foram também avaliados os possíveis padrões de impactos causados pela sobre-elevação do nível do mar devido a eventos de alta energia sobre a praia e o sistema de dunas frontais, através da adaptação da escala de impactos gerados por tempestades sobre ilhas barreiras proposta por Sallenger (2000). Neste item os padrões de impactos sobre a costa foram distinguidos através da análise dos parâmetros forçados pelos eventos de alta energia combinados aos parâmetros morfológicos, em especial das dimensões verticais, da costa e das terras adjacentes.

Os resultados referentes à quantificação de perigos costeiros são apresentados na forma de cartas contendo as diferentes linhas de costa, cujas posições são estabelecidas para um tempo particular no futuro (ex.: 5, 10, 25, 50 anos). Enquanto os resultados relacionados à avaliação dos padrões de impactos causados pela sobre-elevação do nível do mar devido a eventos de alta energia, estão dispostos em forma de tabelas e uma carta com a classificação obtida para cada praia.

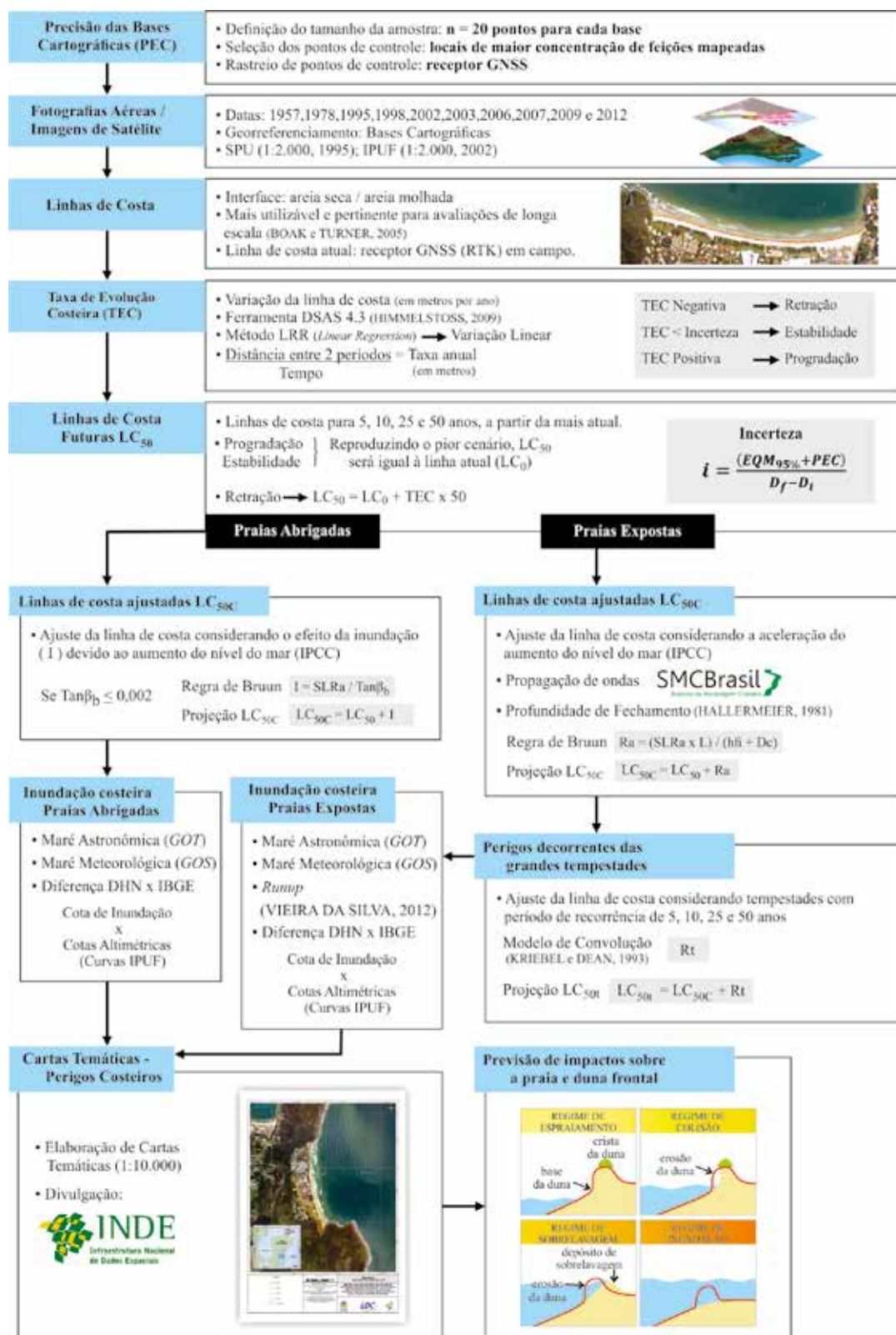


Figura 2: Diagrama explicativo da metodologia para gerar cartas temáticas de perigos costeiros integrados. Adotou-se aqui o exemplo de 50 anos.

2.1. Verificação da precisão das bases cartográfica

O objetivo desta etapa foi apresentar uma análise da qualidade de bases cartográficas digitais oficiais disponíveis para o norte da Ilha de Santa Catarina e região de entorno. A motivação foi conhecer a imprecisão dessas bases para considerá-la nas análises de variação da linha de costa das praias em estudo. Para a Ilha de Santa Catarina, a base oficial disponível é do Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis – IPUF. Esta foi construída a partir de restituição de fotografias aéreas dos anos de 2002 e 2003 (comunicação pessoal do responsável pelo setor de Geoprocessamento do referido órgão), estão em escala 1:2.000 e sistema geodésico SAD69/96. Para o continente, a base oficial disponível é da Secretaria do Patrimônio da União – SPU. Esta foi obtida a partir de restituição de fotografias aéreas do ano de 1995, estão em escala 1:2.000 e sistema geodésico SAD 69. Detalhes sobre as bases cartográficas e procedimentos adotados estão disponíveis em Muler et al. (2014).

Rastreio dos pontos de controle

Para verificar o erro das bases cartográficas realizou-se o rastreio de pontos de aferição em campo para cálculo do erro comparando a posição do ponto na base cartográfica digital e do ponto coletado. Para a comparação foram utilizados os valores da classificação de cartas propostos pelo Decreto nº 89.817 de 1984, que estabelece o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) brasileiro.

Segundo Rocha (2002), a qualidade das coordenadas dos pontos a serem gerados para a verificação das cartas precisa ser três vezes melhor que a exatidão cartográfica requisitada. Desta forma, para calcular a exatidão cartográfica, considerando Cartas do tipo A, multiplicou-se a escala da carta por 0,5 mm, neste caso, a escala das bases cartográficas disponíveis é 1:2.000, a qual gerou exatidão cartográfica de 1 m. Assim, a coleta de pontos para a verificação das bases mencionadas deve ser realizada com um método em que seja possível obter erros de no máximo 0,33 m (ROCHA, 2002).

A coleta de pontos foi realizada utilizando-se um receptor GNSS¹ de dupla frequência com a técnica do posicionamento relativo. No posicionamento relativo, as coordenadas são determinadas em relação a um referencial materializado através de uma ou mais estações com coordenadas conhecidas. Neste caso, é necessário que pelo menos dois receptores coletem dados de, no mínimo, dois satélites simultaneamente, onde um dos receptores deve ocupar a estação com coordenadas conhecidas, denominada de estação de referência ou estação base. A Figura 3 mostra o princípio do posicionamento relativo (IBGE, 2008).

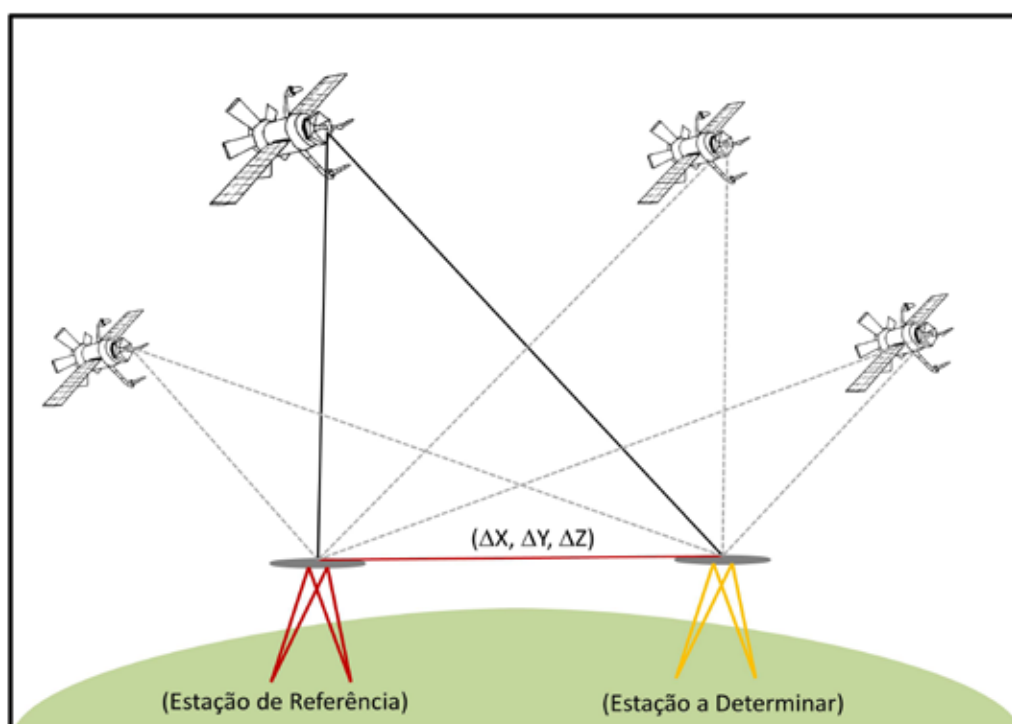


Figura 3: Posicionamento relativo (Adaptado de IBGE, 2008).

O princípio básico desta técnica de posicionamento é minimizar as fontes de erro através da diferença entre observações recebidas simultaneamente por receptores que ocupam duas estações.

Para aplicações geodésicas em território brasileiro é necessário que as estações de referência façam parte do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). Destaque deve ser dado à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBMC), que é operada e

1 Receptor GNSS marca Trimble, modelo R6.

mantida pelo IBGE. Sendo essa uma rede geodésica, que elimina a necessidade da estação de referência ocupando uma base passiva do SGB. Informações sobre as estações do SGB podem ser encontradas no Banco de Dados Geodésicos disponível na internet no portal do IBGE (<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/bdgpesq_googlemaps.php>).

O posicionamento relativo pode ser subdividido em quatro grupos: estático, estático-rápido, semicinemático e cinemático (MONICO, 2000). Para a coleta dos pontos de aferição das bases cartográficas do SPU e do IPUF na área de estudo do projeto foi utilizado o método do Posicionamento Relativo Cinemático, em que uma antena ocupa uma estação já conhecida, enquanto a estação móvel permanece em movimento ou estacionada durante o levantamento do ponto.

O tempo de duração do levantamento pode variar de poucos minutos a algumas horas dependendo da distância entre as estações. A Tabela 1 apresenta a precisão do posicionamento relativo no modo estático conforme a distância entre as estações, duração da observação e tipo de equipamento utilizado. As siglas L1 e L1/L2 referem-se à classificação dos receptores geodésicos (GNSS), que podem ser distintos pelo seu número de portadoras ou fase. Sendo os modelos L1 com uma fase ou portadora e os modelos L1/L2 com duas fases ou portadoras. Resumidamente, os receptores com duas portadoras desempenham melhores resultados permitindo a aquisição de um ponto com maior qualidade em menor tempo (BERNARDI e LANDIM, 2002).

Tabela 1: Precisão do posicionamento relativo em função do tempo de observação, equipamento utilizado e comprimento da linha de base. Fonte: IGN – Instituto Geográfico Nacional (Espanha) – curso GPS em geodesia e cartografia (IBGE, 2008).

Linha de base	Tempo de observação	Equipamento utilizado	Precisão
00-05 km	05-10 mim	L1 ou L1/L2	5-10 mm + 1 ppm ¹
05-10 km	10-15 mim	L1 ou L1/L2	5-10 mm + 1 ppm
10-20 km	10-30 mim	L1 ou L1/L2	5-10 mm + 1 ppm
20-50 km	02-03 h	L1/L2	5 mm + 1 ppm
50-100 km	Mínimo 03 h	L1/L2	5 mm + 1 ppm
>100 km	Mínimo 04 h	L1/L2	5 mm + 1 ppm

¹ ppm= partes por milhão

Por se tratar de um levantamento com a linha base extensa e por ser realizado em uma área com barreiras topográficas naturais e antrópicas, que não permitem a comunicação entre as antenas através do sinal de rádio, foi utilizado o método de levantamento no modo Posicionamento Cinemático Pós-Processado (PPK).

O modo PPK consiste no armazenamento das observações para processamento posterior. Segundo Monico (2000) as observações simultâneas dos dois receptores geram as duplas diferenças, onde vários erros envolvidos nas observáveis são reduzidos. As pseudodistâncias (medida de distância entre a antena do satélite, no instante de transmissão do sinal, e a antena do receptor, no instante de recepção) bem como as fases de ondas portadoras ou diferenças de fase medidas pelos sinais emitidos dos satélites são consideradas as “observáveis” básicas do GPS (SEEBER, 1993). É através das observáveis que os receptores GNSS convertem em posicionamento, velocidade e tempo estes sinais eletromagnéticos oriundos dos satélites.

Segundo Monico (2000), alguns requisitos devem ser observados para o correto procedimento, tais como:

- Um mínimo de cinco (5) satélites deve ser observado;
- A taxa de gravação deve ser de um (1) ou cinco (5) segundos;
- Cada ponto deve ser ocupado em uma seção diferente com geometria de satélites diferente;
- Receptores de dupla frequência (L1/L2) são preferidos para este tipo de levantamento, embora receptores de frequência simples (L1) também possam ser utilizados;
- Requer o ajustamento pelo método dos mínimos quadrados, ou outras análises estatísticas de múltiplas linhas de base, capazes de produzir uma média das observações.

Depois de coletados os pontos, os erros podem ser calculados a partir de análises estatísticas das distâncias obtidas entre a posição de cada ponto coletado e a posição na base cartográfica digital. Essas análises tiveram por base o trabalho de Rocha (2002).

Transferência das Bases de Apoio

A fim de diminuir o tempo de rastreio dos pontos de controle três bases de apoio (BA) foram instaladas. Estas foram dispostas de forma a maximizar a logística de campo para aquisição dos pontos de aferição, ou seja, foram localizados nas proximidades dos pontos, diminuindo assim o deslocamento da equipe em campo.

Para o rastreio das BAs a estação base foi instalada na Estação Geodésica: 91851-Florianópolis/SC (UFSC) pertencente à Rede GPS de Alta Precisão do Estado de Santa Catarina, localizada nas proximidades da Biblioteca Central, no Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima da Universidade Federal de Santa Catarina. Trata-se de um pilar de concreto de secção hexagonal dotado de um dispositivo de centragem forçada com rosca universal, na qual é rosqueada a antena base do receptor GNSS (Figura 4).



Figura 4: Estação Geodésica: 91851-Florianópolis/SC (UFSC). Fotografia Michel Franco Volpato Prado.

Já a estação móvel foi deslocada e instalada primeiramente sobre dois pontos de controle previamente definidos (Figura 5). Para os pontos no continente utilizou-se a base em Biguaçu e para os pontos na Ilha de Santa Catarina utilizou-se a base LOC (ponto fixado no Laboratório de Oceanografia Costeira, LOC). Para maiores detalhes sobre a metodologia de rastreo dos pontos de controle ver relatório técnico RT_MMA_Riscos_2013_23 (APÊNDICE B). Esta etapa intermediária foi realizada para diminuir o tempo de observação dos pontos nos locais mais distantes da Estação Geodésica, considerando a Tabela 1.

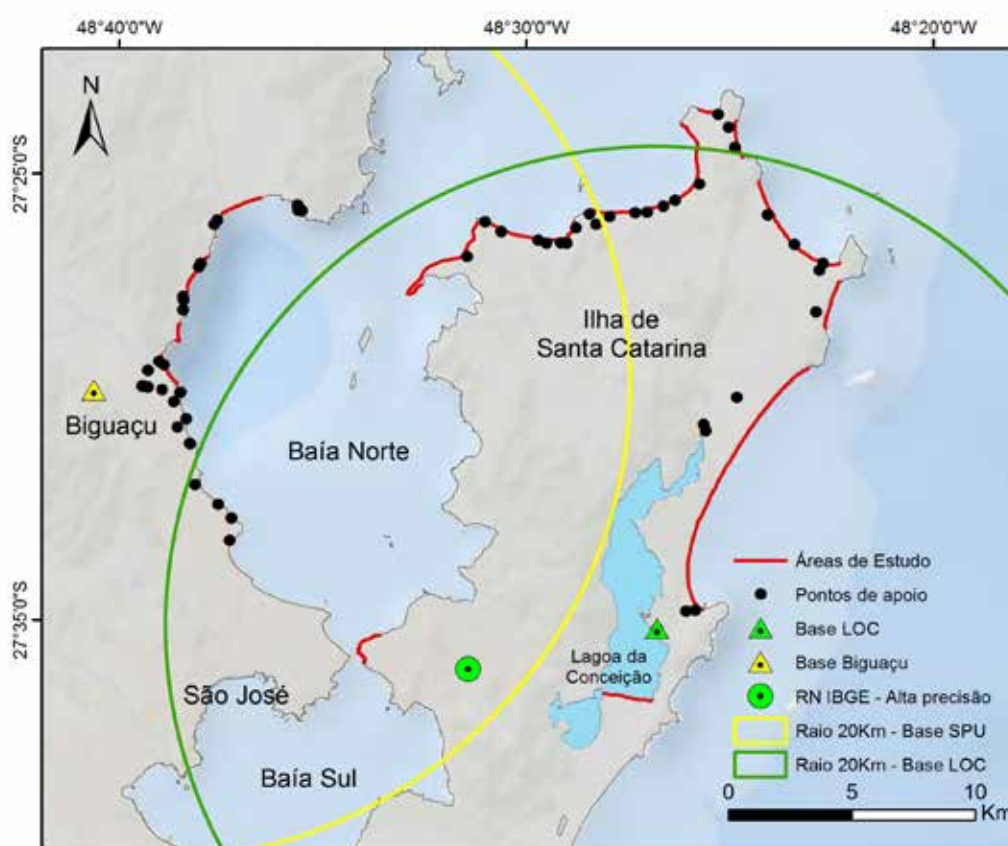


Figura 5: Localização dos pontos de apoio, bases de apoio e raios de distância para definição do tempo de rastreo em cada ponto.

Definição do tamanho da amostra de pontos

A definição do tamanho da amostra de pontos foi realizada de acordo com Rocha (2002), que adaptou a fórmula de Pereira (1978) para definição do tamanho da amostra de pontos a serem coletados (Equação 1).

$$n = \frac{Z^2 \gamma^2 N}{(N-1) \epsilon_r^2 + Z^2 \gamma^2} \quad (1)$$

Onde:

n = Tamanho da amostra de pontos;

Z = Intervalo de confiança;

$\gamma = \sigma/\mu$, σ – Desvio padrão ; μ – média amostral;

ε_r = Erro amostral relativo (ε/μ , onde ε = erro amostral)

N = Tamanho da população de pontos.

O intervalo de confiança (Z) foi definido segundo o PEC, utilizando-se 90% ou o valor 1,6449 (BRASIL, 1984) multiplicado pelo erro padrão, que para a escala de 1:2.000 é de 1m.

Utilizando uma estimativa, baseada no trabalho de Rocha (2002), o valor para a relação σ/μ foi de 0,33 (1/3).

O erro amostral relativo (ε_r) utilizado foi também baseado em Rocha (2002) e no erro padrão amostral (PEC) para a escala trabalhada (1:2.000), sendo utilizado no cálculo do Z o erro relativo de 12%.

O tamanho da população (N) foi estimado contabilizando as feições cartográficas lineares da base cartográfica. Desta forma, o valor de N foi de 164.861 feições cartográficas.

$$n = \frac{1,6449^2 \times 0,33^2 \times 164.861}{(164.861 - 1) \times 0,12^2 + 1,6449^2 \times 0,33^2} = 20,46$$

O tamanho da amostra foi de 20,46 pontos, ou seja, no mínimo de 20 pontos para cada base cartográfica analisada.

As coordenadas de cada ponto foram retiradas das bases cartográficas vetoriais disponibilizadas pela SPU e IPUF. Para compatibilização dos sistemas de coordenadas, as bases foram reprojctadas para Sirgas 2000 UTM 22S em um sistema de informação geográfica - SIG.

Foram feitas a comparação das coordenadas e a identificação dos erros de posição entre coordenadas referentes aos dados de campo (receptor GNSS) e aos dados cartográficos (carta digital). Além disso, calculou-se também o somatório, a média, e o desvio padrão dos erros para cada direção (norte-sul e leste-oeste).

O RT_MMA-Riscos / 2012-18 (APÊNDICE B) apresenta as coordenadas obtidas no rastreamento em campo dos pontos de apoio selecionados para as bases cartográficas do SPU e IPUF, respectivamente.

Seleção dos pontos de controle

Os pontos de controle foram selecionados seguindo o princípio de que estes sejam bem definidos, fáceis de achar e de medir em ambos os métodos, na carta e no levantamento independente. Como não se sabe, se a exatidão posicional das bases cartográficas é homogeneamente distribuída, a seleção dos pontos buscou privilegiar as áreas de maior possibilidade de erros. Esses locais são os de maior concentração de feições mapeadas pois, em geral, apresentam maior propensão à ocorrência de erros na representação (ROCHA, 2002).

Os pontos selecionados foram vértices de construções, prolongamento dos alinhamentos dos cordões de calçada, intersecção de muros ou vértices de lotes definidos por muros. Para facilitar e aumentar a precisão da localização dos pontos em campo foram feitas descrições visuais da localização do ponto na base cartográfica com imagens, como se evidencia na Figura 6.

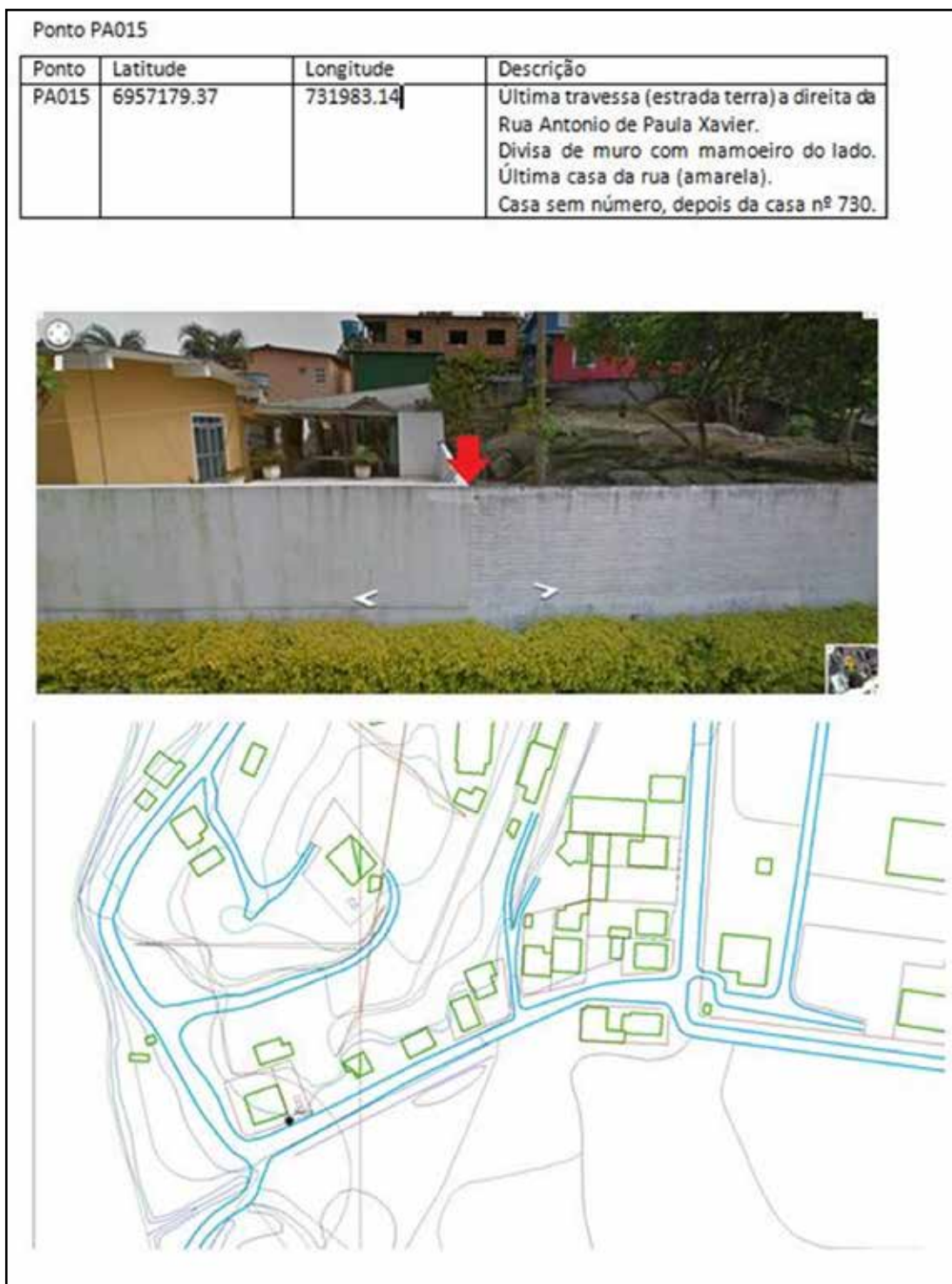


Figura 6: Descrição visual do ponto a ser coletado em campo na cidade de Biguaçu. Imagem retirada do programa Google Earth, base cartográfica disponibilizada pela SPU.

Processamento dos pontos de apoio rastreados

O processamento dos pontos de apoio se deu através do resultado do ajustamento vetorial, pelo do Método dos Mínimos Quadrados com auxílio do *software* Trimble Business Center. Para tal, foram utilizados os dados de GPS da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) de Imbituba e Lages disponíveis no site www.ibge.gov.br, além dos dados de rastreio sobre as bases de apoio Biguaçu e LOC.

O processamento consiste na triangulação entre os dados recebidos pela estação móvel e as correções das observáveis armazenadas pelas bases de referência. Em síntese, os receptores instalados sobre as estações de referência armazenam as diferenças entre as coordenadas conhecidas e as coordenadas informadas por cada satélite, considerando que todos os receptores recebem sinal dos mesmos satélites ao mesmo tempo, estas diferenças são usadas como correções para os demais pontos rastreados.

Depois de coletados os pontos, os erros puderam ser calculados a partir de análises estatísticas das distâncias obtidas entre a posição de cada ponto coletado e a posição na base cartográfica digital. Essas análises foram baseadas na metodologia proposta por Rocha (2002), como apresentado na Tabela 2. Uma das etapas iniciais de cálculos foi a verificação da existência de erros grosseiros (Equação 2). Sabendo que a definição destes não é consenso na literatura, neste trabalho, adotou-se o valor da média somada (ou subtraída) a três vezes o desvio padrão.

$$Eg = media \pm (3 \times desvio\ padrao), \quad (2)$$

Os pontos que apresentaram erros grosseiros foram confirmados em campo, ou seja, os pontos que obtiveram diferença entre coordenadas do campo e da base maiores que três vezes o erro padrão foram rastreados novamente em campo, para confirmação dos resultados. Permanecendo valores acima do valor calculado através da Equação 2, o ponto foi descartado dos cálculos.

Tabela 2: Exemplo de planilha para cálculo da precisão das bases cartográficas.

Norte (GNSS)	Leste (GNSS)	Norte (base)	Leste (base)	Diferença Norte	Diferença Leste	Resultante (Pitágoras)
Yr	Xr	Yb	Xb	Yr-Yb	Xr-Xb	$\sqrt{(Yr-Yb)^2+(Xr-Xb)^2}$
Somatório:						
Média:						

2.2. Obtenção linhas de costa pretéritas

Para quantificar a evolução da linha de costa, faz-se necessário definir inicialmente a linha de costa, podendo esta ser a linha do máximo espraiamento da onda, elevação do mar, ou a linha de vegetação, ou ainda, outro traço evolutivo evidente. Para observar tais feições e demarcar a posição das linhas de costa pretéritas e atuais emprega-se o uso do GPS-RTK e/ou fotografias aéreas verticais e imagens de satélite. Neste trabalho as linhas de costa pretéritas foram extraídas de fotografias aéreas verticais e imagens de satélites.

A Tabela 3 lista as imagens (fotografias aéreas verticais e imagens de satélite) disponíveis na área de estudo deste projeto para a extração das linhas de costas pretéritas, suas fontes, qualidade de digitalização e escala.

As fotografias aéreas verticais de 1938 não foram incorporadas a este trabalho devido à falta de informações referentes à escala e digitalização, a má qualidade das fotografias e a falta do trecho Canasvieiras no conjunto de fotografias aéreas obtidos, bem como ausência de pontos primários para georreferenciamento. No entanto, elas puderam ser utilizadas para comparação visual de ambientes.

Tabela 3: Fotografias aéreas verticais disponíveis para a área de estudo do projeto.

Data	Fonte	Região	Digitalização (em dpi)	Escala
1938	Fotografias aéreas verticais Secretaria de Planejamento e Gestão do Estado - SPG	Ilha de Santa Catarina	300	Escala média 1:25.000
1957	Fotografias aéreas verticais Secretaria de Planejamento e Gestão do Estado - SPG	Ilha de SC e Continente	600	1:25.000
1978	Fotografias aéreas verticais Departamento Nacional de Produção Mineral	Ilha de SC e Continente	600	1:25.000
1994	Fotografias aéreas verticais Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis - IPUF	Ilha de Santa Catarina	mosaico	mosaico
1995	Fotografias aéreas verticais Secretaria do Patrimônio da União – SPU	Continente	600	1:12.500
1998	Fotografias aéreas verticais CELESC - Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A. (e IPUF)	Ilha de Santa Catarina	400	1:15.000
2002	Fotografias aéreas verticais Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis - IPUF	Ilha de Santa Catarina	600	1:8.000
2003	Imagens de Satélite Google Earth Pro	Continente	-	Extraídas na altitude do ponto de visão de 1000m
2006	Imagens de Satélite Google Earth Pro	Continente	-	Extraídas na altitude do ponto de visão de 1000m

Tabela 3 (CONTINUAÇÃO): Fotografias aéreas verticais disponíveis para a área de estudo do projeto.

Data	Fonte	Região	Digitalização (em dpi)	Escala
2007	Fotografias aéreas verticais Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis - IPUF	Ilha de Santa Catarina	600	1:8.000
2009	Imagens de Satélite Google Earth Pro	Continente	-	Extraídas na altitude do ponto de visão de 1000 m
2010	Fotografias aéreas verticais Secretaria de Desenvolvimento Sustentável – Diretoria de Recursos Hídricos – Coordenação de Cartografia	Ilha de Santa Catarina	600	1:10.000

Cálculo do tamanho do pixel em metros

Para o cálculo da representatividade espacial do pixel, a escala da fotografia foi dividida pela resolução com que a imagem foi digitalizada (em DPI) e novamente dividida pela constante 39,37 para então converter o valor de polegadas para metros, como sugerido por Jensen (2009) (Equação 3).

Cálculo da resolução do pixel no terreno:

$$PM = \frac{\left(\frac{S}{DPI}\right)}{39,37}, \quad (3)$$

Onde:

PM = tamanho do pixel em metros

S = escala

DPI = pontos por polegada

A Tabela 4 apresenta os valores das resoluções do pixel para cada fotografia aérea utilizada.

Tabela 4: Cálculo da resolução do pixel no terreno, conforme equação sugerida por Jensen (2009).

Data	Região	Digitalização (em dpi)	Escala	Tamanho do pixel (m)
1938	Ilha de Santa Catarina	300	1:25.000	2,11
1957	Ilha de SC e Continente	600	1:25.000	1,06
1978	Ilha de SC e Continente	600	1:25.000	1,06
1994	Ilha de Santa Catarina	Mosaico ¹	Mosaico ¹	-
1995	Continente	600	1:12.500	0,53
1998	Ilha de Santa Catarina	400	1:15.000	0,95
2002	Ilha de Santa Catarina	600	1:8.000	0,34
2003	Continente	-	1:2.000	-
2006	Continente	-	1:2.000	-
2007	Ilha de Santa Catarina	600	1:8.000	0,34
2009	Continente	-	1:2.000	-
2010	Ilha de Santa Catarina	600	1:10.000	0,42

¹ Fotografias aéreas verticais unidas disponibilizadas pelo Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis - IPUF

Bases cartográficas

Para o georreferenciamento das fotografias aéreas, foi necessária a utilização de duas bases cartográficas diferentes, pois cada uma delas abrange parte da área de estudo:

- Para a Ilha de Santa Catarina foi utilizada a base cartográfica vetorial (originalmente em formato “.dgn”), escala 1:2.000, disponibilizada pelo IPUF.
- Para o continente foi utilizada a base cartográfica vetorial (originalmente em formato .dgn), escala 1:2.000, disponibilizada pela Secretaria de Patrimônio da União (pequena faixa do litoral, aproximadamente 350 m da linha de costa).

Georreferenciamento das fotografias aéreas verticais e imagens de satélites

O georreferenciamento das fotografias aéreas foi realizado no sistema de informações geográficas ArcGIS (ESRI). Primeiramente foi realizada a seleção dos pontos de controle necessários ao processo de correção geométrica das fotografias. Esses pontos são feições bem definidas e facilmente reconhecíveis, que podem ser precisamente localizados tanto na base cartográfica quanto na fotografia a ser georreferenciada. Foram identificados 20 pontos de controle para cada fotografia/imagem, buscando-se uma boa distribuição espacial dos mesmos. Algumas das feições utilizadas foram esquinas de ruas e piscinas (nas fotografias mais recentes).

Nesse processo de correção geométrica é importante avaliar o erro quadrático médio (EQM, ou RMS, *Root Mean Square*) do georreferenciamento (Equação 4). Esse erro é a média dos valores obtidos pela diferença entre a posição estimada e a posição real elevada ao quadrado, ou seja, o EQM exprime o erro posicional inerente ao modelo criado no registro entre uma imagem e outra.

$$EQM = \sqrt{(X_{Foto} - X_{Base})^2 + (Y_{Foto} - Y_{Base})^2}, \quad (4)$$

Onde:

X_{Foto} = Coordenada no eixo X obtida na fotografia aérea vertical;

X_{Base} = Coordenada no eixo X obtida na base cartográfica;

Y_{Foto} = Coordenada no eixo Y obtida na fotografia aérea vertical;

Y_{Base} = Coordenada no eixo Y obtida na base cartográfica;

Para controlar a precisão do georreferenciamento é preciso multiplicar o EQM pela constante 1,7308, a fim de se obter um nível de confiança de 95% em relação à posição verdadeira dos pontos na base cartográfica (Comitê Norte-Americano de Padronização de Dados Geográficos, FGDC-STD, 1998). O erro referente ao georreferenciamento foi multiplicado por essa constante e os valores obtidos foram utilizados como valor de incerteza para o cálculo de variação da posição da linha de costa.

Para cálculos de precisão, foi considerado o maior erro encontrado para o georreferenciamento de cada conjunto de fotografias aéreas verticais de cada praia. Na Tabela 5 e na Tabela 6 são apresentados esses erros e o cálculo de controle da precisão para as praias localizada na Ilha de Santa Catarina e continente, respectivamente.

Extração da linha de costa

Foram traçadas visualmente as linhas de costa (para cada uma das datas) utilizando como indicador a linha que separa a areia úmida da areia seca (Figura 7), conforme proposto por Boak e Turner (2005). Ou seja, o máximo espraiamento da onda sobre a face da praia, registrado no momento da obtenção da imagem.

Uma alternativa para aumentar a precisão do traçado da linha de costa nas fotografias/imagens pretéritas seria utilizar a técnica da restituição. Para isso, seria necessário um par de fotografias aéreas para cada trecho da linha de costa com sobreposição de aproximadamente 60% entre elas (JENSEN, 2009), no entanto, não foi possível obter esse material nos órgãos fonte. Muitos acervos de fotografias aéreas não estão mais completos.

A Figura 8 apresenta um exemplo de como são representadas as linhas de costa pretéritas extraídas das fotografias aéreas e imagens de satélites.

Tabela 5: Erro Quadrático Médio e controle de precisão para cada conjunto de fotografias para cada praia localizada na Ilha de Santa Catarina.
Valores de EQM em metros.

Praia	Data	Erro (EQM) (m)	EQM _{95%}
Barra da Lagoa	1957	4,4	7,6
	1978	4,9	8,5
	1998	3,7	6,4
	2002	2,8	5,0
	2007	1,7	3,0
Moçambique	1957	4,2	7,2
	1978	1,9	3,3
	1998	3,2	5,6
	2002	1,3	2,3
	2007	1,6	2,7
Santinho	1957	4,3	7,4
	1978	2,0	3,4
	1998	2,1	3,7
	2002	1,3	2,3
	2007	1,6	2,7
Ingleses	1957	4,0	6,9
	1978	3,2	5,6
	1998	2,5	4,4
	2002	1,0	1,8
	2007	1,0	1,7
Brava e Lagoinha	1957	3,0	5,2
	1978	2,7	4,7
	1998	3,6	6,3
	2002	0,7	1,2
	2007	1,3	2,3
Ponta das Canas	1957	5,6	9,8
	1978	2,8	4,8
	1998	1,9	3,2
	2002	0,7	1,2
	2007	1,3	2,3
Cachoeira do Bom Jesus	1957	5,6	9,8
	1978	3,6	6,3
	1998	1,7	2,9
	2002	0,9	1,6
	2007	1,3	2,3
Canavieiras	1957	5,6	9,8
	1978	3,6	6,3
	1998	1,7	2,9
	2002	0,9	1,6
	2007	1,3	2,3
Jurerê	1957	5,6	9,8
	1978	3,6	6,3
	1998	1,7	2,9
	2002	0,9	1,6
	2007	1,3	2,3
Daniela	1957	5,6	9,8
	1978	3,6	6,3
	1998	1,7	2,9
	2002	0,9	1,6
	2007	1,3	2,3

Tabela 6: Erro Quadrático Médio e controle de precisão para cada conjunto de fotografias para cada praia localizada na porção continental da área de estudo. Valores de EQM em metros.

Praia	Data	Erro (EQM) (m)	EQM _{95%}
Anhatomirim	1957	5,7	9,9
	1978	3,3	5,6
	1995	1,9	3,3
	2003	1,9	3,4
	2006	3,3	5,7
	2009	3,2	5,6
Caieira	1957	5,7	9,9
	1978	2,9	5,1
	1995	1,4	2,4
	2003	1,2	2,1
	2006	1,6	2,8
	2009	1,4	2,4
São Miguel	1957	5,7	9,9
	1978	3,3	5,6
	1995	1,3	2,2
	2003	1,1	1,9
	2006	1,4	2,4
	2009	1,9	3,4
Praia do Oscar	1957	5,7	9,9
	1978	3,3	5,6
	1995	1,3	2,2
	2003	0,9	1,6
	2006	1,4	2,4
	2009	1,4	2,4
Pitangueiras	1957	5,0	8,6
	1978	3,3	5,8
	1995	1,7	2,9
	2003	1,2	2,0
	2006	1,2	2,1
	2009	1,1	1,8
Praia do Rabelo	1957	5,0	8,6
	1978	3,3	5,8
	1995	1,6	2,9
	2003	2,1	3,6
	2006	1,8	3,2
	2009	2,5	4,4



Figura 7: Traçado da linha de costa nas fotografias aéreas e imagens de satélite. Indicador utilizado: areia seca/areia úmida. Fotografias aéreas verticais – 1957-Secretaria de Planejamento e Gestão do Estado – SPG; 2002 - Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis – IPUF.

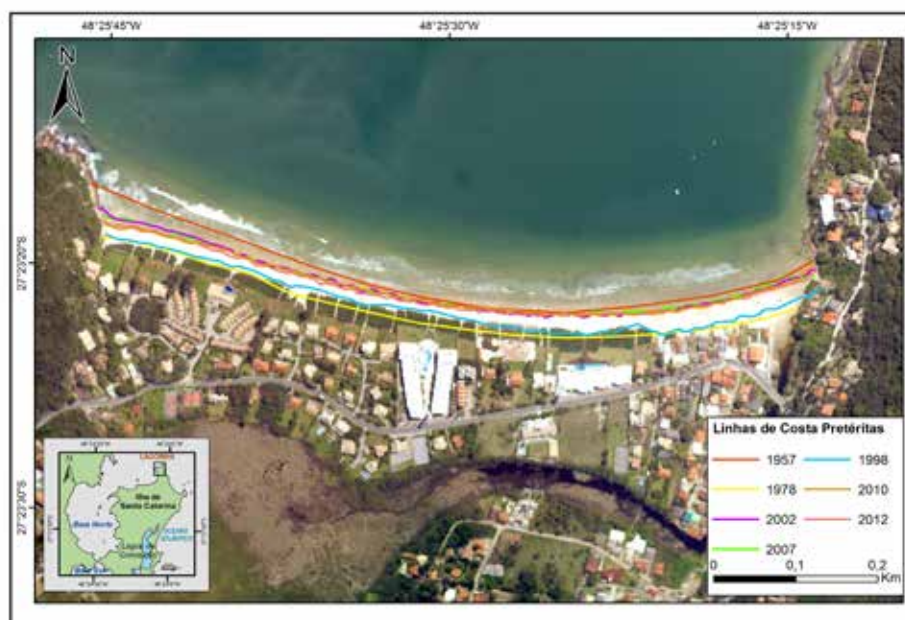


Figura 8: Linhas de costa extraídas de fotografias aéreas e imagens de satélites pretéritas. Praia da Lagoinha. Fotografia de fundo: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável (SDS, 2010).

2.3. Obtenção das linhas de costa atuais

A aquisição dos dados de posição da linha de costa atual consistiu em se fazer o caminhamiento sobre a feição escolhida com o auxílio de um Receptor GNSS adaptado a uma roda de bicicleta para manter a altura do receptor constante. A feição escolhida para delimitar a posição da linha de costa para o ano de 2012 foi a interface areia seca/areia molhada, mais utilizada e pertinente para avaliações de larga escala (Boak e Turner, 2005).

Para a aquisição dos dados de posição de linha de costa foi utilizado o método RTK (*Real Time Kinematic*) no modo topo contínuo. Para isso é necessário que haja um ponto de coordenadas conhecidas próximo à praia a ser estudada. Quando este ponto se encontrava a uma distância da praia que impossibilitava a comunicação entre a antena base e a antena móvel, um ponto de apoio (PA) foi transferido para a praia de modo a dar “visada” para a maior extensão de linha de costa possível. A Figura 9 apresenta a metodologia de obtenção da linha de costa em campo em “A” e um exemplo de linha de costa obtida em “B”.



Figura 9: (A) Levantamento de linha de costa em campo com uso do receptor GNSS adaptado a uma roda de bicicleta sobre o indicador areia seca/molhada. Fotografia Mariela Muler. (B) Representação da linha de costa coletada em campo. Fotografia de fundo fonte SDS (2010).

2.4. Determinação da taxa de evolução costeira – TEC

Como já dito no item anterior, para se quantificar a evolução costeira é necessário definir a posição da linha de costa atual (para este estudo a linha de costa atual foi coletada em 2012) através do delineamento de um indicador previamente estabelecido. Essa linha de costa foi então comparada com as linhas de costa pretéritas extraídas das fotografias aéreas verticais e imagens de satélites. A partir da comparação entre essas linhas de costa,

obtém-se a distância entre elas e divide-se pelo tempo de movimentação transcorrido. Dessa maneira, a taxa de evolução da linha de costa (TEC) é estabelecida.

Três situações para o TEC são possíveis:

- i. Retração, a costa encontra-se em erosão;
- ii. Estabilidade, ocorrendo um balanço entre erosão e deposição ($TEC < \text{Erro}$);
- iii. Progradação, onde se verifica um avanço do continente em direção ao mar ocasionado pela deposição.

Para o estudo da variação da linha de costa foi realizada a comparação entre a linha de costa obtida em campo no ano de 2012, fotografias aéreas e imagens de satélite distintas com ajuda da extensão DSAS – *Digital Shoreline Analysis System 4.3*, desenvolvida pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (THIELER et al., 2009; HIMMELSTOSS, 2009, em <http://pubs.usgs.gov/of/2008/1278/>) integrado ao Sistema de Informação Geográfica ArcGIS 10.2. O DSAS opera a partir da inserção de uma linha de base vetorial dentro do base de dados geográficos. Essa linha deve ser criada paralela à praia em estudo e serve como referência inicial para construção computacional dos perfis transversais necessários para as análises. A sequência de etapas é apresentada na Figura 10.

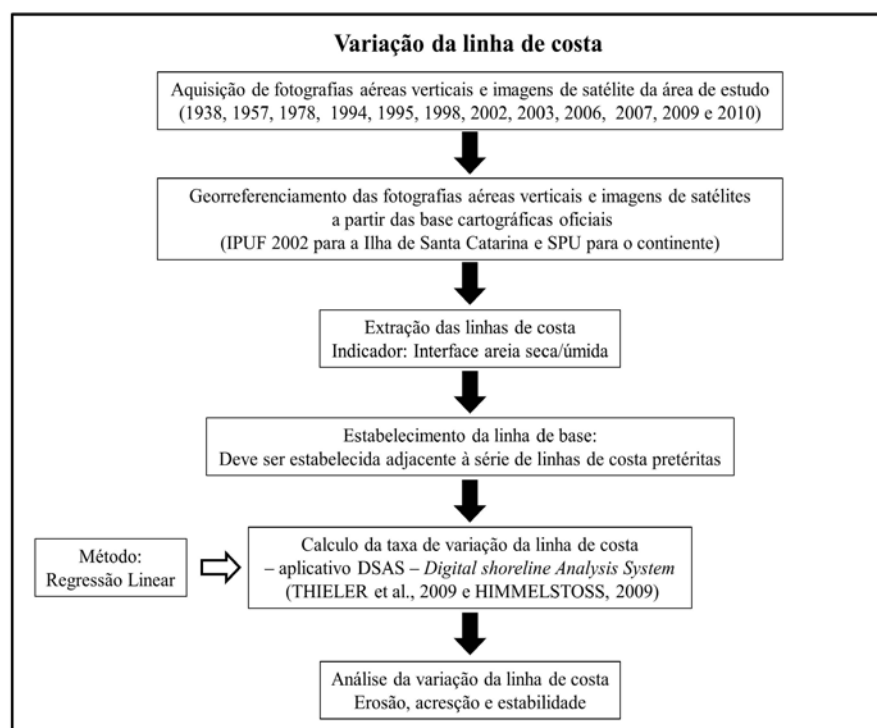


Figura 10: Sequência de etapas da variação da linha de costa.

Apesar de ter-se obtido a posição da linha de costa em 2012 e 2013, não se utilizou o dado de 2013. Pois na ocasião foram coletados dados de posição da linha de costa sobre o indicador linha d'água, enquanto que em 2012 o indicador escolhido foi a interface areia seca/areia molhada. A escolha por usar a linha de costa de 2012 se deu devido ao indicador areia seca/areia molhada ser mais visível nas fotografias aéreas mais antigas, facilitando assim uma extração mais precisa do indicador.

A descrição das etapas de georreferenciamento e extração das linhas de costa está apresentada no item 2.2 página 41 deste relatório. Na Figura 11 apresenta-se um breve resumo de cada método disponibilizado pelo aplicativo DSAS. Mais informações estão disponíveis no manual do aplicativo (HIMMELSTOSS, 2009).

Para a determinação da TEC utilizou-se o método de regressão linear (LRR – *Linear Regression*).

Para as linhas perpendiculares traçadas pelo aplicativo para cálculo das distâncias da linha de costa à linha base é utilizado o termo “transecto”, vindo de *transect* em Inglês.

Para incluir as incertezas relativas ao processo de georreferenciamento das fotografias e imagens aéreas, acrescentaram-se os valores das incertezas máximas, médias e por ano analisado para cada praia (EQM).

Sabe-se que as incertezas são propagadas no processo de análise de variação da linha de costa, no entanto, essas são apresentadas de forma simplificada apenas para estimativa da precisão do processo no relatório técnico RT_MMA_Riscos_2013_25.

Alguns transectos não entraram nas análises por não cruzar todas as linhas de costa em análise; por isso, muitas vezes as taxas de variação da linha de costa não são apresentadas no transecto 1.

A média móvel de ordem três foi calculada e utilizada para elaboração dos gráficos para a suavização dos resultados.

A Figura 12 apresenta a localização das praias e a ordem de apresentação dos resultados neste relatório.

RESUMO DOS MÉTODOS DE CÁLCULO DE VARIAÇÃO DA POSIÇÃO DA LINHA DE COSTA

1. Envelope de variação da linha de costa (*shoreline change envelope (SCE.)*)

Apresenta uma distância (em metros), não uma taxa.

Saída: Distância entre a linha de costa mais longe e a mais próxima da linha de base, ou seja, apresenta a maior variação encontrada para aquela praia.

2. Movimento líquido da linha de costa (*net shoreline movement (NSM)*)

Apresenta uma distância (em metros), não uma taxa.

Saída: Distância entre a linha de costa mais antiga e a mais recente.

3. Ponto extremo (*End Point Rate(EPR)*)

Apresenta uma taxa de variação (metros/ano).

Saída: Taxa de variação em metros/ano considerando a linha de costa mais antiga e a mais recente. Não leva em conta as datas intermediárias. Apresenta um valor de confiança, que é função das incertezas atreladas a cada linha de costa (ECI).

4. Regressão linear (*Linear Regression (LRR)*).

Apresenta uma taxa (metros/ano).

Saída: Taxa de variação em metros/ano considerando todas as linhas de costa disponíveis. Neste método realiza-se uma regressão linear, em que a taxa é a inclinação da reta obtida: , onde y é a distância prevista da linha de base *baseline*, m é a inclinação (taxa de variação) e b = interseção com o eixo y .

Apresenta-se também um erro padrão da estimativa (LSE).

$$LSE = \sqrt{\frac{\sum (y - y')^2}{n - 2}}$$

Onde:

y = Distância conhecida entre o ponto da linha de base até o ponto da linha de costa;

y' = Valor previsto a partir da equação da linha de regressão que melhor de ajuste;

$n-2$ = Grau de liberdade.

Figura 11: Resumo dos métodos de cálculo de variação da linha de costa.

5. Regressão linear ponderada (*Weighted Linear Regression (WLR)*)

Apresenta uma taxa (metros/ano).

Saída: Taxa de variação em metros/ano considerando todas as linhas de costa disponíveis. Neste método também se realiza uma regressão linear, mas neste caso, é atribuído maior peso às linhas de costa que têm incertezas menores, ou seja, o peso é função da incerteza.

Apresenta-se também um erro padrão da estimativa (WSE*).

Para o LRR e o WLR, o aplicativo computa os parâmetros LCI e WCI, respectivamente relativos à incerteza da taxa de variação calculada com intervalo de confiança escolhido pelo usuário (nesse caso 95%) e LR2 e WR2 que são parâmetros relativos à porcentagem da variância dos dados explicada pela regressão linear (equiparado ao coeficiente de determinação).

6. Mínima mediana dos quadrados (*Least Median of Squares (LMS)*)

Apresenta uma taxa (metros/ano).

Saída: Taxa de variação em metros/ano considerando todas as linhas de costa disponíveis. Também trabalha com regressão linear, mas utiliza a mediana do quadrado dos resíduos (diferença da distância entre os valores conhecidos de y e os valores preditos), e não a média, tentando minimizar o efeito de dados anômalos no cálculo da taxa de variação da linha de costa.

* Este coeficiente é calculado a partir da seguinte fórmula:

$$ECI = \frac{\sqrt{(inc A)^2 + (inc B)^2}}{data A - data B}$$

onde: *inc A* = incerteza atribuída a linha de costa A para aquela data.

inc B = incerteza atribuída a linha de costa B para aquela data.

data A = data da linha de costa A.

data B = data da linha de costa B.

Figura 11 (CONTINUAÇÃO): Resumo dos métodos de cálculo de variação da linha de costa.

Na Tabela 7 é apresentado um resumo das áreas analisadas, datas, indicador da linha de costa e distância entre os transectos traçados.

Tabela 7: Áreas analisadas, datas, indicador da linha de costa e distância entre os transectos traçados

Região	Datas
Praias da Ilha de Santa Catarina	1957, 1978, 1998, 2002, 2007, 2010 e 2012.
Praias do continente	1957, 1978, 1995, 2003, 2006, 2009 e 2012.
Indicador de linha de costa	Areia seca/úmida*
Transectos	A cada 50 m.

* apenas para a Beira-mar Norte o indicador foi a linha d'água, assim pôde-se analisar a quantidade de terras úteis adquiridas com a realização dos aterros.

2.5. Previsão das linhas de costa futuras

A escala de tempo adotada por Ferreira et al. (2006), foi de 50 anos, a mesma foi utilizada para este trabalho, mas acrescentou-se estudos para 5, 10 e 25 anos. O período máximo de 50 anos foi escolhido devido ao base de dados de ondas e maré utilizados para a as propagações de ondas (disponibilizados pelo modelo SMC-Brasil) contarem com 60 anos de dados entre 1948 e 2008, com isto obtém-se uma maior confiabilidade nas previsões.

Sendo assim, para costa em condição de retração, a projeção da linha de costa futura (LC_t), considerando a escala de tempo acima, é dada por:

$$LC_t = LC_0 + TEC \times t, \quad (5)$$

LC_0 = linha de costa atual, tempo zero;

LC_t = linha de costa futura num tempo de t (5,10,25 e 50) anos, considerando um aumento constante no nível do mar;

TEC = taxa anual de evolução de linha de costa;

t = tempo futuro (5, 10, 25 e 50 anos)

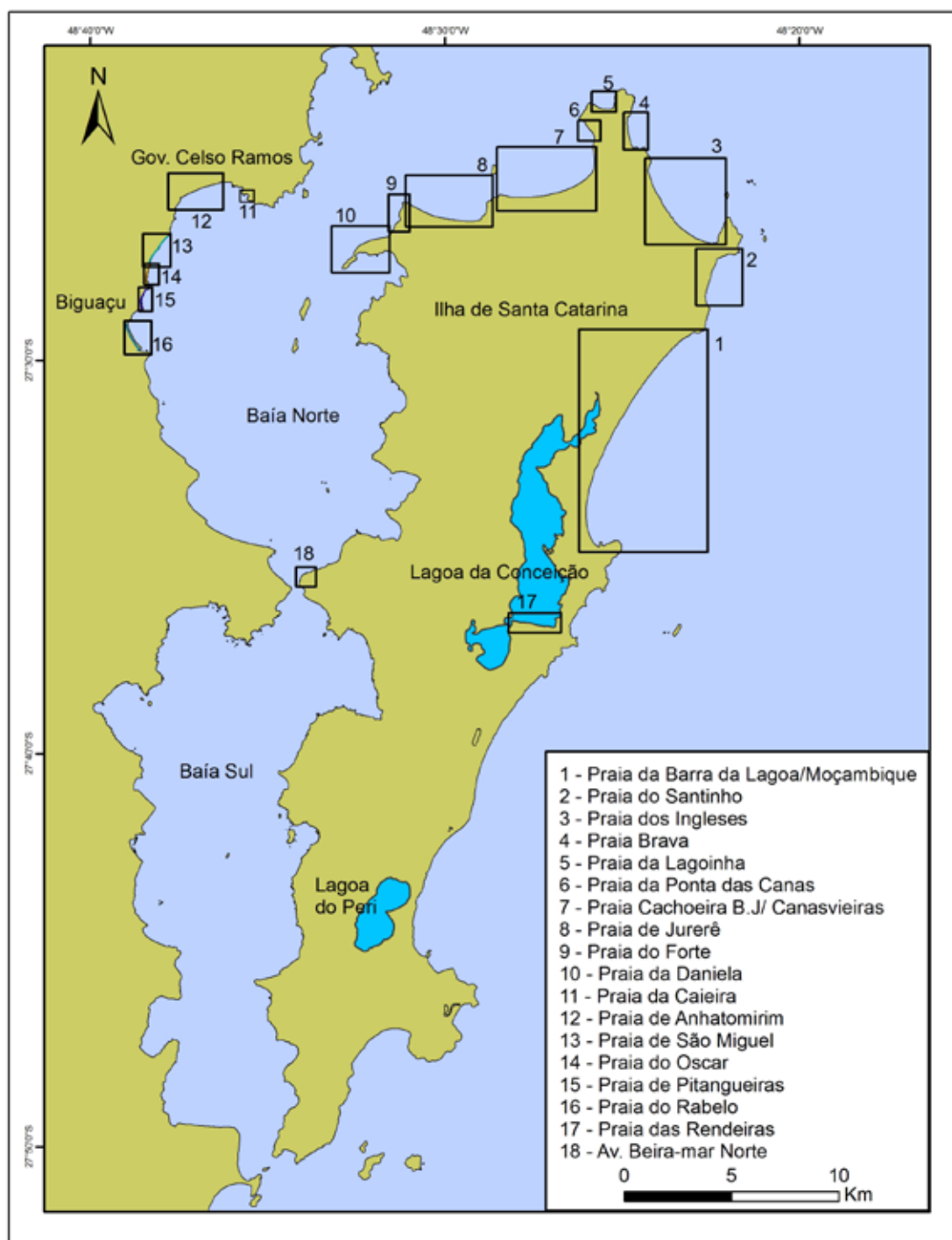


Figura 12: Localização das praias. Sequência apresentada neste relatório.

Em casos de estabilidade (quando o movimento líquido da linha de costa é cerca de zero ou está dentro da incerteza de medição) ou progradação, a linha de costa, permanecerá a mesma do presente, pois as estimativas representam o pior cenário para os próximos 50 anos (Figura 13).

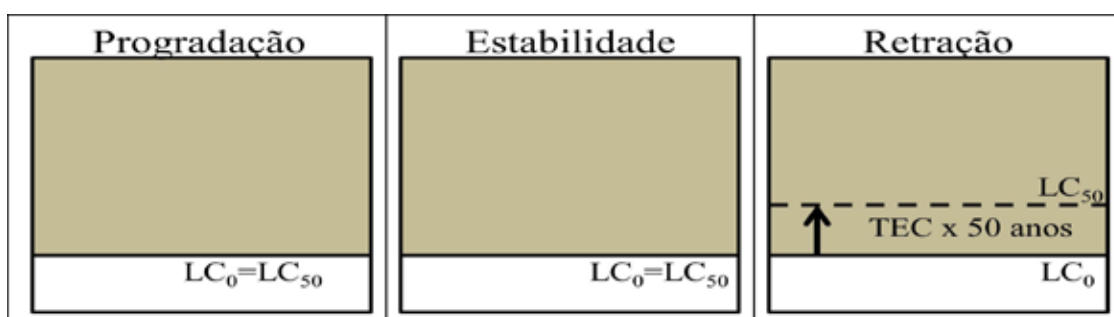


Figura 13: Representação das linhas de costas futuras calculadas através da TEC. Adaptado de Ferreira et al. (2006). Neste exemplo considerou-se o período de 50 anos.

A incerteza do método foi calculada pelo somatório do $EQM_{95\%}$ (ver item 2.2, página 41) e do PEC (ver item 3.1, página 133) calculadas para cada praia divididos pela subtração entre a data final (D_f) e inicial (D_i) das linhas de costa usadas para a obtenção da TEC, assim as porções de linhas de costa que apresentaram TEC em módulo abaixo da incerteza foram consideradas em estabilidade dinâmica.

$$i = \frac{(EQM_{95\%} + PEC)}{D_f - D_i}, \quad (6)$$

2.6. Ajuste da linha de costa considerando a aceleração subida do nível do mar

A linha de costa futura (LC_t) obtida inclui apenas o efeito da atual taxa de subida no nível do mar. Entretanto, LC_t não conta com uma esperada aceleração na subida do nível do mar (ASLR), gerado pela intensificação dos efeitos das ações antrópicas. Sabendo-se a taxa de subida do nível do mar no presente e o nível do mar daqui a t anos (SL_t), o valor de ajuste (SLRa) pode ser obtido por:

$$SLRa = SL_t - SLRp \times t, \quad (7)$$

SLRa = velocidade de subida do nível do mar ajustado por uma aceleração deste no futuro;

SL_t = nível do mar daqui a t (5, 10, 25 e 50) anos;

SLRp = velocidade de subida do nível do mar no presente;

t = tempo futuro (5, 10, 25 e 50 anos);

Retração Adicional (Regra de Bruun)

Devido às premissas computacionais do modelo de propagação de ondas não permitirem a modelagem de ondas até as praias do Norte da Ilha de Santa Catarina e porção continental da área de estudo (ver item 2.6, página 91), a retração adicional da linha de costa proposta por Bruun (1954) foi realizada de forma distinta para as praias expostas e praias abrigadas. As diferentes metodologias são explicadas nos itens a seguir.

Praias expostas

O valor de ajuste da subida do nível do mar servirá para projetar uma retração adicional, através da Regra de Bruun (Bruun, 1954), ponderando agora, uma aceleração na subida do nível do mar para os próximos 50 anos. A retração adicional da linha de costa (Ra) foi obtida por:

$$Ra = (SLRa \times L) / (h_* + Dc), \quad (8)$$

Ra = retração adicional da linha de costa;

L = distância entre a face superior e inferior do perfil praial;

h_{*} = profundidade de fechamento interna;

Dc = altura da duna frontal em relação ao nível médio do mar.

Para linhas de costa em retração ou em estabilidade dinâmica, estimou-se:

$$LC_{tc} = LC_t + Ra, \quad (9)$$

LC_{tc} = linha de costa futura ajustada pela ASLR;

LC_t = linha de costa futura num tempo de t anos;

Ra = retração adicional da linha de costa.

Para linhas de costa em progradação, onde o aporte de sedimento é equivalente ou maior ao ASLR (Ra), a linha de costa futura permanece inalterada; já em situações cujo ASLR é significativamente maior que a progradação da costa, o ajuste será dado por:

$$LC_{tc} = LC_0 + Ra - SS_t, \quad (10)$$

LC_{tc} = linha de costa futura ajustada pela ASLR;

LC_0 = linha de costa atual;

Ra = retração adicional da linha de costa;

SS_t = progradação estimada para um período de t anos.

As linhas de costa futuras estimadas acima, representam, assumindo uma TEC igual a do passado recente, e também ajustada por uma retração adicional (Ra), uma previsão da linha de costa futura, considerando apenas a evolução da linha de costa e a subida do nível do mar (Figura 14).

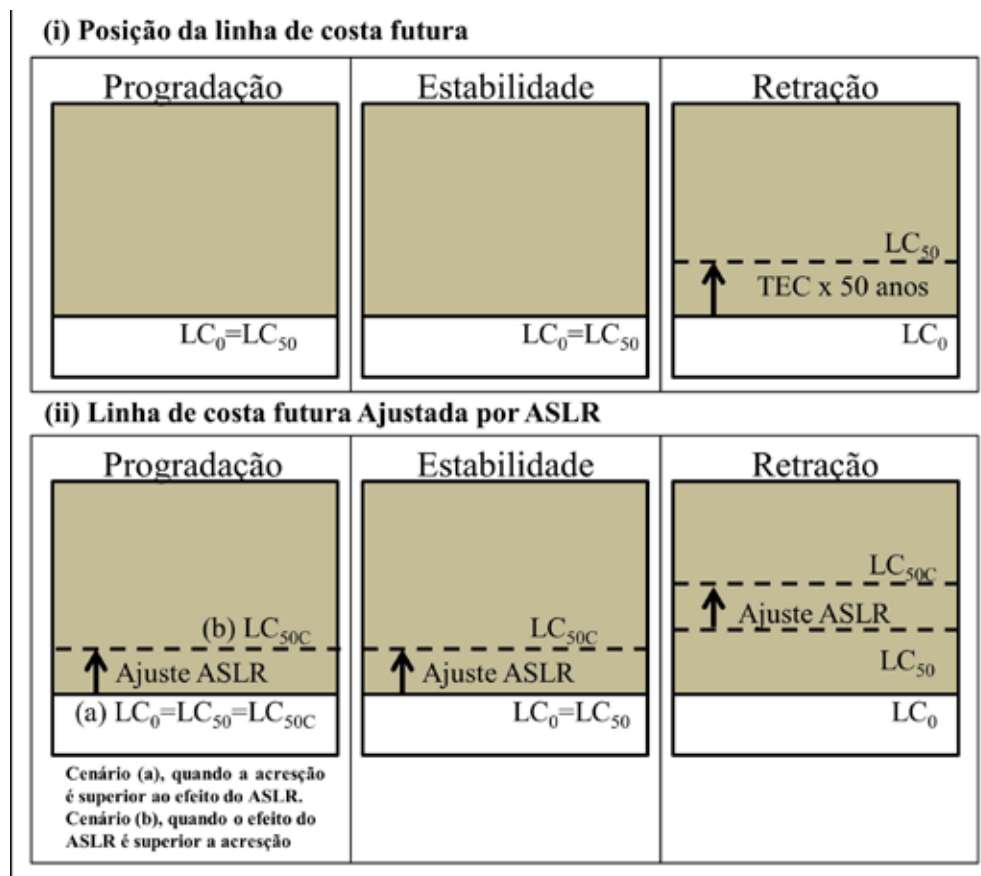


Figura 14: Em (i) representação das linhas de costas futuras calculadas através da TEC. Em (ii) representação das linhas de costas futuras ajustadas através da regra de Bruun. Adaptado de Ferreira et al. (2006). Neste exemplo considerou-se o período de 50 anos.

