

Paula Gomes da Silva

**EXPOSIÇÃO À INUNDAÇÃO COSTEIRA NAS PRAIAS DOS INGLESES,
MOÇAMBIQUE E BARRA DA LAGOA, FLORIANÓPOLIS, SC**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do Grau de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Henrique da Fontoura Klein

Florianópolis

2014

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Gomes da Silva, Paula
Exposição à Inundação Costeira nas praias dos Ingleses,
Moçambique e Barra da Lagoa, Florianópolis, SC / Paula Gomes
da Silva ; orientador, Antonio Henrique da Fontoura Klein -
Florianópolis, SC, 2014.
237 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Programa
de Pós-Graduação em Geografia.

Inclui referências

1. Geografia. 2. cota de inundação. 3. retração da linha
de costa. 4. perigo costeiro. I. Klein, Antonio Henrique
da Fontoura. II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Muito aprendi no decorrer do desenvolvimento desta dissertação. Sei que nada construí sozinha e por isso gostaria de deixar aqui um agradecimento especial àqueles que tiveram participação significativa neste processo.

À minha família (meus pais Lúcio e Lucélia e meu irmão Tiago), agradeço pelo apoio, confiança e por tornarem tudo sempre possível.

Ao meu orientador Antonio Klein, por acreditar e exigir sempre o melhor de mim.

Aos Prof. Carla e Jarbas Bonetti por estarem sempre disponíveis e dispostos a contribuir.

À equipe do IH Cantabria, Mauricio González, Omar Gutierrez, Nabil Kakeh pelo suporte na pesquisa e pela disposição e prontidão em dividir o conhecimento, mesmo à distância.

Aos colegas e amigos do Laboratório de Oceanografia Costeira (integrantes e ex-integrates) Pri, Clarissa, Michel, Rafael, Maiara, Gui, Diego, Arthur, Allan, Alexandre e Mariela, pela ajuda, discussões, suporte e pelos momentos de descontração. Trabalha-se melhor quando o trabalho é com vocês.

À Charline e ao Jonas pela parceria nos trabalhos do Projeto SMC-Brasil e por estarem SEMPRE dispostos a ler, revisar, formatar, apoiar, rir, ouvir e aconselhar. Pela amizade construída. Vocês foram essenciais nessa jornada.

Ao Rapha pela ajuda com os mapas. Pela compreensão e apoio. Por estar presente.

Aos bons e velhos amigos de todas as horas Morjana, Olivia, Bri, Bru, Paula Nolli, Carolzinha, Bob e Zé por tornarem qualquer momento mais fácil, leve e alegre. Vocês são a família que eu escolhi!

Ao Prof. Norberto Horn Filho por disponibilizar os dados de sedimento do projeto PGGM utilizados no trabalho.

Ao Ministério do Meio Ambiente (MMA) e à Agência Brasileira de Cooperação (ABC) pelo suporte financeiro desta pesquisa através dos projetos SMC-Brasil e MMA-Riscos.

RESUMO

Este trabalho apresenta resultados da exposição associada à regimes extremos de cota de inundação nas praias dos Ingleses, Moçambique e Barra da Lagoa, no litoral norte da Ilha de Santa Catarina. A metodologia consistiu em de três etapas principais: i) validação da base de dados de reanalise a ser utilizada; ii) cálculo da cota de inundação associada aos períodos de retorno de 5, 25 e 50 anos e iii) verificação da exposição associada ao regime extremo de cota de inundação. A validação da base de dados de onda DOW se deu por meio da comparação com a série de dados medidos por um ondógrafo ao largo da ilha de Santa Catarina. Os resultados da validação apontaram bom desempenho do modelo em simular ondas na região, especialmente ao representar os valores de altura significativa. O cálculo da cota de inundação foi realizado a partir de propagações da série de 60 anos de dados de reanálise de onda até águas rasas. Com base nas séries de ondas propagadas a superelevação devido à quebra da onda (*runup*) foi calculada com formulação adaptada para praias de enseada e em seguida foram somados os valores de maré astronômica e maré meteorológica. A partir desta série foram obtidos os valores de cota de inundação associados a três cenários de regime extremo: período de retorno de 5, 25 e 50 anos. A seguir, foram somados os valores de elevação do nível do mar previstos para cada um dos cenários. O cálculo da área exposta foi realizado com base em modelo digital de elevação levando em consideração a retração da linha de costa prevista para 5, 25 e 50 anos. Três valores de retração foram considerados: retração linear calculada com base em dados pretéritos, retração adicional relacionada a aceleração do nível do mar e retração por eventos de tempestade. Com base na retração máxima foram consideradas expostas as áreas com valores topográficos menores a cota de inundação. Os resultados de retração linear indicaram maior retração na porção sul das praias analisadas (áreas abrigadas). O oposto foi observado com relação à retração por tempestade. Maiores áreas expostas à inundação foram observadas no sul das praias de Moçambique/Barra da Lagoa e foram relacionados à menor declividade do perfil. Já a porção sul da praia de Ingleses apresentou menores valores de área exposta e maiores valores de retração, associados ao perfil íngreme do setor.

Palavras-chave: cota de inundação; retração da linha de costa; perigo costeiro.

ABSTRACT

This work presents results of exposed areas related to extreme events of coastal inundation at Ingleses, Moçambique and Barra da Lagoa beach, on the northern coast of Santa Catarina Island. Methodology consisted on three main steps: i) validating reanalysis database; ii) calculating de inundation values related to 5, 25 and 50 years return period e iii) verifying de exposed area associated with this extreme inundation values. The validation was carried out by comparing data from a buoy moored seaward from Santa Catarina coast with the time series from DOW database data. The results of this process indicated a good performance of the model on simulating waves in this area, especially on representing significant wave height. To calculate inundation values, 60 years' time series were propagated until shallow waters. With the propagated series the super elevation due to breaking waves (*runup*) was calculated with a formulation adapted to headland bay beaches and the results were then added to tide and storm surge values. Based on this series inundation values for three scenarios were obtained: 5, 25 and 50 years return period. Finally the values of sea level elevation predicted for the three scenarios were added to the results. To verify the exposed area a terrain elevation model was used, also taking account the retraction of the shoreline predicted for 5, 25 and 50 years. Three different retraction values were considered: linear retraction calculated based on past data, retraction due to the acceleration of sea level rise and retraction due to storm events. Considering the maximum refraction values, areas with topographic values lower than the inundation values were considered exposed. Linear refraction indicated greater retraction on the south part of the analyzed beaches (sheltered areas). The opposite was observed when analyzing storm events retraction. Bigger exposed areas were observed on south part of the Moçambique/Barra da Lagoa beach and it was related to lower topographic values. South part of Ingleses beach presented smaller inundation areas and higher retraction values, associated to higher topography.

Key-words: Inundation quote, shoreline retraction, coastal hazard.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de estudo. Imagens: Google Earth.	33
Figura 2: Problemas associados à retração da linha de costa na porção sulda praia dos Ingleses. Fonte: Boeyinga <i>et al.</i> (2010).	35
Figura 3: Efeitos decorrentes da ressaca que atingiu a praia da Barra da Lagoa em maio de 2010. Bares, casas e estruturas públicas foram danificados. (Foto: Cesar Carvalho e Marcelo Gevaerd).....	37
Figura 4: Processos de setup e espraiamento junto à praia. Fonte: Silva (2012), modificado de Ruggiero <i>et al.</i> (1997). E é a elevação total, Et é a elevação decorrente das marés astronômica e meteorológica, R é a elevação causada pelo runup, $\langle \eta \rangle$ é a elevação causada pelo <i>setup</i> e S é a elevação pelo espraiamento (<i>swash</i>).	40
Figura 5: Classificação dos diferentes setores da praia de Piçarras para calibração realizada por Silva (2012) e Bonetti <i>et al</i> (2012).....	43
Figura 6: Processos envolvidos no cálculo da cota de inundação.	45
Figura 7: Regra de Bruun. Com a elevação do nível do mar, parte do volume de sedimento localizado na porção subaérea é transportado e depositado na porção submersa da praia, resultado na retração da linha de costa.	46
Figura 8: Tempestade entre dois pontos que cruzam a altura significativa limite. (Fonte: Adaptado de Holthuijsen, 2007).	49
Figura 9: Pontos selecionados ao longo da costa brasileira para posterior geração da série de maré astronômica (Fonte: IH CANTABRIA, no prelo (b)).	53
Figura 10: Pontos selecionados para geração das séries de maré meteorológica da base de dados do SMC Brasil. (Fonte: IH CANTABRIA, no prelo (b))	54
Figura 11: Esquematização das etapas seguidas na geração da base de dados de ondas DOW (Adaptado de IH CANTABRIA, no prelo (c)).	55
Figura 12: Comparação entre dados medidos por satélite e dados de reanálise antes e depois de calibrados. Em azul os dados medidos, em	

verde os dados de reanálise sem calibração, e em vermelho os dados de reanálise já calibrados (Fonte: Adaptado de Reguero <i>et al.</i> ,2012)..	57
Figura 13: Malhas de propagação utilizadas em cada uma das 17 zonas em que foi dividido o litoral brasileiro para realização do <i>downscaling</i> (Fonte: Adaptado de IH CANTABRIA, no prelo (c)).	58
Figura 14: Distribuição espacial dos dados de onda DOW ao largo da Ilha de Santa Catarina (Malha 14 do <i>downscaling</i>).	59
Figura 15: Marégrafos utilizados no processo de validação dos dados de maré astronômica (Fonte: Adaptado de MMA (no prelo)).	61
Figura 16: Comparação dos dados de maré astronômica da base de dados do SMC com os dados do marégrafo 60250 de Imbituba. <i>d</i> é a distância entre o ponto da base de dados e o marégrafo utilizado. (Fonte: Adaptado de IH Cantabria (no prelo (b))).	63
Figura 17: Marégrafos da Universidade do Haváí (UHSLC) utilizados na etapa de validação dos dados de maré meteorológica.	65
Figura 18: Comparação dos dados de maré meteorológica da base de dados do SMC com os dados do marégrafo 60250 de Imbituba (Fonte: Adaptado de IH Cantabria (no prelo (b))).	66
Figura 19: Localização dos pontos utilizados na validação. Pontos D1 e D2 são os pontos DOW mais próximos do ponto WR (boia Waverider).	68
Figura 20: Metodologia de validação dos dados de Hs e Tp da base de dados DOW.	69
Figura 21: Dispersão de densidade de Hs e Tp entre dados de reanálise (D1 e D2) e medidos (WR).	72
Figura 22: Dispersão Q-Q entre dados de reanálise (D1 e D2) e dados medidos (WR).	73
Figura 23: Séries temporais utilizadas no processo de validação.	76
Figura 24: Rosas de Tp de D1, D2, WR e do ponto mais profundo D3.	77
Figura 25: Rosa de ventos da Reanálise 1 (NCEP/NCAR) para o mesmo período das séries de ondas.	78
Figura 26: Metodologia de cálculo da cota de inundação para os cenários propostos.	81

Figura 27: Metodologia de cálculo do <i>runup</i>	82
Figura 28: Série de MA e MM para a região de Santa Catarina.	83
Figura 29: Pontos da base de dados DOW utilizados na propagação de ondas até águas rasas. A série do ponto um foi propagada até a praia de Ingleses e a série do ponto2 até as praias de Moçambique e Barra da Lagoa.	84
Figura 30: Histograma de Hs no Ponto 1 (ponto escolhido para propagação de ondas até a praia de Ingleses).	85
Figura 31: Histograma de Hs no Ponto 2 (ponto escolhido para propagação de ondas até às praias de Moçambique e Barra da Lagoa).	85
Figura 32: Histograma de Tp no Ponto 1 (ponto escolhido para propagação de ondas até a praia de Ingleses).	86
Figura 33: Histograma de Tp no Ponto 2 (ponto escolhido para propagação de ondas até às praias de Moçambique e Barra da Lagoa).	86
Figura 34: Rosa direcional de Hs do ponto 1.	87
Figura 35: Rosa direcional de Hs do ponto 2.	87
Figura 36: Casos selecionados para propagação até a praia de Ingleses. Em preto os dados da série reduzida, em vermelho os casos selecionados.	89
Figura 37: Casos selecionados para propagação até Moçambique/Barra da Lagoa. Em preto os dados da série reduzida, em vermelho os casos selecionados.	89
Figura 38: Isolinhas de profundidade criadas no processamento da batimetria.	90
Figura 39: Batimetria processada: Ingleses.	91
Figura 40: Batimetria processada: Moçambique/Barra da Lagoa.	92
Figura 41: Malhas 1 e 2 - Ingleses.	93
Figura 42: Malhas 3 e 4 - Ingleses.	93
Figura 43: Malha 1 - Moçambique/Barra da Lagoa.	94
Figura 44: Malhas 2 e 3 - Moçambique/Barra da Lagoa.	94
Figura 45: Malha 4 - Moçambique/Barra da Lagoa.	95

Figura 46: Malhas 5 e 6 - Moçambique/Barra da Lagoa.	95
Figura 47: Malha 7 - Barra da Lagoa.	96
Figura 48: Perfil longitudinal de pontos utilizado na análise de agrupamento da praia de Ingleses. Em vermelho, os perfis praias do Projeto MMA-Riscos. Perfil 1 ao sul e Perfil 25 ao norte. (Fotografias: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável SC).	99
Figura 49: Perfil longitudinal de pontos utilizado na análise de agrupamento das praias de Moçambique e Barra da Lagoa. Em vermelho, os perfis praias do Projeto MMA-Riscos. Perfil 1 ao sul e Perfil 64 ao norte. (Fotografias: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável SC).....	100
Figura 50: Compilação dos resultados de elevação do nível do mar global (IPCC, 2013).	102
Figura 51: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de nordeste (malha de detalhe2) na praia de Ingleses.....	104
Figura 52: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de sudeste (malha de detalhe 4) na praia de Ingleses.....	105
Figura 53: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de nordeste (malha 1) nas praias de Moçambique e Barra da Lagoa.	106
Figura 54: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de leste (malha de detalhe 2) nas praias de Moçambique e Barra da Lagoa.	107
Figura 55: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de sul (Malha 4) na praia de Moçambique e Barra da Lagoa.	108
Figura 56: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de leste (Malha 6) nas praias de Moçambique e Barra da Lagoa.	109
Figura 57: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de leste (Malha 7) nas praias de Moçambique e Barra da Lagoa.	110
Figura 58: Nível de corte utilizado para o agrupamento na praia de Ingleses.	112
Figura 59: Nível de corte utilizado para o agrupamento em Moçambique/Barra da Lagoa.	113

Figura 60: Setorização de Ingleses com base na análise de agrupamento de dados de HsN, HsS, HsE e declividade da face da praia.(Fotografias: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável SC).	116
Figura 61: Setorização de Moçambique/Barra da Lagoa com base nos dados de HsN, HsS, HsE e declividade da face da praia.(Fotografias: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável SC).	117
Figura 62: Pontos escolhidos de reconstrução da série de ondas em águas rasas. (Fotografias: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável SC).....	119
Figura 63: Distribuição das médias de Hs, declividade da face e <i>runup</i> ao longo de Moçambique/Barra da Lagoa.....	122
Figura 64: Distribuição dos valores máximos de Hs e <i>runup</i> ao longo de Moçambique/Barra da Lagoa.....	122
Figura 65: Distribuição de probabilidade acumulada (Gumbel de Máximos) do setor 1 - Ingleses.(Parâmetros da distribuição: $M = 0,588$ e $C = 0,1778$).....	124
Figura 66: Distribuição de probabilidade acumulada (Gumbel de Máximos) do setor 2 - Ingleses. (Parâmetros da distribuição: $M = 0,7746$ e $C = 0,1751$).....	124
Figura 67: Distribuição de probabilidade acumulada (Gumbel de Máximos) do setor 3 - Ingleses. (Parâmetros da distribuição: $M = 0,9512$ e $C = 0,1897$).....	125
Figura 68: Distribuição de probabilidade acumulada (Gumbel de Máximos) do setor 4- Ingleses. (Parâmetros da distribuição: $M = 0,7322$ e $C = 0,1742$).....	125
Figura 69:Distribuição de probabilidade acumulada (Gumbel de Máximos) do setor 1 - Moçambique/Barra da Lagoa. (Parâmetros da distribuição: $M = 1,65$ e $C = 0,1123$).....	126
Figura 70: Distribuição de probabilidade acumulada (Gumbel de Máximos) do setor 2 - Moçambique/Barra da Lagoa. (Parâmetros da distribuição: $M = 1,848$ e $C = 0,1096$).....	126

Figura 71: Distribuição de probabilidade acumulada (Gumbel de Máximos) do setor 3 - Moçambique/Barra da Lagoa. (Parâmetros da distribuição: $M = 2,456$ e $C = 0,1412$).	127
Figura 72: Distribuição de probabilidade acumulada (Gumbel de Máximos) do setor 4 - Moçambique/Barra da Lagoa. (Parâmetros da distribuição: $M = 2,581$ e $C = 0,1399$).	127
Figura 73: Resultados da análise de regime extremo para praias com orientação NE e NNE, apresentados em MMA (no prelo).	129
Figura 74: Esquematisação da representação dos mapas de perigo gerados, considerando sempre o pior cenário, como proposto por Ferreira et al. (2006).	133
Figura 75: Pontos de cálculo de H12 em frente a cada setor na praia de Ingleses.(Fotografias: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável SC).	138
Figura 76: Pontos amostrais do Projeto REMPLAC. Os círculos vermelhos indicam as amostras utilizadas. Fonte: Projeto REMPLAC.	140
Figura 77: Evento de tempestade de longa duração medido na praia de Piçarras.....	142
Figura 78: Metodologia de verificação da diferença vertical entre os datums da DHN e IBGE.....	144
Figura 79: Representação da correção realizada nos dados de topografia utilizados no trabalho.....	145
Figura 80: Modelo digital de terreno da área de estudo (Dados cedidos pela Secretaria de Desenvolvimento Sustentável SC).	146
Figura 81: Retração linear calculada ao longo da praia de Ingleses. ..	150
Figura 82: Retração por tempestade calculada ao longo da praia de ingleses.....	150
Figura 83: Valores de retração linear obtidos nos diferentes setores de Moçambique/Barra da Lagoa.	151
Figura 84: Valores de retração linear obtidos nos diferentes setores de Moçambique/Barra da Lagoa.	152
Figura 85: Resultados de exposição à inundação e retração da linha de costa no Setor 1 da praia de Ingleses (cenário: 50 anos).....	153

Figura 86: Resultados de exposição à inundação e retração da linha de costa no Setor 1 da praia de Moçambique-Barra da Lagoa (cenário: 50 anos).....	154
Figura 87: Resultados de exposição � inundação e retração da linha de costa no Setor 2 da praia de Moçambique-Barra da Lagoa (cenário: 50 anos).....	154
Figura 88: �rea exposta verificada por Dalinghaus <i>et al.</i> (2013) para os setores 1 e 4 de Moçambique/Barra da Lagoa.	155

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Informações sobre geração e validação das bases de dados do Projeto SMC Brasil.....	51
Tabela 2: Resultados da validação dos dados de maré astronômica dos marégrafos da UHSLC. Coordenadas em graus decimais (Fonte: MMA (no prelo)).	62
Tabela 3: Resultados da validação dos dados de maré astronômica dos marégrafos brasileiros. Coordenadas em graus decimais (Fonte: MMA (no prelo)).	62
Tabela 4: Resultados da validação dos dados de maré astronômica dos marégrafos da UHSLC. Coordenadas em graus decimais (Fonte: IH Cantabria(no prelo (b)))......	66
Tabela 5: Parâmetros M e C utilizados no cálculo da distribuição de Gumbel.....	70
Tabela 6: Parâmetros estatísticos descritivos básicos de D1, D2 e WR.71	
Tabela 7: Parâmetros estatísticos obtidos da comparação Q-Q (Quantis da distribuição de Gumbel).	73
Tabela 8: Condições de redução das séries de ondas em águas profundas para casos possíveis de se propagar com o modelo OLUCA.	88
Tabela 9: Resolução e orientação das malhas de cálculo da praia de Ingleses.....	96
Tabela 10: Resolução e orientação das malhas de cálculo das praias de Moçambique/Barra da Lagoa.....	97
Tabela 11: Valores de elevação do nível do mar utilizados no cálculo da cota de inundação para cada cenário proposto.....	103
Tabela 12: Resultado da análise de agrupamento para a praia de Ingleses.....	114
Tabela 13: Resultado da análise de agrupamento para a praia de Moçambique/Barra da Lagoa.....	115
Tabela 14: Estatística de Hs no ponto de reconstrução da série de ondas em águas rasas (15m) da praia de Ingleses.....	120

Tabela 15: Estatística de Hs nos pontos de reconstrução da série de ondas em águas rasas (15m) de Moçambique/Barra da Lagoa.....	120
Tabela 16: Estatística das séries de runup em cada setor das praias analisadas.....	120
Tabela 17: Estatística das séries de cota de inundação instantânea em cada setor das praias analisadas.....	123
Tabela 18: Valores de período de retorno de CI(m) obtidos para a praia de Ingleses.	128
Tabela 19: Valores de período de retorno de CI (m) obtidos para as praias de Moçambique e Barra da Lagoa.....	128
Tabela 20: Resultados de Ci instantânea obtidos no presente estudo e apresentados em MMA (no prelo) para o setor 1 de Moçambique/Barra da Lagoa. No caso do presente estudo: CI instantânea do presente estudo =CI (Tabela 19) - Eleva�o (Tabela 11).	130
Tabela 21: Variáveis e parâmetros utilizados nos diferentes cálculos de retra�o. TEC � a taxa de evolu�o costeira (mm/ano), Ab � a altura da duna frontal (m), α � a declividade da face ($^\circ$), β � a declividade do perfil praial ($^\circ$), m � a média do tamanho de grão, H ₁₂ � a altura atigida 12 horas por ano (m), hf � a profundidade de fechamento.	135
Tabela 22: Dados necessários para o cálculo da retra�o pela eleva�o adicional do nível do mar e respectivas fontes de informa�o.	136
Tabela 23: Eleva�o adicional e eleva�o total calculada para os três cenários propostos a partir do nível atual. (Ver Figura 50).	137
Tabela 24: Dados necessários para o cálculo da retra�o por tempestade e respectivas fontes de informa�o.	139
Tabela 25: Valores de Hb (m) obtidos para os diferentes cenários propostos.	141
Tabela 26: Tempo de resposta do perfil (Ts) em horas calculado para cada setor das praias analisada.	143
Tabela 27: Resultados de retra�o da linha de costa obtidos para a praia de Ingleses - Setor 1.....	147
Tabela 28: Resultados de retra�o da linha de costa obtidos para a praia de Ingleses - Setor 2.....	147

Tabela 29: Resultados de retração da linha de costa obtidos para a praia de Ingleses - Setor 3.	147
Tabela 30: Resultados de retração da linha de costa obtidos para a praia de Ingleses - Setor 4.	148
Tabela 31: Resultados de retração da linha de costa obtidos para Moçambique/Barra da Lagoa - Setor 1.	148
Tabela 32: Resultados de retração da linha de costa obtidos para Moçambique/Barra da Lagoa - Setor 2.	148
Tabela 33: Resultados de retração da linha de costa obtidos para Moçambique/Barra da Lagoa - Setor 3.	148
Tabela 34: Resultados de retração da linha de costa obtidos para Moçambique/Barra da Lagoa - Setor 4.	149

LISTA DE ABREVIATURAS

CFSRR - *Climate Forecast System Reanalysis and Reforecast*
CI - Cota de inundação
DHN - Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil
DOW – *Dowscaled Ocean Waves*
EQM - Erro Médio Quadrático
GOS - *Global Ocean Surge*
GOT - *Global Ocean Tide*
GOW - *Global Ocean Waves*
GPD - *Generalized Pareto Distribution*
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IE - Índice de Espalhamento
IH Cantabria - Instituto de Hidráulica da Cantabria
INPH - Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias
IPUF - Instituto de Planejamento Urbano
IQM - Inclinação Quadrática Média
LaHiMar - Laboratório de Hidráulica Marítima
MA - Marés Astronômica
MaxDiss - Máxima Dissimilaridade
MBJ - Modelo Battjes e Janssen
MDT - Modelo Digital de Terreno
MM - Marés Meteorológica
MRS - Modelo Rattanaptikon e Shibayama
MTG - Modelo Thorton e Guza
NM - Nível do mar
NR - Nível de Referência
RBF - *Radial Basis Function*
SDS - Secretaria de Desenvolvimento Sustentável
SMC - Sistema de Modelagem Costeira
SWAN – *Simulating Waves Near Shore*
TEC - Taxa de Evolução Costeira
TD - Tempo de Duração da Tempestade
UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina
UHSLC - Universidade do Havai
WR – *Wave Rider*

LISTA DE SÍMBOLOS

- A - Parâmetro de velocidade de sedimentação do grão
 Ab - Altura da duna frontal (m)
 a_j - Coeficiente de ajuste da RBF
 b = relação H/h
 C_g - Celeridade de grupo
 C_p - Coeficiente de permeabilidade
 C_f - Velocidade de fase associada à frequência
 C = parâmetro de forma (distr. Gumbel)
 D - Dissipação da energia da onda pela quebra
 E = elevação do nível do mar
 E_m - Fluxo médio de energia local
 E_s - Fluxo médio de energia estável
 F - Comprimento da pista de vento
 f - Frequência
 f_p - Frequência de pico
 g - Aceleração da gravidade
 H_b - Altura de quebra da onda
 H_e - Altura de onda estável
 H_o - Altura da onda em profundidades indefinidas
 H_{orms} - Média quadrática da altura das ondas
 $H_{s,AM}$ - Altura máxima observada em um ano
 H_s - Altura significativa da onda
 h - Profundidade
 H_{12} - Altura atingida 12 horas por ano (m)
 hb - Profundidade de quebra
 hf - Profundidade de fechamento
 $H_{s,limite}$ - Altura de onda a partir da qual se considera que há uma tempestade
 k - Número de onda de referência, tomado como a média ao longo do eixo
 k_p - Número de onda definido a partir da dispersão linear com a frequência de pico
 k_1, k_2, k_3 - coeficientes de ajuste do modelo de quebra (OLUCA-SP)
 L_0 - Comprimento da onda em águas profundas
 L_{hf} - Distância do perfil até a profundidade de fechamento interna
 L_p - Comprimento de onda associado a frequência de pico

M – parâmetro de localização (distr. Gumbel)
 m - Tamanho do grão
N – forma parte do termo não linear no OLUCA-SP
Pr - Probabilidade de ocorrência
PR - Período de retorno
 $Q(Pr)$ - Quantil da distribuição
 Q_b - Fração de ondas que quebram
R - *runup*
 $R_{2\%}$ - *runup* excedido por 2% dos dados
Rt - Retração da linha de costa
S – Espraçamento (*swash*)
 S_d - Espraçamento para praias muito dissipativas
Tm - Período médio
Tp - Período de pico
TD- Tempo de duração da tempestade
Ts - Tempo de resposta do perfil (hs)
 U_{10} - Velocidade de vento a 10m da superfície
V – Viés
 x_b - Distância da profundidade de quebra até a costa
 ξ - Parâmetro de similaridade de surfe (n° de Iribarren)
 Z_i - Parâmetro de ondas em águas profundas
 Y_j - Parâmetro de ondas em águas rasas
 Φ - função de base radial
 $\Delta T_{tempestade}$ - Média dos intervalos entre as tempestades
 Γ_e - Fator de estabilidade de onda para ondas irregulares
 σ - Dispersão da onda por amplitude
 ε - Inclinação da onda
 α - Declividade da face ($^\circ$)
 β - Declividade do perfil praias ($^\circ$)
 η - Variação na posição da superfície livre
 $\langle \eta \rangle$ - *setup*
 θ_m - Direção média
 θ_p - Direção de pico
 ρ - Coeficiente de Correlação de Pearson
 ν - Viscosidade cinemática
 γ - Dissipação de energia de onda por atrito
 δ - Taxa de retração adimensional da tempestade
 λ - Parâmetro de dispersão

SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	17
LISTA DE ABREVIATURAS	21
LISTA DE SÍMBOLOS	23
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	29
1.1. OBJETIVOS DO TRABALHO	31
1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	31
1.3. ÁREA DE ESTUDO	32
1.3.1. PRAIAS DA ÁREA DE ESTUDO	33
1.3.2. ONDAS E MARÉS	36
1.4. REFERENCIAL TEÓRICO.....	38
1.4.1. MODELO OLUCA-SP	38
1.4.2. MODELOS EMPÍRICOS DE <i>RUNUP</i>	40
1.4.3. INUNDAÇÃO COSTEIRA	44
1.4.5. RETRAÇÃO DA LINHA DE COSTA	45
1.4.5. ANÁLISES DE REGIME EXTREMO.....	48
2.1. INTRODUÇÃO	51
2.2. BASE DE DADOS	52
2.2.1. MARÉ ASTRONÔMICA (<i>GLOBAL OCEAN TIDE - GOT</i>).....	52
2.2.2. MARÉ METEOROLÓGICA(<i>GLOBAL OCEAN SURGE - GOS</i>) ...	53
2.2.3. ONDAS (<i>DOWNSCALLED OCEAN WAVES - DOW</i>)	55
2.3. VALIDAÇÃO DOS DADOS DE NÍVEL.....	60
2.4. VALIDAÇÃO DOS DADOS DE ONDA DOW - FLORIANÓPOLIS (SC)	67
2.4.1. METODOLOGIA DE VALIDAÇÃO	68
2.4.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	70
2.5. CONSIDERAÇÕES GERAIS	79

CAPÍTULO 3 - CÁLCULO DA COTA DE INUNDAÇÃO	81
3.1. INTRODUÇÃO	81
3.2. METODOLOGIA	81
3.2.1. MARÉ ASTRONÔMICA E MARÉ METEOROLÓGICA	82
3.2.2. <i>RUNUP</i>	82
3.2.2.1. Propagação de ondas até a costa	84
3.2.2.2. Setorização das praias	98
3.2.2.3. Cálculo do <i>runup</i>	101
3.2.3. COTA DE INUNDAÇÃO INSTANTÂNEA	101
3.2.4. ANÁLISE DE REGIME EXTREMO	101
3.2.5. NÍVEL MÉDIO DO MAR.....	101
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	103
3.3.1. <i>RUNUP</i>	103
3.3.1.1. Propagação de Ondas	103
3.3.1.2. Setorização das praias	111
3.3.1.3. Reconstrução das séries de ondas a 15m.....	118
3.3.1.4. <i>Runup</i> Calculado	120
3.3.2. COTA DE INUNDAÇÃO	123
3.4. CONSIDERAÇÕES GERAIS	131
CAPÍTULO 4 – CÁLCULO DA EXPOSIÇÃO À INUNDAÇÃO COSTEIRA	
(ÁREA DE PERIGO)	133
4.1. INTRODUÇÃO	133
4.2. METODOLOGIA	133
4.2.2. RETRAÇÃO DA LINHA DE COSTA	135
2.2.1. Retração Linear.....	135
4.2.2.2. Retração Adicional (Bruun).....	136
4.2.2.3. Retração por Tempestade	139
4.2.3. LIMITAÇÕES DA METODOLOGIA.....	143

4.2.4. ÁREA EXPOSTA	145
4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	147
4.3.1. RETRAÇÃO DA LINHA DE COSTA	147
4.3.2. ÁREA EXPOSTA	152
4.4. CONSIDERAÇÕES GERAIS	155
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES	157
REFERÊNCIAS	159
APÊNDICE A – DESCRIÇÃO DO MODELO OLUCA-SP	169
APÊNDICE B – PARÂMETROS ESTATÍSTICOS	179
APÊNDICE C – VALORES DE DECLIVIDADE	181
APÊNDICE D – DIÁRIO DE MODELAGEM	185
APÊNDICE E – MAPAS DE EXPOSIÇÃO À INUNDAÇÃO E RETRAÇÃO DA LINHA DE COSTA.....	215

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

A distribuição espacial da população no mundo não ocorre de forma homogênea. Pela enorme disponibilidade de recursos, fácil acesso e oferta de melhor qualidade de vida, as zonas costeiras são as áreas do globo em que a ocupação é mais intensa (STROHAECKER, 2008). Nicholls e Small (2002) observaram que, até a data do estudo, aproximadamente 23% da população mundial vivia numa estreita faixa adjacente à costa (até 100Km do mar). 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, o avanço da urbanização coloca em risco a população que reside nas áreas litorâneas devido à dinâmica dos processos que atuam na modificação das feições da costa, entre eles as marés de tempestade (SIMÓ E HORN FILHO, 2004).

As marés de tempestade podem ser definidas como sobrelevações do nível da água causadas pela ação de ventos (maré meteorológica + ondas) (CARTER, 1988) e estão relacionadas aos principais perigos naturais que atingem a população costeira (NICHOLLS E SMALL, 2002) como a inundação e erosão na costa.

No Estado de Santa Catarina, a erosão costeira tem causado grandes danos materiais. Estudos anteriores 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 (MENEZES, 2002; SIMÓ E HORN FILHO, 2004; RUDORFF *et al.*, 2006). Simó e Horn Filho (2004) verificaram 18 episódios de marés de tempestade que assolaram os municípios do litoral catarinense no período de 1991 a 2001, todos agravados pela ocorrência conjunta com elevações de maré de sizígia. Rudorff *et al.* (2006) apresentaram os resultados de 26 registros do fenômeno no litoral catarinense entre 1997 e 2003. Krueger (2011) identificou ainda 60 eventos extremos de marés de tempestade no litoral do estado dentro de um período de 10 anos, entre 2000 e 2010.

Diante disso, os estudos voltados ao entendimento da dinâmica e evolução de ambientes naturais ganharam importância, principalmente quando direcionados à verificação e redução de riscos. As análises de exposição e vulnerabilidade da costa e posterior

verificação dos riscos referentes a perigos naturais são etapas muito importantes na gestão da ocupação do litoral, bem como na adoção de medidas de contenção e recuperação.

Menezes (2002) realizou um dos primeiros estudos de análise de vulnerabilidade a eventos de erosão costeira em Santa Catarina, mais precisamente no seguimento praias Navegantes-Gravatá. Analisando a sedimentologia, a declividade da plataforma continental, variações recentes da linha de costa, refração das ondas e a taxa de ocupação das dunas frontais, foram identificados os setores com tendências erosivas e sugeridos possíveis projetos de recuperação da praia.

Freitas *et al.* (2010) avaliaram os perigos decorrentes de variações da linha costa e inundação por marés de tempestade na enseada do Itapocorói, no litoral norte de Santa Catarina. O autor verificou que o setor norte da praia (setor mais exposto à ação das ondas) foi aquele que se apresentou mais suscetível aos processos analisados.

Recentemente, Silva (2012) realizou um trabalho no intuito de calcular a cota de inundação para duas praias do litoral catarinense através da modelagem de ondas e cálculo do runup. A cota de inundação foi analisada em regime extremo sendo verificados os valores referentes a períodos de retorno de 50, 100 e 200 anos. Como produto final, o autor gerou cartas de inundação demonstrando a área exposta (inundada) às cotas de inundação calculadas.

Diversos foram os estudos que apontaram processos erosivos nas praias da Ilha de Santa Catarina (LEAL *et al.*, 1998; HORN FILHO *et al.*, 2001; SIMÓ E HORN FILHO, 2004; FARACO, 2005; KLEIN *et al.*, 2006; BOEYINGA *et al.*, 2010; MULER, 2012). Horn Filho *et al.* (2001) apontou as praias mais expostas à ação das ondas na Ilha como sendo aquelas em que o processo de erosão é permanente. As praias do norte da Ilha apresentaram erosão aliada à ocupação desordenada na área de pós-praia. Já as praias localizadas nas costas nordeste e sudeste da Ilha apresentam causas erosivas predominantemente de origem natural, devido à maior energia de ondas incidente.

Com base nos fatos apresentados, o objetivo do presente trabalho foi determinar a exposição associada à regimes extremos de cota de inundação costeira nas praias dos Ingleses, Barra da Lagoa e Moçambique, no litoral norte e nordeste da Ilha de Santa Catarina, respectivamente.

1.1. OBJETIVOS DO TRABALHO

Objetivo Geral

Determinar a exposição associada a regimes extremos de cota de inundação na praia dos Ingleses e no arco praial Moçambique-Barra da Lagoa (Ilha de Santa Catarina) com base em 60 anos de dados de reanálise de ondas e nível (maré astronômica e maré meteorológica), aplicando o modelo espectral de propagação de ondas OLUCA SP.

Objetivos Específicos

i) Validar a base de dados de reanálise de ondas do SMC Brasil para o litoral catarinense;

ii) Determinar os valores de cota de inundação ao longo das praias dos Ingleses, Moçambique e Barra da Lagoa com período de retorno de 5, 25 e 50 anos;

iii) Verificar a exposição associada aos regimes extremos de cota de inundação (período de retorno de 5, 25 e 50 anos) nas praias dos Ingleses, Moçambique e Barra da Lagoa.

1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em cinco capítulos, sendo o conteúdo de cada um apresentado da seguinte forma:

Capítulo 1 - Introdução: Neste capítulo se apresenta de forma resumida o problema da inundação costeira no Brasil e a motivação do estudo. Também são apresentados os objetivos e a estrutura do trabalho, a descrição da área de estudo e um breve referencial teórico.

Capítulo 2 - Calibração e validação das bases de dados de reanálise de nível e onda: Este capítulo apresenta uma descrição detalhada das bases de dados de onda e nível utilizados (geração, calibração e validação). A metodologia aplicada para validação da base de dados de ondas no litoral catarinense (objetivo 1 deste trabalho) e os resultados obtidos também são apresentados.

Capítulo 3 - Cálculo da cota de inundação: Nesta etapa está descrita a metodologia aplicada para o cálculo da cota de inundação na

área de estudo (objetivo 2 deste trabalho) e os resultados obtidos para cada uma das praias analisadas.

Capítulo 4 - Exposição à inundação: Este capítulo apresenta a metodologia e os resultados obtidos da análise da exposição aos regimes extremos de inundação costeira (objetivo 3 deste trabalho).

Capítulo 5 - Conclusões: Neste capítulo apresentam-se as conclusões finais do trabalho.

1.3. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo do trabalho compreende a praia dos Ingleses e o arco praial Moçambique-Barra da Lagoa, situadas na porção norte e nordeste da Ilha de Santa Catarina, município de Florianópolis (Figura 1).

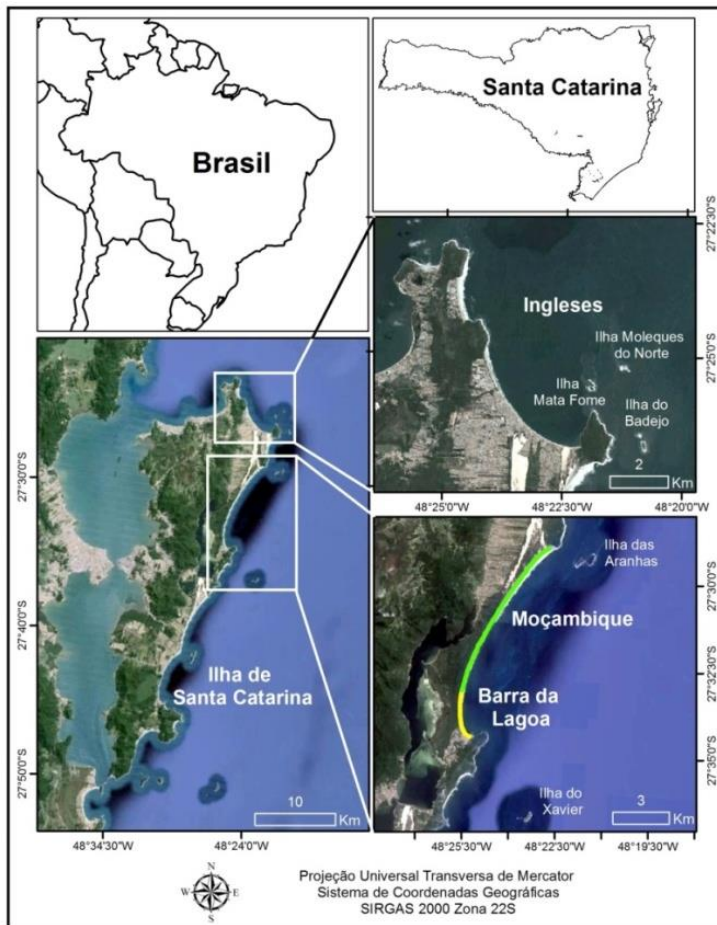


Figura 1: Localização da área de estudo. Imagens: Google Earth.

1.3.1. PRAIAS DA ÁREA DE ESTUDO

Inglese

A praia dos Inglese está situada no norte da ilha de Santa Catarina, apresenta aproximadamente 5Km de extensão e linha de costa voltada para nordeste, sendo delimitada pela Ponta da Feiticeira, ao norte, e pela Ponta dos Inglese ao sul. Trata-se de uma praia de enseada altamente urbanizada em toda sua extensão, com exceção do primeiro quilômetro ao sul, onde recebe o campo de dunas proveniente da praia do Santinho. A porção sul da praia fica protegida

de grande parte das ondulações incidentes pela presença da Ponta dos Ingleses, grande promontório que atenua a ação das ondas antes que estas cheguem à costa (BOEYINGA, *et al.*, 2010).

Com distribuição homogênea, o sedimento ao longo da praia é do tipo quartzoso de granulometria fina, proveniente da plataforma continental e do campo de dunas do Santinho (FARACO *et al.*, 2004).

Existe grande divergência com relação à classificação morfodinâmica da praia dos Ingleses. Silveira *et al.* (2011), a partir de análises com imagens de satélite classificou a praia como reflectiva. No entanto, este tipo de análise não leva em consideração as características como a declividade, altura de quebra e velocidade de sedimentação do grão, fatores importantes na determinação do estágio morfodinâmico de praias (KLEIN, 1997). Faraco *et al.* (2004) a partir do cálculo destes parâmetros, classificou a praia dos Ingleses como intermediária. Por fim, Short (informação pessoal) sugere ainda que esta praia apresenta estágio morfodinâmico intermediário, podendo ser classificada como Terraço de Baixa-Mar, segundo à Escola Australiana de Geomorfologia.

Problemas de erosão relacionados a eventos extremos de ondas são observados na porção norte da praia, que é também o setor mais exposto à ação das ondas (FARACO *et al.*, 2004). Muller (2012) e Bonetti *et al.* (2012) verificaram a susceptibilidade da praia dos Ingleses com relação à variação da linha de costa. De acordo com os autores, os setores mais suscetíveis à variação da linha de costa são a porção sul, e extremo norte da praia. Em um estudo realizado por Boeyinga *et al.* (2010), os autores enfatizam o problema na porção sul resultante da combinação entre urbanização próxima à praia e retração da linha de costa, colocando em riscos as casas em frente ao mar e diminuindo a área recreacional na areia (Figura 2).



Figura 2: Problemas associados à retração da linha de costa na porção sul da praia dos Ingleses. Fonte: Boeyinga *et al.* (2010).

Moçambique-Barra da Lagoa

Localizadas no nordeste da Ilha de Santa Catarina, as praias da Barra da Lagoa e Moçambique formam juntas um arco praias de 12 Km de extensão, com linha de costa orientada para leste-sudeste (ESE). Barra da Lagoa e Moçambique são os nomes dados às porções sul e norte do sistema, respectivamente.

A urbanização não é homogênea ao longo deste sistema praias, sendo o primeiro quilômetro ao sul expressivamente mais urbanizado que os demais setores. Este fato pode ser justificado pela implantação da Rodovia SC-406 em 1975, ligando a Lagoa da Conceição ao sul da Barra da Lagoa, o que facilitou o acesso e incentivou a urbanização no local (LEAL e HORN FILHO, 2004). Ademais, no setor central e norte, a presença do Parque Estadual do Rio Vermelho e do Campo de Dunas do Moçambique dificultam o acesso e o estabelecimento de áreas urbanas.

Características ambientais também variam ao longo da praia. Segundo Miot da Silva (2006) características como granulometria, largura da praia, exposição à energia das ondas e estágio morfodinâmico variam consideravelmente de um setor a outro do arco praias:

- Sedimentos mais finos são observados nas extremidades da praia chegando a granulometria grossa na porção central (LEAL *et al.*, 2000; HORN FILHO, 2006);
- A energia das ondas incidentes aumenta de sul para o norte da praia;

- Silveira *et al.* (2011) classificaram a praia como intermediária. Miot da Silva (2006), utilizando dados de declividade e hidrodinâmica da praia identificou o estágio intermediário na porção norte chegando a estágio dissipativo ao sul, na parte abrigada pelo promontório da Ponta da Galheta.

Simó e Horn Filho (2004), ao verificarem os efeitos das tempestades ao longo da costa da Ilha de Santa Catarina, apontaram a Barra da Lagoa como uma das praias onde a ocupação é de alto risco (ver Figura 3). Os impactos nesta praia estão associados atividades antrópicas, ao sul, e a processos naturais, ao norte. Schweitzer (2013) estudou os efeitos da variação da linha de costa em eventos de maré de tempestade na praia da Barra da Lagoa. O autor identificou que os eventos mais erosivos estão relacionados a ondulações provenientes de Sul-Sudeste, com variação média dos perfis em eventos extremos de 0,3m e máxima de 4m.

1.3.2. ONDAS E MARÉS

O clima de ondas na plataforma de Santa Catarina apresenta características bimodais sendo dominado por ondulações de nordeste e sul (ARAUJO *etal*, 2003; SIGNORIN, 2010. Franco e Melo F° (2008) demonstraram a importância dos mares secundários na região, com quase 32% dos estados de mar sendo representados por condições bimodais. Recentemente, Miot da Silva *et al.* (2012) realizaram análises estatísticas de dois anos de dados de onda obtidos da boia *Waverider* em um ponto ao largo de Florianópolis (mesmo ponto analisado anteriormente por Araujo *et al.* (2003)). Tais análises confirmaram a predominância de ondas provenientes de sul (23,7% de frequência) seguido de ondas provenientes de leste-nordeste (13,4% de frequência).

Essa característica reflete o padrão de circulação atmosférica no Atlântico Sul, onde são verificados o Sistema Permanente de Alta Pressão do Atlântico Sul, com ventos persistentes com direção de nordeste, e os Sistemas Frontais Polares, que geram as frentes frias com ventos do quadrante sul (ALVES e MELOF°, 2001).