As variáveis necessárias para o cálculo da Retração de Bruun e as respectivas fontes de informação estão apresentadas na Tabela 8. A metodologia de obtenção das variáveis está apresentada a seguir.

Tabela 8: Dados necessários para o cálculo da retração pela elevação adicional do nível do mar e respectivas fontes de informação.

Variável	Fonte
Altura da Duna Frontal (D_c)	Obtida em campo
Aceleração da taxa de elevação do nível do mar	IPCC (2013)
Profundidade de Fechamento (h .)	Calculada a partir das propagações
Distância até h . (L)	Medido em ambiente SIG

Coleta de dados – Altura da duna frontal (Perfil praial)

A aquisição dos valores de altura da duna frontal foi realizada através de perfis praiais, levantados em campo no mês de Junho de 2013.

O método de levantamento dos perfis praiais foi o mesmo utilizado para a aquisição das linhas de costa atuais (ver Item 2.3, página 50). Utilizou-se o receptor GNSS sobre a linha anteriormente desenhada, com as balizas como orientação. Os perfis tiveram início na porção mais distal em relação ao mar, a qual foi possível chegar com o equipamento, seguindo em direção ao mar até a profundidade de segurança para não molhar o receptor. Profundidade essa definida levando-se em consideração as condições do mar. A referência vertical foi o nível médio do mar medido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no Porto de Imbituba (SC). A localização dos marcos geodésicos de referência de nível (RRNN) utilizados neste trabalho pode ser vista no relatório técnico RT_MMA-Riscos / 2012-02 (APÊNDICE B).

Processamento dos dados de perfil praial

Para o processamento dos dados foi elaborado uma rotina em ambiente computacional para reproduzir os gráficos dos perfis praiais, calcular o volume do perfil (m^3/m), largura do perfil (m), declividade do perfil ($^{\circ}$), declividade da face ($^{\circ}$), altura da duna (m) e altura da berma (m). A descrição completa da rotina, assim como os gráficos dos perfis e tabelas contendo os resultados encontrados podem ser visualizados no relatório técnico: RT_MMA-Riscos / 2014-31 (APÊNDICE B).

Para cada perfil de praia foi gerado um gráfico com a interpolação dos pontos coletados em campo. Na Figura 15 é apresentado um exemplo, o mesmo contém uma tabela de legenda com as seguintes informações:

- As coordenadas do primeiro ponto do perfil praial;
- O valor da largura da praia (m);
- O valor do volume (m^3/m);
- Declividade do perfil praial ($^{\circ}$);

- Declividade da face da praia (°);
- Altura da berma (m);
- Altura da duna frontal (m).

Para cada praia foi gerada uma tabela (Tabela 9) contendo as variáveis calculadas e o número das amostras de sedimento. Também foi calculado a média, o máximo e o mínimo das variáveis.

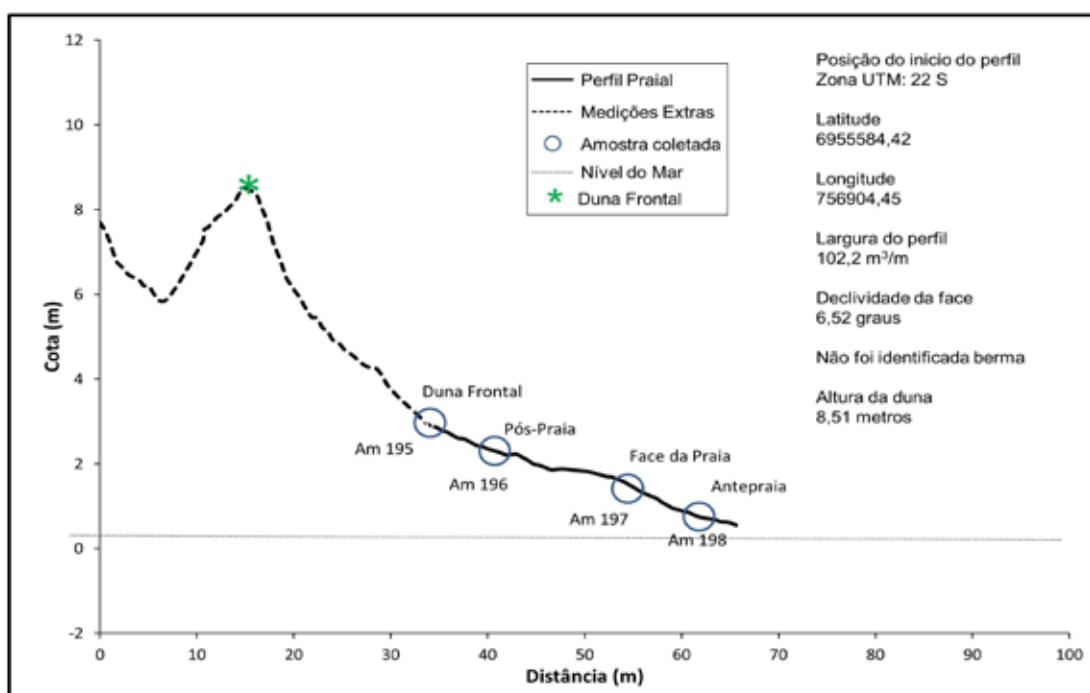


Figura 15: Perfil praiar 51 do Arco praiar da Barra da Lagoa/Moçambique.

Tabela 9: Resultados encontrados para a praia do Forte, Norte da Ilha de Santa Catarina.

Perfil	Largura (m)	Volume (m³/m)	Altura da Berma (m)	Altura da Duna Frontal (m)	Declividade do Perfil (°)	Declividade da Face da praia (°)	Amostras do Perfil
1	69,39	92,68	2,11	2,21	2,29	1,43	am573 à am575
2	113,57	178,56	Sem Berma	2,23	1,42	0,98	am576 à am578
3	66,58	164,35	Sem Berma	2,00	2,22	0,22	am579 à am581
4	97,79	194,81	Sem Berma	1,90	1,73	0,51	am582 à am584
5	35,39	58,43	Sem Berma	2,29	4,23	0,33	am585 à am587
Média	76,54	137,77	2,11	2,12	2,38	0,69	
Máximo	113,57	194,81	2,11	2,29	4,23	1,43	
Mínimo	35,39	58,43	2,11	1,90	1,42	0,22	

Profundidade de fechamento

O transporte de sedimentos causado pela ação das ondas ao longo do perfil transversal de uma praia diminui no sentido do mar aberto e seu efeito na morfologia do fundo se torna desprezível depois de determinada profundidade (BRUUN, 1962). Até esta profundidade, o perfil é considerado ativo, com variações consideráveis na morfologia.

A esta profundidade dá-se o nome de profundidade de fechamento. A profundidade de fechamento pode ser descrita como a profundidade imediatamente em direção ao mar da zona de surfe, onde as forças das ondas não produzem mudanças mensuráveis. A partir desta profundidade, a taxa de transporte de sedimentos é pequena demais para ser medida através de mudanças morfológicas do fundo (HALLERMEIER, 1981).

Muitos trabalhos tratam dos limites em direção ao mar do perfil ativo transversal à praia, no entanto, Hallermeier (1978) foi o primeiro a descrever uma função matemática para o cálculo da profundidade de fechamento. Segundo Hallermeier (1981) o perfil de uma

praia pode ser dividido em três zonas principais com relação ao transporte de sedimentos onde seria possível determinar uma profundidade de fechamento externa (hf_e) e uma profundidade de fechamento interna (h_s) (Figura 16):

Zona em direção ao mar (*offshore*) ou plataforma continental: Zona de águas relativamente profundas em que há interação das ondas com o fundo e o processo de refração da onda é dominante. No entanto, esta interação não é suficiente para causar transporte significativo de sedimento sendo as taxas de erosão/deposição desprezíveis.

Zona de empinamento da onda (*shoal*) ou antepraia: Zona de transição onde os efeitos das ondas de superfície não apresentam efeitos fortes nem negligenciáveis nas formas de fundo. Nesta zona ocorre deposição de sedimento resultante do transporte nas zonas adjacentes.

Zona de surfe: Zona de águas rasas onde ocorre intensa atividade no leito causada pela quebra das ondas e correntes resultantes deste processo. As ondas passam a gerar agitação sobre o sedimento do fundo causando o transporte e variação da morfologia.

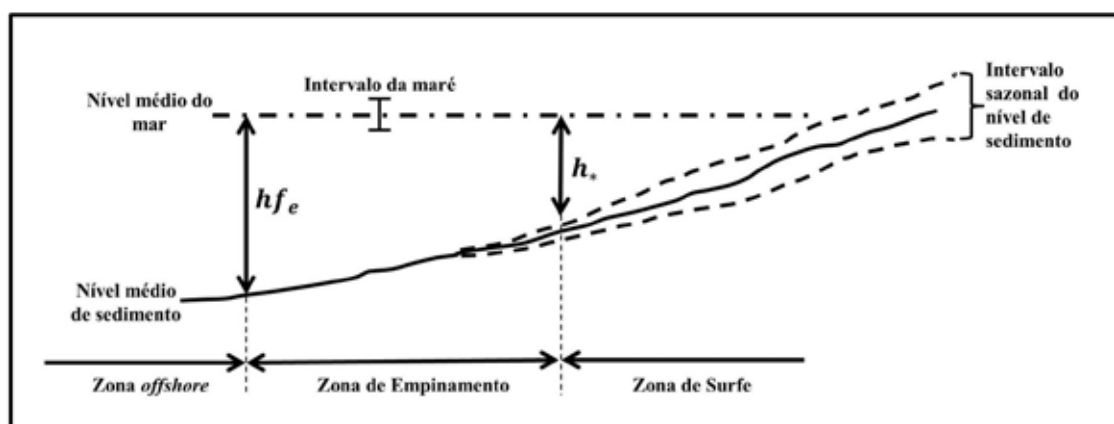


Figura 16: Zonação do perfil transversal à costa.
Fonte: Modificado de Hallermeier (1981).

Desta forma, Hallermeier (1981) adaptando a formulação proposta por ele mesmo anteriormente (HALLERMEIER, 1978), obteve a profundidade de fechamento interna como função da altura significativa média de onda ($\bar{H}_s$) em metros e respectivo desvio padrão (σ) (Equação 11):

$$h_* = 2\bar{H}_s + 11\sigma, \quad (11)$$

Já a profundidade de fechamento externa (hf_e) seria função da altura significativa média de onda ($\bar{H}_s$) em metros, do desvio padrão da altura significativa de onda (σ), do período significativo médio da onda ($\bar{T}_s$) em segundos e da mediana do tamanho de grão na profundidade 1,5 (ht_1) em metros (Equação 12):

$$hf_e = (\bar{H}_s - 0,3\sigma) * \bar{T}_s \left(\frac{g}{5000D_{50}} \right)^{1/2}, \quad (12)$$

O cálculo da profundidade de fechamento para as praias expostas foi realizado utilizando ambas as formulações propostas por Hallermeier (1981) (Equação 11 e 12). O processo de cálculo se deu a partir das etapas descritas nos itens a seguir.

Propagação de ondas até a costa

A propagação de ondas na área de estudo foi realizada por Gomes da Silva (2014) para as praias da Barra da Lagoa e Ingleses utilizando o modelo OLUCA-SP, sendo ainda acrescentados neste trabalho os estudos feitos para as praias Brava e Santinho. Por limitações do modelo de propagação de ondas utilizado, não foi possível propagar até as praias abrigadas da incidência de ondas da área de estudo do projeto (ver item 2.6, página 91).

Escolha dos pontos DOW

Dois pontos da base DOW (*Downscaled Ocean Waves*) do SMC – Brasil foram selecionados para as propagações de ondas de águas intermediárias até as praias da Barra da Lagoa/Moçambique, Santinho, Ingleses e Brava (Figura 17). A série de dados do Ponto 1 foi utilizada para propagação de ondas até as praias dos Ingleses e Brava. Já os dados do Ponto 2 foram utilizados nas propagações até as praias da Barra da Lagoa/Moçambique e Santinho.

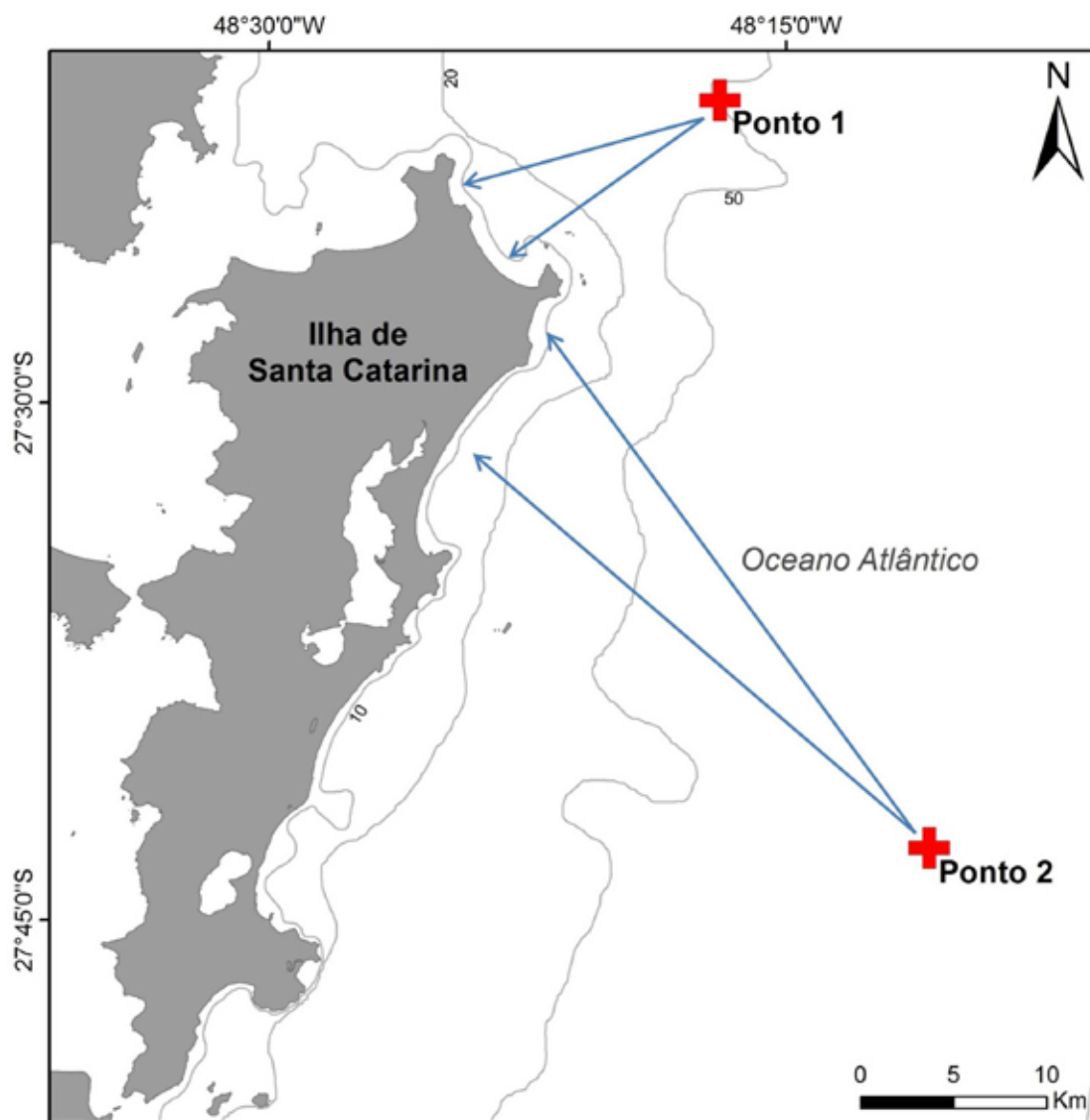


Figura 17: Pontos da base de dados do SMC-Brasil utilizados para propagação de ondas até a costa

O clima de ondas pode ser observado através dos histogramas de H_s e T_p (Figura 18 a 21), onde é possível notar uma distribuição bastante semelhante entre os valores dos pontos 1 e 2. Maiores diferenças são visíveis, no entanto, na direção média dos casos de onda das duas séries (Figura 22 e 23).

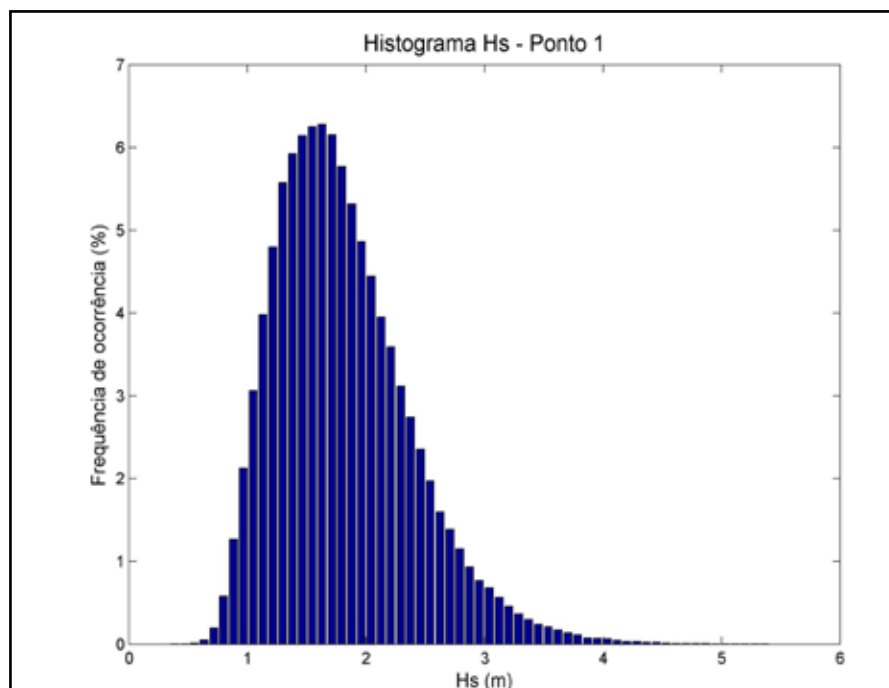


Figura 18: Histograma de H_s no Ponto 1 (ponto escolhido para propagação de ondas até as praias de Ingleses e Brava).

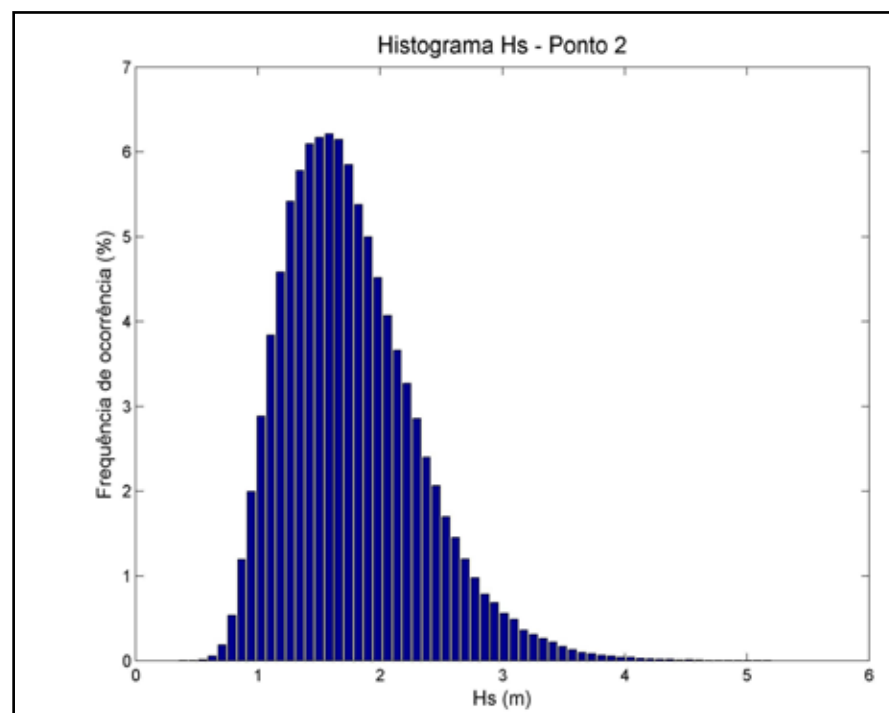


Figura 19: Histograma de H_s no Ponto 2 (ponto escolhido para propagação de ondas até às praias de Barra da Lagoa/Moçambique e Santinho).

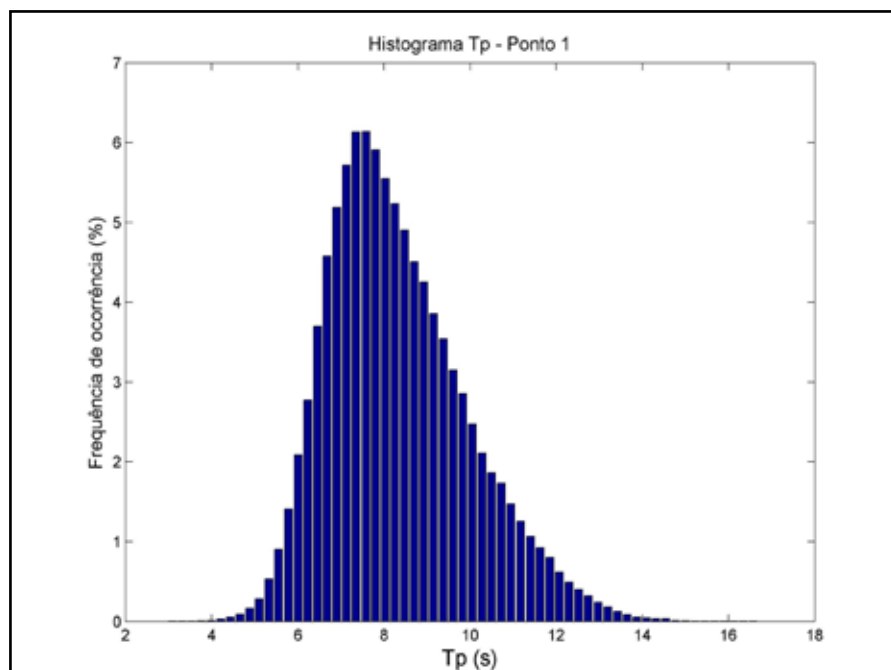


Figura 20: Histograma de T_p no Ponto 1 (ponto escolhido para propagação de ondas até as praias de Ingleses e Brava).

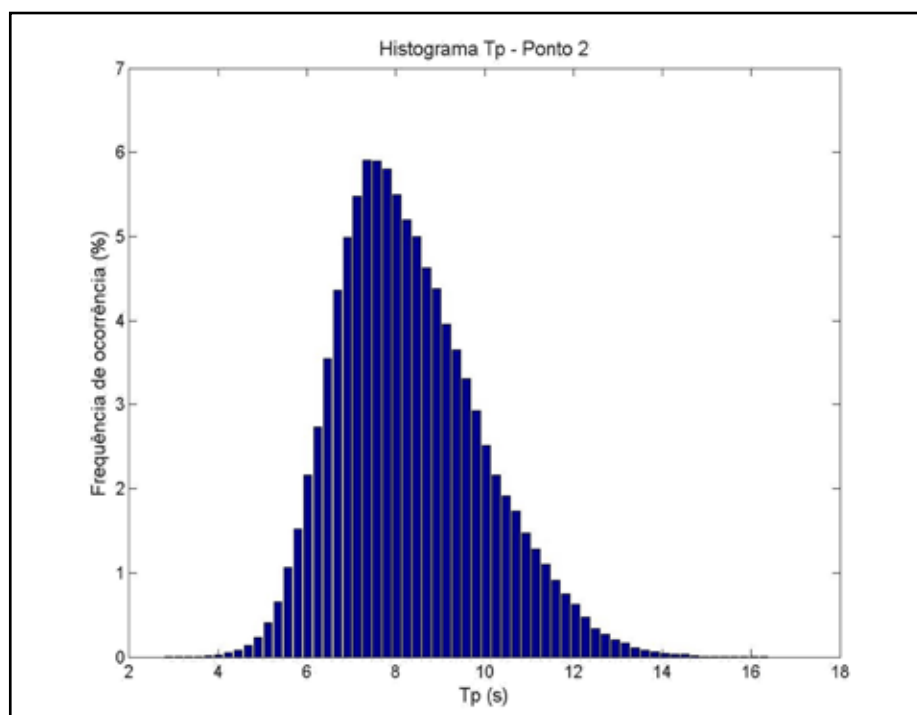


Figura 21: Histograma de T_p no Ponto 2 (ponto escolhido para propagação de ondas até às praias de Barra da Lagoa/Moçambique e Santinho).

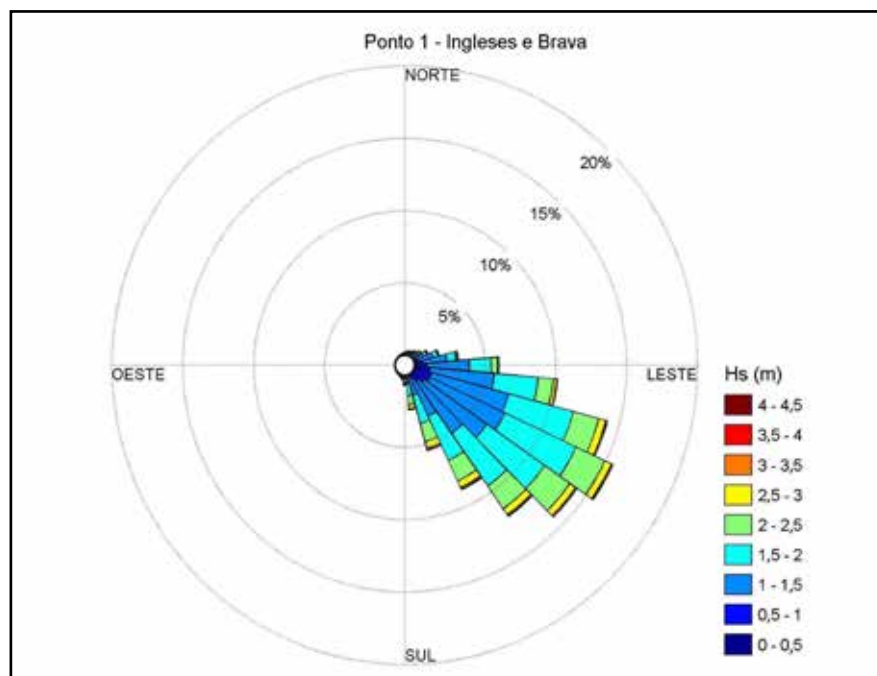


Figura 22: Rosa direcional de H_s do ponto 1.

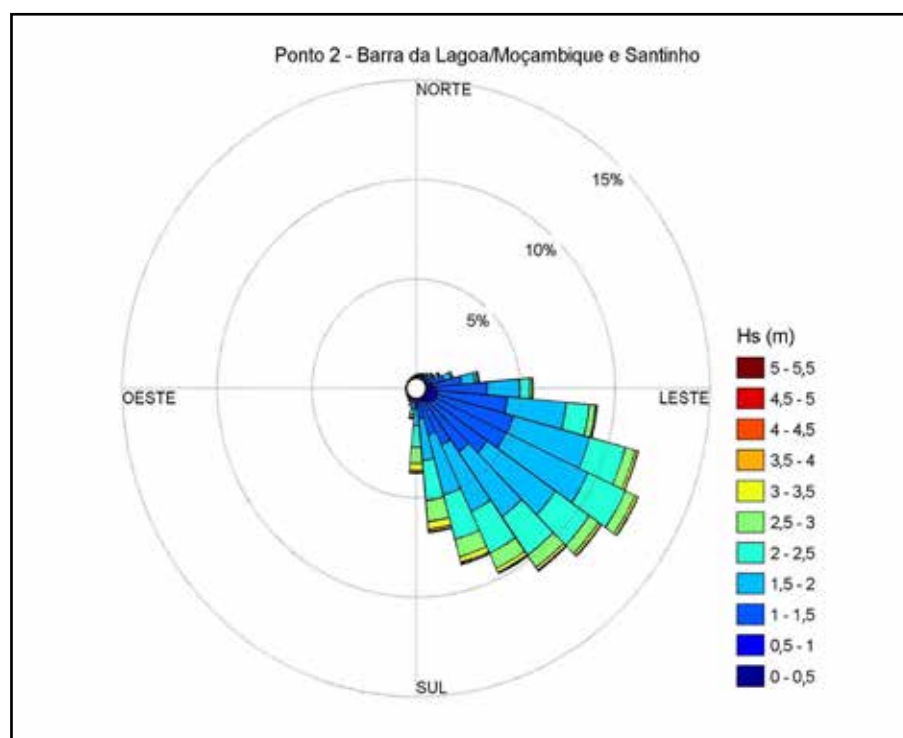


Figura 23: Rosa direcional de H_s do ponto 2.

Validação dos dados DOW

Gomes da Silva et al. (2015) validou os dados de ondas da base do SMC-Brasil através da comparação dos dados DOW com dados medidos na isóbata de 80 m de profundidade provenientes da boia *Datawell Waverider Mark II* (WR) do Programa de Informação Costeira *online* (PIC *online*) do Laboratório de Hidráulica Marítima da Universidade Federal de Santa Catarina (LaHiMar – UFSC), fundada entre os anos de 2001 a 2005, a 35 Km da costa da Ilha de Santa Catarina ($27^{\circ}42'18''\text{S}$, $48^{\circ}8'2,4''\text{O}$) (Figura 24). O período analisado compreendeu os meses de maio, junho, julho, outubro, novembro e dezembro de 2004 e o período de janeiro a maio de 2005 apresentando um total de 5435 dados.

Os dados de reanálise utilizados foram aqueles correspondentes aos dois pontos mais próximos ao ponto de instalação da boia, chamados ponto D1 ($27^{\circ}42'55''\text{S}$, $48^{\circ}10'50,16''\text{O}$) e D2 ($27^{\circ}42'55''\text{S}$, $48^{\circ}4'46,2''\text{O}$) (Figura 24). O ponto D1 corresponde ao ponto 2 utilizado na propagação de ondas para as praias da Barra da Lagoa/Moçambique e Santinho.

A metodologia de validação consistiu em comparar os dados da reanálise DOW (pontos D1 e D2) com os dados da boia (WR). Uma análise inicial das três séries temporais foi realizada através da comparação dado a dado e dos valores de média, desvio padrão e moda de cada série para dados de H_s e T_p . A mesma metodologia utilizada por Reguero et al. (2012) foi aplicada para quantificar a qualidade do ajuste entre dados medidos e simulados (Figura 25): os quantis da distribuição de Gumbel foram calculados para as três séries e com base nestes, diferentes parâmetros estatísticos foram utilizados para validar os dados de reanálise.

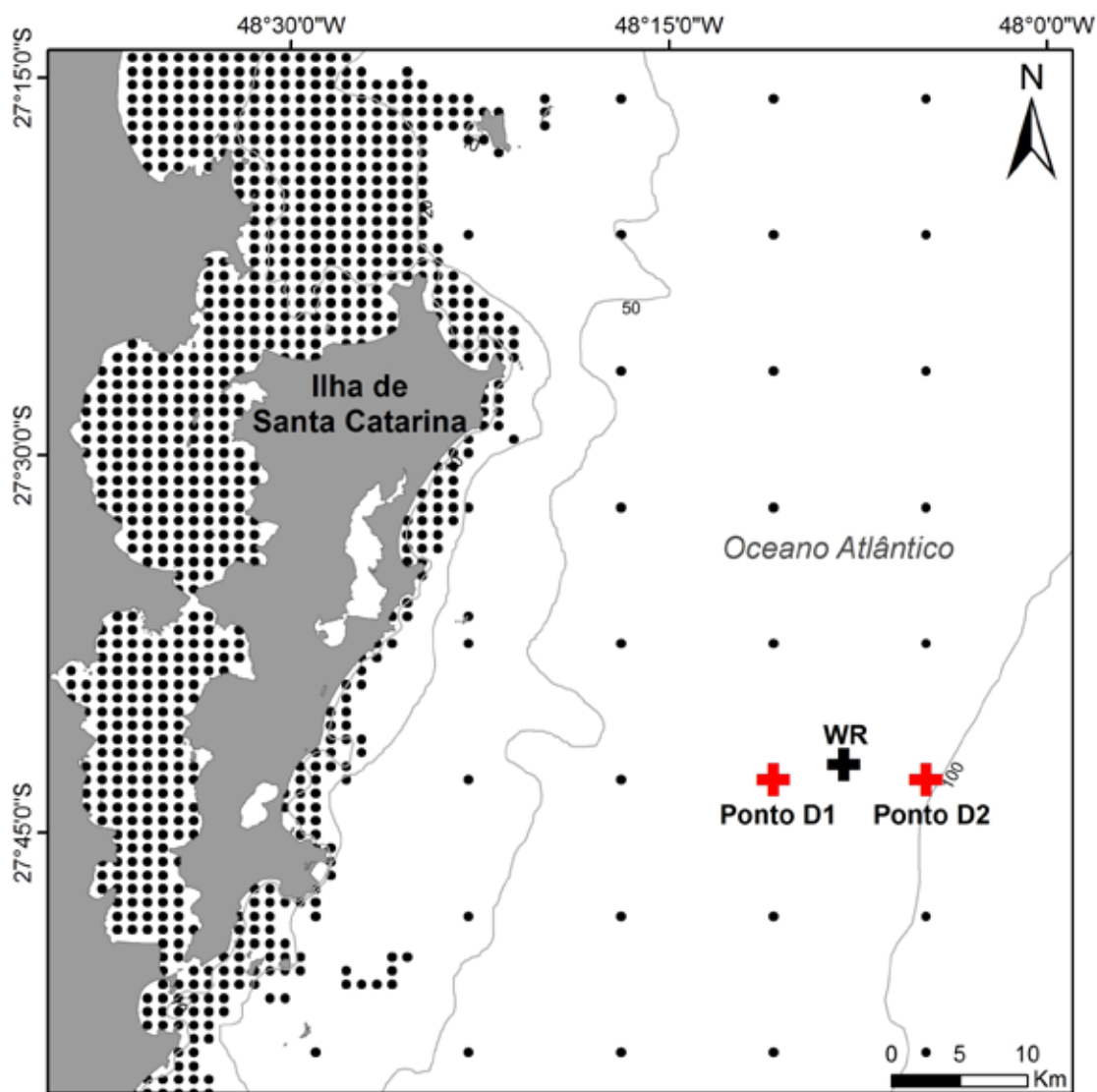


Figura 24: Localização dos pontos utilizados na validação. Pontos D1 e D2 são os pontos DOW mais próximos do ponto WR (boia *Waverider*).

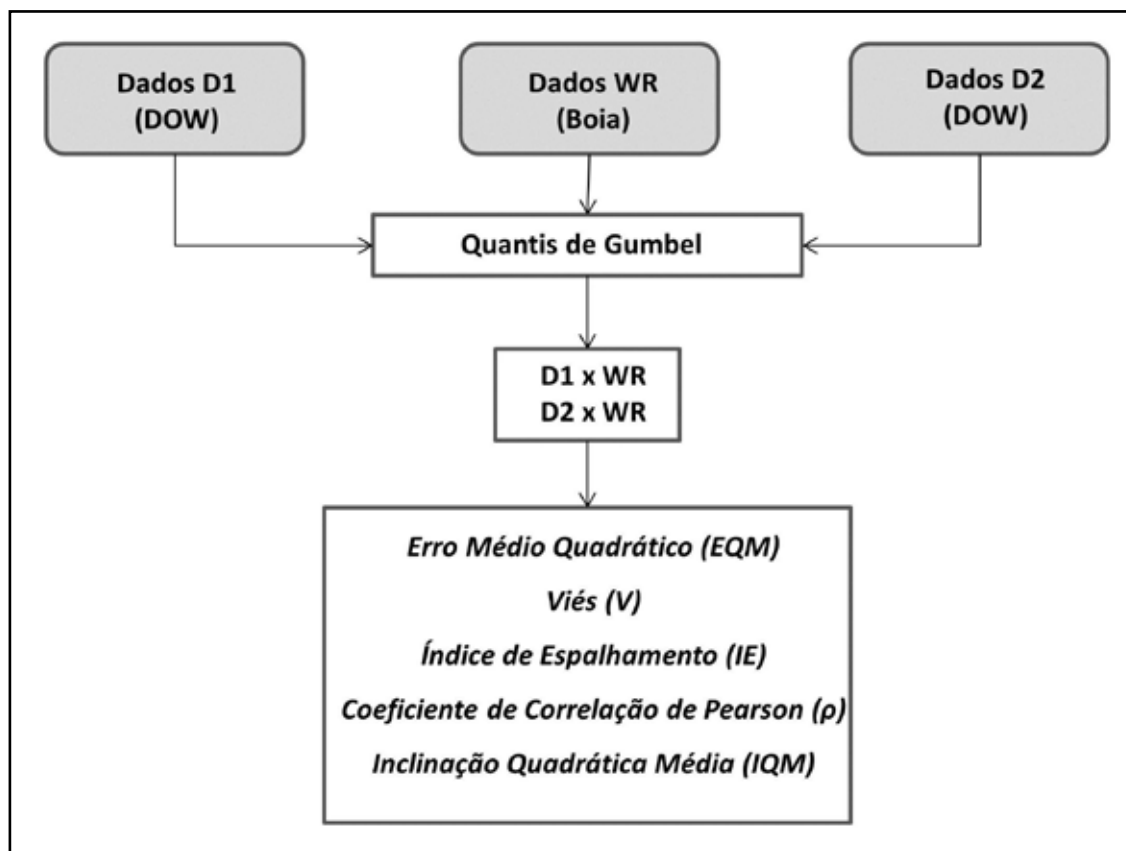


Figura 25: Metodologia de validação dos dados de H_s e T_p da base de dados DOW.
Fonte: GÔMES DA SILVA (2014).

Seleção de casos

Na impossibilidade de se propagar todos os casos da série (devido ao alto custo computacional) foi necessária a seleção de uma subamostra de estados de mar representativos para serem propagados. Com base nesta subamostra, as séries puderam ser reconstruídas nos pontos de interesse em águas rasas.

Antes da seleção de casos, as séries dos pontos 1 e 2 foram reduzidas para um conjunto de casos com direções possíveis de se propagar com o modelo OLUCA nas praias da área de estudo, rejeitando casos com direções provenientes do continente e direções de ondas que não chegam a atingir as praias. Na Tabela 10 estão apontadas as condições de redução da série em cada ponto e o número de casos a que a série foi reduzida.

Tabela 10: Condições de redução das séries de ondas em águas profundas para casos possíveis de se propagar com o modelo OLUCA.

Ponto	Condição para redução da série	Casos que obedecem à condição
(1) Brava	$0^\circ < \text{dir} < 135^\circ$	366266
(1) Ingleses	$0^\circ < \text{dir} < 135^\circ$	366266
(2) Santinho	$0^\circ < \text{dir} < 180^\circ$	526733
(2) Barra da Lagoa/ Moçambique	$0^\circ < \text{dir} < 190^\circ$	524067

A seleção dos casos de ondas foi então realizada através da técnica MaxDiss (Máxima Dissimilaridade) proposta por Camus et al. (2011). Trata-se de um método cíclico, que realiza a seleção dos casos mais dissimilares de H_s , T_p e Θ_m na série de ondas. A diferença entre os casos é calculada em termos de distâncias euclidianas (Equação 13), sendo o número de casos selecionados determinado pelo usuário do código.

$$d_i = \min\{\|X_i - D_j\|\}, \quad (13)$$

Onde:

d_i é a menor distância entre o caso atual analisado e os casos já analisados previamente

X_i é o parâmetro do caso analisado

D_j representa a diversidade do dado

De acordo com Camus et al. (2011), após um N amostral igual a 100, os erros referentes à seleção passam a ser pouco representativos. Desta forma, foram selecionados então 100 casos das séries reduzidas para propagação (Figuras 26, 27 e 28).

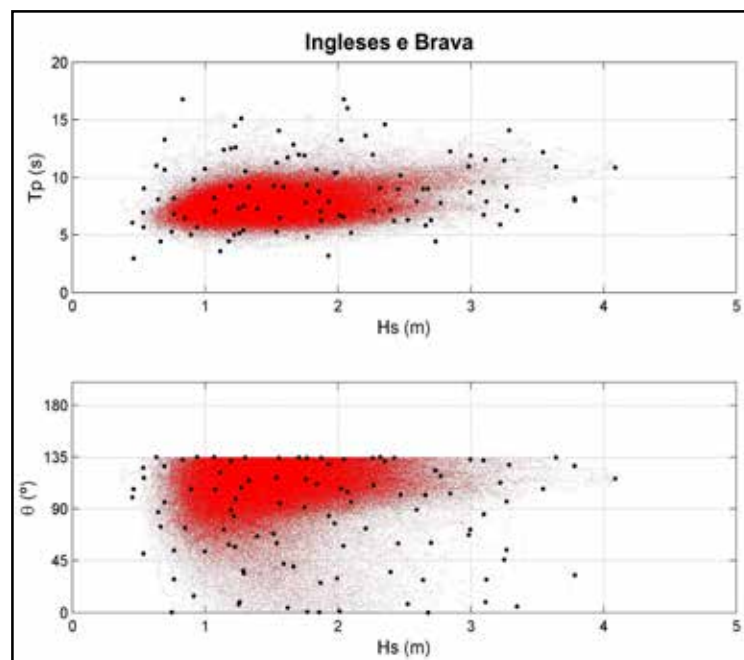


Figura 26: Casos selecionados para propagação até as praias de Ingleses e Brava. Em vermelho os dados da série reduzida, em preto os casos selecionados.
Fonte: GOMES DA SILVA (2014).

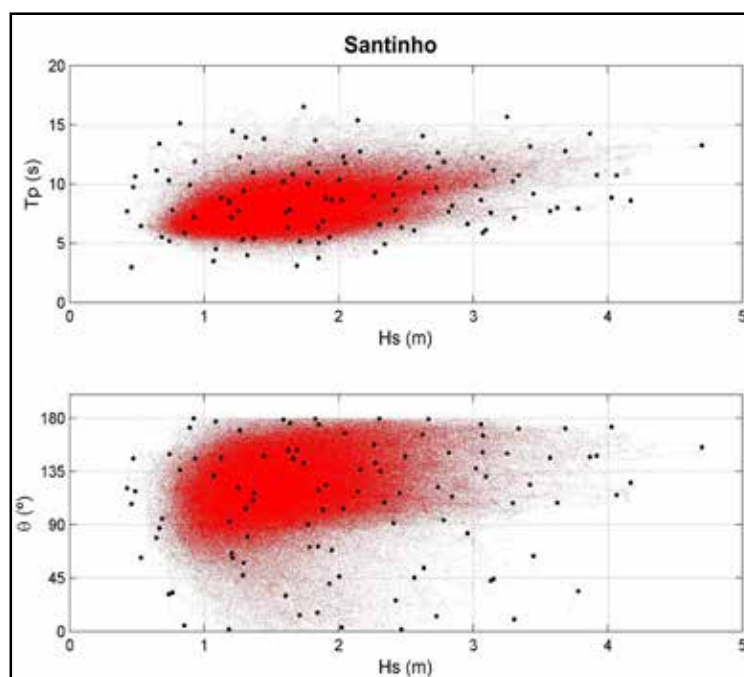


Figura 27: Casos selecionados para propagação até a praia do Santinho. Em vermelho os dados da série reduzida, em preto os casos selecionados.

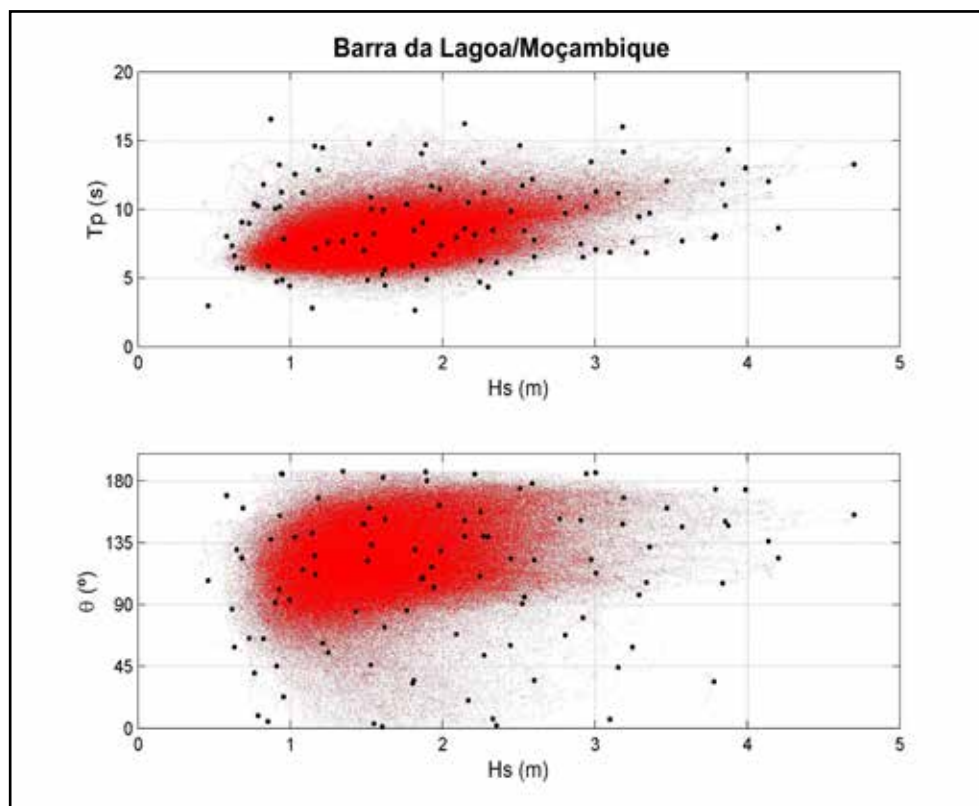


Figura 28: Casos selecionados para propagação até Barra da Lagoa/Moçambique e Santinho. Em vermelho os dados da série reduzida, em preto os casos selecionados. Fonte: GOMES DA SILVA (2014).

Processamento da batimetria

A batimetria é de fundamental importância para este trabalho por representar as condições de fundo na qual as ondas se propagam, por isso se fez necessária a aquisição de dados batimétricos de detalhe para a área em estudo. No entanto, devido às más condições climáticas enfrentadas durante o levantamento dos dados de batimetria e sonografia propostos neste projeto não foi possível tratar todos os dados a tempo para que os mesmos pudessem ser utilizados nos cálculos.

Foram sondados e processados 865,6 km de linhas de sonografia e batimetria. Nos relatórios técnicos RT_MMA_Riscos_2015_33 e RT_MMA_Riscos_2015_43 (APÊNDICE B) estão descritas as etapas de aquisição e processamento dos dados de batimetria e sonografia. A Figura 29 apresenta a área abrangida pelo levantamento batimétrico. Os

dados batimétricos foram disponibilizados em formato digital na extensão “.xyz”, enquanto os dados sonográficos foram disponibilizados em forma de mosaicos, também em formato digital.

Com o intuito de corrigir os dados batimétricos três estações maregráficas foram instaladas nas extremidades da área de estudo, sendo uma na Avenida Beira-mar Norte, uma ao sul da área de estudo na Praia da Armação do Pântano do Sul e a terceira na Lagoa da Conceição. As três estações foram niveladas em relação ao *Datum* vertical do IBGE, através da técnica de nivelamento geométrico, sendo materializados para cada estação três marcos de concreto a fim de viabilizar a reocupação das estações maregráficas, conforme especifica a NORMAN-25.

Os dados de batimetria da base de dados do SMC-Brasil foram utilizados na confecção das malhas de cálculo. Trata-se de dados digitalizados de cartas náuticas e folhas de bordo provenientes da DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil). Porém, no intuito de evitar instabilidades do modelo com relação à premissa da pendente suave e melhorar os resultados da interpolação dos dados de profundidade, foi realizado o processamento da batimetria através da inserção de pontos de profundidade onde os dados se apresentaram escassos, suavizando assim a interpolação dos dados.

No total foram inseridos 209 polígonos na forma de isolinhas de profundidade ao longo da área de estudo (Figura 30). Nas Figura 31 a 33 são apresentadas as batimetrias já processadas utilizadas na propagação de ondas.

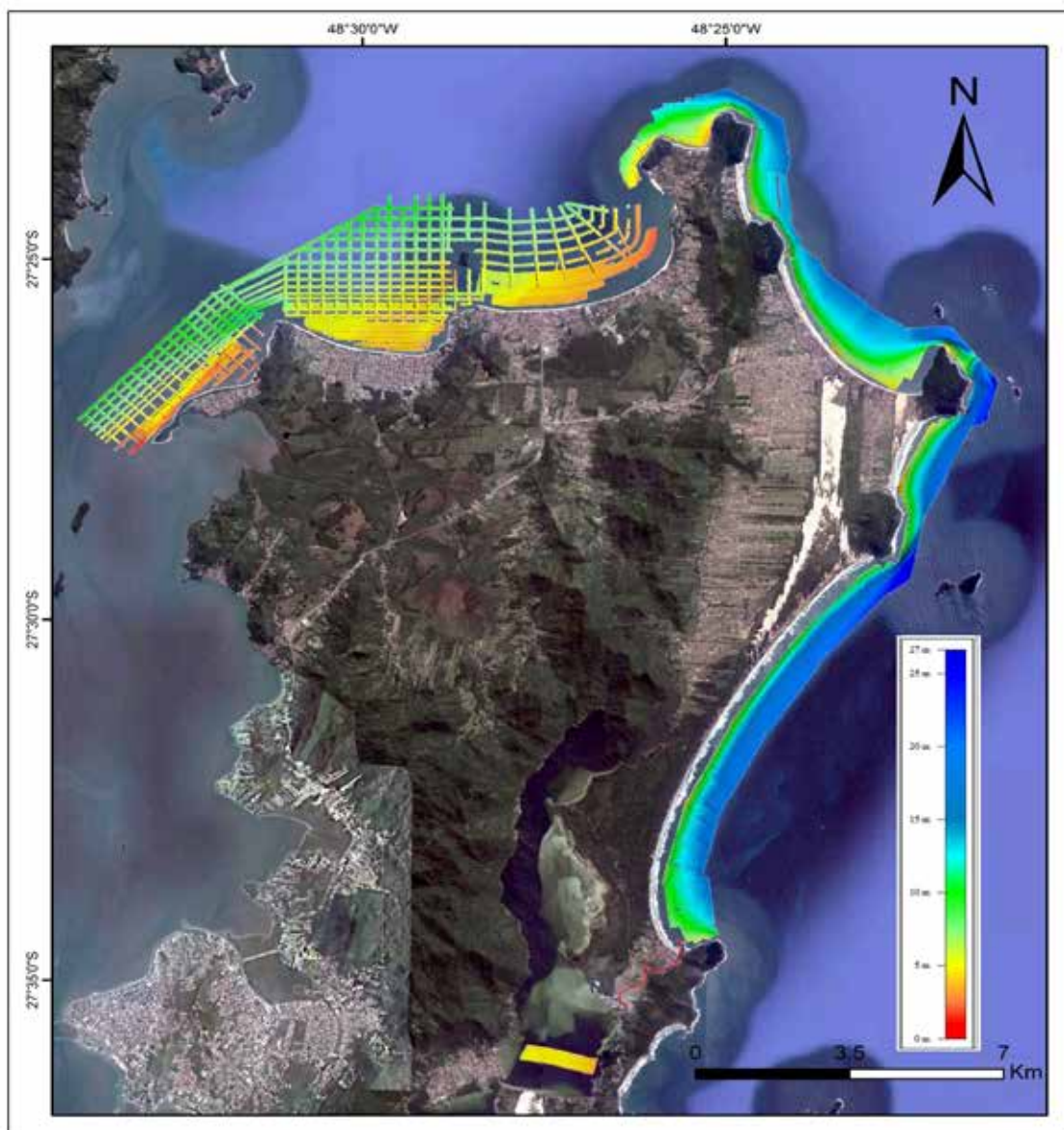


Figura 29: Localização dos levantamentos batimétricos e sonográficos na Ilha de Santa Catarina, compreendendo as regiões Leste/Norte da Ilha de Santa Catarina, entre as praias Barra da Lagoa e o pontal da Daniela.

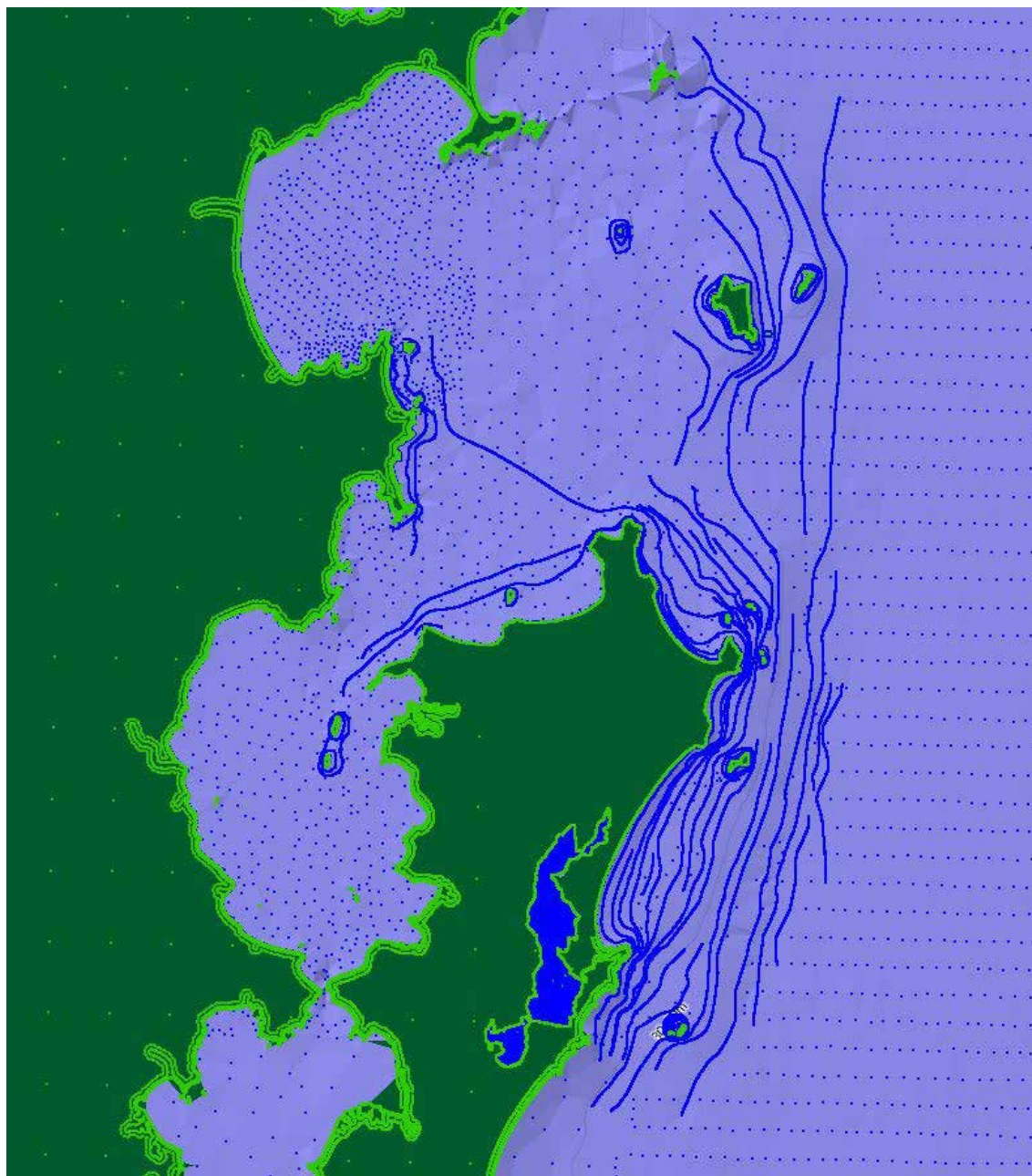


Figura 30: Isolinhas de profundidade criadas no processamento da batimetria. As linhas representam os polígonos criados manualmente e os pontos são os dados das cartas náuticas e folhas de bordo da DHN.

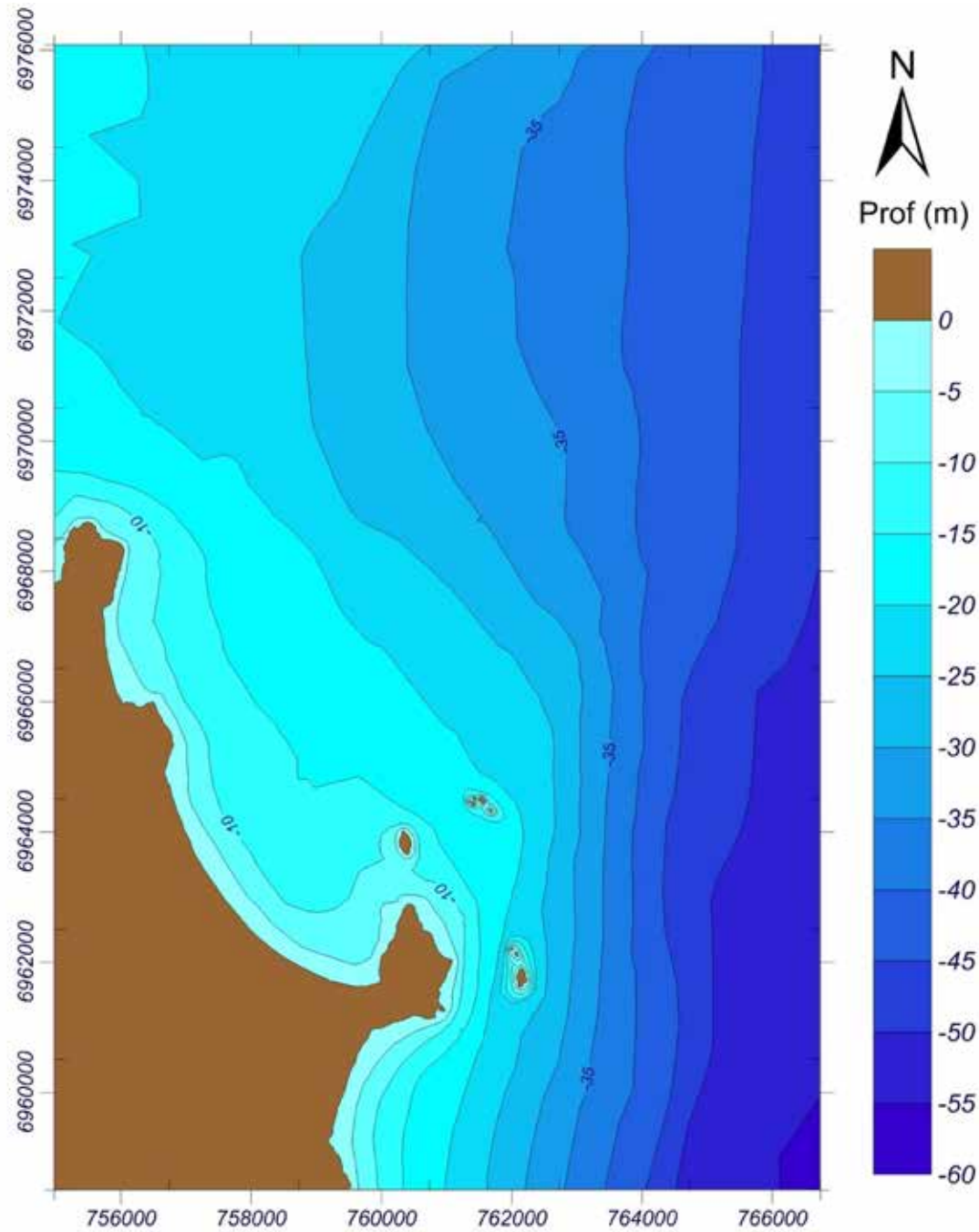


Figura 31: Batimetria processada: Praias dos Ingleses e Brava.

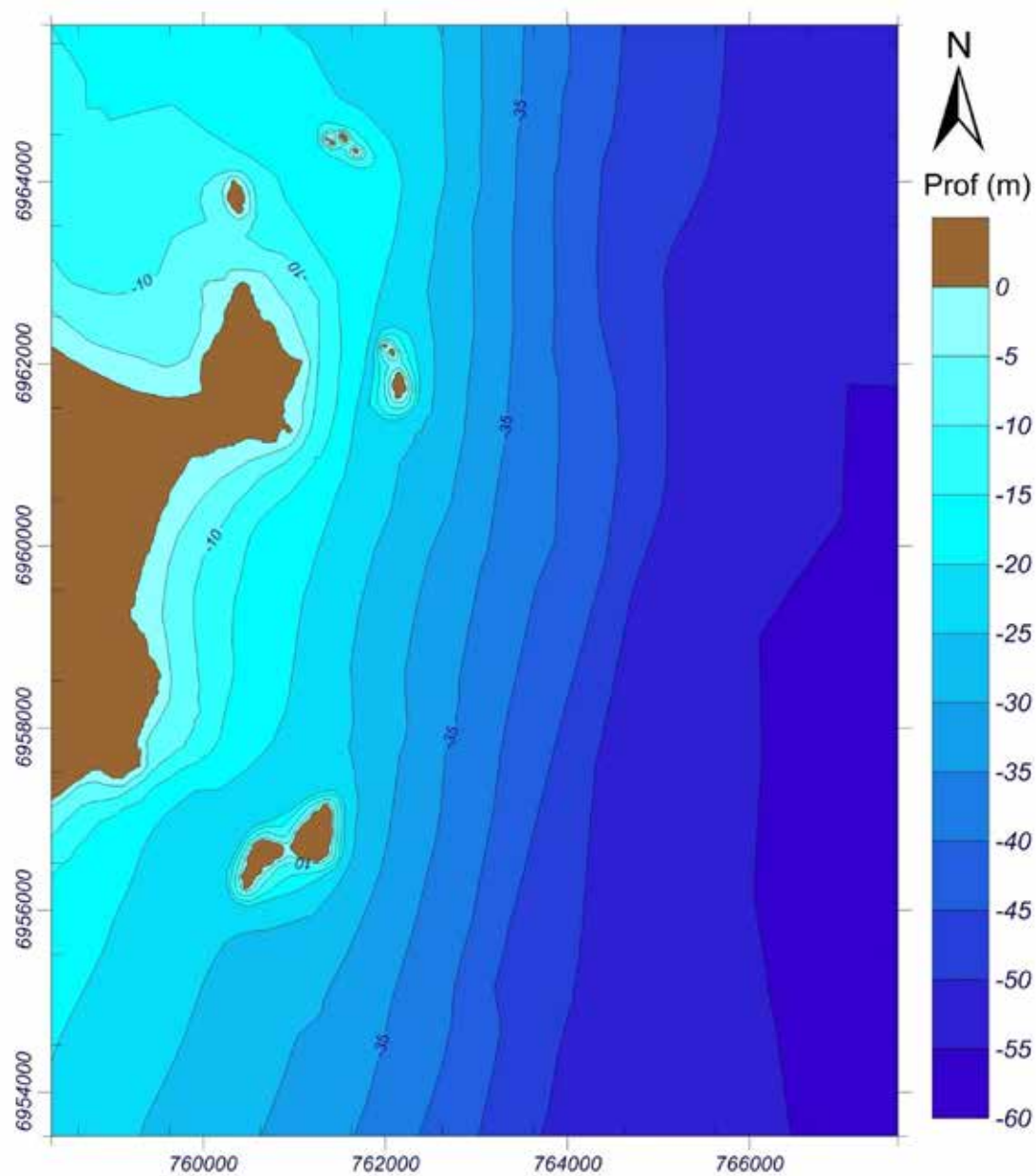


Figura 32: Batimetria processada: Praia do Santinho.