Figura 3: Efeitos decorrentes da ressaca que atingiu a praia da Barra da Lagoa em maio de 2010. Bares, casas e estruturas públicas foram danificados. (Foto: Cesar Carvalho e Marcelo Gevaerd).

Araujo *et al.* (2003) verificaram sazonalidade nas alturas de onda no decorrer do ano, observando maiores valores de H_s (altura significativa de onda) no inverno, estação em que as ondulações predominantes tem direção de sul. Ondas de direção sul também são predominantes no outono, enquanto nas estações de verão e primavera predominam as ondulações de nordeste. Os períodos e alturas significativas mais frequentes no local ficam entre 8s-10s e 1m-1,5m, respectivamente (MIOT DA SILVA *et al.*, 2012).

Valores extremos de altura significativa estão relacionados principalmente a ondulações provenientes do quadrante S-E, chegando a atingir valores de altura individual da ordem de 13m ($H_s=6m$) (MELO F° *et al.*, 2006).

A região em que está inserida a Ilha de Santa Catarina é caracterizada por um regime de micromaré, predominantemente semidiurno, mas com desigualdades diurnas. A elevação de maré de sizígia varia de 0,46m a 1,06m (KLEIN, 2004). Em um estudo realizado por Harari e Camargo (1994), os autores afirmam que a maré astronômica em tal região pode ser explicada em 90% pelas componentes harmônicas diurnas Q_1 , O_1 , P_1 , K_1 e semidiurnas N_2 , M_2 , S_2 , K_2 , M_3 . No mesmo estudo, demonstra-se que as componentes apresentam amplificação em direção ao sul, fato que, segundo os autores, pode ser explicado pela maior extensão da plataforma nesta área.

Quanto aos valores de elevação inerentes às forçantes meteorológicas, verificam-se eventos ocorrendo em períodos de 3 a 10 dias (CASTRO e LEE, 1995) e casos extremos são registrados principalmente no inverno e no outono. Os valores médios de amplitude das oscilações decorrentes de fatores meteorológicos chegam a 1m (TRUCOLO, 2006).

1.4. REFERENCIAL TEÓRICO

1.4.1. MODELO OLUCA-SP

O modelo OLUCA faz parte do Sistema de Modelagem Costeira (SMC), desenvolvido pelo Instituto de Hidráulica da Cantabria (IH Cantabria) (GONZALEZ, 2007). Na simulação o modelo possibilita a propagação de ondas espectrais (SP) simulando os processos de empinamento, refração, difração, dissipação por quebra e correntes resultantes da quebra. A discretização espacial ocorre através de um esquema de diferenças finitas, sendo possível o aninhamento de malhas.

A equação governante da propagação de ondas deste modelo é a Equação Parabólica da Declividade Suave (RefDif), desenvolvida por Radder (1979) e posteriormente adaptada por Booij (1981). Radder (1979) aplicou uma metodologia de divisão de matrizes da equação

elíptica de Berkhoff (1972), separando o campo de ondas em dois: i) campo de ondas incidentes e ii) campo de ondas refletido, eliminando o segundo campo após a divisão. Como resultado obteve a equação Parabólica da Declividade Suave. A aproximação de Radder (1979), no entanto, impõe uma restrição ao seu modelo parabólico: as ondas a serem propagadas devem ter direção dentro de $\pm 45^\circ$ com relação à direção principal das malhas de propagação.

Posteriormente, Booij (1981) adaptou o método de divisão de matrizes da equação parabólica de Radder (1979) incluindo mais termos na aproximação das derivadas transversais, o que permitiu ao seu modelo parabólico a entrada de ondas com direções de até $\pm 50^\circ$ com relação ao eixo principal. A formulação proposta pelo autor é a utilizada no modelo OLUCA-SP para a propagação das ondas e está demonstrada em (1):

$$C_g \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial y} + i(\bar{k} - k)C_g A + \frac{\sigma}{2} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{C_g}{\sigma} \right) A - \frac{i}{2\sigma} \frac{\partial}{\partial y} \left[p \frac{\partial A}{\partial y} \right] + \frac{i\sigma k^2 N |A|^2 A}{2} = 0 \quad (1)$$

Onde C_g é a celeridade de grupo, A é a amplitude da onda, k é o número de onda de referência, tomado como a média ao longo do eixo, $p = CC_g$ (C é celeridade da onda) e N forma parte do termo não linear e é definido por:

$$N = \frac{\cos(h) 4kh + 8 - 2 \tan(h^2)kh}{8 \operatorname{sen}(h^4)(kh)} \quad (2)$$

onde h é a profundidade no ponto do domínio.

As principais premissas do modelo são:

- Variações no fundo são pequenas se comparadas ao comprimento de ondas. Para que o modelo obtenha resultados com alto desempenho, a declividade máxima indicada é de 1:3.

- Aproximação parabólica: As componentes se propagam principalmente em uma direção (x). A solução é tanto melhor quanto menor for a variação em relação a x (IH CANTABRIA, no prelo (a)).

Detalhes sobre a formulação empregada pelo modelo na simulação dos processos de transformação das ondas estão apresentados no APÊNDICE A deste trabalho.

1.4.2. MODELOS EMPÍRICOS DE RUNUP

Descrito como a elevação máxima do nível da água na linha de costa (BATTJES, 1979), o *runup* é composto pela sobrelevação do nível médio do mar decorrente da quebra das ondas (*setup*) e pelas flutuações em torno desta sobrelevação na zona de espraiamento (*beach face*) (Figura 4) (GUZA E THORTON, 1982; HOLMAN E SALENGER, 1985, SHORT, 1999).

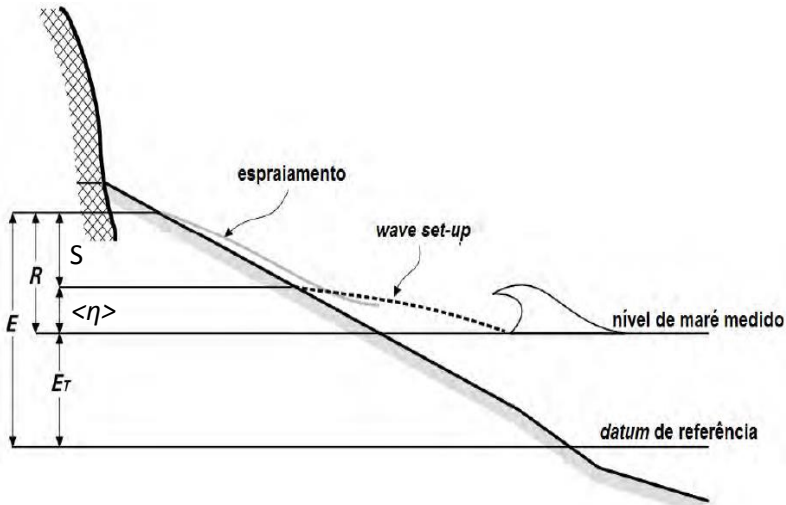


Figura 4: Processos de setup e espraiamento junto à praia. Fonte: Silva (2012), modificado de Ruggiero et al.(1997). E é a elevação total, E_t é a elevação decorrente das marés astronômica e meteorológica, R é a elevação causada pelo runup, $\langle \eta \rangle$ é a elevação causada pelo setup e S é a elevação pelo espraiamento (swash).

A previsão do *runup* normalmente é realizada empiricamente (BATTJES, 1978; HEDGES e MASE, 2004) e o cálculo deve contar com parâmetros referentes a todo o processo de deformação da onda até atingir a praia/estrutura. No entanto, pelo pragmatismo da medição de dados, normalmente são utilizados valores de declividade da face da praia e parâmetros de onda como altura, período, comprimento de onda e forma de quebra (NIELSEN e HANSLOW, 1991). Uma formulação bastante conhecida é a proposta por Hunt (1959), obtida a partir de experimentos de laboratório, representando o *runup* sobre praias e estruturas com fundos planos e impermeáveis (4):

$$\frac{R}{H_0} = \xi \text{ para } 0 < \xi < 2,3 \quad (4)$$

onde R é o valor da elevação no nível do mar devido ao *runup*, H_0 é a altura da onda em águas profundas ($h > L_0 / 2$) e L_0 é o comprimento de onda em águas profundas. ξ é o parâmetro de similaridade de surfe (número de Iribarren) dado por (5):

$$\xi = \frac{\tan\beta}{\sqrt{H_0 * L_0}} \quad (5)$$

β é a declividade da face da praia.

A formulação apresentada por Hunt (1958) foi bastante utilizada, no entanto a aplicação de fórmulas obtidas em laboratório para praias naturais pode apresentar certas complicações como demonstrado por Stockdon *et al.* (2006): i) em condições naturais altura de onda e período se tornam parâmetros estatísticos (normalmente altura significativa (H_s) e período de pico (T_p)); ii) a altura de onda pode ser medida em diferentes pontos (águas profundas, na zona de quebra) e iii) definir um único valor de declividade para descrever o *runup* na praia inteira é difícil e se torna mais complicado na presença de bancos arenosos.

Nielsen e Hanslow (1991) 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 reflectivas) relacionando-os aos dados de altura de ondas de águas profundas (~80m de profundidade). Assumindo uma distribuição de Rayleigh, a relação entre o *runup* atingido por 2% das ondas ($R_{2\%}$) encontrada pelos autores foi (6):

$$R_{2\%} = 1,98L \quad (6)$$

onde L é o melhor ajuste vertical da distribuição do *runup* e varia de acordo com a declividade da face da praia:

$$L \sim 0,6 (H_{orms} L_0)^{0,5} \tan\alpha_F \text{ para } \tan\alpha_F > 0,1 \quad (7)$$

$$L \sim 0,05 (H_{orms} L_0)^{0,5} \text{ para } \tan\alpha_F < 0,1 \quad (8)$$

H_{orms} é média quadrática das alturas de onda. Como é possível observar em (8), segundo a análise dos dados coletados pelos autores, o valor de declividade da face da praia não exerce influência significativa nos valores de $runup$ no caso de praias com baixa declividade ($\tan\alpha_F < 0,1$).

Stockdon *et al.* (2006), com o objetivo de melhorar a parametrização da formulação apresentada por Holman (1986), utilizaram dados de 10 praias com características distintas no que diz respeito à declividade e altura de ondas incidente, abrangendo toda a escala do parâmetro de similaridade de surfe. Os dados de ondas utilizados foram obtidos com equipamento fundeado na isóbata de 18m de profundidade e retropropagados até a isóbata de 80m de profundidade. De acordo com os autores, o $runup$ superado por 2% da ondas teria a seguinte composição:

$$R_{2\%} = \langle \eta \rangle + \frac{S}{2} \quad (9)$$

onde $\langle \eta \rangle$ é a elevação causada pelo *setup* e S é o espraçamento. Com base nisso, a formulação mais genérica que representaria melhor todas as praias analisadas seria:

$$R_{2\%} = 1,1 \left(0,35\alpha_f(H_oL_o)^{\frac{1}{2}} + \frac{[H_oL_o(0,563\alpha_f^2 + 0,004)]^{\frac{1}{2}}}{2} \right) \quad (10)$$

No caso de praias muito dissipativas ($\xi < 0,3$), os autores indicam ainda a utilização de uma formulação diferente para processo de espraçamento:

$$S_d = 0,0046(H_oL_o) \quad (11)$$

onde S_d é o valor do espraçamento para praias muito dissipativas.

Todas as formulações apresentadas até o momento tratam do $runup$ em praias expostas. No entanto, quando o intuito é o cálculo do $runup$ em praias com áreas abrigadas, estas podem não ser ideais, uma vez que não consideram o efeito de transformação das ondas em promontórios e ilhas. Silva (2012) e Bonetti *et al.* (2012), com base em

dados medidos de onda e *runup*, realizaram a calibração do modelo de Nielsen e Hanslow (1991) para a enseada de Itapocorói, no litoral centro-norte de Santa Catarina, obtendo formulações diferentes de acordo com a exposição de cada setor da área analisada (Figura 5):

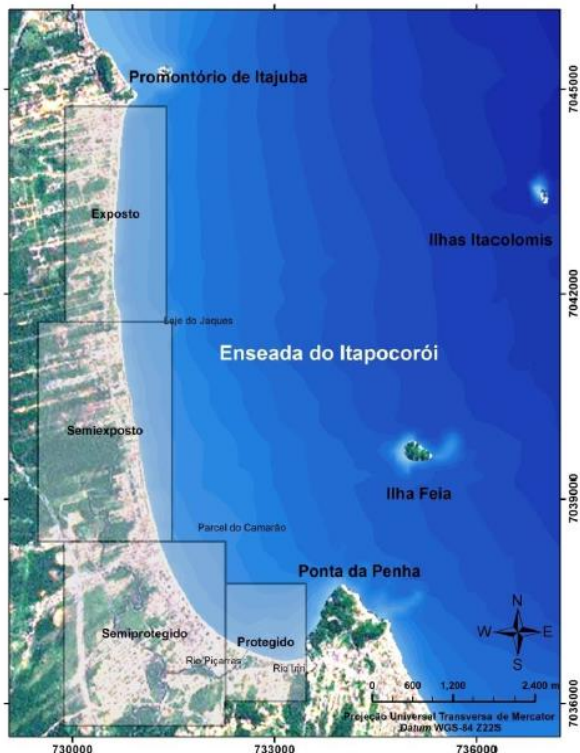


Figura 5: Classificação dos diferentes setores da praia de Piçarras para calibração realizada por Silva (2012) e Bonetti *et al* (2012).

Setor Exposto:

$$R_{2\%e} = 0,601 * R_{2\%NielseneHanlow(1991)} + 0,603 \quad (12)$$

Setor Semi-exposto:

$$R_{2\%se} = 0,529 * R_{2\%NielseneHanlow(1991)} + 0,421 \quad (13)$$

Setor Semi-protegido:

$$R_{2\%sp} = 0,195 * R_{2\%NielseneHanlow(1991)} + 0,359 \quad (14)$$

Setor Protegido:

$$R_{2\%p} = 0,269 * R_{2\%NielseneHanlow(1991)} + 0,360 \quad (15)$$

1.4.3. INUNDAÇÃO COSTEIRA

A inundação, de uma forma geral, pode ser definida como o excesso de carga de água, comparada   capacidade de drenagem do ambiente (ISDR, 2002). Na costa, a inundação causada por marés de tempestade afeta praias e estruturas costeiras (SOUZA, 2005). De acordo com Holthuijsen (2007), trata-se de um processo originado da eleva o da superfície do mar em eventos extremos e está relacionada com a a o das ondas juntamente com as marés meteorológica e astronômica.

O evento de inunda o costeira consiste inicialmente no nível médio do mar em determinado trecho da costa. A partir deste, as marés astronômica (MA) e meteorológica (MM) causam a eleva o da superfície do mar, seguidas das ondula es que, ao chegarem   praia, percorrem parte da faixa de areia até determinada altura (*runup*).

A soma de todas essas componentes   o que chamamos de cota de inunda o, que   influenciada pela altura das ondas e pela declividade da praia (Figura 6). As principais causas dos eventos extremos de inunda o são fortes tempestades que geram grandes ondula es, provocando uma supera o extrema no nível da água, especialmente quando ocorrem simultaneamente às marés altas de sizígia.

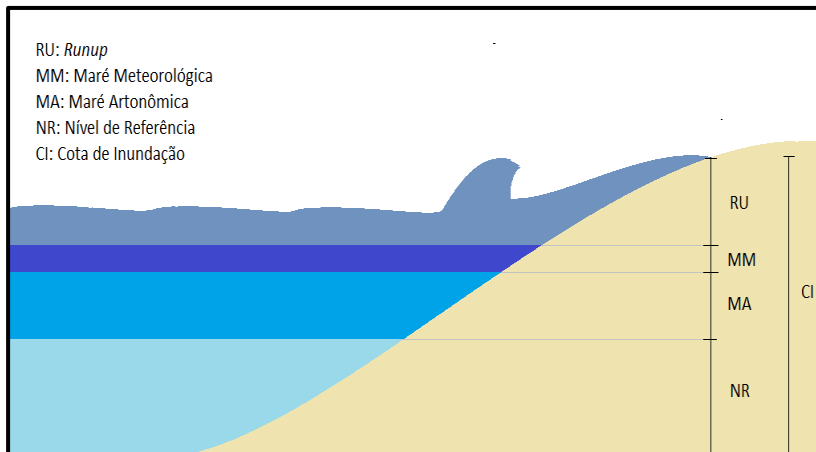


Figura 6: Processos envolvidos no cálculo da cota de inundação.

1.4.5. RETRAÇÃO DA LINHA DE COSTA

Bruun (1962) aponta que em situações de elevação do nível do mar em longo prazo a praia sofre um ajuste no perfil transversal: o sedimento da porção aérea da praia é transportado e depositado da parte submersa gerando uma retração da linha de costa (Figura 7). A inundação causada pela elevação do nível do mar e a resposta morfodinâmica do perfil variam em costas com características morfológicas diferentes, mesmo em situações de mesma amplitude de maré (PARISE *et al*, 2009). Praias com declividades menores permitem maiores deslocamentos horizontais devido à inundação. Já as praias com maior declividade, não permitem tamanha excursão horizontal do nível da água, mas sofrem retração maior devido ao ajuste da linha de costa. Esse recuo/avanço na horizontal foi estimado em cerca de 100 vezes maior na horizontal, do que a alteração sofrida na vertical.

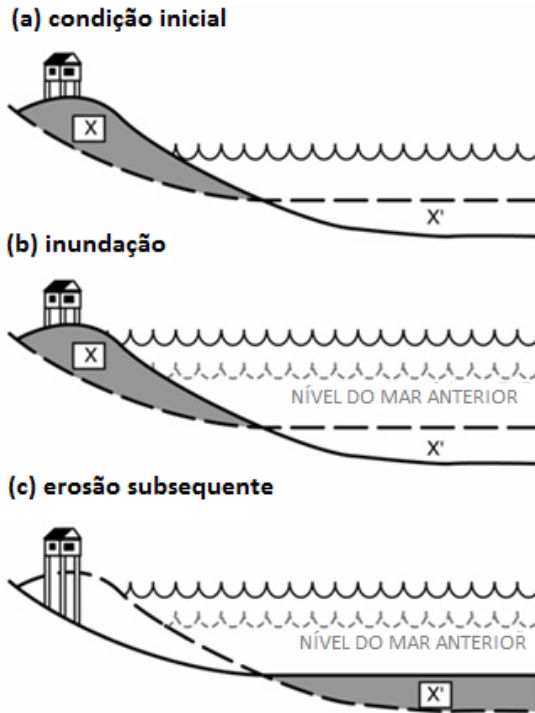


Figura 7: Regra de Bruun. Com a elevação do nível do mar, parte do volume de sedimento localizado na porção subaérea é transportado e depositado na porção submersa da praia, resultado na retração da linha de costa.

Com base nisso Bruun (1962) propôs uma fórmula de cálculo da retração da linha de costa em resposta ao ajuste do perfil. A Regra de Bruun fundamenta-se no balanço sedimentar entre o volume erodido da face praial e o volume depositado na porção submersa adjacente, até a profundidade de fechamento. Desta forma tem-se:

$$Rt = \frac{E * L_{hf}}{(Ab + hf)} \quad (16)$$

onde Rt é a retração decorrente da elevação do nível do mar (E), L_{hf} é a distância do perfil até a profundidade de fechamento interna (hf) e Ab é a altura da berma.

Kriebel e Dean (1993) propuseram uma aproximação (Método da Convolução) para o cálculo dos impactos decorrentes de grandes tempestades. 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:

$$R_\infty = \frac{S_m x_b}{Ab + h_b - \frac{S_m}{2}} \quad (17)$$

onde S_m é a sobrelevação do nível do mar, x_b é a distância da profundidade de quebra da onda até a costa ($x_b = (h_b/A)^{3/2}$), h_b é a profundidade de quebra da onda, A é o parâmetro de velocidade de sedimentação do grão e Ab é a altura da berma.

No entanto, 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 (18).

$$\frac{Rt(t)}{R_\infty} = \frac{1}{2} \left\{ 1 - \frac{\delta^2}{1+\delta^2} \exp\left(-\frac{2\sigma t}{\delta}\right) - \frac{1}{1+\delta^2} [\cos(2\sigma t) + \delta \operatorname{sen}(2\sigma t)] \right\} \quad (18)$$

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

$$\delta = 2\pi \frac{T_s}{TD} \quad (19)$$

T_s é o tempo-resposta do perfil a dado evento e TD a duração total do mesmo. T_s é calculado com base nas características do perfil da praia:

$$T_s = \frac{320H_b^{3/2}}{\left(A^3 g^{\frac{1}{2}}\right) \left(1 + \frac{hb}{Ab} + \frac{mx_b}{h_b}\right)} \quad (20)$$

onde H_b é a altura de quebra da onda; g é a aceleração da gravidade; e m é a declividade do perfil da praia ($\tan\alpha$). σ é dado por:

$$\sigma = \pi/TD \quad (21)$$

1.4.5. ANÁLISES DE REGIME EXTREMO

Na estatística de regimes extremos de duração de dezenas de anos ou mais, as condições não são estacionárias e a abordagem deve ser diferente daquela utilizada em análises de curto prazo (HOLTHUIJSEN, 2007). A análise de longo prazo tem dois propósitos específicos: organizar os dados e extrapolar a série temporal a valores extremos que ocorrem com baixas probabilidades de serem excedidos. Fornece, assim, uma distribuição teórica da probabilidade de ocorrência do fenômeno analisado (KAMPHUIS, 2000).

Normalmente a análise é realizada através da distribuição de longo prazo da altura significativa de onda e dos respectivos períodos de retorno. Análise estatística de regime extremo assume que os dados são independentes uns dos outros, o que é bastante complicado quando se trabalha com séries com intervalos de dados próximos. Uma solução para alcançar tal independência estatística é certificar-nos de que os dados são distantes o suficiente no tempo (KAMPHUIS, 2000). Desta forma, a análise pode ser feita de duas formas: i) considerando apenas o maior valor em tempestades e iii) considerando o maior valor observado por ano (HOLTHUIJSEN, 2007).

Métodos dos Picos de Tempestade (*Peak-over-threshold* – POT)

O método POT considera na análise apenas os valores relativos a picos de tempestade. A tempestade é definida aqui como um valor extremo, excedente de um limite que determina uma tempestade ($H_{s,limite}$), precedido e seguido por valores menores que $H_{s,limite}$ (Figura 8). O valor de $H_{s,limite}$ depende das condições locais. Assim, o valor selecionado é o pico entre duas intersecções em $H_{s,limite}$ (Figura 8). O ideal é que um número suficiente de tempestades (dezenas) seja observado na série de longo período (HOLTHUIJSEN, 2007).

A distribuição de máximos a ser utilizada nesta abordagem, de acordo com a teoria de valores extremos, é a distribuição generalizada de Pareto (*Generalized Pareto Distribution* – GPD) em que a função de distribuição de probabilidade é dada por:

$$\Pr = 1 - \left(1 + C \frac{H_{s,pico} - H_{s,limite}}{G} \right)^{-1/C} \quad (22)$$

onde $H_{s,\text{limite}}$ é o valor limite que determina a partir de qual valor trata-se de uma tempestade, G é maior que 0 e representa a normalização dos dados e C é o parâmetro de forma. Desta maneira, o cálculo do período de retorno (período dentro do qual o evento deve ocorrer uma vez) é dado por:

$$PR = \frac{\Delta T_{\text{tempestade}}}{1-Pr} \quad (23)$$

Onde $\Delta T_{\text{tempestade}}$ é a média dos intervalos entre as tempestades (HOLTHUIJSEN, 2007).

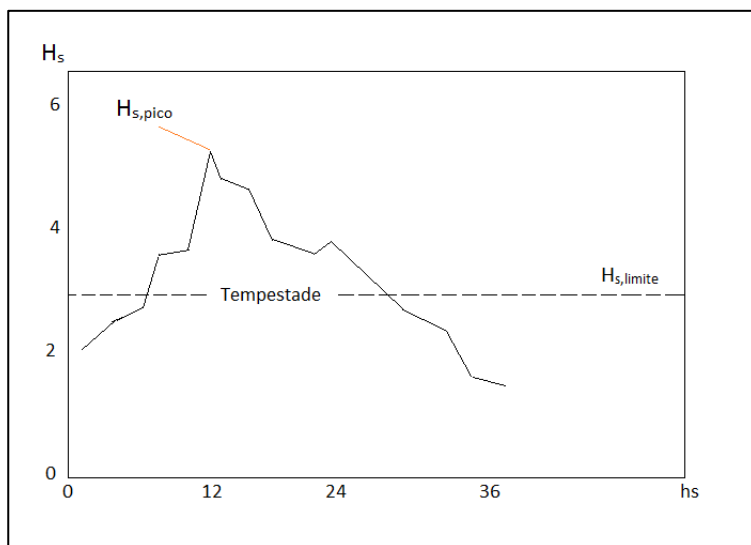


Figura 8: Tempestade entre dois pontos que cruzam a altura significativa limite. (Fonte: Adaptado de Holthuijsen, 2007).

Método dos Máximos Anuais (*Annual-maximum-approach*)

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. Os valores extremos podem então ser calculados com base na distribuição de Gumbel, dada por:

$$Pr = \exp \left[-\exp \left(-\frac{H_{s,MA} - M}{c} \right) \right] \quad (24)$$

Onde $H_{s,MA}$ é o valor máximo atingido no ano, M é o parâmetro de localização (posição da distribuição no eixo H_s) (KAMPHUIS, 2000). A estimativa do período de retorno, em anos, é então dada por:

$$PR = \frac{1}{Pr} \quad (25)$$

CAPÍTULO 2 - CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DAS BASES DE DADOS DE MARÉ ASTRONÔMICA, MARÉ METEOROLÓGICA E ONDAS

2.1. INTRODUÇÃO

O modelo SMC Brasil 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. As características do desenvolvimento destas séries de dados estão apresentadas na Tabela 1:

Tabela 1: Informações sobre geração e validação das bases de dados do Projeto SMC Brasil.

Base de dados	Tipo de Dado	Tempo da série	Geração realizada por	Validação realizada por
GOT	Maré astronômica	1948 -2008	IH Cantabria	IH Cantabria
GOS	Maré meteorológica	1948 -2008	IH Cantabria	IH Cantabria
DOW	Ondas	1948 -2008	IH Cantabria	Presente estudo

As reanálises de nível (GOT - *Global Ocean Tide* e GOS - *Global Ocean Surge*), foram geradas pelo dentro do âmbito do projeto “*Efectos del cambio climático en la costa de America Latina y el Caribe*”, financiado pela *Comisión Económica Para America Latina y el Caribe* (CEPAL-ONU, 2011). Já a reanálise de ondas (DOW – *DowscaledOceanWaves*) é um dos produtos do projeto *Apoio à Gestão da Costa Brasileira* (SMC BRASIL, 2013).

Neste capítulo serão descritas as etapas de geração dos dados de maré astronômica, maré meteorológica e ondas bem como a validação das séries que compõem esta base de dados. A validação dos dados DOW para um ponto ao largo da costa de Santa Catarina foi realizada pela autora deste trabalho* e será apresentada de forma detalhada.

*trabalho submetido à revista *Anais da Academia Brasileira de Ciências*.

2.2. BASE DE DADOS

2.2.1. MARÉ ASTRONÔMICA (*GLOBAL OCEAN TIDE - GOT*)

A base de dados de maré astronômica (MA) do SMC Brasil consiste em dados horários de elevação do nível do mar resultantes das forças de atração do sistema Terra-Lua-Sol. Esta base foi gerada a partir de constantes harmônicas do modelo global de maré TPXO (EGBERT *et al.*, 1994; EGBERT E EROFEEVA, 2002). O TPXO gera resultados a partir da assimilação de dados altimétricos de satélite (missões TOPEX/Poseidon) em um modelo hidrodinâmico. Dados aferidos de maré podem, ainda, ser incorporados ao modelo para minimizar os ruídos. A base de dados do TPXO inclui 8 constantes harmônicas diurnas e semidiurnas (K1, O1, P1, Q1, M2, S2, N2 e K2) e duas componentes de longo prazo (Mf e Mm), com uma distribuição espacial de 0,25°.

A metodologia aplicada para gerar a base de dados de maré astronômica do SMC Brasil, consistiu nas seguintes etapas:

a) Seleção de pontos ao longo da costa brasileira: Inicialmente foram selecionados pontos ao longo de toda a costa do Brasil com espaçamento de até 50Km entre eles (Figura 9). No total, foram selecionados 125 pontos, sobre os quais foram geradas as séries de maré astronômica.

b) Obtenção das constantes harmônicas do modelo TPXO para cada ponto escolhido na etapa anterior.

c) Previsão das séries de maré astronômica: Com base nas constantes harmônicas foi realizada a previsão da maré astronômica em cada ponto para o período de 1948 a 2008.



Figura 9: Pontos selecionados ao longo da costa brasileira para posterior geração da série de maré astronômica (Fonte: IH CANTABRIA, no preto (b)).

2.2.2. MARÉ METEOROLÓGICA (GLOBAL OCEAN SURGE - GOS)

A base de dados de maré meteorológica (MM) denominada *Global Ocean Surge*, consiste em séries temporais horárias de variação do nível do mar decorrente de fatores atmosféricos. Os dados de MM foram gerados a partir de simulações com o Modelo de Circulação Regional - ROMS (*Regional Ocean Modeling System*), desenvolvido pelo *Ocean Modeling Group de Rutgers*. Trata-se de um modelo numérico hidrostático de superfície livre que resolve as equações tridimensionais mediadas de Reynolds Navier-Stokes (*Raynolds-averaged Navier-Stokes* – RANS) (HAAS e WARNES, 2009).

Para gerar a série, foi utilizado o módulo barotrópico (2DH) do modelo em malha global com resolução espacial de 0,25° e dados de batimetria do modelo ETOPO2 (NOAA). Como forçantes do modelo foram utilizados dados de pressão ao nível do mar e ventos globais (a 10m de altura) da Reanálise 1 (NCEP/NCAR). Os dados de vento e pressão apresentam resolução espacial de 1,9° e temporal de 6 horas,

compreendendo o período de 1948 a 2008 (IH CANTABRIA, no prelo (b)).

Por fim, foram selecionados 24 pontos distribuídos ao longo da costa brasileira com as séries de maré meteorológica para composição da base de dados GOS (Figura 10). A seleção dos pontos se deu considerando que i) a MM varia suavemente ao longo da costa do Brasil e considerando ainda ii) a setorização (24 zonas) apresentada no documento *Uma Proposta de Abordagem para o Estabelecimento de Regime Probabilístico de Área de Inundação Costeira do Brasil* (MMA, 2014), que leva em conta a orientação e as características oceanográficas da costa.

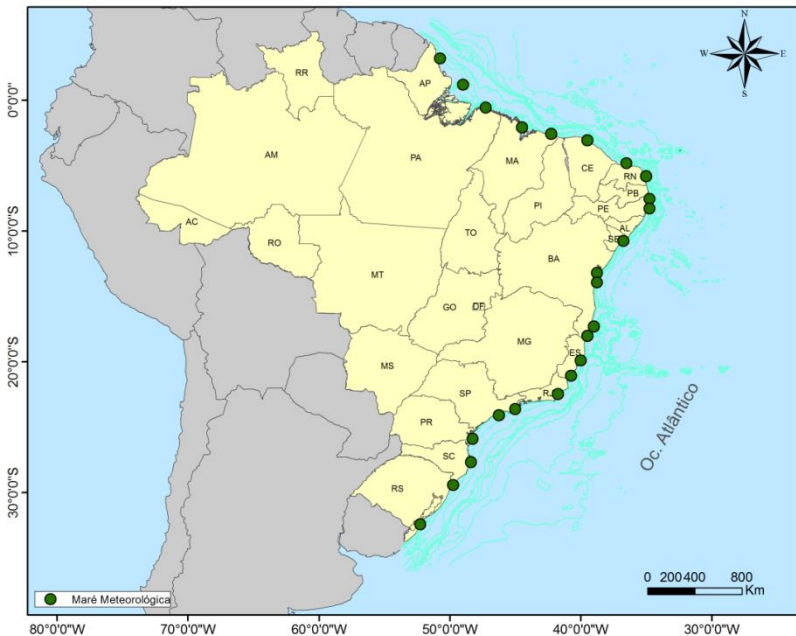


Figura 10: Pontos selecionados para geração das séries de maré meteorológica da base de dados do SMC Brasil. (Fonte: IH CANTABRIA, no prelo (b))

2.2.3. ONDAS (*DOWNSCALED OCEAN WAVES - DOW*)

A base de dados de ondas DOW consiste em dados de onda como altura significativa (H_s), período médio (T_m), período de pico (T_p), direção de pico (θ_p), direção média (θ_m), dispersão direcional e espectros de energia para o período de 1948 a 2008 com resolução horária. Dados de onda em alta resolução espacial (1Km de 0 a 20m de profundidade e 10Km a partir de 20m de profundidade) estão disponíveis para propagação em toda a costa brasileira. A Figura 11 apresenta as análises realizadas e os dados utilizados no processo de geração da base de dados DOW.

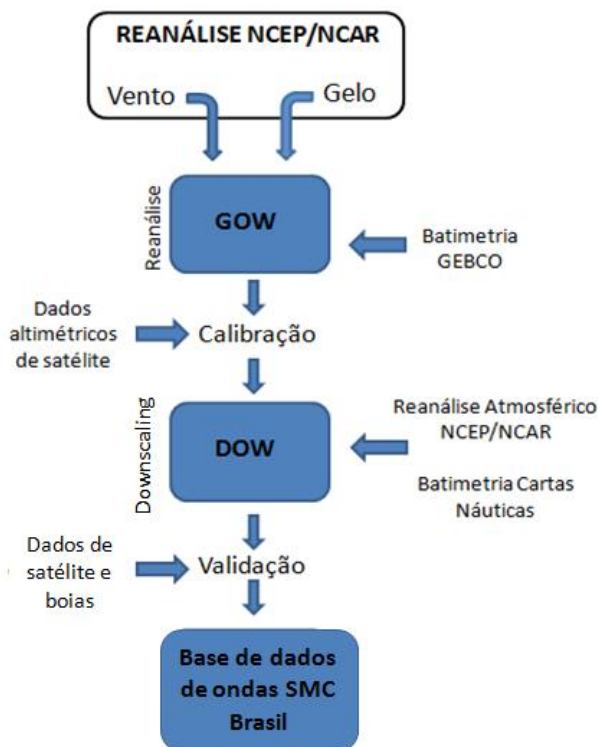


Figura 11: Esquematização das etapas seguidas na geração da base de dados de ondas DOW (Adaptado de IH CANTABRIA, no prelo (c)).

Os dados de reanálise de onda foram gerados em duas etapas principais:

i) Global Ocean Waves – GOW: Inicialmente uma reanálise global foi realizada com dados globais de vento (Reanálise 1 – NCEP/NCAR), gelo (NCEP/NCAR) e batimetria (GEBCO) como entrada para o modelo de geração de ondas WWIII (versão 2.22) (TOLMAN, 1991). A reanálise foi executada em malha global de resolução de $1,5^{\circ} \times 1^{\circ}$, com aninhamento de malhas de maior detalhe ao longo da costa da América Latina e Caribe. Na costa brasileira a malha de detalhe apresenta resolução de $0,5^{\circ}$. Como resultados, foram obtidos parâmetros de onda para todo o globo (REGUERO *et al.*, 2012).

Comparações com dados medidos indicaram a necessidade de ajustes nos resultados do modelo GOW. Aplicou-se então o método de calibração proposto por Mínguez *et al.* (2011) que ajusta os dados do modelo de acordo com a direção do estado de mar. Ao final do processo, os dados de altura de onda obtidos antes e após a calibração foram comparados com dados medidos por satélite. Os dados calibrados apresentaram melhor representação em relação aos não calibrados no que diz respeito aos mais altos valores de H_s (Figura 12).

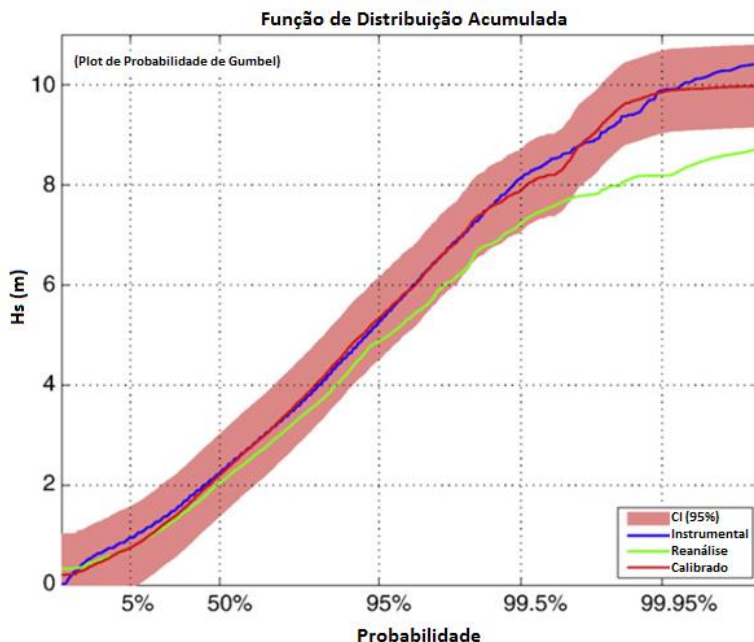


Figura 12: Comparação entre dados medidos por satélite e dados de reanálise antes e depois de calibrados. Em azul os dados medidos, em verde os dados de reanálise sem calibração, e em vermelho os dados de reanálise já calibrados (Fonte: Adaptado de Reguero *et al.*, 2012)

ii) Downscaled Ocean Waves – DOW: A seguir, visando gerar dados regionais com maior resolução espacial, um *downscaling* foi realizado propagando os parâmetros GOW até águas rasas em 17 malhas ao longo do litoral brasileiro (Figura 13) (CAMUS *et al.*, 2013). Dados de vento (Reanálise 1 – NCEP/NCAR) e batimetria de cartas náuticas e folhas de bordo foram utilizados nesta etapa para propagação das ondas com o modelo SWAN (BOOIJ *et al.*, 1999).

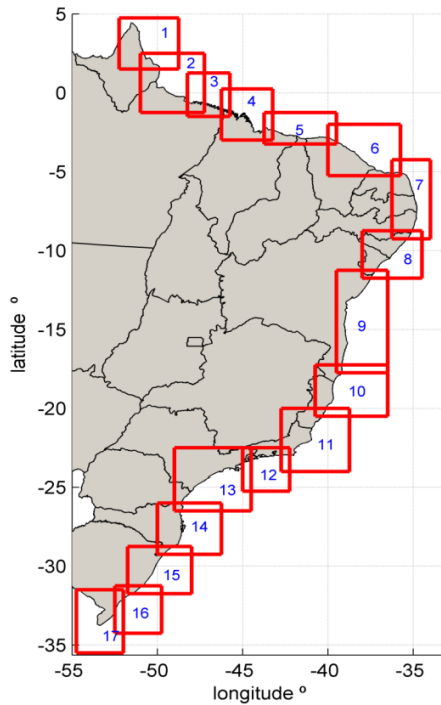


Figura 13: Malhas de propagação utilizadas em cada uma das 17 zonas em que foi dividido o litoral brasileiro para realização do *downscaling* (Fonte: Adaptado de IH CANTABRIA, no prelo (c)).

Os dados disponibilizados apresentam resolução espacial de 1Km de 0 a 20m de profundidade e 10Km a partir de 20m de profundidade. A distribuição espacial das séries de parâmetros de ondas DOW em parte da costa catarinense está apresentada na Figura 14.

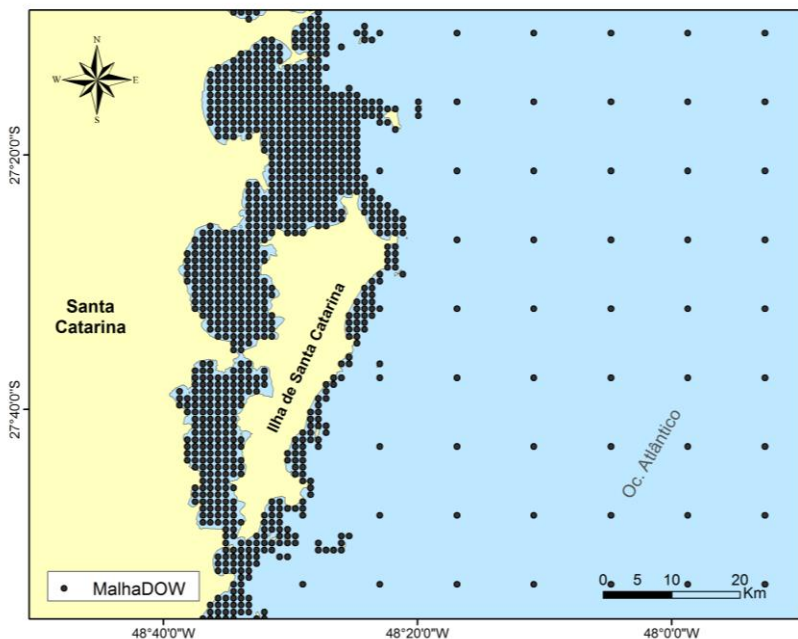


Figura 14: Distribuição espacial dos dados de onda DOW ao largo da Ilha de Santa Catarina (Malha 14 do *downscaling*).

Como mencionado anteriormente, os dados de vento utilizados para gerar as séries GOW e DOW fazem parte da Reanálise 1 (NCEP/NCAR). A Reanálise 1 consiste em campos de vento com resolução espacial de $1,9^\circ$ e temporal de 6 horas para o período de 60 anos (1948-2008). Tal reanálise foi escolhida por ser aquela que proporcionaria a maior série de ondas (IH CANTABRIA, 2014, no prelo (b)). No entanto, dados de vento obtidos por satélite só estão disponíveis a partir de 1978 (KISTLER *et al.*, 2001). Isso significa que a assimilação de dados em reanálises de vento só é possível para períodos após 1978 e as reanálises são mais confiáveis para os últimos 40 anos. No entanto, o método de calibração aplicado por Reguero *et al.* (2012) à base de dados GOW demonstrou ser um bom ajuste para dados de onda resultantes destes ventos.

Mais detalhes do processo de geração e calibração das reanálises GOW e DOW podem ser encontrados em Mínguez *et*

al.(2011), Reguero *et al.* (2012), Camus *et al.* (2013) e IH CANTABRIA (no prelo (b)).

2.3. VALIDAÇÃO DOS DADOS DE NÍVEL

A validação das bases de dados de nível foi realizada pelo Instituto de Hidráulica da Cantábria a partir da comparação entre dados simulados e medidos (disponibilizados pela DHN - Marinha do Brasil). As validações da maré astronômica e maré meteorológica foram realizadas a partir dos marégrafos disponíveis, sempre que estes cumpriam as seguintes condições:

- a) Estar localizados em águas exteriores: marégrafos de estuários, desembocaduras e rios apresentam condições locais próprias que não estão presentes nos dados simulados;
- b) Distância entre o marégrafo e o ponto GOT ou GOS menor que 100Km: com distâncias maiores não é possível assegurar que os dados sejam comparáveis;
- c) Tempo mínimo de registro dos marégrafos de 1 ano para MA e 2 anos para MM: a maré meteorológica apresenta natureza mais aleatória e por esse motivo são necessárias séries maiores.

A seguir está descrita a metodologia de validação destas bases de dados aplicados pelo Instituto de Hidráulica da Cantabria.

2.3.1. VALIDAÇÃO DA MARÉ ASTRONÔMICA

Para a validação da base de dados de maré astronômica, foram utilizados dados de marégrafos de distintas fontes: Universidade do Havai (UHSLC) (<http://ilikai.soest.hawaii.edu/uhs/c/rqds.html>), Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias (INPH) e Marinha do Brasil (DHN).

Dos marégrafos da UHSLC disponíveis na costa brasileira 2 foram utilizados na comparação (Figura 15). As séries destes marégrafos apresentam resolução temporal horária e os registros variam entre 1940 e 2007. Quanto aos marégrafos brasileiros, 22 estações distribuídas ao longo da costa do país foram utilizadas (Figura 15). Estes apresentam séries com resolução temporal horária e abrangem o período de 1 ano variando de 1955 a 2011.

Com base e tais dados, a validação se deu nas seguintes etapas:

- i) Obtenção das constantes harmônicas de cada marégrafo;

- iii) As séries de maré foram reconstruídas com base nas constantes para um ano padrão (2000);
- iv) Seleção dos pontos GOT mais próximos dos marégrafos, com distância máxima de 100Km;
- v) Comparação dos dados GOT com os dados do marégrafo a partir dos parâmetros estatísticos Viés (V), Erro Quadrático Médio (EQM) e R^2 (a descrição do cálculo de cada um destes parâmetros está apresentada no APÊNDICE B).

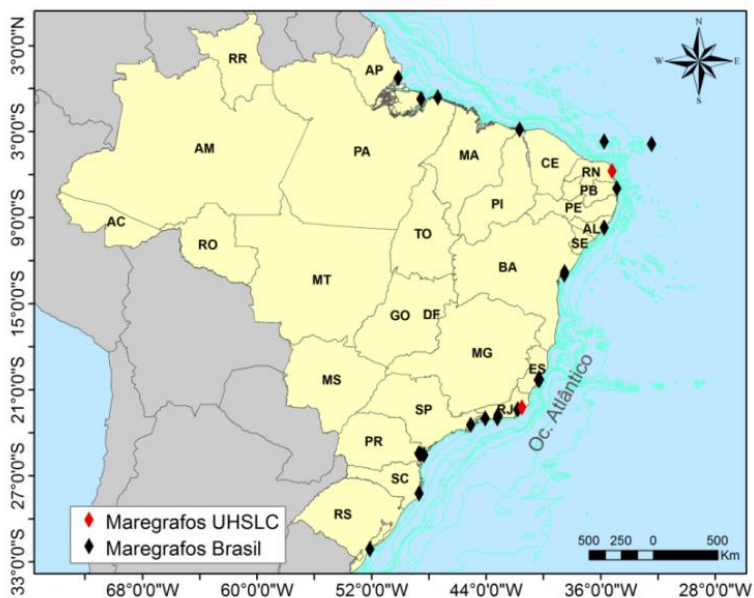


Figura 15: Marégrafos utilizados no processo de validação dos dados de maré astronômica (Fonte: Adaptado de MMA (no preto)).

Os resultados da validação para cada marégrafo podem ser observados na Tabela 2 e Tabela 3. De maneira geral, os parâmetros estatísticos apontam um bom ajuste dos dados GOT em toda a costa brasileira.

Salientando os resultados do marégrafo 60250 (Imbituba), é possível verificar que o Viés quase nulo, EQM de 0,082cm e R^2 de 0,797 demonstram a eficiência do modelo em representar a maré astronômica na costa catarinense. A Figura 16 apresenta os resultados da comparação para tal marégrafo.

Tabela 2: Resultados da validação dos dados de maré astronômica dos marégrafos da UHSLC. Coordenadas em graus decimais (Fonte: MMA (no prelo)).

MARÉGRAFO	LOCALIZAÇÃO	LONG	LAT	V	EQM	R ²
h202B	Natal	-35.18	-5.75	-0,0003	0,054	0,993
h719A	Macaé	-41.47	-22.23	-0,0003	0,059	0,967

Tabela 3: Resultados da validação dos dados de maré astronômica dos marégrafos brasileiros. Coordenadas em graus decimais (Fonte: MMA (no prelo)).

MARÉGRAFO	LOCALIZAÇÃO	LONG	LAT	V	EQM	R ²
20520	Salinópolis	-0,62	-47,35	0,00025	0,52	0,871
30225	Porto de LuizCorreia	-2,85	-41,65	-0,0002	0,179	0,955
30337	Terminal Portuário do Pecém	-3,68	-35,73	0,00001	0,116	0,974
30540	Porto de Cabedelo	-6,97	-34,84	0,00013	0,094	0,979
30725	Porto de Maceió	-9,68	-35,73	-0,0001	0,086	0,976
40135	Porto de Aratu	-12,8	-38,49	0,00024	0,196	0,92
40140	Capitania dos Portos de Salvador	-12,97	-38,52	0,00008	0,138	0,952
40219	CEPEMAR	-20,32	-40,34	-0,0004	0,217	0,781
40252	Capitania dos Portos do Espírito Santo	-20,32	-40,30	-0,00003	0,06	0,976
40255	Porto de Tubarão	-20,29	-40,24	0,00066	0,074	0,963
50116	Ponta de Imbetiba(Macaé)	-22,39	-41,77	-0,0002	0,111	0,894
50127	Ilha do Boqueirão	-22,78	-43,16	0,00053	0,137	0,864
50141	Ponta da Armação	-22,88	-43,14	-0,0002	0,071	0,94
50159	Copacabana - Salvamar	-22,99	-43,19	0,00132	0,093	0,9
50165	Ilha de Guaíba (Terminal MBR)	-23,0	-44,03	-0,001	0,137	0,844
50205	Porto de Ubatuba	-23,45	-45,05	0,00034	0,069	0,943
60132	Porto de Paranaguá	-25,5	-48,53	-0,0004	0,238	0,803

60135	Barra do Porto de Paranaguá	-25,57	-48,32	-0,0004	0,119	0,895
60139	Terminal Portuário da Ponta do Félix	-25,46	-48,68	-0,0002	0,35	0,733
60250	Porto de Imbituba	-28,23	-48,65	0,00038	0,082	0,797
60370	Porto de Rio Grande	-32,12	-52,10	0,00016	0,091	0,642
30950	Fernando de Noronha	-3,87	-32,42	-0,00008	0,087	0,981

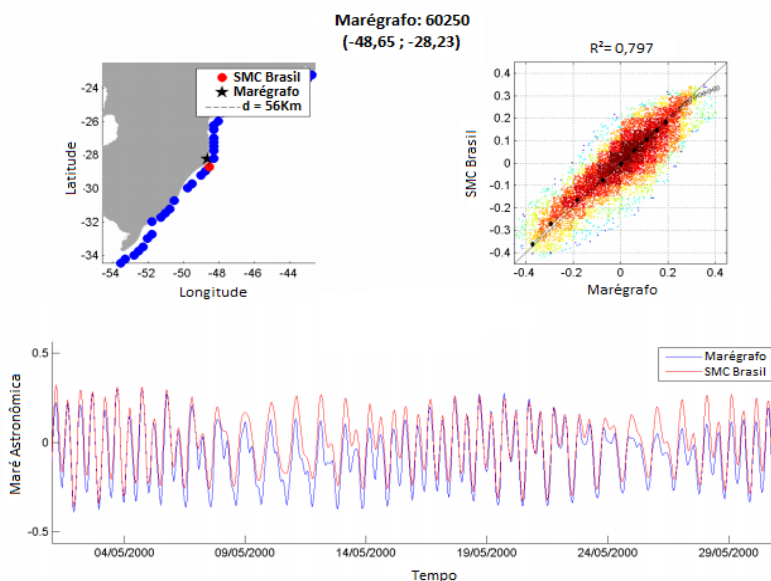


Figura 16: Comparação dos dados de maré astronômica da base de dados do SMC com os dados do marégrafo 60250 de Imbituba. d é a distância entre o ponto da base de dados e o marégrafo utilizado. (Fonte: Adaptado de IH Cantabria (no prelo (b)))

Mais detalhes da geração e validação dos dados de maré astronômica podem ser encontrados em IH Cantabria (no prelo (b))

2.3.2. VALIDAÇÃO DA MARÉ METEOROLÓGICA

A validação da base dados GOS na costa brasileira se deu através da comparação dos dados da reanálise com os dados dos marégrafos

da UHSLC. Os dados dos marégrafos brasileiros não foram utilizados nesta etapa por compreenderem períodos menores que 2 anos, não atendendo às condições citadas anteriormente. Na Figura 17 pode-se observar a localização dos marégrafos utilizados ao longo da costa brasileira.

Desta maneira, a validação dos dados de maré meteorológica se deu seguindo as seguintes etapas:

- i) Obtenção das constantes harmônicas de cada marégrafo;
- ii) Previsão da maré astronômica para o mesmo período medido pelo marégrafo através das constantes harmônicas obtidas na etapa anterior;
- iii) Cálculo da diferença entre o nível medido e o valor de maré astronômica. Esse valor residual corresponde à série de maré meteorológica;
- iv) Comparação dos valores de maré meteorológica obtidos na reanálise com aqueles obtidos pelos marégrafos. Para a comparação também nesta etapa foram calculados coeficientes utilizados na validação da maré astronômica (V , EQM , R^2).



Figura 17: Marégrafos da Universidade do Haváí (UHSLC) utilizados na etapa de validação dos dados de maré meteorológica.

Os resultados de V , EQM e R^2 para os quatro marégrafo estão apresentados na Tabela 4. Novamente, apesar dos menores valores de R^2 , os baixos valores de V e EQM indicam um bom ajuste do modelo nos quatro pontos comparados. A comparação das séries de MM no marégrafo h718A (Imbituba) está apresentada na Figura 18. Neste ponto, é possível observar que o modelo representa bem a série de MM com uma leve subestimação e alguns picos.

Tabela 4: Resultados da validação dos dados de maré astronômica dos marégrafos da UHSLC. Coordenadas em graus decimais (Fonte: IH Cantabria(no preto (b))).

MARÉGRAFO	LOCALIZAÇÃO	LONG	LAT	V	EQM	R^2
h719A	Macaé	-41,47	-22,23	-0,0026	0,115	0,562
h280A	Rio de Janeiro	-43,15	-22,88	0,005	0,126	0,678
h281A	Cananéia	-47,92	-25,02	-0,00006	0,161	0,584
h718A	Imbituba	-48,4	-28,13	-0,0002	0,116	0,612

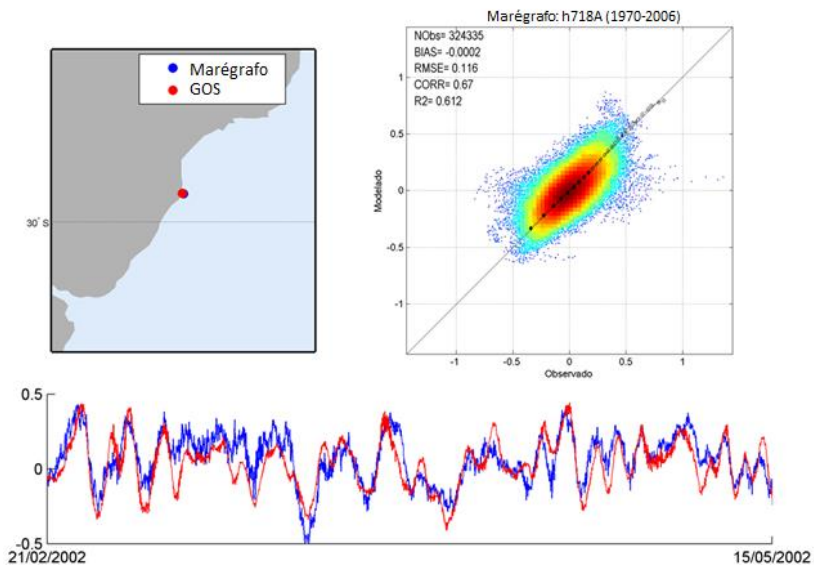


Figura 18: Comparação dos dados de maré meteorológica da base de dados do SMC com os dados do marégrafo 60250 de Imbituba (Fonte: Adaptado de IH Cantabria (no preto (b))).

2.4. VALIDAÇÃO DOS DADOS DE ONDA DOW - FLORIANÓPOLIS (SC)

A validação da base de dados DOW se deu através da comparação dos dados DOW com os dados das boias de Tramandaí (RS) e Florianópolis (SC). O processo de validação na costa de Santa Catarina foi realizado durante o desenvolvimento do presente trabalho e será descrito neste item de forma detalhada. Os procedimentos e resultados obtidos da comparação entre dados simulados e os dados da boia de Tramandaí, podem ser encontrados no Documento Temático de Níveis (IH CANTABRIA, no prelo (b)) desenvolvido pelo IH Cantabria.

Para a validação na costa catarinense foram utilizados dados medidos na isóbata de 80m 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 35Km da costa da Ilha de Santa Catarina (27°42'18"S, 48°8'2,4"O) (Figura 19). 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 da boia para este período estão disponíveis em www.ndbc.noaa.gov e cdip.ucsd.edu.

Os dados de reanálise utilizados foram aqueles correspondentes aos dois pontos mais próximos ao ponto de instalação da boia, chamados ponto D1 (27°42'55"S, 48°10'50,16"O) e D2 (27°42'55"S, 48°4'46,2"O) (Figura 19). Não foram utilizadas técnicas de interpolação para verificar os dados de reanálise sobre o ponto exato da boia, uma vez que comparações entre dados dos pontos D1 e D2 demonstraram similaridade entre as séries (a diferença máxima entre D1 e D2 foi de 0,2m para Hs e 1,48s para Tp).

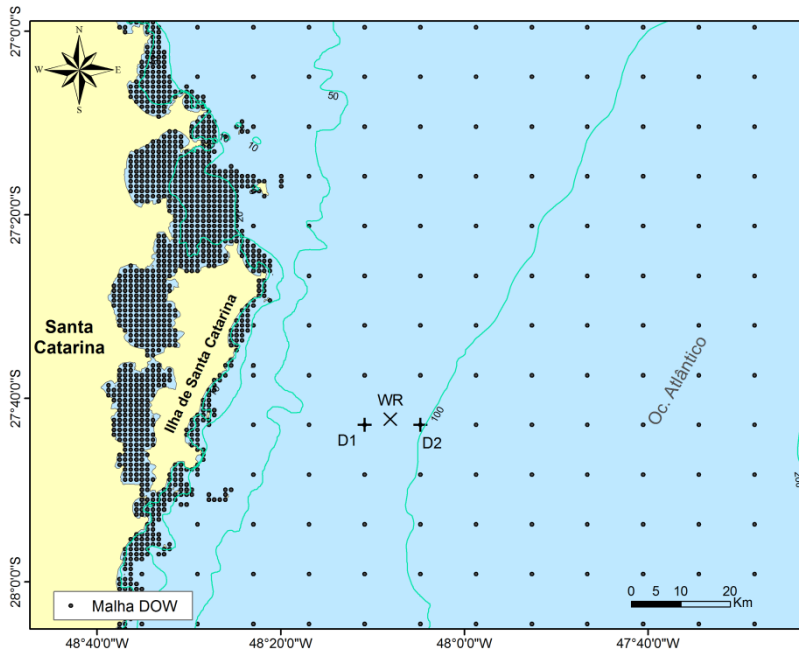


Figura 19: Localização dos pontos utilizados na validação. Pontos D1 e D2 são os pontos DOW mais próximos do ponto WR (boia Waverider).

2.4.1. METODOLOGIA DE VALIDAÇÃO

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. A seguir, a mesma metodologia utilizada por Reguero *et al.* (2012) foi aplicada para quantificar a qualidade do ajuste entre dados medidos e simulados (Figura 20): 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.

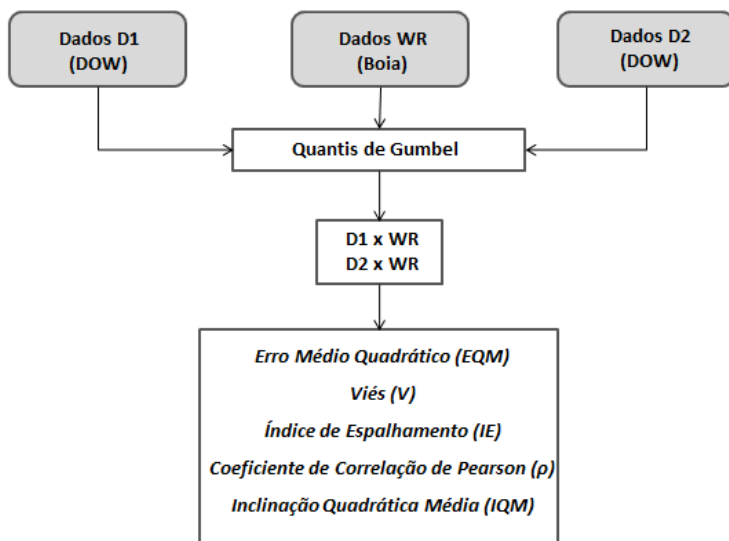


Figura 20: Metodologia de validação dos dados de Hs e Tp da base de dados DOW.

Esta metodologia é aplicável para os dados de Hs e Tp. No entanto, não pode ser aplicada para séries temporais de direção de onda. A validação direcional requer análises mais complexas e por isso poucos são os estudos que tem por objetivo verificar a qualidade dos dados de direção de onda provenientes de reanálises (MELO F^o *et al.*, 2008). Ainda assim, uma análise qualitativa inicial dos dados de direção média das séries DOW foi realizada.

Distribuição de Gumbel:

Em análises de dados de onda, funções de distribuição de probabilidade simétricas, como a distribuição normal, não são adequadas para descrever dados de longo prazo. Nestes casos, distribuições mais assimétricas, como a distribuição de Gumbel, demonstram melhor ajuste (BATJES, 1972). A distribuição de probabilidade acumulada de Gumbel foi utilizada neste trabalho e pode ser calculada como demonstrado em (25) e (26):

$$Pr = \exp \left[-\exp \left(-\frac{x-M}{c} \right) \right] \quad (25)$$

$$Q(Pr) = M - C * \ln(1 - Pr) \quad (26)$$

onde Pr é a probabilidade acumulada de um evento x , M é o parâmetro de localização, C é o parâmetro de escala (determina a largura da distribuição), $Q(Pr)$ é o quantil da distribuição. Os valores de M e C para cada uma das séries estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Parâmetros M e C utilizados no cálculo da distribuição de Gumbel.

Séries Temporais	Hs		Tp	
	M	C	M	C
D1	1,522	0,4395	7,191	1,356
D2	1,555	0,4791	7,286	1,43
WR	1,463	0,4749	7,984	1,833

Parâmetros Estatísticos:

De maneira a avaliar a qualidade dos dados simulados, estes foram comparados com os dados instrumentais através do cálculo de parâmetros estatísticos utilizados em diferentes trabalhos de validação de dados de onda (JANSSEN, 1997; MELO F^o *et al.*, 2008; MELO F^o *et al.*, 2010; AGUIAR *et al.*, 2013; REGUERO *et al.*, 2012; CHAWLA *et al.*, 2013). Os parâmetros utilizados no presente estudo foram o Erro Médio Quadrático (EQM), Viés (V), Índice de Espalhamento (IE), Coeficiente de Correlação de Pearson (ρ), Inclinação Quadrática Média (IQM). A descrição dos cálculos destes parâmetros está apresentada no APÊNDICE B.

2.4.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Altura Significativa de Onda e Período de Pico:

Os parâmetros estatísticos descritivos básicos (média, desvio padrão e moda) de Hs e Tb das três séries analisadas estão apresentados na Tabela 6. 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 Tp e moda de Hs. A média de Tp apresentou valor maior na série observada. Quanto aos valores de Hs, a maior parte dos estados de mar se apresentou por volta de 1,73m e 1,79m em D1 e D2 respectivamente, em torno de 0,5m maior do que ocorre em WR.

Tabela 6: Parâmetros estatísticos descritivos básicos de D1, D2 e WR.

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

A dispersão de densidade entre dados medidos e simulados pode ser observada na Figura 21. A superestimação da moda fica evidente nos gráficos de Hs, com a maioria dos estados de mar ocorrendo aproximadamente 0,5m acima dos medidos. Ainda assim, a dispersão de Hs demonstra que grande parte dos estados de mar se concentram próximos ao ajuste ideal (linha tracejada), com poucos casos apresentando maior dispersão. A dispersão de Tp também mostra a maior parte dos casos ocorrendo próximos à linha de ajuste ideal, no entanto a subestimação dos maiores valores de Tp pode ser verificada.

A dispersão entre os quantis calculados está demonstrada na Figura 22. É possível observar que os dados de Hs 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 Tp foi observada em todos os quantis nos dois pontos da reanálise, aumentando a diferença nos maiores quantis. A superestimação dos quantis de Hs e a subestimação dos quantis de Tp também pode ser verificada através dos valores de IQM (Tabela 7). $OIQM > 1$ na comparação de Hs 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 Tp nas reanálises (Tabela 7). O EQM aponta um erro de 2cm na simulação de Hs em D1 e 10cm em D2. Os erros quadráticos médios de Tp são maiores, apresentando 2,57s em D1 e 2,2s em D2. Os valores de IE também indicam um leve desvio dos valores ideais.

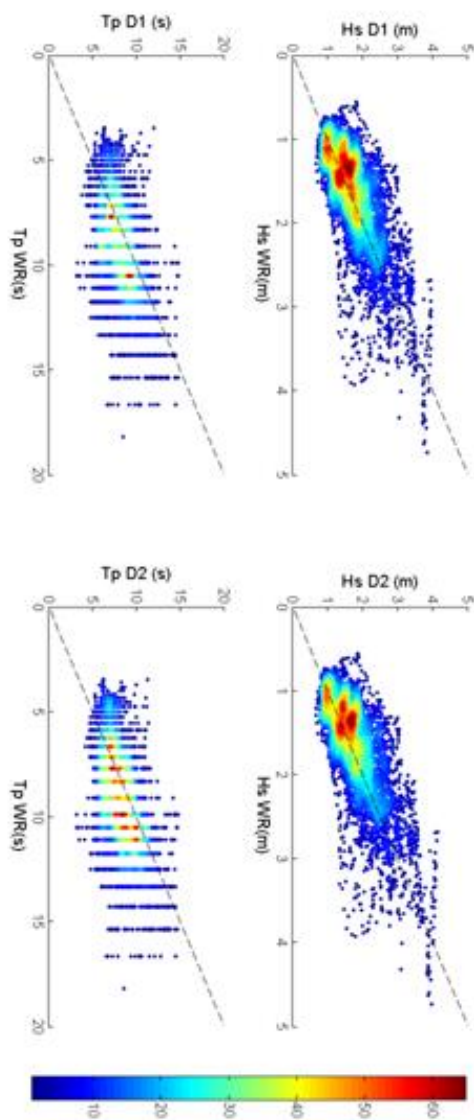


Figura 21: Dispersão de densidade de Hs e Tp entre dados de reanálise (D1 e D2) e medidos (WR).

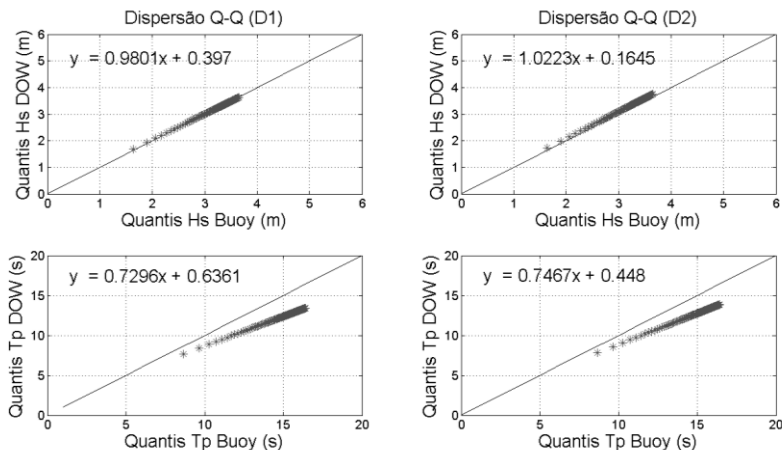


Figura 22: Dispersão Q-Q entre dados de reanálise (D1 e D2) e dados medidos (WR).

Tabela 7: Parâmetros estatísticos obtidos da comparação Q-Q (Quantis da distribuição de Gumbel).

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

A subestimação dos valores de Tp, especialmente sobre os maiores valores, também foi observada por Aguiar *et al.* (2013) ao comparar os resultados da reanálise NWW3 com os dados de uma boia na costa do Rio Grande do Sul. Esta subestimação dos maiores valores pode ser atribuída 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, que são muito comuns no Atlântico Sul (REGUERO *et al.*, 2012). Este é um problema que permanece nas reanálises atuais. A CFSRR (*Climate Forecast System Reanalysis and Reforecast*) é a reanálise de vento mais recente, com maiores resoluções espaço-temporais ($1/2^\circ$ e 1h) quando comparadas à Reanálise 1 e,

ainda assim, apresenta dificuldades em representar tais eventos (CHAWLA *et al.*, 2013).

Outro fator que pode contribuir para a subestimação dos valores de T_p é a 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 (MELO F^o *et al.*, 2008), como as costas sul e o sudeste do Brasil. Araujo *et al.*, (2003) e mais tarde Franco e Melo F^o (2008) mostraram a importância dos mares secundários nesta área, onde 32% dos estados de mar são representados por condições bimodais. Mares multimodais estão relacionados com a presença de ventos locais que geram vagas (*seas*) que não são resolvidos adequadamente pelo modelo WW3 (ESPEJO *et al.*, 2014).

Finalmente uma última contribuição para a subestimação dos valores de T_p pode estar relacionada ao pacote físico utilizado como *default* do modelo WW3: Tolman-Chalikov (TOLMAN e CHALIKOV, 1996). Chawla *et al.* (2013) apontaram que a parametrização DIA (parametrização utilizada para verificar as interações vento-onda) utilizada neste pacote pode resultar em um pico espectral menos intenso nas simulações, o que resulta na subestimação dos valores de T_p em eventos de tempestade. No entanto, análises mais aprofundadas do pacote físico Tolman-Chaikov não fazem parte do escopo deste trabalho.

Apesar das diferenças demonstradas até o momento, 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.

Direção Média de Onda:

Os dados de θ_m simulados apresentam comportamento semelhante (tendências semelhantes) quando comparados à série de WR (Figura 23). No entanto, muitos dos estados de mar na faixa de 0° a 90° presentes na série medida não são representados pelas séries DOW. O mesmo pode ser observado nas rosas de período das três

séries temporais (Figura 24). Muitos dos casos de nordeste não estão representados nas rosas de D1 e D2, apesar de ventos de nordeste estarem presentes na Reanálise 1 do local (Figura 25). Ondas de nordeste são características de condições bimodais da costa Catarinense. Trabalhos anteriores mostraram que o clima de ondas nesta área é composto por um primeiro pico de frequência representando marulhos (*swell*) de S e um segundo pico de frequência representando marulhos de ENE a ESSE (ARAÚJO *et al.*, 2003; FRANCO E MELO F^o, 2008). Novamente, a principal razão para as ondas de nordeste não estarem representadas nos dados DOW está relacionada ao fato de que vagas não são bem representados pelo modelo de ondas. De forma que estados de mar bimodais gerados pela influência de ventos locais não são considerados nas reanálises de ondas.

Além disso, ondas de S não são tão significantes nas reanálises quanto nos dados medidos, e as ondas de SSW, que representam 5% da série WR, demonstram menor ocorrência em D1 e D2. Analisando um ponto mais profundo da base de dados DOW (isóbata >1000m de profundidade), chamado D3 (Figura 25), é possível verificar que ondas de SSW são bem representadas em águas profundas e a lacuna desta direção ocorre apenas em águas rasas, mesmo com a presença de ventos de SSW nos pontos D1 e D2 (Figura 25).

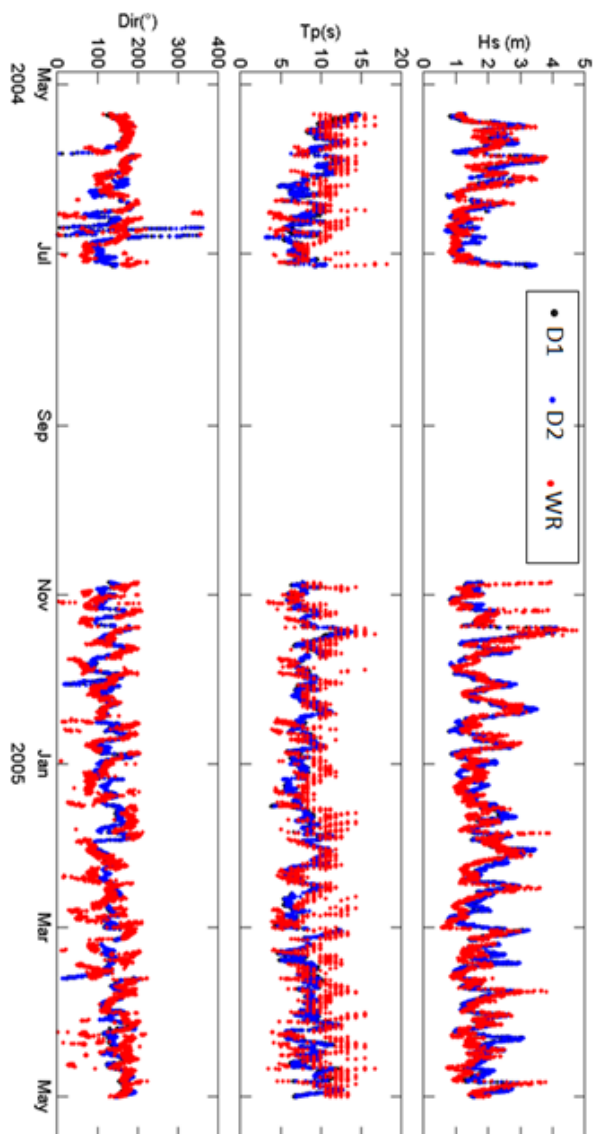


Figura 23: Séries temporais utilizadas no processo de validação.

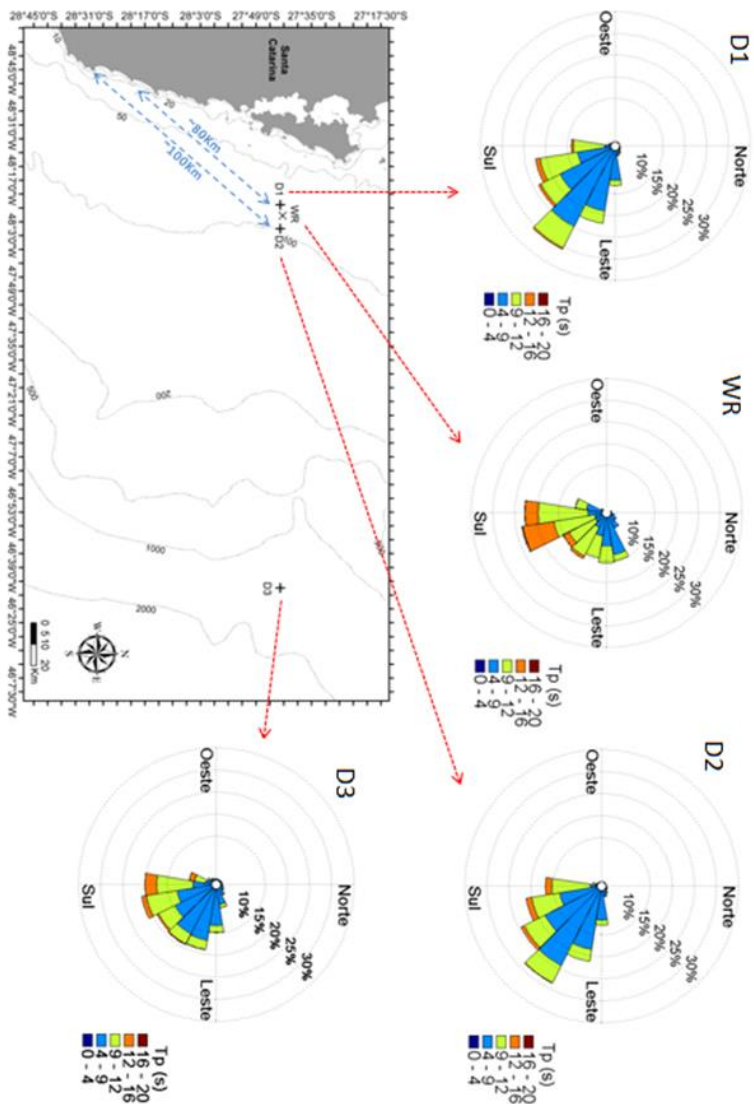


Figura 24: Rosas de Tp de D1, D2, WR e do ponto mais profundo D3.

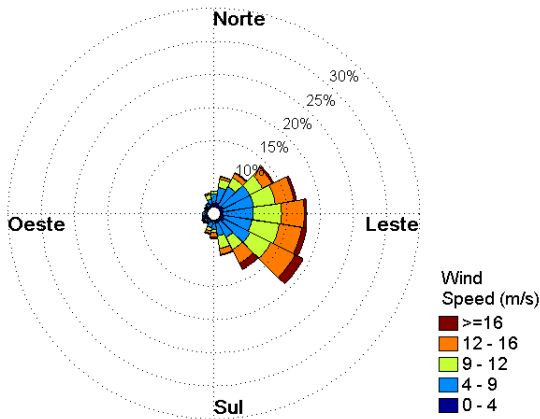


Figura 25: Rosa de ventos da Reanálise 1 (NCEP/NCAR) para o mesmo período das séries de ondas.

A ausência de ondas de SSW neste caso pode ser atribuída à estimativa da geração de ondas ao simular ondas provenientes da direção do continente. Hasselman *et al.* (1973) demonstrou, com base no experimento JONSWAP, que a pista de onda pode ser calculada a partir de (27):

$$f_p = 3,5 \left[\frac{g^2 F}{U_{10}^3} \right]^{-0,33} \quad (27)$$

onde f_p é a frequência no pico espectral, U_{10} é a velocidade de vento a 10m da superfície, g é a aceleração da gravidade e F é o comprimento da pista de vento.

Com base nisso, para gerar ondas com período de pico de 9s (como demonstrado na série WR para ondas de SSW), com ventos soprando com velocidade de 12m/s (ver Figura 25), seria necessário ao menos 600Km de pista de vento. No entanto, a maior distância verificada entre D1 e D2 e o continente é de ~100Km (ver Figura 24). Isso sugere que não há pista suficiente para que o modelo considere a geração de ondas de SSW.

2.5. CONSIDERAÇÕES GERAIS

- As reanálises numéricas de onda e nível são opções viáveis quando se tem a intenção de obter dados dispersos homogeneamente no tempo e no espaço.
- Após as validações foi possível inferir sobre a qualidade dos dados das reanálises GOT, GOS e DOW. Com base nos procedimentos apresentados e nos parâmetros estatísticos calculados, as bases de dados foram consideradas ajustadas aos valores obtidos por medições.
- A validação dos dados DOW para a costa catarinense foi apresentada neste capítulo. A base de dados DOW demonstrou representar bem o regime médio de ondas de Santa Catarina, especialmente ao simular as alturas de onda que foram bem reproduzidas pelo modelo.
- Com base na série temporal utilizada na validação da base de dados DOW, foi possível realizar uma análise inicial da qualidade dos dados de onda da reanálise em questão. Sabe-se que séries mais longas seriam mais adequadas para verificar o desempenho do modelo, uma vez que 11 meses de dados não podem representar uma série de 60 anos. Entretanto, dados de ondas de séries maiores apesar de existirem não estavam disponíveis para este trabalho.
- Considerando as limitações dos dados de entrada, do processo de modelagem e do tamanho da série utilizada na validação, certos cuidados devem ser tomados ao utilizar os dados DOW para análises de eventos extremos, onde foram observadas as maiores deficiências do modelo.

CAPÍTULO 3 - CÁLCULO DA COTA DE INUNDAÇÃO

3.1. INTRODUÇÃO

Como citado anteriormente neste trabalho, a cota de inundação é resultado da soma de quatro componentes: nível médio do mar, maré astronômica, maré meteorológica e *runup*. Este capítulo apresenta a metodologia utilizada para obtenção destes valores bem como os resultados alcançados para a área de estudo.

3.2. METODOLOGIA

Para as análises de cota de inundação ao longo das praias da área de estudo, três cenários foram propostos:

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

Cenário 2: Cota de inundação com período de retorno de 25 anos;

Cenário 3: Cota de inundação com período de retorno de 50 anos.

A Figura 26 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). 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 previstos para 5, 25 e 50 anos.

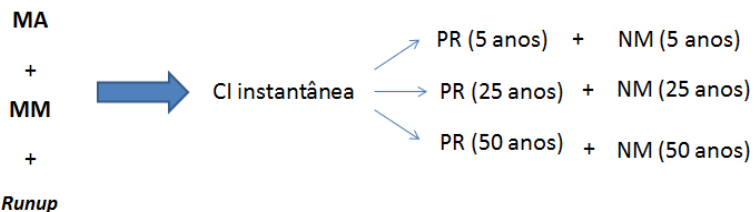


Figura 26: Metodologia de cálculo da cota de inundação para os cenários propostos.

3.2.1. MARÉ ASTRONÔMICA E MARÉ METEOROLÓGICA

Os valores de maré astronômica e maré meteorológica utilizados neste trabalho pertencem às bases de dados GOT e GOS respectivamente (ver Capítulo 2). Os valores da série para a região da Ilha de Santa Catarina estão apresentados na Figura 28.

3.2.2. RUNUP

Optou-se por realizar o cálculo do *runup* com base nas formulações propostas por Silva (2012) e Bonetti *et al.*(2012) (ver Eq. 12 a 15), por ser a mais adequada para praias de enseada proposta até o momento. As etapas envolvidas no cálculo do *runup* estão apresentadas a seguir:

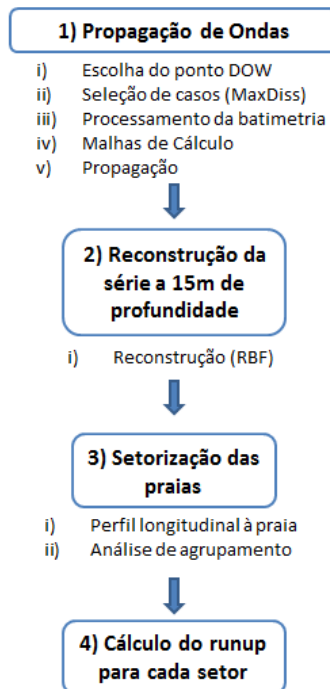


Figura 27: Metodologia de cálculo do *runup*.

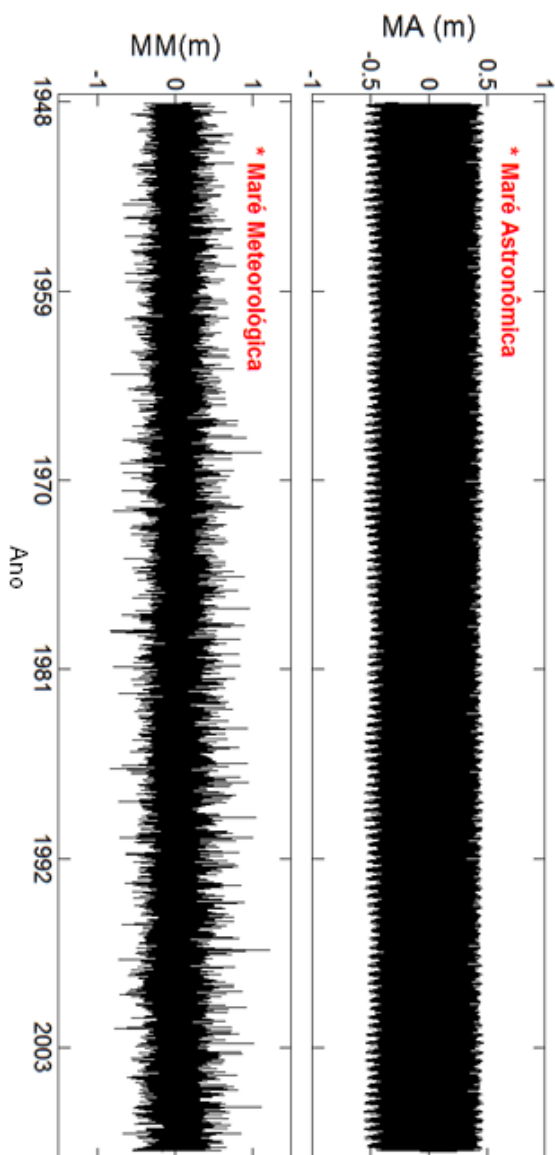


Figura 28: Série de MA e MM para a região de Santa Catarina.

3.2.2.1. Propagação de ondas até a costa

Valores de altura de onda em uma profundidade de 15m são necessários para o cálculo do *runup* com a formulação proposta por Silva (2012) e Bonetti *et al.* (2012). Desta forma, séries de onda da base de dados DOW foram propagadas até águas rasas através do modelo de propagação de ondas OLUCA-SP.

Escolha dos Pontos DOW

Dois pontos da base DOW foram selecionados para as propagações (Figura 29). O ponto 1 será utilizado nas propagações até a praia de Ingleses. O pontos 2 (corresponde ao ponto D1 da validação da base de dados DOW (ver Capítulo 2) foi utilizado nas propagações até Moçambique/Barra da Lagoa.

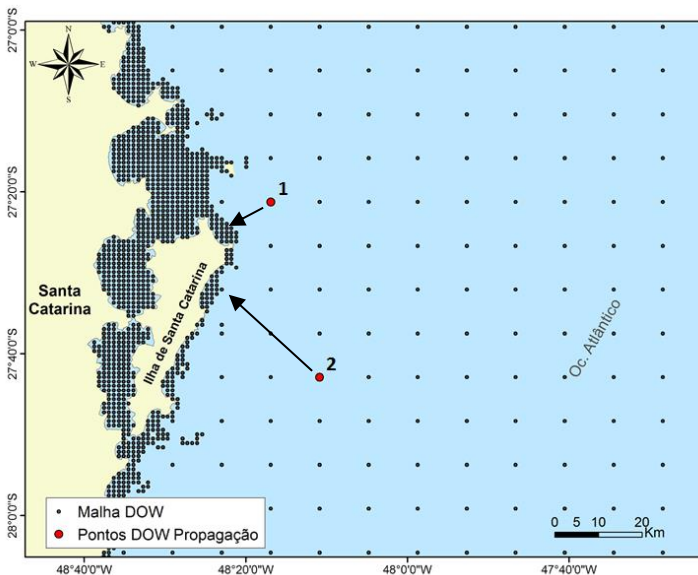


Figura 29: Pontos da base de dados DOW utilizados na propagação de ondas até águas rasas. A série do ponto um foi propagada até a praia de Ingleses e a série do ponto2 até as praias de Moçambique e Barra da Lagoa.

Observando os histogramas de H_s e T_p (Figura 30 a Figura 33) 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 34 e Figura

35). Casos provenientes de sul são representativos no ponto 1 (10%) mas quase inexistentes no ponto 1. O oposto ocorre com casos de nordeste apresentados no ponto 1, mas ausentes no ponto 2.

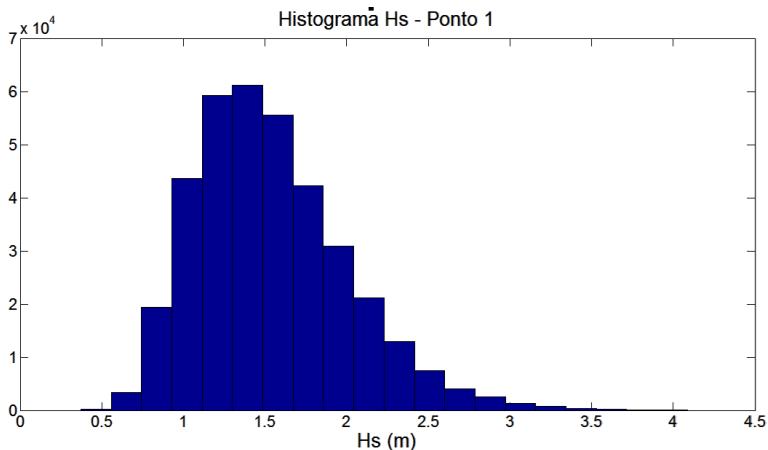


Figura 30: Histograma de Hs no Ponto 1 (ponto escolhido para propagação de ondas até a praia de Ingleses).

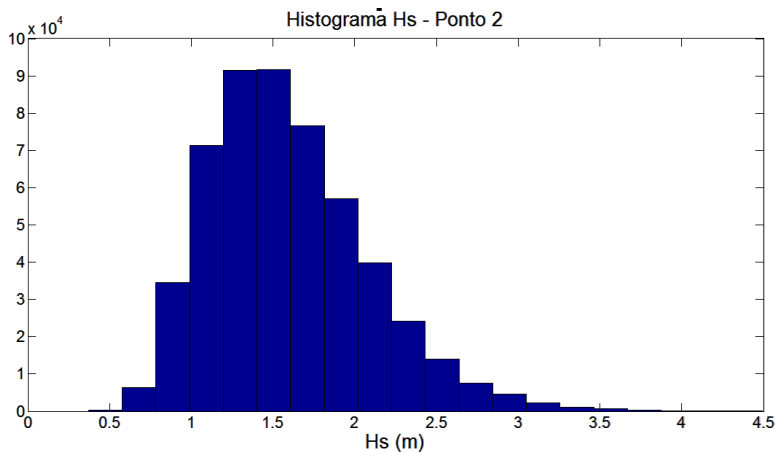


Figura 31: Histograma de Hs no Ponto 2 (ponto escolhido para propagação de ondas até às praias de Moçambique e Barra da Lagoa).

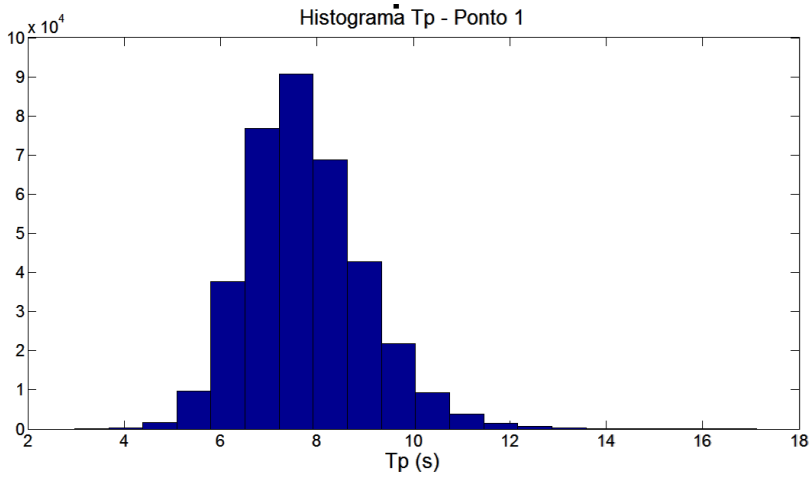


Figura 32: Histograma de T_p no Ponto 1 (ponto escolhido para propagação de ondas até a praia de Ingleses).

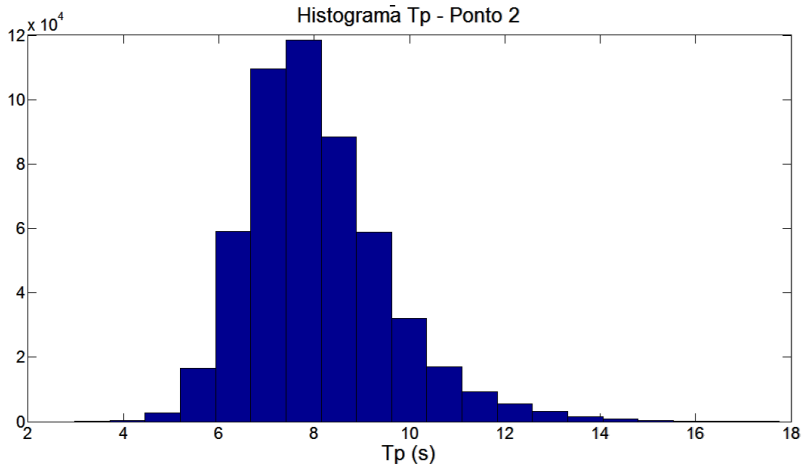


Figura 33: Histograma de T_p no Ponto 2 (ponto escolhido para propagação de ondas até às praias de Moçambique e Barra da Lagoa).

Ponto 1 - Ingleses

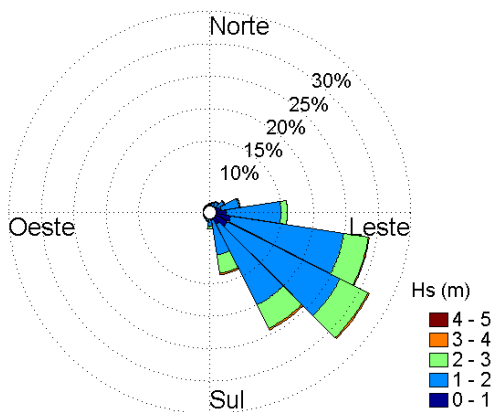


Figura 34: Rosa direcional de Hs do ponto 1.