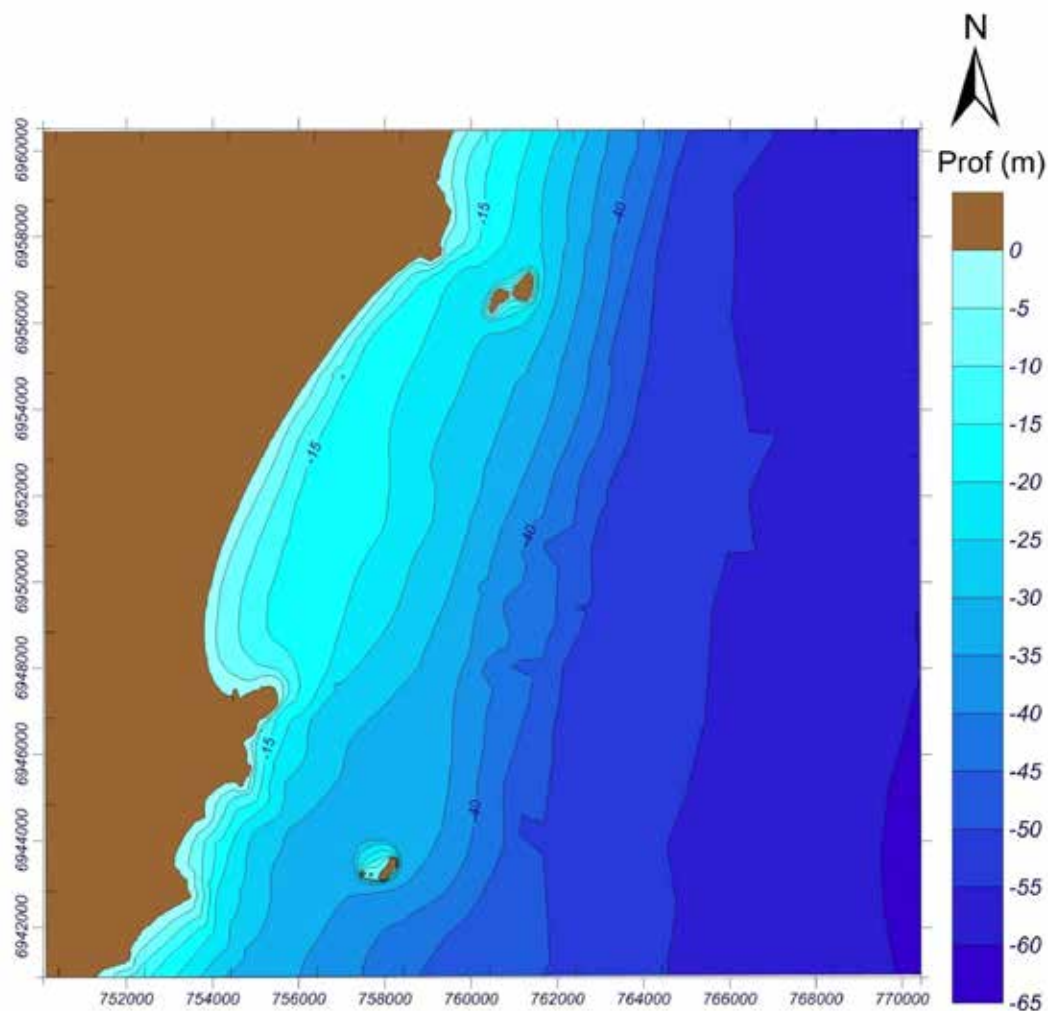


Figura 33: Batimetria processada: Praia da Barra da Lagoa/Moçambique.

Malhas de cálculo

As malhas de propagação foram geradas com diferentes ângulos e diferentes resoluções de forma que todos os casos pudessem ser propagados, respeitando as seguintes condições:

- As ondas devem entrar com no máximo 50° em relação ao eixo principal (x) da malha;
- O espaçamento entre os nós da malha deve ser de no máximo 1/10 do comprimento de onda.

No total foram geradas quatro (4) malhas de propagação para as praias dos Ingleses e Brava juntas (duas (2) aninhadas) por possuírem a mesma orientação de linha de costa; seis (6) malhas para o Santinho (três (3) aninhadas) e sete (7) malhas para Barra da Lagoa/Moçambique (duas (2) aninhadas) (Figuras 34 a 43). A resolução e orientação das malhas estão descritas nas Tabelas 11, 12 e 13.

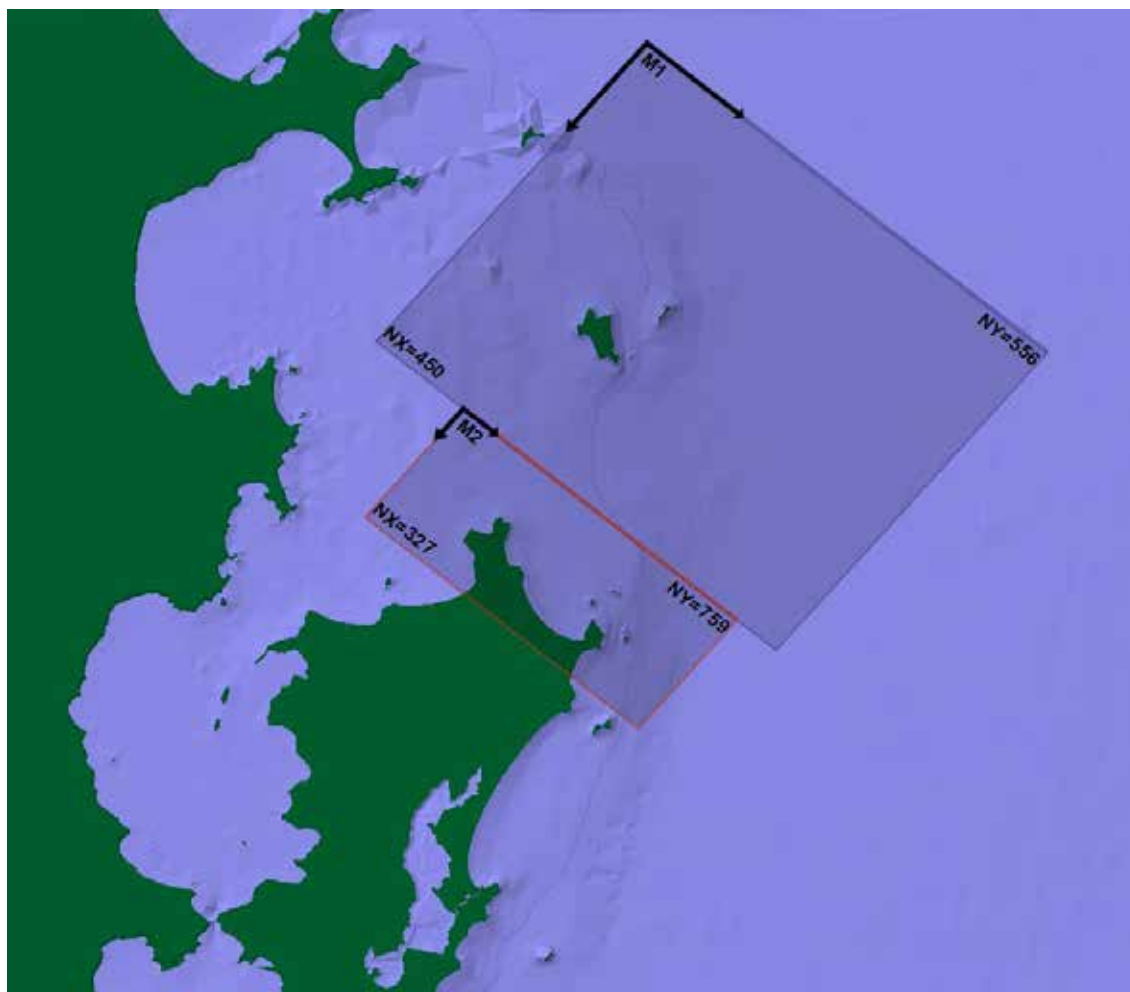


Figura 34: Malhas 1 e 2 – Praia dos Ingleses e Brava.

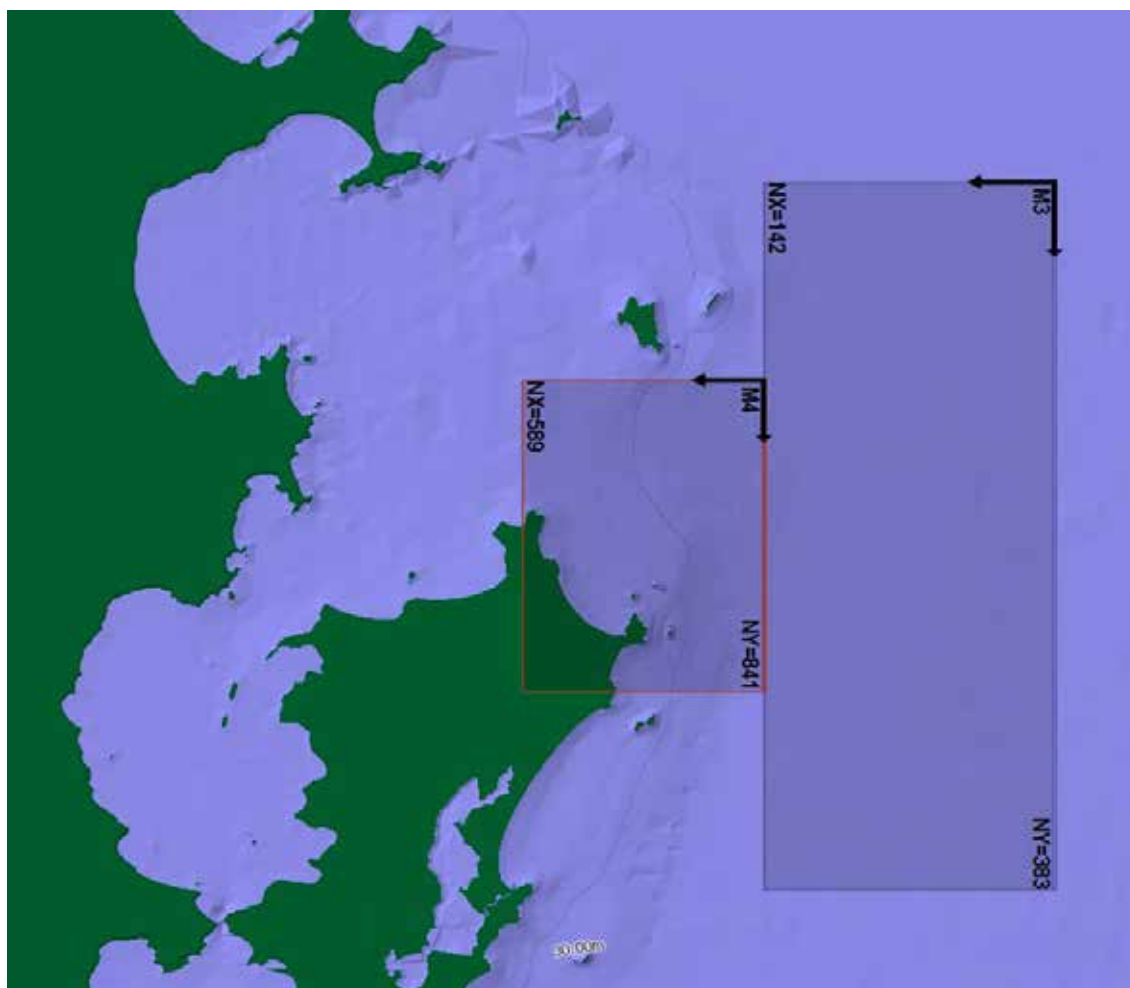


Figura 35: Malhas 3 e 4 – Praias dos Ingleses e Brava.

Tabela 11: Resolução e orientação das malhas de cálculo das praias dos Ingleses e Brava.

Malha	Praias dos Ingleses e Brava Espaçamento (m)		Ângulo (°N)
	X	Y	
M1	50	50	40
M2	25	25	40
M3	100	105	90
M4	20	20	90

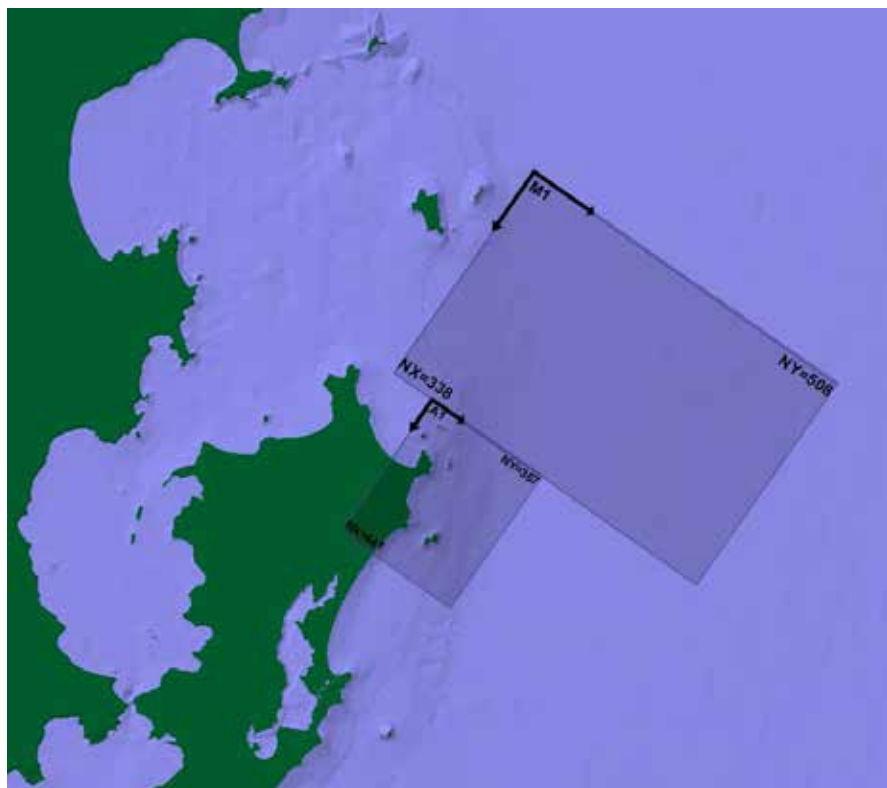


Figura 36: Malhas 1 e 2 – Praia do Santinho.

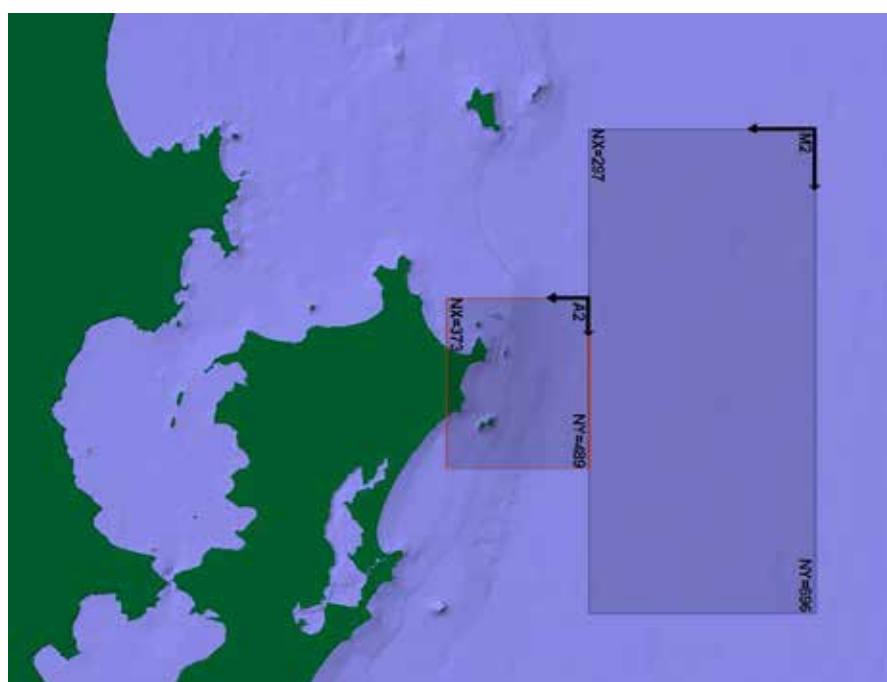


Figura 37: Malhas 3 e 4 – Praia do Santinho.

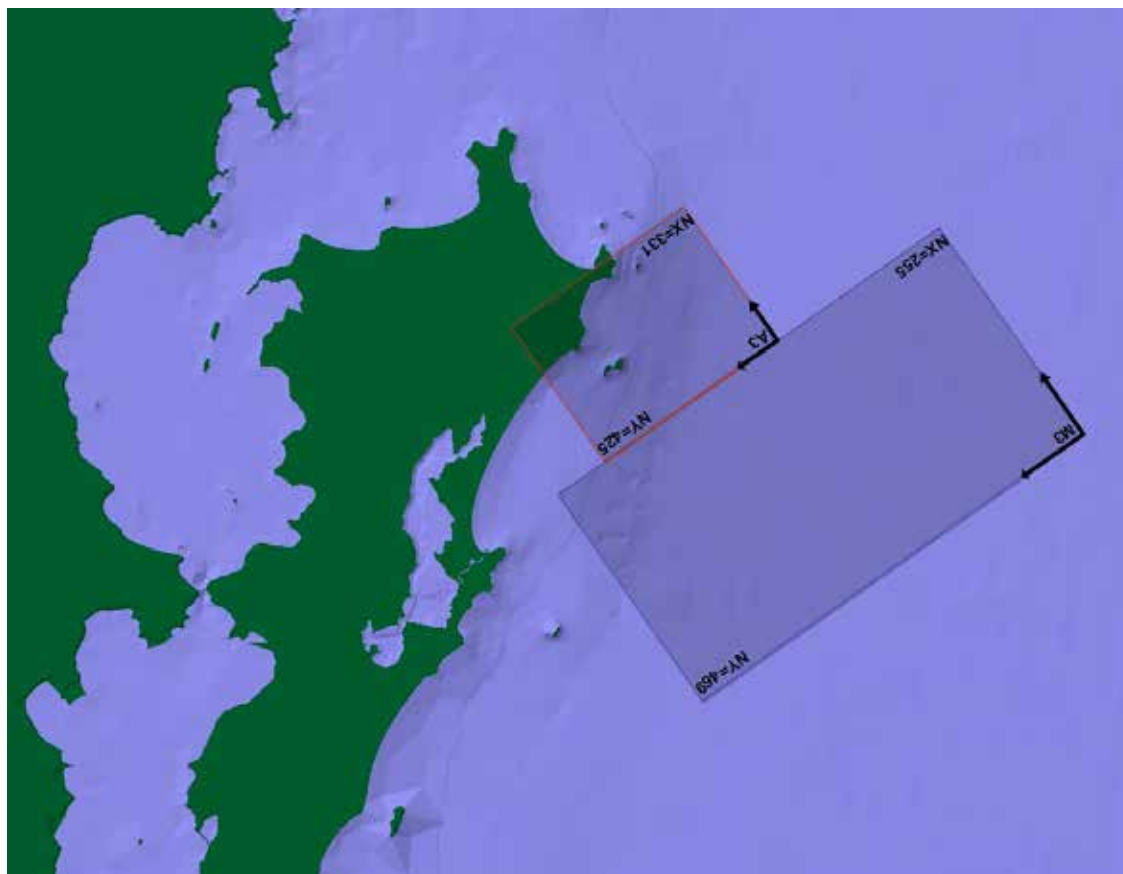


Figura 38: Malhas 3 e 4 – Praia do Santinho.

Tabela 12: Resolução e orientação das malhas de cálculo das praias do Santinho.

Malha	Praia do Santinho Espaçamento (m)		Ângulo (°N)
	X	Y	
M1	50	50	35
M2	25	25	35
M3	50	50	90
M4	25	25	90
M5	50	50	145
M6	25	25	145

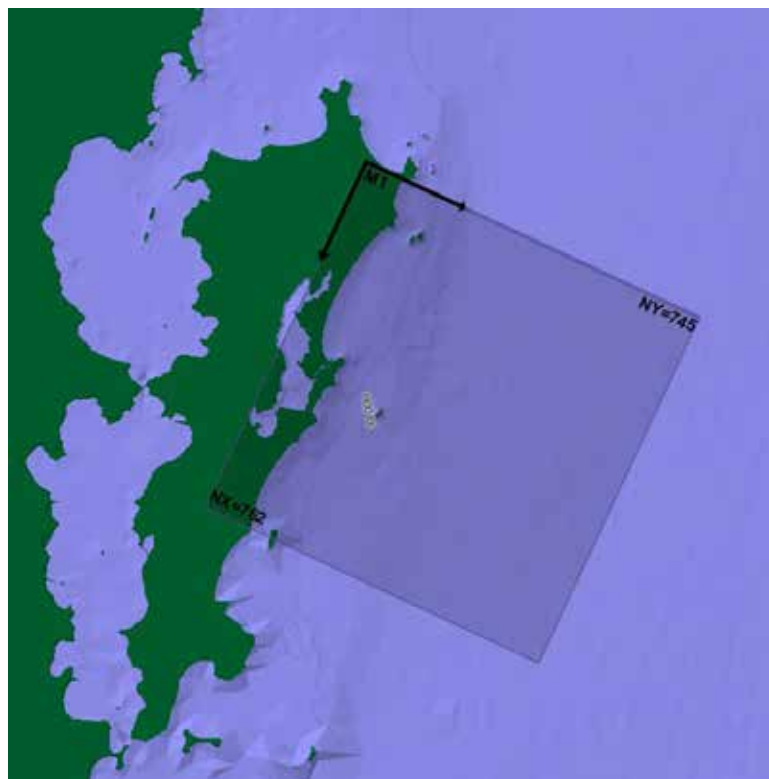


Figura 39: Malha 1 – Praia da Barra da Lagoa/Moçambique.

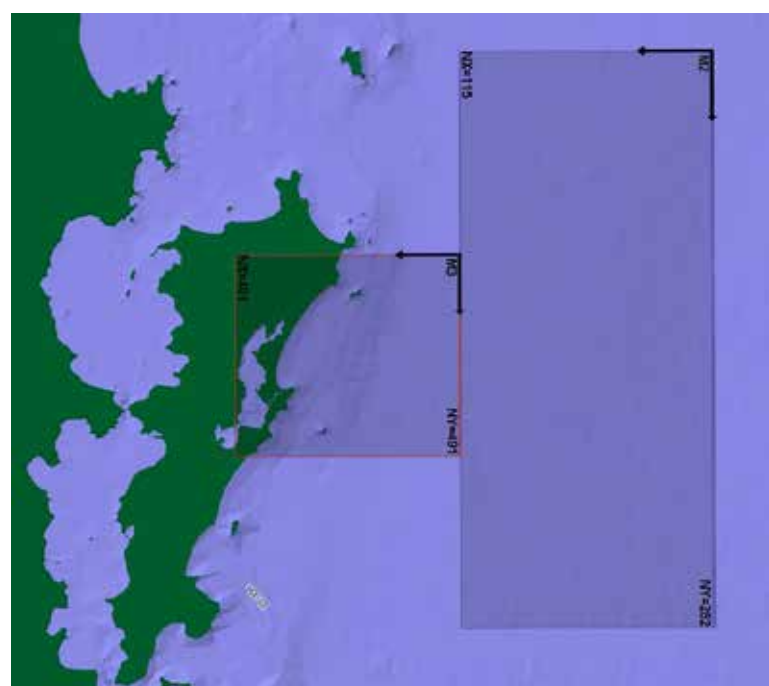


Figura 40: Malhas 2 e 3 – Praias da Barra da Lagoa/Moçambique.

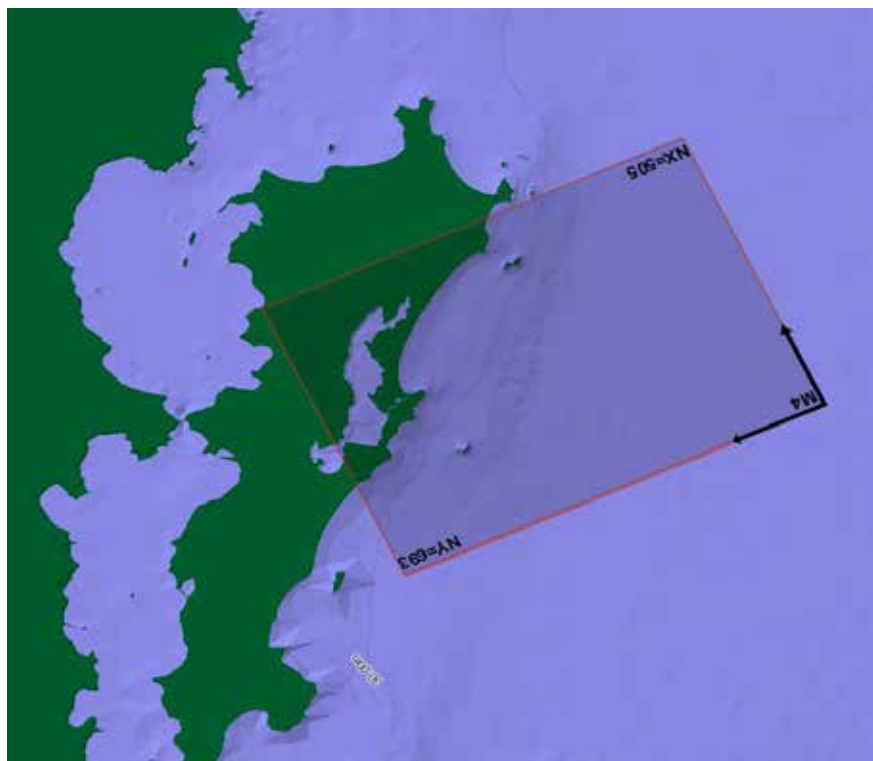


Figura 41: Malha 4 – Praias da Barra da Lagoa/Moçambique.

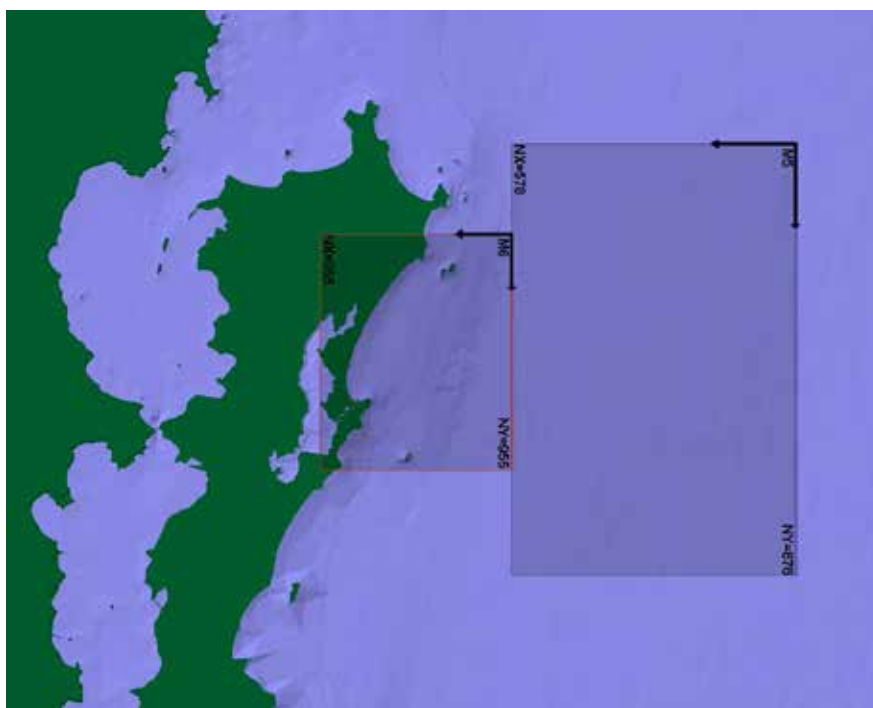


Figura 42: 5 e 6 – Praias da Barra da Lagoa/Moçambique.



Figura 43: Malha 7 – Praias da Barra da Lagoa/Moçambique.

Tabela 13: Resolução e orientação das malhas de cálculo das praias de Barra da Lagoa/Moçambique.

Praia da Barra da Lagoa/Moçambique			
Malha	Espaçamento (m)		Ângulo (°N)
	X	Y	
M1	38	38	25
M2	200	200	90
M3	491	491	90
M4	41	41	155
M5	35	35	90
M6	14	17	90
M7	10	15	90

Propagação de ondas

A propagação dos casos selecionados foi executada com o modelo de propagação de ondas espectral OLUCA-SP (SMC-Brasil). Tal modelo foi escolhido por representar bem o comportamento das ondas na presença de promontórios e ilhas, bastante comuns na área de estudo deste trabalho.

Cada caso foi inserido na malha que apresentava direção de propagação mais próxima à direção média do caso.

Limitações das propagações de ondas

O modelo SMC possui como uma das premissas que a direção principal da propagação de ondas é em x, ou seja, entrando de forma transversal às isolinhas de batimetria, e que o giro máximo de entrada de ondulações é de até 50°, tanto na entrada da malha quanto na chegada destas à área de estudo. Dessa forma, nas praias do Norte da Ilha de Santa Catarina: Lagoinha, Ponta de Canas, Cachoeira do Bom Jesus, Canasvieiras, Jurerê, Daniela e Forte (ver Figura 1, página 27), não foram realizadas propagações de ondas pelo fato da orientação principal destas praias serem principalmente de norte, e as ondas em SC serem provenientes principalmente de sul e leste (ARAUJO et al., 2003), não cumprindo assim as premissas básicas do modelo. Nas praias do continente: Caieira, Anhatomirim, São Miguel, Pitangueiras e Rabelo (ver Figura 1, página 27), a propagação de ondas não foi realizada pelo fato das mesmas estarem em locais protegidos da ondulação direta, descumprindo a segunda premissa do modelo onde os giros máximos de ondulação são de 50°.

Apesar disto, foram realizados testes de propagação de ondas nestas áreas, onde quatro (4) malhas (duas (2) aninhadas) foram geradas (Figuras 44 e 45). Como resultado, percebeu-se que as ondas não alcançaram efetivamente às praias de interesse (Figuras 45 e 46). É importante ressaltar que quando as premissas são descumpridas, o modelo não é confiável.

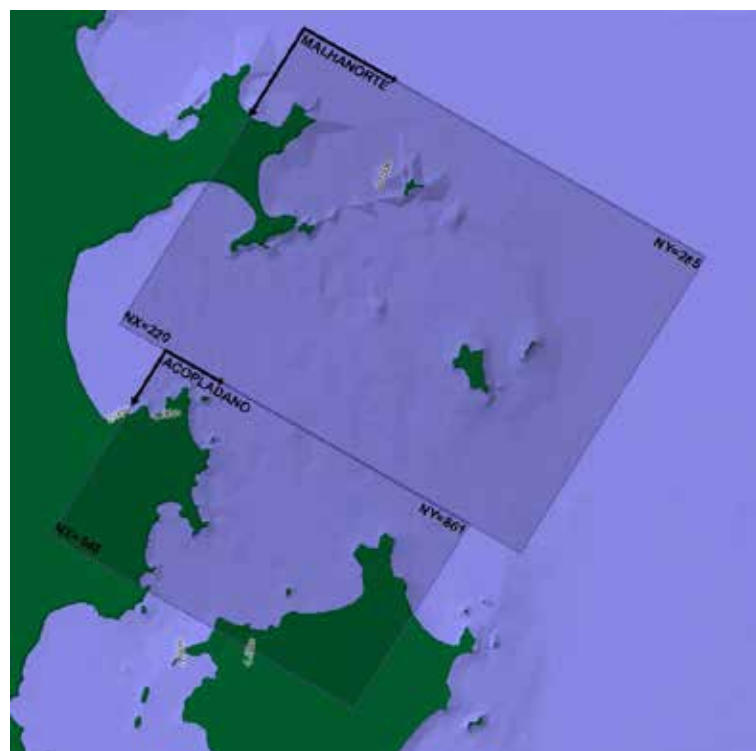


Figura 44: Malhas para as praias do Norte da Ilha de Santa Catarina.

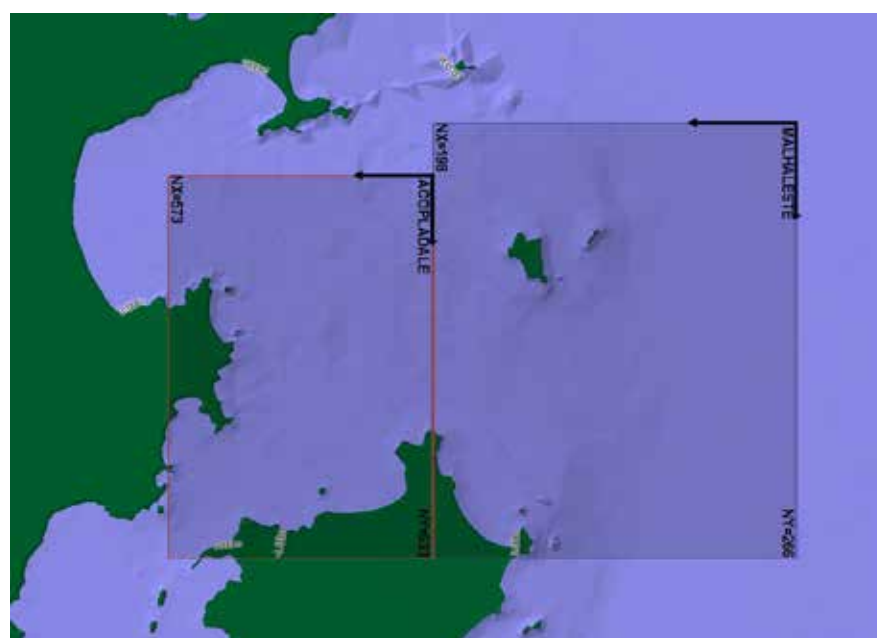


Figura 45: Malhas para as praias do Norte da Ilha de Santa Catarina.

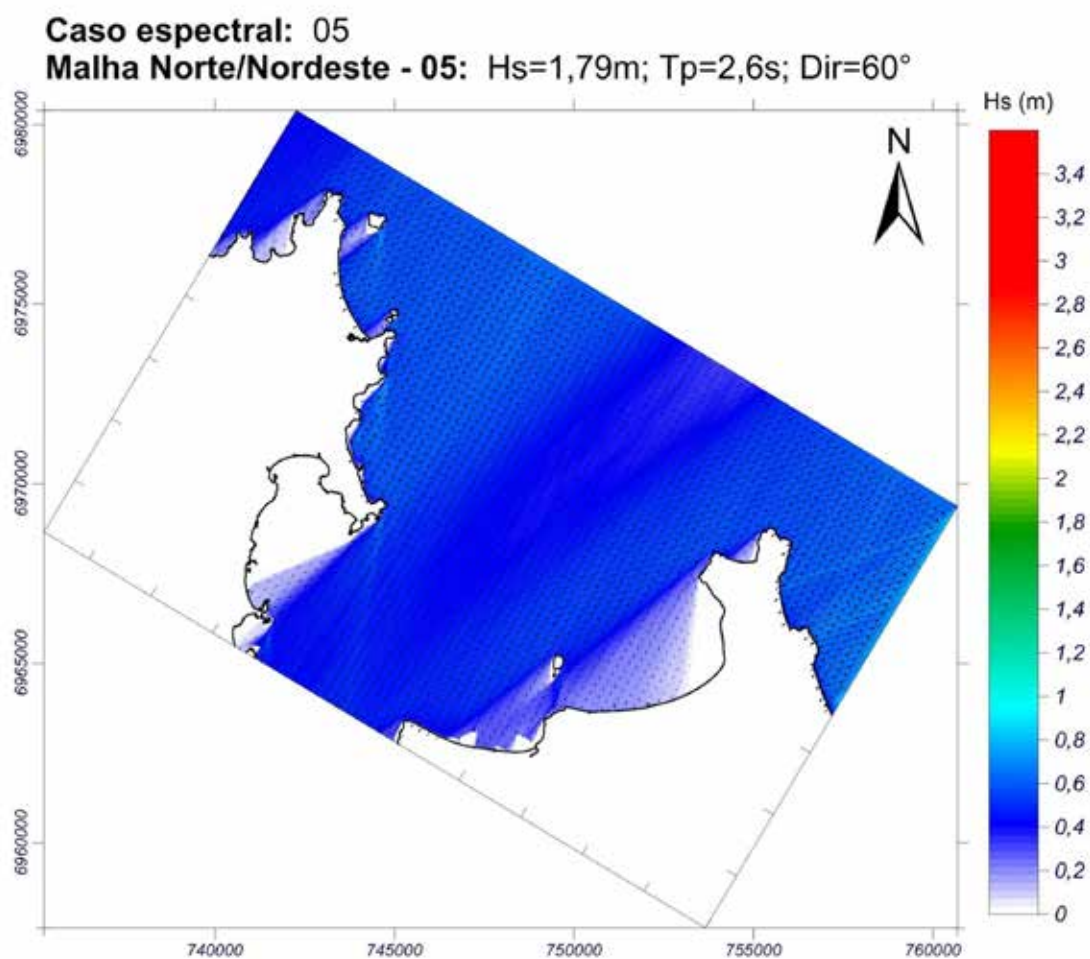


Figura 46: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de nordeste (Malha aninhada norte) nas praias do Norte da Ilha de Santa Catarina.

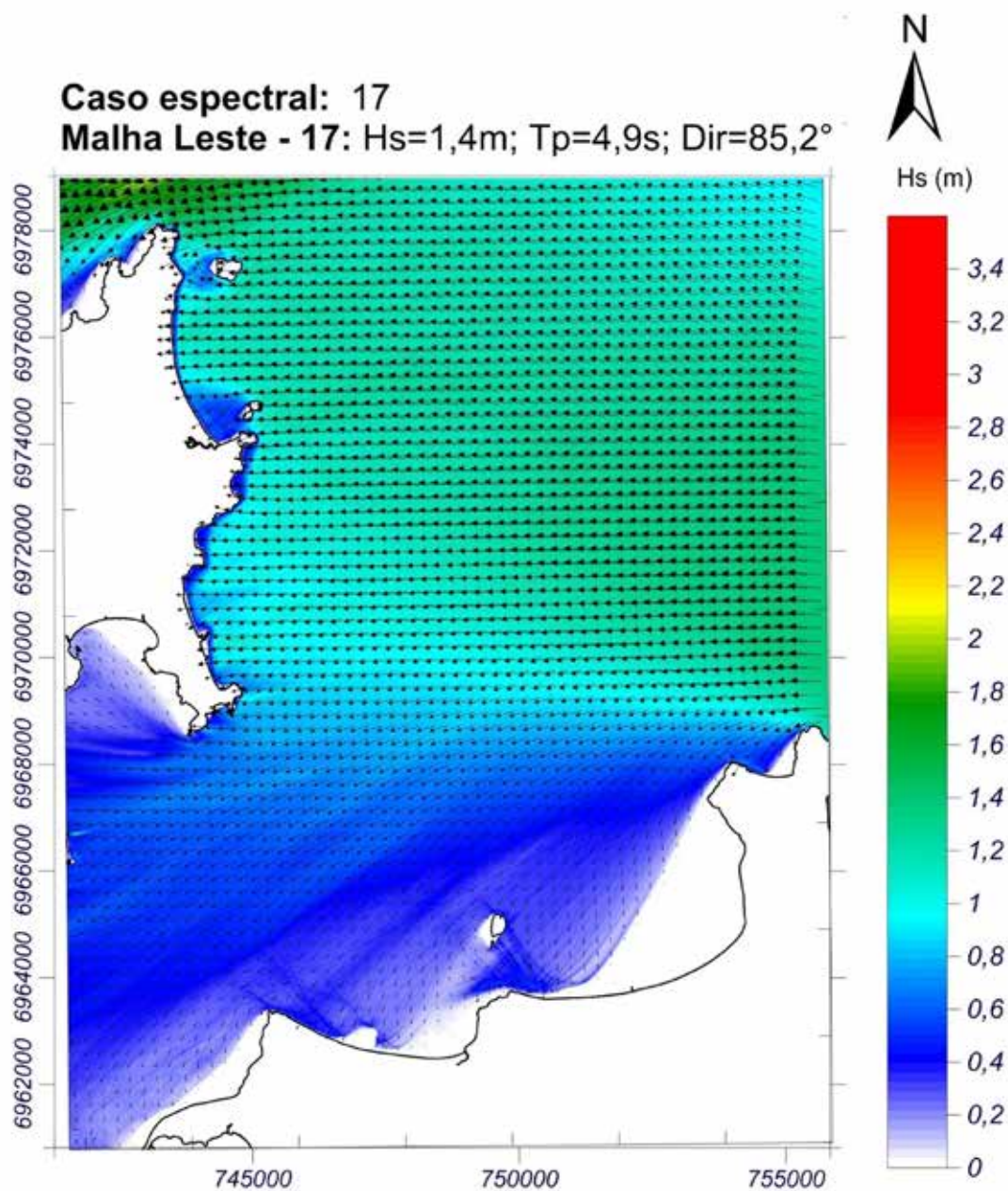


Figura 47: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de leste (Malha aninhada leste) nas praias do Norte da Ilha de Santa Catarina.

Setorização ao longo da costa de acordo com dados de onda e declividade

Sabendo que a profundidade de fechamento varia de acordo com o grau de exposição às ondas, optou-se por calcular valores diferentes ao longo de toda a praia. Para tanto, Gomes da Silva (2014) utilizou-se da setorização realizada para o cálculo do *runup* (ver item 2.8, página 116), obtendo um valor de profundidade de fechamento para cada setor da praia. As praias Brava e Santinho não foram setorizadas por apresentarem extensão pequena, aonde as ondas atingem a praia de forma homogênea.

A setorização das praias da Barra da Lagoa/Moçambique e Ingleses se deu por meio da análise de agrupamento de valores de altura significativa de onda e declividade da face (variáveis utilizadas no cálculo do *runup*) ao longo de toda a praia. Valores de altura significativa foram obtidos com base em casos propagados de diferentes direções. Três casos diferentes de H_s foram utilizados: 1 caso de direção do quadrante norte, 1 caso de direção do quadrante leste e 1 caso de direção do quadrante de sul.

Sabe-se que a análise de agrupamento é realizada para variáveis diferentes. Neste caso, no entanto, optou-se por considerar os três casos de ondas como variáveis diferentes na análise. Desta forma, as quatro variáveis (altura significativa proveniente de norte (H_{SN}), altura significativa proveniente de leste (H_{SE}), altura significativa proveniente de sul (H_{SS}) e declividade da face da praia foram obtidas em pontos ao longo de toda a praia (Figuras 48 e 49).

Os dados de declividade do perfil praias foram calculados com base em perfis de praia medidos em campo. No total são 25 perfis na praia de Ingleses (Figura 48) e 64 perfis nas praias da Barra da Lagoa/Moçambique (Figura 49). Atribuiu-se a cada ponto o valor de declividade medido no perfil mais próximo.

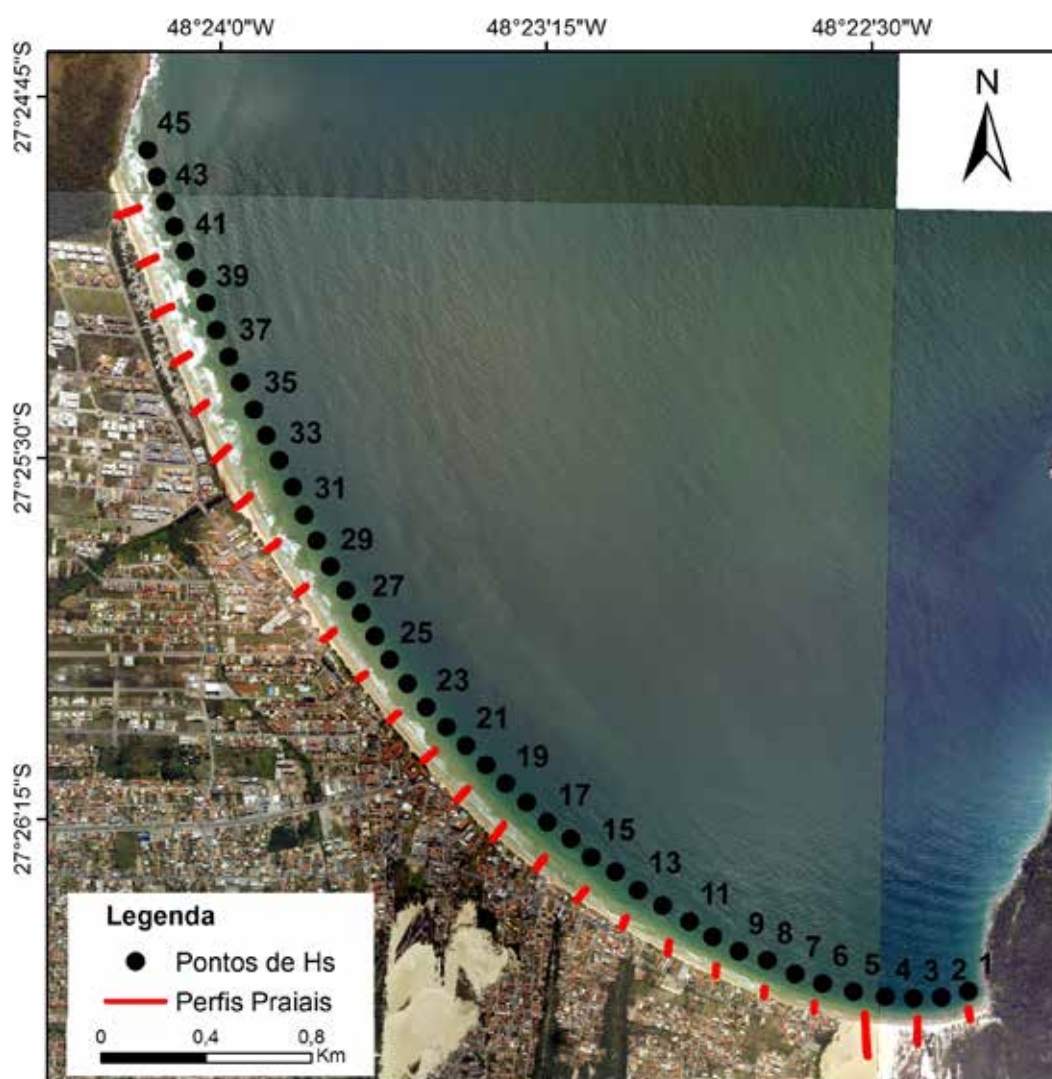


Figura 48: Perfil longitudinal de pontos utilizado na análise de agrupamento da praia de Ingleses. Em vermelho, os perfis praias medidos em campo pelo projeto. Perfil 1 ao sul e Perfil 25 ao norte. Fotografia de fundo: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (SDS, 2010).

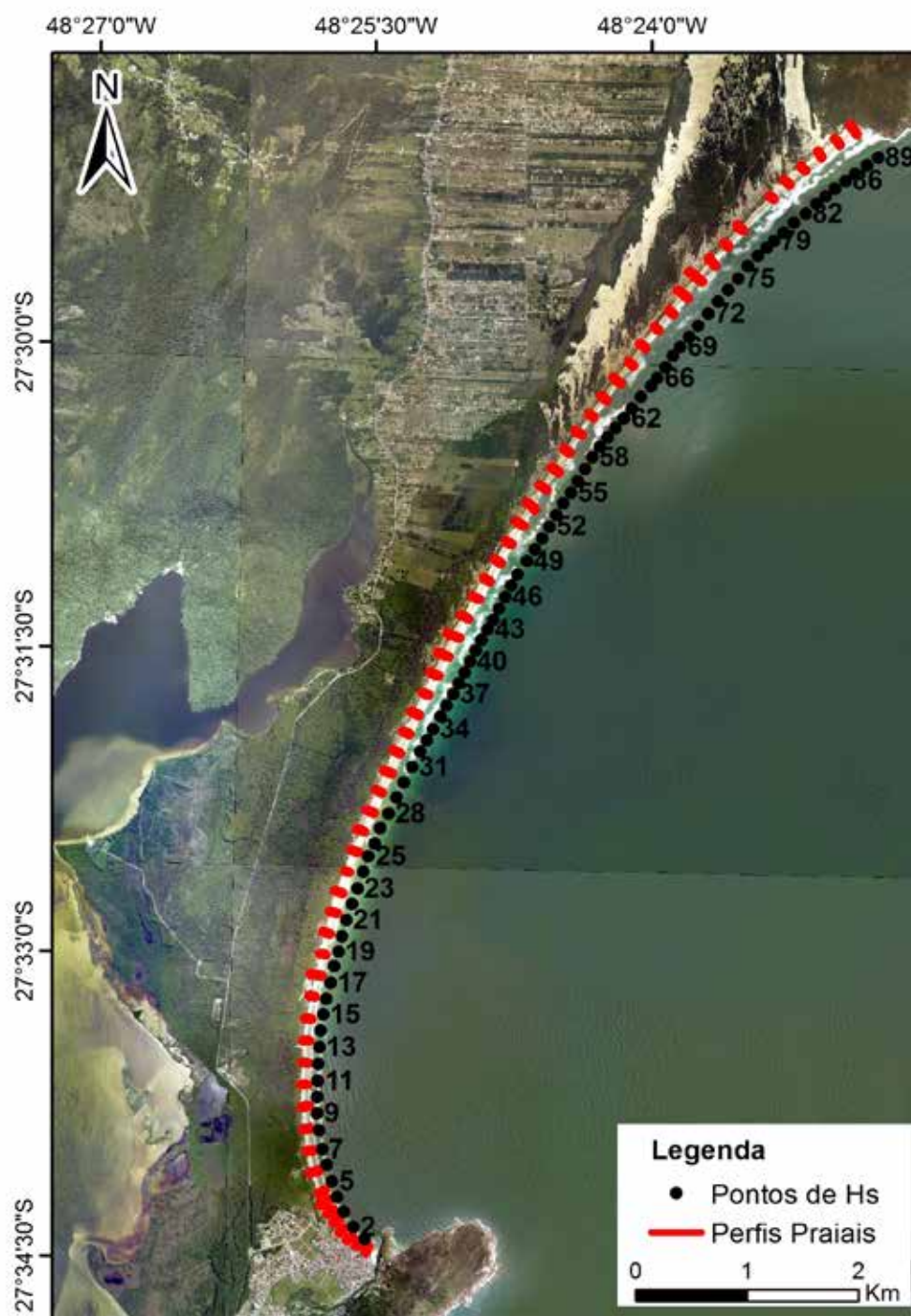


Figura 49: Perfil longitudinal de pontos utilizado na análise de agrupamento das praias da Barra da Lagoa/Moçambique. Em vermelho, os perfis praias medidos em campo pelo projeto. Perfil 1 ao sul e Perfil 64 ao norte. Fotografia de fundo: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (SDS, 2010).

Após a setorização, Gomes da Silva (2014) visando o cálculo de H_{S12} , obteve séries propagadas de altura significativa para pontos localizados em frente a cada um dos setores das praias analisadas. Os valores de T_p referentes a estas H_{S12} também foram obtidos nestes pontos.

Reconstrução da série em águas rasas

Após a propagação dos casos selecionados, as séries foram reconstruídas em águas rasas. Nesta etapa foi utilizada a metodologia RBF (Função de base radial (*Radial Basis Function*)) (CAMUS et al., 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 (Equação 14).

$$\text{RBF}(Z_i) = p(Z_i) + \sum_{j=1}^M a_j \Phi(||Z_i - Y_i||), \quad (14)$$

Onde:

$\text{RBF}(Z_i)$ = Função de interpolação;

Z_i = Caso de onda em águas profundas;

$p(Z_i)$ = É uma função de base monomial;

a_j = Coeficiente da RBF;

Φ = Função de base radial para aquele parâmetro; e

$||Z_i - Y_i||$ = Distância euclidiana entre o parâmetro em águas profundas (Z_i) e o mesmo em águas rasas (Y_i).

A série é, portanto, reconstruída no ponto escolhido em águas rasas, em função dos casos selecionados e dos valores em águas profundas para cada parâmetro.

Cálculo da profundidade de fechamento (interna e externa)

Os cálculos da profundidade de fechamento interna e externa foram realizados utilizando as formulações propostas por Hallermeier (1981) (Equações 11 e 12). De acordo com estas equações são necessários dados de parâmetro de onda ($\bar{H}_s$ e $\bar{T}_s$) e de tamanho de sedimento (mediana). No entanto, visando verificar a zonação do perfil transversal em eventos de tempestade, optou-se por realizar o cálculo da profundidade interna com base em valores de H_{s12} . Para o cálculo da profundidade externa, utilizou-se o valor de H_s .

Os parâmetros de onda utilizados foram obtidos a partir de propagações das séries de ondas apresentadas na base de dados do SMC-Brasil (MÍNGUEZ et al., 2011; REGUERO et al., 2012; CAMUS et al., 2013; MMA, no prelo (a)). Cabe ressaltar que na base de dados do SMC-Brasil não há dados de $\bar{T}_s$, apenas de período de pico (T_p). Por esta razão, foi utilizada a média da série de T_p . Valores de H_{s12} foram obtidos em pontos localizados em frente a cada um dos diferentes setores das praias analisadas.

Além destes, foram necessários, para o cálculo da profundidade externa, valores de mediana (D_{50}) do tamanho de sedimento na profundidade igual a $1,5 h_*$, sendo h_* a profundidade de fechamento interna. Para tanto, foram utilizados os valores obtidos pelo projeto REMPLAC² (ABREU et al., 2010) disponibilizados para utilização neste relatório (Figura 50).

2 Dados cedidos pelo Prof. Norberto Horn Filho (UFSC)

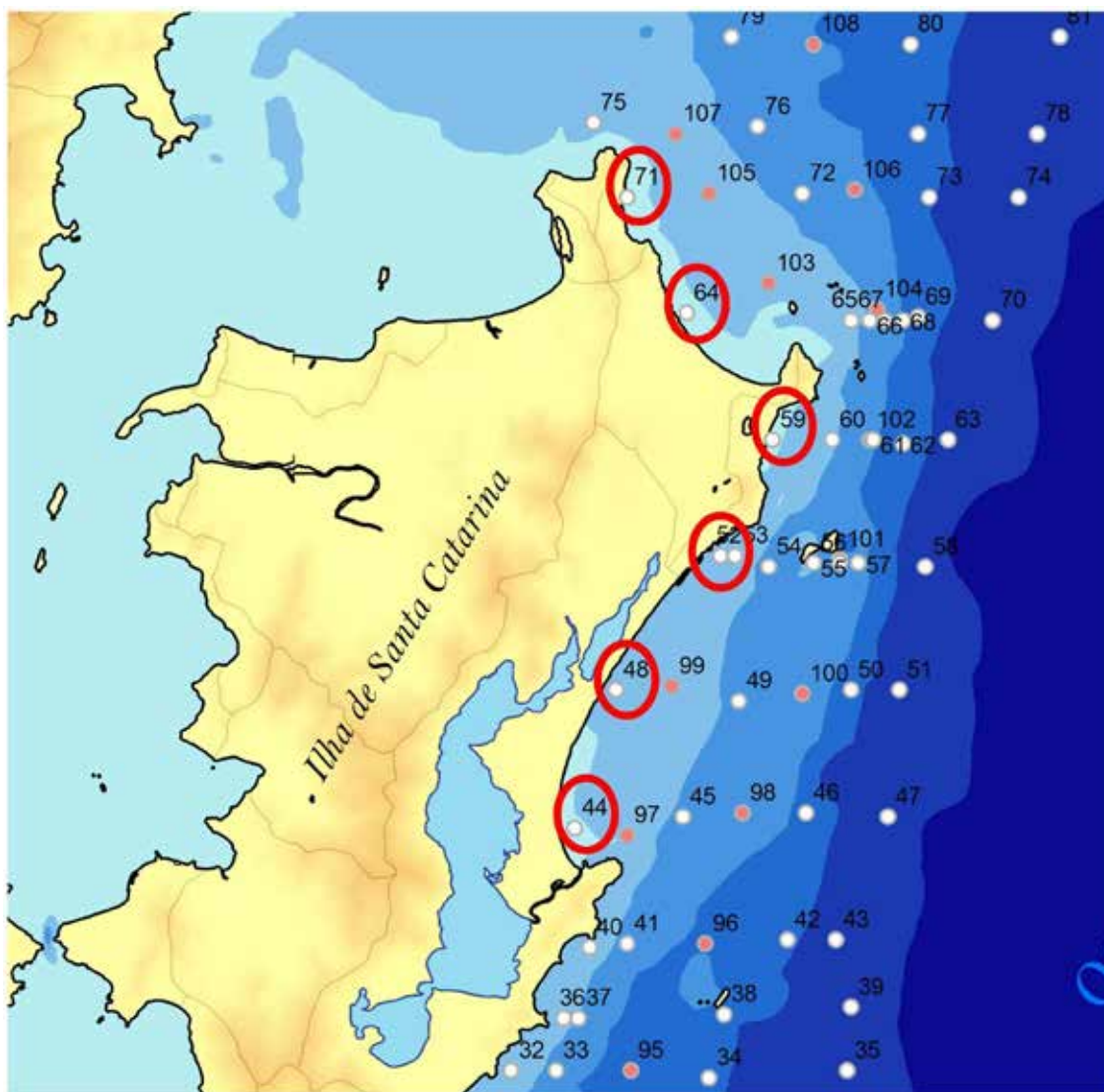


Figura 50: Pontos amostrais do projeto REMPLAC. As amostras utilizadas estão circuladas em vermelho. Fonte: Abreu et al. (2010).

Praias abrigadas

As praias abrigadas da área de estudo estão situadas ao norte da Ilha de Santa Catarina e na Baía Norte. Estes ambientes se diferem em muitos aspectos, como granulometria de fundo, características batimétricas e de circulação, entre si e do ambiente onde se localizam as praias expostas (MELO et al., 1997; BONETTI et al., 1998; FRANKLIN-SILVA, 2002; CAMPOS, 2011). Por este motivo e em virtude da metodologia proposta por Ferreira et al. (2006) ter sido aplicada para uma área exposta à ação das ondas, este

trabalho propôs uma adaptação metodológica baseada na interpretação da Regra de Bruun (BRUUN, 1954) apresentada por Van Rijn (1998).

Segundo Van Rijn (1998) a retração da linha de costa (R_a) devido à subida do nível do mar inclui a retração decorrente do efeito da inundação (I) (Figura 51). O parametro I segundo o autor é aproximadamente igual a:

$$I = SLRa / \tan\beta_b, \quad (15)$$

Onde, $\tan\beta_b$ é declividade do perfil praiar até a profundidade de fechamento (h_s). Sendo que, quando a $\tan\beta_b$ está entre 0,05 e 0,1 o efeito da inundação será cerca de 20% da retração total.

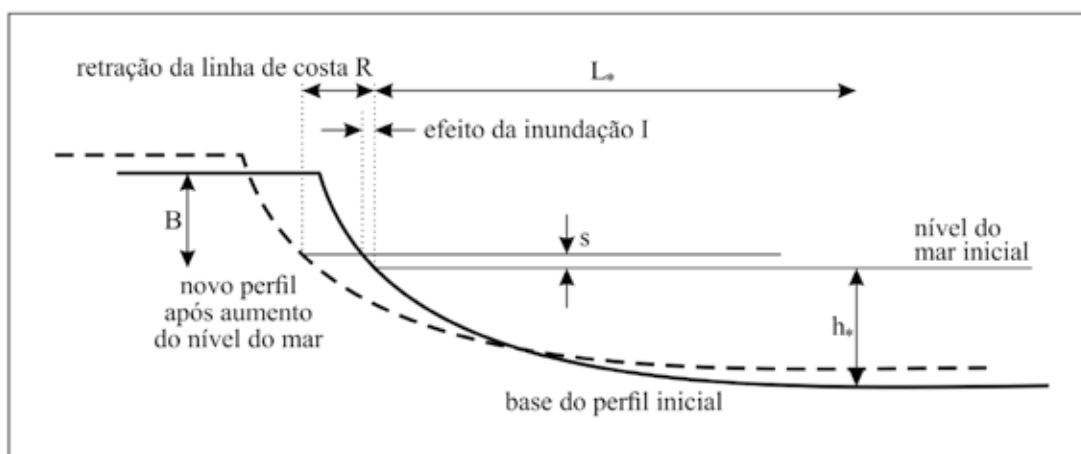


Figura 51: Resposta do perfil praiar a subida do nível do mar de acordo com Brunn (1954). Adaptado de Van Rijn (1998).

Já para fundos relativamente planos considera-se $R_a = I$, onde I é declividade média da zona entre a linha de costa e a localização da profundidade de fechamento, sendo I variando entre $50SLRa$ e $100SLRa$ para declividades entre 0,01 e 0,02. Considerando a relação feita por Van Rijn (1998) como verdadeira pode-se inferir que em fundos extremamente planos ($\tan\beta_b < 0,01$) a retração da linha de costa devido à inundação causada pela subida do nível do mar é mais importante que a retração causada pela erosão devido ao ataque das ondas sobre a praia ($I > R_a$).

Sendo assim a retração adicional devido à subida do nível do mar para as praias abrigadas com valores médios de $\tan\beta_b \leq 0,02$ foi calculada através da equação 14. Para as praias onde a declividade média do perfil praial apresentou valores de $\tan\beta_b > 0,02$ o cálculo se deu através da regra de Bruun (Equação 8, página 60).

Profundidade de fechamento – Áreas abrigadas

Como já mencionado anteriormente, o modelo de propagação de ondas apresentou instabilidade e resultados não confiáveis quando da tentativa de propagação de ondas para as praias do Norte da Ilha de Santa Catarina e região continental da área de estudo. Portanto para estes ambientes não foi possível realizar a propagação de ondas necessária para a aquisição do parâmetro de onda (H_{s12}) utilizado nos cálculos da profundidade propostos por Hallermeier (1981) (Equação 11, página 67).

No entanto, diversas maneiras de se identificar a profundidade de fechamento são descritas na literatura (MENEZES, 2008). Para Kraus et al. (1999) a profundidade de fechamento para um determinado intervalo de tempo pode ser definida como sendo a profundidade mais próxima do litoral onde não há variação na batimetria e onde não ocorre uma troca significativa de sedimentos através da costa. Segundo Bruun (1954) a profundidade de fechamento pode ser representada por uma quebra brusca na declividade da antepraia superior. Gruber (2002) afirma que o uso de equações para o cálculo da profundidade de fechamento não são eficazes em ambientes onde o transporte de sedimentos por correntes é superior ao transporte devido à ação das ondas. Assim adotou-se como sendo a profundidade de fechamento para as praias abrigadas a profundidade onde a declividade do perfil praial tende à zero (Figura 52).

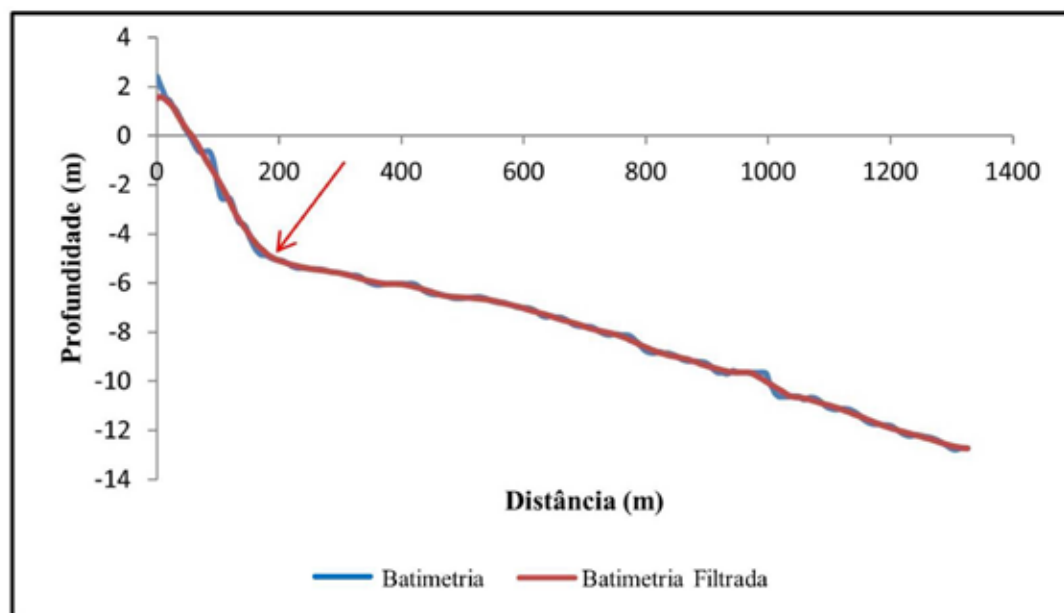


Figura 52: Identificação da profundidade de fechamento interna do perfil praial. Seta indicando a posição do perfil onde a declividade tende à zero. Em azul os dados extraídos em ambiente SIG e em vermelho os dados já suavizados após serem submetidos a um filtro de médias móveis.

Para o cálculo da declividade do perfil praial foram utilizados dados de batimetria e sonografia de detalhes levantados nas praias abrigadas localizadas no Norte da Ilha de Santa Catarina, já processados pela equipe do Laboratório de Oceanografia Costeira (ver relatório técnico RT_MMA_Riscos_2014_43). Já para as praias continentais os dados de batimetria da base de dados do SMC-Brasil foram utilizados.

Os dados batimétricos foram interpolados juntamente com os dados dos perfis emersos em ambiente SIG através do interpolador IDW (*Inverse Distance Weighted*) e perfis batimétricos perpendiculares à linha de costa foram extraídos. O interpolador IDW utiliza a técnica de interpolação denominado “Inverso das Distâncias Elevado à Potência”. O modelo baseia-se na dependência espacial, isto é, supõe que quanto mais próximo estiver um ponto do outro, maior deverá ser a correlação entre seus valores. Dessa forma atribui maior peso para as amostras mais próximas do que para as amostras mais distantes do ponto a ser interpolado. Assim, o modelo consiste em multiplicar os valores das amostras pelo inverso das suas respectivas distâncias ao ponto de referência para a interpolação dos valores (WATSON e PHILIP, 1995).

A localização dos perfis batimétricos foi coincidente aos perfis emersos obtidos, a fim de minimizar os possíveis erros causados pela interpolação, priorizando áreas com maior concentração de dados. Os dados extraídos em ambiente SIG foram submetidos a um filtro de médias móveis de ordem 13, com o objetivo de suavizar as variações na profundidade. A Figura 53 mostra um exemplo de uma praia continental e uma praia insular, com as batimetrias já interpoladas e a localização dos perfis batimétricos extraídos para a identificação da profundidade de fechamento.