Ponto 2 - Moçambique/Barra da Lagoa

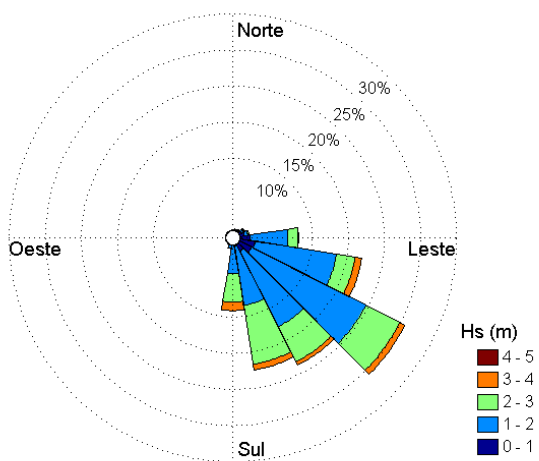


Figura 35: Rosa direcional de Hs do ponto 2.

Seleção de Casos

Na impossibilidade de se propagar todos os casos da série (alto custo computacional) foi necessária a seleção de uma subamostra de estados de mar representativos para serem propagados. Com base nesta subamostra, as séries podem 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 8 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** estão apontadas as condições de redução da série em cada ponto e o número de casos a que a série foi reduzida.

Tabela 8: 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) Ingleses	$0^\circ < \text{dir} < 135^\circ$	399699
2) Moçambique/Barra da Lagoa	$0^\circ < \text{dir} < 190^\circ$	524069

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, sendo o número de casos selecionados determinado pelo usuário do código. De acordo com Camus *et al.* (2011), após um N amostral igual 100, os erros referentes à seleção passam a ser pouco representativos. Desta forma, foram selecionados então 100 casos das séries reduzidas para propagação (Figura 36 e Figura 37).

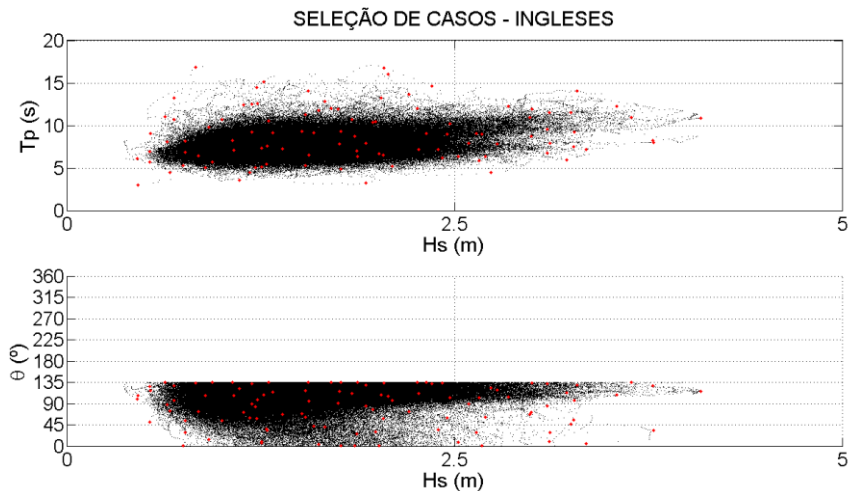


Figura 36: Casos selecionados para propagação até a praia de Ingleses. Em preto os dados da série reduzida, em vermelho os casos selecionados.

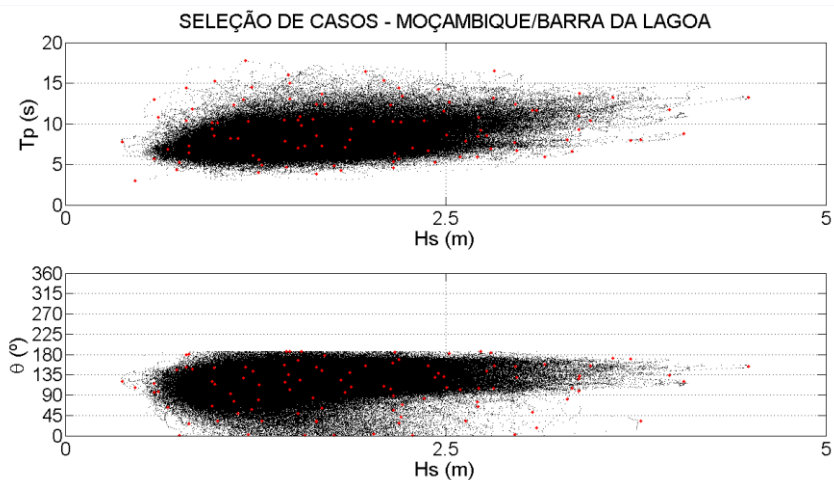


Figura 37: Casos selecionados para propagação até Moçambique/Barra da Lagoa. Em preto os dados da série reduzida, em vermelho os casos selecionados.

Processamento da Batimetria

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 folha de bordo da DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil). A fim de evitar instabilidades do modelo com relação à premissa da pente suave e melhor 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 38). Na Figura 39 e Figura 40 estão apresentadas as batimetria já processadas utilizadas na propagação de ondas.

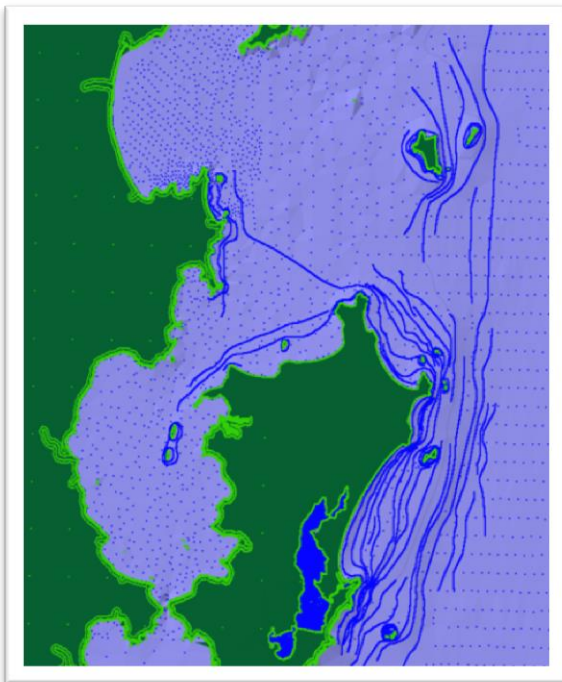


Figura 38: Isolinhas de profundidade criadas no processamento da batimetria.

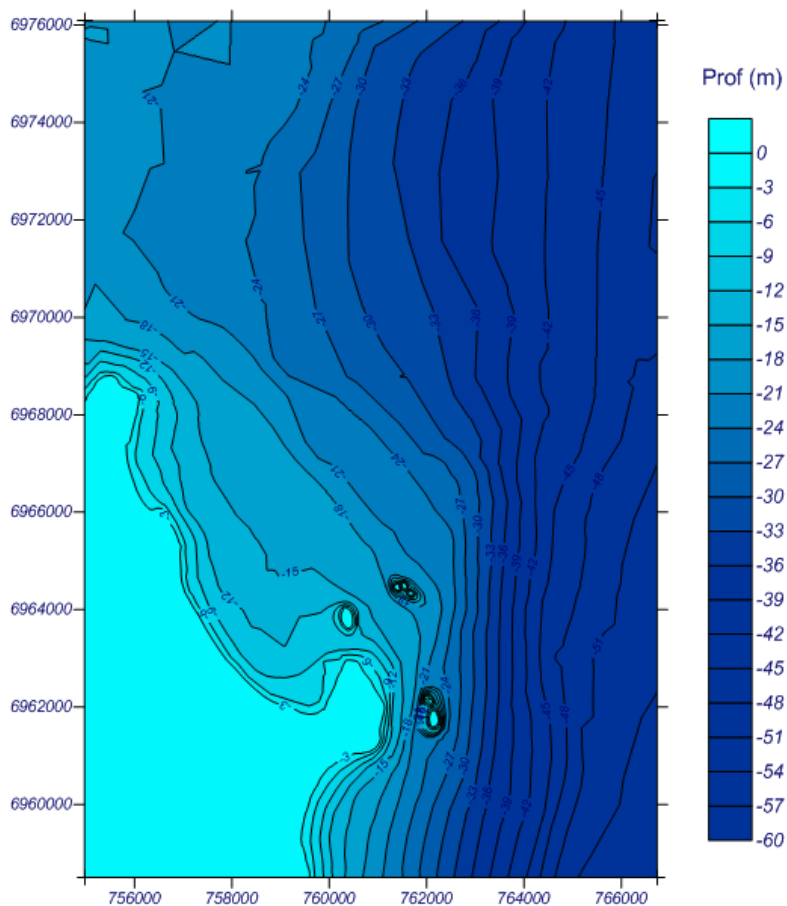


Figura 39: Batimetria processada: Ingleses.

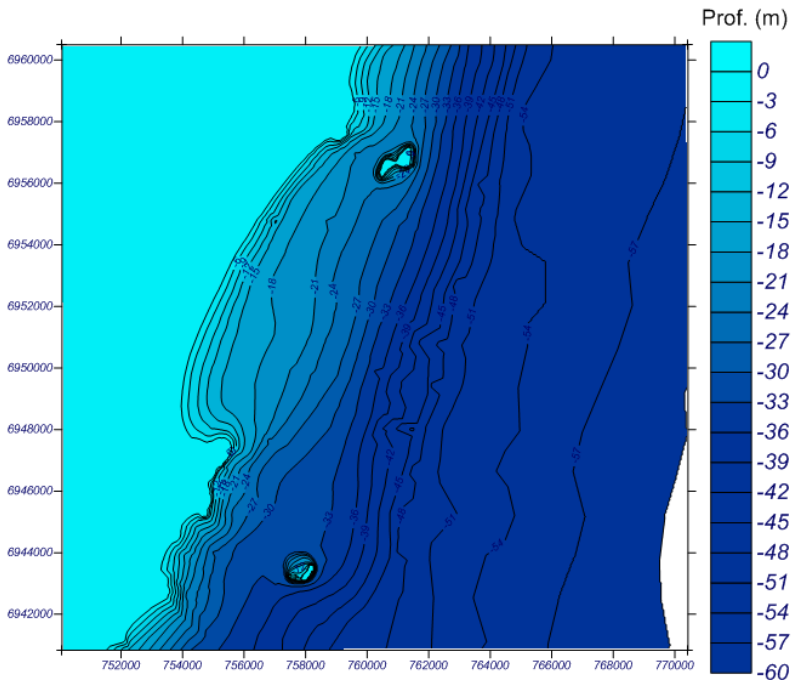


Figura 40: Batimetria processada: Moçambique/Barra da Lagoa.

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 4 malhas de propagação para a praia de Ingleses (2 acopladas) e 7 malhas para Moçambique/Barra da Lagoa (2 acopladas) (Figura 41 a Figura 47). A resolução e orientação das malhas estão descritas na Tabela 9 e Tabela 10 Tabela 10.

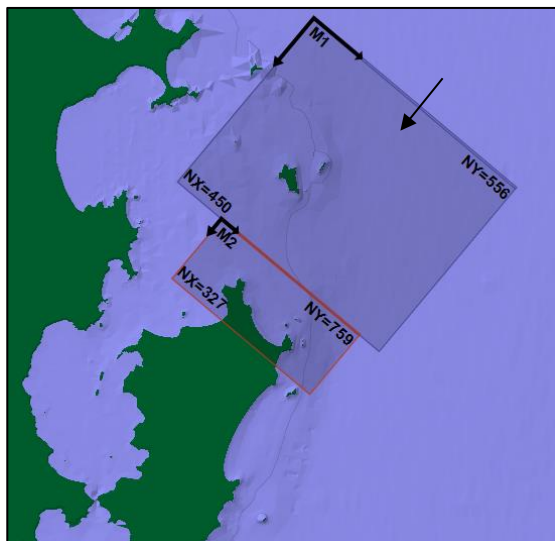


Figura 41: Malhas 1 e 2 - Ingleses.

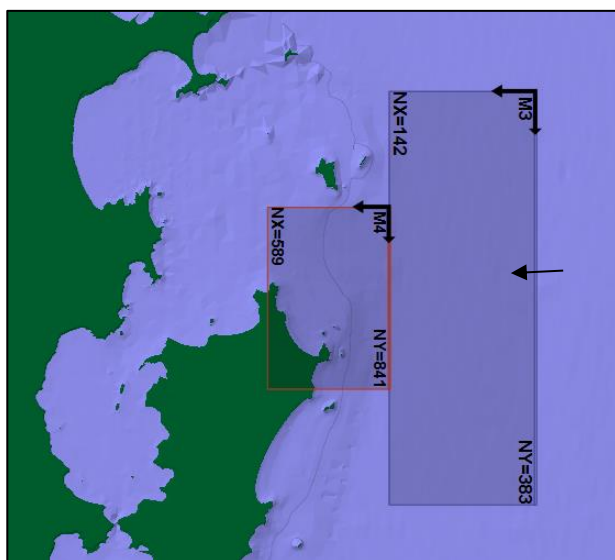


Figura 42: Malhas 3 e 4 - Ingleses.

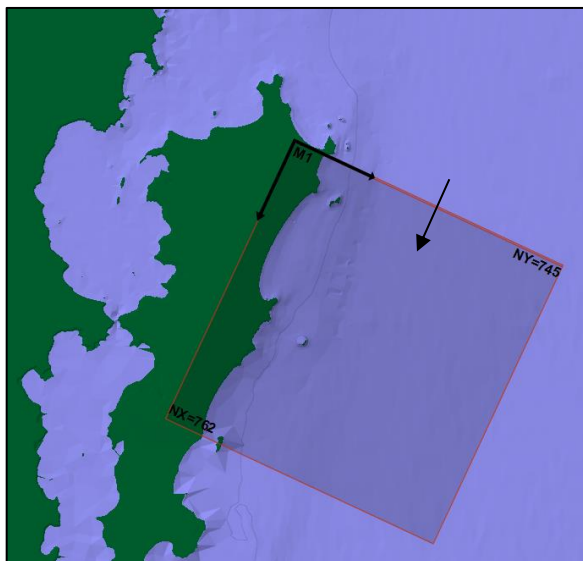


Figura 43: Malha 1 - Moçambique/Barra da Lagoa.

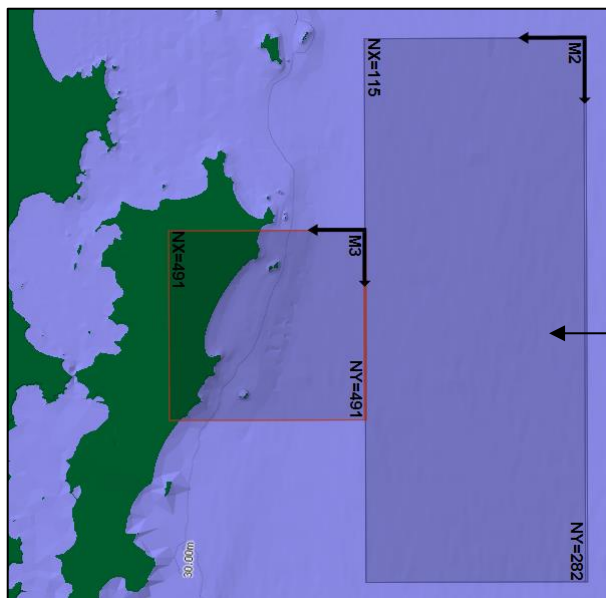


Figura 44: Malhas 2 e 3 - Moçambique/Barra da Lagoa.



Figura 45: Malha 4 - Moçambique/Barra da Lagoa.

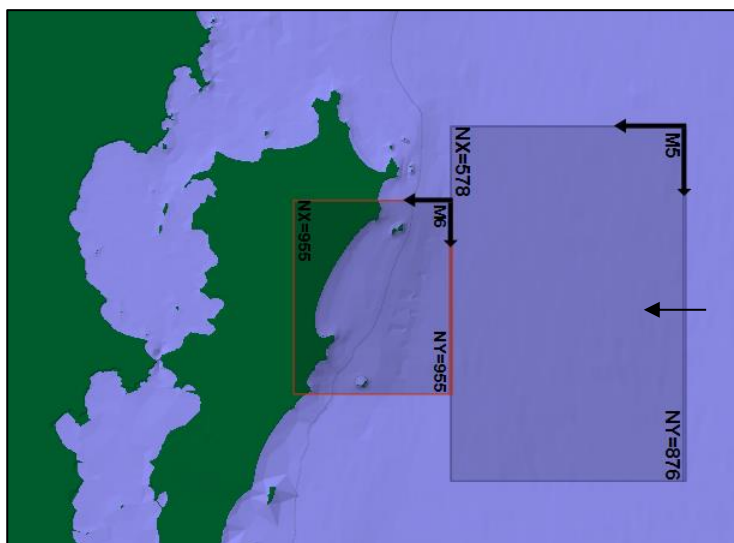


Figura 46: Malhas 5 e 6 - Moçambique/Barra da Lagoa.

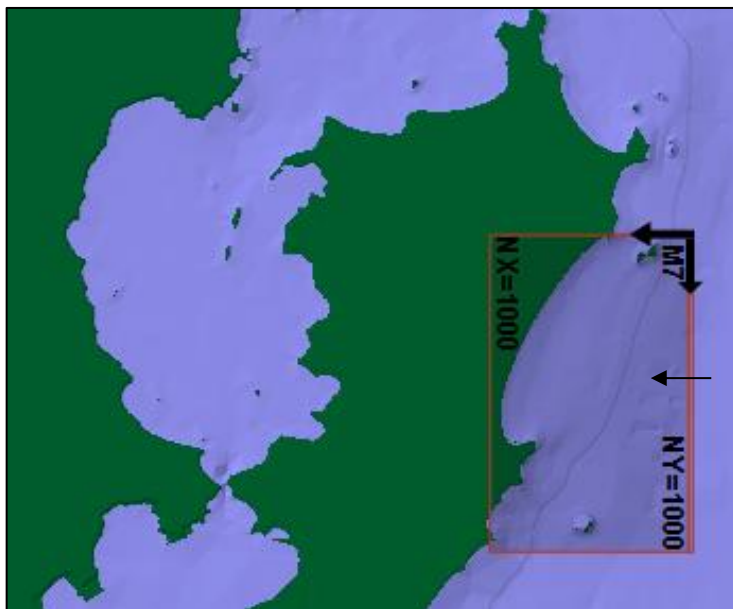


Figura 47: Malha 7 - Barra da Lagoa.

Tabela 9: Resolução e orientação das malhas de cálculo da praia de Ingleses.

Malha	Ingleses		
	Espaçamento (m)		Ângulo(°N)
	x	y	
M1	50	50	40
M2	25	25	40
M3	100	105	90
M4	20	20	90

Tabela 10: Resolução e orientação das malhas de cálculo das praias de Moçambique/Barra da Lagoa.

Moçambique/Barra da Lagoa			
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 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.

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

$$RBF(Z_i) = p(Z_i) + \sum_{j=1}^M a_j \phi(\|Z_i - Y_j\|) \quad (28)$$

Onde $RBF(Z_i)$ é a função de interpolação, Z_i é o caso de onda em águas profundas, $p(Z_i)$ é uma função de base monomial, a_j é o coeficiente da RBF, ϕ é a função de base radial para aquele parâmetro e $\|Z_i - Y_j\|$ é a distância euclidiana entre o parâmetro em águas profundas (Z_i) e o mesmo em águas rasas (Y_j). Detalhes sobre as metodologias MaxDiss e RBF podem ser encontrados em Camus *et al.* (2011).

Os diários de modelagem contendo detalhes da propagação de ondas até a costa estão apresentados no APÊNDICE D.

3.2.2.2. Setorização das praias

De forma a verificar a variação do *runup* ao longo da área de estudo, as praias foram divididas em 4 setores e o *runup* foi calculado para cada um deles.

A setorização se deu por meio da análise de agrupamento de valores de altura significativa e declividade da face (variáveis utilizadas no cálculo do *runup*) ao longo de toda a praia. Valores de altura significativa foram obtidos ao longo de toda a praia 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. Como o objetivo final deste estudo é a análise de regimes extremos, optou-se por utilizar casos extremos de onda ($> 3\text{m}$) em cada direção.

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 (H_{sN} , H_{sE} , H_{sS} e declividade da face) foram obtidas em pontos ao longo de toda a praia (Figura 48 e Figura 49).

Os valores de declividade foram obtidos via Projeto MMA-Riscos (desenvolvido no Laboratório de Oceanografia Costeira – UFSC) e disponibilizados para utilização neste trabalho. Os dados de declividade do Projeto MMA-Riscos 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 de Moçambique e Barra da Lagoa (Figura 49). Atribuiu-se a cada ponto o valor de declividade medido no perfil mais próximo.

Após a análise de agrupamento, cada um dos setores das praias analisadas foi classificado de acordo com a setorização de Bonetti *et al.* (2012) que leva em conta o grau de exposição às ondas.

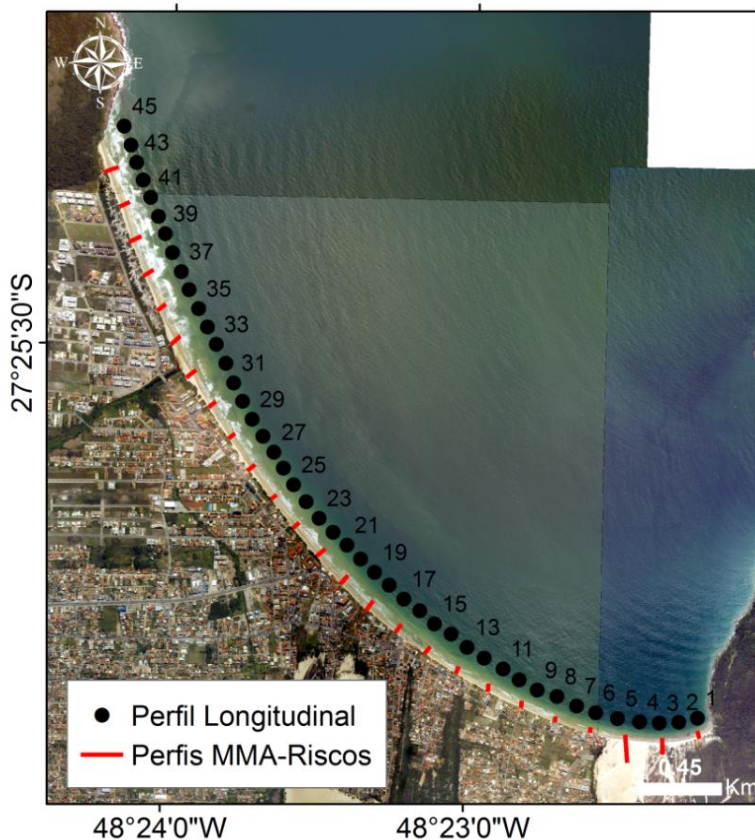


Figura 48: Perfil longitudinal de pontos utilizado na análise de agrupamento da praia de Ingleses. Em vermelho, os perfis praias do Projeto MMA-Riscos. Perfil 1 ao sul e Perfil 25 ao norte. (Fotografias: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável SC).

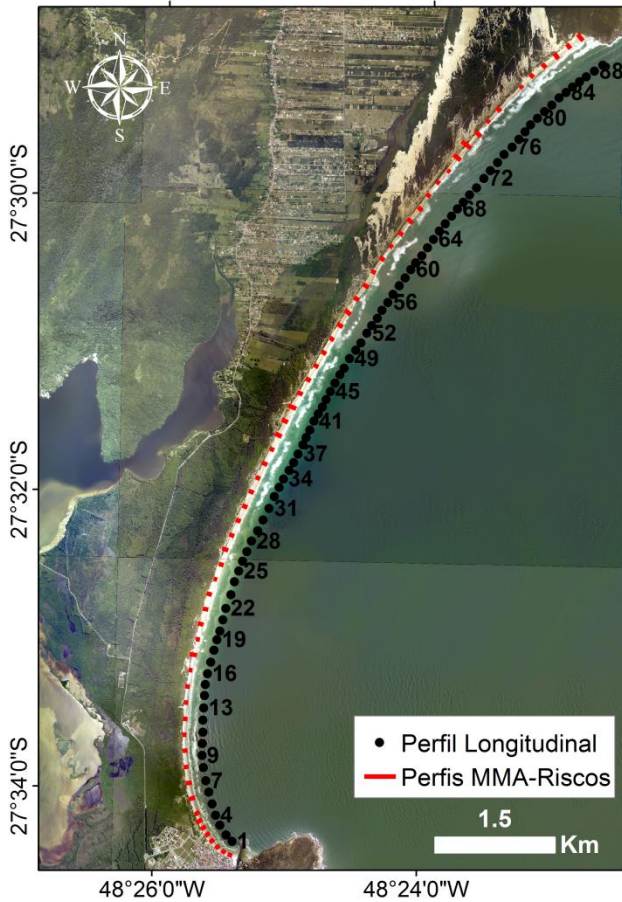


Figura 49: Perfil longitudinal de pontos utilizado na análise de agrupamento das praias de Moçambique e Barra da Lagoa. Em vermelho, os perfis praias do Projeto MMA-Riscos. Perfil 1 ao sul e Perfil 64 ao norte. (Fotografias: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável SC).

3.2.2.3. Cálculo do *runup*

Para o cálculo do *runup* foram necessários valores de Hs a 15m de profundidade, comprimento de onda (relacionado ao período de pico) em águas profundas e declividade da face da praia. Os valores de Hs foram obtidos a partir das propagações de ondas (explicadas no item 3.2.2.1) deste trabalho. Os valores de L_0 em águas profundas foram obtidos das séries do ponto 1 e 2 da base de dados DOW. Finalmente os dados de declividade utilizados foram aqueles medidos pelo Projeto MMA-Riscos (citado anteriormente). 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 obtida uma série de *runup* por setor da praia. Os valores de declividade utilizados estão apresentados no APÊNDICE C.

3.2.3. COTA DE INUNDAÇÃO INSTANTÂNEA

Valores de MA, MM e *Runup* foram somados, gerando a série de CI instantânea. Com valores de *runup* diferentes ao longo das praias foram também obtidos valores diferentes de cota de inundação para cada setor.

3.2.4. ANÁLISE DE REGIME EXTREMO

De forma a verificar os piores cenários de cota de inunda o, a análise de regime extremo se deu com base no método dos Máximos Anuais (ver item 1.4.5). Os valores cota para cada período de retorno (5, 25 e 50) foram obtidos com base na distribui o de Gumbel de Máximos (Eq. 24 e 25).

Sabe-se que as bases de dados de ondas (DOW) utilizadas nas propaga es até a costa apresentam valores subestimados de T_p (valor utilizado no cálculo do *runup*) (ver Capítulo 2). Ainda assim, optou-se por realizar a análise com base nos valores máximos de modo a verificar os piores cenários. Ademais, os valores de Hs da base de dados DOW mostraram bom ajuste com rela o aos dados medidos.

3.2.5. NÍVEL MÉDIO DO MAR

O valor de nível médio domar utilizado foi baseado nas previsões de pior caso do relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2013) (Figura 50). De acordo com este estudo a

elevação do nível médio do mar vem ocorrendo em uma taxa de 4mm/ano com uma aceleração anual de 0,019mm/ano².

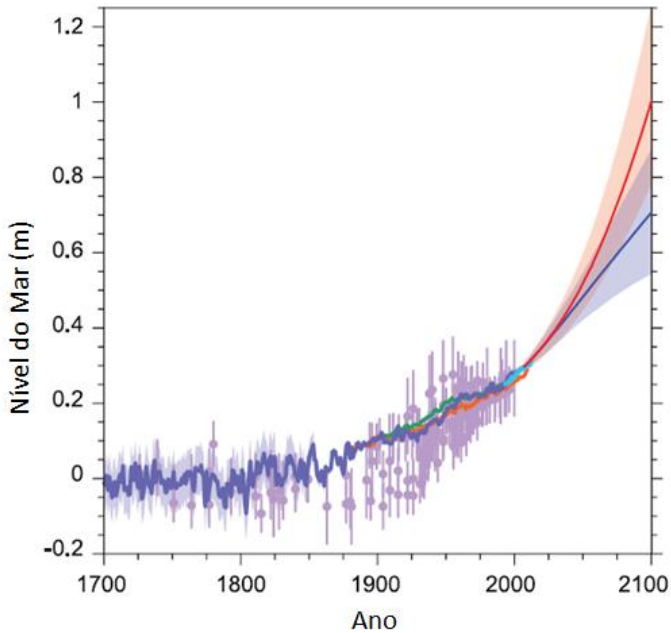


Figura 50: Compilação dos resultados de elevação do nível do mar global (IPCC, 2013).

Estas taxas foram utilizadas para estimar os valores de nível do mar em 5, 25 e 50 anos. Os valores previstos de elevação (com base no nível atual) (Tabela 11) foram então somados aos de CI instantânea obtidos para cada cenário:

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

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

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

Tabela 11: 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
25 anos	0,1
50 anos	0,2

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1. RUNUP

3.3.1.1. Propagação de Ondas

Os 100 casos selecionados nos pontos 1 e 2 foram propagados até as respectivas praias. Da Figura 51 a Figura 57 Figura 57 estão apresentados os resultados da propagação de alguns destes casos em cada malha.

É possível observar a influência dos promontórios e ilhas no grau de exposição às ondas ao longo das praias. Casos de norte e nordeste atingem maiores porções da praia de Ingleses, com diminuição dos valores de H_s em direção ao promontório sul, abrigado pelas ilhas Moleques do Norte e Mata Fome (Figura 51). Em casos de ondulação de leste e sudeste, a atenuação dos valores de H_s pela presença do promontório sul e das Ilhas é representativa em toda a extensão da praia (Figura 52).

Nas praias de Moçambique e Barra da Lagoa, em casos provenientes de norte de 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 53). Situações de ondulações de leste expõem maiores porções da praia, sendo observada atenuação das ondas por difração da Ilha das Aranhas na extremidade norte do arco praiar (Figura 54, Figura 56 e Figura 57). Por fim, com ondulações de sudeste e sul (Figura 55) observa-se atenuação dos valores de onda nas porções sul e central do arco praiar, com maior exposição na porção centro-norte.

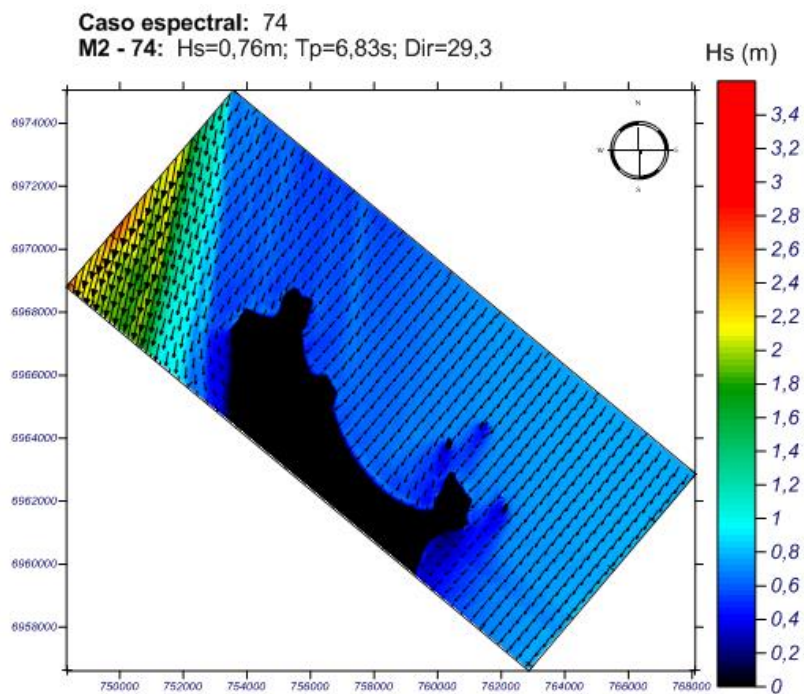


Figura 51: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de nordeste (malha de detalhe2) na praia de Ingleses.

Caso espectral: 04

M4 - 04: $H_s=1,93\text{m}$; $T_p=3,20\text{s}$; $\text{Dir}=128,87$

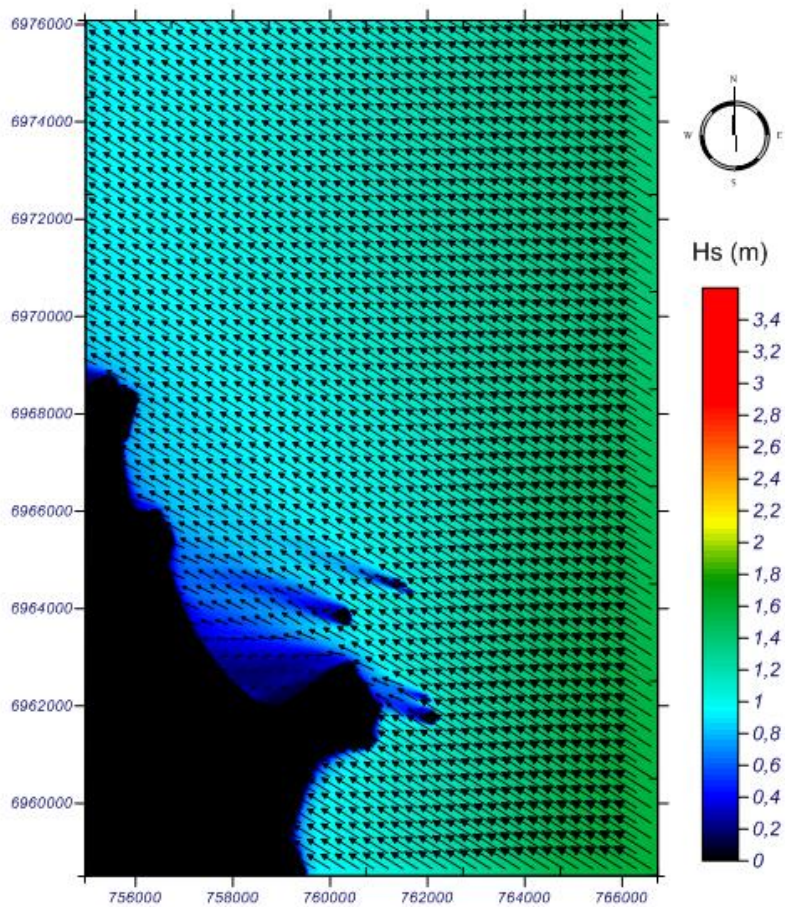


Figura 52: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de sudeste (malha de detalhe 4) na praia de Ingleses.

Caso espectral: 05

M1- 05: Hs=3,7834m; Tp=7,9939s; Dir=32,8

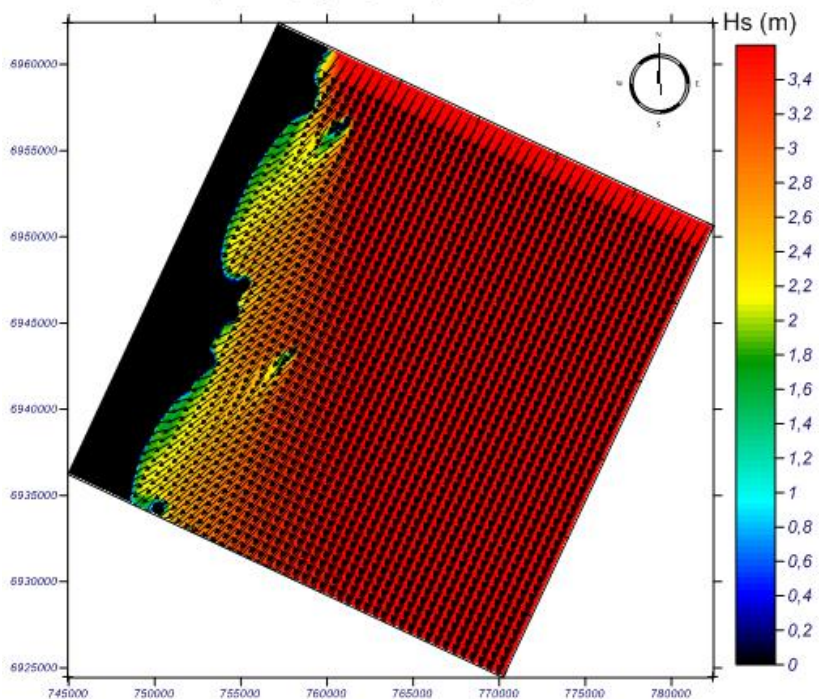


Figura 53: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de nordeste (malha 1) nas praias de Moçambique e Barra da Lagoa.

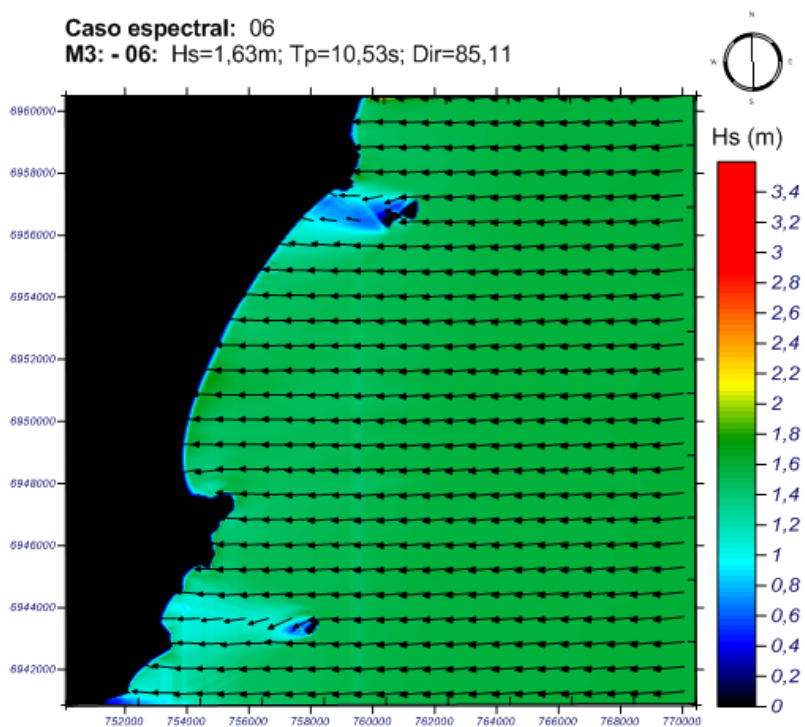


Figura 54: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de leste (malha de detalhe 2) nas praias de Moçambique e Barra da Lagoa.

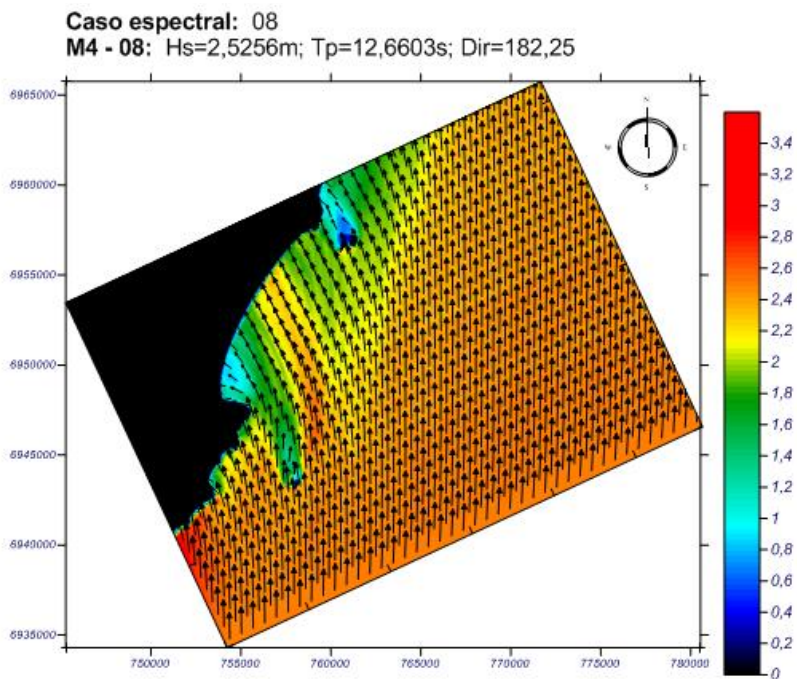


Figura 55: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de sul (Malha 4) na praia de Moçambique e Barra da Lagoa.

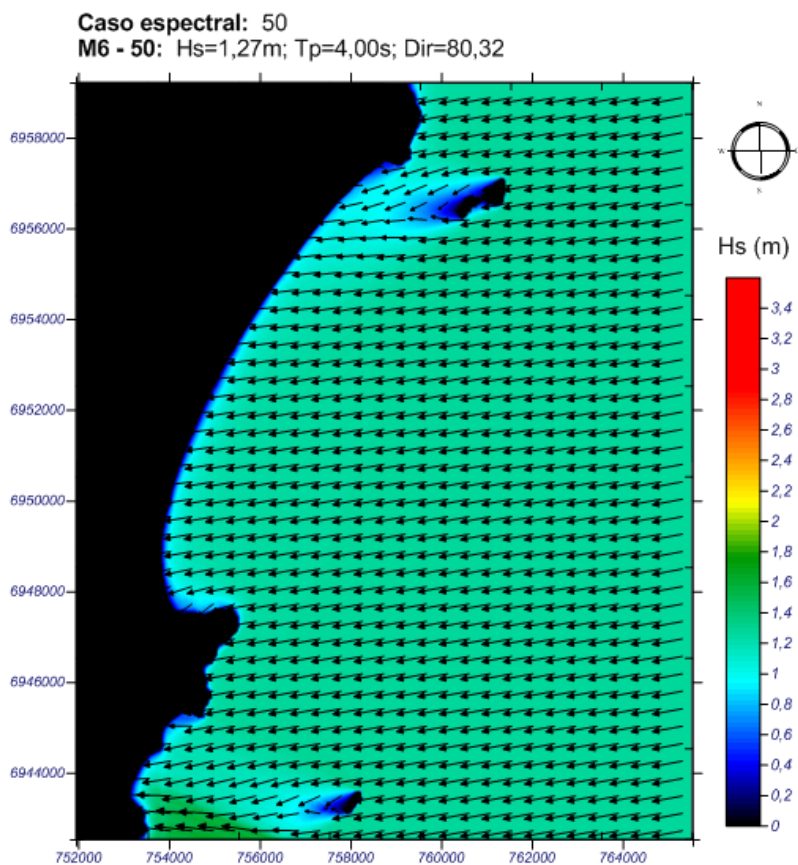


Figura 56: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de leste (Malha 6) nas praias de Moçambique e Barra da Lagoa.

Caso espectral: 09
M7 - 09: Hs=0,46m; Tp=2,97s; Dir=107,21

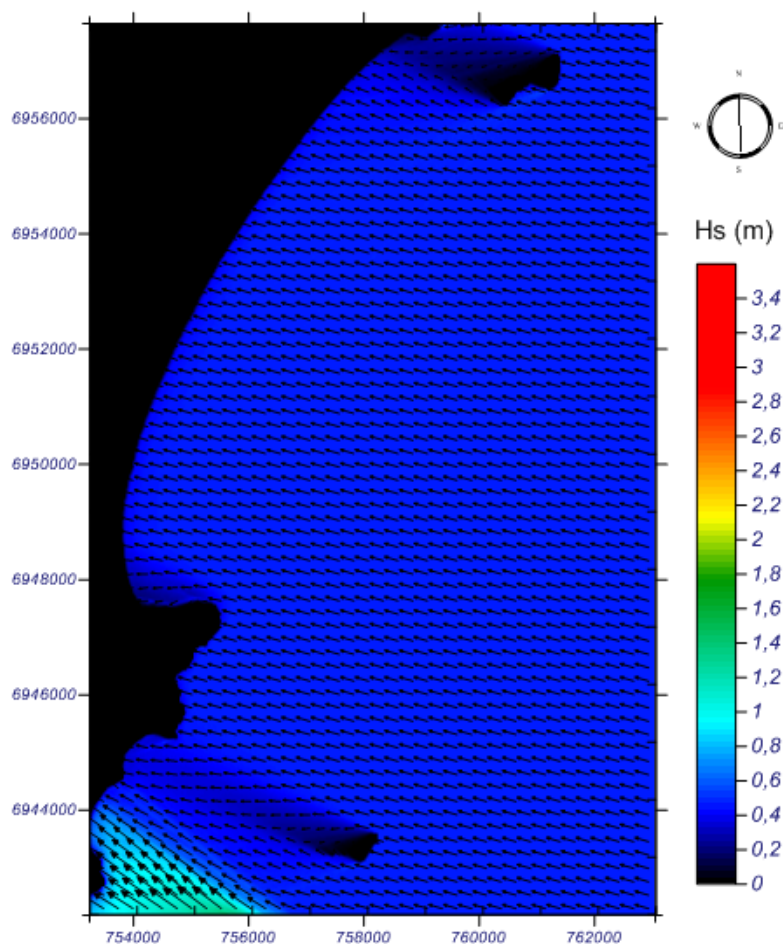


Figura 57: Resultado da propagação de um caso de ondas com direção de leste (Malha 7) nas praias de Moçambique e Barra da Lagoa.

3.3.1.2. Setorização das praias

A Figura 58 e Figura 59 mostram a análise de agrupamento realizada e o nível de corte escolhido para a formação dos diferentes grupos. Pontos reunidos em níveis mais baixos indicam maior semelhança com relação às variáveis utilizadas nas análises. Os pontos reunidos em cada grupo estão apresentados na Tabela 12 e Tabela 13.

Para a praia de 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 60). Como é possível observar, o agrupamento representou bem a distribuição dos valores de Hs e declividade ao longo da praia de Ingleses. Valores de Hs menores são observados nos Setores 1, 2 e 4, enquanto os valores mais altos de Hs 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 em Moçambique/Barra da Lagoa quatro grupos resultaram em quatro setores diferentes ao longo da praia (Figura 61). Novamente os resultados do agrupamento descreveram bem a variação das quatro componentes utilizadas na análise. No Setor 1 foram observados os menores valores de Hs 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 HsE e HsS. Por fim, baixos valores de declividade e de HsE resultaram no agrupamento do Setor 4.

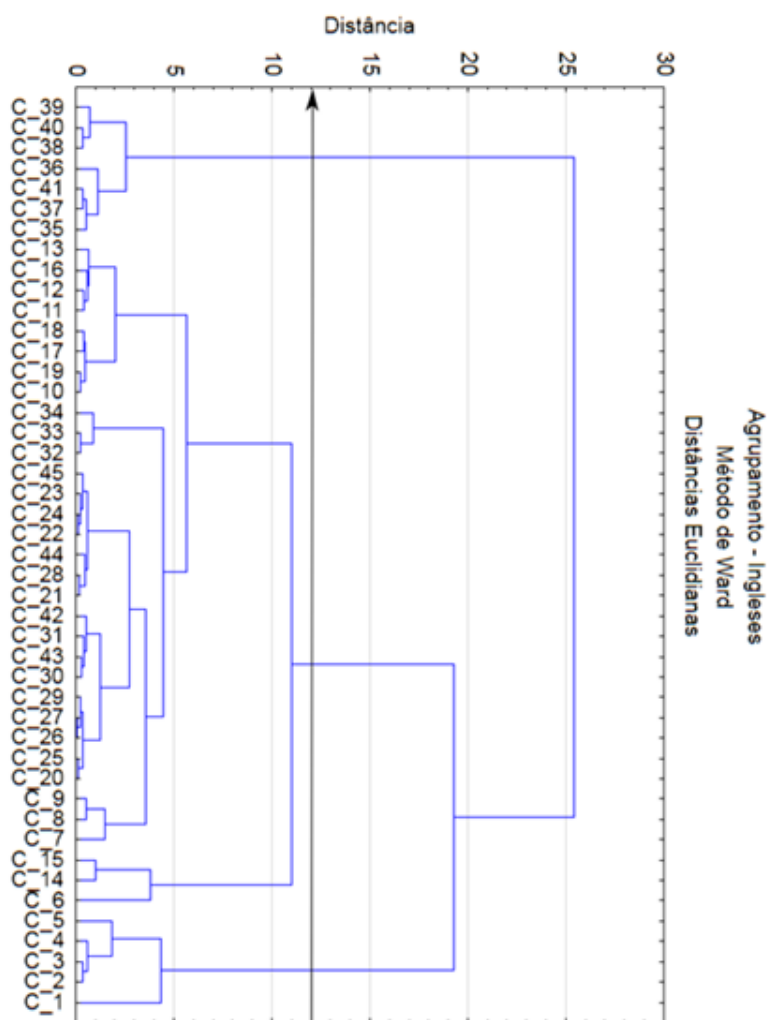


Figura 58: Nível de corte utilizado para o agrupamento na praia de Ingleses.

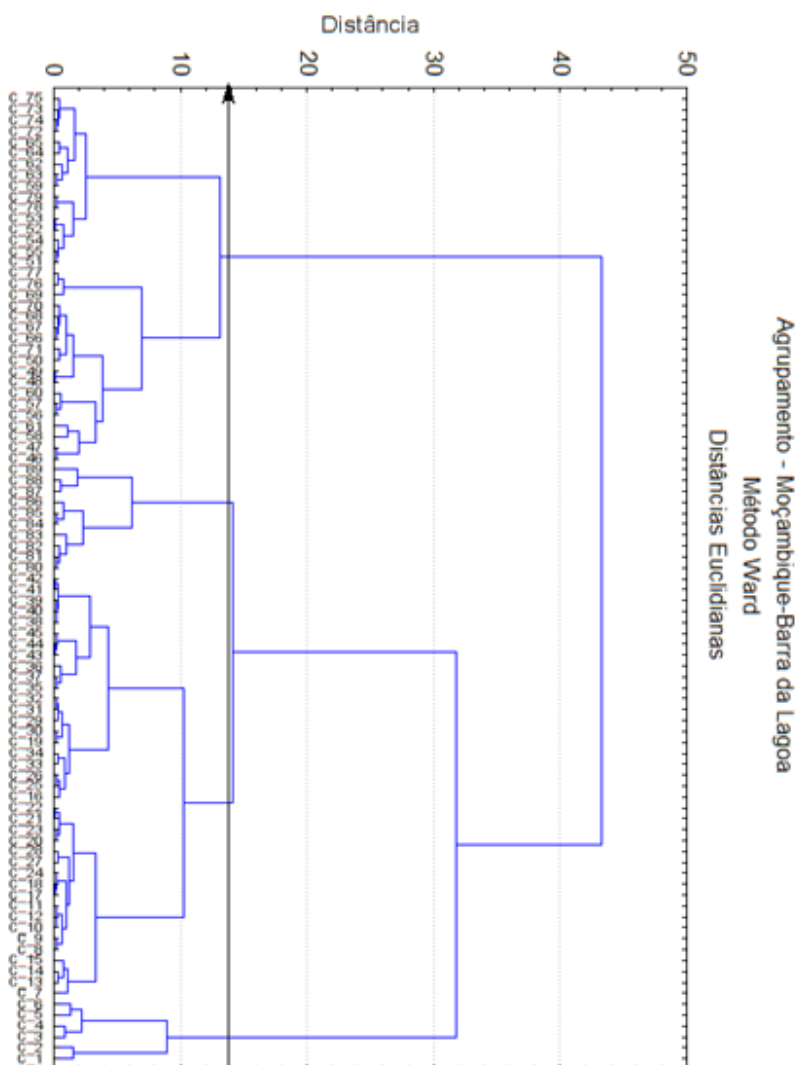


Figura 59: Nível de corte utilizado para o agrupamento em Moçambique/Barra da Lagoa.

Tabela 12: Resultado da análise de agrupamento para a praia de Ingleses.

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 13: Resultado da análise de agrupamento para a praia de Moçambique/Barra da Lagoa.

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		

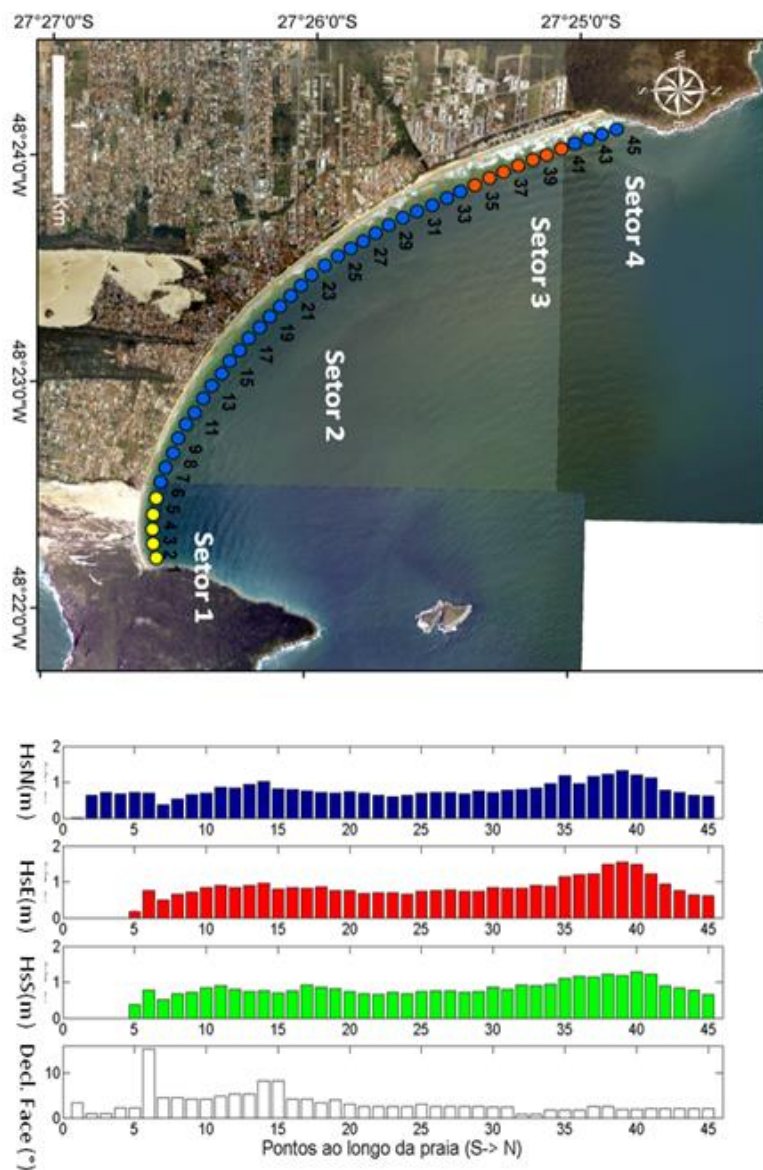


Figura 60: Setorização de Ingleses com base na análise de agrupamento de dados de HsN, HsE, HsS e declividade da face da praia. (Fotografias: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável SC).

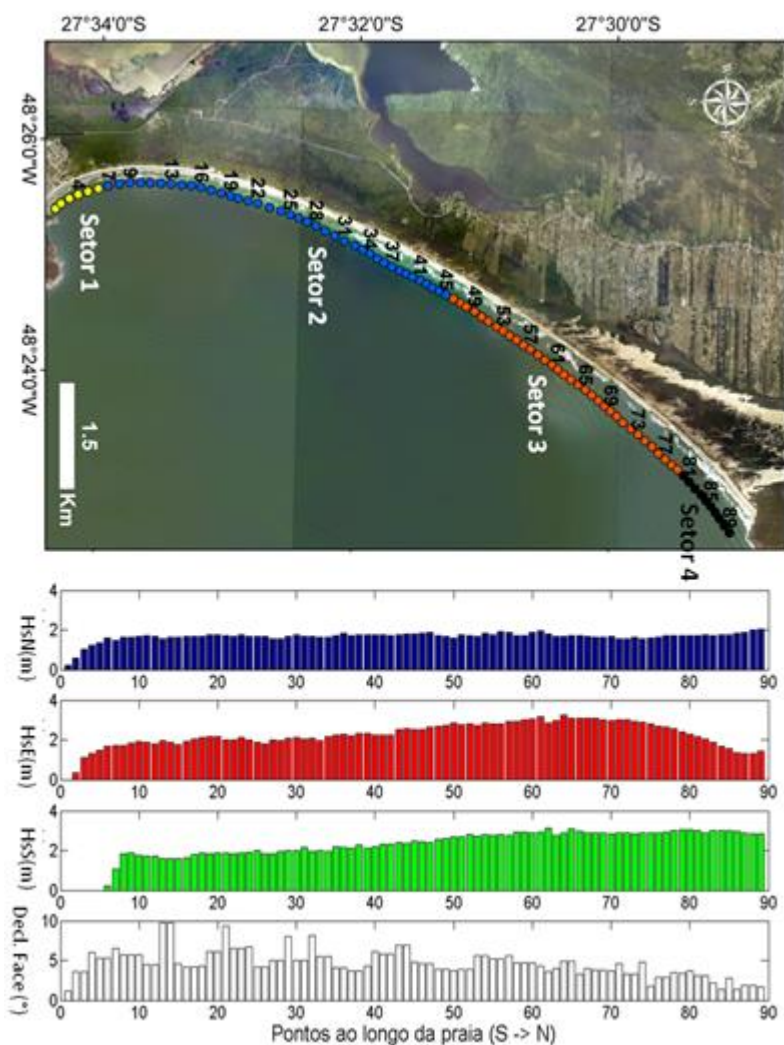


Figura 61: Setorização de Moçambique/Barra da Lagoa com base nos dados de HsN, HsS, HsE e declividade da face da praia. (Fotografias: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável SC).

A classificação de cada setor de acordo com o proposto por Silva (2012) e Bonetti *et al.* (2012) para o cálculo do *runup* está apresentada a seguir:

Ingleses:

Setor 1: Protegido

Setor 2: Semi-protegido

Setor 3: Semi-exposto

Setor 4: Semi-protegido

Moçambique/Barra da Lagoa:

Setor 1: Protegido

Setor 2: Semi-protegido

Setor 3: Semi-exposto

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 (semi-protegido). Já Moçambique/Barra da Lagoa apresentaram os quatro setores diferentes e neste caso foram utilizados todos os graus de exposição da classificação.

3.3.1.3. Reconstrução das séries de ondas a 15m.

As séries foram então reconstruídas na profundidade de 15m. Em Ingleses, um ponto fora da enseada, na direção da porção central da praia, foi escolhido para tal (Figura 62). No caso de Moçambique/Barra da Lagoa, a isóbata de 15m 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.

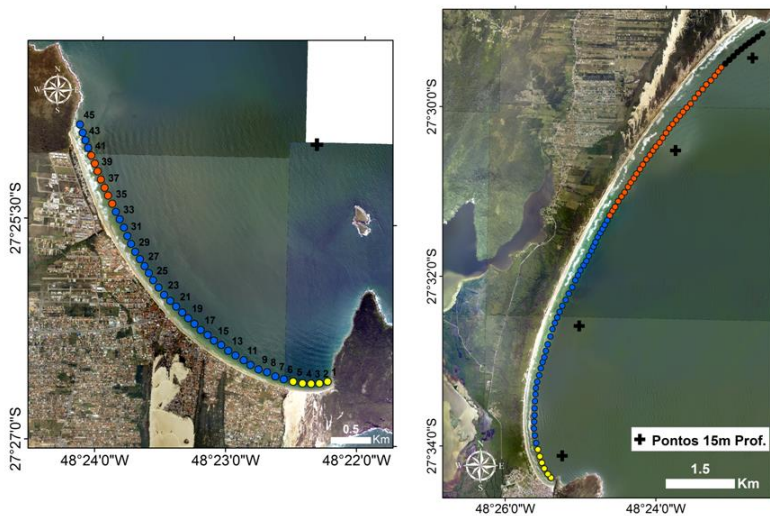


Figura 62: Pontos escolhidos de reconstrução da série de ondas em águas rasas. (Fotografias: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável SC).

A estatística da série de H_s em cada um dos pontos de águas rasas está apresentada na Tabela 14 (Ingleses) e Tabela 15 (Moçambique/Barra da Lagoa).

A moda dos valores de H_s na praia de Ingleses apresentou ondas ocorrendo em torno de 1,47m, com H_s variando de 0,37 a 3,33m.

Nas praias de Moçambique e Barra da Lagoa os valores médios de H_s em frente a cada setor apresentaram variação longitudinal, com menores valores ocorrendo na porção sul (0,4m menor que o setor norte), sofrendo acréscimo até o Setor 3 e redução no Setor 4. A redução nos valores médios do ultimo 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 a maior exposição do Setor 4 com relação a eventos extremos de H_s .

Tabela 14: Estatística de Hs no ponto de reconstrução da série de ondas em águas rasas (15m) da praia de Ingleses.

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

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

Setor	Moda	Média	Min	Máx
1	1,05	1,07	0,001	2,72
2	1,7	1,61	0,26	3,77
3	1,59	1,64	0,2	3,99
4	1,51	1,49	0,27	4,06

3.3.1.4. *Runup* Calculado

Com a série de ondas reconstruída na profundidade de 15m foi possível realizar o cálculo da série de *runup* para cada setor conforme sua classificação. Os valores estatísticos obtidos da série de *runup* (atingido por 2% das ondas) para cada setor das praias analisadas estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16: Estatística das séries de *runup* em cada setor das praias analisadas.

		RUNUP (2%)				
Praia	Setor	Moda	Média	Min	Máx	
Ingleses	1	0,65	0,68	0,45	1,18	
	2	0,8	0,86	0,67	1,29	
	3	1,03	1,05	0,6	2,03	
	4	0,77	0,82	0,65	1,18	
Moçambique Barra	1	0,74	0,64	0,46	0,98	
	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 na praia de Ingleses. Valores maiores foram observados em setores considerados mais expostos (0,38m a mais que o setor mais abrigado), por receberem maiores valores de altura significativa de onda (ver Figura 60). Com relação aos valores máximos obtidos nesta praia, apesar de receberem a mesma classificação (semi-protegido), os Setores 2 e 4 apresentaram diferenças. Isso pode ser atribuído aos valores de declividade apresentados no Setor 2 (ver Figura 60), muito maiores que aqueles apresentados no Setor 4, resultando em maiores valores de *runup*.

Com relação à Moçambique/Barra da Lagoa os valores médios de *runup* também se apresentaram de acordo com a classificação adotada. Novamente os valores aumentam na direção dos setores mais expostos.

De acordo com Roos e Batjes (1976) os valores de *runup* apresentam relação direta com os valores de H_s e declividade da face da praia. A Figura 63 mostra a distribuição das médias das três variáveis ao longo dos 4 setores. O comportamento do *runup* médio ao longo da praia, apresentou o mesmo padrão dos valores médios de H_s e declividade da face, com exceção do Setor 4. Neste setor, apesar da redução dos valores de altura significativa média e declividade média da face da praia, houve aumento nos valores de *runup*. Isso sugere que, em regime médio, a classificação mais adequada para este setor seria semi-exposto. Esta diferença pode ser atribuída ao fato de que ondas extremas ($> 3m$) foram utilizadas para setorização das praias e a classificação adotada se adequa apenas para análises de regime extremo. A Figura 64 apresenta a distribuição do *runup* e H_s máximos ao longo dos setores. Neste caso a distribuição dos valores de *runup* demonstrou padrão semelhante aos valores de H_s máximo, confirmando o fato de que a classificação é adequada nestes casos (casos extremos). Como a finalidade deste estudo é a análise de regime extremo, optou-se por manter a classificação adotada inicialmente e os valores calculados com base na mesma.

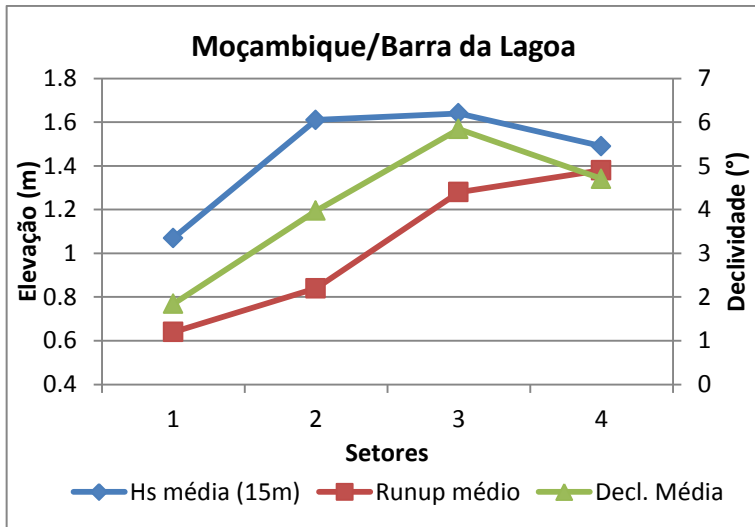


Figura 63: Distribuição das médias de Hs, declividade da face e *runup* ao longo de Moçambique/Barra da Lagoa.

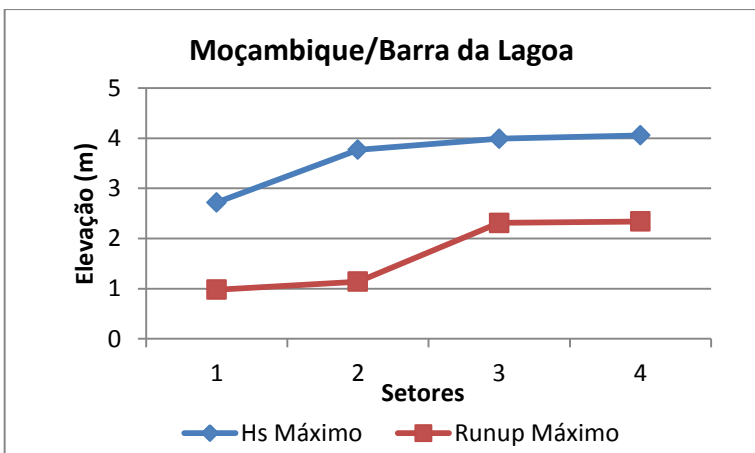


Figura 64: Distribuição dos valores máximos de Hs e *runup* ao longo de Moçambique/Barra da Lagoa.

3.3.2. COTA DE INUNDAÇÃO

Somando os valores de *runup*, maré astronômica e maré meteorológica, foram obtidas as séries de CI instantânea. A estatística destas séries está apresentada na Tabela 17.

Tabela 17: Estatística das séries de cota de inundação instantânea em cada setor das praias analisadas.

Cota de Inundação Instantânea					
Praia	Setor	Moda	Média	Min	Máx
Ingleses	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	-0,4	2,41
Moçambique Barra	1	0,5	0,65	-0,59	2,25
	2	0,77	0,85	-0,39	2,43
	3	1,19	1,29	-0,008	3,19
	4	1,14	1,43	0,14	3,31

Como esperado, os valores de CI instantânea apresentaram o mesmo comportamento demonstrado nas análises de *runup*. Nas duas praias, os menores valores foram obtidos nos setores protegidos com aumento em direção aos setores mais exposto. Os valores médios variaram de 0,69m a 1,06m em Ingleses e de 0,65 a 1,43 nas praias de Moçambique e Barra da Lagoa. Já os valores máximos variaram de 2,32m a 2,87m e 2,25m a 3,31m ao longo dos setores de Ingleses e Moçambique/Barra da Lagoa respectivamente.

Com base nestas séries foi realizada a análise de regime extremo (metodologia explicada no item 3.2.4. deste capítulo). A distribuição de probabilidade acumulada (Gumbel de Máximos) pra cada um dos setores e os respectivos valores de período de retorno (5, 25 e 50 anos) está apresentada da Figura 65 a Figura 72.

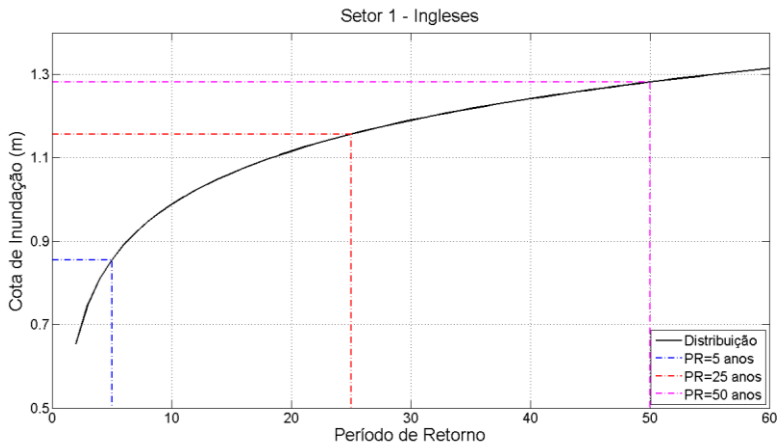


Figura 65: Distribuição de probabilidade acumulada (Gumbel de Máximos) do setor 1 - Ingleses. (Parâmetros da distribuição: $M = 0,588$ e $C = 0,1778$).

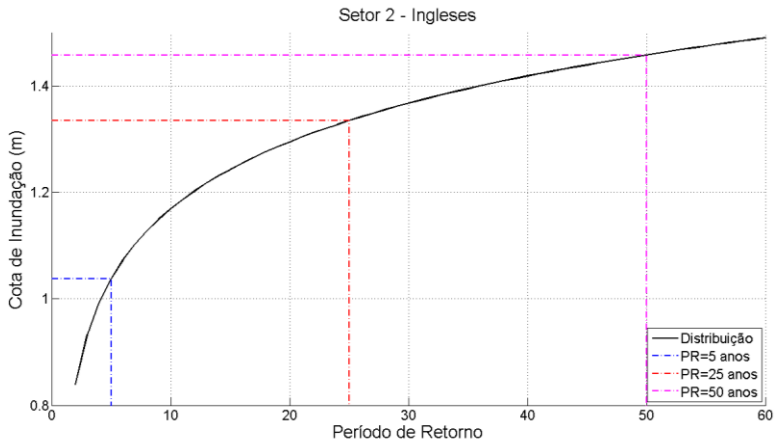


Figura 66: Distribuição de probabilidade acumulada (Gumbel de Máximos) do setor 2 - Ingleses. (Parâmetros da distribuição: $M = 0,7746$ e $C = 0,1751$).

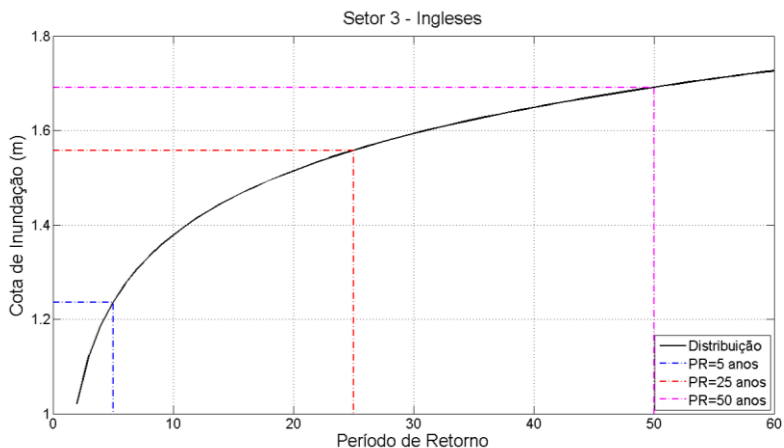


Figura 67: Distribuição de probabilidade acumulada (Gumbel de Máximos) do setor 3 - Ingleses. (Parâmetros da distribuição: $M = 0,9512$ e $C = 0,1897$).

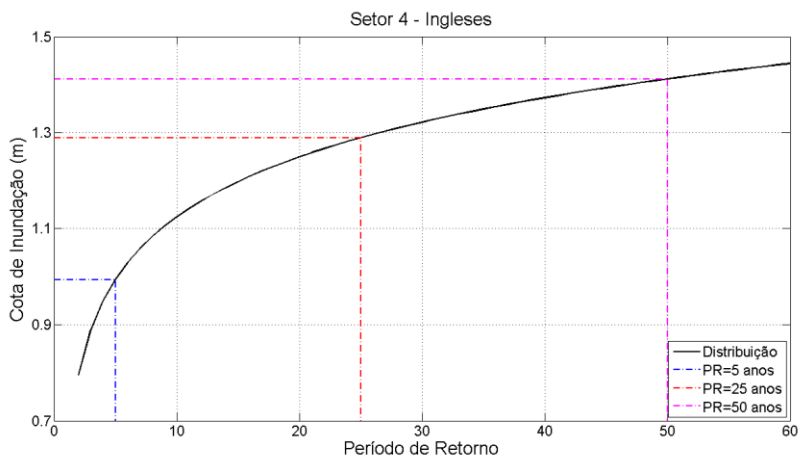


Figura 68: Distribuição de probabilidade acumulada (Gumbel de Máximos) do setor 4 - Ingleses. (Parâmetros da distribuição: $M = 0,7322$ e $C = 0,1742$).

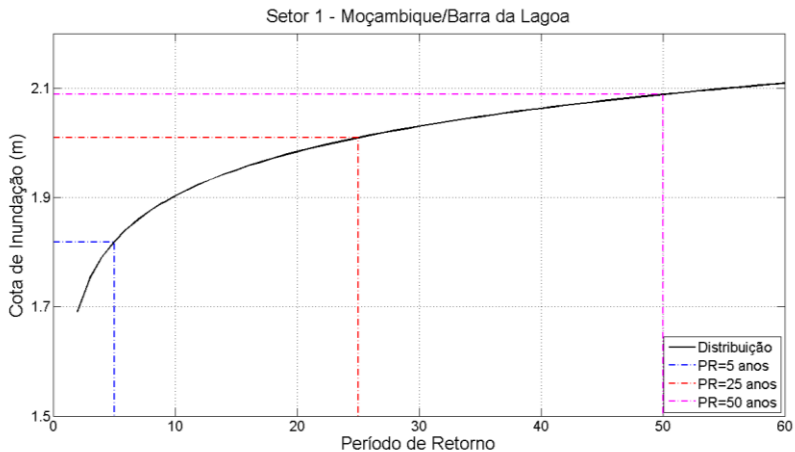


Figura 69: Distribuição de probabilidade acumulada (Gumbel de Máximos) do setor 1 - Moçambique/Barra da Lagoa. (Parâmetros da distribuição: $M = 1,65$ e $C = 0,1123$).

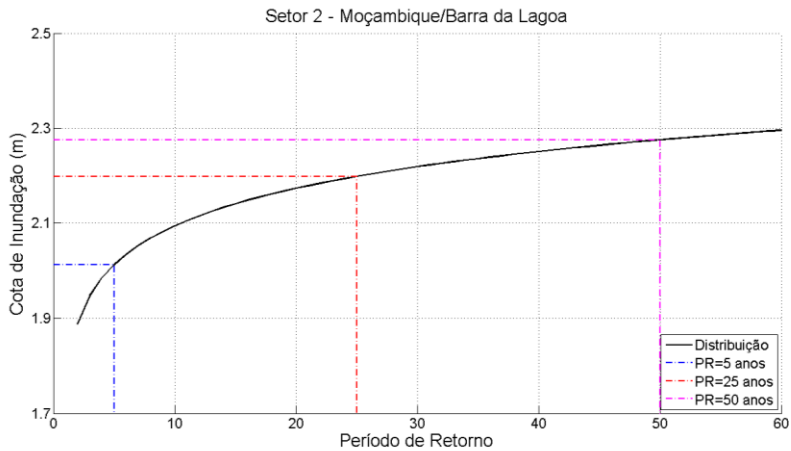


Figura 70: Distribuição de probabilidade acumulada (Gumbel de Máximos) do setor 2 - Moçambique/Barra da Lagoa. (Parâmetros da distribuição: $M = 1,848$ e $C = 0,1096$).

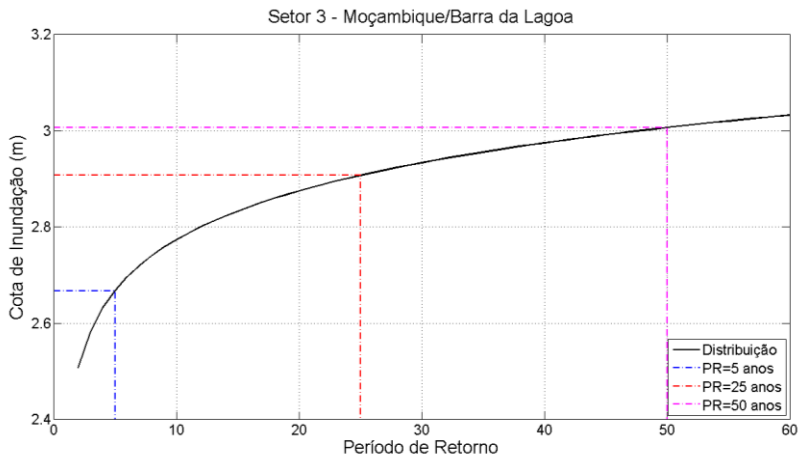


Figura 71: Distribuição de probabilidade acumulada (Gumbel de Máximos) do setor 3 - Moçambique/Barra da Lagoa. (Parâmetros da distribuição: $M = 2,456$ e $C = 0,1412$).

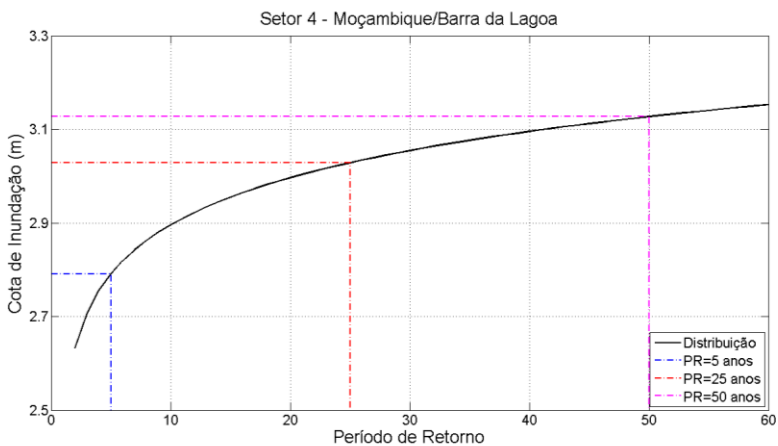


Figura 72: Distribuição de probabilidade acumulada (Gumbel de Máximos) do setor 4 - Moçambique/Barra da Lagoa. (Parâmetros da distribuição: $M = 2,581$ e $C = 0,1399$).

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. O resultado final obtido para 5, 25 e 50 anos estão apontados na Tabela 18 e Tabela 19.

Tabela 18: Valores de período de retorno de CI(m) obtidos para a praia de Ingleses.

Setores	Ingleses		
	PR (5)	PR (25)	PR (50)
1	1,84	2,05	2,14
2	2,01	2,22	2,30
3	2,32	2,57	2,67
4	1,96	2,16	2,25

Tabela 19: Valores de período de retorno de CI (m) obtidos para as praias de Moçambique e Barra da Lagoa.

Setores	Moçambique/Barra da Lagoa		
	PR (5)	PR (25)	PR (50)
1	1,8	2,1	2,2
2	2,0	2,3	2,4
3	2,6	3,0	3,2
4	2,8	3,1	3,3

Valores de cota de inundação em regime extremo foram calculados para toda a costa do Brasil em trabalho realizado pelo Projeto SMC Brasil (MMA, no prelo). Os resultados de MMA (no prelo) 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. Na Figura 73 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. Os valores de cota de inundação instantânea com período de retorno igual

a 5, 25 e 50 anos para o setor 1 de Moçambique-Barra da Lagoa obtidos no presente estudo e aqueles apresentados em MMA (no prelo) estão demonstrados na Tabela 20 para comparação.

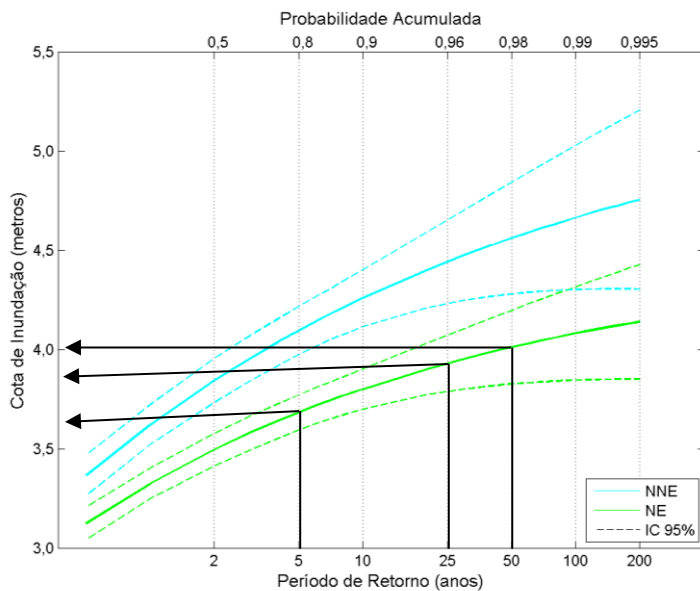


Figura 73: Resultados da análise de regime extremo para praias com orientação NE e NNE, apresentados em MMA (no prelo).

Tabela 20: Resultados de Ci instantânea obtidos no presente estudo e apresentados em MMA (no prelo) para o setor 1 de Moçambique/Barra da Lagoa. No caso do presente estudo: Ci instantânea do presente estudo = Ci (Tabela 19) - Elevação (Tabela 11).

Cenário	Ci Instantânea Setor 1 (Moçambique/Barra da Lagoa)	
	Presente estudo (m)	MMA (no prelo) (m)
PR(5)	1,8	3,6
PR(25)	2,0	3,9
PR(50)	2,0	4,0

Como é possível observar, 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:

- i) 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) 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;
- ii) Método de propagação de ondas utilizado: Os valores de cota de inundação apresentados pelo Projeto SMC-Brasil 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 Hs;
- iii) Método de cálculo de runup: O cálculo do *runup* em MMA (no prelo) é realizado com base na formulação proposta por Nielsen e Hanslow (1991) que também não é adequada para o cálculo em praias de enseada.

Cabe ressaltar que o objetivo do estudo do Projeto SMC 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.

3.4. CONSIDERAÇÕES GERAIS

As praias da área estudo do presente trabalho apresentam variação longitudinal de valores de altura de onda devido à difração nos promontórios e ilhas. Neste capítulo foi apresentada a aplicação de uma metodologia de cálculo de cota de inundação em praias de enseada levando em conta os diferentes graus de exposição às ondas.

O método de análise de agrupamento a partir da distribuição das variáveis ao longo da praia mostrou ser uma opção viável e eficiente ao setorizar praias com relação à exposição às ondas, representando de forma real as variações da altura de onda, *runup* e cota de inundação ao longo de praias de enseada.

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

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

- Os dados de *runup* utilizados para o cálculo da cota de inundação foram obtidos a partir de propagações de ondas. Para representar de forma real o comportamento das ondas até águas rasas considera-se ideal utilizar dados de batimetria de detalhe. No entanto, tais dados não estavam disponíveis para uso até o momento da realização deste trabalho.

- Não havia disponíveis dados de ondas medidos em águas rasas na área de estudo e por esse motivo, a validação do modelo não pôde ser realizada. Ainda assim, as validações apresentadas no capítulo 2 deste trabalho demonstraram o ajuste da base de dados utilizada e a calibração do modelo OLUCA em uma praia no norte do estado (OLIVEIRA, 2013), mostrou sua eficiência em simular as transformações de ondas na costa catarinense.

CAPÍTULO 4 – CÁLCULO DA EXPOSIÇÃO À INUNDAÇÃO COSTEIRA (ÁREA DE PERIGO)

4.1. INTRODUÇÃO

Com base nos valores de cota de inundação calculados no capítulo anterior, foram verificadas as áreas expostas à inundação para cada um dos cenários propostos. Neste capítulo está apresentada a metodologia adotada e os resultados obtidos neste processo.

4.2. METODOLOGIA

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 74), contando um cenário de inundação ocorrendo sobre o pior cenário de retração de linha de costa.

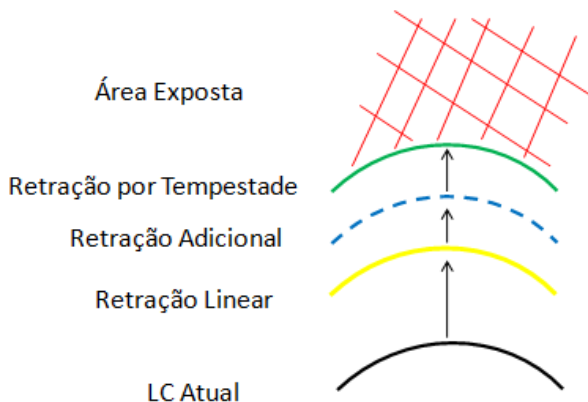


Figura 74: Esquemática da representação dos mapas de perigo gerados, considerando sempre o pior cenário, como proposto por Ferreira et al. (2006).

Neste trabalho, os mapas de perigo foram gerados baseados em dados topográficos (MDT – Modelo Digital de Terreno) da área adjacente às praias analisadas. Foram consideradas expostas ao perigo de inundação, as áreas com valores de cota topográfica menores que a

cota de inundação calculada. Com base nestes mapas verificou-se a área total exposta à inundação.

Três valores de retração foram utilizados:

- 1) Retração Linear: É a retração anual da linha de costa com base em dados pretéritos. Trata-se de uma taxa de retração linear;
- 2) Retração adicional (Bruun): É a retração anual adicional causada pela aceleração da elevação do nível do mar (não considerada na retração linear);
- 3) Retração por Tempestade: 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 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 3:

- 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.

4.2.2. RETRAÇÃO DA LINHA DE COSTA

A seguir serão explicados os métodos utilizados para obtenção dos diferentes valores de retração e cálculo da área exposta. As variáveis médias obtidas e parâmetros calculados para cada setor das praias analisadas estão resumidos na Tabela 21.

Tabela 21: Variáveis e parâmetros utilizados nos diferentes cálculos de retração. TEC é a taxa de evolução costeira (mm/ano), Ab é a altura da duna frontal (m), α é a declividade da face ($^{\circ}$), β é a declividade do perfil praial ($^{\circ}$), m é a média do tamanho de grão, H_{12} é a altura atigida 12 horas por ano (m), hf é a profundidade de fechamento.

Praia	Setor	TEC	Ab	α	β	m	H_{12}	hf
Ingleses	1	-0,83	6,42	2,14	3,56	0,13	1,07	2,24
	2	-0,63	1,94	4,24	2,71	0,13	1,73	3,61
	3	-0,43	2,50	2,00	1,97	0,13	1,94	3,93
	4	-0,44	4,16	2,07	2,06	0,13	1,82	3,79
Moçambique Barra	1	-0,53	2,30	1,89	1,84	0,15	1,50	3,29
	2	-0,23	6,03	3,98	3,29	0,17	2,71	5,56
	3	-0,47	11,05	5,84	4,00	0,17	2,87	6,21
	4	-0,11	13,81	4,71	2,97	0,11	2,33	4,75

2.2.1. Retração Linear

Os valores de retração anual da linha de costa foram calculados dentro do âmbito do Projeto MMA-Riscos e disponibilizados para utilização neste estudo. O cálculo foi realizado com base em fotografias aéreas e imagens de satélite que compreenderam o período de 1957 a 2012. As taxas de retração (TEC – taxa de evolução costeira) foram calculadas ao longo de toda a praia em transectos espaçados a cada 50m. Calculou-se então a média da retração dos transectos inseridos

em cada setor das praias analisadas. Com base nestes valores a posição das linhas de costas futuras foi obtida da seguinte forma:

$$LC_{futura} = LC_{atual} + TEC * t \quad (29)$$

onde t é o período (em anos) para o qual a previsão deve ser feita.

4.2.2.2. Retração Adicional (Bruun)

A retração gerada pela elevação adicional decorrente da aceleração do aumento do nível do mar foi calculada com base na Regra de Bruun (Bruun, 1962) (Eq.16). As variáveis necessárias para o cálculo da Retração de Bruun e as respectivas fontes de informação estão apresentadas na Tabela 22. A metodologia de obtenção das variáveis está apresentada a seguir.

Tabela 22: Dados necessários para o cálculo da retração pela elevação adicional do nível do mar e respectivas fontes de informação.

Variável	Fonte
Aceleração da taxa de elevação do nível do mar	IPCC (2013)
Altura da Duna Frontal (A_b)	Projeto MMA-Riscos
Profundidade de Fechamento (hf)	Calculada a partir das propagações
Distância até hf (L_{hf})	Medido em ambiente SIG

Elevação Adicional (E)

A elevação adicional decorrente da aceleração do nível do mar foi calculada com base nos dados apresentados em IPCC (2013) sendo igual a $0,000019\text{m/ano}^2$. Os valores previstos de elevação adicional para os três cenários propostos estão apresentados na Tabela 23:

Tabela 23: Elevação adicional e elevação total calculada para os três cenários propostos a partir do nível atual. (Ver Figura 50).

Cenários	Elevação Adicional (m)	Elevação Total (m)
5 anos	0,002	0,022
25 anos	0,006	0,016
50 anos	0,024	0,224

Altura da Berma (Ab)

A altura da berma foi obtida a partir das medições dos perfis praias do Projeto MMA-Riscos. Ao longo das medições observou-se a ausência de berma em grande parte da área de estudo. Desta forma, optou-se por utilizar os valores de altura da duna frontal.

Profundidade de Fechamento Interna (hf)

Os valores de profundidade de fechamento (hf) foram calculados tendo como base a fórmula proposta por Hallermeier (1981):

$$hf = 2,28H_{12} - 68,5 \left(\frac{H_{12}^2}{gT_{12}^2} \right) \quad (30)$$

onde H_{12} é a altura de onda atingida ou superada 12 horas por ano (0,14% do tempo analisado) em um ponto próximo à costa e T_{12} é o período associado a esta altura de onda.

Visando o cálculo de H_{12} , séries propagadas de altura significativa (ver Capítulo 3) foram obtidas para pontos localizados em frente a cada um dos setores das praias analisadas. Para Moçambique e Barra da Lagoa, foram utilizadas as mesmas séries obtidas para o cálculo do *runup* (ver Figura 62). Para a praia de Ingleses as séries foram obtidas nos pontos apresentados na Figura 75.

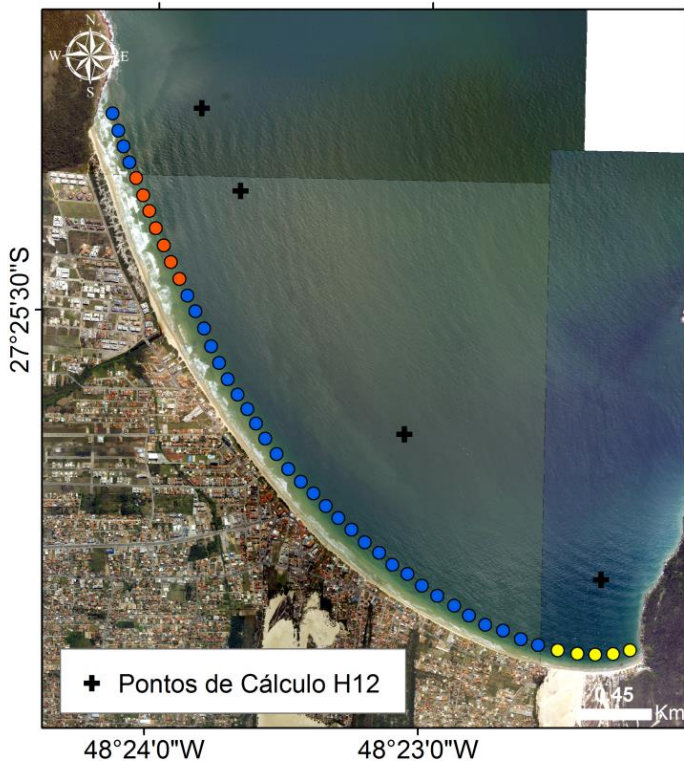


Figura 75: Pontos de cálculo de H12 em frente a cada setor na praia de Ingleses.(Fotografias: Secretaria de Desenvolvimento Sustentável SC).

Distância até a profundidade de Fechamento (L_{hf})

A distância entre a linha de costa e a profundidade de fechamento foi medida em ambiente SIG.