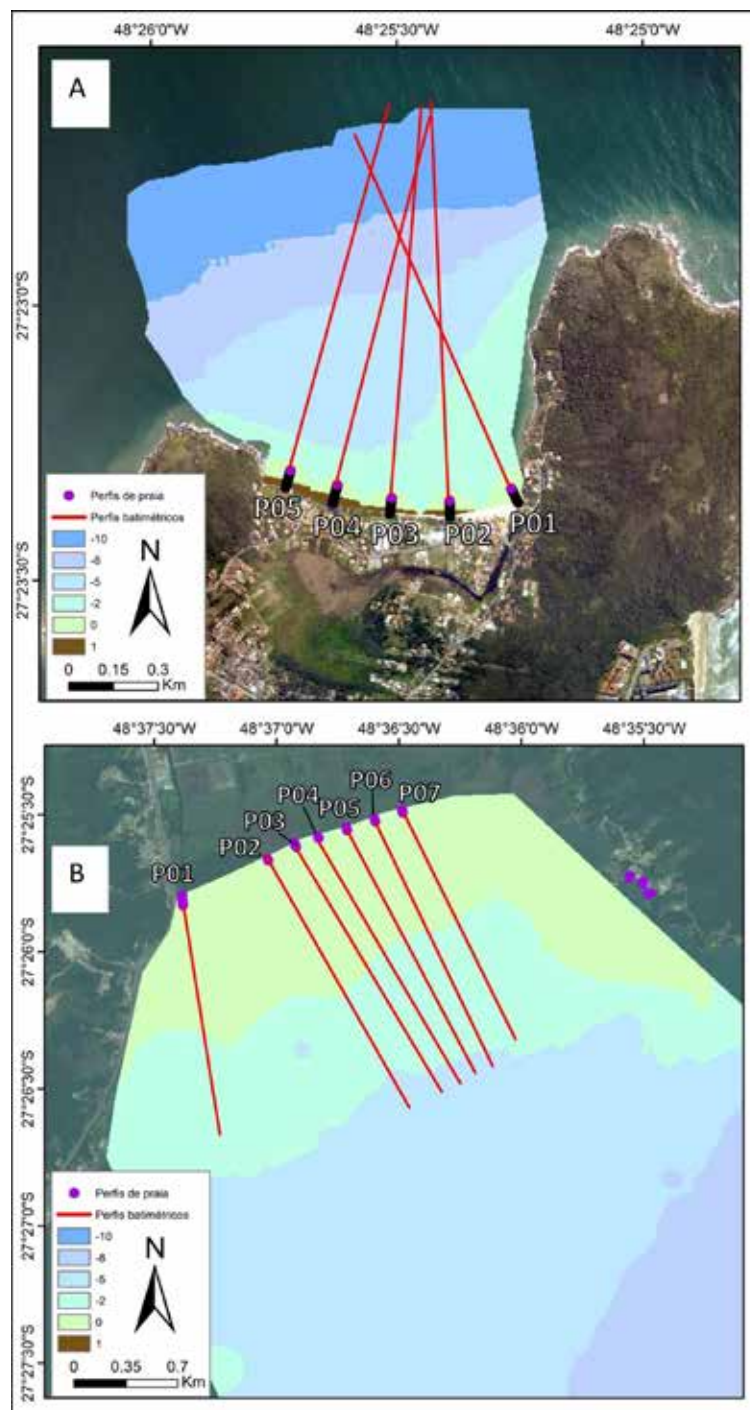


Figura 53: Localização dos perfis batimétricos extraídos para a identificação da profundidade de fechamento nas praias abrigadas. Em “A” Praia da Lagoinha, batimetria obtida em campo e fotografia de fundo SDS (2010). Em “B” Praia de Anhatomirim, batimetria da base de dados do SMC-Brasil e imagem de fundo Banco de dados ESRI.

2.7. Identificação dos perigos decorrentes de grandes tempestades (retração da linha de costa)

Embora as estimativas de LC_t e LC_{tc} contabilizem possíveis impactos em longo prazo de grandes tempestades, esse estudo visou também pontuar danos de escala instantânea associados a tais eventos extremos e que acarretam alterações, muitas vezes drásticas na configuração da costa. Após grandes tempestades, deduções empíricas apresentadas por Kriebel e Dean (1993) mostram que a escala tempo-resposta (T_s) do perfil praial, em busca de um novo equilíbrio, é uma função exponencial. Os autores verificaram ainda que esse tempo-resposta independe da subida do nível do mar, induzido por tempestades. Os fatores responsáveis por variações neste parâmetro T_s , são a altura de quebra da onda e o tamanho do sedimento, quanto maior a altura de quebra da onda (H_b), menor o tempo-resposta; já a relação com o sedimento é inversa.

Esse dado é importante para saber o período mínimo de retorno das tempestades e a taxa de recuperação de um perfil de praia em particular. A máxima resposta do perfil praial às tempestades, ou seja, a máxima erosão ou retração é expressa pela Regra de Bruun (BRUUN, 1954), que apoia sua teoria no balanço sedimentar entre o volume erodido da face praial e volume depositado em direção ao mar, dependente, exclusivo e linearmente, da subida do nível do mar induzido pela tempestade. Portanto, a máxima erosão possível da face praial está intimamente relacionada ao pico de elevação provocada pela tempestade (KRIEBEL e DEAN, 1993).

Definidos esses padrões de resposta a eventos extremos, Kriebel e Dean (1993), propuseram o Modelo de Convolução, a fim de quantificar a máxima retração da costa ocasionada por grandes tempestades associada ao tempo-resposta do perfil praial a um novo equilíbrio.

Tal método leva em conta as características da tempestade e do perfil praial, considerando que a resposta do perfil não é instantânea. Se a elevação do nível do mar ocorre por tempo suficiente, tem-se a retração máxima do perfil de acordo com Bruun (1954) (R_∞) dada por:

$$R_\infty = \frac{S_m \times X_b}{Dc + h_b - \frac{S_m}{2}}, \quad (16)$$

Onde:

S_m = Sobrelevação do mar;

X_b = Distância da profundidade de quebra da onda até a costa = $(h_b/A)^{3/2}$;

D_c = Altura da duna frontal (m);

h_b = Profundidade de quebra de onda;

A = parâmetro de sedimentação do grão (Dean, 1977);

No entanto dificilmente o potencial máximo de retração (R_∞) será alcançado devido à praia ter uma capacidade de resposta lenta à sobre-elevação do mar. Se a elevação ocorre por curtos períodos de tempo (como em casos de elevação por tempestade) o ajuste ocorre em proporções menores com retração menor da linha de costa dada por:

$$\frac{R(t)}{R_\infty} = \frac{1}{2} \left\{ 1 - \frac{\delta}{1+\delta} \exp\left(-\frac{2}{\sigma}\right) - \frac{1}{1+\delta^2} [\cos(2\sigma t) + \delta \sin(2\sigma t)] \right\}, \quad (17)$$

Onde δ é a taxa de retração adimensional da tempestade dado por:

$$\delta = 2\pi \frac{T_s}{TD}, \quad (18)$$

Onde TD é a duração total do evento e T_s é o tempo-resposta do perfil praial a dado evento, que está principalmente ligada ao tamanho de onda de tempestade na costa e ao parâmetro de sedimentação do grão (DEAN, 1977) presente na praia. T_s é dado por:

$$T_s = \frac{320 \times H_b^{3/2}}{(A^3 g^{1/2}) (1 + \frac{h_b}{B} + \frac{mx_b}{h_b})}, \quad (19)$$

Onde:

H_b = Altura de quebra de onda (m);

g = Aceleração da gravidade;

m = Declividade do perfil praial dado por $\tan\beta$;

E σ é dado por:

$$\sigma = \pi / TD, \quad (20)$$

Essa ferramenta foi utilizada neste trabalho para mensurar os possíveis impactos decorrentes de grandes tempestades, indicando áreas mais susceptíveis, e integrando-as às linhas de costa futuras. Assim, esses danos em t anos foram computados por:

$$LC_{ts} = LC_{tc} + R_t, \quad (21)$$

Onde:

LC_{ts} = linha de costa futura num tempo de t (5, 10, 25 e 50) anos influenciado por grandes tempestades;

LC_{tc} = linha de costa futura num tempo de t (5, 10, 25 e 50) anos ajustada pelo ASLR;

R_t = retração induzida por tempestades num período de t (5, 10, 25 e 50) anos, utilizando o Método de Convolução.

Os impactos em t anos provenientes de processos de sobrelavagem puderam ser computados utilizando-se as formulações para o cálculo do *runup* propostas por Vieira da Silva (2012) e Bonetti et al. (2012). Os autores a partir das equações formuladas por Nielsen e Hanslow (1991) para praias expostas, adaptaram estas equações calibrando as mesmas para praias de enseada.

O resultado obtido deve ser adicionado à linha de costa futura das grandes tempestades, esboçando áreas suscetíveis ao *runup* (Figura 54).

Na Tabela 14 estão listadas as variáveis necessárias para o cálculo e as respectivas fontes de informação. A descrição de cada uma destas variáveis é apresentada nos itens a seguir.

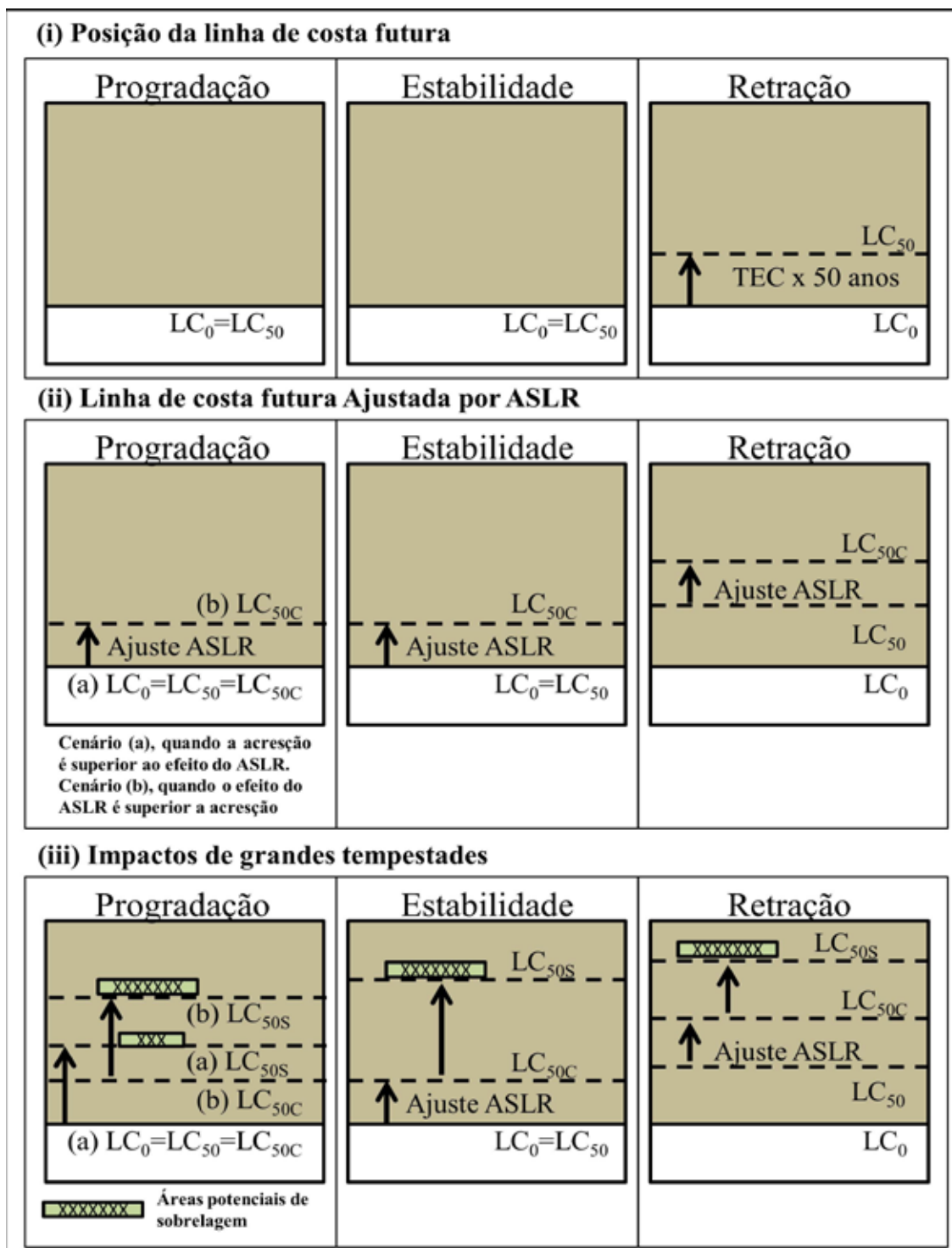


Figura 54: Representação das linhas de costa, adaptado de Ferreira et al. (2006). Neste exemplo considerou-se o período de 50 anos.

Tabela 14: Dados necessários para o cálculo da retração por tempestade e respectivas fontes de informação.

Variável	Fonte
Declividade do perfil praial ($\tan\beta$)	Coletada em campo
Altura da duna frontal (D_c)	Coletada em campo
Tamanho do grão	Coletada em campo
Altura e profundidade de quebra (H_b e h_b)	Calculado a partir das propagações
Elevação da superfície livre da tempestade (E_s)	Cota de inundação (CI) calculada para cada cenário
Tempo de duração da tempestade (TD)	Projeto Piçarras
Tempo de resposta do perfil (T_s)	Calculado (Equação 18)

Declividade do perfil praial e altura da duna frontal

A declividade do perfil praial foi computada em ambiente MatLab, utilizando os dados de perfil praial coletados em campo com auxílio de receptor GNSS (ver Item 2.6, página 63), através da seguinte expressão trigonométrica:

$$\arctg = \frac{\text{cota (cateto oposto)}}{\text{lagura (cateto adjacente)}} * 100, \quad (22)$$

O cálculo da declividade se dá a partir do primeiro ponto do perfil sobre a duna frontal (se houver a existência da mesma) e se estende até o fim do perfil (h_s).

A altura da duna frontal foi utilizada em substituição à altura da berma devido a esta não estar presente na grande maioria dos perfis medidos em campo. Esta foi obtida também em ambiente MatLab e marcada manualmente sobre o gráfico do perfil.

Maiores detalhes sobre o processamento dos dados de perfil praial, assim como os resultados obtidos para declividade do perfil praial e altura da duna frontal podem ser vistos no relatório técnico RT_MMA_Riscos_2014_31 (APÊNDICE B).

Tamanho do grão

O tamanho de grão foi calculado a partir de amostras de sedimentos coletadas em campo, simultaneamente ao levantamento dos perfis praias (ver _RT_MMA_Riscos_2014_29, APÊNDICE B). As amostras foram coletadas sobre a duna (quando havia a existência de dunas frontais), pós-praia, face da praia e zona de surfe (aproximadamente 0,50 m). O sedimento foi coletado com o auxílio de um amostrador de PVC, para padronizar o volume da amostra, armazenado em sacos plásticos, sendo que ao total foram coletas 675 amostras.

O processamento das amostras de sedimento se deu no analisador de partículas por difração de luz HORIBA LA – 950. Este se baseia no princípio que o ângulo de difração é inversamente proporcional à dimensão da partícula, e utiliza o método da difração de fontes *laser* e *led* para isso (Manual Horiba LA-950). O analisador possui duas fontes de luz com diferentes comprimentos de onda, uma com 650 nm (vermelha) e outra com 405 nm (azul). Assim, calcula o ângulo da dispersão da luz e a intensidade, convertendo-os no tamanho da partícula (Manual Horiba LA-950).

Para este trabalho apenas as amostras referentes à face praial dos perfis medidos foram utilizados, sendo utilizada a mediana do tamanho de grão, medida necessária para o cálculo do parâmetro de sedimentação do grão (Dean, 1977), usado na fórmula proposta por Kriebel e Dean (1993).

Altura e profundidade de quebra (H_b e h_b)

A altura de quebra foi calculada com base nos valores de ondas propagados até a costa (ver item 2.6, página 91). O cálculo da série de altura de quebra se deu nas seguintes etapas:

- i) Um perfil transversal à praia foi traçado em cada um dos setores;
- ii) As séries de onda propagadas foram reconstruídas em pontos equidistantes (8 m) ao longo dos perfis;
- iii) Em cada ponto do perfil foi calculada a relação H_b/h_b ;
- iv) Assumiu-se a relação $h_b=0,5H_b$ para encontrar a altura e a profundidade de quebra de cada caso da série.

Ao final do processo foram obtidas séries temporais de altura de quebra. Com base nestas séries foram calculadas as alturas de quebra com período de retorno de 5,10, 25 e 50 anos para cada setor e verificadas as profundidades de quebra relacionadas. Os valores de altura de quebra obtidos em cada cenário estão expostos nas Tabelas 15 e 16.

Tabela 15: Valores de H_b (m) obtidos para os diferentes cenários propostos. Praia da Barra da Lagoa/Moçambique (Figura 49) e Praia dos Ingleses (Figura 48).

Setor	Barra da Lagoa/ Moçambique				Ingleses			
	PR (5)	PR (10)	PR (25)	PR (50)	PR (5)	PR (10)	PR (25)	PR (50)
1	1,48	1,64	1,83	1,98	0,92	1,00	1,09	1,17
2	2,74	2,86	2,98	3,05	1,80	1,81	1,82	1,82
3	3,09	3,26	3,44	3,55	2,54	2,72	2,95	3,13
4	2,91	3,13	3,41	3,62	1,68	1,68	1,69	1,69

Tabela 16: Valores de H_b (m) obtidos para os diferentes cenários propostos. Praia do Santinho e Praia Brava.

Santinho				Brava			
PR (5)	PR (10)	PR (25)	PR (50)	PR (5)	PR (10)	PR (25)	PR (50)
2,67	2,80	2,94	3,03	2,10	2,12	2,14	2,15

Sobre-elevação do nível do mar (S_m)

Os valores de cota de inundação calculados para cada cenário proposto (Item 2.8, página 114) foram utilizados como sobre-elevação da superfície do mar no cálculo da retração máxima (R_∞).

Tempo de Duração da Tempestade (TD)

O período adotado como tempo de duração da tempestade foi baseado em medições realizadas ao longo do desenvolvimento do Projeto Piçarras (VIEIRA DA SILVA, 2012; OLIVEIRA, 2013; RIBEIRO, 2014; DALINGHAUS et al. 2015) no litoral Norte do Estado de Santa Catarina. As medições ocorreram durante os meses de agosto e setembro de 2011 e, durante este período, o evento de tempestade com maior duração ocorreu ao longo de oito dias (192 horas) (Figura 55).

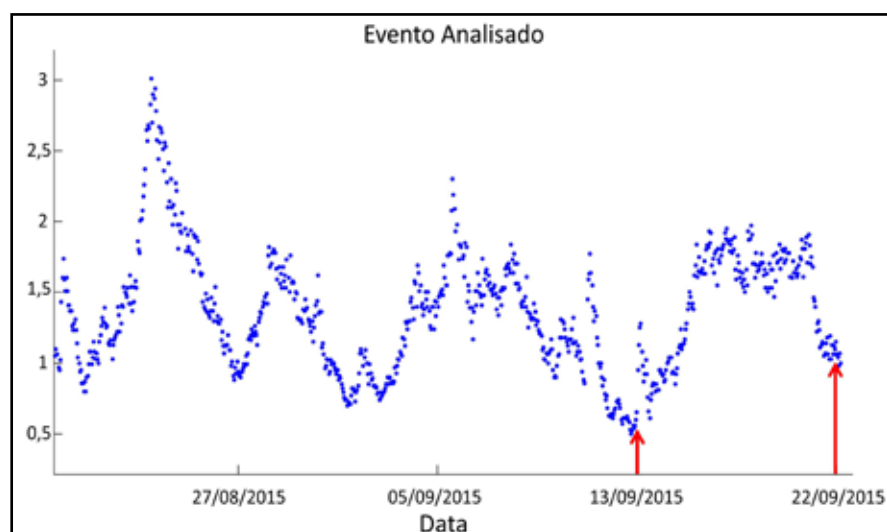


Figura 55: Eventos de tempestade de longa duração medidos na praia de Piçarras (FONTE: DALINGHAUS et al. 2015).

Tempo de Resposta do Perfil (Ts)

O tempo de resposta do perfil à tempestade foi calculado com base nas características da tempestade e do perfil praial (Equação 19). Os valores de Ts para cada setor das praias analisadas estão apresentados na Tabela 17.

Tabela 17: Tempo de resposta do perfil (Ts) em horas calculado para cada setor das praias analisada.

Praia	Setor	Ts (5 anos)	Ts (10anos)	Ts (25 anos)	Ts (50 anos)
Moçambique Barra da Lagoa	1	10,11	11,12	12,38	15,06
	2	13,04	13,61	14,16	17,97
	3	8,89	9,39	9,91	13,03
	4	13,82	14,86	16,15	21,53
Ingleses	1	5,89	6,44	7,13	7,65
	2	9,77	9,83	9,87	9,89
	3	14,90	15,85	17,04	17,90
	4	13,01	13,02	13,03	13,03
Santinho	Setor Único	26,16	27,38	28,70	29,54
Brava	Setor Único	11,18	11,28	11,36	11,39

2.8. Cálculo da cota de inundação

Praias expostas

A cota de inundação para as praias expostas (Barra da Lagoa/Moçambique, Santinho, Ingleses e Brava) é resultado da soma de quatro componentes: nível médio do mar (NM), maré astronômica (MA), maré meteorológica (MM) e *runup* ($R_{2\%}$).

Para as análises de cota de inundação ao longo das praias expostas, quatro cenários foram propostos para diferentes períodos de retorno (PR):

Cenário 1: Cota de inundação com período de retorno de 5 anos;

Cenário 2: Cota de inundação com período de retorno de 10 anos;

Cenário 3: Cota de inundação com período de retorno de 25 anos;

Cenário 4: Cota de inundação com período de retorno de 50 anos.

A Figura 56 apresenta a metodologia de cálculo adotada. Somando valores de maré astronômica, maré meteorológica e *runup*, foi obtida a série temporal de cota de inundação instantânea (CI sem contar valores de nível do mar (NM)). Com base nesta série foi realizada a análise de regime extremo e obtidos os valores de CI instantânea para cada cenário proposto. Por fim, com o intuito de verificar o pior caso de cota de inundação dentro do período dos cenários propostos, foram somados valores de nível do mar (NM) previstos para 5, 10, 25 e 50 anos.

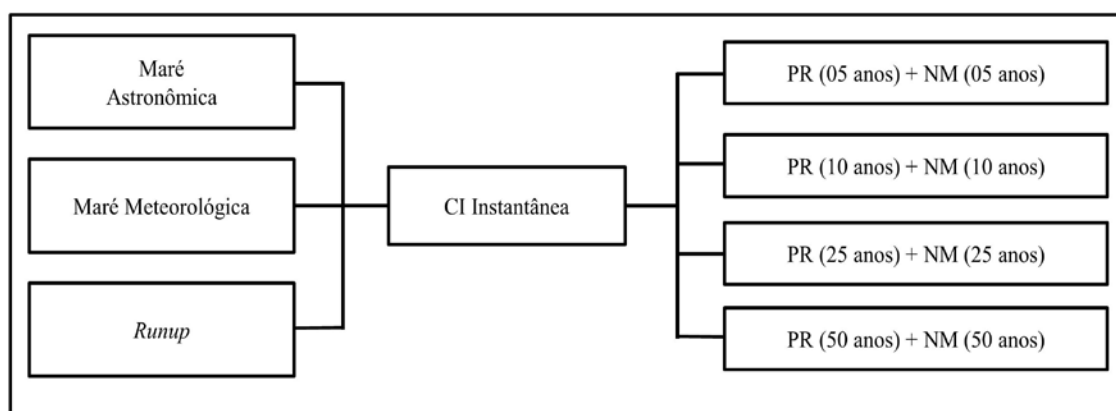


Figura 56: Metodologia de cálculo da cota de inundação para os cenários propostos.

Praias abrigadas

Devido à ocorrência de ondas geradas localmente e as premissas computacionais do modelo SMC-Brasil não permitirem a modelagem de ondas até as praias do Norte da Ilha de Santa Catarina: Lagoinha, Ponta de Canas, Cachoeira do Bom Jesus, Canasvieiras, Jurerê, Daniela e Forte; e da porção continental da área de estudo: Caieira, Anhatomirim, São Miguel, Pitangueiras e Rabelo; foi então adaptada a metodologia proposta por Carrasco et al. (2012), a qual leva em consideração apenas a soma das marés astronômica e meteorológica e a subida do nível do mar.

Maré astronômica e maré meteorológica

Os valores de maré astronômica e maré meteorológica utilizados neste trabalho pertencem às bases de dados *Global Ocean Tide* (GOT) e *Global Ocean Surge* (GOS) respectivamente, disponíveis no modelo SMC-Brasil, o qual apresenta uma base de dados de nível (maré astronômica e maré meteorológica) e onda com resolução horária para o período de 60 anos (1948-2008). Estes dados foram obtidos a partir de reanálises globais e regionais realizadas no Instituto de Hidráulica da Cantábria e estão inseridos na versão brasileira do modelo SMC 3.0 para utilização nas propagações até a costa (para maiores informações sobre a calibração e validação das bases de dados de maré astronômica, maré meteorológica e ondas ver MMA, (no prelo (b)) e MMA, (no prelo(a)). Os valores da série de nível para a região da Ilha de Santa Catarina estão apresentados na Figura 57.

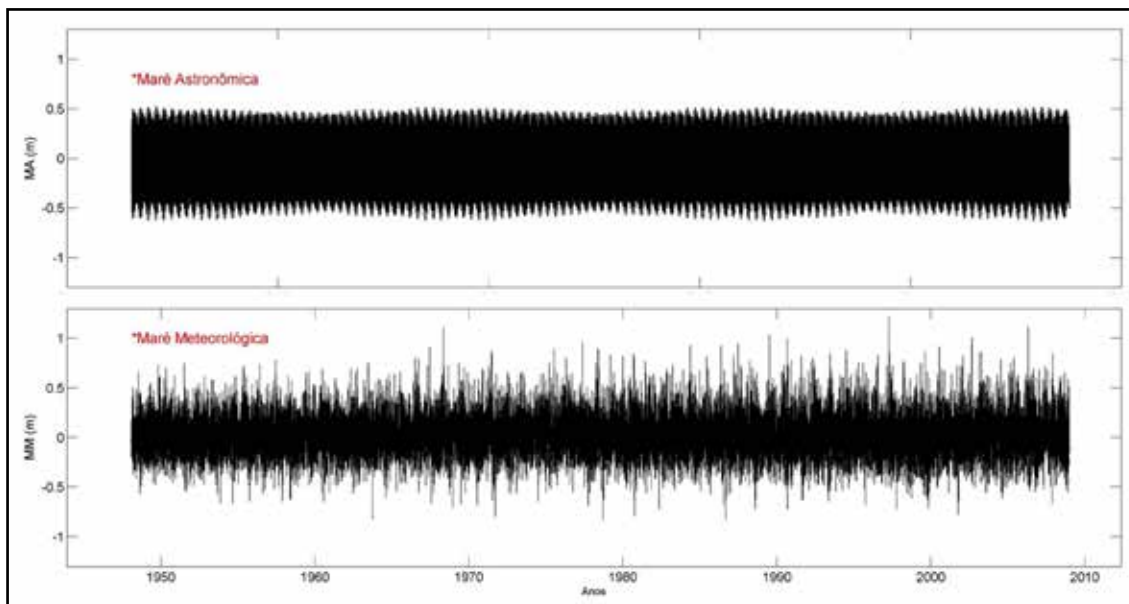


Figura 57: Série de MA e MM para a região de Santa Catarina.

Runup

Descrito como a elevação máxima do nível da água na linha de costa (BATTJES, 1979), o *wave runup* é composto de duas componentes: (1) o empilhamento da água na costa devido à quebra de ondas (*wave setup*) e; (2) o espraçamento da onda na face da praia (*swash*) (GUZA e THORTON, 1982) (Figura 58). Normalmente, o cálculo do *runup* se dá por meio de modelos empíricos gerados a partir de dados de campo que relacionam parâmetros de onda com a excursão das ondas na faixa de areia (NIELSEN e HANSLOW, 1991). Sendo o conhecimento dos maiores valores atingidos pelo *wave runup* ($R_{2\%}$) de fundamental importância para o planejamento de uma obra de proteção ou contenção na engenharia costeira.

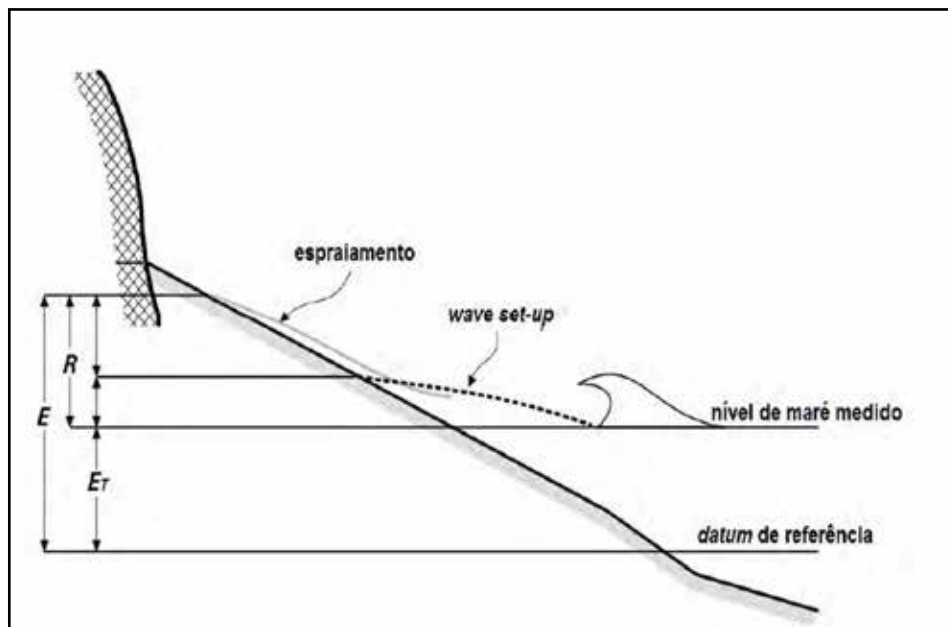


Figura 58: Processos de setup e espraimento junto à praia. Fonte: Vieira da Silva (2012), modificado de Ruggiero et al. (1997). E é a elevação total, ET é a elevação decorrente das marés astronômica e meteorológica, R é a elevação causada pelo runup.

Dentre as formulações mais utilizadas na literatura pode-se citar a desenvolvida por Nielsen e Hanslow (1991). Os autores fizeram testes para cálculo de *runup* em praias arenosas reais, com declividades variadas. Foram analisados os valores de *runup* de seis praias (de praias dissipativas a refletivas) relacionando-os aos dados de altura de ondas de águas profundas (aproximadamente 80 m). Assim, entre outras relações propostas, o *wave runup* excedido por 2% dos casos analisados (casos extremos) é demonstrado a partir das Equações 23 e 24.

$$R_{2\%} = 1,98 \times (0,6(H_{orms} \times L_o)^{0,5} \tan \beta_F), \text{ para } \tan \beta_F \geq 0,1 \quad (23)$$

$$R_{2\%} = 1,98 \times (0,05(H_{orms} \times L_o)^{0,5}), \text{ para } \tan \beta_F < 0,1 \quad (24)$$

Onde:

H_{orms} é a média quadrática da altura das ondas;

L_o é o comprimento de onda em águas profundas;

$\tan \beta_F$ é a declividade da face da praia.

Vieira da Silva (2012) e Bonetti et al.(2012), a partir das equações formuladas por Nielsen e Hanslow (1991) para praias expostas, adaptaram estas equações calibrando as mesmas para praias de enseada. Os autores compararam os dados calculados através das Equação 23 e 24 com dados medidos em campo com um GPS-RTK, dividindo a praia de estudo em quatro setores (protegido, semiprottegido, semiexposto e exposto) em função do grau de exposição às ondas. Para cada setor foi calculado a regressão linear e o EQM (erro quadrático médio) entre os dados medidos e calculados com a intenção de ajustar as novas fórmulas propostas (Equação 25, 26, 27 e 28).

$$R_{2\% \text{ protegido}} = 0,269 \times R_{2\% \text{ Nielsen e Hanslow (1991)}} + 0,360, \quad (25)$$

$$R_{2\% \text{ semiprottegido}} = 0,195 \times R_{2\% \text{ Nielsen e Hanslow (1991)}} + 0,590, \quad (26)$$

$$R_{2\% \text{ semiexposto}} = 0,529 \times R_{2\% \text{ Nielsen e Hanslow (1991)}} + 0,421, \quad (27)$$

$$R_{2\% \text{ exposto}} = 0,601 \times R_{2\% \text{ Nielsen e Hanslow (1991)}} + 0,603, \quad (28)$$

Onde:

$R_{2\%}$ é a equação calibrada para cada setor; $R_{2\% \text{ Nielsen e Hanslow (1991)}}$ é o *wave runup* excedido por 2% dos casos calculados através da equação de Nielsen e Hanslow (1991).

Neste trabalho optou-se por realizar o cálculo do *runup* com base nas formulações propostas por Vieira da Silva (2012) e Bonetti et al. (2012) por serem as mais adequadas para praias de enseada proposta até o momento, apesar de que mesmo sem onda haverá *runup*.

Etapas envolvidas no cálculo do *runup* como a propagação de ondas até a costa e a setorização longitudinal da praia de acordo com dados de onda e declividade podem ser vistas no Item 2.6 nas páginas 67 e 95 respectivamente.

Para o cálculo do *runup* foram necessários valores de H_s a 15 m de profundidade (mesma profundidade utilizada por Vieira da Silva (2012)), comprimento de onda (relacionado ao período de pico) em águas profundas e declividade da face da praia. Os valores de H_s foram obtidos a partir das propagações de ondas. Os valores de L_0 em águas profundas foram obtidos das séries do ponto 1 e 2 da base de dados do SMC-Brasil. Finalmente os dados de declividade utilizados foram aqueles medidos em campo (ver item 2.6, página 63). Optou-se então por realizar o cálculo do *runup* para todos os perfis e

posteriormente, calcular a média dos perfis inseridos em cada setor. Como resultado, foi obtido um valor médio de *runup* por setor da praia.

Análise de regime extremo

De forma a verificar os piores cenários de cota de inundação, a análise de regime extremo se deu com base no método dos Máximos Anuais. Os valores de cota para cada período de retorno (5, 10, 25 e 50) foram obtidos com base na distribuição de Gumbel de Máximos.

A abordagem dos máximos anuais toma em consideração o maior valor observado em cada ano. Neste caso, o valor máximo anual é selecionado, obtendo-se N valores para N anos analisados (KAMPHUIS, 2000). Os valores extremos podem então ser calculados com base na distribuição de Gumbel, dada pela Equação 29.

$$\text{Pr} = \exp \left[- \exp \left(- \frac{H_{S,MA} - M}{C} \right) \right], \quad (29)$$

Onde:

$H_{S,MA}$ = É o valor máximo atingido no ano;

M = Parâmetro de localização (posição da distribuição no eixo H_s);

C = Parâmetro de forma (ψ).

A estimativa do período de retorno, em anos, é então dada por:

$$\text{PR} = \frac{1}{\text{Pr}}, \quad (30)$$

Apesar da base de dados de ondas (DOW) utilizada nas propagações até a costa apresentarem valores subestimados de T_p (valor utilizado no cálculo do *runup*, ver Item 2.8, página 116) segundo Gomes da Silva et al. (2015). Ainda assim, optou-se por realizar a análise com base nos valores máximos de modo a verificar os piores cenários. Ademais, os valores de H_s da base de dados *Downscaled Ocean Waves* (DOW) (MMA, no prelo (a))

mostraram bom ajuste com relação aos dados medidos (GOMES DA SILVA et al., 2015).

Nível médio do mar

O valor de nível médio do mar utilizado foi baseado nas previsões de pior caso do relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2013) (Figura 59). De acordo com este estudo a elevação do nível médio do mar vem ocorrendo em uma taxa de 4 mm/ano com uma aceleração anual de 0,019 mm/ano².

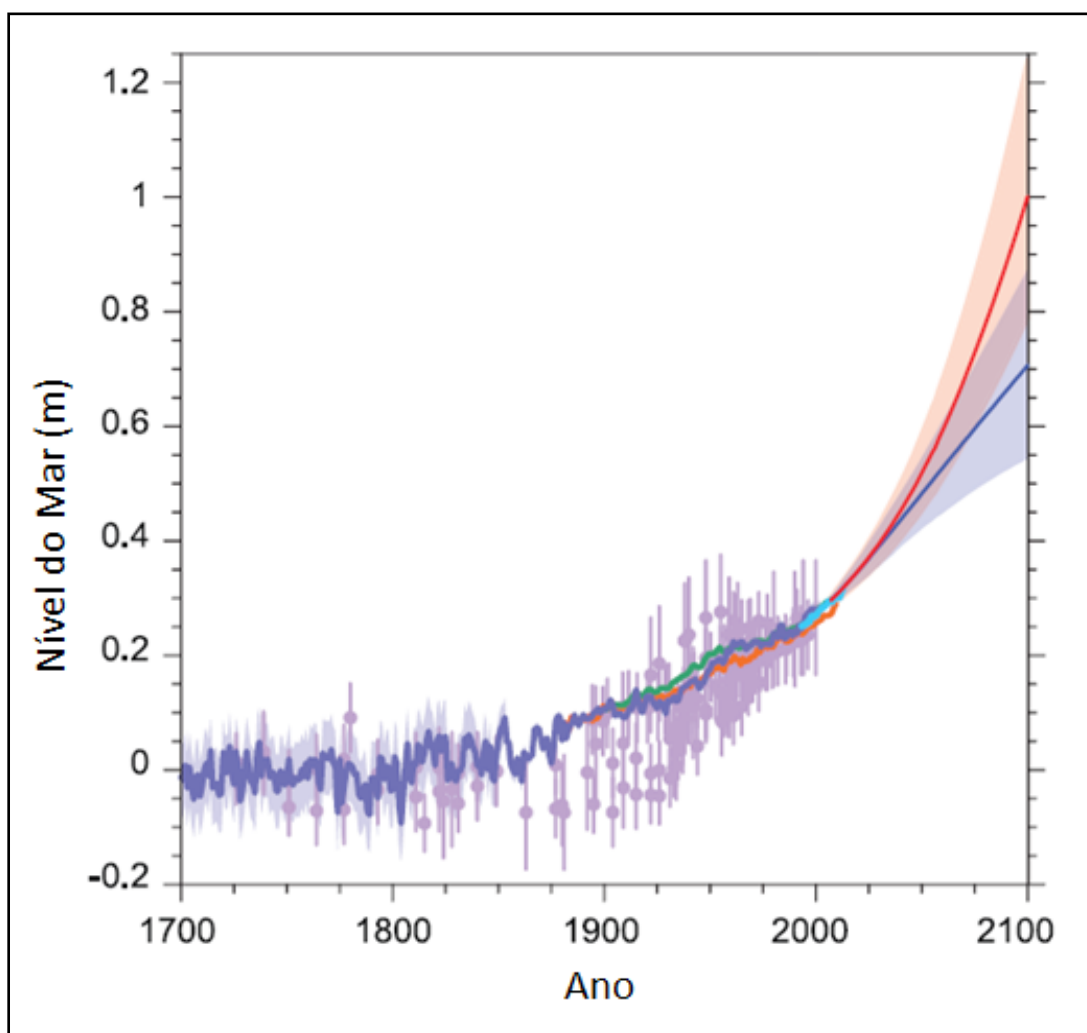


Figura 59: Compilação dos resultados de elevação do nível do mar global (IPCC, 2013).

Estas taxas foram utilizadas para estimar os valores de nível do mar em 5, 10, 25

e 50 anos. Os valores previstos de elevação (com base no nível atual) (Tabela 18) foram então somados aos de cota de inundação (CI) instantânea obtidos para cada cenário:

NM (5 anos) + CI (PR = 5 anos)

NM (10 anos) + CI (PR = 10 anos)

NM (25 anos) + CI (PR = 25 anos)

NM (50 anos) + CI (PR=50 anos)

Tabela 18: Valores de elevação do nível do mar utilizados no cálculo da cota de inundação para cada cenário proposto.

Cenário	Elevação do nível do mar (m)
5 anos	0,02
10 anos	0,04
25 anos	0,10
50 anos	0,20

Datum vertical

A verificação das áreas expostas à inundação na costa implica na utilização de uma base única de elevação de terreno que contenha dados de batimetria e topografia. No entanto, as duas bases (batimetria da DHN e as curvas de nível disponibilizadas pelo IPUF) utilizadas neste trabalho apresentam *datums* verticais distintos. O *datum* da DHN tem como referência o nível médio das mais baixas marés de sizígia. Já o *datum* utilizado como referência para os levantamentos do IPUF são de responsabilidade do IBGE e tem como referência o nível médio do mar, medido entre os anos de 1949 a 1957 em Imbituba. Isto implica em uma diferença entre os “zeros” das duas bases (Figura 60).

O valor da diferença entre os *datums* (ΔH) para a região de Florianópolis (SC) foi calculado no decorrer do projeto possibilitando a correção parcial de valores de batimetria ou topografia e, conseqüentemente uma aproximação para a união destas bases de dados, assumindo que o nível de referência não mudou. Entretanto salienta-se que dados

maregráficos preliminares, medidos neste projeto, mostram uma diferença de 0,12 m para o Nível de Redução (NR) medido pela DHN no ano de 1960. Sendo que a diferença entre os *datums* foi de 0,61m entre 1960 e 2014.

A metodologia aplicada consistiu na comparação entre dois RRNN (Referenciais de Nível) próximos através de um nivelamento geométrico: o RN-1 com base no *datum* da DHN e cota de 280,9 cm e o RN DS10 do IPUF que tem como base o *datum* do IBGE, o qual apresenta cota de 304,9 cm (Figura 60).

Com um nível ótico instalado entre os dois RRNN foi verificada a cota de elevação ($C_{DS10 \text{ Medido}}$) do RN DS10 em relação ao *datum* vertical da DHN, o qual apresentou uma cota de 366,10 cm. O ΔH foi então obtido a partir da diferença entre o valor medido ($C_{DS10 \text{ Medido}}$) e o valor informado na ficha descritiva ($C_{DS10 \text{ Informado}}$).

$$\Delta H = C_{DS10 \text{ Medido}} - C_{DS10 \text{ Informado}}, \quad (31)$$

Um contranivelamento foi efetuado para a comparação entre os resultados, adotando-se a seguinte tolerância para o erro de fechamento (E) entre os desníveis de ida e de volta, como sugerido na NORMAM-25/DHN:

$$E = 8 \text{ mm, para seções de nivelamento de até 1 km.}$$

O desnível a ser adotado (ΔH) foi igual à média aritmética entre os módulos dos desníveis de ida e de volta; mantendo-se o sinal do desnível de ida.

O valor de ΔH obtido foi de 61,3 cm. Isto significa que o *datum* do IBGE está aproximadamente 0,61m a cima do *datum* da DHN. De forma a aproximar os valores de elevação de terreno utilizados neste trabalho, o valor de ΔH foi somado aos valores das cotas de inundação calculadas antes da etapa descrita no próximo item (Figura 61).

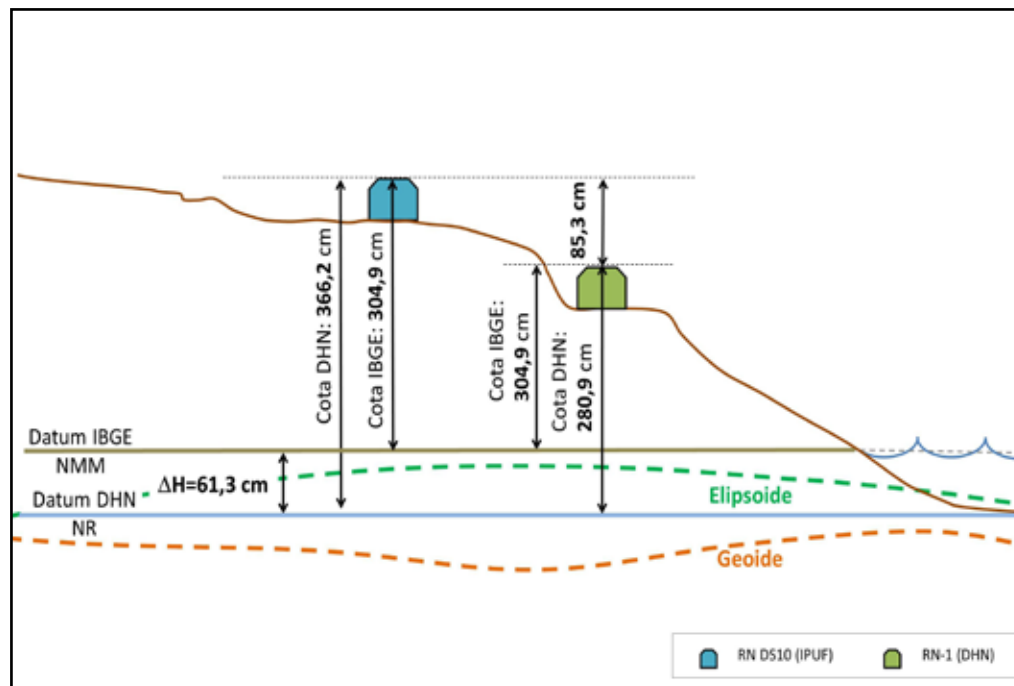


Figura 60: Metodologia de verificação da diferença vertical entre os datums da DHN e IBGE.

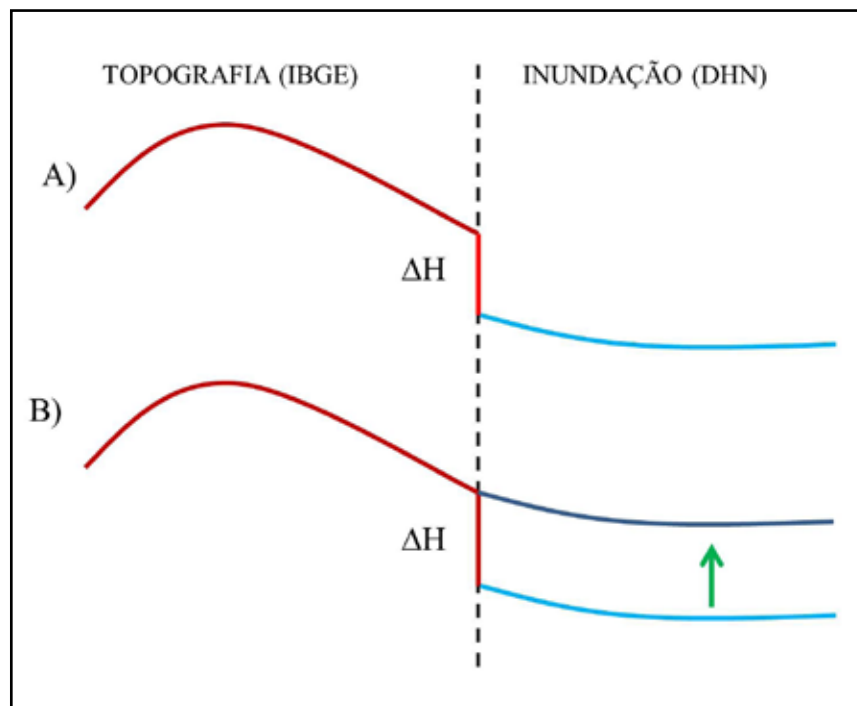


Figura 61: Representação da correção realizada nos dados de inundação.

Área exposta à inundação costeira

A exposição à inundação neste trabalho foi calculada com base nos valores de elevação do terreno das áreas adjacentes às praias. Consideraram-se expostas as áreas com valores topográficos menores que os valores de cota de inundação obtidos para os cenários propostos.

A obtenção dos valores topográficos utilizados na representação das áreas expostas a inundação se deu a partir do levantamento planialtimétrico do município de Florianópolis. Este levantamento foi realizado pelo IPUF e está em escala 1:2000, o mesmo apresenta curvas de nível em intervalo de 1 m (Figura 62).

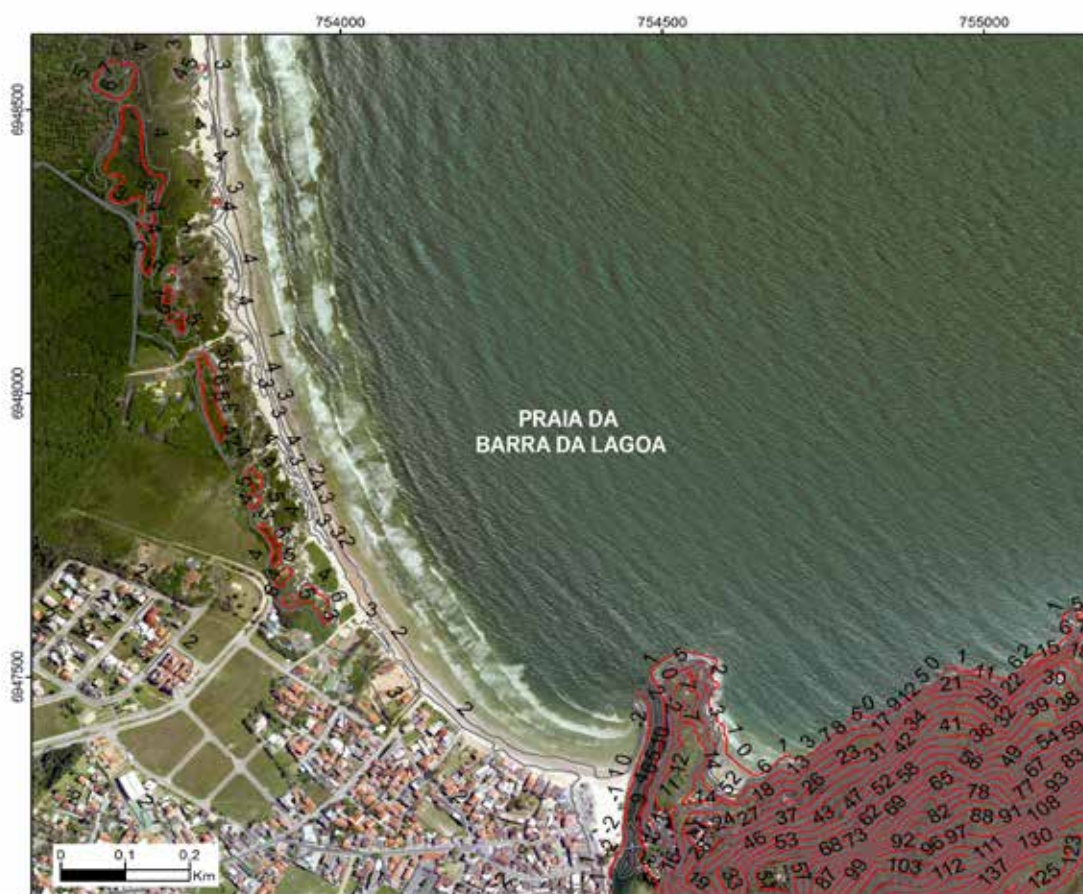


Figura 62: Curvas de nível utilizadas para comparação com os valores de cota de inundação na Praia da Barra da Lagoa. Números indicam a cota altimétrica de cada linha em relação ao nível médio do mar. Fonte: Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis – IPUF. Fotografia: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (SDS, 2010)

Tendo como base as curvas de níveis disponibilizadas pelo IPUF, a verificação das áreas expostas foi realizada por meio das seguintes etapas:

- O valor da diferença entre os *datums* (DHN x IBGE) foi somado aos valores obtidos de inundação;
- Foram consideradas expostas ao perigo de inundação as áreas adjacentes a costa com valores de cotas topográficas menores que a cota de inundação calculada.

Após o cálculo de todos os cenários, a representação na carta de exposição se deu conforme apresentado na Figura 63.

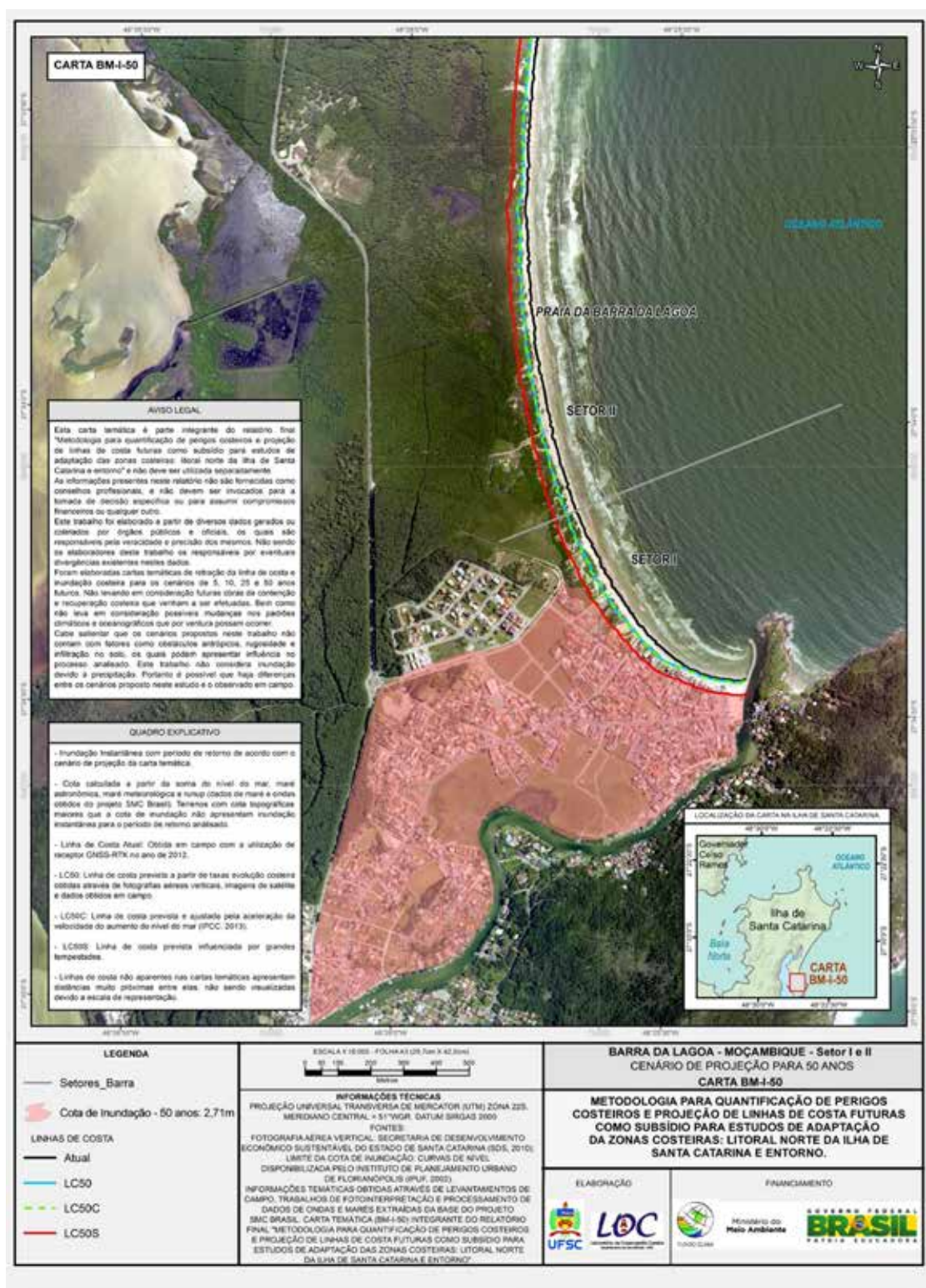


Figura 63: Exemplo de representação no mapa de exposição. Praia da Barra da Lagoa, Setor 1, linhas de costa e inundação previstas para 50 anos. Fotografia de fundo: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (SDS, 2010).

2.9. Identificação dos padrões de impactos causados pela sobre-elevação do nível do mar devido a eventos de alta energia sobre a praia e o sistema de dunas frontais.

O estudo e a previsão de impactos gerados por tempestades sobre praias arenosas são de extrema relevância para um entendimento aprofundado da dinâmica costeira e da evolução da linha de costa, sendo fundamental na aplicação de um efetivo gerenciamento costeiro (Ferreira, 2005). Normalmente tempestades representam o principal fator de controle do movimento da linha de costa em curta escala. No entanto, em alguns casos eventos de tempestades podem dominar completamente o padrão erosivo de uma praia em longa escala (BIRKEMEIER, 1979; CIAVOLA et al., 2007; CIAVOLA et al., 2015).

Como demonstrado pelas frequentes passagens de frentes frias sobre o litoral catarinense, a combinação de marés meteorológicas, ondas e ventos gerados por tempestades podem resultar em grandes prejuízos as infraestruturas e propriedades adjacentes à costa (NOBRE et al., 1986; CALLIARI et al., 1998; SARAIVA et al., 2003; OLIVEIRA et al., 2009; PARISE et al., 2009; MACHADO et al., 2010; CIAVOLA et al., 2015). Tempestades costeiras geralmente ocorrem em sequência acentuando ainda mais os danos sobre a costa, sendo que uma sucessão de eventos de menor energia pode causar maiores mudanças na configuração costeira do que um único evento de grande intensidade, não somente pelo tempo insuficiente de recomposição da costa entre os eventos, mas também pela ruptura de canais e da duna frontal durante o evento inicial (FERREIRA, 2005; CIAVOLA et al., 2015).

Segundo Sallenger (2000), o impacto de tempestade sobre a costa não é dependente apenas da magnitude dos parâmetros forçados pela tempestade, como maré meteorológica, onda e *runup*, mas também da morfologia, em especial das dimensões verticais da costa e das terras adjacentes.

Neste item foram avaliados os possíveis padrões de impactos causados pela sobre-elevação do nível do mar devido a eventos de alta energia sobre a praia e o sistema de dunas frontais, através da adaptação da escala de impactos gerados por tempestades sobre barreiras arenosas propostos por Sallenger (2000). O autor distingue a resposta da costa frente a eventos de tempestades em regime de espraiamento (*swash*), colisão (*collision*), sobrelavagem (*overwash*) e inundação (*inundation*). A delimitação entre cada regime é baseado na mais alta (R_{Max}) e mais baixa (R_{Min}) elevação vertical do nível da água mar em direção à costa (Figura 64).

Neste trabalho R_{Max} foi definido pelo somatório entre o *runup* ($R_{2\%}$), maré astronômica (MA) e maré meteorológica (MM). A fim de relacionar os impactos gerados por tempestades sobre a praia com os cenários propostos neste trabalho foram então somados os valores de elevação de nível do mar referentes a cada um dos cenários propostos (5, 10, 25 e 50 anos). Portanto para cada cenário foi obtido um valor de R_{Max} .

$$R_{Max} = CI, \quad (32)$$

Já R_{Min} representa a elevação abaixo da qual a praia é continuamente inundada e pode ser descrita como:

$$R_{Min} = R_{Max} - S_{2\%}, \quad (33)$$

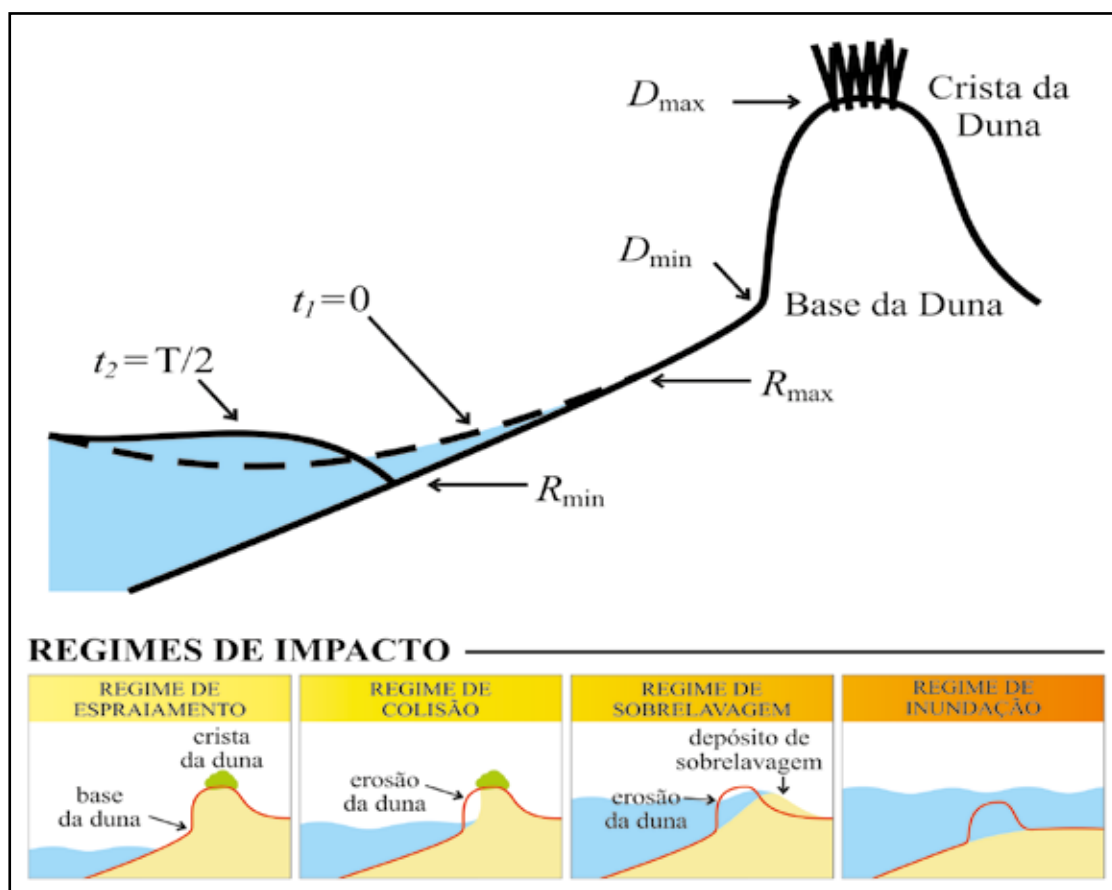


Figura 64: Definição esquemática das variáveis utilizadas na classificação dos impactos gerados pela sobrelevação do nível do mar devido a eventos de tempestades, adaptado de Sallenger (2000) e Ciavola et al. (2015).

Onde $S_{2\%}$ é a amplitude do *swash* proposto por Holman (1986), definido por:

$$S_{2\%} = H_s(0,85\xi_0 + 0,06), \quad (34)$$

O número de Iribarrem é definido por $\xi_0 = \beta/(H_s/L_0)^{1/2}$, onde β é a declividade do perfil praial, H_s é altura significativa de onda e L_0 é o comprimento da onda.

Para as praias abrigadas da área de estudo deste projeto a metodologia proposta por Sallenger (2000) foi adaptada. Devido às premissas computacionais do modelo SMC-Brasil não permitirem a propagação das ondas até as praias abrigadas da incidência de ondas, os valores de R_{Max} foram iguais às cotas de inundação (CI) calculadas através da adaptação da metodologia proposta por Carrasco et al. (2012). Nesta metodologia leva-se em consideração apenas a soma da maré astronômica e maré meteorológica. Da mesma forma como foi feita para as praias exposta os valores de elevação de nível do mar referentes a cada um dos cenários propostos (5, 10, 25 e 50 anos) foram somados a R_{Max} , a fim de relacionar os impactos gerados por tempestade sobre a praia com os cenários propostos neste estudo.

Já R_{Min} é definido como sendo a máxima amplitude da maré astronômica para cada período de retorno analisado somado a diferença entre os datums verticais do IBGE e DHN. Assim as praias abrigadas foram classificadas segundo o regime de impactos gerados pela subida do nível do mar e pela sobre-elevação induzida pelas marés meteorológicas. Os valores de R_{Max} e R_{Min} são apresentados na Tabela 19.

Tabela 19: R_{Max} e R_{Min} calculados a partir dos dados de maré astronômica e meteorológica.

Praias do Norte da Ilha de Santa Catarina e porção continental da área de estudo.				
Setor	PR(05)	PR(10)	PR(25)	PR(50)
RMax (m)	1,79	1,88	2,04	2,22
RMin (m)	1,16	1,19	1,27	1,39

As dimensões verticais da morfologia praial são representadas por D_{Max} e D_{Min} . Sendo D_{Max} a maior elevação da primeira “linha de defesa” do sistema praial, como por

exemplo a crista da duna frontal, ou quando esta não está presente a crista da berma ou outra feição existente (calçadões, enrocamentos, muros de contenção (*seawall*), etc). Em praias onde a duna frontal está presente D_{Min} é representado pela elevação da base da duna (ver Figura 64). Na sua ausência $D_{Min} = D_{Max}$. A aquisição dos valores de altura da crista e da base da duna frontal foi realizada através de perfis praias, levantados em campo no mês de Junho de 2013 (ver Item 2.6, Página 63). Cabe ressaltar que estes valores são referentes à topografia atual e que os resultados encontrados não contaram com valores previstos.