Com todas as variáveis obtidas, a retração foi então calculada para todos os perfis do projeto MMA-Riscos e a seguir foram obtidas as médias dos perfis inseridos em cada setor.

4.2.2.3. Retração por Tempestade

O cálculo da retração por tempestade foi realizado com base no Método da Convolução, proposto por Kriebel e Dean (1993) (Eq. 17 a 21). Na Tabela 24 estão listadas as variáveis necessárias para o cálculo e as respectivas fontes de informação. A descrição de cada uma destas variáveis é apresentada a seguir.

Tabela 24: Dados necessários para o cálculo da retração por tempestade e respectivas fontes de informação.

Variável	Fonte
Declividade do perfil praial (α)	Projeto MMA-Riscos
Altura da Duna Frontal (Ab)	Projeto MMA-Riscos
Tamanho do grão (m)	REMLAC
Altura e profundidade de quebra (Hb e hb)	Calculado a partir das propagações
Elevação da superfície livre da tempestade (Es)	CI calculada para cada cenário
Tempo de duração da tempestade (TD)	Projeto Piçarras
Tempo de resposta do perfil (Ts)	Calculado(Eq.20)

Declividade do Perfil Praial e Altura da Duna Frontal (α e Ab)

Novamente os valores obtidos pelo Projeto MMA-Riscos foram utilizados. As médias de declividade de perfil e altura da duna foram calculadas para cada setor e utilizadas no cálculo da retração.

Tamanho do Grão (m)

Os valores de tamanho de grão são resultados de amostragens realizadas no Projeto REMLAC¹, realizado em convênio entre a Universidade Federal de Santa Catarina e a Universidade do Vale do Itajaí dentro do âmbito do Programa de Geologia e Geofísica Marinha do Brasil (PGGM). A Figura 76 mostra a distribuição espacial dos pontos amostrais do projeto ressaltando os pontos utilizados no presente estudo.

¹Dados cedidos pelo Prof. Norberto Horn Filho (UFSC).

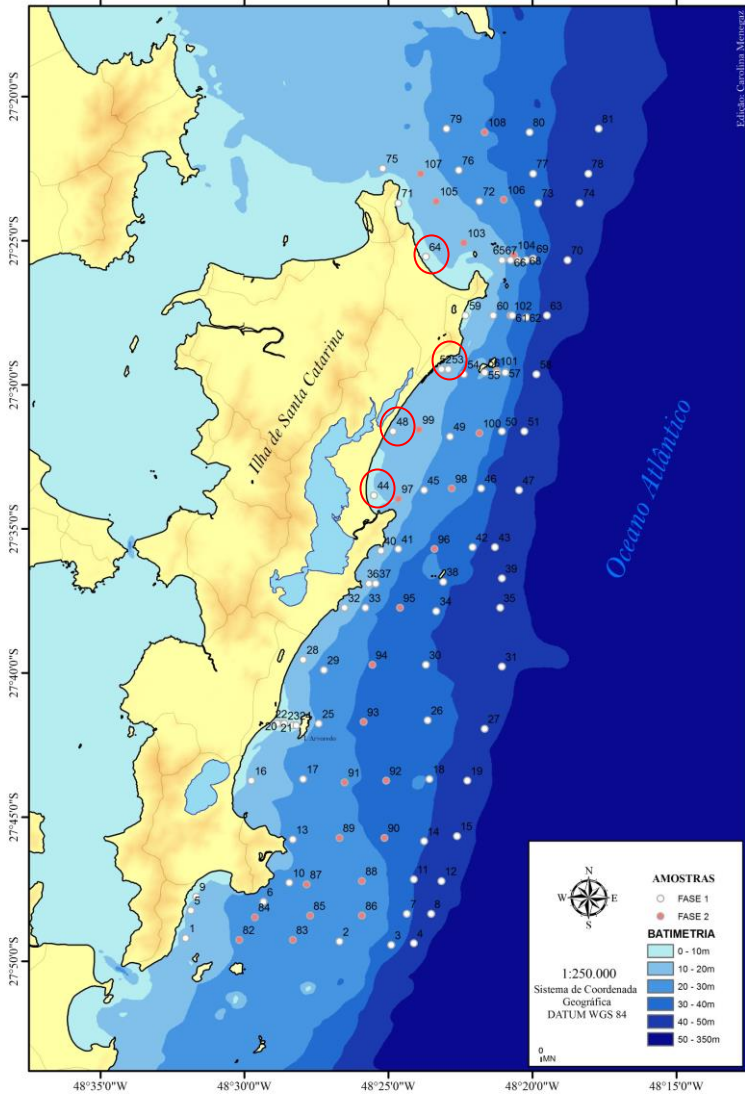


Figura 76: Pontos amostrais do Projeto REMLAC. Os círculos vermelhos indicam as amostras utilizadas. Fonte: Projeto REMLAC.

A fórmula proposta por Kriebel e Dean (1993) é calculada com base na mediana do tamanho de grão da zona de espriamento. No entanto, até o momento da finalização deste trabalho apenas os valores de tamanho médio de grão foram disponibilizados. E por esse motivo, foram estes os valores utilizados.

Três valores foram utilizados em Moçambique/Barra da Lagoa. A amostra 44 (mais ao sul) foi utilizada no cálculo da retração do Setor 1, a amostra 48 (porção central) foi utilizadas no cálculo dos Setores 2 e 3 e a amostra 53 (norte) foi utilizada no cálculo do Setor 4. Uma única amostra foi utilizada para a praia de Ingleses (amostra 64), sendo esta aplicada no cálculo de todos os setores.

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 (Capítulo 3). 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 (8m) ao longo dos perfis;
- iii) Em cada ponto do perfil foi calculada a relação H_s/h_b ;
- iv) Assumiu-se a relação $h_b=0,5H_s$ (BERTIN, 2008; HARLEY, 2011) 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, 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 na Tabela 25.

Tabela 25: Valores de H_b (m) obtidos para os diferentes cenários propostos.

Setor	Ingleses			Moçambique/Barra		
	PR (5)	PR (25)	PR (50)	PR (5)	PR (25)	PR (50)
1	0,90	1,05	1,11	1,82	2,01	2,09
2	1,78	1,83	1,85	2,01	2,20	2,28
3	2,51	2,82	2,95	2,67	2,91	3,01
4	1,68	1,69	1,69	2,79	3,03	3,13

Elevação da Superfície Livre (E_s)

Os valores de cota de inundação calculados para cada cenário proposto (Tabela 19 e Tabela 20) foram utilizados como elevação da superfície livre 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 (realizados pela Universidade Federal de Santa Catarina) (SILVA, 2012; OLIVEIRA, 2013; RIBEIRO, 2014) 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 77).

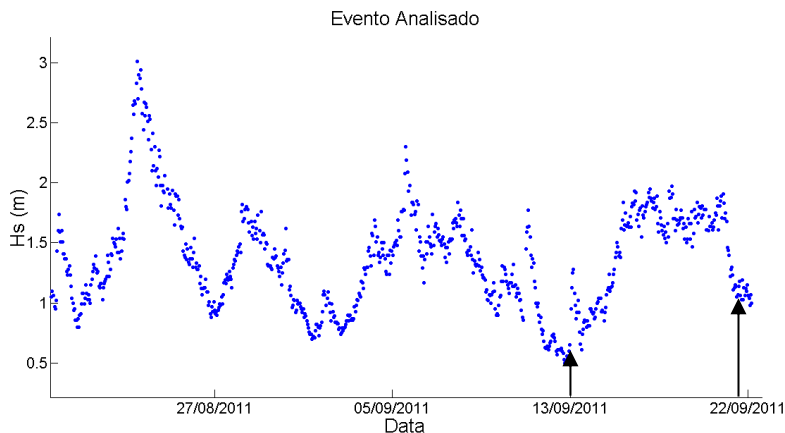


Figura 77: Evento de tempestade de longa duração medido na praia de Piçarras.

Tempo de Resposta do Perfil (T_s)

O tempo de resposta do perfil à tempestade foi calculado com base nas características da tempestade e do perfil praiial (Eq. 20). Os valores de T_s para cada setor das praias analisadas estão apresentados na Tabela 26

Tabela 26: Tempo de resposta do perfil (Ts) em horas calculado para cada setor das praias analisada.

Praia	Setor	Ts (5 anos)	Ts (25 anos)	Ts (50 anos)
Ingleses	1	12,2	14,4	15,3
	2	11,4	11,6	11,8
	3	25,7	28,6	29,7
	4	36,0	36,2	36,3
Moçambique Barra da Lagoa	1	18,83	23,43	25,38
	2	21,17	23,25	24,13
	3	18,73	21,80	23,05
	4	23,50	28,24	28,05

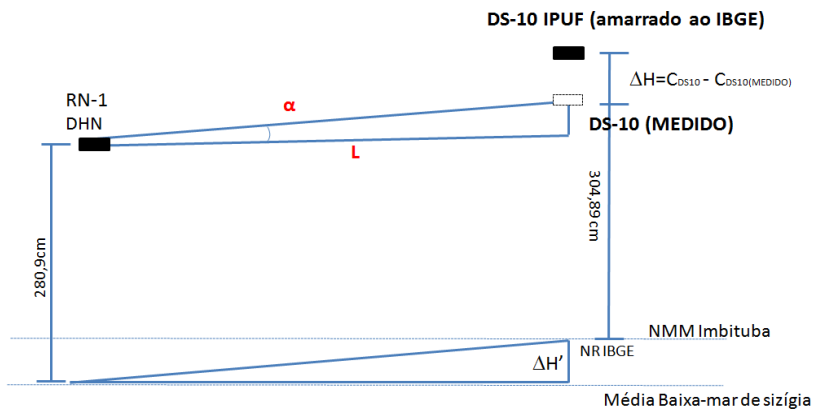
4.2.3. LIMITAÇÕES DA METODOLOGIA

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 topografia da SDS – Secretaria de Desenvolvimento Sustentável) a serem utilizadas neste trabalho estão baseadas em 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 da SDS são de responsabilidade do IBGE e tem como referência o nível médio do mar, medido em Imbituba. Isto implica em uma diferença entre os “zeros” das duas bases (Figura 79).

O valor a diferença entre os datums (ΔH) para a região de Florianópolis (SC), foi calculado no decorrer do Projeto MMA-Riscos 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.

A metodologia aplicada consistiu na comparação de dois NRs (Nível de Referência) próximos: um NR com base no datum da DHN e um NR do IPUF (Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis) que tem como base o datum do IBGE (Figura 78). Com um equipamento de nível baseado no NR da DHN foi verificada a elevação do NR do IPUF. Esse valor foi então comparado ao valor informado na

ficha de descrição do segundo NR. O ΔH foi então obtido a partir da diferença entre o valor medido e o valor informado na ficha descritiva.



$$\Delta H = \Delta H'$$

Figura 78: Metodologia de verificação da diferença vertical entre os datums da DHN e IBGE.

O valor de ΔH obtido foi de 0,62m. Isto significa que o datum do IBGE está 0,62m acima do datum da DHN. De forma a aproximar os valores de elevação de terreno utilizados neste trabalho, o valor de ΔH foi subtraído dos valores do Modelo Digital de Terreno utilizado (Figura 79) antes da etapa descrita no próximo item.

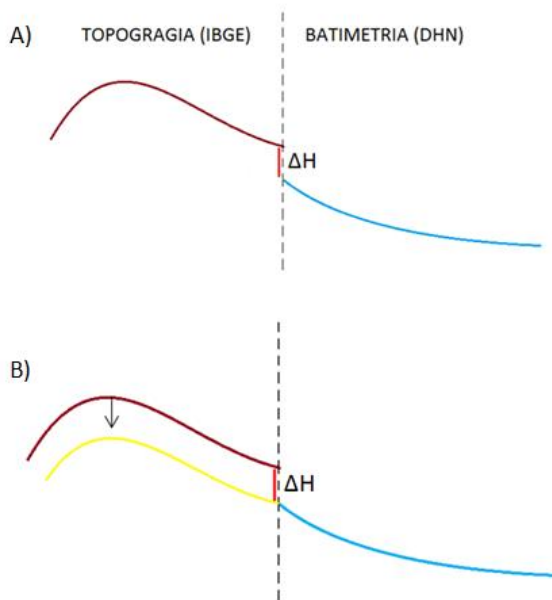


Figura 79: Representação da correção realizada nos dados de topografia utilizados no trabalho.

4.2.4. ÁREA EXPOSTA

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

O Modelo Digital de Terreno (MDT) (Figura 80) disponibilizado pela Secretaria de Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS) de Santa Catarina foi utilizado para obtenção dos valores de topografia. Trata-se de produtos cartográficos em conformidade com as Normas Técnicas da Cartografia Nacional. A acurácia posicional plani-altimétrica é melhor que 1m (SDS, 2013).

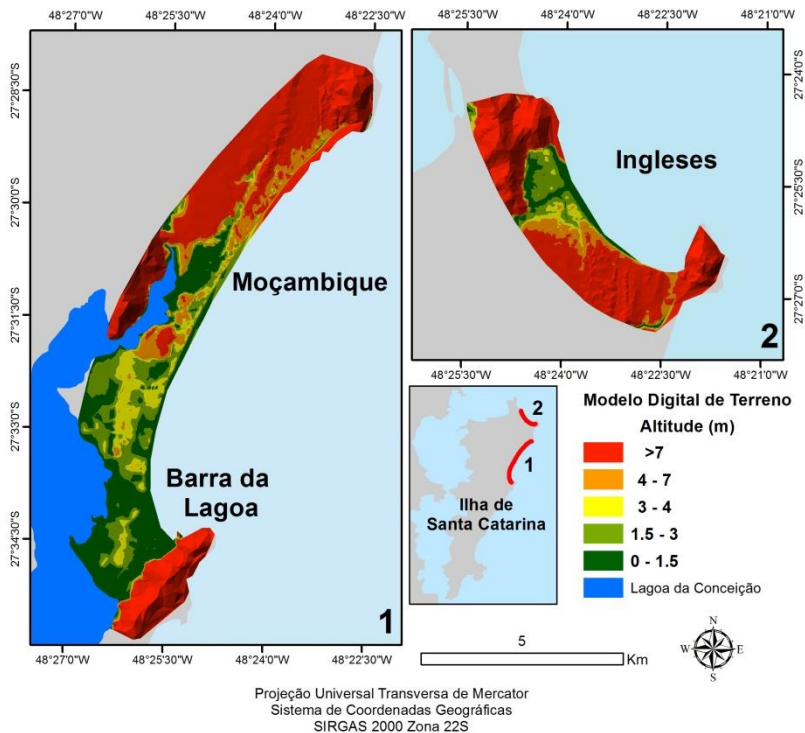


Figura 80: Modelo digital de terreno da área de estudo (Dados cedidos pela Secretaria de Desenvolvimento Sustentável SC).

Tendo como base o MDT, a verificação das áreas expostas foi realizada por meio das seguintes etapas:

- Os valores do MDT foram extraídos para as áreas de estudo deste trabalho;
- O valor da diferença entre os datums (DHN x IBGE) foi subtraído dos valores obtidos;
- As áreas com cota topográfica menor que os valores de cota de inundação foram traçadas.

Após o cálculo de todos os cenários, a representação no mapa de exposição se deu conforme apresentado na Figura 74.

4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1. RETRAÇÃO DA LINHA DE COSTA

Os resultados obtidos através do cálculo da retração estão apresentados da Tabela 27 a Tabela 34. As linhas de costa obtidas para cada setor estão apresentadas nos mapas de exposição inseridos no APÊNDICE E.

Ingleses

Tabela 27: Resultados de retração da linha de costa obtidos para a praia de Ingleses - Setor 1.

Setor 1	5anos	25 anos	50 anos
Retr. Linear	-4,17	-20,83	-41,65
Ret. Adicional	-0,02	-0,35	-1,37
R. Tempestade	-0,02	-2,18	-12,42
TOTAL	-4,20	-23,36	-55,45

Tabela 28: Resultados de retração da linha de costa obtidos para a praia de Ingleses - Setor 2.

Setor 2	5anos	25 anos	50 anos
Retr. Linear	-3,13	-15,63	-31,25
Ret. Adicional	-0,01	-0,30	-1,16
R. Tempestade	-0,10	-9,26	-48,45
TOTAL	-3,24	-25,18	-80,87

Tabela 29: Resultados de retração da linha de costa obtidos para a praia de Ingleses - Setor 3.

Setor 3	5anos	25 anos	50 anos
Retr. Linear	-2,15	-10,75	-21,5
Ret. Adicional	-0,01	-0,28	-1,11
R. Tempestade	-0,06	-7,08	-44,29
TOTAL	-2,23	-18,12	-66,90

Tabela 30: Resultados de retração da linha de costa obtidos para a praia de Ingleses - Setor 4.

Setor 4	5anos	25 anos	50 anos
Retr. Linear	-0,57	-10,92	-21,83
Ret. Adicional	-0,01	-0,24	-0,93
R. Tempestade	-0,03	-3,77	-24,31
TOTAL	-0,61	-14,93	-47,07

Moçambique/Marra da Lagoa

Tabela 31: Resultados de retração da linha de costa obtidos para Moçambique/Barra da Lagoa - Setor 1.

Setor 1	5anos	25 anos	50 anos
Retr. Linear	-2,65	-13,24	-26,47
Ret. Adicional	0,02	0,40	1,56
R. Tempestade	-0,05	-5,35	-32,93
TOTAL	-2,68	-18,19	-57,84

Tabela 32: Resultados de retração da linha de costa obtidos para Moçambique/Barra da Lagoa - Setor 2.

Setor 2	5anos	25 anos	50 anos
Retr. Linear	-1,13	-5,63	-11,26
Ret. Adicional	0,01	0,21	0,81
R. Tempestade	-0,04	-4,77	-28,71
TOTAL	-1,16	-10,19	-39,16

Tabela 33: Resultados de retração da linha de costa obtidos para Moçambique/Barra da Lagoa - Setor 3.

Setor 3	5anos	25 anos	50 anos
Retr. Linear	-2,34	-11,70	-23,41
Ret. Adicional	0,00	0,10	0,39
R. Tempestade	-0,05	-5,73	-34,63
TOTAL	-2,39	-17,33	-57,64

Tabela 34: Resultados de retração da linha de costa obtidos para Moçambique/Barra da Lagoa - Setor 4.

Setor 4	5anos	25 anos	50 anos
Retr. Linear	-0,57	-2,83	-5,65
Ret. Adicional	0,00	0,05	0,18
R. Tempestade	-0,04	-4,43	-28,06
TOTAL	-0,61	-7,31	-33,89

Na praia de Ingleses a retração linear apresentou maiores valores ao sul em detrimento dos setores ao norte (Figura 81). Este fato vai de encontro ao que foi observado 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.

A variação da retração por tempestade ao longo da praia, no entanto apresentou comportamento diferente, com maiores valores nos setores 2 e 3 (Figura 82). Este padrão é o mesmo observado para eventos extremos de altura de quebra (Tabela 25), o que justifica maiores valores de retração por tempestade.

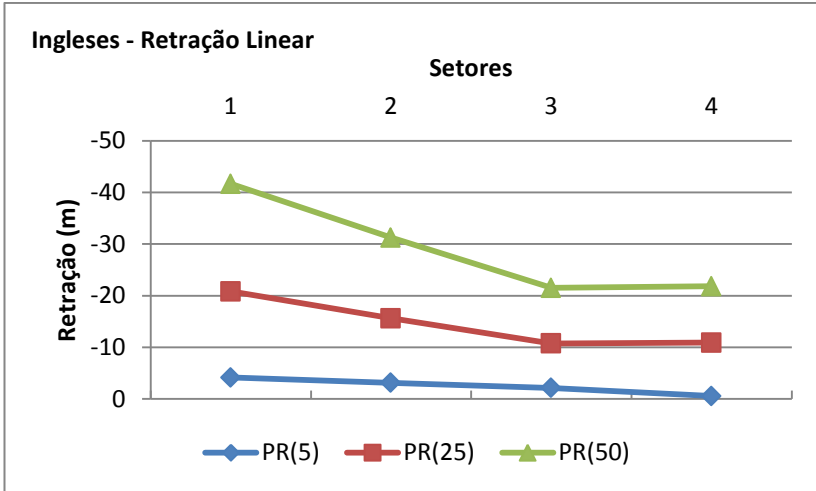


Figura 81: Retração linear calculada ao longo da praia de Ingleses.

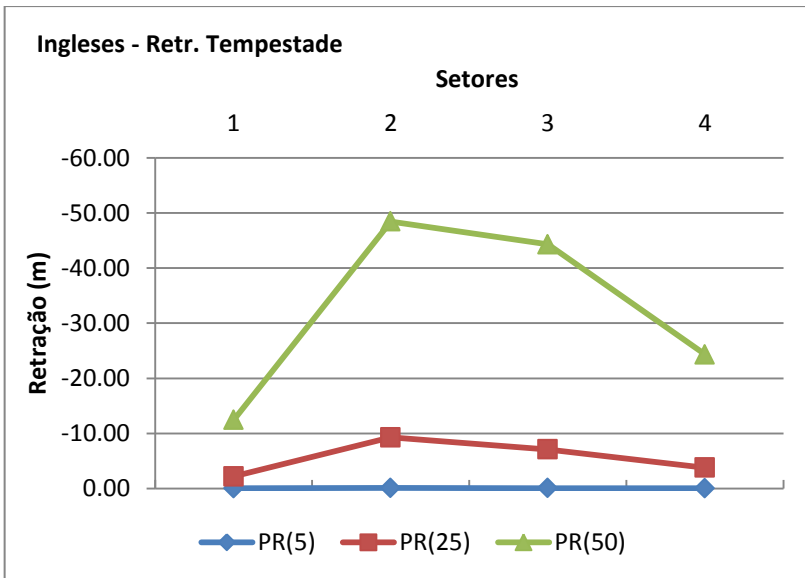


Figura 82: Retração por tempestade calculada ao longo da praia de Ingleses

Nas praias de Moçambique e Barra da Lagoa, comportamento semelhante foi observado. Os maiores valores de retração linear foram obtidos para o setor 1 (sul) e os menores para o setor 4 (norte). No entanto a variação dos valores de retração não se mostrou constante ao longo dos setores. Leal e Horn Filho (2004) apontam que a causa da erosão na praia da Barra da Lagoa (porção sul do arco praial) é decorrente da ocupação urbana 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.

Os valores de retração por tempestade apresentaram comportamento semelhante ao comportamento da retração linear ao longo da praia. Schweitzer (2013) analisou o comportamento da linha de costa em eventos de tempestade na transição dos setores 1 e 2 de Moçambique/Barra da Lagoa. A partir de medições pré e pós evento de tempestade o autor verificou valores de retração da linha de costa de até 4m, valor semelhante ao encontrado no presente estudo para o cenário de 25 anos (Figura 84).

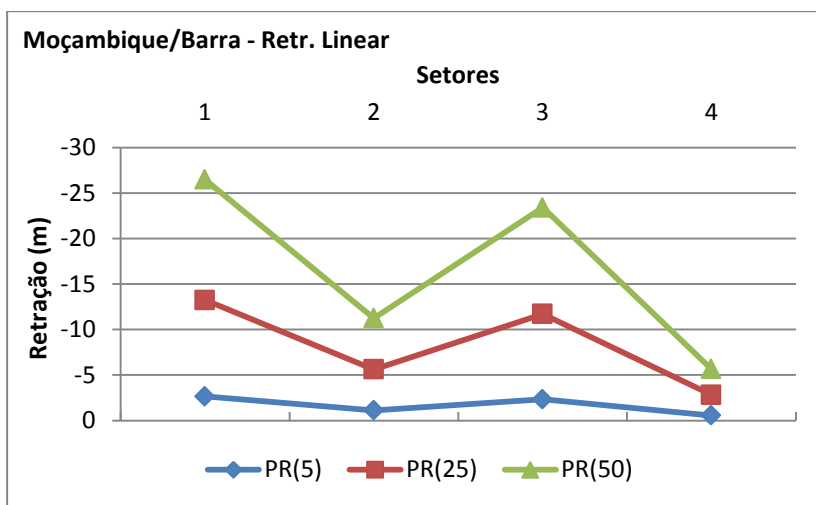


Figura 83: Valores de retração linear obtidos nos diferentes setores de Moçambique/Barra da Lagoa.

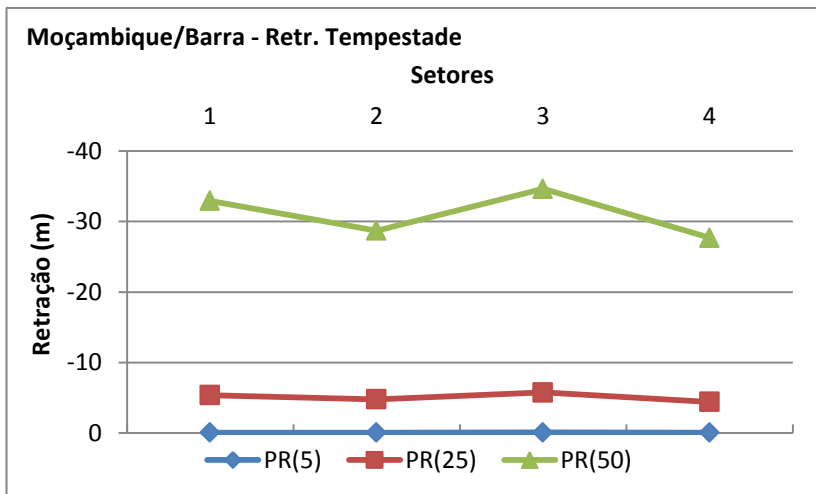


Figura 84: Valores de retração linear obtidos nos diferentes setores de Moçambique/Barra da Lagoa.

4.3.2. ÁREA EXPOSTA

Os mapas de exposição à inundação, gerados para cada cenário proposto, estão apresentados no APÊNDICE E. O Setor 1 da praia dos Ingleses foi o único que apresentou cenário em que se observa apenas retração (sem inundação) (Figura 85).

Devido aos altos valores de retração da linha de costa neste setor, a área inundada foi reduzida a zero no terceiro cenário. Este fato está relacionado com os altos valores de cota topográfica do local devido a chegada do campo de dunas do Santinho que impede a inundação da área (ver MDT na Figura 80).

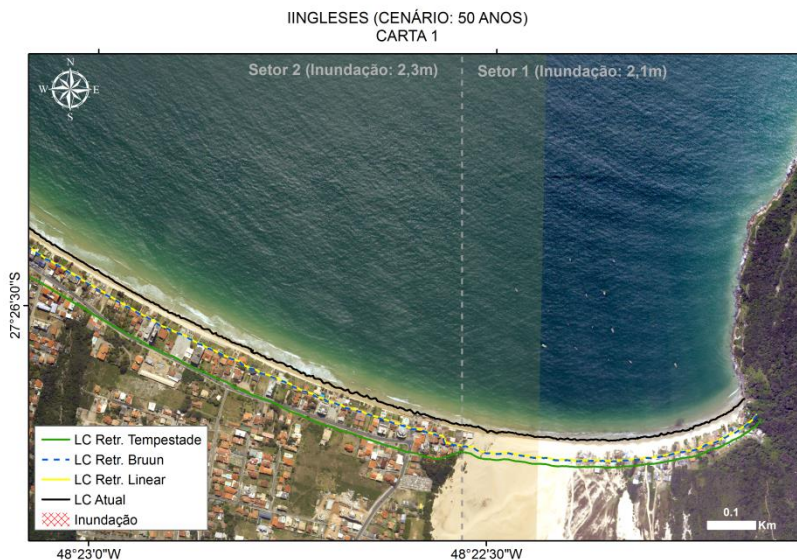


Figura 85: Resultados de exposição à inundação e retração da linha de costa no Setor 1 da praia de Ingleses (cenário: 50 anos).

Nos setores 1 e 2 de Moçambique/Barra da Lagoa, foram apontados valores de área exposta expressivamente maiores que os demais, resultando em cenários nunca registrados (Figura 86 e Figura 87). No entanto, quando se analisa os valores apresentados pelo modelo digital de elevação utilizado (ver Figura 80) e a cota de inundação obtida para os cenários propostos, as áreas expostas podem ser consideradas coerentes. Neste setor o MDT aponta valores de cota topográfica abaixo de 1,5m em grande parte do terreno. Já o menor valor de cota de inundação verificado para este setor (PR=5 anos) é de 1,8m, o que justifica o tamanho da área exposta apresentada.

MOÇAMBIQUE - BARRA DA LAGOA (CENÁRIO : 50 ANOS)
CARTA 1

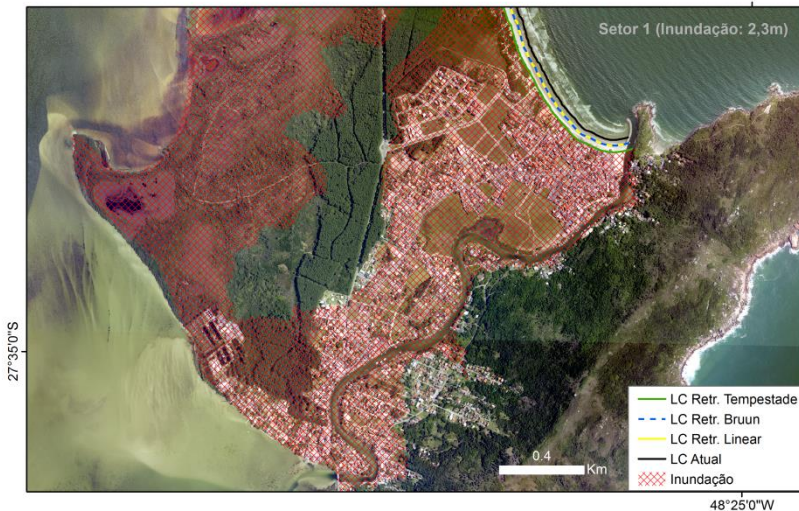


Figura 86: Resultados de exposição à inundação e retração da linha de costa no Setor 1 da praia de Moçambique-Barra da Lagoa (cenário: 50 anos).

MOÇAMBIQUE - BARRA DA LAGOA (CENÁRIO: 50 ANOS)
CARTA 2

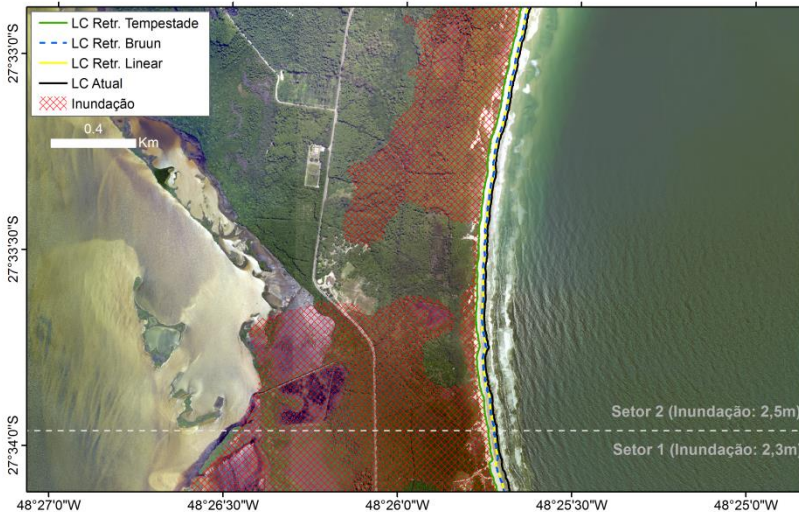


Figura 87: Resultados de exposição   inundação e retração da linha de costa no Setor 2 da praia de Moçambique-Barra da Lagoa (cenário: 50 anos).

Utilizando uma metodologia semelhante à aplicada neste estudo, Dalinghaus *et al.* (2013) (a partir dos dados de MMA (no prelo)) chegaram a cenários semelhantes para o mesmo setor (Figura 88). As maiores diferenças observadas entre os resultados de Dalinghaus *et al.* (2013) e estes obtidos no presente estudo estão relacionadas à superestimação dos valores de MMA (no prelo) citada no Capítulo 3 deste trabalho.

A principal razão para os cenários apresentados para estes setores não serem observados em campo pode estar relacionada ao fato de que a verificação da área exposta levou em conta apenas o valor de elevação do terreno, sem contar fatores como obstáculos antrópicos, rugosidade e infiltração da água no solo, que podem apresentar influência no processo analisado (MMA, no prelo).

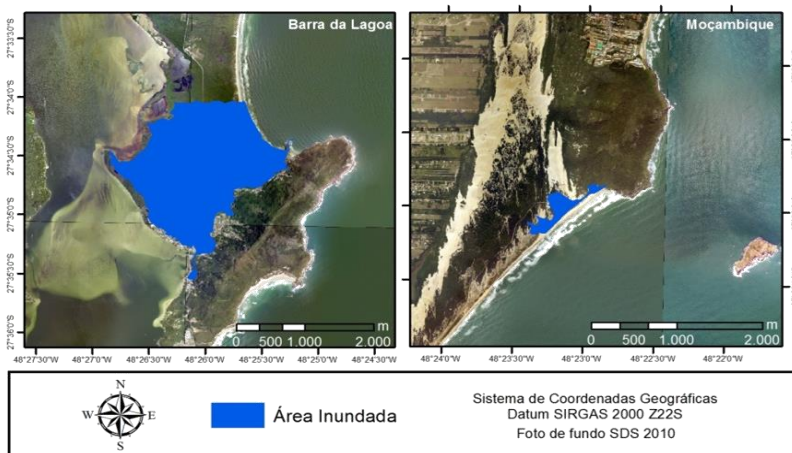


Figura 88: Área exposta verificada por Dalinghaus *et al.* (2013) para os setores 1 e 4 de Moçambique/Barra da Lagoa.

4.4. CONSIDERAÇÕES GERAIS

A verificação da área exposta a eventos extremos de inundação foi apresentada neste capítulo. Para tanto, levou-se em consideração a variação da linha de costa em diferentes cenários. Comportamentos distintos de retração da linha de costa e inundação foram observados de acordo com o grau de exposição à ação das ondas e características morfológicas de cada setor analisado:

- A retração linear apresentou maiores valores nos setores sul das duas praias analisadas. Comportamento diferente foi observado com relação à retração por tempestade em que os setores com maiores valores de altura de quebra das ondas apresentaram maiores valores de retração.

- Os valores de retração adicional (Bruun) por aceleração de 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 duas praias analisadas.

A metodologia utilizada se mostrou de aplicação viável para análises de inundação costeira, podendo ainda ser aprimorada com a inclusão fatores como obstáculos antrópicos, rugosidade e infiltração da água no solo no processo de verificação da área exposta.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentada a aplicação de uma metodologia para verificação de áreas expostas a eventos extremos de inundação costeira em praias de enseada. A metodologia foi considerada eficiente gerando valores coerentes de cota inundação e área de exposição ao longo de toda a praia.

Em um primeiro momento foi realizada a validação da base de dados de reanálise de onda a ser utilizada. Considerou-se a base de dados ajustada aos valores medidos, muito embora séries temporais mais amplas pudessem permitir maiores conclusões com relação aos demais períodos da reanálise. No entanto, verificada a indisponibilidade de séries temporais com duração maior, os testes realizados serviram como análise inicial de modo a identificar os pontos fortes e fracos da série de dados utilizada.

Com relação à metodologia aplicada para o cálculo do *runup*, a aproximação apresentada por Silva (2012) e Bonetti *et al.* (2012) foi considerada a mais adequada para o cálculo em praias de enseada. Com base na setorização apresentada pelos autores um método de classificação dos diferentes setores da praia com relação à exposição de onda foi proposto. Através da análise de agrupamento de variáveis de interesse ao longo da praia, verificou-se que alguns setores podem apresentar comportamento diferente em situações de regime médio e extremo. No caso do presente estudo, optou-se pela análise com base no regime extremo.

Em uma situação ideal, os dados de *runup* seriam obtidos a partir de um modelo validado e batimetria de detalhe. No entanto, dados de onda e dados batimétricos não estava disponíveis para utilização neste trabalho. Ainda assim, a validação da base de dados e a verificação do bom desempenho do modelo de ondas do SMC Brasil para uma praia no norte do Estado (Piçarras) ampliam a confiabilidade nos resultados apresentados.

A partir das análises dos valores de retração de linha de costa foi possível inferir sobre o comportamento dos diversos setores das praias analisadas em situação de regime médio e extremo. Os resultados de retração e inundação apresentados para os cenários propostos se mostraram coerentes, indo de acordo com a teoria.

REFERÊNCIAS

- ABREU de CASTILHOS, J.A; GRÉ, J.C.R.; HORN FILHO, N.O. **Ocupação urbana da orla nas praias oceânicas da Costa Leste da Ilha de Santa Catarina: riscos de erosão costeira.** In: 11o Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental ABGE. Florianópolis. Resumos. p.1231-1242, 2005.
- AGUIAR, D. F.; MELO F^o, E.; ROMEU, M.A.R.; FONTOURA, J.A.S.; MENDES, W.G. **Avaliação do desempenho do modelo NWW3/NOAA para a região de Rio Grande, RS.** In: X Simpósio sobre Ondas e Marés, Engenharia Oceânica e Oceanografia por Satélite, Arraial do Cabo, Brasil. 2013. (Publicado em CD. Sem paginação).
- ALVES, J. H. G. M.; MELO, E. Measurement and modeling of wind waves at the northern coast of Santa Catarina, Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography.** v. 49, p.13-28, 2001.
- ARAUJO, C. E. S.; FRANCO, D.; MELO, E.; PIMENTA, E. **Wave Regime Characteristics of the Southern Brazilian Coast.** In: Proceedings of the Sixth International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries, COPEDEC VI, Colombo, Sri Lanka, Paper. 2003. p. 15.
- BERKHOFF, J. C. W. **Computation of Combined Refraction-Diffraction.** Proc.13th International Conference on Coastal Engineering, Vancouver.p.471-490, 1972.
- BATTJES, J.A. Long-term wave height distributions at seven stations around the British Isles. **Deutsche Hydrografische Zeitschrift.** v.25, n.4, pp.179-189, 1972
- BATTJES, J.A.; JANSSEN, J.P.F.M. Energy loss and set-up due to breaking of random waves, In: Proc. 16th Int. Conf. Coastal Engineering, ASCE, pp.569-587, 1978.
- 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., KLEIN, A.H.F., MULER, 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, 2012. ISBN: 978-94-00-5233-7.

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

BRUUN, P. Coast erosion and the development of beach profiles. **Beach Erosion Board**, Tech. Memo, Washington, D.C. 44. 1954.

BRUUN, P. Sea-level rise as a cause of shore erosion. **Journal of the Waterways and Harbors Division**. v. 88, pp. 117-130, 1962.

CAMUS, P., et al. A hybrid method to downscale wave climate to coastal áreas. **Coastal Engineering**. 2011. doi: 10.1016/j.coataeng.2011.05.007

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.

CARTER, R.W.G. **Coastal Environments: An Introduction to physical, Ecological, and Cultural Systems of Coastlines**. 617p., Londres: Academic Press. (ISBN 0-12-161855-2). 1988.

CASTRO, B.M.; LEE, T.N. Wind-forced sea level variability on the southeast Brazilian shelf. **Journal of Geophysical Research**, v. 100, n C8, p. 16.045-16.056, 1995.

CEPAL-ONU (2011) Dinámicas, tendencias y variabilidad climático. Documento del estudio de "Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe". Disponível em: <http://www.eclac.org/cgi-bin/getprod.asp?xml=/publicaciones/xml/2/45542/P45542.xml&xsl=/dmaah/tpl/p9f.xsl&base=/dmaah/tpl/top-bottom.xsl>. Acesso em 15/mai/2014

CHAWLA, A.; SPINDLER, D.M.; TOLMAN, H.L. Validation of a thirty year wave hindcast using Climate Forecast Reanalysis winds. **Ocean Modelling**.v.70, pp. 189-206. 2013.

DALINGHAUS, C.; SILVA, P.G.; MULER, M.; CAMARGO, R.S.V.; PRADO, M.F.V.; BOSE, M.A.; GUTIÉRREZ, O.; GONZÉLEZ, M.; ESPEJO, A.; ABASCAL, A.; KLEIN, A.H.F. **Regimes probabilísticos de cota de inundação costeira do Brasil – exemplo de aplicação no arco praial Barra da Laga-Moçambique, Florianópolis, SC, Brasil**. In: III Workshop Brasileiro de Mudanças Climáticas em Zonas Costeiras, 2013, Florianópolis, /brasil. (Publizado em CD. Sem paginação).

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

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

ESPEJO, A.; CAMUS, P.; LOSADA, I.; MENDEZ, F. Spectral ocean wave climate variability based on atmospheric circulation patterns. **Journal of Physical Oceanography**.No prelo. doi:10.1175/JPO-D-13-0276.1

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.

FARACO, K. R.; CASTILHO, J. A.; HORN FILHO, N. Morphodynamics aspects and El Niño oscillations in Ingleses Beach, Santa Catarina Island, Southern Brazil. **Journal of Coastal Research**.v.2, n. 39, pp. 656-659, 2004.

FERREIRA, O.; GARCIA, T.; MATIAS, A.; TABORDA, R.; DIAS, J.A. An integrated method for the determination of set-back lines for coastal erosion hazards on sandy shores. **Continental Shelf Research**. v. 26, pp. 1030-1044, 2006.

FRANCO, D.; MELO F^o, E. **Relevância dos mares secundários na caracterização do regime de ondas ao largo da Ilha de Santa Catarina, SC (2002 - 2005)**. In: III Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica, 2008, Rio Grande, Brasil, 2008. (Publicado em CD. Sem paginação).

FREITAS, D.; ARAUJO, R.S.; KLEIN, A.H.F.; MENEZES, J.T. Quantificação de perigos costeiros e projeção de linhas de costa futuras para a enseada do Itapocorói, SC. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**.v.14, n.1, pp. 39-49, 2010.

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

GUZA, R. T.; THORTON, E. B. Swash oscillations on a natural Beach. **Journal of Geophysical Research**. v. 87, pp. 483-491, 1982.

HASSELMAN, S.; HASSELMAN, K.; JANSSEN, P.A.E.M.; KOMEN, G.T.; BERTOTTI, L.; LIONELLO, P.; GUILLAUME, A.; CARDONE, V.C.; GREENWOOD, J.A.; REISTAD M.; ZAMBRESKY, L.; EWING, J.A. The WAM model: a third generation ocean wave prediction model. **Journal of Physical Oceanography**.v.18, n. 12, pp. 1775-1810, 1988.

HEDGES, T. S.; MASE, H. Modified Hunt's equation incorporating wave setup. **Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering**.v.130, n. 3, pp. 109-113, 2004.

HOLMAN, R. A.; SALLENGER Jr., A.H. Setup and swash on a natural beach. **Journal of Geophysical Research**. v. 90, n. C1, pp. 945-953, 1985.

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

HOLTHUIJSEN, L. H. **Waves in Oceanic and Coastal Waters**: Cambridge University Press, Cambridge, 2007.

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

HUNT, I. A. Design of seawalls and breakwaters. **Journal of the Waterways and Harbors Division**. v, 85, pp. 123-152, 1958.

IH CANTABRIA, INSTITUTO DE HIDRÁULICA AMBIENTAL. In: MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA) (Ed). **Sistema de Modelagem Costeira, SMC: Manual do Usuário – OLUCA SP**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. No prelo (a).

IH CANTABRIA, INSTITUTO DE HIDRÁULICA AMBIENTAL. In: MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA) (Ed). **Sistema de Modelagem Costeira, SMC: Documento Temático – Níveis**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. No prelo (b).

IH CANTABRIA, INSTITUTO DE HIDRÁULICA AMBIENTAL. In: MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA) (Ed). **Sistema de Modelagem Costeira, SMC: Documento Temático – Ondas**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. No prelo (c).

IPCC, 2013: Climate Change 2013: **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.

ISDR (INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION). **Living With Risk**. A Global Review of Disaster Reduction Initiatives. United Nations, Inter-Agency Secretariat. ISDR Secretariat. Preliminary Version. Geneva, Switzerland, 2002. 348p.

JANSSEN, P.A.E.M.; HANSEN, B. & BIDLOT, J-R. Verification of the ECMWF wave forecasting system against buoy and altimeter data. **Weather and Forecasting**.v.12, n.4, pp.763-784 . 1997.

KISTLER, R.; KALNAY, E.; COLLINS, W.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLLEN, J.; CHELLIAH, M.; EBISUZAKI, W.; KANAMITSU, M.; KOUSKY, V.; VAN

DEN DOOL, H.; JENNE, R.; FIORINO, M. The NCEP-NCAR 50-year reanalysis: Monthly means CD-ROM and documentation. **Bulletin of the American Meteorological Society**.v.82, n.2, pp.247-268. 2001

KLEIN, A.H.F. Um método indireto para a determinação do estágio morfodinâmico de praias oceânicas arenosas. *In*: VI Congresso da Associação Brasileira dos Estudos do Quaternário, 1997, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ABEQUA, 1997. p.82-84.

KLEIN, A.H.F. **Morphodynamics of headland bay beaches: Examples from the coast of Santa Catarina State, Brazil**. Tese - Universidade do Algarve, Faro, 2004.

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. (Editor). **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Brasília: Ministério do MeioAmbiente, 2006.

KRIEBEL, D.L.; DEAN, R.G. Convolution method for time dependent beach-profile response. **Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering**. v.119, pp.204-226, 1993.

KRUEGER, J.; ARAUJO, R.S.; KLEIN, A.H.F. **Análise dos parâmetros meteorológicos e oceanográficos dos eventos de ressaca, ocorridos entre janeiro de 2001 a dezembro de 2010, no estado de Santa Catarina**. *In*: XIV Congresso Latino Americano de Ciências do Mar, Balneário Camboriú, Brasil. 2011. (Publicado em CD. Sem paginação).

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.

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

MELO F^o., E.; HAMMES, G.R.; FRANCO, D. Estudo de caso: **A ressaca de agosto de 2005 em Santa Catarina**. *In*: III Seminário e Workshop em

Engenharia Oceânica, 2008, Rio Grande, Brasil, 2006. (Publicado em CD. Sem paginação).

MELO Fº, E.; HAMMES, G.R.; FRANCO, D.; ROMES, M. **Avaliação de desempenho do modelo WW3 em Santa Catarina.** In: III Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica, Rio Grande, Brasil, 2008.(Publicado em CD. Sem paginação).