Para entender como R_{Max} e R_{Min} se relacionam com D_{Max} e D_{Min} Sallenger (2000) propôs quatro diferentes regimes de impactos gerados por tempestades, os quais são apresentados a seguir:

Regime de espraioamento (*Swash Regime*)

Neste regime o espraioamento da onda é confinado a zona intermarés não atingindo a base da duna frontal ou a berma e a razão R_{Max}/D_{Max} é menor que o limite crítico definido por:

$$R_{Max}/D_{Max} = D_{Min}/D_{Max}, \quad (35)$$

Sob estas condições o pós-praia é erodido e o sedimento é transportado em direção ao mar onde é depositado, para apenas retornar a praia emersa após o término da tempestade sob condições de menor energia. A recomposição do sistema praias pode levar entre semanas a meses e a resposta do perfil praias pode ser considerada como sendo a manifestação do sistema de transporte de sedimento transversal à costa (*cross-shore*), não existindo uma variação líquida do volume sedimentar da praia.

Regime de colisão (*Collision Regime*)

Em praias onde há a presença da duna frontal e R_{Max} é elevado, o *runup* irá eventualmente atingir a base da duna, forçando a sua erosão. O regime de colisão ocorre quando o limite crítico definido pela Equação 35 é excedido. Com a erosão da duna frontal, o sedimento é transportado tanto em direção ao mar quanto ao longo da costa, não retornando para reestabelecer a duna frontal. Portanto, para eventos de tempestades em

que o limite expressado na Equação 35 é excedido, a duna frontal apresenta erosão líquida. Em adição à perda de sedimento da duna frontal, o pós-praia é submetido às mesmas mudanças consideradas no regime de espraiamento.

Regime de sobrelavagem (*Overwash*)

Quando R_{Max} é maior que D_{Max} há a ocorrência de transposição do *runup* sobre a duna frontal (ou berma) durante eventos de alta energia, quando o limite critico, definido pela Equação 36 é excedido.

$$R_{Max}/D_{Max} = 1, \quad (36)$$

A Equação 36 define a diferença entre o regime de colisão ($R_{Max}/D_{Max} < 1$) e o regime de sobrelavagem ($R_{Max}/D_{Max} > 1$), sendo que na ausência de duna frontal $D_{Max} = D_{Min}$, a Equação 35 é equivalente a Equação 36 e não há o regime de colisão e a Equação 35 define o limite entre os regimes de espraiamento e sobrelavagem. Com a transposição do *runup* sobre a duna frontal o sedimento é transportado em direção a terra na forma de leques de sobrelavagem e assim como no regime de espraiamento, não retorna para recompor a duna em condições pós-tempestades causando a erosão líquida da duna frontal. No caso de ilhas barreiras o processo de sobrelavagem do sistema de dunas contribui para a migração da barreira em direção a terra.

Regime de inundação

Segundo Salleger (2000) quando o aumento do nível do mar induzido pela tempestade é suficiente para submergir completamente a duna frontal, esta região se torna diretamente impactada pelos processos gerados na zona de surfe. Este regime é definido quando:

$$R_{Min}/D_{Max} = 1, \quad (37)$$



3. Resultados e Discussão do Teste Metodológico

3.1. Precisão das bases cartográficas

Base cartográfica SPU

Foram feitas comparações entre coordenadas e identificação dos erros de posição entre as coordenadas obtidas em campo (receptor GNSS) e os dados cartográficos (carta digital) (Tabela 20). Para compatibilização dos sistemas de coordenadas, a base cartográfica vetorial disponibilizada pelo SPU foi reprojetada para Sirgas 2000 UTM 22S em um sistema de informação geográfica. Além disso, calculou-se também o somatório, a média, e o desvio padrão dos erros para cada direção (norte-sul e leste-oeste). O relatório técnico RT_MMA_Riscos_2013_18 (APÊNDICE B) apresenta as coordenadas obtidas no rastreo em campo dos pontos de apoio selecionados da base SPU.

Analisando o valor do somatório dos resíduos nas componentes norte e leste, notou-se que na primeira direção o somatório apresentou um valor de -27,33 metros, com média de -1,14 m, e na componente leste foram encontrados valores de -25,74 m, com média de -1,07 m. Os valores dos somatórios deveriam tender a zero, apresentando uma tendência central correspondente a distribuição normal. Neste caso, o comportamento destes resíduos caracterizou a presença de erros grosseiros ou erros sistemáticos, ou ambos no rastreo dos pontos de aferição.

Na aplicação dos testes de hipótese para avaliação da qualidade geométrica das cartas, baseado na distribuição normal, há necessidade de que os resíduos contenham somente erros aleatórios. Portanto, foi preciso eliminar, dentro de um intervalo de aceitação, os erros grosseiros e sistemáticos (ROCHA, 2002).

Aplicando a Equação 2 (página 40) obteve-se os valores de erros grosseiros e os pontos que apresentaram diferenças maiores que esses valores foram confirmados em campos, ou seja, os pontos que obtiveram diferença entre coordenadas do campo e da base maiores que três vezes o erro padrão foram rastreados novamente em campo, para confirmação dos resultados. Novos levantamentos foram realizados, com rastreo de sete pontos nomeados de: PA01B, PA012B, PA015B, PA018B, PA022B, PA024B, PA027B.

Comparando os pontos do primeiro rastreo com os pontos do segundo, verificou-se que as diferenças foram menores, variando de próximo de 0,00 a 0,25 m, confirmando os valores obtidos no primeiro rastreo. Desta forma, concluiu-se que os somatórios de cada componente (norte e leste) não tenderam a zero para a base SPU. O relatório técnico RT_MMA_Riscos_2012_18 (APÊNDICE B) apresenta os cálculos com as coordenadas obtidas em campo no novo rastreo.

Para a diferença na direção leste, verificando as diferenças obtidas, optou-se por excluir o ponto PA001 devido ao seu erro positivo, destoando do conjunto de pontos que apresentou erro negativo. Após essa exclusão verificou-se a possibilidade de um erro sistemático de aproximadamente -1,611 m (para leste). Descontando esse valor dos pontos restantes, notou-se que o somatório das diferenças e a média das diferenças tenderam a zero.

Seguindo a mesma metodologia para a direção norte, foram excluídos os pontos PA002 e PA028, descontou-se o valor da média das diferenças e novamente obteve-se somatório e média próximos de zero. Analisando as resultantes, foi possível indicar a precisão da base cartográfica disponibilizada pela SPU.

Desta forma, dos 20 pontos restantes (Tabela 21) e seguindo o PEC para que 90% dos pontos bem definidos numa carta apresentem erro menor que PEC estabelecido, concluiu-se que a base cartográfica da SPU apresenta imprecisão de 2,54 m (não estando dentro das três classes pré-estabelecidas A, B e C, Tabela 22).

Tabela 20: Cálculos das diferenças dos pontos rastreados em campo e das coordenadas da base SPU. Unidades em metros.

Ponto	Leste base	Norte base	Leste campo	Norte campo	Diferença Leste	Diferença Norte	Resultante
PA001	737994,6934	6963977,383	737998,253	6963975,094	3,55957	-2,28867	4,23185
PA002	738002,9634	6963781,123	738001,523	6963775,297	-1,44037	-5,82568	6,00110
PA003	738181,3934	6963759,073	738178,941	6963757,546	-2,45236	-1,52662	2,88871
PA004	734739,8733	6963362,924	734738,764	6963362,642	-1,10934	-0,28172	1,14455
PA005	734615,1733	6963184,094	734614,136	6963183,406	-1,03729	-0,68777	1,24459
PA008	734063,1328	6961560,504	734062,815	6961561,139	-0,31780	0,63501	0,71009
PA009	733993,3928	6961414,714	733992,855	6961413,778	-0,53775	-0,93602	1,07950
PA010	733353,0024	6960200,674	733353,28	6960199,904	0,27761	-0,77026	0,81876
PA011	733370,1723	6960056,644	733369,693	6960057,827	-0,47935	1,18274	1,27619
PA012	733351,7022	6959639,344	733351,204	6959635,684	-0,49822	-3,66028	3,69403
PA013	732373,8142	6957514,356	732371,592	6957512,917	-2,22223	-1,43885	2,64738
PA014	732578,7449	6957357,347	732576,791	6957355,522	-1,95389	-1,82518	2,67376
PA015	731925,2015	6957132,635	731931,148	6957132,49	5,94651	-0,14482	5,94827
PA016	731936,0145	6956435,436	731935,364	6956432,779	-0,65053	-2,65646	2,73495
PA017	732506,4912	6956329,545	732505,189	6956327,664	-1,30222	-1,88067	2,28751
PA018	733227,1811	6956207,845	733224,106	6956205,8	-3,07515	-2,04445	3,69274
PA019	733168,7211	6956065,595	733166,532	6956061,987		Excluído	
PA021	732984,511	6955834,395	732983,134	6955831,92	-1,37704	-2,47454	2,83189
PA022	733482,0708	6955128,684	733479,086	6955126,317	-2,98480	-2,36741	3,80968
PA023	733121,214	6954785,571	733119,575	6954783,148	-1,63904	-2,42315	2,92542
PA024	733629,1305	6954113,424	733626,086	6954110,845	-3,04448	-2,57941	3,99026
PA025	733835,6899	6952396,634	733833,234	6952396,814	-2,45593	0,17958	2,46248
PA026	734779,6096	6951582,794	734777,646	6951583,997	-1,96363	1,20284	2,30275
PA027	735306,2494	6951007,254	735302,525	6951009,075	-3,72442	1,82098	4,14575
PA028	735240,2991	6950088,784	735239,041	6950092,244	-1,25813	3,45991	3,68156
Somatório					-25,74028	-27,33090	69,22376
Média					-1,07251	-1,13879	2,88432
Desvio padrão					2,08722	1,96513	1,44592
Gama					-1,94610	-1,72563	0,50130
Resultante						1,56433	

Tabela 21: Análise das resultantes em ordem crescente, base cartográfica SPU. Unidades em metros.

Nome do ponto de apoio	Resultante
PA-013	0,6983
PA_005	0,7070
PA-014	0,8015
PA-017	0,8391
PA_003	0,9428
PA_004	0,9605
PA_009	1,0861
PA023	1,3229
PA021	1,3938
PA025	1,5337
PA_018B	1,7377
PA_022B	1,7637
PA-016	1,8286
PA_024B	1,8559
PA-010	1,9176
PA_008	2,1646
PA026	2,3302
PA-011	2,5485 (PEC)
PA_012B	2,6547
PA_027B	3,7734

Tabela 22: Classificação cartográfica de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) brasileiro, para escala de 1:2.000.

Escala	Classe A	Classe B	Classe C
1:2.000	1,00 m	1,60 m	2,00 m
	0,5 mm	0,8 mm	1,0 mm
	na escala da carta	na escala da carta	na escala da carta

Base cartográfica IPUF

Foram rastreados 29 pontos de apoio em campo, sendo a estação base localizada no ponto de apoio criado no Laboratório de Oceanografia Costeira (base LOC) na Estação de Maricultura “Elpídio Beltrame”, localizada no Bairro Barra da Lagoa, pertencente à Universidade Federal de Santa Catarina. O relatório técnico RT_MMA_Riscos_2012_23 (APÊNDICE B) apresenta os pontos rastreados em campo e o desvio padrão, indicando a qualidade do dado (que deve ser menor que 0,33 m, ROCHA, 2002).

As coordenadas foram retiradas da base cartográfica vetorial disponibilizada pelo IPUF. Assim como foi realizado para a base da SPU, a base do IPUF foi reprojetada para Sirgas 2000 UTM 22S em um sistema de informação geográfica. Depois de compatibilizados os sistemas de referência (Datum horizontal), foram realizados os cálculos de comparação das coordenadas, apresentados na Tabela 23.

O valor do somatório dos resíduos na componente norte apresentou um valor de +117,75 m, com média +4,20 m, e na componente leste -28,14 m, com média de 1,00 m, o que evidenciou a presença de erros sistemáticos e/ou grosseiros.

Foi realizada a verificação dos erros grosseiros através da Equação 2, que neste caso são valores maiores que +1,62 m leste e +7,39 m norte ou menores que -3,65 m e +1,05 m norte. Apenas o PA022 apresentou valores fora deste intervalo e foi excluído dos cálculos nesta etapa, indicando problema no rastreamento ou erro em alguma outra etapa do processo.

Buscando entender as diferenças encontradas (aproximadamente +4,20 m na direção norte e +1 m na direção leste) foi realizada uma revisão dos sistemas de coordenadas usados. As cartas originais do IPUF foram feitas no sistema de referência (Datum horizontal): SAD 69, com ajustamento anterior a 1996, no entanto, no SIG utilizado estava disponível apenas o sistema de referência SAD 69 depois do ajustamento realizado no ano de 1996, gerando um deslocamento na base.

Foram checadas então as diferenças entre esses dois sistemas de referência utilizando-se o aplicativo gratuito ProGrid para conversão de coordenadas, versão 1.1 (Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/param_transf/default_param_transf.shtm). As diferenças encontradas foram: -0,706 m na direção leste e 4,799 m na direção norte.

Tabela 23: Resultados da diferença entre pontos da base cartográfica digital IPUF (2002/2003) e pontos rastreados em campo. Unidades em metros.

Ponto	Leste base	Norte base	Leste campo	Norte campo	Diferença Leste	Diferença Norte	Resultante
PA_001	752153,266	6963674,008	752154,132	6963669,195	-0,86566	4,81277	4,89000
PA_002	753735,585	6947150,195	753736,447	6947146,608	-0,86222	3,58684	3,68902
PA_003	751668,308	6963665,674	751669,244	6963661,395	-0,93591	4,27881	4,37997
PA_004	754110,321	6947188,184	754111,297	6947184,398	-0,97621	3,78597	3,90980
PA_005	750640,876	6963499,270	750641,124	6963495,034	-0,24842	4,23588	4,24316
PA_006	749824,784	6963611,559	749825,162	6963607,274	-0,37795	4,28519	4,30182
PA_007	750093,871	6963181,469	750094,280	6963176,978	-0,40879	4,49127	4,50984
PA_008	749264,282	6963029,198	749264,677	6963024,396	-0,39477	4,80198	4,81818
PA_009	748640,692	6962414,674	748640,530	6962410,142	0,16241	4,53170	4,53461
PA_010	748895,882	6962400,157	748895,870	6962395,231	0,01243	4,92584	4,92586
PA_011	748083,617	6962388,553	748083,994	6962383,770	-0,37728	4,78311	4,79797
PA_012	744861,881	6961849,153	744861,573	6961844,659	0,30848	4,49449	4,50506
PA_013	745581,842	6963280,740	745582,050	6963276,938	-0,20754	3,80199	3,80765
PA_014	746239,771	6962882,136	746240,702	6962877,665	-0,93082	4,47097	4,56684
PA_015	747732,407	6962518,075	747732,407	6962513,395	0,00035	4,68046	4,68046
PA_016	752804,774	6963922,793	752805,588	6963918,506	-0,81414	4,28747	4,36408
PA_017	753290,503	6964174,589	753290,955	6964169,590	-0,45183	4,99864	5,01902
PA_018	754273,663	6964857,331	754276,264	6964853,031	-2,60150	4,30014	5,02583
PA_019	759281,397	6961564,785	759283,046	6961560,434	-1,64909	4,35079	4,65284
PA_020	755031,945	6967729,205	755034,628	6967724,919	-2,68286	4,28594	5,05638
PA_021	754524,369	6954620,847	754526,160	6954617,268	-1,79073	3,57946	4,00241
PA_022	758999,569	6959543,787	759001,901	6959544,506	-2,33183	-0,71907	2,44018
PA_024	757045,780	6963570,617	757047,381	6963566,851	-1,60113	3,76631	4,09252
PA_025	758118,624	6962339,518	758121,503	6962334,462	-2,87881	5,05633	5,81842
PA_026	759148,499	6961282,109	759150,072	6961276,926	-1,57285	5,18330	5,41668
PA_027	754448,295	6954899,247	754449,502	6954895,234	-1,20680	4,01254	4,19009
PA_028	755714,499	6966366,271	755715,501	6966361,767	-1,00171	4,50426	4,61430
PA_029	755452,636	6967202,115	755454,096	6967197,931	-1,46001	4,18419	4,43160
Somatório					-28,14517	117,75757	
Média					-1,00518	4,20563	
Desvio padrão					0,87864	1,05750	

Como tentativa de diminuição dos resíduos encontrados, esse erro referente às mudanças de coordenadas foi descontado (ver RT_MMA_Riscos / 2012-23, APÊNDICE B).

Os cálculos foram refeitos, considerando agora as coordenadas da base corrigidas do erro de transformação entre os sistemas SAD 69 (antes de 1996) e SAD 69 (depois de 1996). Os novos resultados comprovaram que os valores encontrados como resíduos eram em parte devido a esse erro (Tabela 24)

Para análise dos resultados, os dados foram organizados em ordem crescente da coluna resultante e optou-se por excluir o ponto PA025, que destoava dos demais valores. Desta forma, restaram 26 pontos que analisados permitiram a indicação da classe da base IPUF (Tabela 24).

De acordo com o PEC, considerando que 90% dos pontos bem definidos numa carta devem ter erro menor que PEC estabelecido, concluiu-se que a base cartográfica do IPUF é classificada como B. O PEC é 1,63 m, que corresponde a 0,8 mm na escala da carta (1:2.000).

Tabela 24: Resultantes em ordem crescente obtidas das coordenadas corrigidas, Base IPUF. Unidades em metros.

$X_{campo} - X_{baseCORR}$	$Y_{campo} - Y_{baseCORR}$	Resultante	Nome
-0,1597	0,0138	0,1603	PA001
0,3112	0,0030	0,3112	PA008
0,2542	0,1996	0,3232	PA017
0,3287	-0,0159	0,3291	PA011
-0,2248	-0,3280	0,3977	PA014
-0,2957	-0,2947	0,4175	PA028
0,2972	-0,3077	0,4278	PA007
-0,1081	-0,5115	0,5228	PA016
-0,2299	-0,5202	0,5687	PA003
0,3281	-0,5138	0,6096	PA006
0,7064	-0,1185	0,7162	PA015
0,4576	-0,5631	0,7256	PA005
0,7184	0,1268	0,7295	PA010
0,8684	-0,2673	0,9086	PA009
-0,5008	-0,7865	0,9324	PA027

Tabela 24 (CONTINUAÇÃO): Resultantes em ordem crescente obtidas das coordenadas corrigidas, Base IPUF. Unidades em metros.

$X_{camno} - X_{baseCORR}$	$Y_{camno} - Y_{baseCORR}$	Resultante	Nome
-0,8668	0,3843	0,9482	PA026
-0,7540	-0,6148	0,9729	PA029
-0,9431	-0,4482	1,0442	PA019
-0,2702	-1,0130	1,0484	PA004
1,0145	-0,3045	1,0592	PA012
0,4985	-0,9970	1,1147	PA013
-0,1562	-1,2122	1,2222	PA002
-0,8951	-1,0327	1,3666	PA024
-1,0847	-1,2195	1,6322	PA021 (PEC)
-1,8955	-0,4989	1,9600	PA018
-1,9769	-0,5131	2,0424	PA020
-2,1728	0,2573	2,1880	PA025 (excluído)
-4,5785	-11,3537	22,4913	Somatório
-0,1761	-0,4367	0,8651	Média
0,7792	0,4280	0,4927	Desvio padrão

3.2. Taxa de evolução costeira – TEC

No relatório técnico RT_MMA_Riscos / 2014-28 (APÊNDICE B) os resultados são apresentados para cada praia e ao final para a faixa de areia da Lagoa da Conceição (Avenida das Rendeiras) e para o aterro da Beira-mar (Av. Beira-Mar Norte), assim como as taxas de variação da linha de costa para cada transecto de todas as praias estudadas, apresentadas em metros/ano. Na Tabela 25 é apresentado um diagnóstico da situação das praias estudadas.

Diagnóstico da situação das praias

A Tabela 25 mostra resumidamente a situação das praias na área de estudo, apresentando a percentagem de linha de costa em retração e em progradação para

cada praia. O mesmo resultado pode ser visto na Figura 65, onde estão apresentadas as porcentagens de cada praia em retração, progradação e estabilidade.

Tabela 25: Resumo da situação das praias da área de estudo comprimento da linha e porcentagem da linha de costa em retração ou progradação para cada praia.

Praias	Comprimento total (m)	Média (m)	Retração (m)	Estabilidade (m)	Progradação (m)	Retração (%)	Estabilidade (%)	Progradação (%)
Barra da Lagoa/ Moçambique	12487,75	-0,32±0,18	8365,15	4122,60	0,00	66,99	33,01	0,00
Santinho	1989,28	+0,25±0,16	270,56	513,89	1204,83	13,60	25,83	60,57
Ingleses	5226,21	-0,49±0,16	5226,21	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00
Brava	1620,15	-0,06±0,16	451,96	937,08	231,12	27,90	57,84	14,26
Lagoinha	935,17	-0,02±0,16	192,93	742,24	0,00	20,63	79,37	0,00
Ponta das Canas	2467,71	+0,02±0,14	595,59	0,00	1872,13	24,14	0,00	75,86
CBJ e Canasvieiras	4939,15	-0,12±0,16	3936,71	254,88	747,56	79,70	5,16	15,14
Canasjurê	1073,22	-0,12±0,21	0,00	663,36	409,87	0,00	61,81	38,19
Jurerê	3563,38	-0,32±0,20	3563,38	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00
Forte	966,97	+0,44±0,14	50,37	272,60	644,00	5,21	28,19	66,60
Daniela	3393,02	+0,06±0,21	956,65	93,37	2342,99	28,19	2,75	69,06
Caieira	221,38	+0,04±0,23	0,00	221,38	0,00	0,00	100,00	0,00
Anhatomirim	1881,04	-1,05±0,23	1881,04	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00
São Miguel	1600,38	-0,02±0,23	343,63	1256,75	0,00	21,47	78,53	0,00
Praia do Oscar	517,63	-0,18±0,23	238,22	279,42	0,00	46,02	53,98	0,00
Pitangueiras	985,67	-0,16±0,23	432,39	553,29	0,00	43,87	56,13	0,00
Praia do Rabelo	1477,47	+0,34±0,23	0,00	536,03	941,44	0,00	36,28	63,72
Lagoa da Conceição (Praia das Rendeiras)	2330	-0,03±0,15	300,69	1882,69	146,61	12,91	80,80	6,29
Total da Linha de costa	47675,58		26805,48	12329,58	8540,55	56,22	25,86	17,91

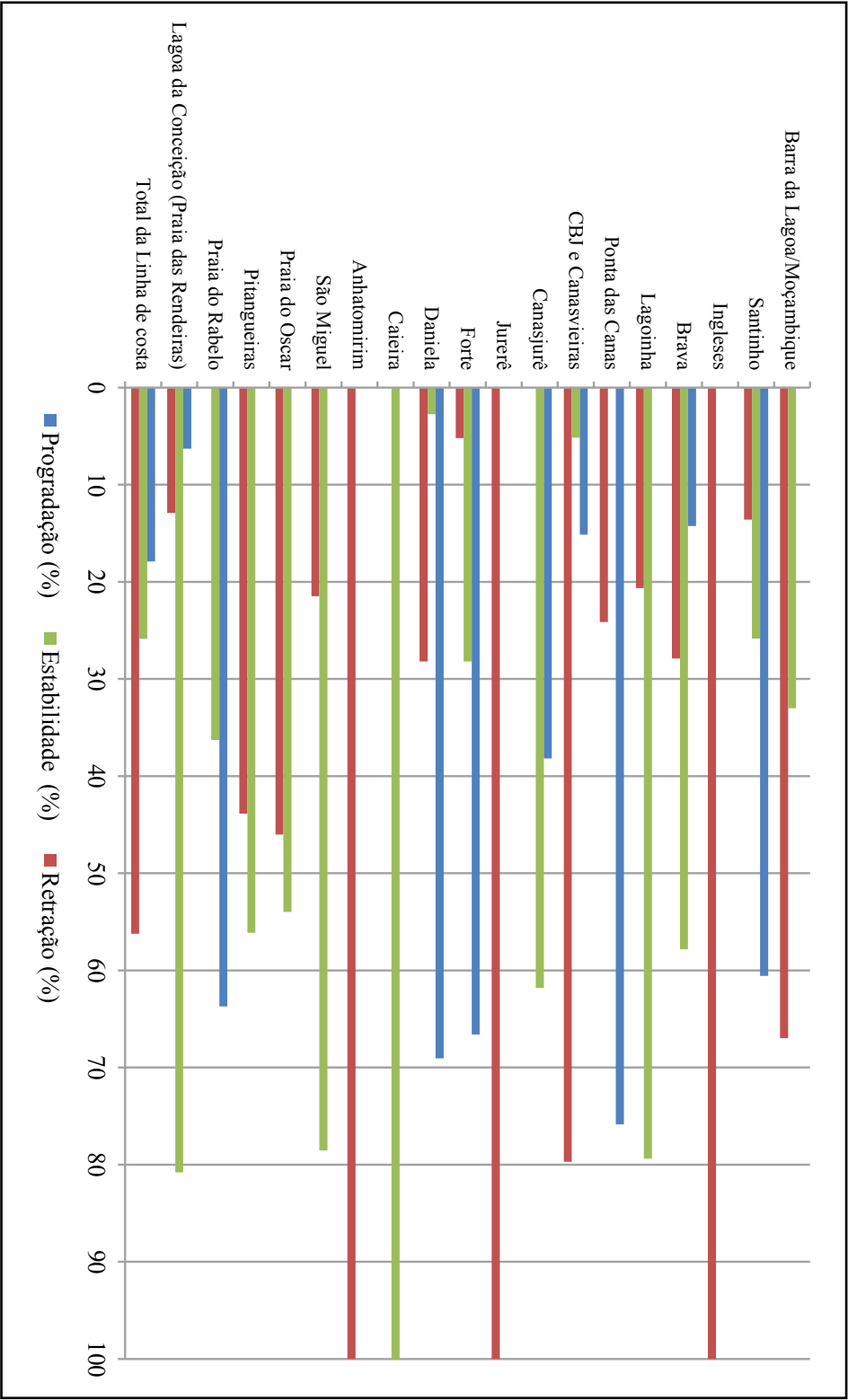


Figura 65: Diagnóstico das praias estudadas. Porcentagem da linha de costa em retração, estabilidade ou progradação para cada praia.

Nota-se que as praias de Ingleses, Jurerê e Anhatomirim foram as praias que apresentaram maiores porcentagem de linha de costa em retração, com 100% de taxas de evolução costeira negativas.

Para melhor visualização, os gráficos apresentados no relatório técnico RT_MMA_Riscos / 2014-28 para cada praia foram feitos em escalas diferentes, entretanto estes dificultam a comparação das taxas de variação da linha de costa entre as praias. A Tabela 26 mostra as taxas médias, mínimas e máximas e a incerteza do método para cada praia, assim pode-se comparar esses valores entre as diversas praias da área de estudo. Esses resultados também são apresentados na Figura 66.

Tabela 26: Resumo das taxas de variação da linha de costa obtidas para as praias da área de estudo.

Praias	Taxa de variação da linha de costa (m/ano)			
	Mínima	Média	Máxima	Incerteza
Barra da Lagoa	-1,51	-0,32	0,43	±0,18
Santinho	-0,48	0,25	0,94	±0,16
Ingleses	-0,75	-0,49	-0,35	±0,16
Brava	-0,35	-0,06	0,47	±0,16
Lagoinha	-0,34	-0,02	0,13	±0,16
Ponta das Canas	-4,01	0,02	4,11	±0,14
CBJ e Canasvieiras	-0,52	-0,12	1,53	±0,16
Canasjurê	-0,41	-0,12	0,1	±0,21
Jurerê	-0,43	-0,32	-0,13	±0,20
Forte	-0,45	0,44	1,47	±0,14
Daniela	-1,94	0,06	1,88	±0,21
Caieira	-0,01	0,04	0,09	±0,23
Anhatomirim	-1,42	-1,05	-0,56	±0,23
São Miguel	-0,33	-0,02	0,27	±0,23
Praia do Oscar	-0,31	-0,18	-0,03	±0,23
Pitangueiras	-0,42	-0,16	0,04	±0,23
Praia do Rabelo	0,02	0,35	0,79	±0,23
Lagoa da Conceição (Praia das Rendeiras)	-0,25	-0,03	0,16	±0,15

Analisando a Figura 66, pode-se identificar as praias com maiores médias de variações da posição da linha de costa no período analisado (1957 a 2012). A praia que apresentou a maior taxa média de retração foi a Praia de Anhatomirim ($-1,05 \pm 0,23$ m/ano). Essa praia é seguida por Ingleses, Barra da Lagoa e Jurerê, com taxas médias de $-0,49 \pm 0,16$ m/ano, $-0,32 \pm 0,18$ m/ano e $-0,32 \pm 0,20$ m/ano, respectivamente. As maiores taxas médias positivas, indicando progradação média da linha de costa, foram encontradas para as praias do Forte ($0,44 \pm 0,14$ m/ano), Rabelo ($0,35 \pm 0,23$ m/ano) e Santinho ($0,25 \pm 0,16$ m/ano).

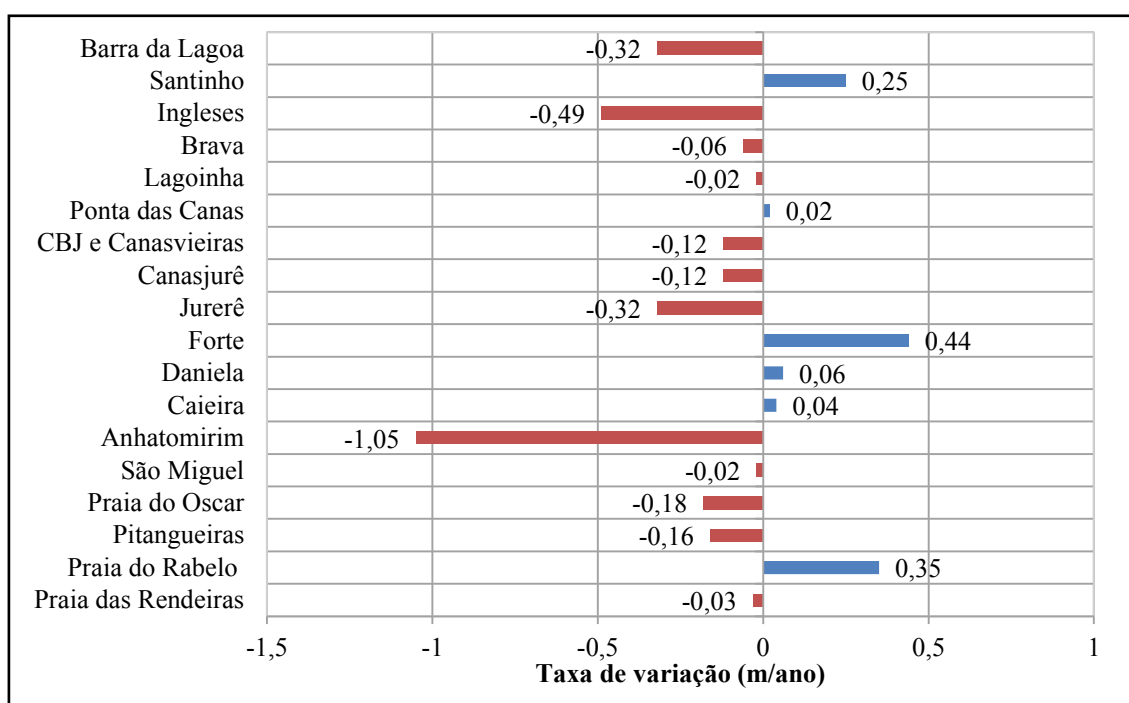


Figura 66: Taxas médias de variação da linha de costa obtidas para cada praia em metros/ano.

A Figura 67 mostra taxas de variação mínimas e máximas encontradas para cada praia. Nota-se que as praias de Ponta das Canas, Forte e Daniela foram as que apresentaram as maiores variações entre mínimas e máximas, podendo indicar maior mobilidade dessas praias ao longo dos anos analisados.

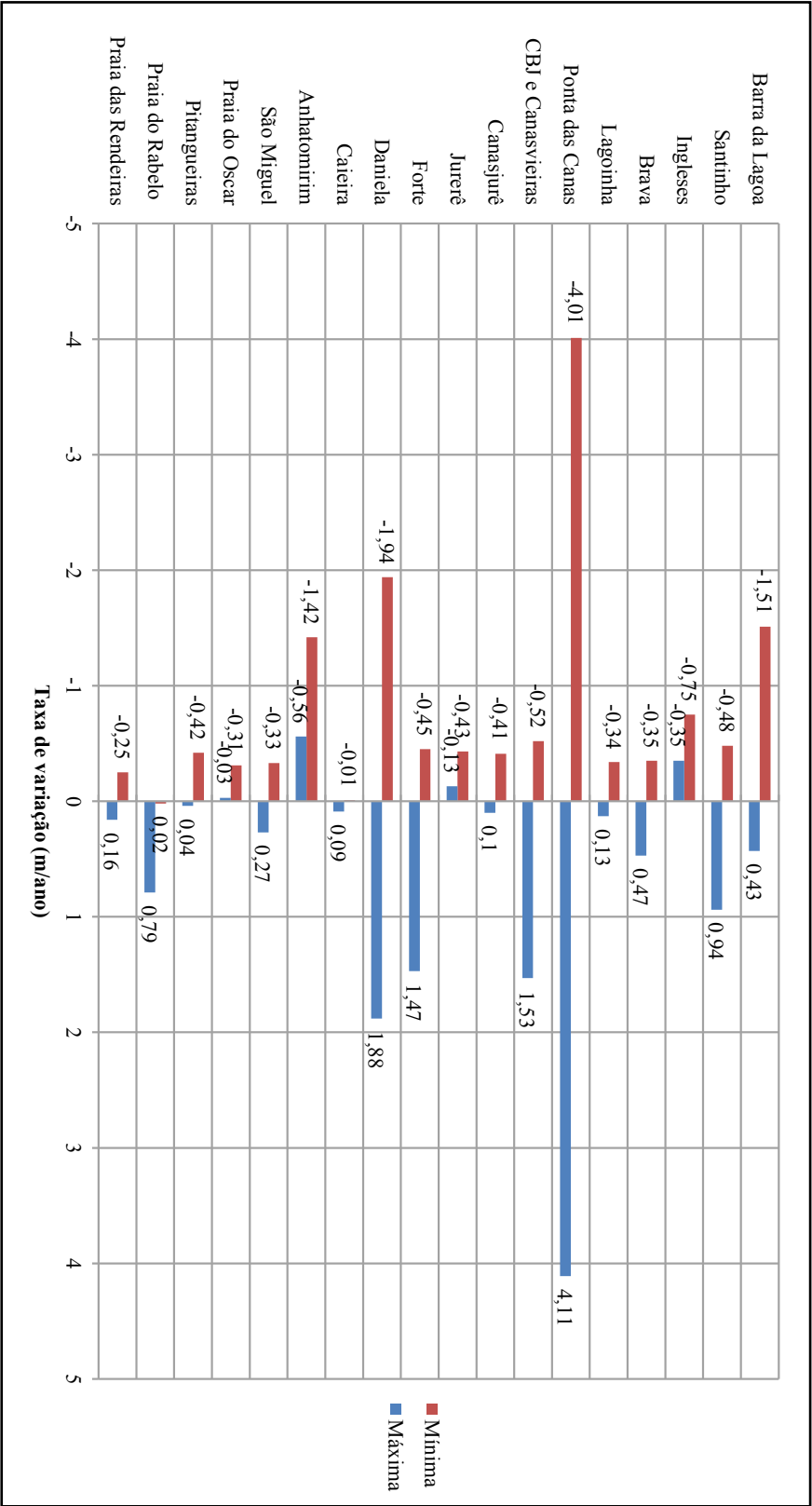


Figura 67: Taxas de variação da linha de costa mínimas e máximas obtidas para cada praia em metros/ano.

Beira-mar Norte

Por se tratar de uma área com grande influência antrópica, construída sobre um aterro feito na década de 1960 e posteriormente ampliada através de um segundo aterro na década de 1980 para a construção da Av. Beira-Mar Norte (CUNHA, 2005), esta foi analisada separadamente.

A Figura 68 apresenta as linhas de costa, cujo indicador foi a linha d'água, dos diferentes anos analisados e os transectos traçados a cada 50 m, para cálculo das distâncias da linha de costa à linha base e assim calcular a taxa de evolução costeira para esta área.



Figura 68: Aterro da Av. Beira-Mar Norte. Linhas de costa em análise representadas em diferentes cores e transectos perpendiculares à linha de costa traçados a cada 50 m. Fotografia de fundo: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (SDS, 2010).

As taxas de variação da linha de costa para a faixa de areia da Av. Beira-Mar Norte podem ser observadas na Tabela 27 e na Figura 69, apresentadas em metros/ano.

No período analisado observou-se progradação da linha de costa com taxas de até $3,57 \pm 0,20$ m/ano. A maior variação foi encontrada entre os anos de 1957 a 1978 e 1978 a 1998, quando os aterros foram construídos (Figura 70).

De 1957 a 1978 observou-se um aumento de terras úteis de aproximadamente $35 \pm 4,2$ m, no período subsequente de 1978 a 1998 esse aumento foi de cerca de $45 \pm 4,0$ m. Nos períodos seguintes a progradação artificial foi menor, de até $20 \pm 2,4$ m aproximadamente (1998 a 2010).

Tabela 27: Taxas de variação da linha de costa da Av. Beira-Mar Norte. Transectos a cada 50 m, 06 a leste e 39 a oeste. Valores positivos indicam progradação e negativos indicam retração.

Transecto	Taxa de variação (m/ano)	Média Móvel (m/ano)
	LRR	LRR
2	1,07	1,37
3	1,66	1,52
4	1,83	1,78
5	1,85	1,92
6	2,09	2,03
7	2,16	2,15
8	2,20	2,21
9	2,26	2,27
10	2,35	2,35
11	2,43	2,61
12	3,05	3,02
13	3,57	3,13
14	2,78	2,86
15	2,23	2,33
16	1,99	2,03
17	1,87	1,92
18	1,91	1,90
19	1,91	1,89

Tabela 27 (CONTINUAÇÃO): Taxas de variação da linha de costa da Av. Beira-Mar Norte. Transectos a cada 50 m, 06 a leste e 39 a oeste. Valores positivos indicam progradação e negativos indicam retração.

Transecto	Taxa de variação (m/ano)	Média Móvel (m/ano)
	LRR	LRR
20	1,85	1,73
21	1,44	1,64
22	1,62	1,62
23	1,79	1,79
24	1,97	2,03
25	2,34	2,36
26	2,77	2,83
27	3,38	3,10
28	3,14	2,97
29	2,39	2,55
30	2,12	2,15
31	1,94	1,93
32	1,74	1,76
33	1,59	1,59
34	1,43	1,44
35	1,29	1,32
36	1,23	1,12
37	0,83	1,03
Mínima	0,83	
Máxima	3,57	
Média	2,06	

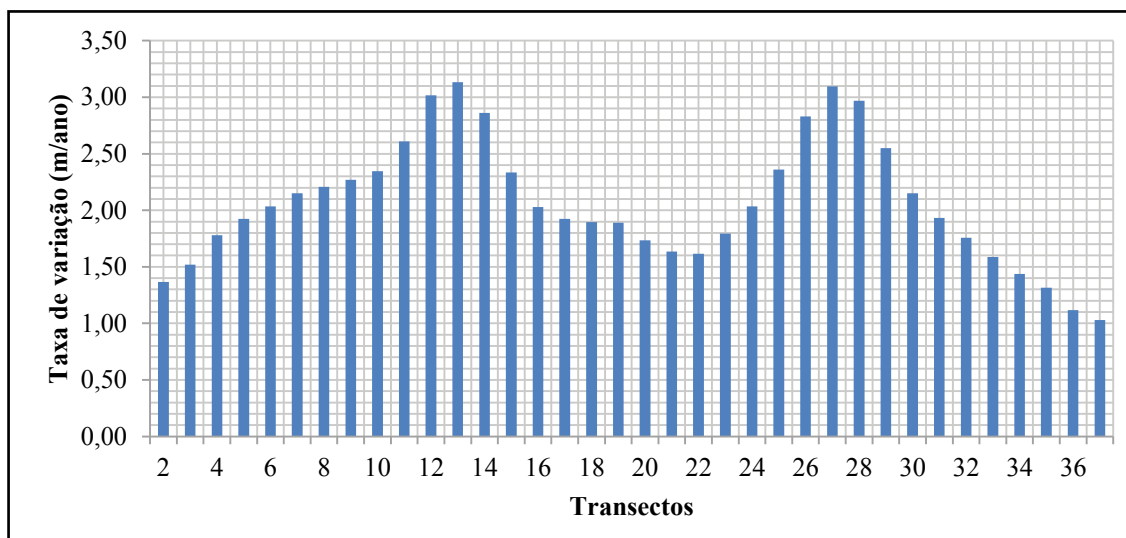


Figura 69: Taxas de variação da linha de costa da Av. Beira-mar norte. Transecto 06 a leste da praia e transecto 39 a oeste.

Esses resultados podem ser visualizados na Figura 70 que apresenta em diferentes cores as áreas adquiridas em três períodos dentro do intervalo de fotografias aéreas e imagens de satélites disponíveis e a Figura 71 apresenta a área em metros quadrados para cada período.

De acordo com o Decreto-lei nº 9.760, de 5 de setembro de 1946, ora em vigor, estabelecido, em seu artigo 3º:

“São terrenos acrescidos de marinha os que se tiverem formado, natural ou artificialmente, para o lado do mar ou dos rios e lagoas, em seguimento aos terrenos de marinha”.

Portanto, a área reputada originalmente como área de marinha permanece em sua dimensão inicial estabelecida em 1831, independente do tamanho dos terrenos acrescidos, assim sendo tem-se o terreno acrescido de marinha devido aos aterros realizados para a construção da Avenida Beira-mar e 33 m estabelecidos anteriormente designados como terrenos de marinha.



Figura 70: Terreno acrescido de marinha adquirido com a realização dos aterros na Av. Beira-Mar Norte. Fotografia de fundo: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (SDS, 2010).

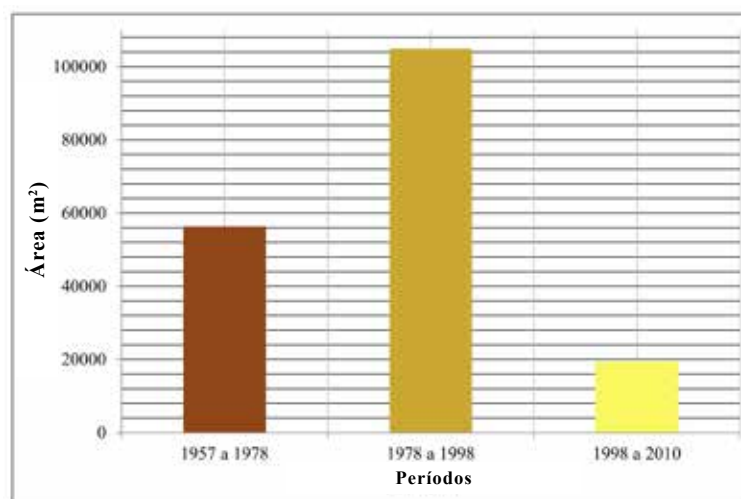


Figura 71: Terreno acrescido de marinha adquirido em metros quadrados (m²) para períodos de anos analisados

3.3. Previsão das linhas de costa futuras

Para a projeção da linha de costa futuras, a Equação 5 (página 57) foi aplicada. As porções de linha costa que apresentaram resultados abaixo da incerteza ou positivos, isto é, cenários de estabilidade ou progradação, manteve-se a linha de costa atual.

Para a geração deste cenário, multiplicou-se a taxa de variação da linha de costa obtida para cada transecto pelos anos da previsão (Figura 72). Para visualização das linhas de costa previstas para os cenários de 5, 10, 25 e 50 anos ver Relatório técnico RT_MMA_Riscos / 2014-32 (APÊNDICE B).



Figura 72: Exemplo de representação das linhas de costa previstas para cada cenário proposto (5, 10, 25 e 50 anos) na Praia do Santinho. Fotografia: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (SDS, 2010).

3.4. Ajuste da linha de costa considerando a aceleração na subida do nível do mar

Praias expostas

Validação dos dados DOW

Os parâmetros estatísticos descritivos básicos (média, desvio padrão e moda) de H_s e T_p das três séries analisadas estão apresentados na Tabela 28 (GOMES DA SILVA, 2014). Os valores demonstram concordância entre os parâmetros obtidos com as séries simuladas e a série medida. As principais diferenças estão nos valores da média de T_p e moda de H_s . A média de T_p apresentou valor maior na série observada. Quanto aos valores de H_s , a maior parte dos estados de mar se apresentou por volta de 1,73 m e 1,79 m em D1 e D2 respectivamente, em torno de 0,5 m maior do que ocorre em WR.

Tabela 28: Parâmetros estatísticos descritivos básicos de D1, D2 e WR. Fonte: Gomes da Silva (2014).

	D1			D2			WR		
	Média	Desv. Padrão	Moda	Média	Desv. Padrão	Moda	Média	Desv. Padrão	Moda
H_s (m)	1,79	0,61	1,73	1,84	0,64	1,79	1,73	0,62	1,29
T_p (s)	8,35	1,75	8,07	8,38	1,8	7,48	9,44	2,41	7,50

A dispersão entre os quantis calculados está demonstrada na Figura 73. É possível observar que os dados de H_s são bem representados pela reanálise, especialmente ao comparar WR e D1. Entretanto, uma leve superestimação dos maiores valores de altura significativa pode ser verificada ao comparar WR e D2. Uma subestimação de T_p foi observada em todos os quantis nos dois pontos da reanálise, aumentando a diferença nos maiores quantis. A superestimação dos quantis de H_s e a subestimação dos quantis de T_p também pode ser verificada através dos valores de IQM (Tabela 29). O $IQM > 1$ na comparação de H_s entre WR e D2 sugere uma leve superestimação dos dados de altura significativa de onda da reanálise. Por outro lado, os valores de $IQM < 1$ (0,83 e 0,85 nas comparações WR-D1 e WR-D2 respectivamente) indicam uma tendência em subestimar

T_p nas reanálises (Tabela 29). O EQM aponta um erro de 2 cm na simulação de H_s em D1 e 10 cm em D2. Os erros quadráticos médios de T_p são maiores, apresentando 2,57 s em D1 e 2,2 s em D2. Os valores de IE também indicam um leve desvio dos valores ideais.

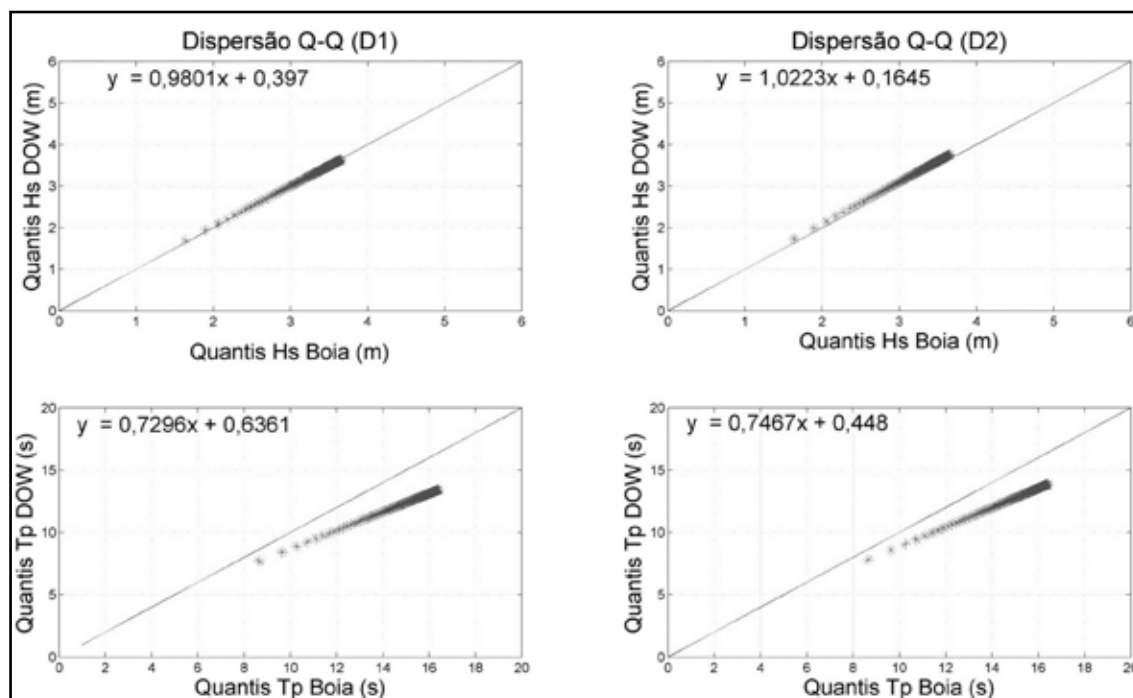


Figura 73: Dispersão Q-Q entre dados de reanálise (D1 e D2) e dados medidos (WR). Fonte: Gomes da Silva (2014).

Tabela 29: Parâmetros estatísticos obtidos da comparação Q-Q (Quantis da distribuição de Gumbel). Fonte: Gomes da Silva (2014).

	D1 x WR					D2 x WR				
	EQM	V	IE	P	IQM	EQM	V	IE	P	IQM
H_s	0,02	0	0,01	0,99	0,99	0,1	-0,1	0,03	0,99	1,03
T_p	2,57	2,53	0,21	1	0,83	2,2	2,17	0,18	1	0,85

A subestimação dos valores de T_p , segundo Gomes da Silva et al. (2015), pode ser atribuída a alguns fatores diferentes, entre eles: à resolução espacial e temporal dos dados atmosféricos de reanálise utilizados como entrada dos modelos de onda, não sendo eficientes em reproduzir eventos extremos como ciclones extratropicais; à dificuldade em representar os valores de período de pico através da modelagem de ondas em locais onde

condições bimodais (ou multimodais) de estados de mar são significativas, como nessa região (ARAUJO et al., 2003); e pode ainda estar relacionada ao pacote físico utilizado como *default* do modelo WW3: Tolman-Chalikov, utilizado para criar a base de dados GOW do SMC-Brasil.

Mas apesar das diferenças, os parâmetros estatísticos V, EQM, e IE apresentaram valores baixos para as duas variáveis nos dois pontos analisados. Além disso, os valores de correlação e Pearson iguais ou muito próximos de 1 indicam um bom ajuste dos dados simulados com relação aos dados medidos. Ainda assim, um cuidado especial deve ser tomado ao utilizar tais dados em análises de regime extremo, onde maiores deficiências foram observadas.

Também uma análise qualitativa dos dados de direção foi realizada, a qual apresentou que os dados simulados comportam-se de maneira semelhante (tendências semelhantes) quando comparados à série de WR (Figura 74).

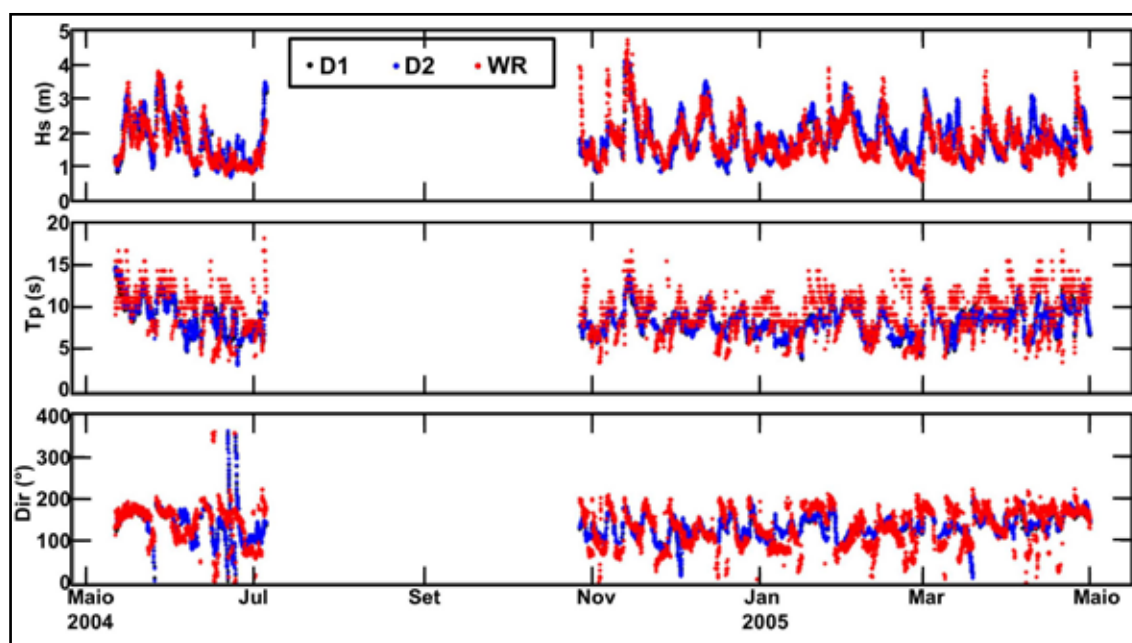


Figura 74: Séries temporais utilizadas no processo de validação. Fonte: Gomes da Silva (2014).

Propagação de Ondas

Os 100 casos selecionados nos pontos 1 e 2 (ver Figura 17, página 68) foram propagados por Gomes da Silva (2014) até as respectivas praias. Da Figura 75 à Figura 81 estão apresentados os resultados da propagação de alguns destes casos, encontrados pela autora em cada malha para cada praia.

É possível observar a influência dos promontórios e ilhas no grau de exposição às ondas ao longo das praias. Casos de ondas providas de norte e nordeste atingem de forma homogênea a Praia Brava e grande parte da Praia dos Ingleses, com diminuição dos valores de H_s em direção ao promontório sul da Praia dos Ingleses, abrigado pelas Ilhas Moleques do Norte e Mata Fome (Figura 75). Em casos de marulhos (*swell*) providos de leste e sudeste, há uma atenuação dos valores de H_s devido à presença dos promontórios ao sul de ambas as praias, esta atenuação é mais evidente em toda a extensão da praia de Ingleses devido à influência das Ilhas Mata Fome, Moleques do Norte e Badejo (Figura 76).

Na Praia do Santinho as ondas provenientes das direções norte e nordeste são bastante atenuadas pela difração ocasionada pela presença do promontório norte e pela Ilha do Badejo diminuindo quase pela metade o valor de H_s que atinge a praia (Figura 77). Ondas providas de leste chegam sem obstáculos à praia do Santinho (Figura 78) enquanto que as ondas provenientes de sul e sudeste são atenuadas na porção sul da praia pela Ilha das Aranhas e o promontório sul da praia (Figura 79).

Nas praias de Moçambique e Barra da Lagoa, em casos de ondas provenientes de norte e nordeste, os valores de H_s que atingem a praia crescem em direção ao promontório sul, estando as porções norte e central da praia abrigadas pela Ilha das Aranhas e pelo promontório norte da praia (Figura 80). Situações de marulhos (*swell*) providos de leste expõem maiores porções da praia, sendo observada atenuação das ondas por difração da Ilha das Aranhas na extremidade norte do arco praial (Figuras 81, 82 e 83). Por fim, com marulhos provenientes de sudeste e sul (Figura 84) observa-se atenuação dos valores de onda nas porções sul e central do arco praial, com maior exposição na porção centro-norte.

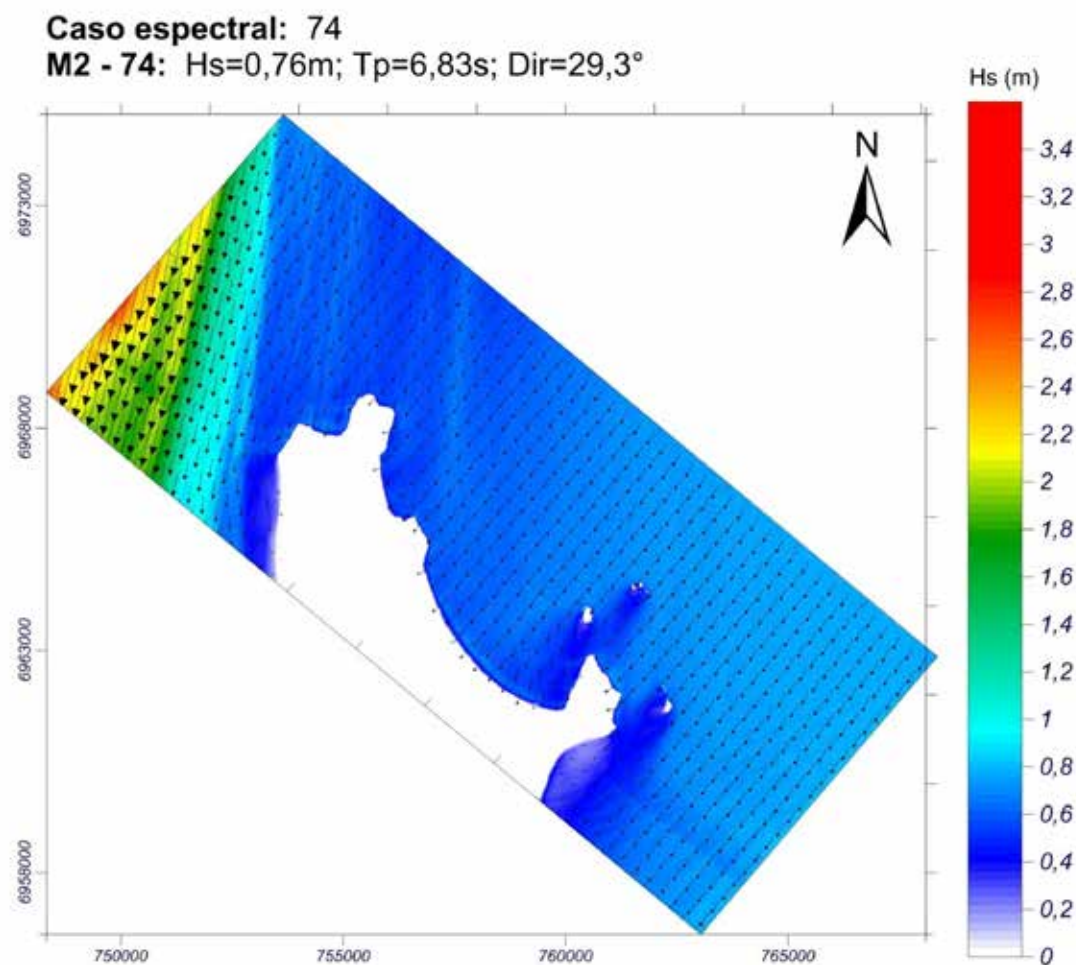


Figura 75: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de nordeste (malha de detalhe 2) nas praias de Ingleses e Brava. Fonte: Gomes da Silva (2014).

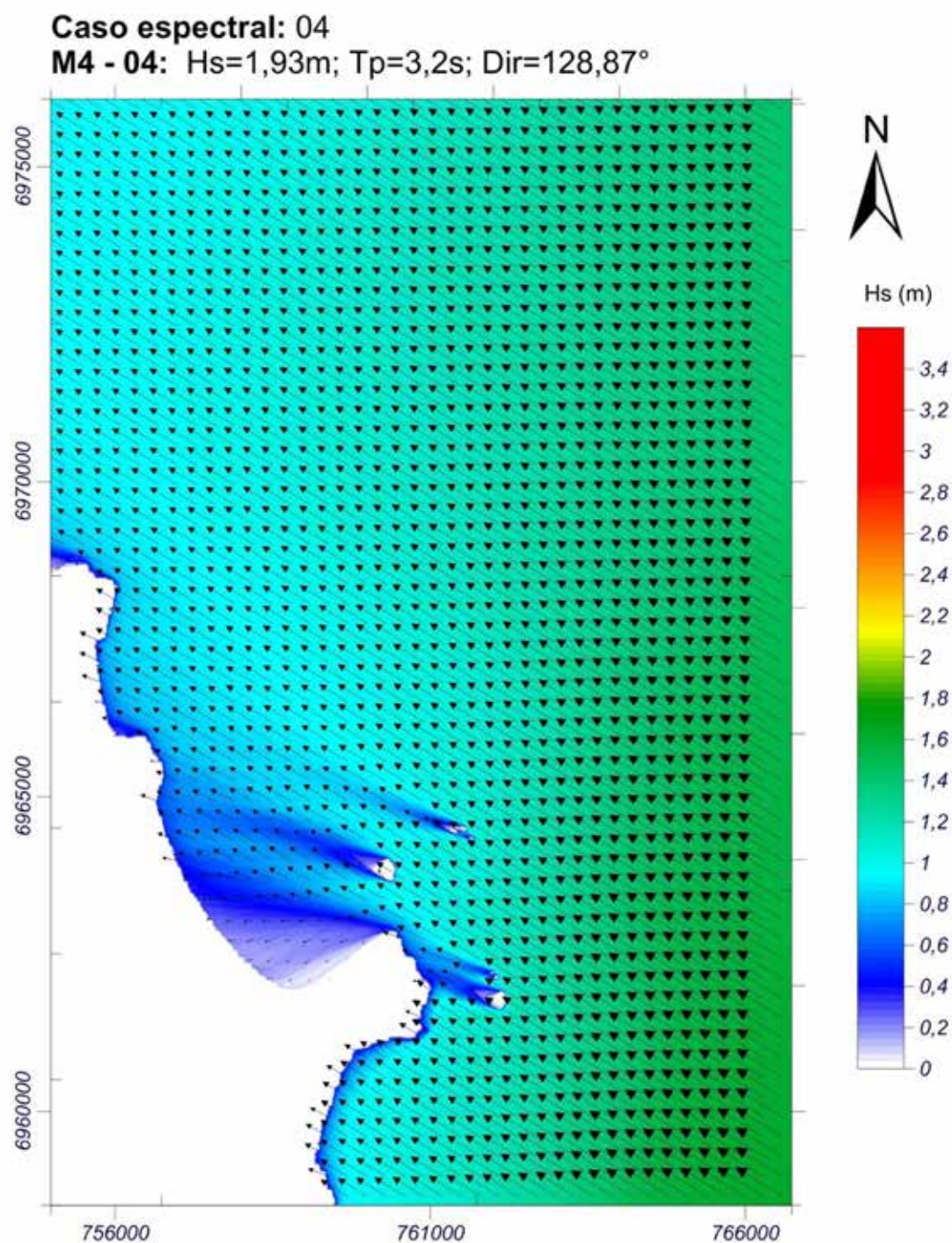


Figura 76: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de sudeste (malha de detalhe 4) nas praias de Ingleses e Brava. Fonte: Gomes da Silva (2014).

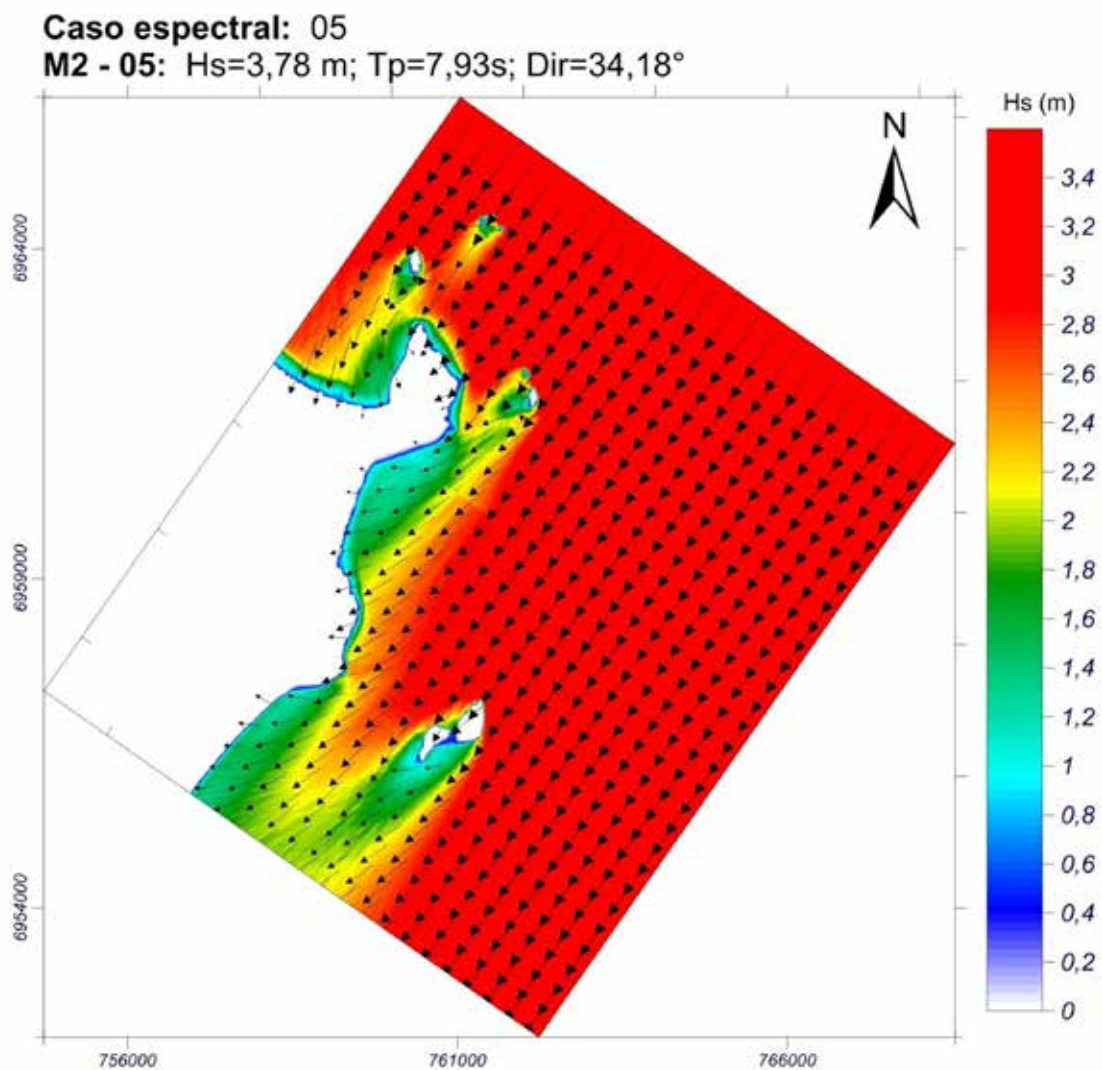


Figura 77: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de nordeste (malha de detalhe 2) na praia do Santinho. Fonte: Gomes da Silva (2014).