MELO Fº, E.; ROMEU, M.A.; HAMMES, G.R. **Condições extremas de agitação marítima ao largo de Rio Grande a partir do modelo WW3.** In: IV Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica, Rio Grande, Brasil, 2010. (Publicado em CD. Sem paginação).

MENEZES, J. T. **Caracterização morfológica e sedimentar do segmento praias Navegantes/Gravatá e sua ação sobre os esforços de recomposição da praia.** Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Uma Proposta de Abordagem para o Estabelecimento de Regime Probabilístico de Área de Inundação Costeira do Brasil.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente. No prelo.

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.

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

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

MULER, M. **Avaliação da vulnerabilidade de praias da ilha de Santa Catarina a perigos costeiros através da aplicação de um índice**

multicritério. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.

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.

OLIVEIRA, J. G. **Modelagem numérica das respostas do perfil praiial 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.

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

REGUERO, B. G.; MENÉNDEZ, M.; MÉNDEZ, R.; MÍNGUEZ, R. & LOSADA, I. J. A Global Ocean Wave (GOW) calibrated reanalysis from 1948 onwards. **Coastal Engineering.** v. 65, 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. de M.; BONETTI, J.; MORENO D. **Maré de Tempestade.** In: HERRMANN, M. L. de P. (Org.) Atlas de Desastres Naturais de Santa Catarina. 1º. ed. Florianópolis-SC: CopyLlaser Gráfica Digital, v. 1. p. 117-120, 2006.

SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SUSTENTÁVEL DO ESTADO DE SANTA CATARINA (SDS). Levantamento Aerofotogramétrico do Estado de Santa Catarina. Florianópolis: ENGEMAP, 2013, p. 202, Documento Digital.

SCHWEITZER, A. **Monitoramento da linha de costa: Uma análise de métodos e indicadores aplicados em investigações na escala de**

eventos. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p.151, 2013.

SHORT, A. D. **Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics.** Ed. A. D. Short. Wiley, Chichester, 1999.

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

SILVA, G.V. **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.

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

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

SMC BRASIL - **Diálogos Brasil-Espanha: Sistema de Modelagem Costeira, Resumo Executivo.** In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL BRASIL-ESPANHA: A EXPERIÊNCIA ESPANHOLA E A APLICAÇÃO DO SMC BRASIL NO APOIO À GESTÃO DA COSTA BRASILEIRA,2. Brasília: IABS, abr.2013.

SOUZA, C.R.G. Suscetibilidade morfométrica de bacias de drenagem ao desenvolvimento de inundações em áreas costeiras. **Revista Brasileira de Geomorfologia.** Ano 6, n.1, p. 45-61, 2005.

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

STROHAECKER, T.M. Dinâmica Populacional. *In*: MMA. **Macrodiagnóstico da zona costeira e marinha do Brasil**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2008.

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

TOLMAN, H. L.; CHALIKOV, D. Source terms in a third-generation wind wave model. **Journal of Physical Oceanography**.V.26, pp.2497-2517, 1996.

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

APÊNDICE A – DESCRIÇÃO DO MODELO OLUCA-SP

MODELO OLUCA-SP

O modelo OLUCA faz parte do Sistema de Modelagem Costeira (SMC), desenvolvido pelo Instituto de Hidráulica da Cantabria (IH Cantabria) (Gonzalez, 2007). Na simulação o modelo possibilita a propagação de ondas monocromáticas (MC) ou espectrais (SP) simulando os processos de empinamento, refração, difração, dissipação por quebra e correntes resultantes da quebra. A discretização espacial ocorre através de um esquema de diferenças finitas, sendo possível o aninhamento de malhas.

A equação governante da propagação de ondas deste modelo é a Equação Parabólica da Pendente Suave (RefDif), desenvolvida por Radder (1979) e posteriormente adaptada por Booij (1981). Radder (1979) aplicou uma metodologia de divisão de matrizes da equação elíptica de Berkhoff (1972), separando o campo de ondas em dois: i) campo de ondas incidentes e ii) campo de ondas refletido, eliminando o segundo campo após a divisão. A aproximação de Radder, no entanto, impõe uma restrição ao seu modelo parabólico: as ondas a serem propagadas devem ter direção dentro de $\pm 45^\circ$ com relação à direção principal das malhas de propagação.

Booij (1981) também desenvolveu um método de divisão de matrizes da equação elíptica, no entanto incluindo mais termos na aproximação das derivadas transversais, o que permitiu ao seu modelo parabólico a entrada de ondas com direções de até $\pm 50^\circ$ com relação ao eixo principal. A formulação proposta pelo autor é a utilizada no modelo OLUCA-SP para a propagação das ondas:

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

Onde:

C_g = Celeridade de grupo

A = Amplitude da onda

$p = CC_g$

k = Número de onda de referência, tomado como a média ao longo do eixo.

N = Forma parte do termo não linear e é definido por:

$$N = \frac{(\cos h 4kh + 8 - 2 \tan h^2 kh)}{8 \operatorname{sen} h^4 (kh)}$$

h é a profundidade no ponto do domínio.

Premissas e limitações do modelo:

- Pressão é constante em toda a superfície livre modelada;
- Não considera a ação do vento
- Não considera a ação de Coriolis
- Variações no fundo são pequenas se comparadas ao comprimento de ondas. Para que o modelo obtenha resultados com alto desempenho, a declividade máxima indicada é de 1:3.
- Aproximação parabólica: As componentes se propagam principalmente em uma direção (x). A solução é tanto melhor quanto menor for a variação em relação a x (IH CANTABRIA, 2013 (no prelo)).

Dispersão das ondas por amplitude

As equações básicas dos modelos RefDif não levam em conta a não linearidade das ondas, o que faz com que valores de celeridade sejam subestimado por considerarem apenas a dispersão por frequência e não considerarem a dispersão por amplitude.

Para representar a não linearidade, normalmente são utilizadas duas aproximações: 1) a primeira é uma relação de dispersão empírica proposta por Booij (1981), que modela a dispersão de amplitude em águas rasas e a dispersão de frequência em águas profundas; 2) a segunda consiste na modificação do modelo de Kirby e Dalrymple (1983), incluindo um termo proporcional ao cubo da amplitude de onda que representa a distorção do número de onda.

A primeira aproximação tem a vantagem de incluir alguma descrição da não linearidade em águas rasas, mas a linearidade é mantida em águas profundas. A segunda apresenta a vantagem de ter uma base analítica, mas não é adequada para águas pouco profundas.

No Oluca SP, a dispersão é calculada através de relação empírica. Para tanto, é possível escolher entre três opções de equações de dispersão pra uma frequência j :

Stokes sem modificações:

$$\sigma_j^2 = gk_j(1 + \varepsilon_j^2 N_j) \tanh(k_j h)$$

Hedges (1976) modificado:

$$\sigma_j^2 = gk_j \tanh(k_j h + \varepsilon_s)$$

Modelo híbrido modificado por Kirby et al. (1994 apud GIOC, 2000a):

$$\sigma_j^2 = gk_j(1 + f_{1j}\varepsilon_j^2 N_j) \tanh(k_j h + f_{2j}\varepsilon_s)$$

onde:

$$\begin{aligned} \varepsilon_j &= k_j |A|_{jl} \\ \varepsilon_s &= k_j H_s / 2 \\ f_1 &= \tanh^5(kh) \\ f_2 &= \left[\frac{kh}{\sinh(kh)} \right] \end{aligned}$$

h é a profundidade no ponto do domínio, ε é a inclinação da onda e f_1 e f_2 são funções arbitrárias. Detalhes do desenvolvimento de cada uma destas formulações podem ser verificados no Manual do Usuário do OLUCA SP.

Superfície livre

A superfície livre é calculada através do método das fases aleatórias:

$$\eta(x, y) = \sum_{j=1}^{N_f} \sum_{l=1}^{N_\theta} |A_{jl}(x, y)| \text{sen}(k_j x \cos \theta_{m_{jl}} + k_j y \text{sen} \theta_{m_{jl}} + \varepsilon_{jl})$$

Onde f é a frequência e Θm a direção média de onda.

Dissipação de energia na superfície e por fricção com o fundo

A inclusão de um fator de dissipação na equação elíptica da pente suave foi demonstrada por Kirby e Hwang (1984 *apud* GIOC, 2000a):

$$\nabla_H \cdot (CC_g \nabla_H \Phi) + (k^2 CC_g + i\sigma\gamma)\Phi = 0$$

Seguindo o raciocínio da divisão de matrizes de componentes incidentes e refletidos, tem-se, na equação da pente suave, o termo de dissipação da seguinte forma:

$$+ \frac{\gamma_j}{2} A_{jl}$$

Onde γ é a dissipação de energia e apresenta diferentes expressões de acordo com o a origem da dissipação (camada limite laminar na superfície, camada limite laminar no fundo, camada limite turbulenta no fundo e quebra da onda).

Camada limite laminar na superfície e no fundo (PHILLIPS, 1966 *apud* GIOC, 2000a):

$$\gamma_j = \frac{2\sigma_j k_j \sqrt{\frac{\nu}{2\sigma_j} (1 + \cosh^2(k_j h))}}{\sinh(2k_j h)}$$

Onde ν é a viscosidade cinemática dada por $\nu = 1,310^{-6} m^2/s$.

Camada limite turbulenta no fundo:

Em campo, as condições de camada limite no fundo são sempre turbulentas. Neste caso, utiliza-se a expressão proposta por Dean e Dalrymple (1984 *apud* GIOC 2000a):

$$\gamma_J = \frac{2\sigma_j f k_j |A_{jl}|(1-i)}{3\pi \sinh(2k_j h) \sinh(k_j h)}$$

Fundos porosos de areia:

Fundos de areia induzem o fluxo no interior do leito, ocasionando um amortecimento. Nestes casos a expressão da dissipação de energia será dada através de um coeficiente de permeabilidade (C_p) e é calculada por:

$$\gamma_J = \frac{g k_j C_p (1-i)}{\cos h^2(k_j h)}$$

Dissipação de energia pela quebra

O processo de quebra da onda é de grande importância na hidrodinâmica costeira, uma vez que influencia nas correntes litorâneas e no transporte de sedimentos. Este processo pode ocorrer na zona de surfe, com a redução da profundidade, ou em águas profundas, quando a esbeltez da onda é superada (*white-capping*).

De maneira geral, os modelos de dissipação de energia pela quebra são classificados em duas categorias:

- a) Modelos de dissipação associados a propagação de bores ou degraus,
- b) Modelos que determinam a variação espacial da energia das ondas ou da “ação da onda”.

No Oluca-SP é possível escolher entre três modelos de dissipação por quebra, dois da primeira categoria (BATTJES e JANSSEN, 1978 E THORTON e GUZA, 1983) e um da segunda categoria (RATTANAPTIKON e SHIBAYAMA, 1998)

Battjes e Janssen (1978) - MBI

O modelo de dissipação por quebra proposto por Battjes e Janssen (1978) assume que a perda de energia está associada à dissipação de energia por um *bore*, que é a parte com espuma da onda onde ocorre a perda de energia por processos turbulentos.

A distribuição de energia é do tipo Rayleigh, sendo esta truncada a partir de uma altura de onda máxima permitida por

determinada profundidade. A altura de onda assumida pelo modelo é a altura média quadrática (H_{rms}).

Para ondas monocromáticas, a taxa de dissipação de energia por unidade de área é apresentada da seguinte forma:

$$D \sim \frac{1}{4} f \rho g \frac{H_b}{h_b}$$

Para adaptar a formulação à aleatoriedade das ondas do mar, os autores assumem as seguintes hipóteses:

- a) A frequência de pico associada ao espectro de energia de entrada f_p é usada como frequência f em (16), assumindo que a dissipação é independente da frequência;
- b) H_b é a altura máxima de onda que passa sem quebrar em uma profundidade h_b ;
- c) $\frac{H_b}{h_b} \sim 0$ na zona de quebra;
- d) A distribuição de Rayleigh é truncada para $H > H_b$, permitindo estabelecer a fração de ondas quebradas Q_b ;
- e) Todas as ondas quebradas tem altura igual a H_b ;
- f) Não é considerada a recomposição das ondas após a quebra.

Desta maneira, a dissipação das ondas é representada de acordo com a Eq. 20.

$$\bar{D} \sim \frac{\alpha_1}{4} Q_b f_b \rho g H_b^2$$

Onde α_1 é uma constante de ordem um e Q_b é a fração de ondas que quebram (num. ondas quebrando/número total de ondas).

Neste caso a altura de quebra é dada por:

$$H_b = 0,88 k_p^{-1} \tanh\left(\frac{b k_p h}{0,}\right)$$

Onde k_p é o número de onda definido a partir da dispersão linear com frequência de pico f_p , h é a profundidade local e b é a relação de altura de onda e profundidade da água.

Por fim, a probabilidade de uma onda estar quebrando em determinado ponto está relacionada com H_{rms} e H_b da seguinte forma:

$$\frac{1 - Q_b}{\ln Q_b} = \left(\frac{H_{rms}}{H_b} \right)$$

Modelo Thorton e Guza (1983) – MTG

Similar ao MBJ, o modelo proposto pro Thorton e Guza (1983) também assume a dissipação de energia na quebra como a dissipação de energia em um *bore*, na qual a distribuição das alturas de onda é do tipo Rayleigh. Difere do MBJ, no entanto, no que diz respeito a fração de ondas que quebram, não assumindo um truncamento na distribuição de Rayleigh, mas sim uma função densidade de probabilidade $p(H)$ dada por:

$$p(H) = \frac{2H}{H_{rms}^2} \exp \left[- \left(\frac{H}{H_{rms}} \right)^2 \right]$$

Onde $p(H)$ é a probabilidade de ocorrer uma determinada altura de onda. A partir daí, são assumidas algumas premissas na definição de Q_b :

- a) A função de densidade de probabilidade das ondas quebrando deve assemelhar-se a função de densidade de probabilidade de todas as ondas;
- b) A função densidade de probabilidade das ondas quebrando deve ser um subconjunto da função de densidade de probabilidade de todas as ondas;
- c) A área sob a curva da função de densidade de probabilidade das ondas quebrando é igual a Q_b :

$$Q_b = \int_0^{\infty} P_b(H) dH$$

Para relacionar Q_b com parâmetros reais, utilizando a relação altura de quebra/profundidade, o MTG assume Q_b como proposto em (Eq. 25):

$$Q_b = \left(\frac{H_{rms}}{bh} \right)^n$$

Onde n é uma variável determinada com observações em campo. Sugere-se $n=4$.

Outro ponto em que o MTG difere do MBI é ao considerar a forma de quebra das ondas incluindo o parâmetro de quebra B à formulação da dissipação. Desta forma, a dissipação da energia pela quebra de uma onda é dada neste modelo como demonstrado na Eq. 26:

$$D = \frac{3\sqrt{\pi}}{16} \rho g \frac{B^3 f_p}{b^4 h^5} H_{rms}^7$$

Novamente, a frequência assumida é a frequência de pico f_p .

Modelo Rattanaptikon e Shibayama (1998) (MRS)

O modelo de dissipação por quebra da onda proposto por Rattanaptikon e Shibayama (1998), difere dos apresentado anteriormente por não considerar a dissipação de energia da onda semelhante à do *bore*, mas sim proporcional à diferença entre o fluxo de energia local e o fluxo de energia estável, como sugerido por Dally (1992). O MRS não calcula a dissipação propagando onda a onda, mas incorpora a fração de ondas quebradas Q_b (igual a proposta por Battjes e Janssen, 1978). Desta maneira, a dissipação média de energia é dada por:

$$D = \frac{k_1 Q_b C_f}{h} [E_m - E_s]$$

Onde:

$$E_m = \frac{1}{8} \rho g H_{rms}^2$$

$$E_s = \frac{1}{8} \rho g H_e^2 = \frac{1}{8} \rho g (\Gamma_e h)^2$$

Onde k_1 é uma constante, C_f é a velocidade de fase associada à frequência de pico f_p , E_m é o fluxo médio de energia local, E_s é o fluxo médio de energia estável, H_e é a altura de onda estável e Γ_e é o fator

de estabilidade de onda para ondas irregulares. Substituindo (Eq.28 e 29) na (Eq. 27), tem a dissipação expressa da seguinte forma:

$$\bar{D} = \frac{k_1 Q_b C_p \rho g}{8h} [H_{rms}^2 - (\Gamma_e h)^2]$$

O fator Γ_e é definido como:

$$\Gamma_e = \exp \left[k_2 \left(-0,36 - 1,25 \frac{h}{\sqrt{L_p H_{rms}}} \right) \right]$$

Onde k_6 é um coeficiente de ajuste e L_p é o comprimento de onda associado a frequência de pico.

Apesar de Q_b ser definido como no MBJ, a altura de quebra H_b é calculada de maneira diferente, aplicando o critério de Goda (1970) da seguinte maneira:

$$H_b = k_3 L_0 \left\{ 1 - \exp \left[-1,5 \frac{\pi h}{L_0} (1 + 15 \varepsilon^{4/3}) \right] \right\}$$

k_3 é um coeficiente de ajuste, L_0 é o comprimento de onda em profundidades indeterminadas e associado a f_p e ε é a inclinação do fundo. Através da calibração do modelo, os autores obtiveram o melhor ajusto com valores de k_1 , k_2 e k_3 igual a 0,1, 1,6 e 0,1 respectivamente.

APÊNDICE B – PARÂMETROS ESTATÍSTICOS

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS

BIAS (Viés -V)- Mede o desvio entre as variáveis através da diferença entre as médias (x =valores medidos, y =valores simulados):

$$V = \bar{x} - \bar{y}$$

Erro Quadrático Médio (EQM) - mede a diferença entre um estimador e o verdadeiro valor da quantidade estimada. Leva em conta o quadrado da diferença entre os dados comparados:

$$EQM = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$$

Coefficiente de correlação da regressão (ρ) - mede a intensidade da relação de igualdade entre duas variáveis, com valores entre 0 (nenhuma correlação) e 1 (correlação perfeita):

$$\rho = \sqrt{R^2}$$

onde R^2 é dado por:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2 + (x_i - \bar{y})^2}$$

Índice de Espalhamento (IE)—Parâmetro adimensional que mede a dispersão com respeito a linha $x=y$ (ideal):

$$IE = \frac{EQM}{\bar{x}}$$

Inclinação Quadrática Média (IQM)—Declividade da regressão. Em uma situação ideal, $SS=1$. Valores de $SS > 1$ indicam sobrestimação dos maiores valores e subestimação dos menores valores. Enquanto o oposto ocorre se $SS < 1$:

$$IQM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{\sum_{i=1}^n x_i^2}}$$

Ondex é o dado medido e y é o dado simulado.

APÊNDICE C – VALORES DE DECLIVIDADE

VALORES DE DECLIVIDADE*Inglese:*

Pontos	Setor	Decliv. Face- $\alpha(^{\circ})$	$\tan\alpha$
1	1	3,37	0,06
2	1	0,92	0,02
3	1	2,14	0,04
4	2	15,35	0,27
5	2	4,51	0,08
6	2	4,11	0,07
7	2	4,78	0,08
8	2	5,29	0,09
9	2	8,21	0,14
10	2	4,15	0,07
11	2	3,30	0,06
12	2	4,02	0,07
13	2	2,96	0,05
14	2	2,53	0,04
15	2	2,99	0,05
16	2	2,56	0,04
17	2	2,43	0,04
18	2	2,39	0,04
19	2	0,70	0,01
20	2	1,75	0,03
21	3	1,66	0,03
22	3	2,44	0,04
23	3	1,79	0,03
24	3	2,10	0,04
25	4	2,07	0,04

Moçambique/Barra da Lagoa:

Perfis	Setor	Decl. Face - α (°)	$\tan\alpha$
1	1	2,26	0,04
2	1	1,65	0,03
3	1	1,87	0,03
4	1	1,53	0,03
5	1	1,82	0,03
6	1	2,40	0,04
7	1	1,36	0,02
8	1	2,75	0,05
9	1	1,41	0,02
10	2	2,22	0,04
11	2	3,07	0,05
12	2	3,68	0,06
13	2	3,42	0,06
14	2	3,44	0,06
15	2	2,83	0,05
16	2	1,76	0,03
17	2	4,79	0,08
18	2	3,25	0,06
19	2	4,64	0,08
20	2	3,72	0,07
21	2	3,83	0,07
22	2	3,94	0,07
23	2	3,30	0,06
24	2	4,92	0,09
25	2	3,96	0,07
26	2	3,55	0,06
27	2	4,33	0,08
28	2	4,65	0,08
29	2	4,66	0,08
30	2	5,60	0,10
31	2	5,23	0,09
32	2	5,64	0,10

Perfis	Setor	Decl. Face - α (°)	Tan α
33	2	3,89	0,07
34	2	3,73	0,07
35	2	3,86	0,07
36	2	4,58	0,08
37	2	4,81	0,08
38	3	6,93	0,12
39	3	5,78	0,10
40	3	6,14	0,11
41	3	4,28	0,07
42	3	3,70	0,06
43	3	4,08	0,07
44	3	5,48	0,10
45	3	8,16	0,14
46	3	5,03	0,09
47	3	7,99	0,14
48	3	4,97	0,09
49	3	4,18	0,07
50	3	6,68	0,12
51	3	6,52	0,11
52	3	9,33	0,16
53	3	6,16	0,11
54	3	4,34	0,08
55	3	4,16	0,07
56	3	4,62	0,08
57	3	9,71	0,17
58	3	4,48	0,08
59	4	5,70	0,10
60	4	6,55	0,11
61	4	5,30	0,09
62	4	5,96	0,10
63	4	3,55	0,06
64	4	1,17	0,02

APÊNDICE D – DIÁRIO DE MODELAGEM

ETAPA 1: DEFINIÇÃO DO PROJETO

Este formulário foi atualizado por:	Data
Paula Gomes da Silva	13/03/2013
Paula Gomes da Silva	15/06/2014

Trabalho	Cliente	Data de Início
Propagação de ondas até águas rasas – Ingleses; Moçambique/Barra da Lagoa	UFSC	03/03/2012
Descrição do problema - Descreva brevemente, em palavras, o problema (sem detalhes):		
<p>Praias de enseada apresentam grande variação da energia de ondas ao longo extensão praial .Tal variação ocorre principalmente pela perda de energia por refração e pela difração nos promontórios. Qual a diferença de alturas de onda de tempestade ao longo das praia de Ingleses e do arco praial Moçambique/Barra da Lagoa? Qual é o grau de exposição às ondas nos diferentes setores das praias analisadas?</p>		

- Circule o(s) domínio(s) do problema: (**modelos hidrodinâmicos**, modelos de enchente, modelos de ondas, modelos morfológicos, modelos de qualidade de água, modelos de emissão, outros modelos).
- Preencha os seguintes campos a respeito dos processos físicos envolvidos neste projeto de modelagem:

Processos relevantes	Escala temporal característica	Escala espacial
Propagação de onda	Eventos	Mesosescala (quilômetros)

- -Qual é a razão para a aplicação do modelo (Análise de impacto, definição de componentes de projeto, análise de viabilidade, estimativa de custos operacionais)?

Análise do impacto e previsão de comportamento.

1.1 Defina o objetivo

- Que questões devem ser respondidas usando o modelo?

Qual é a distribuição das alturas de onda ao longo das praias analisada?

1.2 Analise o contexto e defina acordos quanto à justificativa

1.2.1 Coordenação com o cliente

Foi concordado com o cliente avaliar as seguintes etapas do projeto de modelagem para pré-aprovação nos seguintes momentos de decisão:

Escolha do ponto DOW para as propagações (solicitação dos dados);
Apresentação dos resultados das propagações.

Os seguintes acordos especiais foram feitos com o cliente com relação a relatórios e finalização.

Apresentação de relatório final no formato de dissertação e o presente formulário preenchido.

1.3 Defina os requisitos

1.3.1 Requerimentos de expertise

- as seguintes pessoas e suas expertises serão empregadas do projeto de modelagem:

Nome da pessoa	Expertise
Paula Gomes da Silva	Propagação de ondas.
Antônio Klein	Morfodinâmica de ambientes costeiros

1.3.2 Estimativa da capacidade da mão-de-obra

- o seguinte esforço de trabalho é requerido para o projeto de modelagem:

Tarefa	Tempo (dias)	A ser aplicado na etapa
Compreender a teoria envolvida	120	Etapa 1
Calibração do modelo	150	Etapa2
Validação dos dados de Reanálise	120	Etapa 3
Seleção dos casos a propagar	15	Etapa 4
Propagação dos casos selecionados	20	Etapa 4
Verificação dos resultados	20	Etapa 4
Ajuste e calibração dos modelos	15	Etapa 5
Propagação dos casos selecionados	20	Etapa 5
Verificação dos resultados	10	Etapa 5
Reconstrução das séries em águas rasas	10	Etapa 6

Confecção do documento final (Capítulo 3 – Cálculo da cota de inundação)	15	Etapa 7
--	----	---------

1.3.3 Comunicação e relatórios

- As seguintes reuniões foram planejadas no escopo do projeto de modelagem:

Atividade	Quando	Pessoas Envolvidas	Assunto
Escolha dos pontos DOW	08/2013	Paula Gomes, CharlineDalinghaus. Antonio Klein	Seleção dos pontos DOW a serem utilizados para solicitá-los junto ao IH Cantabria.
Validação dos dados de Reanálise	11/2013	Paula Gomes, Antonio Klein e Mauricio Gonzalez	Apresentação e discussão dos resultados da validação.
Validação dos dados de Reanálise	05/2014	Paula Gomes e Antonio Klein	Submissão do paper sobre a validação dos dados de Reanálise
Confecção do documento final	07/2014	Paula Gomes e Antonio Klein	Resultados Finais – Documento final

--	--	--	--

- Que relatórios devem ser feitos para o projeto de modelagem?

Tipo de relatório (progresso, parcial, final)	Quando	Destinado a quem
Parcial	abril/2013	Banca de avaliação
Final	Julho/2014	Banca de Avaliação

ETAPA 2: CONFIGURAR O MODELO

Este formulário foi atualizado por:	Data
Paula Gomes da Silva	03/2013
Paula Gomes da Silva	07/2014

2.1 Analisar os dados

2.1.1 Dados básicos requeridos para uma simulação

Dados espaciais	Batimetria (xyz)
Séries temporais	Parâmetros de ondas (reanálise) - DOW
Valores iniciais	Ingleses – Ponto DOW (x:-48,2817 ; y:-27,3542) Moçambique/Barra da Lagoa – Ponto DOW (x: -48,1805 ; y-27,7152:)
Condições de fronteira	Aberta (não representa uma barreira física para a propagação).

Parâmetros	Profundidade, frequência máxima, frequência de pico, parâmetro gama, número de componentes, direção de propagação, amplitude de maré.
Dados dos cenários	Combinação entre os dados espaciais e parâmetros de onda
Outros dados necessários	Não há necessidade de outros dados

2.1.2 Dados de outros modelos

De que outros modelos este projeto usa resultados?	WWIII
Que requerimentos são feitos aos resultados de outros modelos (formato, calibração, discretização, meta-dados)?	O formato de saída do modelo WWIII já são ideais para as propagações com o OLUCA SP
Quem irá fornecer os resultados dos outros modelos, e quando?	Dados disponíveis no modelo SMC-Brasil. Disponibilizados pelo IH Cantabria.
Quem irá aprovar o uso dos resultados dos outros modelos?	Os dados já foram validados (Reguero <i>et al.</i> , 2012) e foram considerados aprovados.

2.1.3 Dados requeridos para análise

Observações do sistema (medições em campo)	Não.
--	------

2.1.4 Disponibilidade de dados de campo

Existem dados de campo disponíveis?	Não.
Onde estão os dados?	-
Os dados estão disponíveis em versão digital?	-
Como foi procedido com <i>outliers</i> ou dados anômalos?	-.
Como foi procedido quanto aos dados que faltavam?	-
Descrever a qualidade dos dados	-
Quem foi responsável por disponibilizar os dados?	-

2.2 Tipo de modelo

Domínio da aplicação	Propagação de ondas
Dinâmico/Estacionário	Estacionário
Número de dimensões espaciais	Duas (horizontal)

Qual programa de modelagem foi escolhido?	Módulo OLUCA – SMC
Por que este programa de modelagem foi escolhido?	Disponibilidade, teste de metodologia e por calcular os processos de refração e difração de forma mais precisa.
Existe outra opção melhor com base no conteúdo, e qual seria esta opção?	Não.
Por que esta melhor opção não foi escolhida?	-----

2.3 Modelo Conceitual

- Descreva o modelo conceitual geral em palavras

O modelo conceitual pode ser encontrado em: No final deste apêndice;

2.4 Discretização no espaço e tempo

Descreva a esquematização espacial (resolução, área geográfica)	<p>Resolução variou de malha para malha de forma a respeitar as limitações do modelo.</p> <p>Ingleses: Resolução da malha de detalhe variou de 20m a 25m.</p> <p>Moçambique/Barra da Lagoa: Resolução da malha de detalhe variou</p>
---	--

	de 10m a 41m
Que escolhas foram feitas quanto a discretização no tempo (com relação a aproximação numérica)?	As séries temporais de ondas possuem intervalo temporal de 1 hora.

2.5 Esquematização de condições de fronteira

Foi feita alguma esquematização de longo prazo (anual, 5 anos etc) de clima de ondas/marés e ventos para modelagem morfológica?	-
Que método foi utilizado nestas esquematizações?	Diferenças Finitas.

ETAPA 3: ANÁLISE DO MODELO

Este formulário foi atualizado por:	Data
Paula Gomes da Silva	14/06/2014

3.1 Quais atividades de análise do modelo foram executadas?

- Indicar quais atividades de análise foram executadas:

Qual?	Sim/não	Comentários
Rodada com parâmetros default	Sim	Rodadas iniciais com os parâmetros default foram realizadas em uma etapa inicial para calibração das malhas a serem utilizadas.
Teste de comportamento global/estabilidade	Sim	Rodadas iniciais apontaram instabilidade na propagação de casos com direções próximas à orientação das isóbatas. As malhas foram calibradas com relação a direção e espaçamento para evitar tais tipos de instabilidade.
Análise de sensibilidade	Não	
Calibração	Sim	Malhas foram calibradas para evitar instabilidades numéricas.

Análise de incerteza	Não	
Validação	Não	Sem dados disponíveis.

3.2 Fazer uma análise geral do modelo

3.2.1 Rodar com *input* default

Descrever o <i>input</i>	<p>Caso médio de onda:</p> <p>Hs=1,5m</p> <p>Diferentes direções: 45°, 180°, 135°</p>
Como foi o progresso da rodada?	<p>As malhas representaram bem o comportamento das ondas, podendo ser verificada a perda de energia pela difração de ilhas e promontórios.</p> <p>Em Ingleses observou-se a instabilidade numérica na propagação de ondas de nordeste no contorno norte. Para que o efeito não interferisse nas ondas que chegam à praia, os contornos foram afastados da área de interesse.</p>
Os resultados são compreensíveis e próximos de uma calibração?	Sim.

3.2.2 Teste de comportamento global

- Que mudanças de característica foram testadas com o intuito de verificar o comportamento/estabilidade do modelo (timestep, resolução de grade, mais nutrientes, tipo de sedimento, etc.):

Resolução das malhas.

3.3 Análise de sensibilidade

Foi realizada alguma análise de sensibilidade, e, se sim, com que parâmetros?	Não.
Valores sensíveis (incluindo parâmetros) são:	-
Valores não sensíveis são:	-

3.4 Calibração

Realizou-se calibração?	Sim.
Como foi feita a escolha de fatores a serem calibrados?	- A calibração do modelo ocorreu com variação das direções e resolução das malhas utilizadas. (Além destes parâmetros, o modelo permite a calibração com aos modelo de dissipação de energia por atrito e pela quebra de ondas. Estes não foram calibrados por não haver dados disponíveis que permitissem a verificação daquele

	que demonstra o melhor desempenho.)
Que medida foi usada para determinar o progresso e o resultado da calibração?	Os resultados do modelo foram avaliados em mapas com a distribuição espacial de Hs e vetores de direção.
Que método e/ou pacote foi usado	Análise visual dos resultados.
Qual critério foi usado para parar a calibração?	Os resultados foram considerados satisfatório no momento em que os mapas apresentaram valores estáveis e os vetores apresentaram comportamento dentro do considerado normal.
Atendeu o critério definido anteriormente?	Sim.
Realizou-se análise de erros residuais?	Não.
Os erros residuais são sistemáticos?	Não.
Quanto tempo (em dias homem) foi gasto na	Em torno de 7 meses.

calibração?	
Aonde se encontram todas as rodadas de calibração no servidor?	PC SMC-Brasil: B:\PAULA\01_MESTRADO_PAULA_2012\03_temp\ Base_Floripa_barra_ingleses
Aonde se encontram o arquivo <i>README</i> descrevendo a evolução do processo de calibração?	PC SMC-Brasil: B:\PAULA\01_MESTRADO_PAULA_2012\03_temp
Alguma lição especial foi aprendida durante esta calibração?	Malhas maiores evitam a apresentação de instabilidades numéricas na área de interesse. Deve-se sempre tentar afastar o máximo possível (sem perder resolução mínima) os contornos das malhas.

3.5 Análise de incerteza

Foi feita uma estimativa das incertezas nos resultados do modelo?	Não.
As análises de incerteza foram conduzidas com base em uma análise de covariância?	-
As análises de incertezas foram realizadas de maneira diferente?	-

3.6 Validação do modelo

Os resultados do modelo calibrado foram comparados com dados medidos diferentes dos usados na calibração?	Não.
Caso contrario, por que não?	Não havia séries de ondas disponíveis para comparação.

ETAPA 4: SIMULAÇÕES DE PRODUÇÃO

Este formulário foi atualizado por:	Data
Paula Gomes da Silva	05/07/2014

4.1 descrever as eventuais rodadas de produção em termos de:

Dados de entrada utilizados	Dados de onda e nível da base de dados do SMC-Brasil
A versão (calibrada) do modelo utilizada foi:	SMC 3.0 (MOPLA)
O(s) período(s) simulados foram:	1948-2008
Quem executou as rodadas de produção?	Paula Gomes da Silva e Charline Dalinghaus
Quantos cenários de produção foram simulados?	Ingleses: 399699 Moçambique-Barra da Lagoa: 524069
Aonde as rodadas de produção foram armazenadas?	Computador SMC Brasil (LOC) HD SMC Brasil (LOC)

	<p>HD externo pessoal (Paula Gomes)</p> <p>Todos em:</p> <p>“...PAULA\01_MESTRADO_PAULA_2012\04_dados_finais”</p>
<p>Aonde se encontram o arquivo <i>README</i> descrevendo as rodadas de produção?</p>	<p>Todos em</p> <p>“...PAULA\01_MESTRADO_PAULA_2012\04_dados_finais”</p>

4.2 Verificar os resultados

<p>Os resultados das rodadas de produção estão dentro das expectativas do razoável?</p>	<p>Sim.</p>
<p>Caso contrário, que resultados inesperados foram encontrados nos resultados?</p>	<p>-----</p>
<p>Existem indicadores de erros numéricos (discretização no espaço e tempo) e, se sim, quais são eles?</p>	<p>Alguns casos apresentam indicadores de erros numéricos (intensificação de vetores junto às fronteiras das malhas).</p>

4.3 Isso é tudo?

Que requerimentos de qualidade não foram atendidos?	Nenhum
Quais dos dados necessários não foram disponibilizados?	Dados de ondas em águas rasas não estava disponíveis para a validação do modelo
O número de observações e medições foi suficiente para o projeto de modelagem?	Sim
A discretização no espaço e no tempo foi escolhida bem?	Sim
Foi escolhido o modelo ou programa de modelagem correto?	Sim
A escolha da esquematização numérica das condições de contorno foi adequada?	Sim
A implementação do modelo pode ser melhorada? Se sim, como?	Maior detalhamento de dados batimétricos.
Que análises dos resultados do modelo forem efetuadas?	Análise dos resultados de altura de onda, efeitos da refração e difração na direção de propagação das ondas.

O modelo atende o escopo requerido pelo modelo?	Sim
As rodadas, destinadas a encontrar respostas às perguntas feitas, levaram em consideração qualquer incerteza nos resultados?	Sim
O que mais pode ser notado no projeto de modelagem?	-----

ETAPA 5: INTERPRETAR OS RESULTADOS

Este formulário foi atualizado por:	Data
Paula Gomes da Silva	05/07/2014

5.1 Descrever os resultados

<p>Onde podem ser encontrados os resultados e uma descrição dos resultados?</p>	<p><u>Resultados:</u> HD Externo SMC-Brasil (LOC) PC SMC-Brasil (LOC) HD Externo Pessoal (Paula Gomes) Todos em: "...PAULA\01_MESTRADO_PAULA_2012\03_temp"</p> <p><u>Descrição</u> Dissertação Paula Gomes</p>
---	--

5.2 Discutir os resultados

Resultados inesperados foram encontrados?	Não
Os resultados inesperados podem ser explicados?	-----

Outros pontos de crítica com relação aos resultados da rodadas de produção?	Alguns casos de onda propagados até a praia de Ingleses apresentaram instabilidade numérica em zonas próximas ao contorno. O problema foi evitado com o afastamento dos contornos da área de interesse.
---	---

5.3 O objetivo foi alcançado?

Em que pontos o objetivo foi alcançado?	Visualização dos processos de refração e difração das ondas incidentes na área de estudo. Atenuação da energia de onda a medida que a profundidade diminui.
Em que pontos o objetivo não foi alcançado?	-----
O cliente está satisfeito?	Sim

5.4 Sumarizar os resultados

O sumário executivo do projeto de modelagem é o seguinte (copiar sumário executivo do relatório)	Não existe um sumário executivo de modelagem
--	--

ETAPA 6: REPORTAR E ARQUIVAR O PROJETO DE MODELAGEM

Este formulário foi atualizado por:	Data
Paula Gomes da Silva	05/07/2014

6.1 Reportando

O relatório usa os padrões deste guia	Completamente /parcialmente/não em todos
Existe um relatório do projeto de modelagem?	Dissertação Paula Gomes da Silva
Existirá algum relatório científico adicional do projeto de modelagem? Se sim, em que jornal?	Sim. A etapa de calibração do modelo foi transformada em artigo científico e submetida para aceitação no periódico <i>Anais da Academia Brasileira de Ciências</i> .

6.2 Outras documentações

Existe uma descrição completa do modelo?	Sim – Manuais de Referência e Manuais do Usuário
Que outras anotações internas existem?	-----

Onde os registros do projeto de modelagem estão salvos?	HD Externo SMC-Brasil (LOC) PC SMC-Brasil (LOC) HD Externo Pessoal (Paula Gomes) Todos em: “...PAULA\01_MESTRADO_PAULA_2012”
---	--

MODELO CONCEITUAL- OLUCA SP

- Objetivo da Modelagem

Propagar os parâmetros (Hs, fp e Dir) do espectro de ondas de águas profundas até águas rasas na costa norte e nordeste da ilha de Santa Catarina.

-Processos Envolvidos

Propagação de ondas até águas rasas (refração, difração, empolamento, dissipação por fricção, dissipação por quebra, reflexão).

- Escala Temporal

Escala de Eventos (horas) – maré/onda

- Escala Espacial

Dependendo da localização do ponto de dados de ondas em águas profundas, pode variar de escala local (quilômetros) para escala regional (centenas de quilômetros).

- Tipo de modelo

2DH.

- Aproximação Numérica

Utiliza a EQUAÇÃO PARABÓLICA DA PENDENTE SUAVE. Esta equação leva em conta algumas aproximações e apresenta certas limitações:

- Assume que o fluido é não viscoso, incompressível e de densidade constante;
- Assume que o fluxo é irrotacional e estacionário;
- Pressão é constante em toda a superfície livre modelada;
- Não considera a ação do vento
- Não considera a ação de Coriolis.

- Variações no fundo são pequenas se comparadas ao comprimento de ondas. Para que o modelo obtenha resultados com alto desempenho, a declividade máxima indicada é de 1:3.
- Não linearidade fraca;
- Aproximação parabólica: As componentes se propagam principalmente em uma direção (x). A solução é tanto melhor quanto menor for a variação em relação a x.

Obs:1-Fluido não viscoso. É desprezada a fricção interna entre as distintas partes do fluido

2.-Fluxo estacionário. A velocidade do fluido em um ponto é constante com o tempo

3.-Fluido incompressível. A densidade do fluido permanece constante com o tempo

4.-Fluxo irrotacional. Não apresenta turbilhões, logo, não há momento angular do fluido relativo a qualquer ponto.

- Equações

Propagação de Ondas: Parabólica da Pendente Suave.

Equações de Dissipação por Quebra – Batjes e Jansen (1978), Thornton e Guza (1983), Rattanapitikon e Shibayama (1998).

- Resultados Esperados (Hipóteses do Modelo)

Espera-se que o modelo represente com clareza os processos de refração e difração nas feições batimétricas, sendo possível observar os padrões de atenuação de energia na área de estudo.

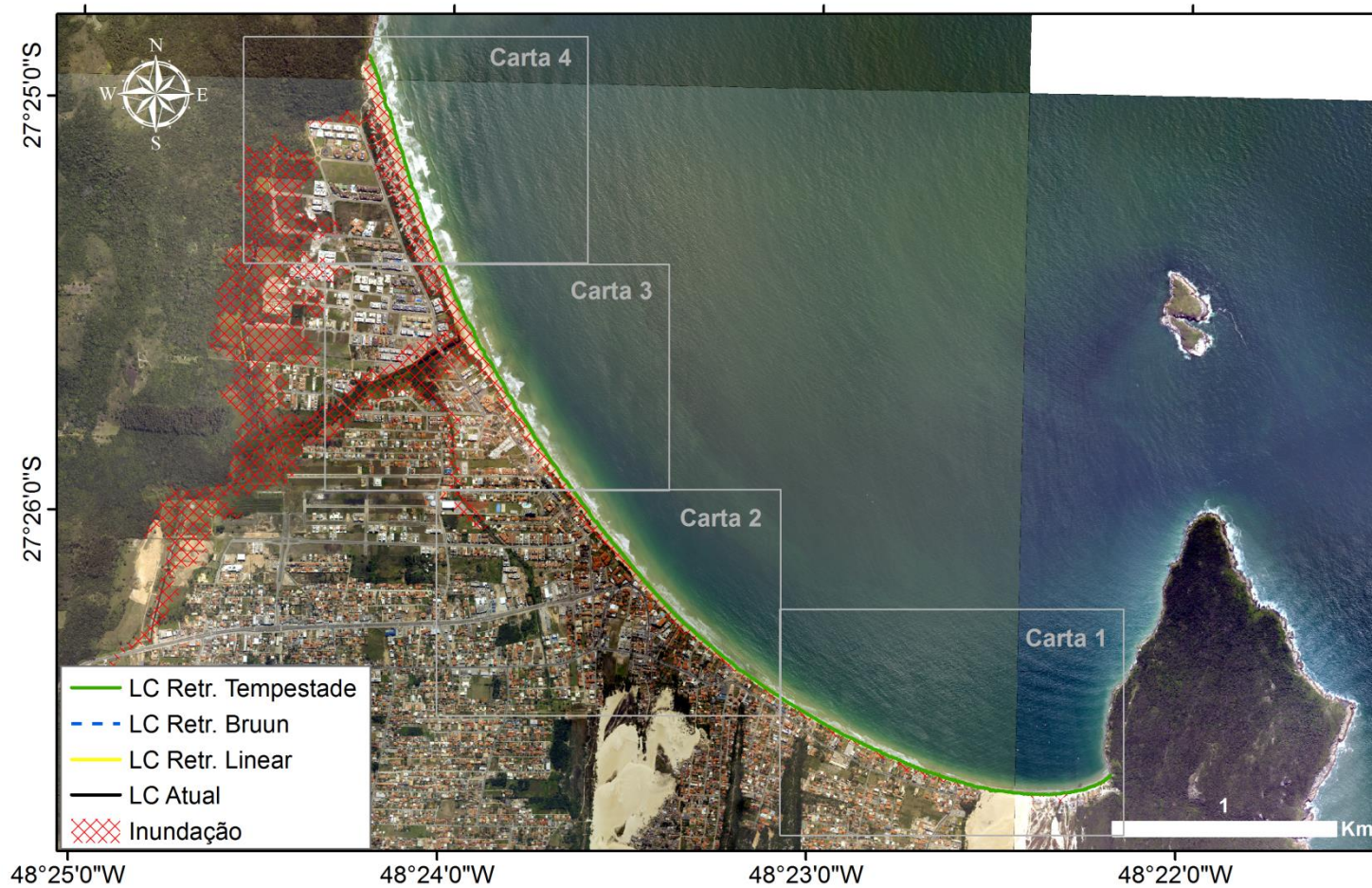
As simulações devem apresentar a influência dos promontórios na direção de propagação da onda. Ao propagar ondas através de ilhas, a energia deve ser atenuada apresentando uma zona de sombra a sotamar com padrões de gradiente de altura de onda intrínsecos dos processos de difração. A refração deve ser representada nos locais

com gradientes batimétricos perpendiculares ao trem de ondas, alterando sua direção e magnitude.