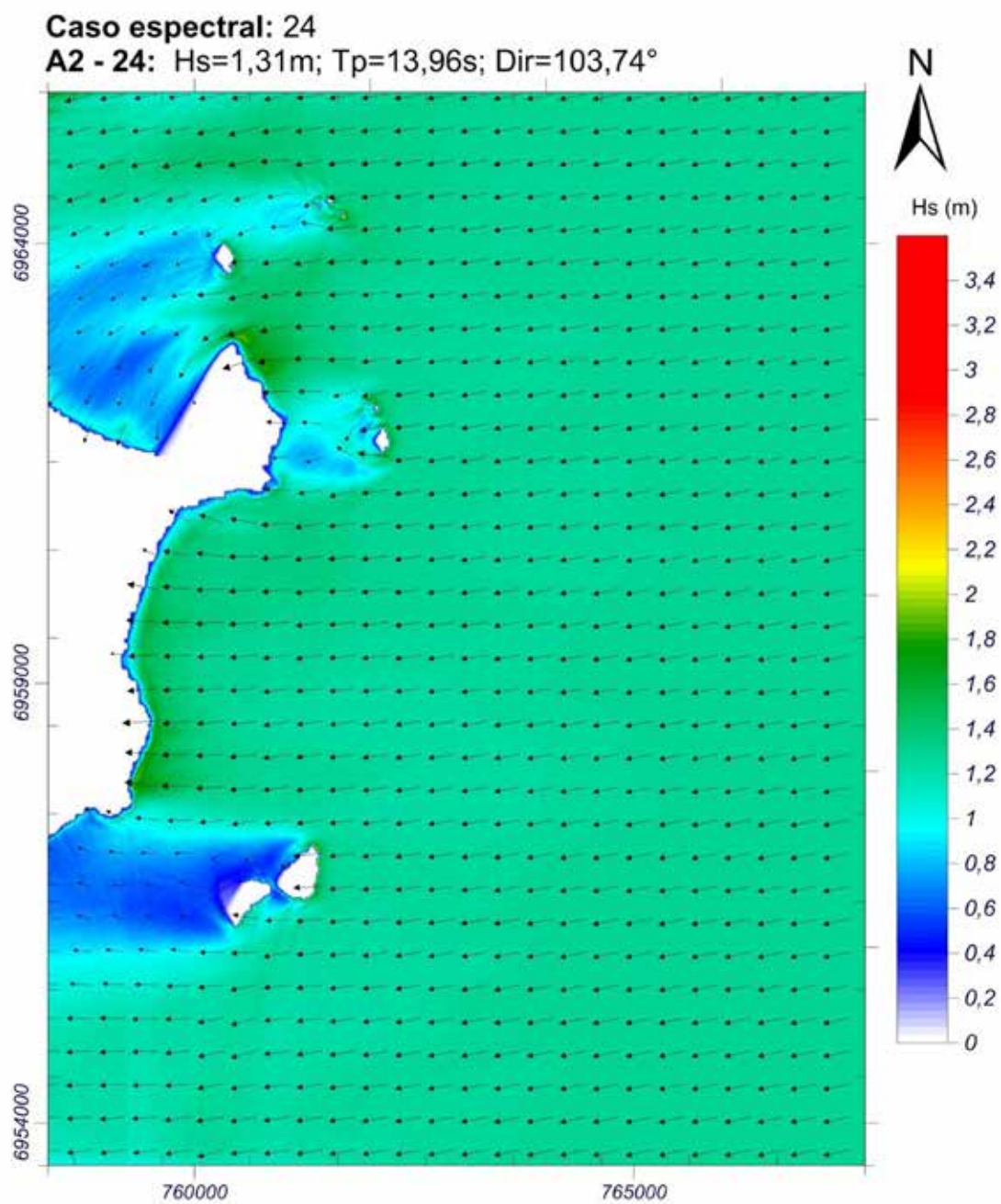


Figura 78: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de leste (malha de detalhe 4) na praia do Santinho. Fonte: Gomes da Silva (2014).

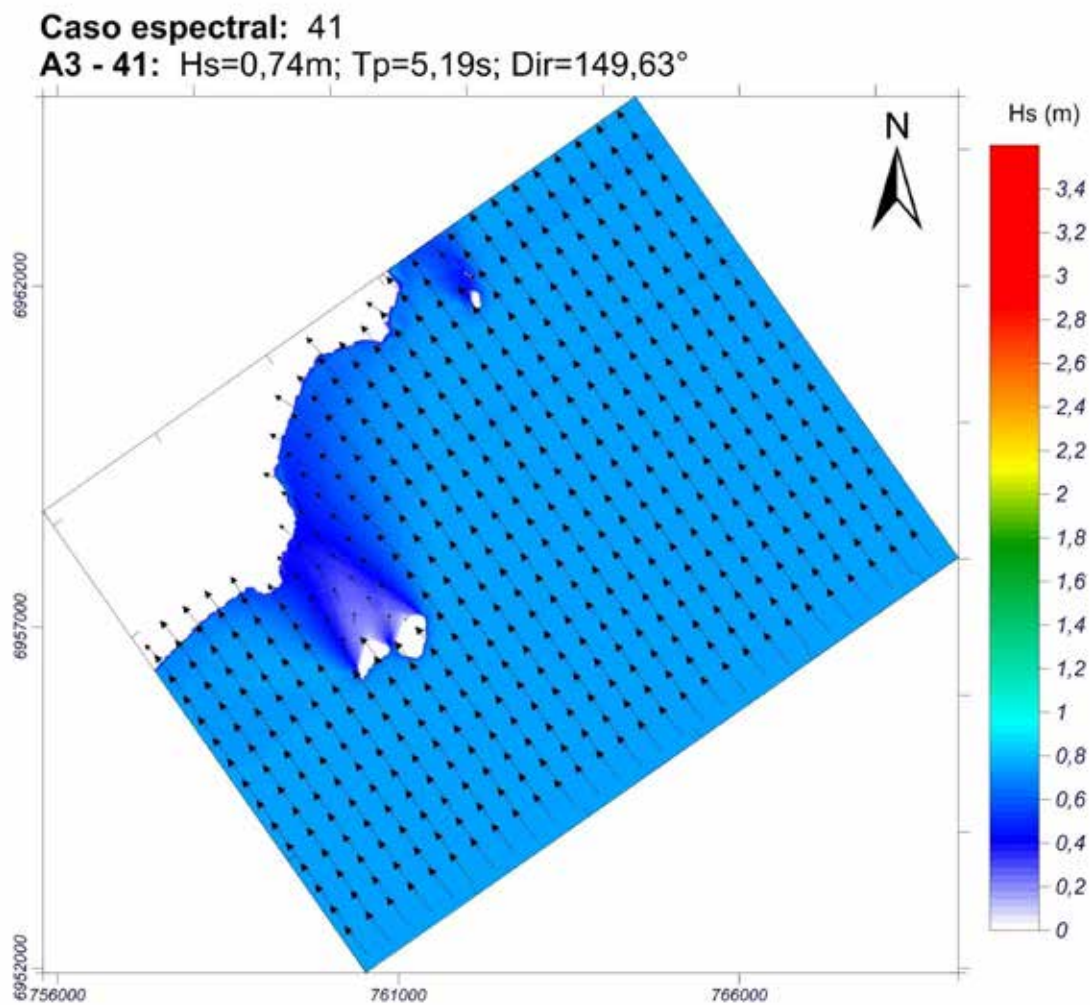


Figura 79: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de sudeste (malha de detalhe 6) na praia do Santinho. Fonte: Gomes da Silva (2014).

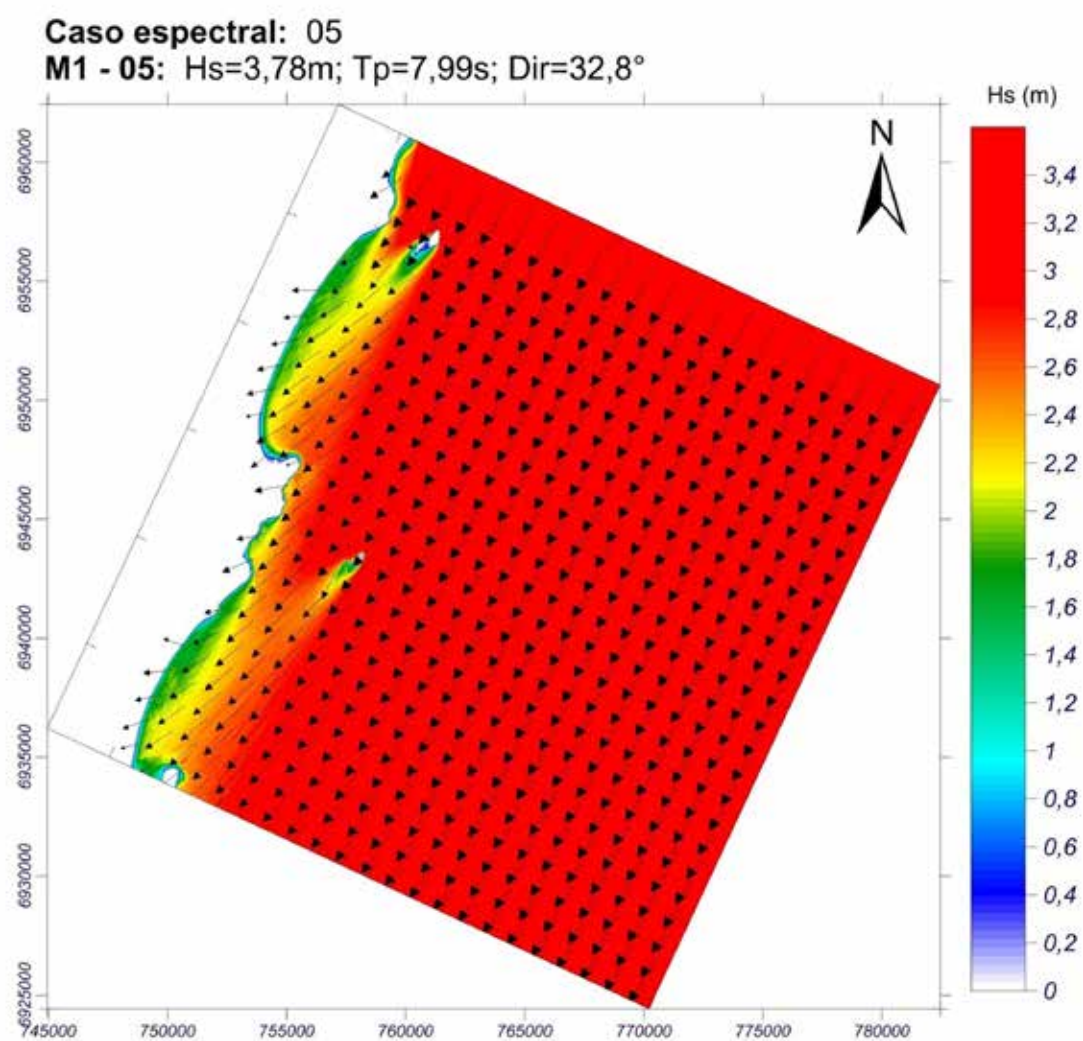


Figura 80: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de nordeste (malha de detalhe 1) nas praias de Moçambique e Barra da Lagoa. Fonte: Gomes da Silva (2014).

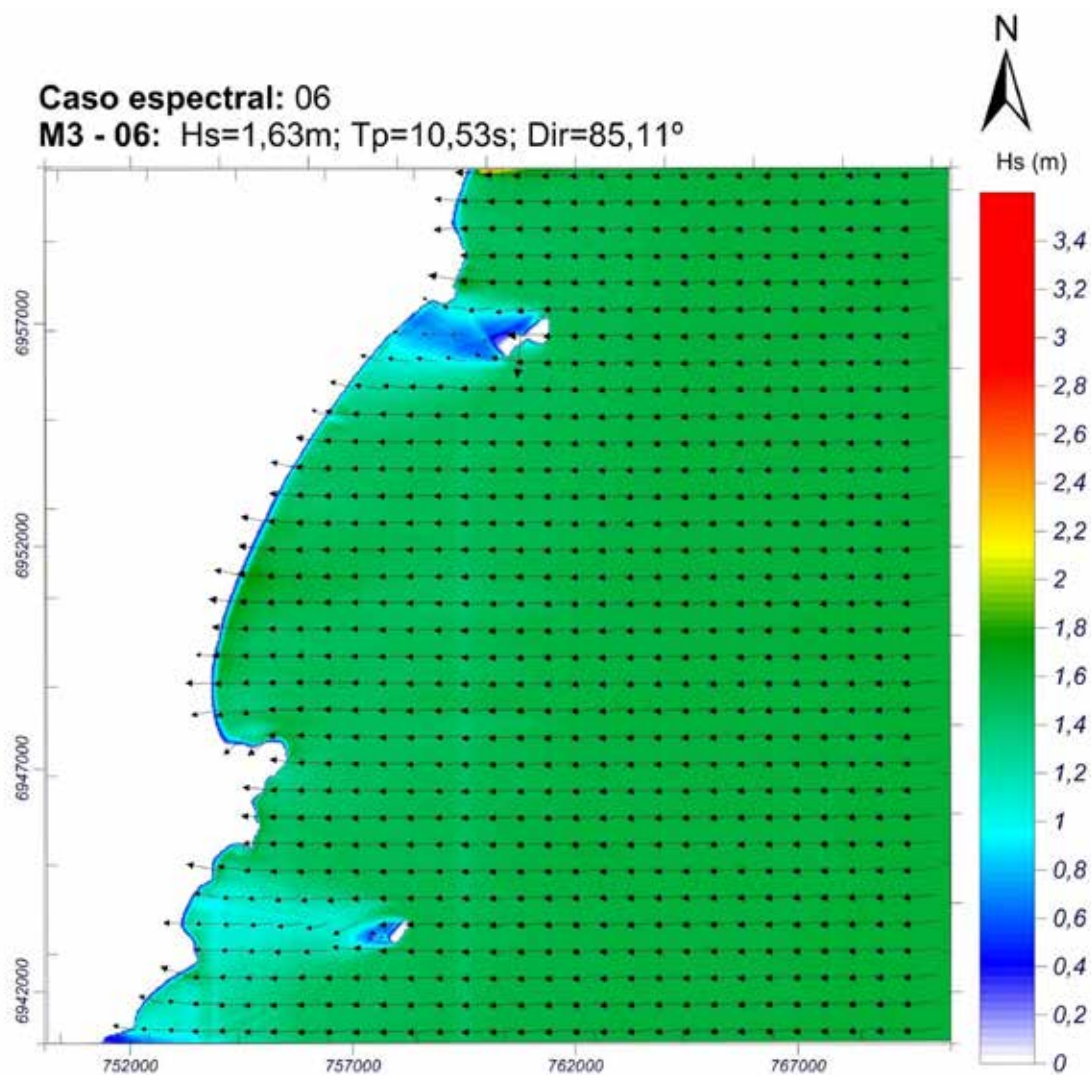


Figura 81: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de leste (malha de detalhe 3) nas praias de Moçambique e Barra da Lagoa. Fonte: Gomes da Silva (2014).

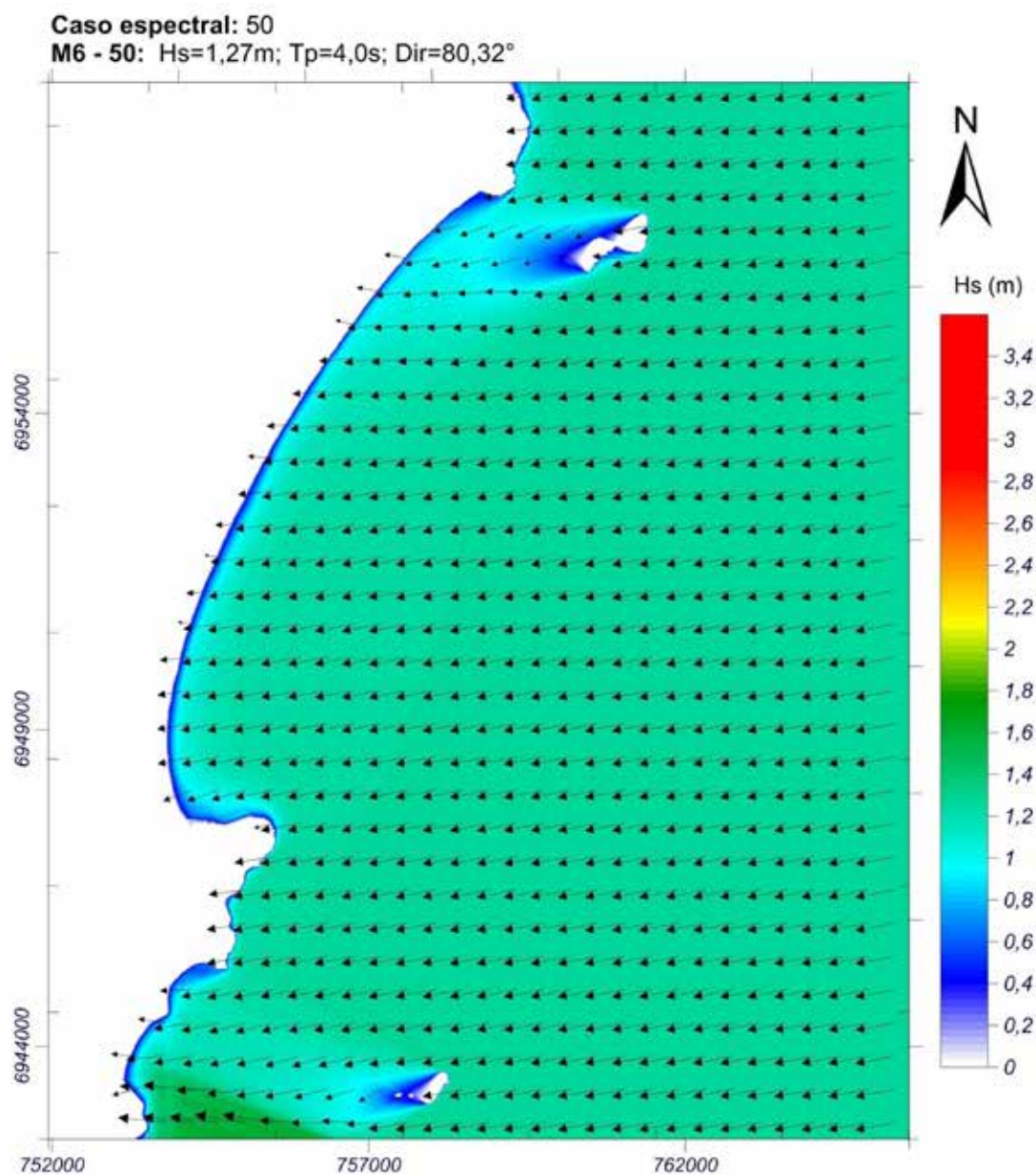


Figura 82: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de leste (Malha de detalhe 6) nas praias de Moçambique e Barra da Lagoa. Fonte: Gomes da Silva (2014).

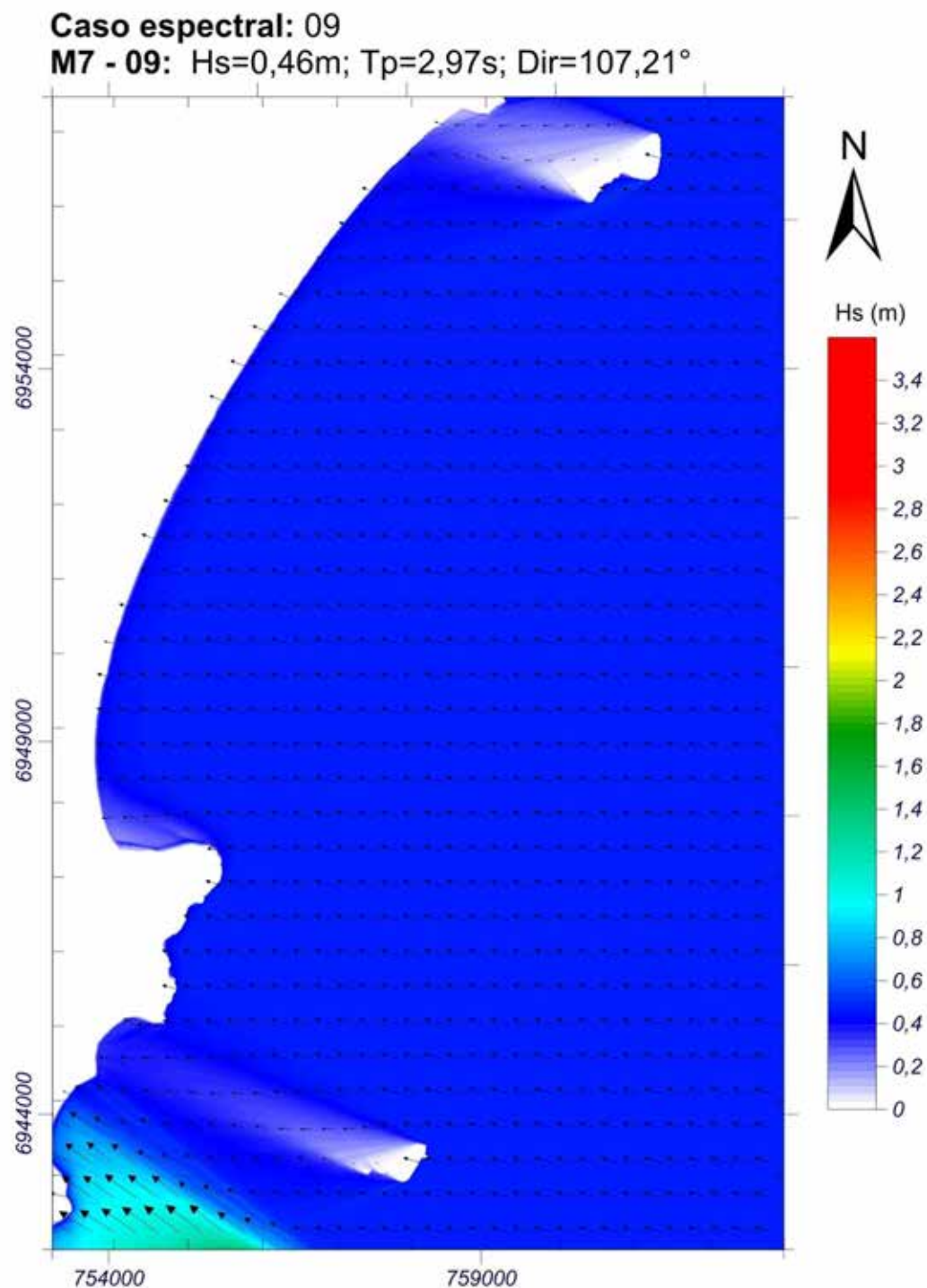


Figura 83: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de leste (Malha de detalhe 7) nas praias de Moçambique e Barra da Lagoa. Fonte: Gomes da Silva (2014).

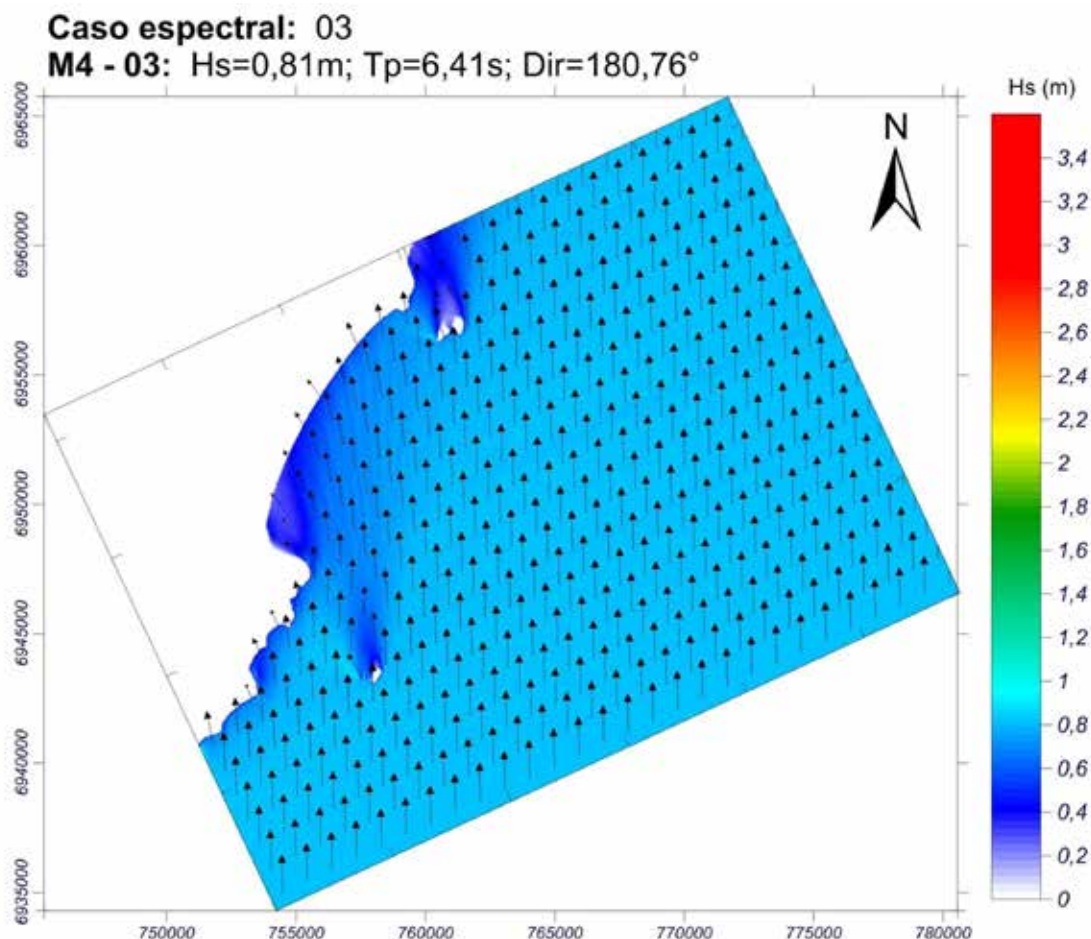


Figura 84: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de sul (Malha de detalhe 4) na praia de Moçambique e Barra da Lagoa.
Fonte: Gomes da Silva (2014).

Setorização das praias

As Figuras 85 e 86 mostram a análise de agrupamento e o nível de corte escolhido para a formação dos diferentes grupos/setores, realizada por Gomes da Silva (2014). Pontos reunidos em níveis mais baixos indicam maior semelhança com relação às variáveis utilizadas nas análises. Os pontos reunidos em cada grupo estão apresentados nas Tabelas 30 e 31.

Para a praia dos Ingleses, a divisão dos pontos ao longo da praia em três grupos se apresentou como a melhor opção, uma vez que resultou na divisão da praia em quatro setores (Figura 87). Como é possível observar, o agrupamento representou

bem a distribuição dos valores de H_s e declividade ao longo da praia dos Ingleses. Valores de H_s menores são observados nos Setores 1, 2 e 4, enquanto os maiores valores de H_s resultaram no agrupamento do Setor 3. A declividade não apresentou grande variação de valores ao longo da praia, com exceção do Setor 2, onde as maiores discrepâncias foram observadas.

Já no arco praial Barra da Lagoa /Moçambique quatro grupos resultaram em quatro setores diferentes ao longo da praia (Figura 88). Novamente os resultados do agrupamento descreveram bem a variação das quatro componentes utilizadas na análise. No Setor 1 foram observados os menores valores de H_s provenientes de todas as direções analisadas. Os maiores valores de declividade resultaram no agrupamento do Setor 2. No Setor 3 observaram-se os maiores valores de H_{SE} e H_{SS} . Por fim, os menores valores de declividade e de H_{SE} resultaram no agrupamento do Setor 4.

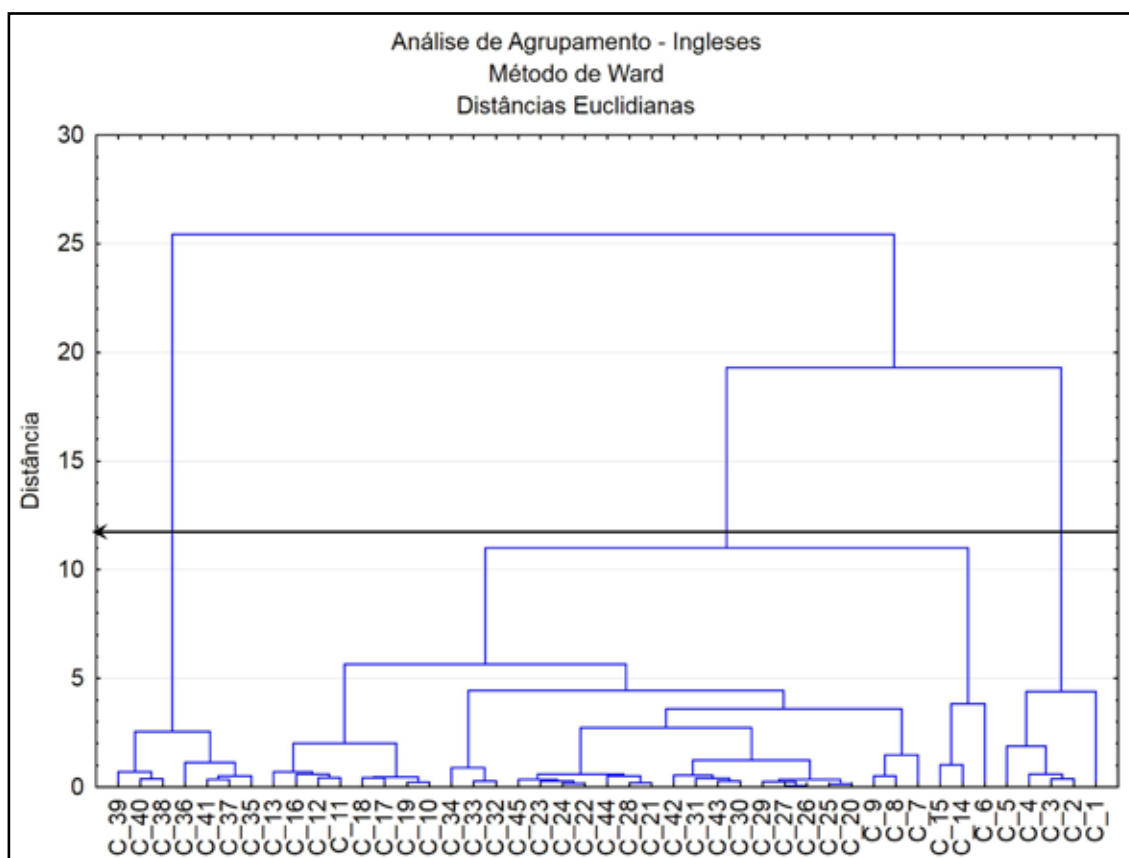


Figura 85: Nível de corte utilizado para o agrupamento na praia de Ingleses. Fonte: Gomes da Silva (2014).

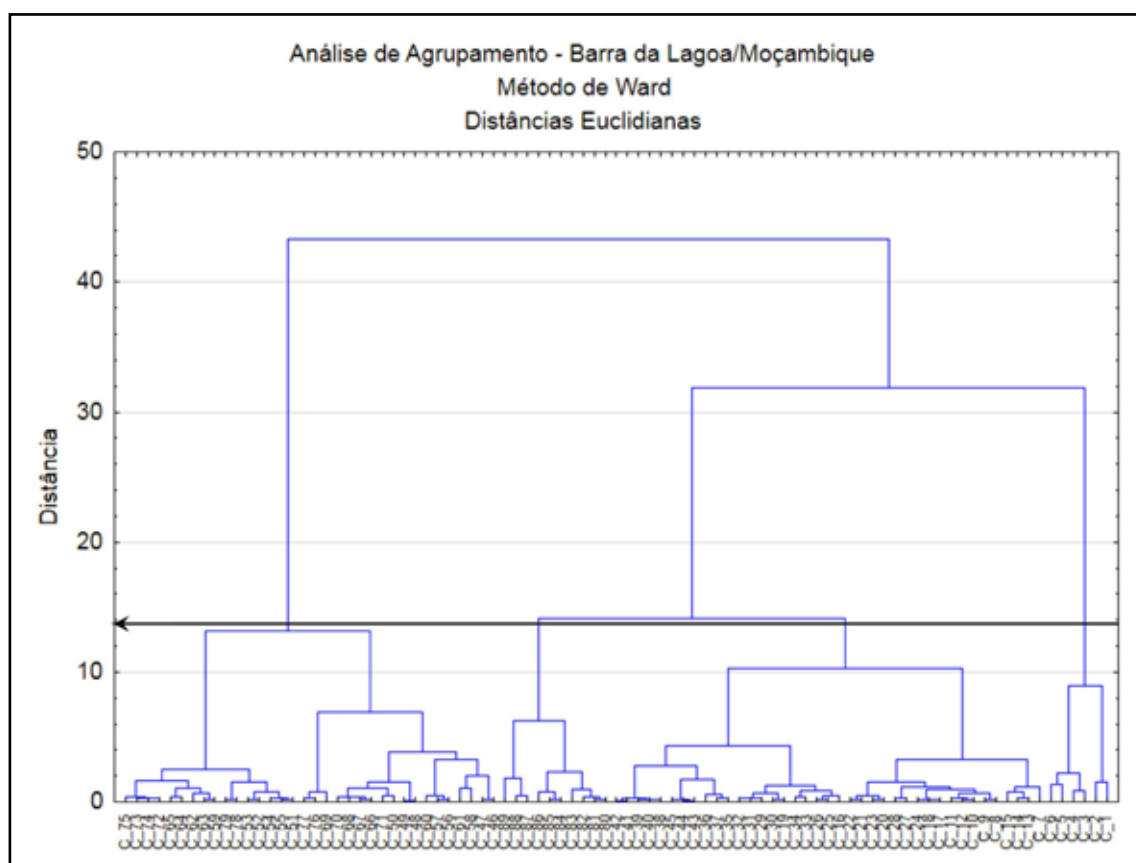


Figura 86: Nível de corte utilizado para o agrupamento em Barra da Lagoa/Moçambique. Fonte: Gomes da Silva (2014).

Tabela 30: Resultado da análise de agrupamento para a praia de Ingleses. As diferentes cores na tabela representam os diferentes grupos encontrados. Fonte: Gomes da Silva (2014).

Grupo	Ponto	Grupo	Ponto
1	1	2	24
1	2	2	25
1	3	2	26
1	4	2	27
1	5	2	28
2	6	2	29
2	7	2	30
2	8	2	31
2	9	2	32
2	10	2	33
2	11	2	34
2	12	2	42
2	13	2	43
2	14	2	44
2	15	2	45
2	16	3	35
2	17	3	36
2	18	3	37
2	19	3	38
2	20	3	39
2	21	3	40
2	22	3	41
2	23		

Tabela 31: Resultado da análise de agrupamento para a praia de Barra da Lagoa/ Moçambique. As diferentes cores na tabela representam os diferentes grupos encontrados. Fonte: Gomes da Silva (2014).

Grupo	Ponto	Grupo	Ponto	Grupo	Ponto
1	1	2	31	4	61
1	2	2	32	4	62
1	3	2	33	4	63
1	4	2	34	4	64
1	5	2	35	4	65
1	6	2	36	4	66
2	7	2	37	4	67
2	8	2	38	4	68
2	9	2	39	4	69
2	10	2	40	4	70
2	11	2	41	4	71
2	12	2	42	4	72
2	13	2	43	4	73
2	14	2	44	4	74
2	15	2	45	4	75
2	16	4	46	4	76
2	17	4	47	4	77
2	18	4	48	4	78
2	19	4	49	4	79
2	20	4	50	3	80
2	21	4	51	3	81
2	22	4	52	3	82
2	23	4	53	3	83
2	24	4	54	3	84
2	25	4	55	3	85
2	26	4	56	3	86
2	27	4	57	3	87
2	28	4	58	3	88
2	29	4	59	3	89
2	30	4	60		

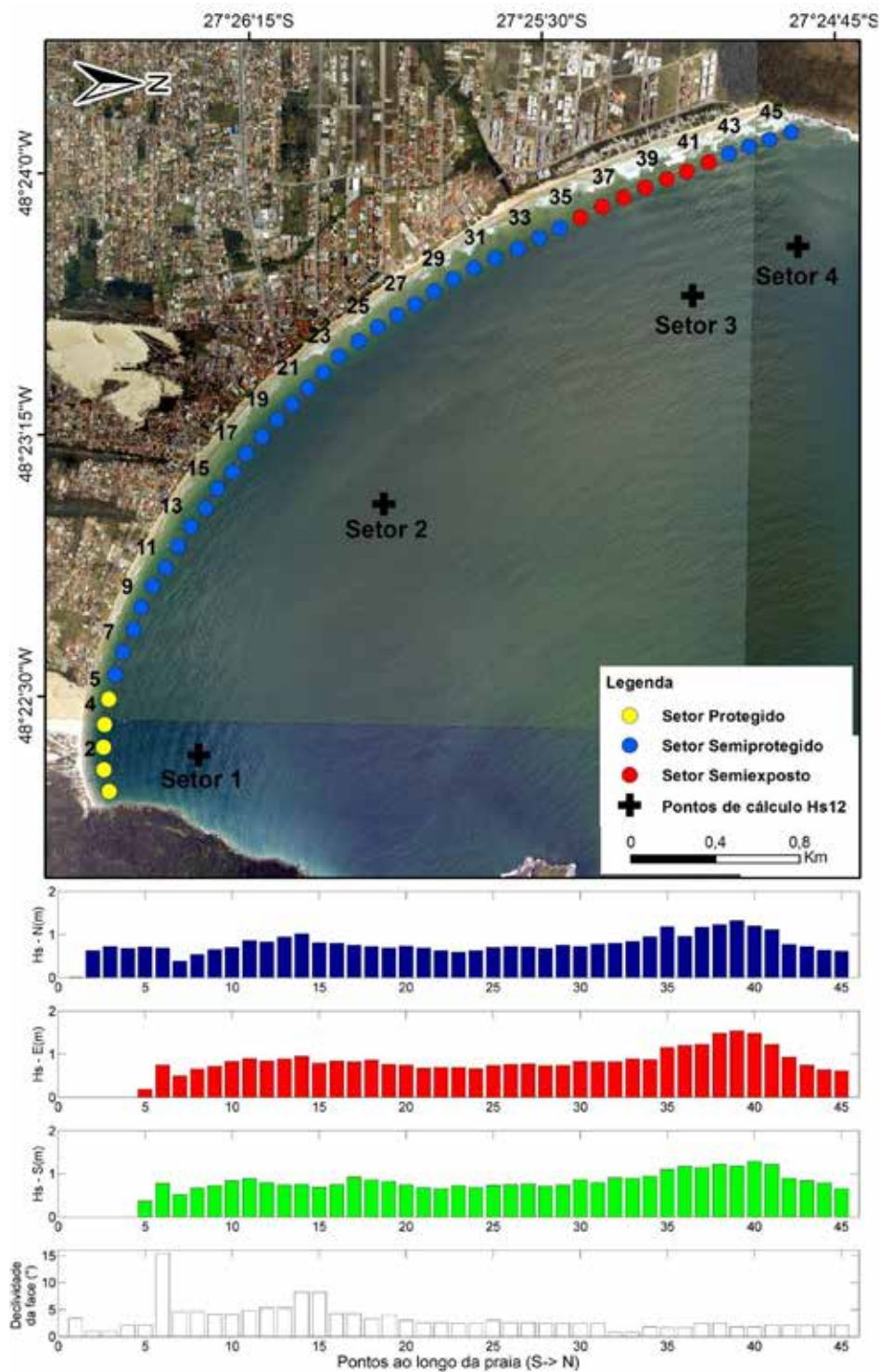


Figura 87: Setorização dos Ingleses com base na análise de agrupamento de dados de H_{SN} , H_{SS} , H_{SE} e declividade da face da praia. Fotografias: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (SDS, 2010). Fonte: Gomes da Silva (2014).

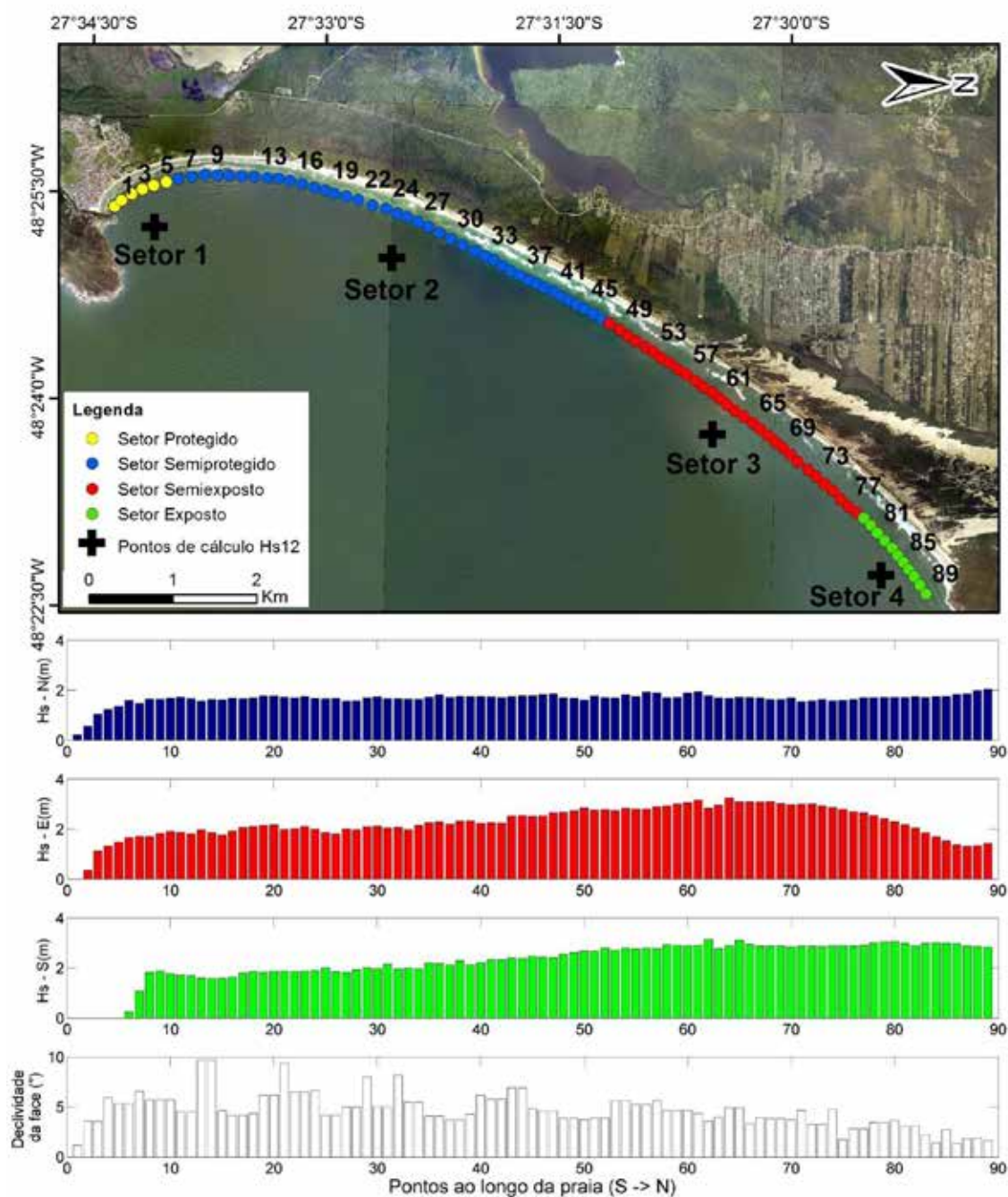


Figura 88: Setorização de Barra da Lagoa/Moçambique com base nos dados de H_{SN} , H_{SS} , H_{SE} e declividade da face da praia. Fotografias: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (SDS, 2010). Fonte: Gomes da Silva, 2014.

A classificação de cada setor de acordo com o proposto por Vieira da Silva (2012) e Bonetti et al. (2012) está apresentada a seguir:

Ingleses:

Setor 1: Protegido

Setor 2: Semiprotegido

Setor 3: Semiexposto

Setor 4: Semiprotegido

Barra da Lagoa/Moçambique:

Setor 1: Protegido

Setor 2: Semiprotegido

Setor 3: Semiexposto

Setor 4: Exposto

Na análise de agrupamento, a praia de Ingleses apresentou comportamento semelhante entre os Setores 2 e 4, que foram unidos em um mesmo grupo. Por esse motivo, tais setores receberam a mesma classificação (semiprotegido). Já Barra da Lagoa/Moçambique apresentaram os quatro setores diferentes e neste caso foram utilizados todos os graus de exposição da classificação.

Reconstrução da série em águas rasas

Gomes da Silva (2014) realizou a reconstrução da série de ondas em águas rasas para as praias da Barra da Lagoa/Moçambique e Ingleses, neste trabalho foram incluídas a reconstrução das praias do Santinho e Brava.

As séries foram reconstruídas na profundidade de 15 m. Em Ingleses, Brava e Santinho um ponto fora da enseada, na direção da porção central da praia, foi escolhido para tal (Figura 89). No caso de Barra da Lagoa/Moçambique, a isóbata de 15 m está

localizada dentro da enseada. Desta forma, optou-se por reconstruir a série em pontos diferentes, em frente a cada setor no qual a praia fora dividida.

A estatística da série de H_s em cada um dos pontos de águas rasas está apresentada na Tabela 32 (Ingleses) e Tabela 33 (Barra da Lagoa/Moçambique).

A moda dos valores de H_s na praia Brava apresentou ondas ocorrendo em torno de 1,53 m, com H_s variando de 0,42 a 3,65 m. Já na praia de Ingleses a moda apresentou valores em torno de 1,47 m, com H_s mínimo de 0,37 a máximo de 3,33 m. A praia do Santinho apresentou como moda ondas de 1,51 m, com H_s variando de 0,21 a 4,33 m, o maior valor de H_s das 4 praias analisadas. Por fim nas praias da Barra da Lagoa/Moçambique os valores de H_s em frente a cada setor apresentaram variação longitudinal, com menores valores ocorrendo na porção sul (0,4 m menor que o setor norte), sofrendo acréscimo até o Setor 3 e redução no Setor 4. A redução nos valores do último setor está relacionada com a presença da ilha das Aranhas (ao norte da praia) que abriga o setor de casos de ondas provenientes de leste e nordeste. No entanto, os valores máximos confirmam extremos de H_s .

Tabela 32: Estatística de H_s (m) no ponto de reconstrução da série de ondas em águas rasas (15 m) da praia dos Ingleses.

Moda	Média	Min	Máx
1,47	1,54	0,37	3,33

Tabela 33: Estatística de H_s (m) nos pontos de reconstrução da série de ondas em águas rasas (15 m) da praia da Barra da Lagoa/Moçambique.

Setor	Moda	Média	Min	Máx
1	1,05	1,07	0,001	2,72
2	1,70	1,61	0,26	3,77
3	1,59	1,64	0,20	3,99
4	1,51	1,49	0,27	4,06

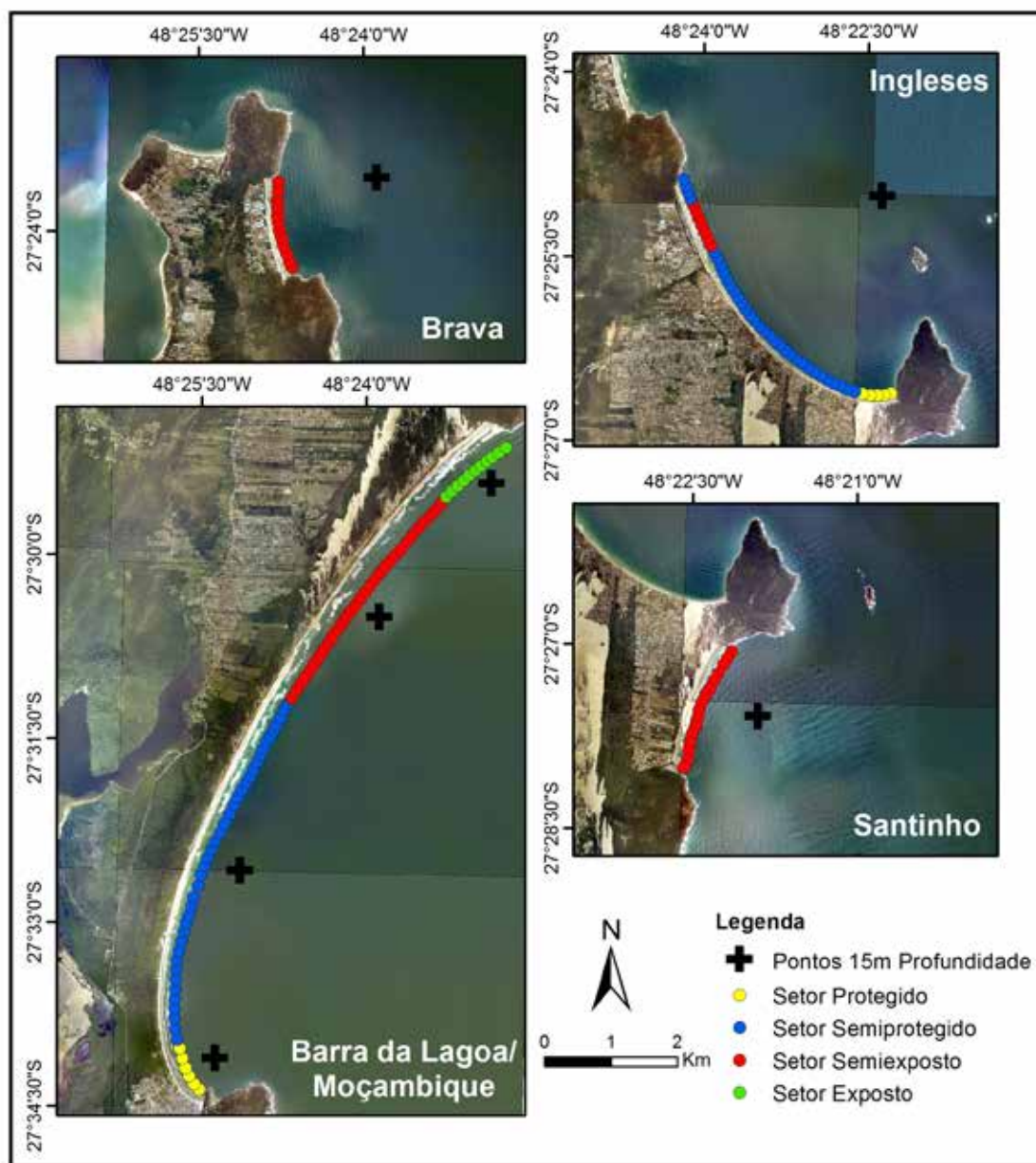


Figura 89: Pontos escolhidos de reconstrução da série de ondas em águas rasas. Fotografias: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (SDS, 2010).

Cálculo da profundidade de fechamento (interna e externa)

A partir dos parâmetros de onda em frente a cada setor chegou-se aos valores de profundidade de fechamento da área de estudo. Os resultados de profundidade de fechamento obtidos para as praias analisadas estão apresentados na Tabela 34.

Tabela 34: Variáveis utilizadas e resultados do cálculo da profundidade de fechamento obtidos para as praias analisadas.

Praia	Setor	H_{s12} (m)	H_s (m)	σ (m)	T_p (s)	D_{50} (m)	h_* (m)	h_{fe} (m)
Barra da Lagoa / Moçambique	1	1,56	1,07	0,09	8,07	0,00014	4,16	31,37
	2	2,81	1,62	0,15	8,07	0,00017	7,30	43,01
	3	3,01	1,64	0,17	8,07	0,00017	7,87	43,70
	4	2,47	1,49	0,10	8,07	0,00017	6,07	40,12
Santinho	Único	2,21	1,48	0,16	8,07	0,00023	6,21	33,93
Ingleses	1	1,07	0,46	0,09	7,78	0,00014	3,16	12,70
	2	1,73	0,97	0,13	7,78	0,00014	4,83	27,11
	3	1,94	1,20	0,14	7,78	0,00014	5,39	33,63
	4	1,82	1,26	0,14	7,78	0,00014	5,13	35,35
Brava	Único	1,84	1,32	0,14	7,78	0,00015	5,21	36,03

Retração Adicional (regra de Brunn)

Na praia da Barra da Lagoa/Moçambique a retração adicional apresentou maiores valores ao sul em detrimentos dos setores ao norte. No entanto a variação dos valores de retração não se mostrou constante ao longo dos setores. Leal e Horn Filho (1998) apontam que a causa da erosão na praia da Barra da Lagoa (porção sul do arco praiar) é decorrente da urbanização que apresenta ocupação da duna frontal, modificação no cordão arenoso e

nos padrões do canal de conexão com a Lagoa da Conceição. A porção norte por sua vez apresenta retração decorrente de processo natural, mas em menor escala. Segundo Muler (2012), a presença do Parque do Rio Vermelho adjacente ao arco praiial Barra da Lagoa/Moçambique provem uma maior estabilidade às porções centro e norte se comparado à porção sul do arco praiial, o que explica as menores taxas de retração encontradas nesta área.

Na Praia dos Ingleses, comportamento semelhante foi observado. Este fato vai de encontro ao que foi descrito por Faraco (2003) e Muler (2012) em que a porção sul foi considerada a mais sensível à retração em longo prazo. Boeyinga et al. (2010) verificaram a estabilidade da forma em planta da praia de Ingleses. De acordo com os autores, pode se esperar erosão na porção sul, adjacente ao campo de dunas do Santinho que se agrava em situação de corte no aporte do sedimento pelas dunas.

As praias do Santinho e Brava apresentaram variações muito semelhantes, variando entre 0,01m e 0,80 m (Tabela 35).

Os valores de retração adicional (Bruun) por aceleração de nível do mar foram mínimos se comparados aos eventos de menor escala (tempestades). No entanto, seu efeito em longo prazo (escalas geológicas) é visível nos resultados deste trabalho. Em apenas 50 anos a retração pela aceleração adicional apontou recuo de mais de um metro na linha de costa de setores das praias da Barra da lagoa e Ingleses. A Figura 90 apresenta um exemplo de linha de costa futura gerada pela retração adicional (LC_{50C}) para o cenário de 50 anos na Praia da Barra da Lagoa. As demais praias e demais cenários podem ser visualizados nas cartas temáticas de perigos costeiros no Apêndice A.

Tabela 35: Retração adicional calculada para as praias expostas da Ilha de Santa Catarina.

<i>Praia</i>	<i>Setor</i>	<i>Ra (5 anos)</i> <i>[m]</i>	<i>Ra (10 anos)</i> <i>[m]</i>	<i>Ra (25 anos)</i> <i>[m]</i>	<i>Ra (50 anos)</i> <i>[m]</i>
Barra da Lagoa/ Moçambique	1	0,02	0,07	0,39	1,54
	2	0,01	0,04	0,26	1,01
	3	0,01	0,02	0,14	0,55
	4	0,00	0,02	0,09	0,37
Santinho	Único	0,01	0,04	0,22	0,88
Ingleses	1	0,01	0,03	0,20	0,77
	2	0,01	0,05	0,28	1,08
	3	0,01	0,03	0,20	0,78
	4	0,01	0,04	0,21	0,82
Brava	Único	0,01	0,04	0,25	0,97



Figura 90: Exemplo de linha de costa futura gerada pela retração adicional (LC_{50C}) para o cenário de 50 anos na Praia da Barra da Lagoa. LC_{50} é a linha de costa futura calculada através da TEC e Atual é a linha de costa referente ao ano de 2012 coletada em campo. Fotografia de fundo: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável SC (SDS, 2010).

Praias abrigadas

Profundidade de fechamento

Através dos perfis batimétricos transversais à costa extraídos da interpolação dos dados de perfil praial e batimetria, foram extraídas as profundidades de fechamento para cada praia do Norte da Ilha de Santa Catarina e área continental (ver relatório técnico RT_MMA_Riscos_2014_44 (APÊNDICE B)). Após a identificação da profundidade, onde a declividade de cada perfil praial tende à zero, foi calculada a média aritmética para cada praia. Os valores de profundidade média de fechamento estão expostos na Tabela 36.

Tabela 36: Valores de declividade média do perfil praial ($\tan\beta_b$) e profundidade de fechamento para as praias abrigadas. * Devido à presença de um grande número de barcos ancorados em frente à Praia de Ponta das Canas, Canasjurê e a Praia do Forte não foi possível realizar o levantamento batimétrico nestas áreas. ** Devido à batimetria disponibilizada na base de dados do modelo SMC-Brasil contar com apenas um único ponto dentro desta enseada, não foi possível estimar a sua profundidade de fechamento.

	Praia	$\tan\beta_b$ (média)	Profundidade de fechamento (m)
Praias Insulares	Lagoinha	0,05	4,4
	Ponta das Canas	*	*
	Canasvieiras	0,02	3,1
	Jurerê	0,03	3,1
	Daniela	0,02	3,9
	Anhatomirim	0,003	2,2
Praias Continentais	Caieira	**	**
	São Miguel	0,003	2,1
	Oscar	0,006	1,3
	Pitangueiras	0,004	1,2
	Rabelo	0,003	1,6

Retração adicional- Praias abrigadas

Como já mencionado anteriormente os ambientes onde se encontram as praias abrigadas se diferem em diversos aspectos, como granulometria, características batimétricas e hidrodinâmica. Por isso os resultados de retração adicional serão discutidos de forma separada para as praias da costa norte da Ilha de Santa Catarina (praias insulares) e para as praias localizadas no interior da Baía Norte (praias continentais).

Praias Insulares

Devido às declividades médias do perfil praial encontradas nas Praias da Lagoinha ($\tan\beta_b$ igual a 0,05) e Jurerê ($\tan\beta_b$ igual a 0,03) serem maior que 0,02 foi aplicado para estas praias o cálculo da retração adicional através da regra de Bruun (Equação 8, página 60).

A retração adicional devido à aceleração do nível do mar para a Praia da Lagoinha apresentou valores médios abaixo de 0,1 m para os cenários de 5, 10 e 25 anos e 0,3 m para o cenário de 50 anos. Sendo os maiores valores de retração identificados no setor leste da praia (Perfil 1) chegando 0,5 m de retração adicional para o cenário de 50 anos.

A maior retração adicional neste setor se deve à menor declividade ($\tan\beta_b$ igual a 0,04) do perfil praial, o que pode estar relacionado à presença do promontório da Ponta do Rapa, o qual garante uma maior proteção das correntes provenientes do quadrante nordeste. Heidrich (2011) identificou, através de observações em campo, que as maiores velocidades de corrente de deriva litorânea (16 m/s) nesta praia foram coincidentes com ventos de nordeste, o que proporciona a porção abrigada pelo promontório um transporte de sedimento menos intenso tornando perfil praial mais plano favorecendo a retração devido à subida do nível do mar.

A Praia de Jurerê apresentou retração adicional média abaixo de 0,1m para os cenários de 5 e 10 anos, já para os cenários de 25 e 50 anos os valores foram de 0,1 e 0,5 m, respectivamente. Assim como na Praia da Lagoinha, os maiores valores de retração foram encontrados na porção a Leste da praia, uma vez que esta região da praia está

localizada adjacente ao promontório da Ponta sul de Canasvieiras, abrigada das ondas provenientes de nordeste.

A Figura 91 apresenta um exemplo de retração adicional devido à aceleração da subida do nível do mar calculada através da regra de Brunn. As demais praias e demais cenários podem ser visualizados nas cartas temáticas de perigos costeiros no Apêndice A.



Figura 91: Exemplo de linha de costa futura gerada pela retração adicional (LC_{50C}) calculada através da Regra de Brunn para o cenário de 50 anos na Praia de Jurerê. LC_{50} é a linha de costa futura calculada através da TEC e Atual é a linha de costa referente ao ano de 2012 coletada em campo. Fotografia de fundo: Secretaria do Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (SDS, 2010).

As praias de Canasvieiras e Daniela apresentaram declividades médias do perfil praial iguais a 0,2 ($\tan\beta_p$ igual a 0,02), portanto para estas praias o cálculo da retração adicional se deu através do parâmetro I (Equação 15).

O cálculo da retração adicional devido ao efeito da inundação (I) na Praia de Canasvieiras apresentou valores médios 0,1 m, 0,4 m e 1,8 m para os cenários de 10, 25 e 50 anos respectivamente, sendo que para o cenário de 5 anos a retração ficou abaixo de 0,1 m.

A região mais a leste do arco praial mostrou maior tendência à retração com valores chegando a 4,6 m (Perfil 6, cenário de 50 anos) decaindo em direção a oeste (0,6 m no Perfil 28, cenário de 50 anos). Segundo Barletta et al. (2008) neste setor é evidenciada uma configuração mais íngreme, provavelmente ocasionada pelas trocas de sedimento que ocorrem de maneira mais intensa devido a configuração de canal entre a Ilha do Francês e praia. Enquanto que a porção leste atua como uma área de acúmulo de sedimento com características mais susceptíveis ao efeito da inundação.

Na Praia da Daniela a retração média encontrada para os cenários de 5 e 10 anos ficaram abaixo de 0,1m, chegando a 0,4 m para o cenário de 25 anos e 1,7 m para 50 anos. A maior declividade do perfil praial ($\tan\beta_p$ igual a 0,03) foi encontrada na região do pontal da Daniela (Perfil 14), coincidindo com o menor valor de retração (1,0 m, cenário 50 anos). Este setor da praia está localizado na desembocadura norte da Baía Norte de Florianópolis, onde segundo Melo *et al.* (1997) há uma intensificação das correntes de marés enchente e vazante, causada pelo efeito do afunilamento entre a Praia da Daniela e o continente. Devido a esta intensificação das correntes, a porção do Pontal da Daniela está sujeita a um maior transporte de sedimento, o que explica a maior declividade do perfil praial.

A Figura 92 apresenta um exemplo de retração adicional devido ao efeito da inundação, calculada através do parâmetro I. As demais praias e demais cenários podem ser visualizados nas cartas temáticas de perigos costeiros no Apêndice A.



Figura 92: Exemplo de linha de costa futura gerada pela retração adicional (LC_{50C}) devido ao efeito da inundação, calculada através do parâmetro I para o cenário de 50 anos na Praia de Canasvieiras. LC_{50} é a linha de costa futura calculada através da TEC e Atual é a linha de costa referente ao ano de 2012 coletada em campo.

Fotografia de fundo: Secretaria do Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (SDS, 2010).

Praias Continentais

As praias localizadas na porção continental da área de estudo são caracterizadas pela baixa declividade ($\tan\beta_b < 0,02$) do perfil praial e por este motivo a retração adicional devido à aceleração do nível do mar foi calculada através do parâmetro I (Equação 14).

A praia de Anhatomirim situada na Baía de São Miguel apresentou valores de retração adicional média de 0,1 m, 0,3 m, 2,0 m e 7,7 m para os cenários de 5, 10, 25 e 50 anos, respectivamente e declividade média do perfil praial de 0,03 ($\tan\beta_b$ igual 0,003). O Perfil 1, extremidade oeste, apresentou os maiores valores de retração (11,2 m, cenário de 50 anos; $\tan\beta_b$ igual a 0,002), sendo observado um decréscimo dos valores em direção ao

Perfil 6 (5,3 m, cenário de 50 anos; $\tan\beta_b$ igual a 0,005), aumentando na extremidade Leste (Perfil 7, 7,2 m, cenário de 50 anos; $\tan\beta_b$ igual a 0,003).

Na extremidade oeste da Praia de Anhatomirim estão situadas as desembocaduras dos rios Cachoeira e Camarão. Em geral estes rios apresentam escoamento permanente e possuem características de riachos (CARUSO JR, 2009), que apesar de pouco volumosos pode-se observar próximo as suas desembocaduras um acúmulo de sedimento com presença de bancos arenosos. O sedimento acumulado nesta região da praia torna o fundo mais suave favorecendo a retração devido ao efeito da inundação em caso de subida do nível do mar.

A Praia da Caieira está localizada a leste da Praia de Anhatomirim, na Baía de São Miguel, trata-se de uma pequena praia de enseada com cerca de 200 m de extensão com sua face voltada para sudoeste. Devido à batimetria disponibilizada na base de dados do modelo SMC-Brasil contar com apenas um único ponto dentro desta enseada, não foi possível estimar a sua profundidade de fechamento e a retração adicional nesta praia não pôde ser calculada. Para fins de representação nas cartas temáticas a linha de retração adicional é a mesma que para a Praia de Anhatomirim, uma vez que ambas estão localizadas próximas e na mesma baía.

Na praia de São Miguel os valores de retração encontrados foram homogêneos para toda extensão da praia (entre 9,0 m e 10,0 m, cenário de 50 anos), as exceções ficaram por conta das extremidades da praia, onde se encontram dois pequenos costões rochosos onde os perfis praias se tornam mais íngremes e o valor de retração cai para 7,3 m no Perfil 1 e 7,8 m no Perfil 7. Os valores médios foram de 0,1 m, 0,4 m, 2,3 m e 9,0 m para os cenários de 5, 10, 25 e 50 anos, respectivamente e declividade média do perfil praias de 0,03 ($\tan\beta_b$ igual 0,003).

A praia do Oscar apresentou retração média de 0,1 m para o cenário de cinco (5) anos, 0,4 m para 10 anos, 2,3 m para 25 anos e 4,9 m para o cenário de 50 anos. Os menores valores em relação à praia de São Miguel se deve a maior declividade do perfil praias ($\tan\beta_b$ igual 0,006). Maiores valores de declividade também puderam ser observados na face praias em comparação com a Praia de São Miguel.

Os valores médios de retração adicional evidenciados para a Praia de Pitangueiras foram de 0,1 m, 0,3 m, 1,7 m e 6,5 m, nesta ordem para os cenários de 5, 10, 25 e 50 anos e declividade média do perfil de 0,004 ($\tan\beta_b$ igual 0,004).

A Praia do Rabelo apresentou valores de retração adicional médios variando entre 0,1 m para o cenário de cinco (5) anos e 8,1 m para o cenário de 50 anos, com retração de 0,4 m para 10 anos e 2,1 m para 25 anos e declividade média do perfil de 0,003 ($\tan\beta_b$ igual 0,003).

A Praia do Rabelo é caracterizada por uma extensa planície de maré de aproximadamente 600 m de largura composta por sedimentos finos exportados pelo Rio Biguaçu, o qual desemboca na sua extremidade Sul. Tal configuração traz a ideia que a retração devido ao efeito da inundação seria mais acentuada do que nas demais praias continentais, no entanto a declividade do perfil praiar emerso, após a planície de maré, apresenta declividade semelhante às demais praias continentais, fazendo com que os valores de retração não se diferenciem dos valores encontrados para estas praias.

A Figura 93 apresenta um exemplo de retração adicional devido ao efeito da inundação, calculada através do parâmetro I em uma praia continental. As demais praias e demais cenários podem ser visualizados nas cartas temáticas de perigos costeiros no Apêndice A.



Figura 93: Exemplo de linha de costa futura gerada pela retração adicional (LC_{50C}) devido ao efeito da inundação, calculada através do parâmetro I para o cenário de 50 anos na Praia de Anhatomirim. LC_{50} é a linha de costa futura calculada através da TEC e Atual é a linha de costa referente ao ano de 2012 coletada em campo. Imagem de fundo: Banco de dados ESRI.

Lagoa da Conceição (Praia das Rendeiras)

Através dos perfis batimétricos transversais à costa extraídos da interpolação dos dados de perfil praial e batimetria, foram extraídas as profundidades de fechamento para a Praia das Rendeiras. Assim como para as demais praias estudadas foi calculada a profundidade onde a declividade de cada perfil praial tende à zero, os quais apresentaram variação entre 1,33 m e 1,60 m e média de 1,46 m. Almeida e Porto Filho (2000) relatam que ondas geradas por ventos locais influenciam o fundo até 1,5 m de profundidade, corroborando a metodologia adotada neste projeto.

A declividade média do perfil praial encontrada na praia das Rendeiras foi de 0,04 ($\tan\beta_b$ igual 0,04; $\tan\beta_b > 0,02$). Portanto foi aplicado para estas praias o cálculo da retração

adicional através da regra de Bruun (Equação 7, página 60). A retração adicional devido à aceleração do nível do mar para a Praia das Rendeiras apresentou valores médios abaixo de 0,1m para os cenários de 5 e 10 anos, 0,16 m para 25 anos e 0,65 m para 50 anos. Os maiores valores de retração foram encontrados na porção central, chegando a 1,12 m (Perfil 4, cenário de 50 anos).

As maiores retrações evidenciadas no setor central da praia coincidem com a maior largura do banco marginal submerso (Banco das Rendeireiras) adjacente à praia, chegando a 500 m de largura. Já a menor retração (0,07 m Perfil 8, cenário de 50 anos) foi encontrada a oeste da praia, próximo ao estreito canal de navegação que liga a Lagoa do Meio à Lagoa de Baixo. Sendo a declividade do perfil o principal fator que diferencia estes ambientes. Enquanto o setor central apresenta uma batimetria suave ($\tan\beta_p$ igual a 0,01), a qual favorece a retração devido à elevação do nível do mar. O setor oeste apresenta um perfil batimétrico íngreme ($\tan\beta_p$ igual 0,19) e estreito.

A Figura 94 apresenta um exemplo de retração adicional devido ao efeito da inundação, calculada através do parâmetro I para a Praia das Rendeiras. As demais praias e demais cenários podem ser visualizados nas cartas temáticas de perigos costeiros no Apêndice A.



Figura 94: Exemplo de linha de costa futura gerada pela retração adicional (LC_{50C}) devido ao efeito da inundação, calculada através do parâmetro I para o cenário de 50 anos na Praia das Rendeiras. LC_{50} é a linha de costa futura calculada através da TEC e Atual é a linha de costa referente ao ano de 2012 coletada em campo. Imagem de fundo: Banco de dados ESRI.

3.5. Identificação dos perigos decorrentes de grandes tempestades (retração da linha de costa)

O Método da Convolução (Equação 17, Página 107) para o cálculo dos impactos decorrentes de grandes tempestades foi aplicada a cada perfil praial, nas praias expostas da Ilha de Santa Catarina. Estes valores foram utilizados para a representação das linhas de costa referente à retração por tempestade. A seguir são apresentadas as médias para cada setor das praias da Barra da Lagoa/Moçambique e Ingleses e para os setores únicos das praias do Santinho e Brava (Tabela 37).

A Praia da Barra da Lagoa/Moçambique os valores de retração por tempestade apresentaram comportamento semelhante ao comportamento da retração linear ao longo da praia.

A variação da retração por tempestade ao longo da Praia dos Ingleses, no entanto apresentou comportamento diferente da retração adicional, com maiores valores nos setores 2 e 3 (Tabela 37). Este padrão é o mesmo observado para eventos extremos de altura de quebra de ondas (Tabela 15, página 112), o que justifica maiores valores de retração por tempestade.

A Praia Brava apresentou os maiores valores de retração, apesar de não possuir as maiores alturas de quebra da onda. Estes resultados estão relacionados com os baixos valores de declividade do perfil praiial e altura da duna frontal, médias de 1,88° e 1,82 m respectivamente, o que favorece o processo erosivo. Segundo a equação da convolução (Equação 17, Página 107), a retração devido a tempestades é inversamente proporcional à declividade do perfil.

A Figura 95 apresenta um exemplo de retração decorrente de grandes tempestades para o cenário de 50 anos na Praia da Barra da Lagoa. A visualização das demais praias e cenários podem ser visualizadas nas cartas de perigos costeiros no Apêndice A.

Tabela 37: Médias dos valores de retração por tempestade para as praias da Barra da Lagoa/Moçambique, Santinho, Ingleses e Brava.

Praia	Setor	Rt (5 anos) [m]	Rt (10 anos) [m]	Rt (25 anos) [m]	Rt (50 anos) [m]
Barra da Lagoa/ Moçambique	1	-0,06	-0,44	-5,58	-20,33
	2	-0,05	-0,40	-5,15	-17,93
	3	-0,08	-0,56	-6,76	-22,19
	4	-0,09	-0,69	-9,01	-31,89
Santinho	Único	-0,04	-0,32	-4,49	-28,02
	1	-0,03	-0,21	-2,46	-12,17
Ingleses	2	-0,08	-0,63	-7,55	-37,82
	3	-0,07	-0,56	-7,31	-41,61
	4	-0,04	-0,31	-3,86	-20,52
Brava	Único	-0,09	-0,71	-8,69	-44,80



Figura 95: Exemplo de linha de costa futura gerada pela retração por tempestade (LC_{50S}) calculada Método da Convolução para o cenário de 50 anos na Praia da Barra da Lagoa. LC_{50C} é linha de costa futura gerada pela retração adicional, LC_{50} é a linha de costa futura calculada através da TEC e Atual é a linha de costa referente ao ano de 2012 coletada em campo. Fotografia de fundo: Secretaria do Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (SDS, 2010).

3.6. Cálculo da cota de inundação costeira (CI)

Praias expostas

Runup

Os resultados estatísticos da série de *wave runup* obtidos para as praias analisadas estão apresentados na Tabela 38. A série de ondas completa dos 60 anos de dados analisados se encontra disponível na base de dados do Projeto SMC-Brasil.

Tabela 38: Estatística das séries de *wave runup* para cada praia/setor da área analisada.

<i>RUNUP (2%)</i>					
Praia	Setor	Moda	Média	Mín	Máx
Brava	-	1,10	1,08	0,67	1,88
	1	0,65	0,68	0,45	1,18
Ingleses	2	0,80	0,86	0,67	1,29
	3	1,03	1,05	0,60	2,03
	4	0,77	0,82	0,65	1,18
Santinho	-	1,31	1,09	0,62	1,78
	1	0,74	0,64	0,46	0,98
Barra da Lagoa / Moçambique	2	0,92	0,84	0,68	1,14
	3	1,56	1,28	0,74	2,31
	4	1,65	1,38	0,87	2,34

Os valores médios demonstraram a variação do *runup* ao longo dos setores das praias da área de estudo. Nas praias setorizadas, valores maiores foram observados em setores considerados mais expostos, por receberem maiores valores de altura significativa de onda (ver Figura 87 e Figura 88, páginas 171 e 172). Nota-se também, de forma geral, que maiores valores de declividade recebem maiores valores de *runup*. Tais resultados corroboram com Roos e Batjes (1976), que indicam que os valores de *runup* apresentam relação direta com os valores de H_s e declividade da face da praia.

Somando os valores de *runup*, maré astronômica e maré meteorológica, foram obtidas as séries de CI instantânea para as praias da Barra da Lagoa/Moçambique, Santinho, Ingleses e Brava (Tabela 39).

Como esperado, os valores de CI instantânea apresentaram o mesmo comportamento demonstrado nas análises de *runup*. Os menores valores foram obtidos nos setores protegidos com aumento em direção aos setores mais exposto. Os valores médios variaram de 0,69 m a 1,06 m em Ingleses, de 0,66 m a 1,43 m nas praias de Moçambique e Barra da Lagoa, Santinho e Brava apresentaram médias de 1,11 m e 1,10 m, respectivamente. Já os valores máximos variaram de 2,32 m a 2,87 m e 2,25 m a 3,31 m ao longo dos setores de Ingleses e Barra da Lagoa/Moçambique respectivamente, sendo de 3,05 m na Praia do Santinho e 2,93 m na Praia Brava.

Com base nestas séries foi realizada a análise de regime extremo (metodologia explicada no Item 2.8, página 119). A distribuição de probabilidade acumulada (Gumbel de Máximos) da CI instantânea para cada um dos setores e os respectivos valores de período de retorno (5, 10, 25 e 50 anos) está apresentada da Figura 96 a Figura 99.

Tabela 39: Estatística das séries de CI (m) instantânea para cada praia/setor da área expostas.

Praia	Setor	Moda	Média	Mínimo	Máximo
Barra da Lagoa Moçambique	1	0,50	0,66	-0,59	2,25
	2	0,77	0,85	-0,39	2,43
	3	1,19	1,29	-0,01	3,19
	4	1,14	1,43	0,14	3,31
Santinho	Único	1,11	1,11	-0,191	3,05
Inglese	1	0,43	0,69	-0,54	2,32
	2	0,97	0,87	-0,35	2,47
	3	0,75	1,06	-0,16	2,87
	4	0,93	0,83	-0,40	2,41
Brava	Único	1,00	1,10	-0,13	2,93

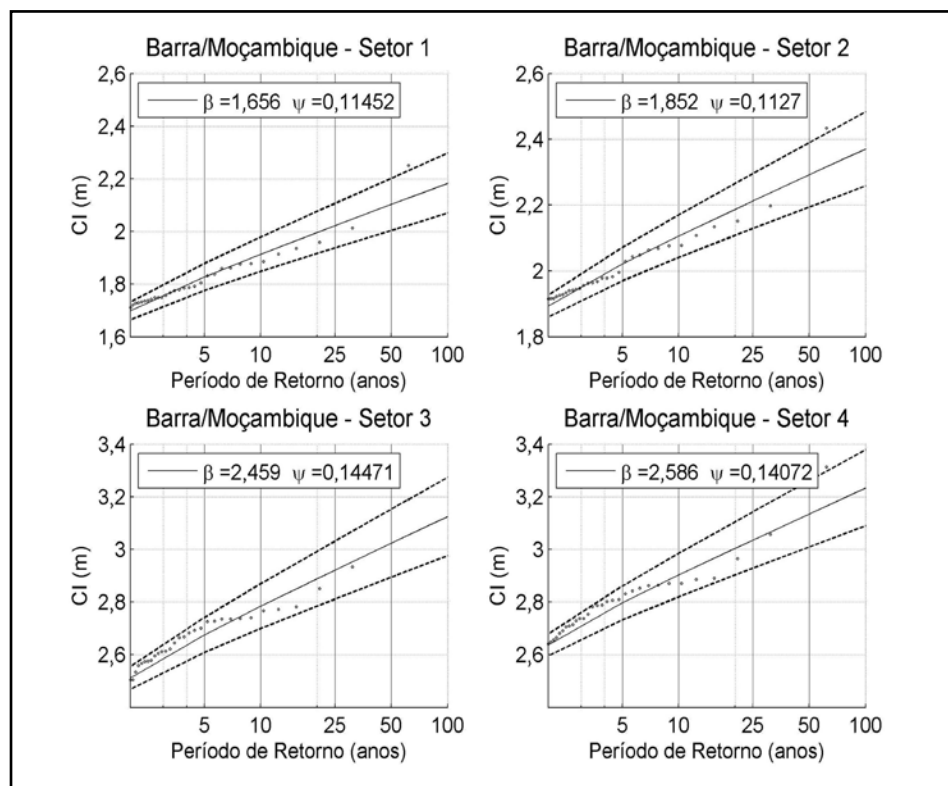


Figura 96: Distribuição de probabilidade acumulada (Gumbel de Máximos) da CI instantânea para os quatro setores da Barra da Lagoa/Moçambique.

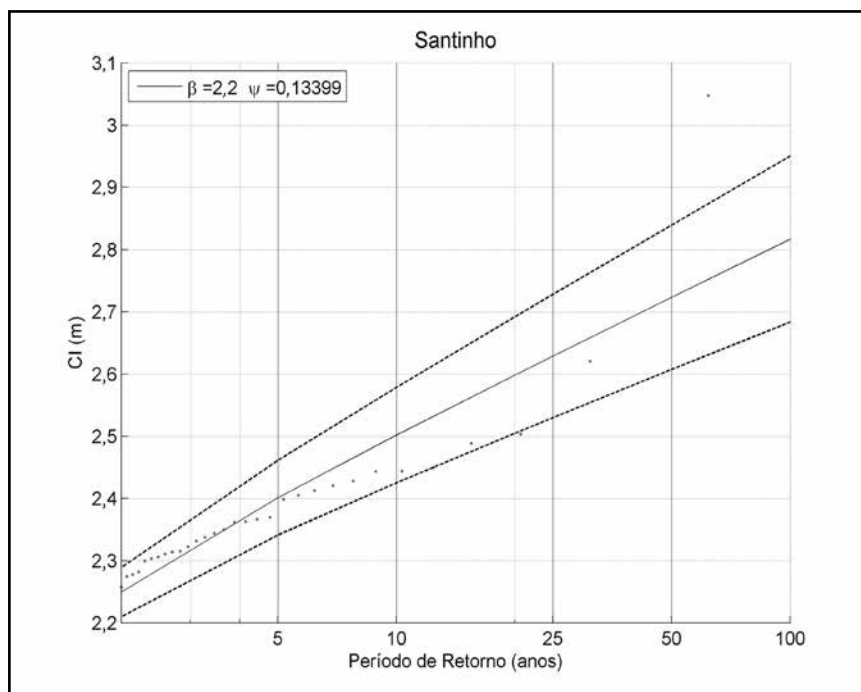


Figura 97: Distribuição de probabilidade acumulada (Gumbel de Máximos) da CI instantânea para o setor único do Santinho.

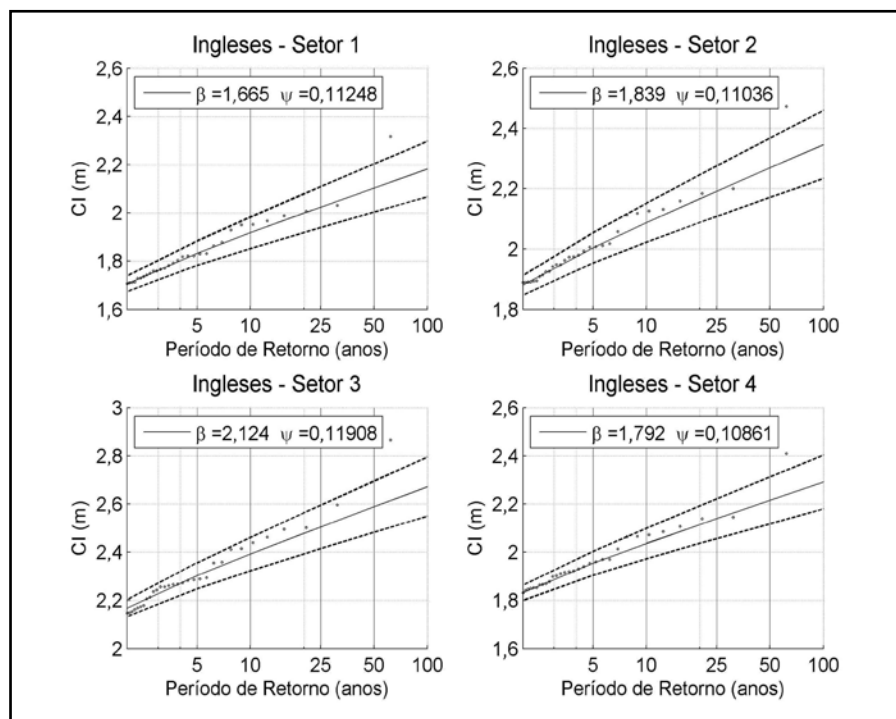


Figura 98: Distribuição de probabilidade acumulada (Gumbel de Máximos) da CI instantânea para os quatro setores dos Ingleses.

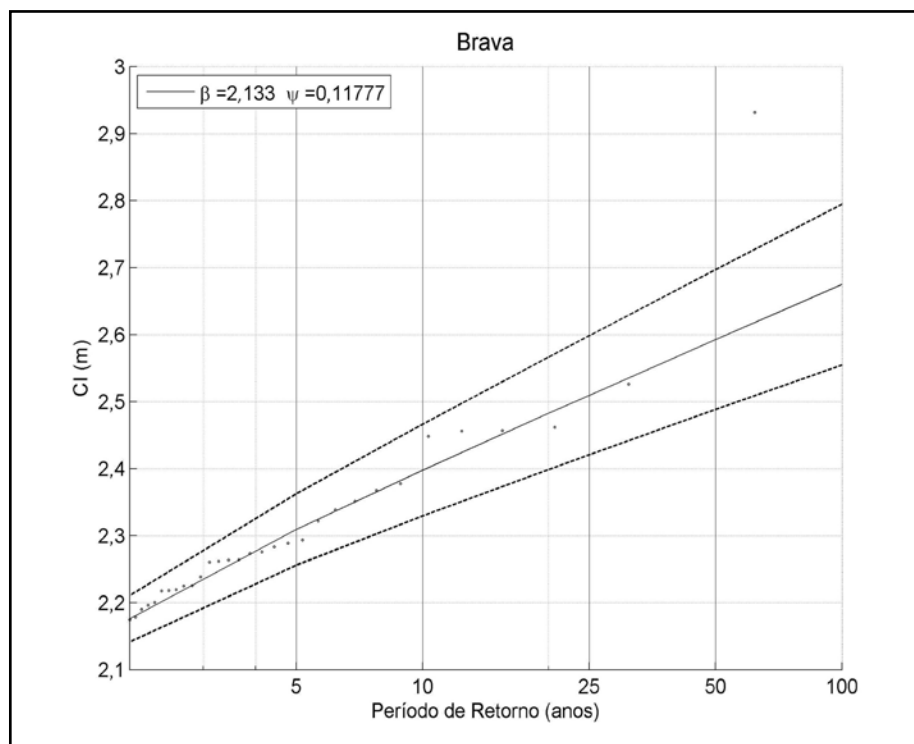


Figura 99: Distribuição de probabilidade acumulada (Gumbel de Máximos) da CI instantânea para o setor único da Brava.

Aos valores de CI instantânea obtidos da análise foram então somados os valores de elevação de nível do mar referentes a cada um dos cenários propostos e a diferença entre as referências altimétricas do IBGE e DHN (0,61 m). Os resultados finais obtidos para 5, 10, 25 e 50 anos estão apontados nas Tabelas 40 a 43.

Tabela 40: Valores de período de retorno de CI (m) obtidos para as praias de Moçambique e Barra da Lagoa.

Barra da Lagoa/Moçambique				
Setor	PR(05)	PR(10)	PR(25)	PR(50)
1	2,46	2,57	2,74	2,94
2	2,65	2,76	2,93	3,13
3	3,31	3,44	3,64	3,86
4	3,43	3,55	3,75	3,97

Tabela 41: Valores de período de retorno de CI (m) obtidos para a Praia do Santinho.

Setor	Santinho			
	PR(05)	PR(10)	PR(25)	PR(50)
Único	3,03	3,15	3,35	3,56

Tabela 42: Valores de período de retorno de CI (m) obtidos para a Praia dos Ingleses.

Setor	Ingleses			
	PR(05)	PR(10)	PR(25)	PR(50)
1	2,46	2,57	2,74	2,94
2	2,64	2,74	2,91	3,10
3	2,93	3,04	3,22	3,42
4	2,59	2,69	2,86	3,05

Tabela 43: Valores de período de retorno de CI (m) obtidos para a Praia Brava.

Setor	Brava			
	PR(05)	PR(10)	PR(25)	PR(50)
Único	2,94	3,05	3,23	3,43

A Figura 100 apresenta um exemplo de representação da cota de inundação para o cenário de 50 anos na Praia da Barra da Lagoa. A visualização das demais praias e cenários podem ser visualizadas nas cartas de perigos costeiros no Apêndice A.

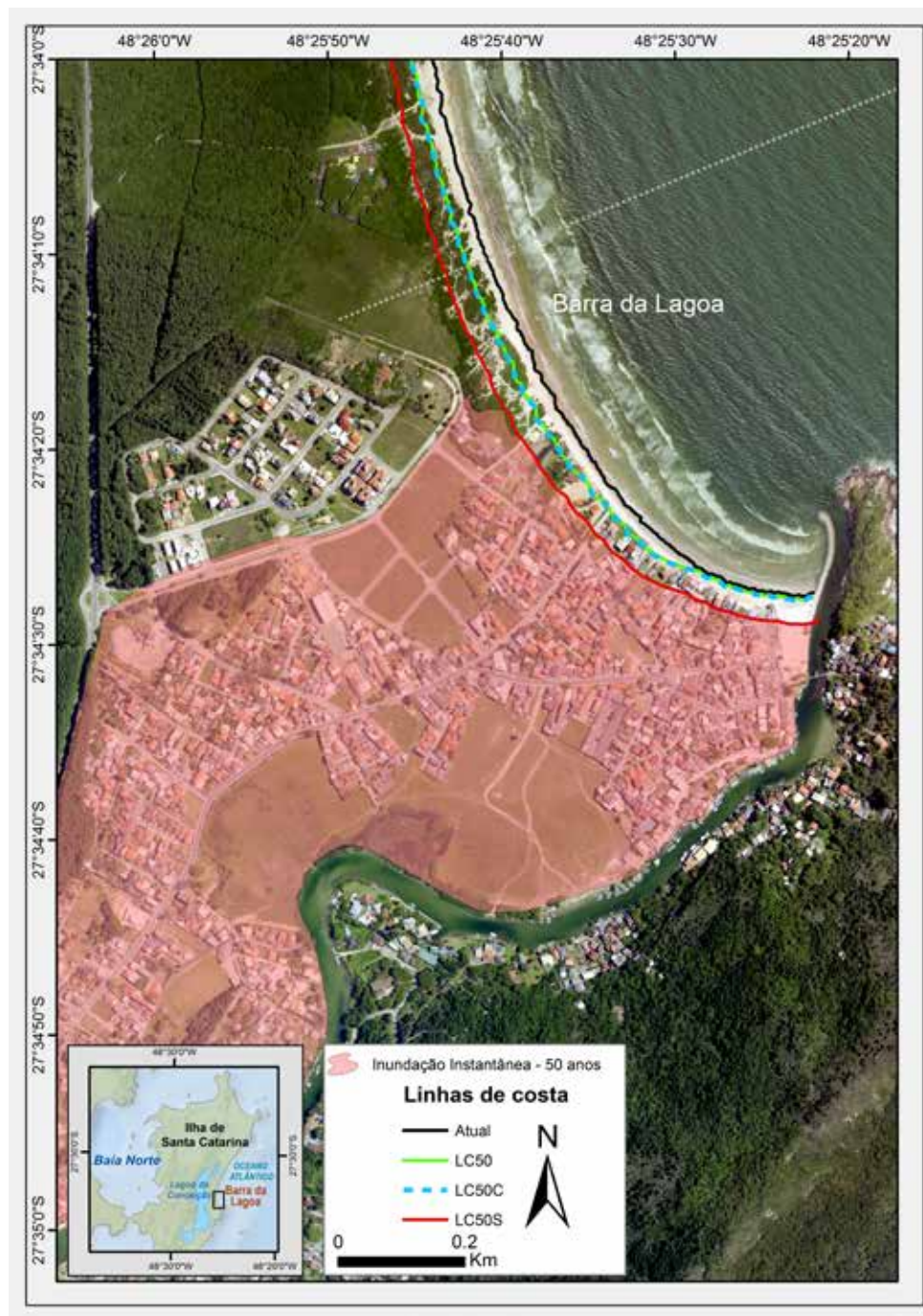


Figura 100: Representação da cota de inundação para o cenário de 50 anos na Praia da Barra da Lagoa. LC_{50S} é a retração por tempestade calculada através Método da Convolução. LC_{50C} é linha de costa futura gerada pela retração adicional, LC_{50} é a linha de costa futura calculada através da TEC e Atual é a linha de costa referente ao ano de 2012 coletada em campo. Fotografia de fundo: Secretaria do Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (SDS, 2010).

Gomes da Silva (2014) também apresentou uma comparação entre os valores de cota de inundação de regime extremo calculados para toda a costa do Brasil no documento “Uma proposta de abordagem para o estabelecimento de regime probabilístico de área de inundação costeira do Brasil” (MMA, no prelo (c)) com os valores encontrados em sua dissertação.

Os resultados são apresentados em gráficos de distribuição de probabilidade acumulada e período de retorno da cota de inundação instantânea de acordo com a orientação da linha de costa da praia analisada. Os valores de cota de inundação instantânea com período de retorno igual a 5, 10, 25 e 50 anos para o setor 1 de Moçambique-Barra da Lagoa obtidos no presente estudo e aqueles apresentados em MMA (no prelo (c)) estão demonstrados na Tabela 44 para comparação. Na Figura 101 estão apresentados os resultados da distribuição de extremos de tal estudo para as praias orientadas para NE (como é o caso do Setor 1 da Barra da Lagoa) e NNE da região centro-norte de Santa Catarina.

Tabela 44: Resultados de CI instantânea obtidos no presente estudo e apresentados em MMA (no prelo (c)) para o setor 1 de Moçambique/Barra da Lagoa. No caso do presente estudo: CI instantânea do presente estudo = CI (Tabela 40) - Elevação (Tabela 18). Estes dados não contam com o acréscimo da diferença entre os referenciais altimétricos do IBGE e DHN.

Cenário	CI Instantânea Setor 1 (Barra da Lagoa/Moçambique)	
	Presente estudo(m)	MMA (no prelo (c))(m)
PR (05)	1,83	3,60
PR(10)	1,91	3,70
PR(25)	2,02	3,90
PR(50)	2,10	4,00

Segundo a autora os valores obtidos para o litoral centro-norte catarinense apontam valores maiores que estes calculados no presente estudo (duas vezes maiores). Este fato foi atribuído a três principais causas:

- Base de dados de ondas utilizadas: Com o intuito de gerar dados regionais, a base de dados de reanálise de ondas utilizada em MMA (no prelo (c)) 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;

- Método de propagação de ondas utilizado: Os valores de cota de inundação apresentados no documento “Uma proposta de abordagem para o estabelecimento de regime probabilístico de área de inundação costeira do Brasil” (MMA, no prelo (c)) foram calculados a partir de alturas de ondas propagadas com o método de Snell da refração. Este 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 ;
- Método de cálculo de *runup*: O cálculo do *runup* em MMA (no prelo (c)) é realizado com base na formulação proposta por Nielsen e Hanslow (1991) que não foi formulada para aplicação em praias de enseada.

Cabe ressaltar que o objetivo do estudo do documento “Uma proposta de abordagem para o estabelecimento de regime probabilístico de área de inundação costeira do Brasil” (MMA, no prelo (c)) é gerar dados ao longo de toda a costa do Brasil que sirvam de base para uma análise preliminar (situações de pré-projeto), o que justifica a metodologia e escala empregada.

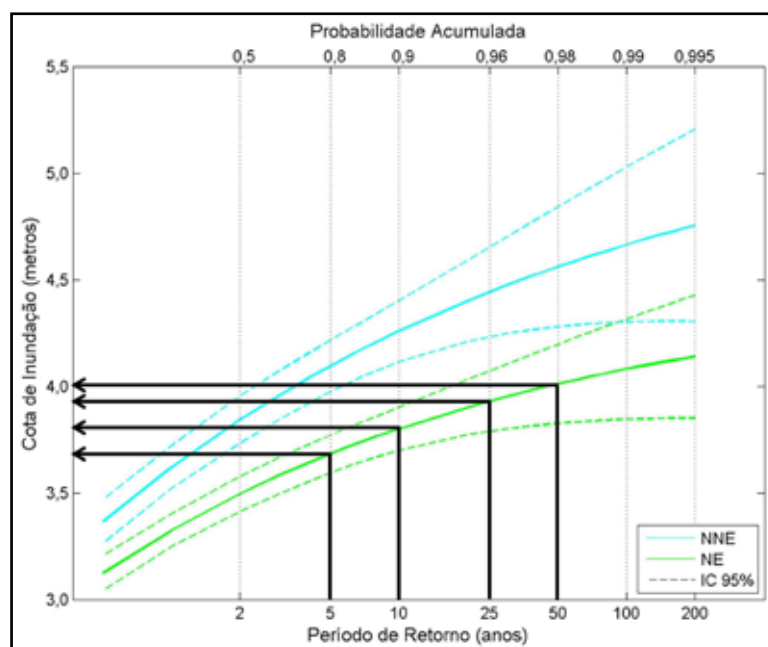


Figura 101: Resultados da análise de regime extremo para praias com orientação NE e NNE, apresentados em MMA (no prelo (c)).

Praias abrigadas

Devido à ocorrência de ondas geradas localmente e as premissas computacionais do Modelo SMC- Brasil não permitirem a modelagem de ondas até as praias do norte da Ilha de Santa Catarina: Lagoinha, Ponta de Canas, Cachoeira do Bom Jesus, Canasvieiras, Jurerê, Daniela e Forte e porção continental da área de estudo: Caieira, Anhatomirim, São Miguel, Pitangueiras e Rabelo foi adaptada a metodologia proposta por Carrasco et al. (2012). A qual leva em consideração apenas a soma da maré astronômica e maré meteorológica e a subida do nível do mar. Os autores incluíram também em sua análise a descarga fluvial, no entanto neste estudo estes valores não foram levados em consideração, uma vez que não há a presença de rios de grande porte na região de estudo.

A Figura 102 apresenta a distribuição de probabilidade acumulada (Gumbel de Máximos) da CI instantânea para as praias abrigadas e os respectivos valores de período de retorno (5, 10, 25 e 50 anos), enquanto que a Tabela 45 apresenta os valores de CI encontrados para as praias abrigadas, valores já somados com a diferença entre os *datums* verticais do IBGE e DHN. A ausência do *runup* nos cálculos diminui em cerca de 50% os valores de cota de inundação para as praias abrigadas se comparados aos maiores valores encontrados para a área exposta (Setor 4-Barra da Lagoa/Moçambique). Os mesmos dados se comparados aos valores obtidos por MMA (no prelo (c)) são cerca de 70% menores.

No entanto apesar da cota de inundação ser menor, esta área apresenta uma elevada urbanização, que aliada ao baixo relevo e a formação hidrográfica torna esta uma área suscetível à inundação mesmo com valores mais baixos quanto comparados as regiões expostas ao regime de ondas.

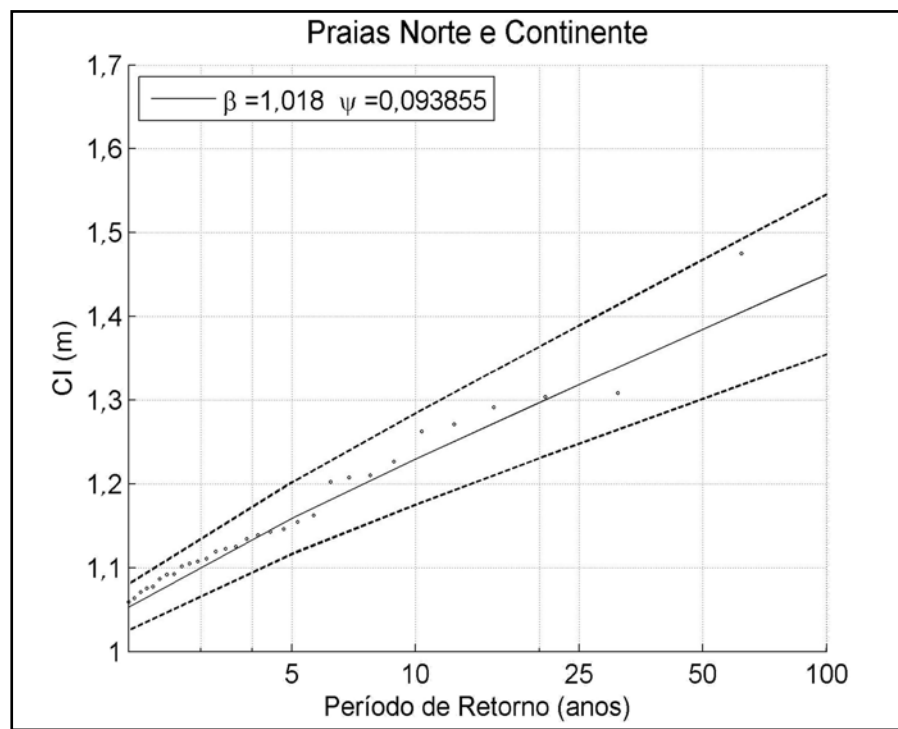


Figura 102: Distribuição de probabilidade acumulada (Gumbel de Máximos) da CI instantânea praias do norte e continente.

Tabela 45: Valores de período de retorno de CI(m) obtidos para as praias do norte da Ilha e região continental. Valores já somados com a diferença entre os datums verticais do IBGE e DHN.

Praias do norte da Ilha de Santa Catarina e porção continental da área de estudo.			
PR(05)	PR(10)	PR(25)	PR(50)
1,79	1,88	2,04	2,22

Lagoa da Conceição

A laguna Lagoa da Conceição é ligada ao oceano por meio de um canal longo, estreito e sinuoso denominado Canal da Barra da Lagoa. Segundo classificação proposta por Miranda et al. (2002) a laguna pode ser caracterizada como uma laguna sufocada devido a conexão com mar ser feita através de um canal estreito.

Devido aos dados de maré disponibilizados no Modelo SMC-Brasil terem sido gerados a partir de pontos selecionados ao longo da costa brasileira, em área oceânica (GOMES DA SILVA, 2014), não foi possível propagar os dados de maré até o interior da lagoa. Uma vez que o canal da Barra da Lagoa funciona como um filtro atenuando a maré astronômica em até 90% (PEREIRA, 2004). Portanto, não foi possível aplicar nenhuma das metodologias acima citadas para o cálculo da cota de inundação na Lagoa da Conceição.

3.7. Exposição à inundação costeira

Para a verificação da área de perigo foi utilizada a metodologia proposta por Ferreira et al. (2006). Os autores propuseram a soma de cenários de perigo de erosão e inundação da costa (Figura 103), contando com um cenário de inundação ocorrendo sobre o pior cenário de retração de linha de costa.

Com base nos valores de cota de inundação calculados anteriormente, foram verificadas as áreas expostas à inundação para cada um dos cenários propostos. Neste trabalho, as cartas de perigo foram geradas baseadas em dados topográficos de curvas de níveis disponibilizadas pelo Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis (IPUF) da área adjacente às praias analisadas.

Foram consideradas expostas ao perigo de inundação as áreas com valores de cotas topográficas menores que a cota de inundação calculada. Com base nestas cartas verificou-se a área exposta à inundação. Os resultados encontrados estão representados nas cartas temáticas em formato A3, em escala de 1:10.0000, as quais podem ser visualizadas no Apêndice A.

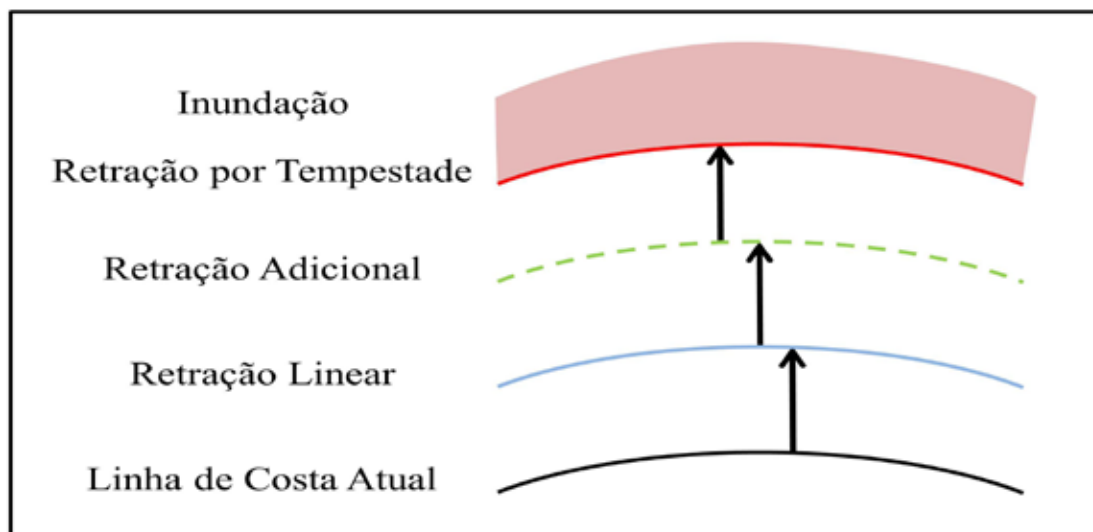


Figura 103: Esquemática da representação das cartas de perigo gerados, considerando sempre o pior cenário, como proposto por Ferreira et al. (2006).

As cartas temáticas contam com três valores de retração distintos:

1. Retração Linear: É a retração anual da linha de costa com base na taxa de evolução costeira (TEC). Trata-se de uma taxa de retração linear;
2. Retração adicional (Bruun): É a retração adicional, no caso das praias expostas, causada pela aceleração da elevação do nível do mar não considerada na retração linear calculada para as praias com declividade do perfil praiial até a profundidade de fechamento maior que 0,02 ($\tan\beta_b > 0,02$); ou a retração adicional devido ao efeito da inundação, no caso das praias abrigadas): É a retração adicional causada pela aceleração da elevação do nível do mar, onde retração da linha de costa devido à inundação causada pela subida do nível do mar é mais importante que a retração causada pela erosão devido ao ataque das ondas sobre a praia ($\tan\beta_b \leq 0,02$).
3. Retração por Tempestade para as praias expostas: Em casos de tempestade, ocorre a retração momentânea da linha de costa como resposta à ação das ondas (KRIEBEL e DEAN, 1993).

Buscando a demonstração do pior caso de exposição, os cenários propostos ficaram da seguinte forma:

Cenário 1:

- Retração linear prevista para 5 anos
- Retração adicional causada pela aceleração do nível do mar em 5 anos;
- Retração por tempestade com base em alturas de onda com PR = 5anos;
- Inundação com PR = 5 anos.

Cenário 2:

- Retração linear prevista para 10 anos
- Retração adicional causada pela aceleração do nível do mar em 10 anos;
- Retração por tempestade com base em alturas de onda com PR = 10 anos;
- Inundação com PR = 10 anos.

Cenário 3:

- Retração linear prevista para 25 anos
- Retração adicional causada pela aceleração do nível do mar em 25 anos;
- Retração por tempestade com base em alturas de onda com PR = 25 anos;
- Inundação com PR = 25 anos.

Cenário 4:

- Retração linear prevista para 50 anos
- Retração adicional causada pela aceleração do nível do mar em 50 anos;
- Retração por tempestade com base em alturas de onda com PR = 50 anos;
- Inundação com PR = 50 anos.

Cabe ressaltar que os cenários representados neste trabalho não contam com fatores como obstáculos antrópicos, rugosidade e infiltração no solo, os quais podem apresentar influência no processo analisado. Portanto é possível que haja diferenças entre os cenários proposto neste estudo e o observado em campo. No entanto a metodologia se mostra eficiente, uma vez que evidencia áreas em potencial perigo de inundação, o que

é de vital importância para a uma boa gestão costeira, facilitando como, por exemplo, a locação de serviços essenciais como postos de saúde, escolas, corpos de bombeiros e postos policiais.

3.8. Previsão dos impactos gerados por tempestades sobre a praia

A metodologia proposta por Sallenger (2000) foi adaptada por Prado et al. (em preparação), a fim de avaliar os possíveis padrões de impactos causados pela sobre-elevação do nível do mar devido a eventos de alta energia sobre a praia e o sistema de dunas frontais nas praias estudadas. As praias foram classificadas de acordo com a resposta da costa frente a eventos de tempestades em regime de espraçamento (*swash*), colisão (*collision*), sobrelavagem (*overwash*) e inundação (*inundation*). A Figura 104 apresenta o resultado desta classificação. A delimitação entre cada regime é baseada na mais alta (R_{Max}) e mais baixa (R_{Min}) elevação vertical do nível da água mar em direção à costa (ver Figura 64, página 128).

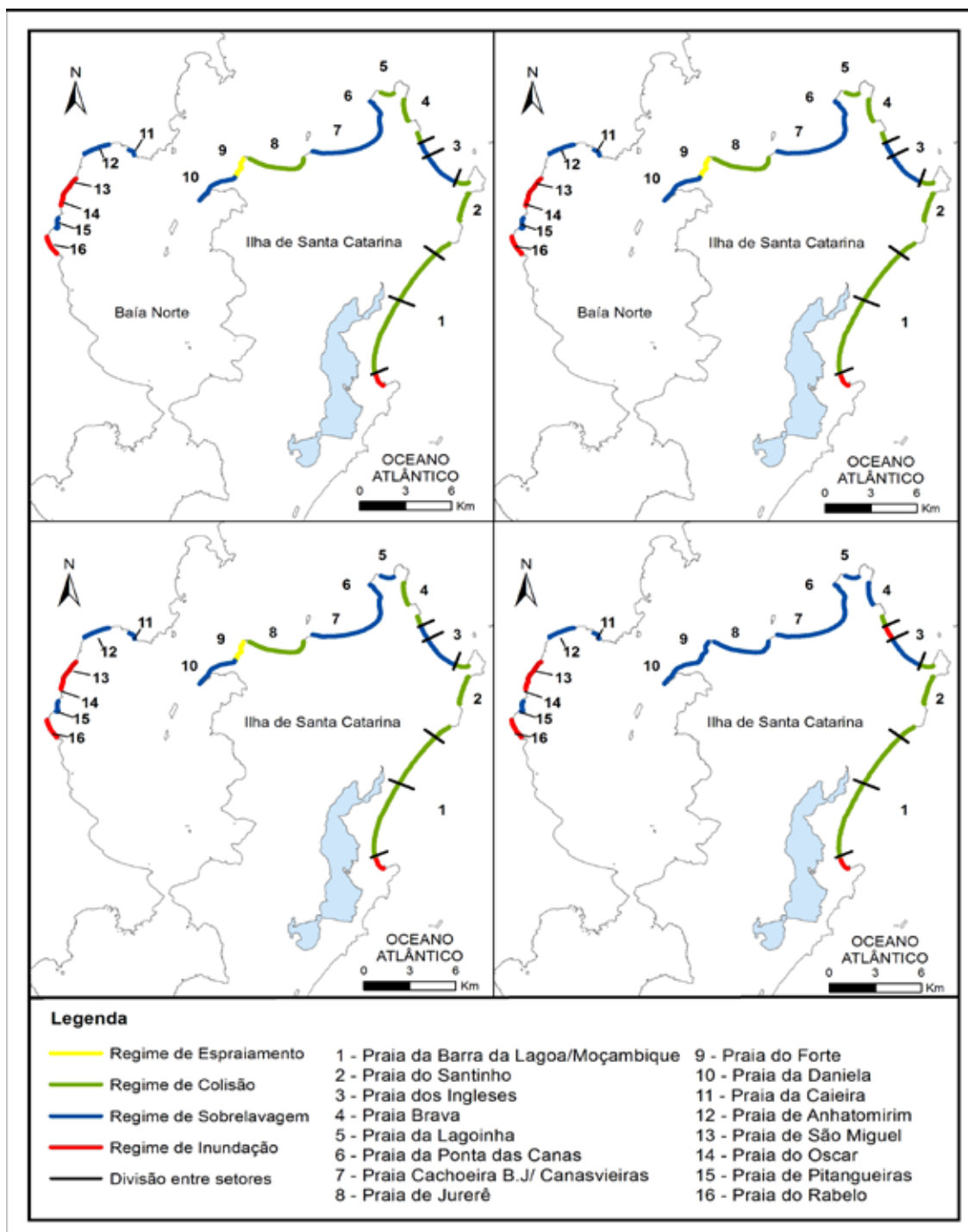


Figura 104: Classificação de acordo com a resposta da costa frente a eventos de tempestades em regime de espraimento (*swash*), colisão (*collision*), sobrelavagem (*overwash*) e inundação (*inundation*) de acordo com a metodologia adaptada de Sallenger (2000). Fonte: Prado et al. (em preparação).

Praias expostas

Para calcular os impactos gerados pela sobre-elevação do nível do mar devido a eventos de tempestades, diferentes períodos de retornos foram definidos. Para cada período de retorno foram calculados os valores extremos de *runup* *para cada praia localizada na área exposta, bem como a amplitude do espraiamento (swash) (Tabela 46). A estes valores foram adicionados os valores de MM, MA e a fim de relacionar os impactos gerados por tempestades sobre a praia com os cenários propostos neste trabalho foram então somados os valores de elevação de nível do mar referentes a cada um dos cenários propostos.*

Tabela 46: Valores de espraiamento calculados para cada praia/setor e para cada período de retorno analisado. Fonte: Prado et al. (em preparação).

Praia	Setor	PR(05) $S_{2\%}$ (m)	PR(10) $S_{2\%}$ (m)	PR(25) $S_{2\%}$ (m)	PR(50) $S_{2\%}$ (m)
Brava	Único	0,85	0,89	0,95	0,99
	1	1,48	1,57	1,68	1,77
	2	1,16	1,23	1,32	1,38
Ingleses	3	0,88	0,93	1,00	1,05
	4	0,92	0,98	1,05	1,10
Santinho	Único	0,79	0,87	1,02	1,15
	1	0,67	0,73	0,82	0,91
Barra da Lagoa / Moçambique	2	1,34	1,49	1,80	2,15
	3	1,69	1,90	2,30	2,72
	4	1,23	1,29	1,39	1,46

Os dados de R_{Max} e R_{Min} foram então comparados com os valores topográficos médios medidos em campo da crista (D_{Max}) e da base (D_{Min}) da duna frontal ou feição existente (Tabela 47). Se para um dado ponto os valores topográficos da base/crista da duna foram menor que R_{Max} , esta área foi categorizada como susceptível aos regime de colisão e sobrelavagem; e se foi menor que R_{Min} foi classificada como sujeita ao regime de inundação. A Tabela 48 apresenta os valores de R_{Max} e R_{Min} para cada um dos setores/praias e para cada um dos períodos de retorno analisados, assim como a classificação segundo regimes de impactos gerados por tempestades adaptados da metodologia proposta por Sallenger (2000).

Tabela 47: Valores de os valores topográficos médios medidos em campo da crista (D_{Max}) e da base (D_{Min}) da duna frontal ou feição existente para cada praia/setor.

Fonte: Prado et al. (em preparação).

Praia	Setor	D_{Max}	D_{Min}
Brava	Único	3,13	2,09
	1	6,42	1,48
Ingleses	2	1,94	1,66
	3	2,54	1,83
	4	4,16	2,19
Santinho	Único	4,74	2,40
	1	1,47	1,04
Barra da Lagoa / Moçambique	2	4,51	2,37
	3	6,39	2,78
	4	4,29	1,48

Os resultados da Tabela 48 evidenciam que o Setor 1 da Barra da Lagoa é submetido ao regime de inundação ($R_{Min} / D_{Max} > 1$). Esta mesma região da praia já vem sofrendo com os efeitos de eventos de alta energia, corroborando com os resultados encontrados (Figura 104). Krueger (2011) relata que a praia da Barra da Lagoa foi drasticamente atingida por uma série de eventos de alta energia em 2010, quando quatro casas foram destruídas pela força do mar (Figura 105), situação que associada às perdas também sofridas na Praia da Armação do Pântano do Sul, forçou o governo municipal de Florianópolis a decretar situação de emergência.

O Setor 3 da Praia dos Ingleses e a Praia Brava foram as únicas porções a apresentar mudança de regime entre os cenários analisados, ambas no período de 50 anos. Sendo o Setor 3 da Praia dos Ingleses classificado dentro do regime de sobrelavagem (*overwash*) nos períodos de retorno de 5, 10 e 25 anos e com o aumento gradativo do *runup* o mesmo setor passou a ser classificado como sujeito ao regime de inundação no período de retorno de 50 anos. Enquanto que a Praia Brava é submetida ao regime de colisão passando a sobrelavagem com o aumento de R_{Max} no período de 50 anos. Já o Setor 2 da Praia dos Ingleses foi classificado como dentro do regime de sobrelavagem para todos os cenários propostos.

Simó e Horn Filho (2004), através de um levantamento de áreas de riscos de destruição e/ou danificação de edificações devido a “ressacas” na Ilha de Santa Catarina,

identificaram as praias da Barra da Lagoa e Ingleses como possuindo edificações com alto grau de risco. Os mesmos autores relatam o tombamento de um muro de contenção, construído em frente a um prédio residencial próximo ao limite entre os setores 2 e 3 da Praia dos Ingleses, após um evento de tempestade em maio de 1998.

Segundo Ciavola et al. (2015), os regimes de sobrelavagem e inundação são responsáveis pelas mais drásticas consequências sobre costas arenosas expostas a incidência de ondas, sendo responsáveis pela maioria dos perigos induzidos por tempestades. A ocorrência destes regimes em áreas de ocupação humana podem causar diversos prejuízos, tais como perda ou danos às infraestruturas adjacentes à costa, intrusão de sedimentos em canais de navegação, necessidade de remoção dos sedimentos oriundo da sobrelavagem da duna frontal de propriedades públicas e privadas, perda da proteção fornecida em detrimento da duna frontal no caso da mesma ser perdida, retração da linha de costa, entre outras (USACE, 2004).

Os demais setores e praias (setores 2, 3 e 4 da Praia da Barra da Lagoa, Praia do Santinho, Setores 1 e 4 da Praia dos Ingleses) foram classificados como sujeitos ao regime de colisão ($R_{Max}/D_{Higt} > D_{Min}/D_{Max}$). Isto se deve a presença da duna frontal, a qual representa, sob a ação de ondas de tempestades, uma barreira de proteção contra erosão e inundação costeira (HESP, 1990). No entanto a presença da duna frontal bem desenvolvida não é capaz de mitigar por completo os danos causados a costa por eventos de tempestades, como pode ser observado nos valores de retração por tempestades previstas neste estudo (ver Item 3.5, Tabela 37, página 190).

Tabela 48: Valores de R_{Max} e R_{Min} para cada praia/setor e para cada período de retorno analisado, valores em metros (m). Assim como a classificação segundos os regimes adaptados da metodologia de Sallenger (2000). Fonte: Prado et al. (em preparação).

Praia	Setor		PR(05)	PR(10)	PR(25)	PR(50)	Regime
Brava	Único	R_{Max}	2,94	3,05	3,23	3,43	Colisão
		R_{Min}	2,10	2,16	2,28	2,44	(PR05, PR10 e PR25)
	1	R_{Max}	2,46	2,57	2,74	2,94	Sobrelavagem (PR50)
		R_{Min}	0,98	1,00	1,06	1,18	Colisão
	2	R_{Max}	2,64	2,74	2,91	3,10	Sobrelavagem
		R_{Min}	1,48	1,41	1,91	1,72	
Ingleses	3	R_{Max}	2,93	3,04	3,22	3,42	Sobrelavagem
		R_{Min}	2,05	2,11	2,22	2,38	(PR05, PR10 e PR25)
	4	R_{Max}	2,59	2,69	2,86	3,05	Inundação (PR50)
		R_{Min}	1,68	1,72	1,83	1,97	Colisão
	Único	R_{Max}	3,03	3,15	3,35	3,56	Colisão
		R_{Min}	2,22	2,23	2,27	1,58	
Barra da Lagoa / Moçambique	1	R_{Max}	2,46	2,57	2,74	2,94	Inundação
		R_{Min}	1,75	1,81	1,92	2,07	
	2	R_{Max}	2,65	2,76	2,93	3,13	Colisão
		R_{Min}	1,02	1,03	1,07	1,17	
	3	R_{Max}	3,31	3,44	3,64	3,86	Colisão
		R_{Min}	0,87	0,82	0,80	0,85	
	4	R_{Max}	3,43	3,55	3,75	3,97	Colisão
		R_{Min}	1,56	1,55	1,59	1,69	



Figura 105: Efeito da ressaca que atingiu a Praia da Barra da Lagoa em maio de 2010. Bares, casas e estruturas públicas foram danificados. (Fotografias: (A) Cesar Carvalho e (B) Disponível em: <<https://escandiuzzi.wordpress.com>>

Praias Abrigadas

Para as praias abrigadas da área de estudo deste projeto a metodologia proposta por Sallenger (2000) foi adaptada por Prado et al. (em preparação). Devido as premissas computacionais do modelo SMC-Brasil não permitirem a propagação das ondas até as praias abrigadas da incidência de ondas, os valores de R_{Max} foram iguais as cotas de inundação (CI) calculadas através da adaptação da metodologia proposta por Carrasco et al. (2012) (ver Item 3.6, página 180).

Nesta metodologia leva-se em consideração apenas a soma da maré astronômica e maré meteorológica. Da mesma forma como foi feita para as praias exposta os valores de elevação de nível do mar referentes a cada um dos cenários propostos (5, 10, 25 e 50 anos) foram somados a R_{Max} , a fim de relacionar os impactos gerados por tempestade sobre a praia com os cenários propostos neste estudo.

Já R_{Min} é definido como sendo a máxima amplitude da maré astronômica para cada período de retorno analisado somado a diferença entre os *datums* verticais do IBGE e DHN. Assim as praias abrigadas foram classificadas segundo o regime de impactos gerados pela subida do nível do mar e pela sobrelevação induzida pelas marés meteorológicas. Os valores de R_{Max} e R_{Min} são apresentados na Tabela 49.

Tabela 49: R_{Max} e R_{Min} calculados a partir dos dados de maré astronômica e meteorológica. Fonte: Prado et al. (em preparação).

Praias do norte da Ilha de Santa Catarina e porção continental da área de estudo.				
	PR(05)	PR(10)	PR(25)	PR(50)
R_{Max} (m)	1,79	1,88	2,04	2,22
R_{Min} (m)	1,14	1,17	1,24	1,36

Como já mencionado anteriormente os ambientes onde se encontram as praias abrigadas se diferem em diversos aspectos, como granulometria, características topográficas e batimétricas. Por isso os resultados serão discutidos de forma separada para as praias da Costa Norte da Ilha de Santa Catarina (praias insulares) e para as praias localizadas no interior da Baía Norte (praias continentais).

Praias Insulares

Os valores de altura da crista (D_{Max}) e da base (D_{Min}) podem ser vistos na Tabela 50, assim como o regime em que cada praia foi classificada.

O arco praial Ponta das Canas/Canasvieiras e a Praia da Daniela foram classificados como susceptíveis ao regime de sobrelavagem ($R_{Max}/D_{Max} > 1$). Para o arco praial Ponta das Canas/Canasvieiras esta classificação se deve a ausência da duna frontal. Simó e Horn Filho (2004) destacam que a ocupação urbana sobre o sistema de dunas frontais de Pontas das Canas e Canasvieiras são responsáveis pela intensificação dos processos erosivos, proporcionando o recuo da linha de costa e consequentemente o avanço do mar sobre as edificações construídas sobre a duna frontal, tornando-as vulneráveis a eventos de alta energia.

Tabela 50: Valores de D_{Max} e D_{Min} medidos em campo e regimes para as praias abrigadas localizadas na Costa Norte da ilha de Santa Catarina.

Fonte: Prado et al. (em preparação).

Praia	D_{Max} (m)	D_{Min} (m)	Regime
Lagoinha	1,98	1,71	Colisão (PR05 e PR10) Sobrelavagem (PR25 e PR 50)
Ponta das Canas	1,54	1,54	Sobrelavagem
Canasvieiras	1,35	1,35	Sobrelavagem
Jurerê	2,16	1,41	Colisão (PR05, PR10 e PR 25) Sobrelavagem (PR 50)
Forte	2,12	2,12	Espraçamento (PR05, PR10 e PR 25) Sobrelavagem (PR 50)
Daniela	1,43	1,10	Sobrelavagem

Já a praia da Daniela apesar de ter sido classificada como sujeita ao regime de sobrelavagem, conta com a presença de dunas frontais estabilizadas e densamente vegetadas que em alguns pontos ultrapassam 70m de largura, o que garante uma maior proteção a eventos de alta energia quando comparada com praias urbanizadas (HESP, 1990, SIMÓ E HORN FILHO, 2004, SALLENGER, 2000, CIAVOLA, 2015). Simó e Horn Filho (2004) identificaram a praia da Daniela como sendo de baixo risco a erosão costeira, assim como as praias do Forte, Lagoinha e Jurerê, no entanto, estas duas últimas apresentaram mudança de regime com o aumento de R_{Max} , passando de colisão para sobrelavagem,

evidenciando que o sistema de dunas frontais e as áreas adjacentes tornam-se mais susceptíveis com alterações no nível do mar. Já a Praia do Forte foi a única a ser classificada como susceptível ao regime de espraiamento (PR05, PR10 e PR25), passando diretamente para o regime de sobrelavagem (PR50) devido a ausência da duna frontal, mesmo com a presença de um extenso pós-praia, a qual possibilita a dissipação dos efeitos gerados pelas marés meteorológicas.

Praias Continentais

Como pode ser observado na Tabela 51 todas as praias continentais foram classificadas como sujeitas ao regime de sobrelavagem ($R_{Max}/D_{Max} > 1$) ou ao regime de inundação ($R_{Min}/D_{Max} > 1$). A porção continental da área de estudo é caracterizada pela ausência de dunas frontais e com exceção das Praias de Anhatomirim e Caieiras todas apresentam elevado grau de urbanização em sua retaguarda às margens da BR-101. A combinação entre a ausência da proteção fornecida pelo sistema de dunas e o elevado grau de antropização conferem a esta área uma maior fragilidade frente aos eventos extremos, tornando este ambiente sujeito a drásticos prejuízos humanos e materiais.

Tabela 51: Valores de D_{Max} e D_{Min} medidos em campo e regimes para as praias abrigadas localizadas na porção continental da área de estudo. Fonte: Prado et al. (em preparação).

Praia	$D_{Max} = D_{Min}$ (m)	Regime
Anhatomirim	1,46	Sobreavagem
Caieiras	1,43	Sobreavagem
São Miguel	0,97	Inundação
Oscar	1,12	Inundação
Pitangueiras	1,20	Sobreavagem
Rabelo	1,09	Inundação



4. Considerações finais

Neste estudo foi apresentada a aplicação de uma metodologia para quantificação de perigos 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 entorno. A metodologia se mostrou eficiente, porém de difícil aplicação devido à falta de bases de dados oficiais, assim como pela falta de informações obrigatórias em bases cartográficas. Apesar das dificuldades, a aplicação da metodologia gerou resultados de previsão de linhas de costa futuras e inundação decorrentes de processos de sobre-elevação do nível do mar devido a eventos extremos.

Em um primeiro momento foi necessária a verificação das precisões das bases cartográficas disponíveis para a área de estudo. Este item apresentou uma análise da qualidade de bases cartográficas digitais oficiais disponíveis para o norte da Ilha de Santa Catarina e região de entorno, através de pontos de aferição coletados em campo com o auxílio de receptor GNSS. Nesta pesquisa privilegiou-se a localização dos pontos distribuídos nas regiões de maior concentração de informações cartografadas. As coordenadas obtidas nas bases cartográficas foram exaustivamente analisadas e comparadas com as coordenadas obtidas através de rastreios GNSS. Transformações de sistema e tratamentos estatísticos sugeridos por Rocha (2002) foram executados, podendo-se indicar a precisão dessas bases cartográficas oficiais seguindo a classificação do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC).

Foi possível concluir seguindo o PEC que a base disponibilizada pela SPU apresenta imprecisão de 2,54 m, não estando dentro das três classes pré-estabelecidas A, B e C no decreto federal. Enquanto que a base cartográfica do IPUF é classificada como B, sendo o PEC de 1,63 m, que corresponde a 0,8 mm na escala da carta (1:2.000). Dessa forma, a partir dos resultados obtidos na análise da precisão das bases cartográficas, sugere-se atenção quanto ao sistema de coordenadas e suas datas, assim como, quanto ao sistema de informação geográfica utilizado, com relação a seus cálculos internos. Conhecendo a precisão das bases cartográficas oficiais disponíveis para o norte da Ilha de Santa Catarina e entorno agrega-se maior precisão e exatidão na realização dos estudos de quantificação de perigos, exposição, vulnerabilidade, e riscos costeiros.

A determinação da taxa de evolução costeira (TEC) foi realizada através da comparação entre linhas de costas extraídas de fotografias aéreas verticais e linhas de costas obtidas em campo com receptor GNSS. A comparação entre linhas de costas de 55 anos de diferença (1957 a 2012) utilizando o método de Regressão Linear (LRR) para

o cálculo da TEC se mostrou eficiente por integrar a maioria das causas de longo prazo da evolução da linha de costa, além de reduzir substancialmente a influência devido às flutuações de curto prazo (interanuais), como por exemplo, tempestades.

Um diagnóstico das praias apontou processos erosivos expressivos para diversas praias em estudo com retrações de até 100% da linha de costa, como é o caso da Praia dos Ingleses, Jurerê e Anhatomirim. No total cerca de 56% (26.805,48 m) da linha de costa da área de estudo está em processo de retração. Este número pode ainda ser agravado se levarmos em consideração que aproximadamente 26% (12.329,58 m) da linha de costa encontra-se em estabilidade, um frágil estágio que pode ser quebrado através de intervenções antrópicas e/ou por mudanças no clima. Apenas cerca de 18% (8.540,55 m) da linha de costa da área analisada apresentou estar em processo de progradação.

Para a previsão das linhas de costas futuras foi utilizada a escala de 5, 10, 25 e 50 anos. A geração destes cenários deu-se pela multiplicação da TEC pelos anos de previsão. Para as porções de linha de costa que apresentaram valores positivos, ou valores abaixo do erro, isto é, cenários de estabilidade ou acresção, manteve-se o cenário atual, por este se tratar do pior cenário.

O modelo SMC-Brasil se mostrou eficiente em propagar as ondas até a costa das praias da área exposta. A partir dos resultados foi possível observar a influência dos promontórios e ilhas presentes na área de estudo no grau de exposição às ondas ao longo das praias. No entanto, devido às premissas computacionais do Modelo SMC-Brasil, o mesmo não se mostrou apto à propagação de ondas em áreas abrigadas.

Neste projeto foi proposto o levantamento de dados batimétricos e sonográficos ao longo de toda a área de estudo, no entanto devido às más condições climáticas enfrentadas durante as campanhas de aquisição de dados, não foi possível tratar todos os dados a tempo de serem utilizados na propagação de ondas. Para tal foram utilizados os dados de batimetria da base de dados do modelo SMC-Brasil na confecção das malhas de cálculo. Ao total foram sondados e processados 865,6 km de linhas de sonografia e batimetria, as quais estão disponibilizadas em formato digital.

Com o intuito de corrigir os dados batimétricos, três estações maregráficas foram instaladas nas extremidades da área de estudo, sendo um na Avenida Beira-mar Norte, um ao sul da área de estudo na Praia da Armação do Pântano do Sul e o terceiro na Lagoa da Conceição. As três estações foram niveladas em relação ao *datum* vertical do IBGE,

através da técnica de nivelamento geométrico, sendo materializados para cada estação três marcos de concreto a fim de viabilizar a reocupação das estações maregráficas, conforme especifica a NORMAN-25.

A verificação da diferença entre os *datums* da DHN (média das mais baixas marés de sizígia) e do IBGE (nível médio do mar medido em Imbituba medido entre os anos de 1949 a 1957) foi realizada através de um nivelamento geométrico entre dois referenciais de nível de ambas as instituições. Possibilitando assim, a correção parcial de valores de batimetria e topografia e, consequentemente uma aproximação para a união destas bases de dados, assumindo que o nível de referência não mudou. A diferença encontrada entre os *datums* foi de 0,61 m. Cabe ressaltar que esta metodologia deve ser tratada como uma aproximação, a qual só pode ser considerada válida nas imediações da área de estudo e sua extrapolação para outras áreas, sem considerar os efeitos hidrodinâmicos, não é adequada.

Os valores de retração adicional (Regra de Bruun) por aceleração da subida do nível do mar foram mínimos se comparados aos eventos de menor escala. No entanto, seu efeito em longo prazo (escalas geológicas) é visível nos resultados deste trabalho. Em apenas 50 anos a retração pela aceleração adicional apontou recuo de mais de um metro na linha de costa de setores das praias da Barra da Lagoa/ Moçambique e Ingleses.

Os cálculos da profundidade de fechamento interna e externa para as praias expostas da área de estudo foram realizados utilizando as formulações propostas por Hallermeier (1981). De acordo com estas equações são necessários dados de parâmetro de onda ($\bar{H}_s$ e $\bar{T}_s$) e de tamanho de sedimento (mediana). No entanto, visando verificar a zonação do perfil transversal em eventos de tempestade, optou-se por realizar o cálculo da profundidade interna com base em valores de H_{s12} . Para o cálculo da profundidade externa, utilizou-se o valor de $\bar{H}_s$. Cabe ressaltar que na base de dados do SMC-Brasil não há dados de $\bar{T}_s$, apenas de período de pico (T_p). Por esta razão, foi utilizada a média da série de T_p .

Para as praias abrigadas da área de estudo a profundidade de fechamento interna foi calculada através da identificação da profundidade onde a declividade do perfil praiial tende a zero. Dados topográficos do perfil praiial emerso foram interpolados juntamente com dados batimétricos coletados em campo e disponíveis na base de dados do modelo SMC-Brasil, para a identificação da profundidade de fechamento interna e declividade do perfil praiial. Esta metodologia se mostrou uma boa alternativa, uma vez que as equações normalmente utilizadas para calcular a profundidade de fechamento não são indicadas para

áreas onde o transporte de sedimentos por correntes é mais eficiente do que o transporte gerado por ondas.

Uma adaptação metodológica baseada na interpretação da Regra de Bruun feita por Van Rijn (1998) foi proposta para o cálculo da retração adicional em praias abrigadas da incidência de ondas. Esta metodologia foi aplicada para praias onde a declividade do perfil praial foi menor que 0,02 ($\tan\beta_b < 0,02$), sendo considerado para estas praias que a retração da linha de costa devido à inundação causada pelo aumento do nível do mar é mais importante que a retração causada pela erosão devido ao ataque das ondas sobre a praia. Foram evidenciadas retrações adicionais de até 1,8 m (Praia de Canasvieiras) para as praias insulares e de até 10 m (Praia de São Miguel) para as praias continentais. As maiores retrações encontradas nas praias continentais se devem a menor declividade do perfil praial nestas praias, uma vez que a retração da linha de costa (R_a) devido à subida do nível do mar decorrente do efeito da inundação (I), é inversamente proporcional a declividade do perfil praial.

O Método da Convolução (KRIEBEL E DEAN, 1993) apresentou resultados coerentes de retração decorrentes de grandes tempestades, se comparados aos valores descritos na literatura. Nas praias da Barra da Lagoa/Moçambique e Ingleses os setores com maiores valores de altura de quebra das ondas apresentaram maiores valores de retração. A Praia Brava evidenciou os maiores valores de retração, os quais ultrapassam os 53 m de retração (perfil 6, Praia Brava, cenário 50 anos), devido à baixa declividade e baixa altura da duna frontal.

O cálculo da cota de inundação proporcionou a construção das cartas temáticas, as quais têm como principal objetivo fornecer subsídios para novos estudos de adaptação de zonas costeiras. As cartas de perigo foram geradas com base em dados topográficos de curvas de nível disponibilizadas pelo Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis (IPUF) da área adjacente às praias analisadas. Foram consideradas expostas ao perigo de inundação as áreas com valores de cotas topográficas menores que a cota de inundação calculada.

Para o cálculo do *runup* foram utilizadas as formulações propostas por Vieira da Silva (2012) e Bonetti et al. (2012), as quais foram formuladas a partir da calibração das equações formuladas por Nielsen e Hanslow (1991) para praias expostas. No entanto, novos estudos preliminares realizados pela equipe do Laboratório de Oceanografia Costeira em conjunto com o Instituto de Hidráulica da Cantábria (IH Cantábria) apontam que estas formulações podem não ser as mais adequadas para a área de estudo. Isto se deve ao

fato de que as formulações foram propostas especificamente para a Praia de Piçarras, SC durante condições extremas de ondulação de sul, enquanto que a área de entorno da Ilha de Santa Catarina está sujeita a ondulações providas de mais direções.

Cabe salientar que os cenários propostos neste trabalho não contam com fatores como obstáculos antrópicos, rugosidade e infiltração no solo, os quais podem apresentar influência no processo analisado. Portanto é possível que haja diferenças entre os cenários proposto neste estudo e o observado em campo. No entanto, os mesmos podem ser levados em consideração, com cautela, em futuras tomadas de decisão, seja para novas obras de mitigação dos possíveis prejuízos decorrentes da esperada subida do nível do mar e eventos extremos, seja para o planejamento de futuras ocupações urbanas públicas ou privadas.

Foram também avaliados os possíveis padrões de impactos causados pela sobre-elevação do nível do mar devido a eventos de tempestade sobre a praia e o sistema de dunas. Quatro regimes de resposta da costa frente a eventos de alta energia foram propostos: Espraçamento, Colisão, Sobrelavagem e Inundação. A delimitação entre eles foi baseada na relação entre a mais alta (R_{Max}) e mais baixa (R_{Min}) elevação vertical do nível do mar com as elevações da base (D_{Min}) e da crista (D_{Max}) da duna frontal.

O estudo e a previsão de impactos gerados por tempestades representam um instrumento de extrema relevância para o entendimento aprofundado da dinâmica costeira sendo fundamental na aplicação de um efetivo gerenciamento costeiro. Uma vez que praias onde ocorrem os regimes de sobrelavagem e inundação estão sujeitas à drásticas consequências. A ocorrência destes regimes em áreas de ocupação humana podem causar diversos prejuízos às estruturas antrópicas e naturais como já foram evidenciados em setores das praias de Ingleses e da Barra da Lagoa, nesta última os prejuízos decorrentes de eventos de alta energia forçaram o governo municipal de Florianópolis a decretar Situação de Emergência.

Por fim a metodologia aplicada foi considerada eficiente podendo retratar de forma coerente e conservativa os cenários futuros propostos e ser replicada para outras costas do Brasil. É importante salientar que esta metodologia pode ser aprimorada com a inclusão de fatores como obstáculos antrópicos, rugosidade e infiltração do solo no processo de verificação da área exposta e modelagem numérica de áreas abrigadas.



5. Recomendações futuras

Como sugestões para futuras pesquisas, apontam-se os seguintes fatores que devem ter continuidade.

- Estudo da influência das variações da maré e altura das ondas na obtenção da linha de costa, através de fotografias aéreas e imagens de satélites para o cálculo do erro das taxas de evolução costeira (TEC).
- Para que estudos focados na previsão de áreas de inundação sejam possíveis, há necessidade de ter disponíveis produtos cartográficos de qualidade, que atendam às necessidades de cada usuário. Por isso recomenda-se a validação das bases cartográficas brasileiras, adequando-as ao Padrão de Exatidão Cartográfica, o qual define normas e procedimentos de padronização, permitindo a avaliação e produção de cartas com qualidade compatível com padrões internacionais.
- Recomendam-se novos estudos complementares de previsão dos parâmetros de ondas e determinação da profundidade de fechamento para cada um dos cenários futuros propostos.
- Um estudo em âmbito nacional para estabelecer qual a diferença entre os *datums* adotados por IBGE e DHN, englobando todas as instituições competentes e responsáveis, a fim de estabelecer uma relação entre os dados batimétricos e topográficos para servir de base para o cálculo dos efeitos das ondas e da inundação sobre a costa.
- A validação da previsão de retração adicional devido a aceleração do nível do mar. Para tal recomenda-se utilizar a Regra de Bruun para o passado (*hindcast* morfológico).
- Sugere-se a avaliação do modelo de previsão de linhas de costas futuras proposto nos anos 2017 (cenário de 5 anos) e 2022 (cenário de 10 anos) a partir da obtenção de linhas de costas, seja através de levantamentos em campo utilizando as técnicas GNSS ou através de fotografias aéreas e imagens de satélites futuras.
- Sugere-se ainda a inclusão de fatores tais como precipitação, infiltração da água no solo e a influencia do lençol freático no modelo de inundação proposto neste estudo. Novos estudos incluindo estes fatores viriam a contribuir com o aprimoramento do modelo.



Referências

- ABREU, J.G.N.; HORN FILHO, N.O.; SCHMIDT, A.D.; MENEGAZ, C.; DAMASIO, M. **Levantamento geológico e sísmico da plataforma continental interna dos estados do RS, SC e PR com ênfase dos depósitos econômicos granulados (siliclásticos, bioclásticos e minerais pesados) – Plataforma continental interna adjacente à Ilha de Santa Catarina** – Segundo Relatório Preliminar. Programa de Geologia e Geofísica Marinha (PGGM). 31p. 2010.
- ALMEIDA, L. E. S. B.; PORTO-FILHO, E. Características morfodinâmicas das praias arenosas da Laguna da Conceição, Ilha de Santa Catarina, SC. **Simpósio Brasileiro sobre Praias Arenosas. Resumos...** 128-129. 2000
- ARAÚJO, C. E. S.; FRANCO, D.; MELO FILHO, E.; PIMENTA, F. Wave regime characteristics of southern Brazilian coast. **6th International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries, COPEDEC**. Colombo, Sri Lanka, Paper nº97, 15p. 2003.
- BATTJES, J. Run-up distributions of waves breaking on slopes. **Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division**. 1971. 97: 91–114.
- BARLETTA, R.C. OLIVEIRA, U. MÁRIO, H.F.S, HORN FILHO, N. FRANCO, D. Levantamento de características ambientais e proposta de pré-projeto de engordamento da Praia de Canasvieiras – SC, Brasil. Anais Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica. 2008
- BERNARDI, J.V.E. LANDIM, P.M.B. **aplicação do sistema de posicionamento global (GPS) na coleta de dados**. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático 10, 31 pp. 2002. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: < <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/DIDATICOS/LANDIM/textogps.pdf>>
- BIRD, E. C. F. **Coastline Changes**, Wiley and Sons, New York, p. 219.1985
- BIRKEMEIER, W. A. The effects of the 19 December 1977 coastal storm on beaches in North Carolina and New Jersey. **Shore and Beach**, **47**, pp 7-15. 1979.
- BOAK, E.H. TURNER, I.L. 2005. Shoreline definition and detection: A Review. **Journal of Coastal Research**, v.21, n. 4, p. 688-703. 2005.
- BOEYINGA, J.; DUSSELJEE, D.W.; POOL, A.D.; SCHOUTENS, P.; VERDUIN, F.; VAN ZWICHT, B.N.M; KLEIN, AHF. The effects of a bypass dune field on the stability of a headland bay beach: A case study. **Coastal Engineering**.v. 57, pp.152-159, 2010.
- BONETTI, J.; NUNES, M. G.; OLIVEIRA, M. S. C.; GRÉ, J. C. R. N. Caracterização do relevo submerso da Baía Norte-SC com base na aplicação de um modelo digital de terreno. **II Simpósio Nacional de Geomorfologia -GEOSUL**, Florianópolis-SC. 211-217p. 1998.
- BONETTI, J., KLEIN, A.H.F., MULDER, M., DE LUCA, C.B. SILVA, G.V., TOLDO JR., E.E., GONZÁLEZ, M. **Spatial and numerical methodologies on coastal erosion and flooding risk assessment**. In: Finkl, C. (Editor) Coastal Hazards. Chapter 16.Coastal Research Library Series.Springer, Dordrecht. ISBN: 978-94-00-5233-7. 2012.

- BRASIL, Decreto 89917 de 20 de junho de 1984. Estabelece as instruções reguladoras das normas técnicas da cartografia nacional. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, n120, 22 de junho de 1984.
- BRUUN, P. Coast erosion and the development of beach profiles. **Tech. Memo. 1954. N.44, Beach Erosion Board**, Washington, D.C. 1954.
- BRUUN, P. Seal-level rise as a cause of shore erosion. **Journal of the Waterways and Harbors Division**.v.88, pp. 117-130, 1962.
- CALLIARI, L. J., TOZZI, H. A. KLEIN, A. H. da F. Beach morphology and coastline erosion associated with storm surge in southern Brazil- Rio Grande to Chuí, RS. **Anais Da Academia Brasileira de Ciências**, 70(2), 231–247, 1998.
- CAMPOS, A.V. **Caracterização morfológica e sedimentar do substrato das baías norte e sul (sc) com base em técnicas de análise espacial. 2011.** 95p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.
- CAMUS, P., A hybrid method to downscale wave climate to coastal areas. **Coastal Engineering**. doi: 10.1016/j.coataleng.2011.05.007.2011.
- 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, pp. 56-68, 2013.
- CARRASCO, A.R, Ferreira, Ó. Matias, A. Freire, P. Flood hazard assessment and management of fetch-limited coastal environments. **Ocean & Coastal Management** 65 15-25, 2012.
- CARTER R.W.G., WOODROFFE C.D. **Coastal evolution: Late quaternary shoreline morphodynamics. Cambridge University Press.** pp 514. 1994
- CARUSO JR, F. Mapa geológico da ilha de Santa Catarina. **Notas Técnicas** nº06. 1993.
- CARUSO JR, F. Relatório de impacto ambiental ao meio ambiente: OLX Estaleiro –SC. Biguaçu. pp 51.2009.
- CEPAL. Efectos del cambio climático em la costa de América Latina y el Caribe: Guía metodológica. pp 31. Naciones Unidas, Santiago de Chile. 2011.
- CIAVOLA, P. ARMAROLI, C. CHIGGIATO, J. Impacto f storms along the coastlie of Emilia-Romagna: the morphological signature on the Ravenna coastline (Italy). **Journal of Coastal Research**, SI50. pp 540-544. 2007.
- CIAVOLA, P. FERREIRA, O. VAN DONGEREN A. VRIES, J.V.T. ARMAROLI, C. HARLEY M. Prediction of storm impacts on beach and dune systems. In Hydrometeorological Hazards: Interfacing Science and Policy pp 227-251. DOI: 10.1002/9781118629567. 2015.
- COI - IOC – **Intergovernmental Oceanographic Commission**. Hazard awareness and risk mitigation in integrated coastal area management. United Nations Educational, Scientific

- and Cultural Organization (UNESCO), Manuals and Guides No 50, ICAM Dossier No 5, 141p., Paris, França. 2010. Disponível em http://www.loicz.org/imperia/md/content/loicz/stormsurges/sessione/3_barbiere_etal.pdf. Acesso em out 2011.
- COOPER, J.A.G. PILE, J. The adaptation-resistance spectrum: A classification of contemporary adaptation approaches to climate-related coastal change. **Ocean & Coastal Management** 94. pp 90-98.2014.
- CRUZ, O. **A Ilha de Santa Catarina e o continente próximo**; um estudo de geomorfologia costeira. Florianópolis: Ed. UFSC. 276p. 1998.
- CUNHA, G.S.: **Considerações sobre o aterro de Florianópolis**,. 10 f. Trabalho de conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina. 2005.
- DALINGHAUS, C.; SCHWEITZER, A.; HERNANDEZ, A.O.; VIEIRA DA SILVA, G.; OLIVEIRA, J.G.; GOMES DA SILVA, P.; RIBEIRO, P.J.C.; ARAUJO, R.S.; KLEIN, A.H.F. Diferentes abordagens metodológicas para análise das consequências de marés de tempestade: Ambientes praias antropizados e naturais. In: PAULA, D.P.; DIAS, J.A. **Ressacas do Mar / Temporais e Gestão Costeira. Fortaleza**: Premius, 2015. p. 21-64
- DEAN, R. G. Equilibrium beach profiles: U.S. Atlantic and Gulf Coast. **Ocean Engineering Technical Report**, n. 12, 45p. 1977.
- EIRD. Vivir con el Riesgo: Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres Versión 2004. **Secretaría Interinstitucional de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, Naciones Unidas** (EIRD/ONU).pp 134.2004.
- FARACO, K.R. **Comportamento morfodinâmico e sedimentológico da Praia dos Ingleses - Ilha de Santa Catarina - SC, durante o período de 1996 - 2001**. 2003. 119 p. Dissertação de Mestrado (Pós-graduação em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2003.
- FERREIRA, O. Storm groups versus extreme single storms: predicted erosion and management consequences. **Journal of Coastal research**, **SI42**. pp 221-227. 2005.
- 
- FERREIRA, O. GARCIA. T., MATIAS. A., TABORDA, R., ALVEIRINHO, J. D.. An integrated method for the determination of set-back lines for coastal erosion hazards on sandy shores. **Continental Shelf Research**. 26, 1030-1044. 2006.
- FGDC-STD (FEDERAL GEOGRAPHIC DATA COMMITTEE). **Geospatial positioning accuracy standards** (part 3): National Standard for Spatial Data Accuracy. Washington, DC: Federal Geographic Data Committee. 25p. 1998.
- FINKL, C. Disaster mitigation in the South Atlantic Coastal Zone (SACZ): a prodrome for mapping hazards and coastal land systems using the example of urban subtropical southeastern Florida. **Journal of Coastal Research**. 12: 339–366. 1994.

- FRANKLIN-SILVA L. **Identificação de sub-ambientes na Baía Sul (SC) com base na análise de variáveis oceanográfico sedimentares**. 105p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- GAPLAN. **Atlas de Santa Catarina**. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral, Rio de Janeiro. 1986.
- GOMES DA SILVA, P. **Exposição à inundação costeira nas praias dos Ingleses, Barra da Lagoa e Moçambique, Florianópolis, SC**. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. 237p. 2014.
- GOMES DA SILVA, P. KLEIN, A.H.F. GONZALEZ, M. GUTIERREZ, O. SPEJO, A. Performance assessment of the database downscaled ocean waves (DOW) on Santa Catarina coast, South Brazil. **Anais da academia brasileira de ciências**. 87: 623-634. 2015
- GRUBER, N. L. S. **A antepraia na região de Tramandaí - RS**. (Tese de doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 207p. 2002.
- GUZA, R. T.; THORTON, E. B. Swash oscillations on a natural Beach. **Journal of Geophysical Research**. v. 87, pp. 483-491, 1982.
- HALLERMEIER, R. J. **Uses for a calculated limit depth to beach erosion**. In: Proceedings of 16th Coastal Engineering Conference, ASCE, Hamburg, Germany, pp. 1493-1512. 1978
- HALLERMEIER, R.J. **Seaward limit of significant sediment transport by waves: An annual zonation for seasonal profiles**. CETA 81-2, U.S. Army Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, 1981.
- HEIDRICH, C. **Estudo comparativo sedimentológico e morfodinâmico de praias arenosas da Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil**. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. 228p. 2011.
- HESP, P. A. A review of biological and geomorphological processes involved in the initiation and development of incipient foredunes. *Proc R Soc Edin B-BI* 96. pp 181-202. 1990.
- HIMMELSTOSS, E.A. "DSAS 4.0 Installation Instructions and User Guide" in: THIELER, E.R., HIMMELSTOSS, E.A., ZICHICHI, J.L., and ERGUL, AYHAN. 2009 **Digital shoreline analysis system (DSAS) version 4.0 — An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278**. *updated for version 4.3. 2009.
- HORN, N. Ilha de Santa Catarina In: MUEHE, D. (Org.). (2006) - **Erosão e progradação do litoral brasileiro**, 476 p., Brasília: Ministério do Meio Ambiente. Brasil. 85-7738-028-9.
- IBGE, **Recomendações para levantamentos relativos estáticos-GPS**, disponível em <ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/pdf/recom_gps_internet.pdf>. 2008.
- IBGE, **Cidades@ dados do censo demográfico 2010** por cidade, acesso online em <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. 2010

- IBGE. **Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil / IBGE, Diretoria de Geociências**. 173p. ISBN: 9788524042195. Rio de Janeiro. 2011.
- IPCC. Fourth Assessment Report: Climate Change 2007: **The physical science basis**: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, H. L. Miller – eds.). Cambridge: Cambridge University Press, 996pp. 2007.
- IPCC: Climate Change: **The physical science basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2013
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres** / John Jensen; Tradução: José Carlos Neves Epiphanyo (coordenador – São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009.
- KAMPHUIS, J., W. **Introduction to Coastal Engineering and Management**. First Edition. Singapore: World Scientific, 2000.
- KLEIN, A.H.F., MENEZES, J.T., DIEHL, F.L.; ABREU, J.G.N., POLETTE, M., SPERB, R.M., SPERB, R.C. SANTA CATARINA. In: MUEHE, D. (Org.). (2006) - **Erosão e progradação do litoral brasileiro**, 476 p., Brasília: Ministério do Meio Ambiente. Brasil. 85-7738-028-9.
- KLEIN, A.H.F., SHORT, A.D., BONETTI, J. Santa Catarina beach systems. In: SHORT, A.D AND KLEIN, A.H.F. (eds), **Brazilian Beach Systems**. Springer Coastal Research Library. 2016.
- KRIEBEL, D.L.; DEAN, R.G.. Convolution method for time dependent beach-profile response. **Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering**. 1993. 119: 204–226. 1993.
- KRUEGER, J. Análise dos parâmetros meteorológicos e oceanográficos dos eventos de ressaca, ocorridos entre janeiro de 2001 à dezembro de 2010, no Estado de Santa Catarina. Monografia (Graduação em Oceanografia) - Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2011.
- LINS DE BARROS, F. M. **Contribuição metodológica para análise local da vulnerabilidade costeira e riscos associados**: estudo de caso da Região dos Lagos. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2010.
- LEAL, P.C.; HORN FILHO, N.O.; OLIVEIRA, J.S. Evidências erosivas do setor centro-norte da praia de Moçambique, Ilha de Santa Catarina, Santa Catarina, Brasil. **Geosul**. v.14, n.27, pp. 229-231. 1998.

- MACHADO, A. A., CALLIARI, L. J., MELO, E., & KLEIN, A. H. da F. Historical assessment of extreme coastal sea state conditions in southern Brazil and their relation to erosion episodes. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, 5(2), 277–286. 2010.
- MELO, E.; MARTINS, R. P.; FRANCO, D. Standing wave tide at Florianópolis Bay (Brazil) and its Influence on bay pollution. **Anais do Bordomer 97 Amenagement et Protection de L'Environnement Littoral** Bordeaux, França. pp 143-151. 1997.
- MENEZES, J. T. **Caracterização morfológica e sedimentar do segmento praial Navegantes/Gravatá e sua ação sobre os esforços de recomposição da praia**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- MENEZES, J.T. **Balanco de Sedimentos Arenosos da Enseada de Balneário Camboriu- SC**. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós- Graduação em Geociências, Porto Alegre, RS. 149p. 2008.
- MÍNGUEZ, R., A. ESPEJO, A. TOMÁS, F. J. MÉNDEZ, I. J. LOSADA. Directional calibration of wave reanalysis databases using instrumental data. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**. v. 28, pp.1466–1485. 2011.
- MIRANDA, L. B., CASTRO, B. M., KJERFVE, B. **Princípios de oceanografia física de estuários**. São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 2002.
- MMA, MISTERIO DO MEIO AMBIENTE. **Macrodiagnóstico da zona costeira e marinha do Brasil**. Orgs. Zamboni, A; Nicolodi, J. L. 242p. ISBN 978-85-7738-112-8. Brasília. 2008.
- MMA, MISTERIO DO MEIO AMBIENTE. **Sistema de Modelagem Costeira (SMC): Documento Temático de Ondas**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. No prelo (a).
- MMA, MISTERIO DO MEIO AMBIENTE. **Sistema de Modelagem Costeira (SMC): Documento Temático de Níveis e Cota de Inundação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. No prelo (b).
- MMA, MISTERIO DO MEIO AMBIENTE. **Uma proposta de abordagem para o estabelecimento de regime probabilístico de área de inundação costeira do brasil**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. No prelo (c).
- MONICO, J. F.G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS. Descrição, fundamentos e aplicações**. Fundação da UNESP. Praça da Sé, 108 – São Paulo – SP, 2000.
- MONTEIRO, M. A. **Avaliação das condições atmosféricas de Florianópolis para controle da qualidade do ar**. Florianópolis. Monografia. (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Santa Catarina. 1992.
- MUEHE, D. **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. 476p. ISBN 85-7738-028-9. Brasília. 2006.

- MULER, M. **Avaliação da vulnerabilidade de praias da Ilha de Santa Catarina a perigos costeiros através da aplicação de um índice multicritério**. Dissertação (mestrado) Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. pp 203.2012.
- MULER, M. PRADO, M.F.V. ROCHA, R.S. CAMARGO, R.S.V. KLEIN, A.H.F. **Verificação da precisão de bases cartográficas da região de Florianópolis, SC**. Congresso Brasileiro de Cartografia. Gramado, RS. 2014.
- NEVES FILHO, S.C. **Variação da maré meteorológica no litoral sudeste brasileiro, de 1965 a 1986**. Tese de Mestrado, Programa de Engenharia Oceânica, COPPE/UHU, Rio de Janeiro. 1992.
- NICHOLLS, R. J. SMALL, C. Improved estimates of coastal population and exposure to hazards released. **Eos, Transactions American Geophysical Union**.v. 83, n. 28, pp. 301-305, 2002.
- NIELSEN, P. HANSLOW, D. J. Wave runup distributions on natural beaches. **Journal of Coastal Research**.v.7, n.4, pp. 1139-1152, 1991.
- NOBRE, C.A., CAVALCANTI, I.F.A., GAN, M.A., NOBRE, P.A., KAYANO, M.T., RAO, V.B., BONATTI, J.P., SATYAMURTI, P., UVO, C.B. and COHEN, J.C. Aspectos da climatologia dinâmica do Brasil. **Climanálise N° Especial**. 65p.1986
- OLIVEIRA, M. M. F. de, EBECKEN, N. F., OLIVEIRA, J. L. de, & SANTOS, I. de A. Neural Network Model to Predict a Storm Surge. **Journal Of Applied Meteorology And Climatology**, 48(January), 143–155. 2009.
- 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**. Monografia (Graduação em Oceanografia) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, p.163, 2013.
- PARISE, C. K. CALLIARI, L. J. KRUSCHE, N. Extreme storm surges in the south of Brazil: atmospheric conditions and shore erosion. **Brazilian Journal of Oceanography**, 57(3), 175–188. 2009.
- PEREIRA, R. **A estatística e suas aplicações**. Editora Grafosul. Porto Alegre – RS 
- PEREIRA, M. L. M.: **Estudo da dinâmica das águas do canal da Barra – Barra da Lagoa – Florianópolis, SC**. Dissertação (Mestrado em Geografia), UFSC, Florianópolis, Santa Catarina, 2004.
- PILKEY, O.H.; NEAL, W. Coastal geologic hazards. In: Sheridan, R.E., Grow, J.A. (Eds.), The geology of North America, vol. 1–2, The Atlantic Continental Margin: USA, **The Geological Society of America**. 549–556. 1988.

- POLETTE, M. 1997. **Gerenciamento Costeiro Integrado: Proposta metodológica para paisagem litorânea da Microbacia de Mariscal, Município de Bombinhas, (SC), Brasil**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de São Carlos. Centro de Ciências Biológicas e da Saúde. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais. 499 p.il, mapas, gráficos.
- PRADO, M.F.V. DALINGHAUS, C. WESCHENFELDER, J. KLEIN, A.H.F. Forecasting of storm impacts regimes on beache and foredune system. Em preparação.
- 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, pp.38-55. 2012.
- RIBEIRO, P.J.C. **Transformação de ondas em praias de enseada: Estudo de caso na enseada de Itapocorói**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 120, 2014.
- RUDORFF, F.M.; BONETTI, J.; MORENO, D. Maré de Tempestade. In: HERRMANN, M.L.P. 2007 (org). **Atlas de desastres naturais do Estado de Santa Catarina. Estado de Santa Catarina**, Secretaria de Estado da Segurança Pública e Defesa do Cidadão, Secretaria Executiva da Justiça e Cidadania. Florianópolis, pg 117 – 120. 2007.
- RUDORFF, F. M.; BONETTI FILHO, J.; MORENO, D. A.; OLIVEIRA, C. A. F & MURARA, P. G.. Maré de tempestade. In: Herrmann, M. L. P. Atlas de desastres naturais do Estado de Santa Catarina: período de 1980 a 2010. 2. Ed. IHGSC/Cadernos Geográficos, Florianópolis, p. 151-154. ISBN 978-85-67768-00-7.2014.
- ROCHA, R. S. **Exatidão cartográfica para as cartas digitais urbanas**. Tese (Doutorado). Geociências. Universidade Federal de Santa Catarina, 128f, 2002.
- ROOS, A.; BATJES, J.A. Characteristics of flow in runup from periodic waves. In: **International Conference Coastal Engineering**, 15. Hawaii. Proceedings... 1976, p.781-795. 1976.
- SALLENGER, A. H. Storm impact scale for barrier island. Journal of coastal research, 16. 890-895. 2000.
- SARAIVA, J. M. B., BEDRAN, C., & CARNEIRO, C. Monitoring of storm surges on Cassino Beach, RS, Brazil. **Journal Of Coastal Research**, 35(Special Issue), 323–331.2003.
- SDS. 2010. **Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável, Diretoria de Recursos Hídricos – DRHI / Coordenação de Cartografia – CC**. Fotografias aéreas cujo período de voo vai de abril/2010 a maio/2013.
- SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications**. Waltger de Gruyter. Berlin. 1993
- 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, pp.93-103, 2004.

- STROHAECKER, T.M. **Dinâmica populacional**. In: MMA. Macrodiagnóstico da zona costeira e marinha do Brasil. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2008.
- TRUCCOLO, E. C. **Maré meteorológica e forçantes atmosféricas locais em São Francisco do Sul, SC**. Dissertação Mestrado, Engenharia Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, UFSC, Florianópolis, p 100, 1998.
- UNDP. United Nations Development Programme. **Reducing Disaster Risk: A Challenge for Development**. UNDP, 2004. Disponível em: <http://www.undp.org/bcpr>. Acesso em: 15 jan 2013.
- THIELER, E.R., HIMMELSTOSS, E.A., ZICHICHI, J.L., and ERGUL, AYHAN. 2009 **Digital shoreline analysis system (DSAS) version 4.0 — An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278**. *updated for version 4.3. 2009.
- USACE, Coastal overwash. Part 1: Overview of processes. Regional sediment management (RSM) demonstration program technical note. pp 36. 2004.
- VAN RIJN, L. **Principles of coastal morphology**. Amsterdam: Aqua Publications, 1998.730 p.
- VIEIRA DA SILVA, G. **Cota de inundação e recorrência para a enseada do Itapocorói e praia de Morro dos Conventos, Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado em Geociências). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 98, 2012.
- VILES, H. SPENCER, T. **Coastal problems: geomorphology, ecology and society at the coast**. London: Edward Arnold. pp 352. ISBN: 0340 62540 6. 1995
- WATSON, D.F., PHILIP, G.M.. A refinement of inverse distance weighted interpolation. **Geoprocessing**, 2:315-327. 1985.



Lista de Figura e Tabelas

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Área de estudo compreendendo os setores do Litoral Norte da Ilha de Santa Catarina e áreas de entorno (continente).....	27
Figura 2: Diagrama explicativo da metodologia para gerar cartas temáticas de perigos costeiros integrados. Adotou-se aqui o exemplo de 50 anos.	30
Figura 3: Posicionamento relativo (Adaptado de IBGE, 2008).....	32
Figura 4: Estação Geodésica: 91851-Florianópolis/SC (UFSC). Fotografia Michel Franco Volpato Prado.	35
Figura 5: Localização dos pontos de apoio, bases de apoio e raios de distância para definição do tempo de rastreo em cada ponto.	36
Figura 6: Descrição visual do ponto a ser coletado em campo na cidade de Biguaçu. Imagem retirada do programa Google Earth, base cartográfica disponibilizada pela SPU.....	39
Figura 7: Traçado da linha de costa nas fotografias aéreas e imagens de satélite. Indicador utilizado: areia seca/areia úmida. Fotografias aéreas verticais – 1957-Secretaria de Planejamento e Gestão do Estado – SPG; 2002 Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis – IPUF.....	49
Figura 8: Linhas de costa extraídas de fotografias aéreas e imagens de satélites pretéritas. Praia da Lagoinha. Fotografia de fundo: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável (SDS, 2010)	49
Figura 9: (A) Levantamento de linha de costa em campo com uso do receptor GNSS adaptado a uma roda de bicicleta sobre o indicador areia seca/molhada. Fotografia Mariela Muler. (B) Representação da linha de costa coletada em campo. Fotografia de fundo fonte SDS (2010).	51
Figura 10: Sequência de etapas da variação da linha de costa.	52
Figura 11: Resumo dos métodos de cálculo de variação da linha de costa.	56
Figura 12: Localização das praias, sequência apresentada neste relatório.	58
Figura 13: Representação das linhas de costas futuras calculadas através da TEC. Adaptado de Ferreira et al. (2006). Neste exemplo considerou-se o período de 50 anos.	59
Figura 14: Em (i) representação das linhas de costas futuras calculadas através da TEC. Em (ii) representação das linhas de costas futuras ajustadas através da regra de Brunn. Adaptado de Ferreira et al. (2006). Neste exemplo considerou-se o período de 50 anos.....	62
Figura 15: Perfil praial 51 do Arco praial da Barra da Lagoa/Moçambique.	64
Figura 16: Zonação do perfil transversal à costa. Fonte: Modificado de Hallermeier (1981).....	66

Figura 17: Pontos da base de dados do SMC-Brasil utilizados para propagação de ondas até a costa	68
Figura 18: Histograma de H_s no Ponto 1 (ponto escolhido para propagação de ondas até as praias de Ingleses e Brava).....	69
Figura 19: Histograma de H_s no Ponto 2 (ponto escolhido para propagação de ondas até às praias de Barra da Lagoa/Moçambique e Santinho).	69
Figura 20: Histograma de T_p no Ponto 1 (ponto escolhido para propagação de ondas até as praias de Ingleses e Brava).....	70
Figura 21: Histograma de T_p no Ponto 2 (ponto escolhido para propagação de ondas até às praias de Barra da Lagoa/Moçambique e Santinho).	70
Figura 22: Rosa direcional de H_s do ponto 1.	71
Figura 23: Rosa direcional de H_s do ponto 2.	71
Figura 24: Localização dos pontos utilizados na validação. Pontos D1 e D2 são os pontos DOW mais próximos do ponto WR (boia Waverider).	73
Figura 25: Metodologia de validação dos dados de H_s e T_p da base de dados DOW.	74
Figura 26: Casos selecionados para propagação até as praias de Ingleses e Brava. Em vermelho os dados da série reduzida, em preto os casos selecionados.....	76
Figura 27: Casos selecionados para propagação até a praia do Santinho. Em vermelho os dados da série reduzida, em preto os casos selecionados.	76
Figura 28: Casos selecionados para propagação até Barra da Lagoa/Moçambique e Santinho. Em vermelho os dados da série reduzida, em preto os casos selecionados.	77
Figura 29: Localização dos levantamentos batimétricos e sonográficos na Ilha de Santa Catarina, compreendendo as regiões Leste/Norte da Ilha de Santa Catarina, entre as praias Barra da Lagoa e o pontal da Daniela.....	79
Figura 30: Isolinhas de profundidade criadas no processamento da batimetria. As linhas representam os polígonos criados manualmente e os pontos são os dados das cartas náuticas e folhas de bordo da DHN.	80
Figura 31: Batimetria processada: Praias dos Ingleses e Brava.....	81
Figura 32: Batimetria processada: Praia do Santinho.	82
Figura 33: Batimetria processada: Praia da Barra da Lagoa/Moçambique.....	83
Figura 34: Malhas 1 e 2 – Praia dos Ingleses e Brava.	84
Figura 35: Malhas 3 e 4 – Praias dos Ingleses e Brava.....	85
Figura 36: Malhas 1 e 2 – Praia do Santinho.	86
Figura 37: Malhas 3 e 4 – Praia do Santinho.....	86
Figura 38: Malhas 3 e 4 – Praia do Santinho.....	87
Figura 39: Malha 1 – Praia da Barra da Lagoa/Moçambique.	88

Figura 40: Malhas 2 e 3 – Praias da Barra da Lagoa/Moçambique.....	88
Figura 41: Malha 4 – Praias da Barra da Lagoa/Moçambique.....	89
Figura 42: 5 e 6 – Praias da Barra da Lagoa/Moçambique.	89
Figura 43: Malha 7 – Praias da Barra da Lagoa/Moçambique.....	90
Figura 44: Malhas para as praias do Norte da Ilha de Santa Catarina.	92
Figura 45: Malhas para as praias do Norte da Ilha de Santa Catarina.	92
Figura 46: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de nordeste (Malha aninhada norte) nas praias do Norte da Ilha de Santa Catarina.	93
Figura 47: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de leste (Malha aninhada Leste) nas praias do Norte da Ilha de Santa Catarina.....	94
Figura 48: Perfil longitudinal de pontos utilizado na análise de agrupamento da praia de Ingleses. Em vermelho, os perfis praias medidos em campo pelo projeto. Perfil 1 ao sul e Perfil 25 ao norte. Fotografia de fundo: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (SDS, 2010).	96
Figura 49: Perfil longitudinal de pontos utilizado na análise de agrupamento das praias da Barra da Lagoa/Moçambique. Em vermelho, os perfis praias medidos em campo pelo projeto. Perfil 1 ao sul e Perfil 64 ao norte. Fotografia de fundo: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (SDS, 2010).	97
Figura 50: Pontos amostrais do projeto REMPLAC2. As amostras utilizadas estão circuladas em vermelho. Fonte: Abreu et al. (2010).	100
Figura 51: Resposta do perfil praias a subida do nível do mar de acordo com Brunn (1954). Adaptado de Van Rijn (1998).	101
Figura 52: Identificação da profundidade de fechamento interna do perfil praias. Seta indicando a posição do perfil onde a declividade tende à zero. Em azul os dados extraídos em ambiente SIG e em vermelho os dados já suavizados após serem submetidos a um filtro.....	103
Figura 53: Localização dos perfis batimétricos extraídos para a identificação da profundidade de fechamento nas praias abrigadas. Em “A” Praia da Lagoinha, batimetria obtida em campo e fotografia de fundo SDS (2010). Em “B” Praia de Anhatomirim, batimetria da base de dados do SMC-Brasil e imagem de fundo Banco de dados ESRI.....	105
Figura 54: Representação das linhas de costa, adaptado de Ferreira et al. (2006). Neste exemplo considerou-se o período de 50 anos.	109
Figura 55: Eventos de tempestade de longa duração medidos na praia de Piçarras (FONTE: DALINGHAUS et al. 2015).....	113
Figura 56: Metodologia de cálculo da cota de inundação para os cenários propostos.....	115
Figura 57: Série de MA e MM para a região de Santa Catarina.	116

Figura 58: Processos de setup e espraçamento junto à praia. Fonte: Vieira da Silva (2012), modificado de Ruggiero et al. (1997). E é a elevação total, ET é a elevação decorrente das marés astronômica e meteorológica, R é a elevação causada pelo runup.	117
Figura 59: Compilação dos resultados de elevação do nível do mar global (IPCC, 2013).	120
Figura 60: Metodologia de verificação da diferença vertical entre os datums da DHN e IBGE.	123
Figura 61: Representação da correção realizada nos dados de inundação.	123
Figura 62: Curvas de nível utilizadas para comparação com os valores de cota de inundação na Praia da Barra da Lagoa. Números indicam a cota altimétrica de cada linha em relação ao nível médio do mar. Fonte: Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis – IPUF. Fotografia: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (SDS, 2010)	124
Figura 63: Exemplo de representação no mapa de exposição. Praia da Barra da Lagoa, Setor 1, linhas de costa e inundação previstas para 50 anos. Fotografia de fundo: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (SDS, 2010).	126
Figura 64: Definição esquemática das variáveis utilizadas na classificação dos impactos gerados pela sobrelevação do nível do mar devido a eventos de tempestades, adaptado de Sallenger (2000) e Ciavola et al. (2015).	128
Figura 65: Diagnóstico das praias estudadas. Porcentagem da linha de costa em retração, estabilidade ou progradação para cada praia.	142
Figura 66: Taxas médias de variação da linha de costa obtidas para cada praia em metros/ano.	144
Figura 67: Taxas de variação da linha de costa mínimas e máximas obtidas para cada praia em metros/ano.	145
Figura 68: Aterro da Av. Beira-Mar Norte. Linhas de costa em análise representadas em diferentes cores e transectos perpendiculares à linha de costa traçados a cada 50 m. Fotografia de fundo: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (SDS, 2010).	146
Figura 69: Taxas de variação da linha de costa da Av. Beira-mar norte. Transecto 06 a leste da praia e transecto 39 a oeste.	149
Figura 70: Terreno acrescido de marinha adquirido com a realização dos aterros na Av. Beira-Mar Norte. Fotografia de fundo: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (SDS, 2010).	150
Figura 71: Terreno acrescido de marinha adquirido em metros quadrados (m ²) para períodos de anos analisados	150

Figura 72: Exemplo de representação das linhas de costa previstas para cada cenário proposto (5, 10, 25 e 50 anos) na Praia do Santinho. Fotografia: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina, (SDS, 2010).	152
Figura 73: Dispersão Q-Q entre dados de reanálise (D1 e D2) e dados medidos (WR). Fonte: Gomes da Silva (2014).	154
Figura 74: Séries temporais utilizadas no processo de validação. Fonte: Gomes da Silva (2014).	155
Figura 75: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de nordeste (malha de detalhe 2) nas praias de Ingleses e Brava. Fonte: Gomes da Silva (2014).	157
Figura 76: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de sudeste (malha de detalhe 4) nas praias de Ingleses e Brava. Fonte: Gomes da Silva (2014).	158
Figura 77: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de nordeste (malha de detalhe 2) na praia do Santinho. Fonte: Gomes da Silva (2014).	159
Figura 78: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de leste (malha de detalhe 4) na praia do Santinho. Fonte: Gomes da Silva (2014).	160
Figura 79: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de sudeste (malha de detalhe 6) na praia do Santinho. Fonte: Gomes da Silva (2014).	161
Figura 80: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de nordeste (malha de detalhe 1) nas praias de Moçambique e Barra da Lagoa. Fonte: Gomes da Silva (2014).	162
Figura 81: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de leste (malha de detalhe 3) nas praias de Moçambique e Barra da Lagoa. Fonte: Gomes da Silva (2014).	163
Figura 82: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de leste (Malha de detalhe 6) nas praias de Moçambique e Barra da Lagoa. Fonte: Gomes da Silva (2014).	164
Figura 83: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de leste (Malha de detalhe 7) nas praias de Moçambique e Barra da Lagoa. Fonte: Gomes da Silva (2014).	165
Figura 84: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de sul (Malha de detalhe 4) na praia de Moçambique e Barra da Lagoa. Fonte: Gomes da Silva (2014).	166
Figura 85: Nível de corte utilizado para o agrupamento na praia de Ingleses. Fonte: Gomes da Silva (2014).	167

Figura 86: Nível de corte utilizado para o agrupamento em Barra da Lagoa/Moçambique. Fonte: Gomes da Silva (2014).	168
Figura 87: Setorização dos Ingleses com base na análise de agrupamento de dados de H_{SN} , H_{SS} , H_{SE} e declividade da face da praia. Fotografias: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (SDS, 2010). Fonte: Gomes da Silva (2014).	171
Figura 88: Setorização de Barra da Lagoa/Moçambique com base nos dados de H_{SN} , H_{SS} , H_{SE} e declividade da face da praia. Fotografias: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (SDS, 2010). Fonte: Gomes da Silva, 2014.	172
Figura 89: Pontos escolhidos de reconstrução da série de ondas em águas rasas. Fotografias: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (SDS, 2010).	175
Figura 90: Exemplo de linha de costa futura gerada pela retração adicional (LC50C) para o cenário de 50 anos na Praia da Barra da Lagoa. LC50 é a linha de costa futura calculada através da TEC e Atual é a linha de costa referente ao ano de 2012 coletada em campo. Fotografia de fundo: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável SC (SDS, 2010).	179
Figura 91: Exemplo de linha de costa futura gerada pela retração adicional (LC50C) calculada através da Regra de Brunn para o cenário de 50 anos na Praia de Jurerê. LC50 é a linha de costa futura calculada através da TEC e Atual é a linha de costa referente ao ano de 2012 coletada em campo. Fotografia de fundo: Secretaria do Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (SDS, 2010).	182
Figura 92: Exemplo de linha de costa futura gerada pela retração adicional (LC50C) devido ao efeito da inundação, calculada através do parametro I para o cenário de 50 anos na Praia de Canasvieiras. LC50 é a linha de costa futura calculada através da TEC e Atual é a linha de costa referente ao ano de 2012 coletada em campo. Fotografia de fundo: Secretaria do Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (SDS, 2010).	184
Figura 93: Exemplo de linha de costa futura gerada pela retração adicional (LC50C) devido ao efeito da inundação, calculada através do parametro I para o cenário de 50 anos na Praia de Anhatomirim. LC50 é a linha de costa futura calculada através da TEC e Atual é a linha de costa referente ao ano de 2012 coletada em campo. Imagem de fundo: Banco de dados ESRI.	187
Figura 94: Exemplo de linha de costa futura gerada pela retração adicional (LC50C) devido ao efeito da inundação, calculada através do parametro I para o cenário de 50 anos na Praia das Rendeiras. LC50 é a linha de costa futura calculada através da TEC e Atual é a linha de costa referente ao ano de 2012 coletada em campo. Imagem de fundo: Banco de dados ESRI.	189

Figura 95: Exemplo de linha de costa futura gerada pela retração por tempestade (LC50S) calculada Método da Convolução para o cenário de 50 anos na Praia da Barra da Lagoa. LC50C é linha de costa futura gerada pela retração adicional, LC50 é a linha de costa futura calculada através da TEC e Atual é a linha de costa referente ao ano de 2012 coletada em campo. Fotografia de fundo: Secretaria do Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (SDS, 2010).	191
Figura 96: Distribuição de probabilidade acumulada (Gumbel de Máximos) da CI instantânea para os quatro setores da Barra da Lagoa/Moçambique.	194
Figura 97: Distribuição de probabilidade acumulada (Gumbel de Máximos) da CI instantânea para o setor único do Santinho.	195
Figura 98: Distribuição de probabilidade acumulada (Gumbel de Máximos) da CI instantânea para os quatro setores dos Ingleses.	195
Figura 99: Distribuição de probabilidade acumulada (Gumbel de Máximos) da CI instantânea para o setor único da Brava.	196
Figura 100: Representação da cota de inundação para o cenário de 50 anos na Praia da Barra da Lagoa. LC50S é a retração por tempestade calculada através Método da Convolução. LC50C é linha de costa futura gerada pela retração adicional, LC50 é a linha de costa futura calculada através da TEC e Atual é a linha de costa referente ao ano de 2012 coletada em campo. Fotografia de fundo: Secretaria do Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina (SDS, 2010).	198
Figura 101: Resultados da análise de regime extremo para praias com orientação NE e NNE, apresentados em MMA (no prelo (c)).	200
Figura 102: Distribuição de probabilidade acumulada (Gumbel de Máximos) da CI instantânea praias do norte e continente.	202
Figura 103: Esquematização da representação das cartas de perigo gerados, considerando sempre o pior cenário, como proposto por Ferreira et al. (2006).	204
Figura 104: Classificação de acordo com a resposta da costa frente a eventos de tempestades em regime de espraiamento (swash), colisão (collision), sobrelavagem (overwash) e inundação (inundation) de acordo com a metodologia adaptada de Sallenger (2000).	207
Figura 105: efeito da ressaca que atingiu a Praia da Barra da Lagoa em maio de 2010. Bares, casas e estruturas públicas foram danificados. (Fotografias: (A) Cesar Carvalho e (B) Disponível em:	212

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Precisão do posicionamento relativo em função do tempo de observação, equipamento utilizado e comprimento da linha de base. Fonte: IGN – Instituto Geográfico Nacional (Espanha) – curso GPS em geodesia e cartografia (IBGE, 2008).	33
Tabela 2: Exemplo de planilha para cálculo da precisão das bases cartográficas.	41
Tabela 3: Fotografias aéreas disponíveis para a área de estudo do projeto.	42
Tabela 4: Cálculo da resolução do pixel no terreno, conforme equação sugerida por Jensen (2009).	44
Tabela 5: Erro Quadrático Médio e controle de precisão para cada conjunto de fotos para cada praia localizada na Ilha de Santa Catarina. Valores de EQM em metros.	47
Tabela 6: Erro Quadrático Médio e controle de precisão para cada conjunto de fotos para cada praia localizada na porção continental da área de estudo. Valores de EQM em metros.	48
Tabela 7: Áreas analisadas, datas, indicador da linha de costa e distância entre os transectos traçados.	56
Tabela 8: Dados necessários para o cálculo da retração pela elevação adicional do nível do mar e respectivas fontes de informação.	62
Tabela 9: Resultados encontrados para a praia do Forte, Norte da Ilha de Santa Catarina.	65
Tabela 10: Condições de redução das séries de ondas em águas profundas para casos possíveis de se propagar com o modelo OLUCA.	75
Tabela 11: Resolução e orientação das malhas de cálculo das praias dos Ingleses e Brava.	85
Tabela 12: Resolução e orientação das malhas de cálculo das praias do Santinho.	87
Tabela 13: Resolução e orientação das malhas de cálculo das praias de Barra da Lagoa/Moçambique.	90
Tabela 14: Dados necessários para o cálculo da retração por tempestade e respectivas fontes de informação.	110
Tabela 15: Valores de Hb (m) obtidos para os diferentes cenários propostos. Praia da Barra da Lagoa/Moçambique (Figura 49) e Praia dos Ingleses (Figura 48).	112
Tabela 16: Valores de Hb (m) obtidos para os diferentes cenários propostos. Praia do Santinho e Praia Brava.	113
Tabela 17: Tempo de resposta do perfil (Ts) em horas calculado para cada setor das praias analisada.	114

Tabela 18: Valores de elevação do nível do mar utilizados no cálculo da cota de inundação para cada cenário proposto.....	121
Tabela 19: RMax e RMin calculados a partir dos dados de maré astronômica e meteorológica.	129
Tabela 20: Cálculos das diferenças dos pontos rastreados em campo e das coordenadas da base SPU. Unidades em metros.	135
Tabela 21: Análise das resultantes em ordem crescente, base cartográfica SPU. Unidades em metros.	136
Tabela 22: Classificação cartográfica de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) brasileiro, para escala de 1:2.000.	136
Tabela 23: Resultados da diferença entre pontos da base cartográfica digital IPUF (2002/2003) e pontos rastreados em campo. Unidades em metros.....	137
Tabela 24: Resultantes em ordem crescente obtidas das coordenadas corrigidas, Base IPUF. Unidades em metros.	139
Tabela 25: Resumo da situação das praias da área de estudo comprimento da linha e porcentagem da linha de costa em retração ou progradação para cada praia.....	141
Tabela 26: Tabela resumo das taxas de variação da linha de costa obtidas para as praias da área de estudo.....	143
Tabela 27: Taxas de variação da linha de costa da Av. Beira-Mar Norte. Transectos a cada 50 m, 06 a leste e 39 a oeste. Valores positivos indicam progradação e negativos indicam retração.....	147
Tabela 28: Parâmetros estatísticos descritivos básicos de D1, D2 e WR. Fonte: Gomes da Silva (2014).....	153
Tabela 29: Parâmetros estatísticos obtidos da comparação Q-Q (Quantis da distribuição de Gumbel). Fonte: Gomes da Silva (2014).....	154
Tabela 30: Resultado da análise de agrupamento para a praia de Ingleses. As diferentes cores na tabela representam os diferentes grupos encontrados. Fonte: Gomes da Silva (2014).....	169
Tabela 31: Resultado da análise de agrupamento para a praia de Barra da Lagoa/Moçambique. As diferentes cores na tabela representam os diferentes grupos encontrados. Fonte: Gomes da Silva (2014).....	170
Tabela 32: Estatística de H_s no ponto de reconstrução da série de ondas em águas rasas (15m) da praia dos Ingleses.....	174
Tabela 33: Estatística de H_s nos pontos de reconstrução da série de ondas em águas rasas (15m) da praia da Barra da Lagoa/Moçambique.	174

Tabela 34: Variáveis utilizadas e resultados do cálculo da profundidade de fechamento obtidos para as praias analisadas.	176
Tabela 35: Retração adicional calculada para as praias expostas da Ilha de Santa Catarina.	178
Tabela 36: Valores de declividade média do perfil praial ($\tan\beta_b$) e profundidade de fechamento para as praias abrigadas. * Devido à presença de um grande número de barcos ancorados em frente à Praia de Ponta das Canas, Canasjurê e a Praia do Forte não foi possível realizar o levantamento batimétrico nestas áreas.	180
Tabela 37: Médias dos valores de retração por tempestade para as praias da Barra da Lagoa/Moçambique, Santinho, Ingleses e Brava.	190
Tabela 38: Estatística das séries de wave runup para cada praia/setor da área analisada.	192
Tabela 39: Estatística das séries de CI(m) instantânea para cada praia/setor da área expostas.	194
Tabela 40: Valores de período de retorno de CI (m) obtidos para as praias de Moçambique e Barra da Lagoa.	196
Tabela 41: Valores de período de retorno de CI (m) obtidos para a Praia do Santinho.	197
Tabela 42: Valores de período de retorno de CI (m) obtidos para a Praia dos Ingleses.	197
Tabela 43: Valores de período de retorno de CI (m) obtidos para a Praia Brava.	197
Tabela 44: Resultados de CI instantânea obtidos no presente estudo e apresentados em MMA (no prelo (c)) para o setor 1 de Moçambique/Barra da Lagoa. No caso do presente estudo: CI instantânea do presente estudo = CI (Tabela 40) - Elevação (Tabela 18). Estes dados não contam com o acréscimo da diferença entre os referenciais altimétricos do IBGE e DHN.	199
Tabela 45: Valores de período de retorno de CI(m) obtidos para as praias do norte da Ilha e região continental. Valores já somados com a diferença entre os datums verticais do IBGE e DHN.	202
Tabela 46: Valores de espraiamento calculados para cada praia/setor e para cada período de retorno analisado.	208
Tabela 47: Valores de os valores topográficos médios medidos em campo d a crista (DMax) e da base (DMin) da duna frontal ou feição existente para cada praia/setor.	209

Tabela 48: Valores de RMax e RMin para cada praia/setor e para cada período de retorno analisado, valores em metros (m). Assim como a classificação segundos os regimes adaptados da metodologia de Sallenger (2000).	211
Tabela 49: RMax e RMin calculados a partir dos dados de maré astronômica e meteorológica.	213
Tabela 50: Valores de DMax e DMin medidos em campo e regimes para as praias abrigadas localizadas na Costa Norte da ilha de Santa Catarina	214
Tabela 51: Valores de DMax e DMin medidos em campo e regimes para as praias abrigadas localizadas na porção continental da área de estudo.	215



LISTA DE ABREVIATURAS E SIMBOLOS

LISTA DE ABREVIATURAS

- BA** - Base de Apoio
CEPAL - *Comisión Económica para América Latina y el Caribe*
Cfa - Clima temperado chuvoso, sem estações de seca e com verões quentes
DHN - Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil
DSAS - *Digital Shoreline Analysis System*
DOW - *Downscaled Ocean Waves*
EPR - *Ponto extremo (End Point Rate)*
GNSS - *Global Navigation Satellite System*
GOS - *Global Ocean Surge*
GOT - *Global Ocean Tide*
GOW - *Global Ocean Waves*
GPS - *Global Position System*
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INDE - Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*
IPUF - Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis
LMS - Mínima mediana dos quadrados (*Least Median of Squares*)
LOC - Laboratório de Oceanografia Costeira
LRR - Taxa de regressão linear (*Linear Regression Rate*)
L1 - Classificação dos receptores geodésicos de uma fase ou portadora
L1/L2 - Classificação dos receptores geodésicos de duas fases ou portadoras
MA - Maré Astronômica
MaxDiss - Máxima Dissimilaridade
MDT - Modelo Digital de Terreno
MM - Maré Meteorológica
NM - Nível do Mar
NSM - Movimento líquido da linha de costa (*Net Shoreline Movement*)
PA - Ponto de Apoio
PEC - Padrão de Exatidão Cartográfica
PPK - Posicionamento Cinemático Pós-processado
PR - Período de Retorno
Ra - Retração adicional da linha de costa
RBF - Função de Base Radial (*Radial Basis Function*)
RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS

RN - Referencial de Nível

RRNN - Referenciais de Nível

RTK - *Real Time Kinematic*

SAD 69 - *South American Datum* (Datum Sul Americano)

SAD 69/96 - *South American Datum* (Datum Sul Americano), ajustado após 1996

SCE - Envelope de variação da linha de costa (*Shoreline Change Envelope*)

SGB - Sistema Geodésico Brasileiro

SLR - Aceleração no aumento do nível do mar (*Acceleration Sea Level Rise*)

SPU - Secretaria do Patrimônio da União

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

WRR - Regressão linear ponderada (*Weighted Linear Regression*)

LISTA DE SIMBOLOS

- A** - Parâmetro de sedimentação do grão (DEAN, 1977)
- a_j** - Coeficiente da RBF
- B** - Altura da berma em relação ao nível médio do mar
- CI** - Cota de Inundação
- D₅₀** - Mediana do tamanho de grão na profundidade 1,5 h.
- Dc** - Altura da duna frontal em relação ao nível médio do mar
- D_f** - Data final
- D_{Max}** - Altura da crista da duna frontal
- D_i** - Data inicial
- D_{Min}** - Altura da base da duna frontal
- Dpi** - Pontos por polegada (*Dots Per Inch*)
- E** - Tolerância para o erro de fechamento do nivelamento
- Eg** - Erro grosseiro
- EQM** - Erro quadrático médio
- EQM_{95%}** - Erro quadrático médio com nível de confiança de 95% em relação à posição verdadeira dos pontos na base cartográfica
- ES** - Elevação da superfície livre da tempestade
- g** - Aceleração da gravidade
- h_{*}** - Profundidade de fechamento interna
- H_b** - Altura de quebra de onda
- h_b** - Profundidade de quebra de onda
- hf_e** - Profundidade de fechamento externa
- H_s** - Altura significativa de ondas
- H_{S12}** - Altura de onda próxima à costa que é superada em apenas 12h/período
- H_{orms}** - Média quadrática da altura das ondas
- H_{SE}** - Altura significativa proveniente de leste
- H_{SN}** - Altura significativa proveniente de norte
- H_{SS}** - Altura significativa proveniente de sul
- H_(S,MA)** - Valor máximo de cota de inundação atingido no ano
- I** - Retração decorrente do efeito da inundação
- i** - Incerteza do método de georreferenciamento somado ao PEC dividido pelos anos de previsão da TEC
- L** - Distância entre a face superior e inferior do perfil praial
- L₀** - Comprimento de onda em águas profundas
- LC₀** - Linha de costa atual

- LC₅** - Linha de costa prevista para um período de 5 anos futuros utilizando a TEC
- LC_{5C}** - Linha de costa prevista para um período de 5 anos futuros ajustada considerando uma aceleração na taxa de aumento do nível do mar
- LC_{5S}** - linha de costa futura num tempo de 5 anos influenciado por grandes tempestades
- LC₁₀** - Linha de costa prevista para um período de 10 anos futuros utilizando a TEC
- LC_{10C}** - Linha de costa prevista para um período de 10 anos futuros ajustada considerando uma aceleração na taxa de aumento do nível do mar.
- LC_{10S}** - Linha de costa futura num tempo de 10 anos influenciado por grandes tempestades;
- LC₂₅** - Linha de costa prevista para um período de 25 anos futuros utilizando a TEC
- LC_{25C}** - Linha de costa prevista para um período de 25 anos futuros ajustada considerando uma aceleração na taxa de aumento do nível do mar.
- LC_{25S}** - Linha de costa futura num tempo de 25 anos influenciado por grandes tempestades;
- LC₅₀** - Linha de costa prevista para um período de 50 anos futuros utilizando a TEC
- LC_{50C}** - Linha de costa prevista para um período de 50 anos futuros ajustada considerando uma aceleração na taxa de aumento do nível do mar
- LC_{50S}** - linha de costa futura num tempo de 50 anos influenciado por grandes tempestades
- M** - Parâmetro de localização (posição da distribuição no eixo H_s) (KAMPHUIS, 2000).
- N** - Tamanho da população de pontos;
- n** - Tamanho da amostra de pontos;
- PM** - Tamanho do pixel em metros;
- RBF(Z_i)** - Função de interpolação
- R_{2%}** - *Wave runup* excedido por 2% dos casos analisados
- R_{2% exposto}** - *Wave runup* excedido por 2% dos casos analisados para praias expostas
- R_{2% Nielsen e Hanslow (1991)}** - *Wave runup* excedido por 2% dos casos calculados através da equação de Nielsen e Hanslow (1991).
- R_{2% protegido}** - *Wave runup* excedido por 2% dos casos analisados para praias protegidas
- R_{2% semiexposto}** - *Wave runup* excedido por 2% dos casos analisados para praias semiexpostas
- R_{2% semiprotégidas}** - *Wave runup* excedido por 2% dos casos analisados para praias semiprotégidas
- R_∞** - Retração máxima do perfil
- Ra** - Retração adicional da linha de costa
- R_{Max}** - Mais alta elevação vertical do nível da água do mar em direção à costa
- R_{Min}** - Mais baixa elevação vertical do nível da água do mar em direção à costa

Rt - Retração induzida por tempestades num período de t (5, 10, 25 e 50) anos, utilizando o Método de Convolução

S - Escala

S_{2%} - Amplitude do espraiamento (*swash*) proposto por Holman (1986)

SLRa - Velocidade de aumento do nível do mar ajustado por uma aceleração deste no futuro

SLRp - Velocidade de aumento do nível do mar no presente

SL_t - Nível do mar daqui a t (5, 10, 25 e 50) anos

S_m - Sobrelevação do mar

SS₅ - Progradação estimada para um período de 5 anos

SS₁₀ - Progradação estimada para um período de 10 anos

SS₂₅ - Progradação estimada para um período de 25 anos

SS₅₀ - Progradação estimada para um período de 50 anos

SS_t - Progradação estimada para um período de t anos

T - Tempo futuro (5, 10, 25 e 50 anos)

Tanβ_b - Declividade do perfil praial

tanβ_F - Declividade da face da praia

TD - Duração total do evento de tempestade

T_s - Tempo-resposta do perfil praial a dado evento

T_p - período associado a altura de onda (H_{s12})

X_{Base} - Coordenada no eixo X obtida na base cartográfica

X_{Foto} - Coordenada no eixo X obtida na fotografia aérea vertical

Y_{Base} - Coordenada no eixo Y obtida na base cartográfica

Y_{Foto} - Coordenada no eixo Y obtida na fotografia aérea vertical

X_b - Distância da profundidade de quebra da onda até a costa = $(h_b/A)^{3/2}$

Z - Intervalo de confiança

Z_i - Caso de onda em águas profundas

β - Declividade do perfil praial

ΔH - Diferença entre os *datums* da DHN e IBGE para a região de Florianópolis (SC)

σ - Desvio padrão

ε_r - Erro amostral relativo

μ - Média amostral

ξ₀ - Número de Iribarrem

p(Z_i) - Função de base monomial

δ - Taxa de retração adimensional da tempestade

γ - Desvio padrão dividido pelo erro amostral relativo (σ/μ)

Φ - Função de base radial para aquele parâmetro