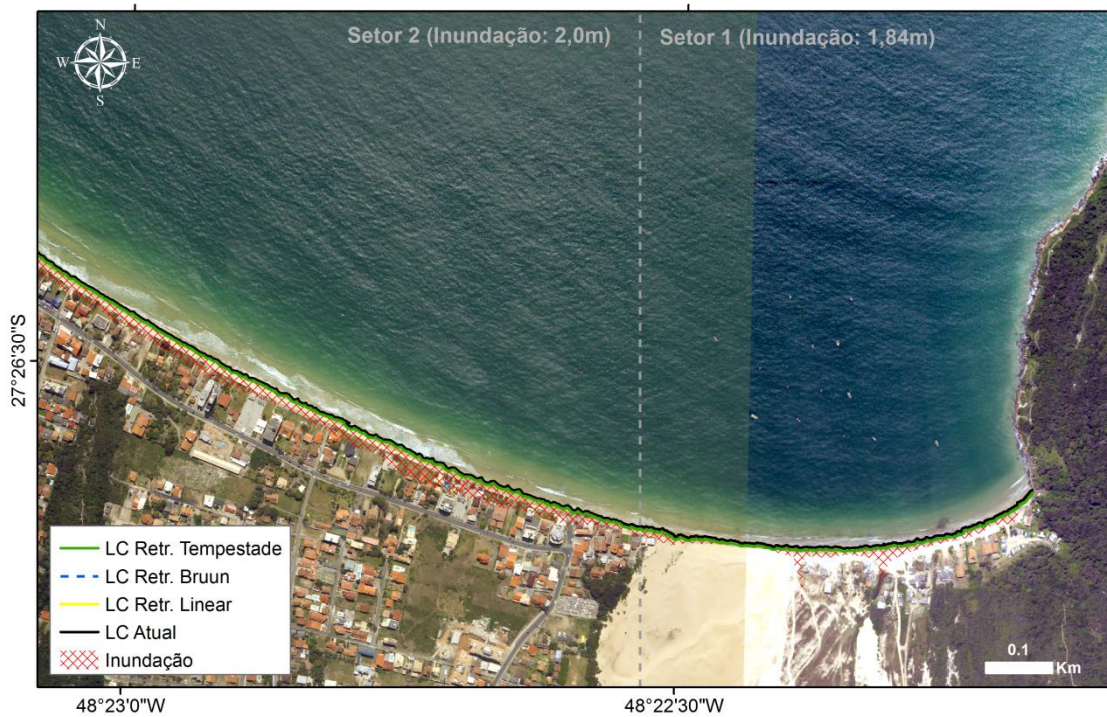
**APÊNDICE E – MAPAS DE EXPOSIÇÃO À INUNDAÇÃO E RETRAÇÃO DA
LINHA DE COSTA**

PRAIA DE INGLESSES:

INUNDAÇÃO E RETRAÇÃO DA LINHA DE COSTA
INGLESES
CENÁRIO: 5 ANOS



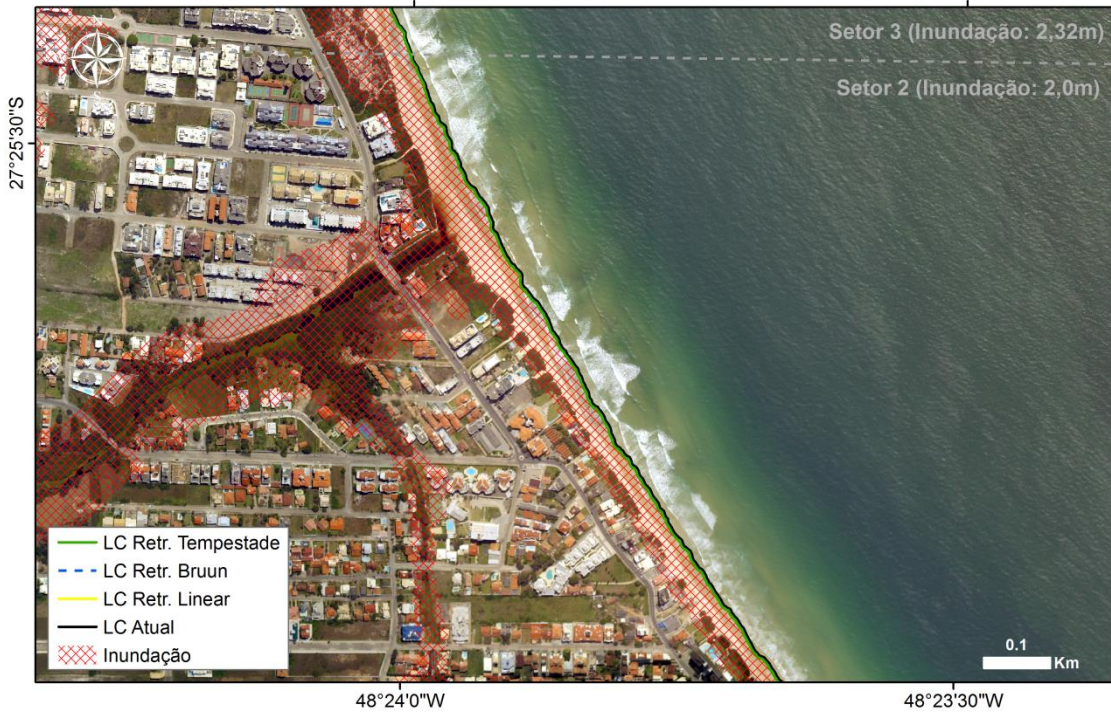
IINGLESES (CENÁRIO: 5 ANOS)
CARTA 1



IINGLESES (CENÁRIO: 5 ANOS)
CARTA 2



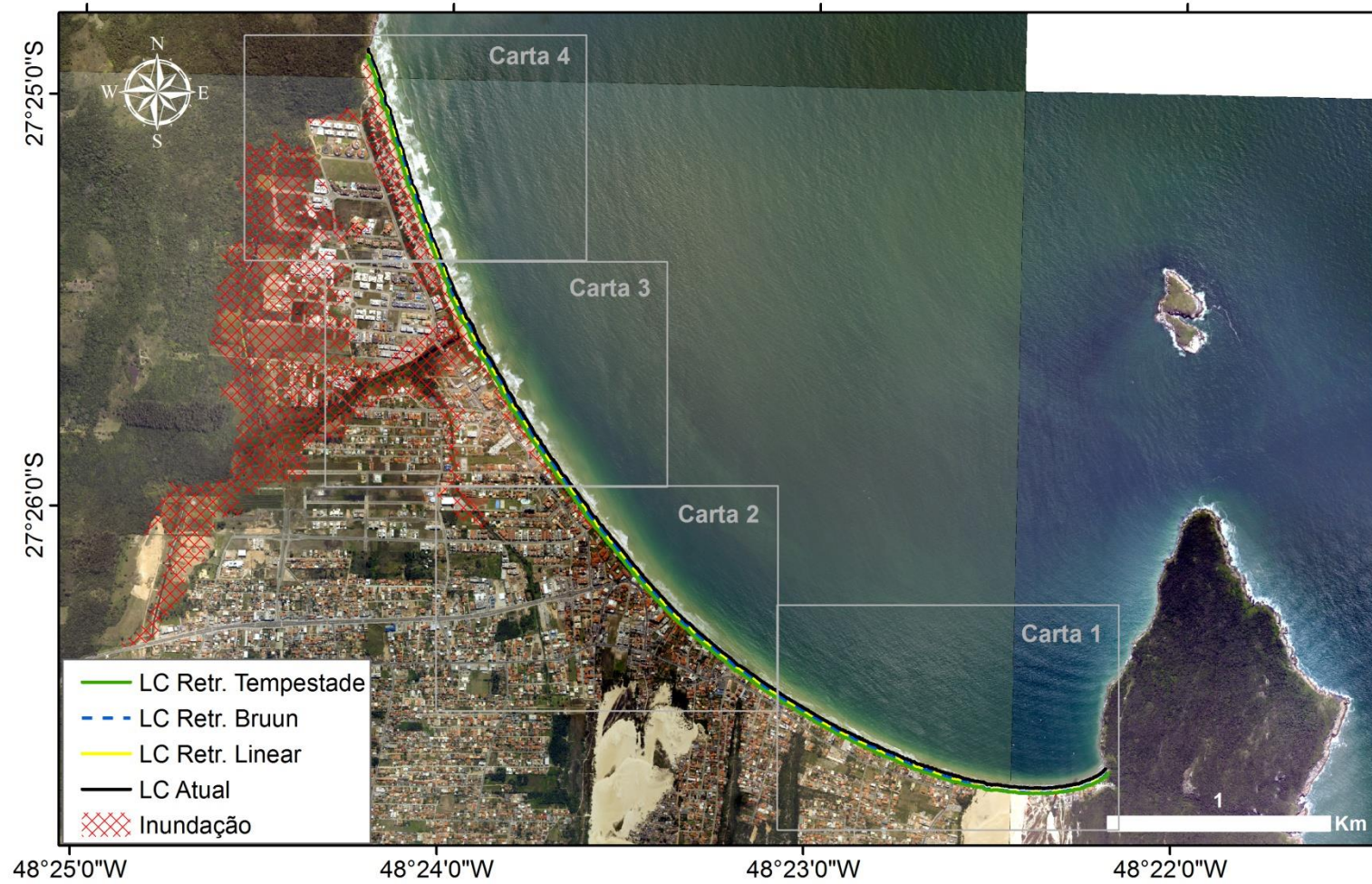
IINGLESES (CENÁRIO: 5 ANOS)
CARTA 3



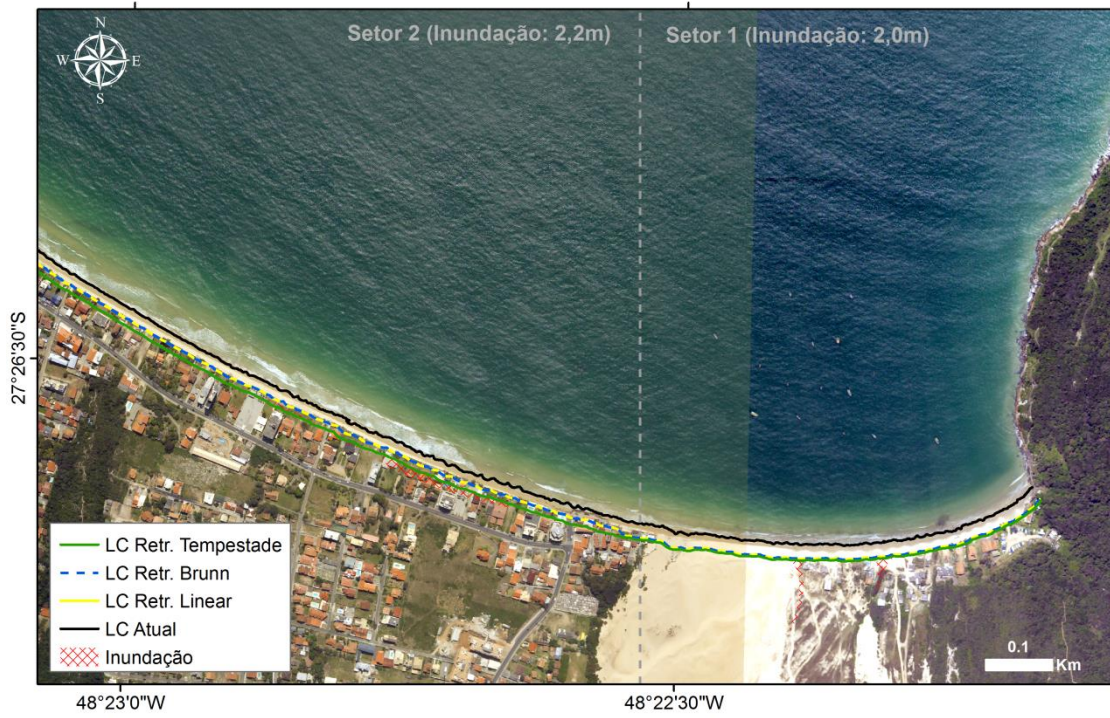
IINGLESES (CENÁRIO: 5 ANOS)
CARTA 4



INUNDAÇÃO E RETRAÇÃO DA LINHA DE COSTA
INGLESES
CENÁRIO: 25 ANOS



IINGLESES (CENÁRIO: 25 ANOS)
CARTA 1



IINGLESES (CENÁRIO: 25 ANOS)
CARTA 2



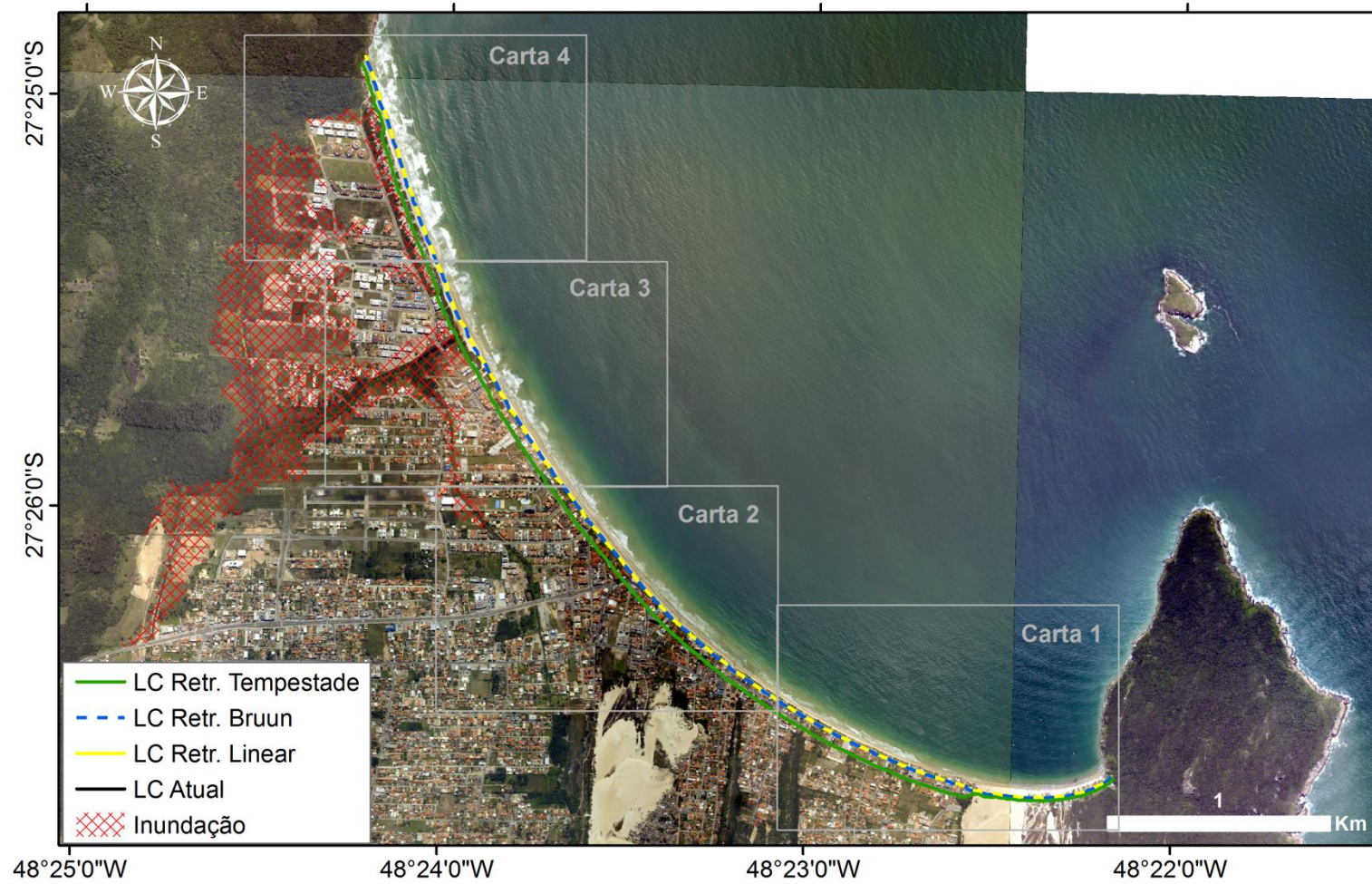
IINGLESES (CENÁRIO: 25 ANOS)
CARTA 3



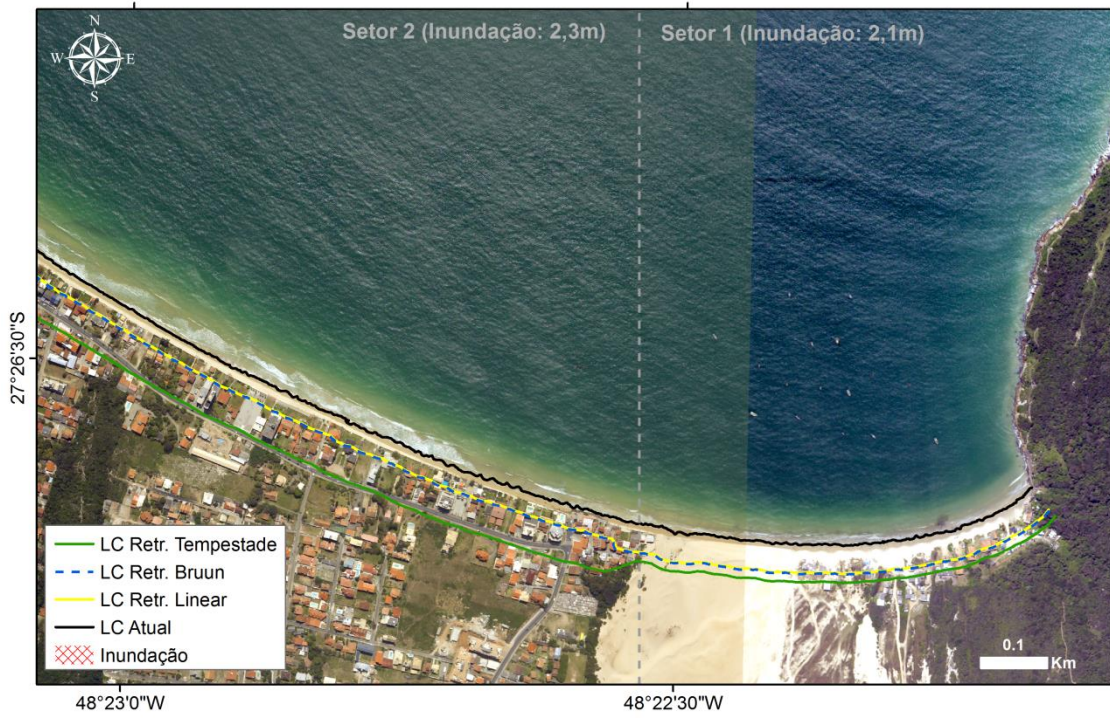
IINGLESES (CENÁRIO: 25 ANOS)
CARTA 4



INUNDAÇÃO E RETRAÇÃO DA LINHA DE COSTA
INGLESES
CENÁRIO: 50 ANOS



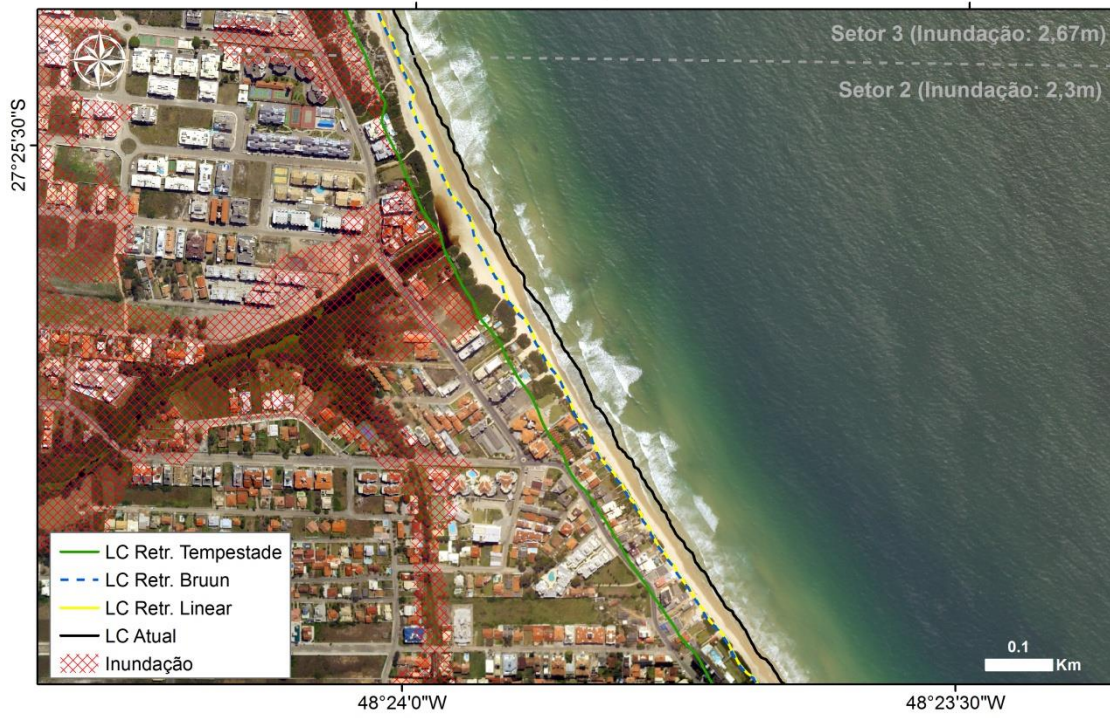
IINGLESES (CENÁRIO: 50 ANOS)
CARTA 1



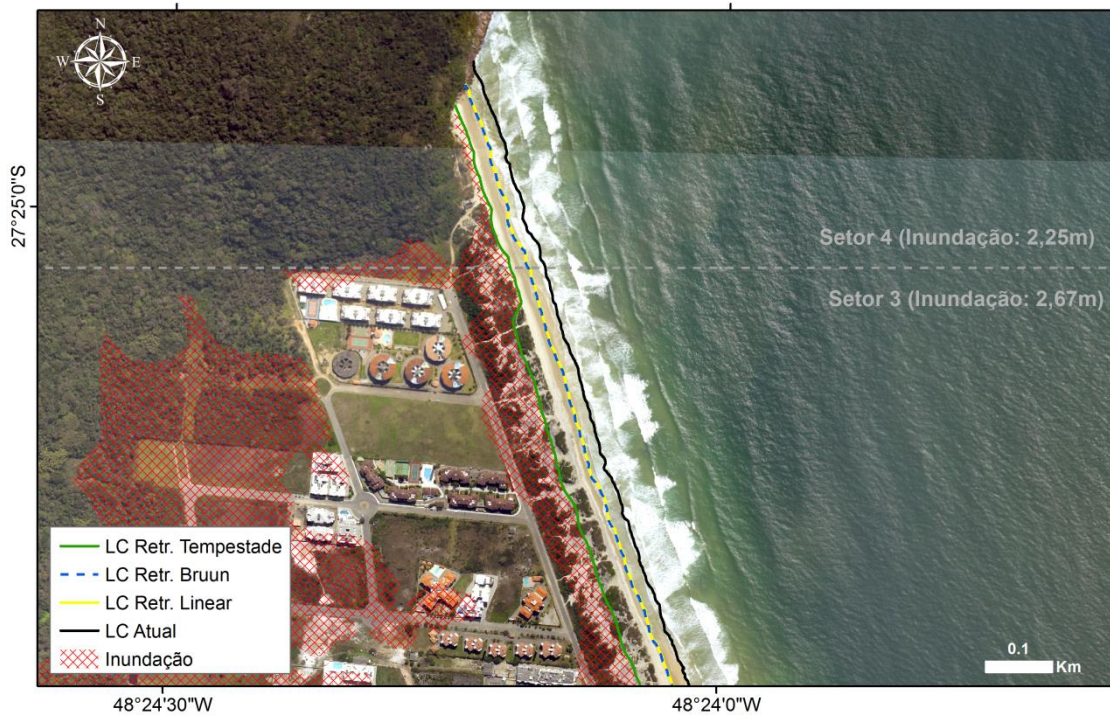
IINGLESES (CENÁRIO: 50 ANOS)
CARTA 2



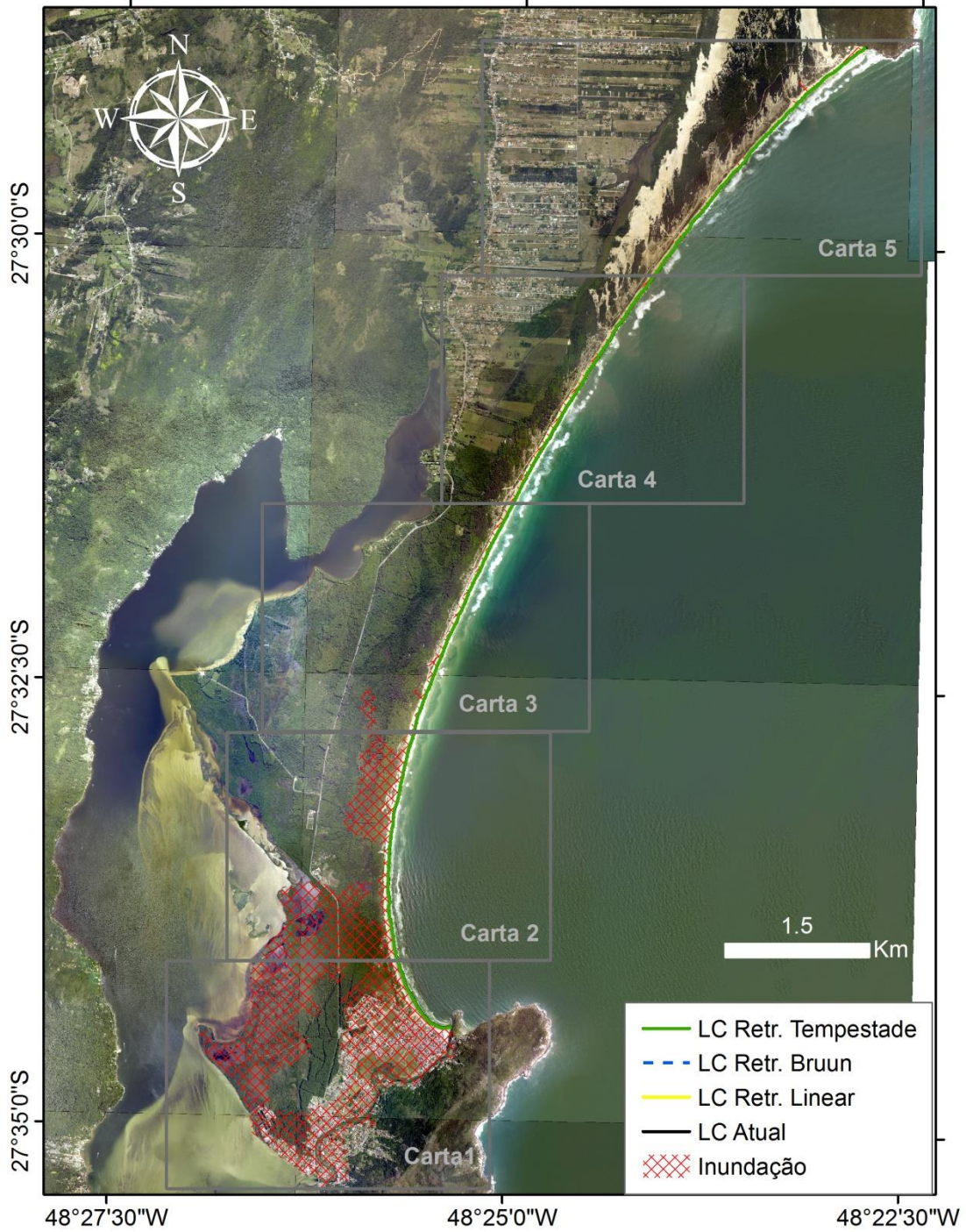
IINGLESES (CENÁRIO: 50 ANOS)
CARTA 3



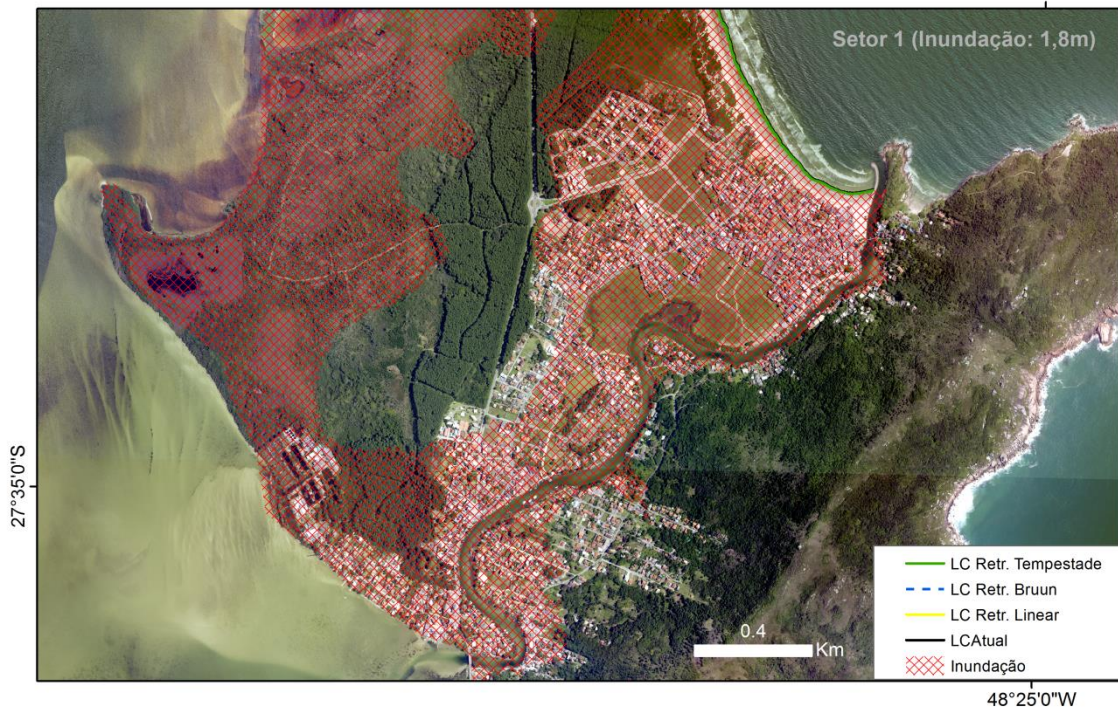
IINGLESES (CENÁRIO: 50 ANOS)
CARTA 4



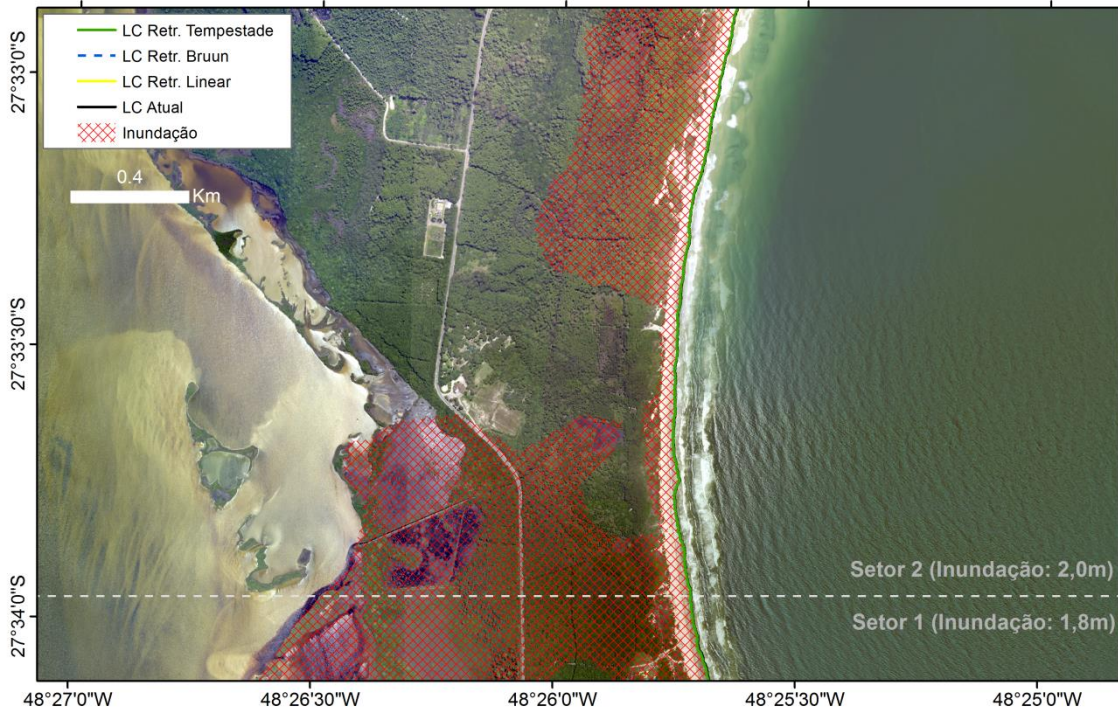
INUNDAÇÃO E RETRAÇÃO DA LINHA DE COSTA
MOÇAMBIQUE E BARRA DA LAGOA
CENÁRIO: 5 ANOS



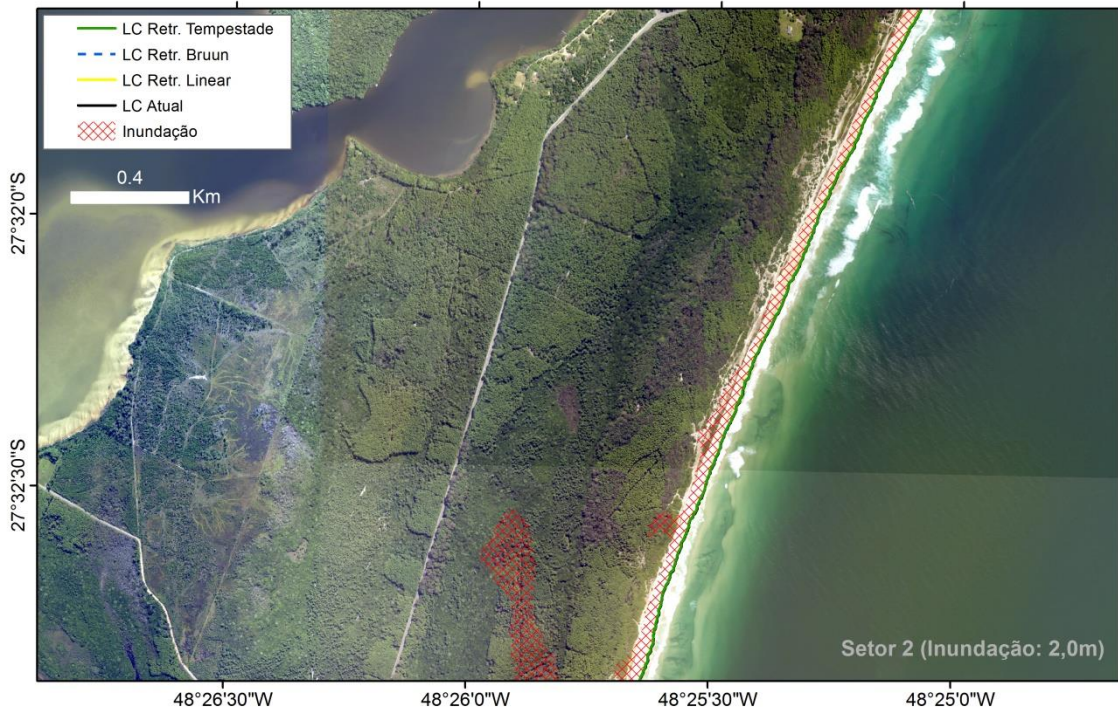
MOÇAMBIQUE - BARRA DA LAGOA (CENÁRIO : 5 ANOS)
CARTA 1



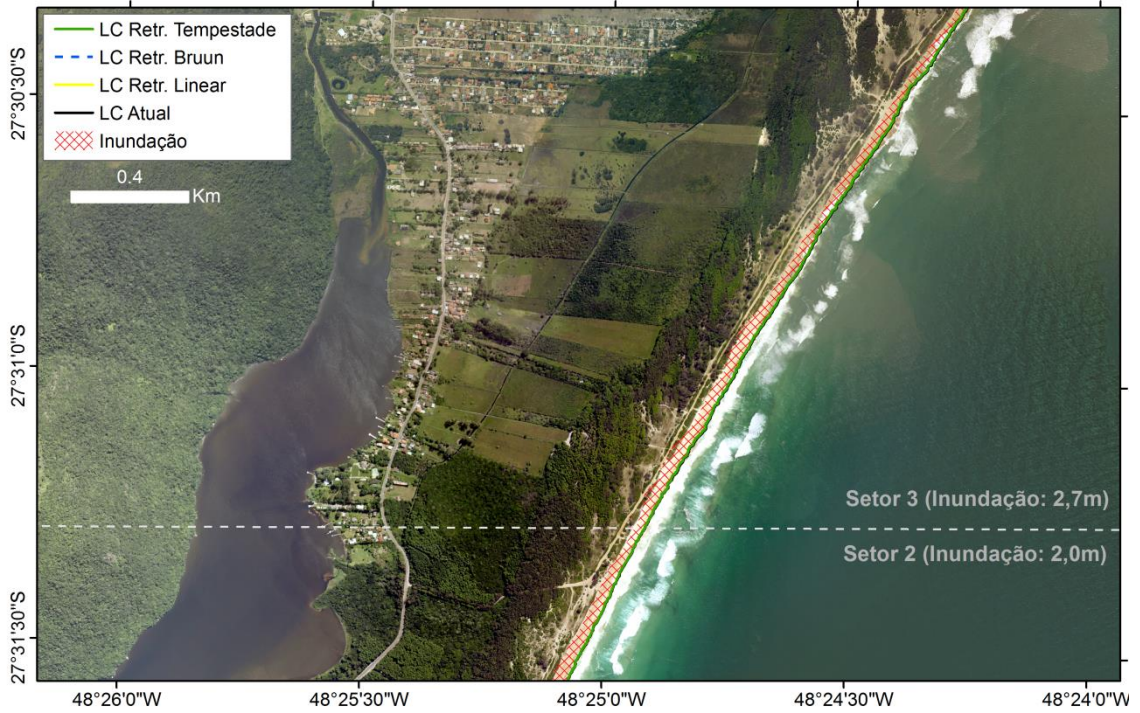
MOÇAMBIQUE - BARRA DA LAGOA (CENÁRIO : 5 ANOS)
CARTA 2



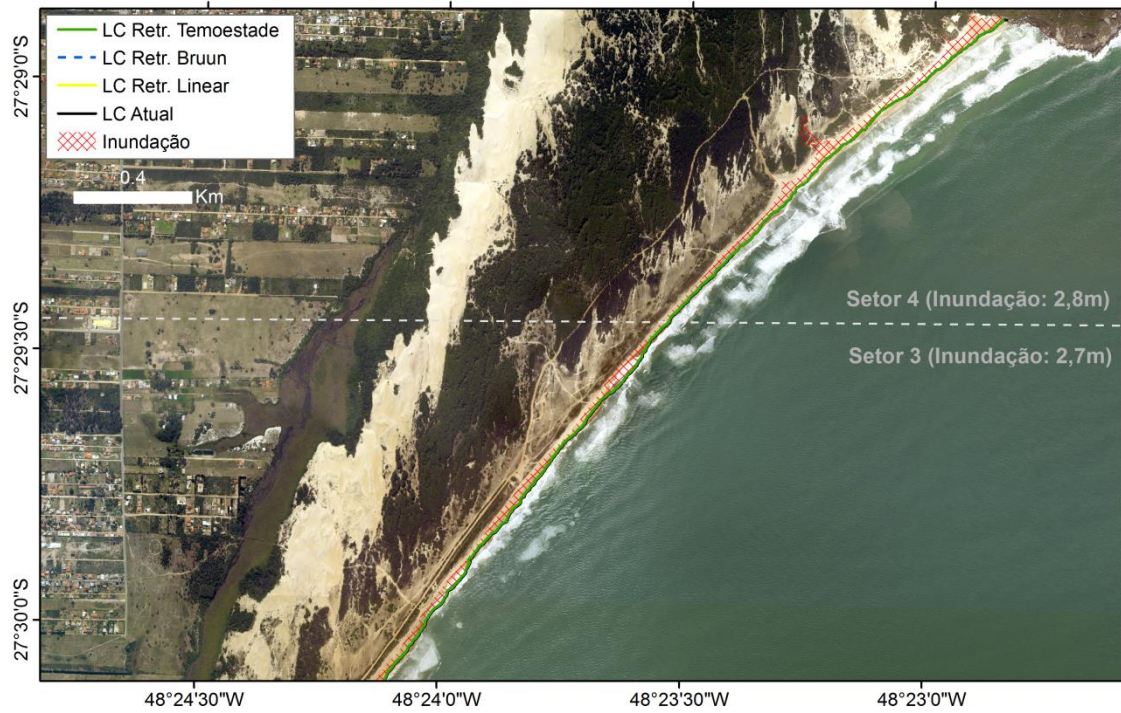
MOÇAMBIQUE - BARRA DA LAGOA (CENÁRIO: 5 ANOS)
CARTA 3



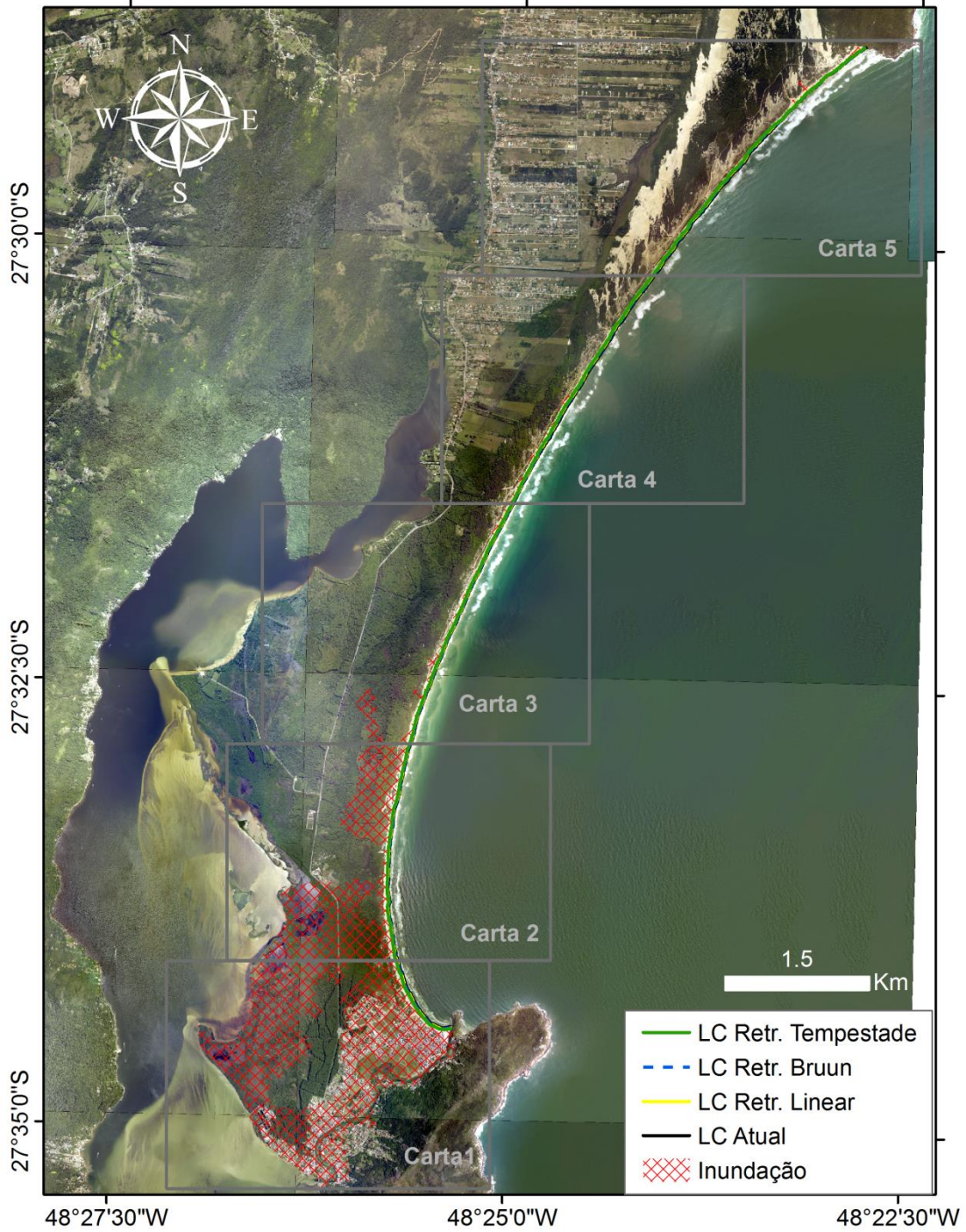
MOÇAMBIQUE - BARRA DA LAGOA (CENÁRIO: 5 ANOS)
CARTA 4



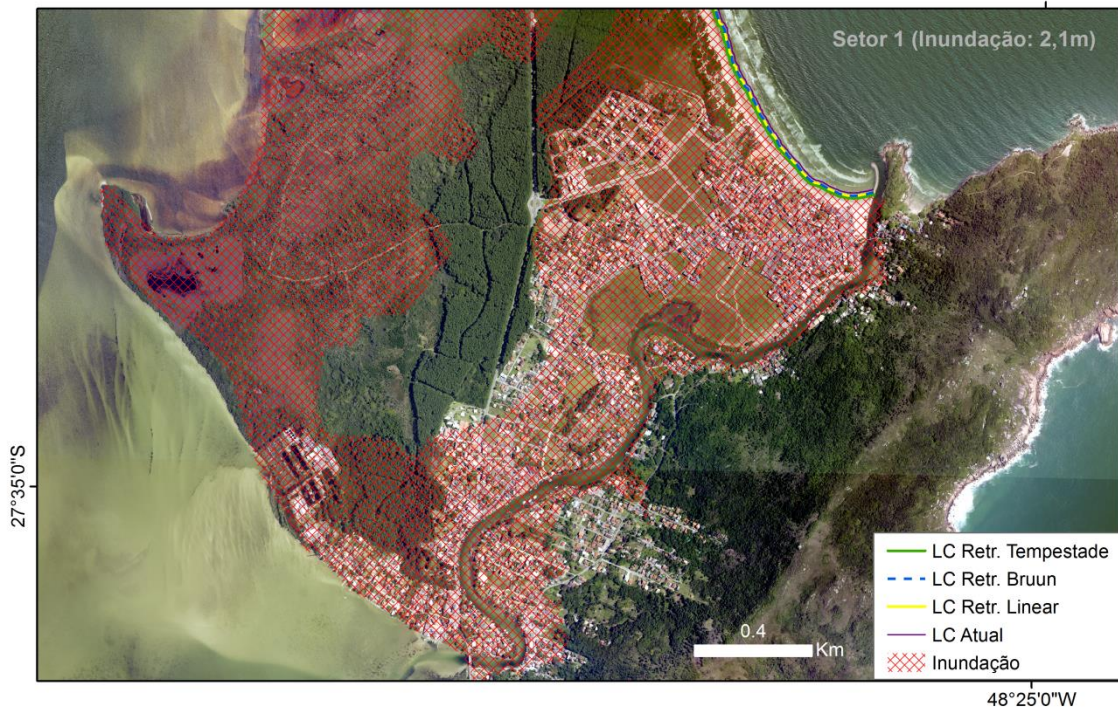
MOÇAMBIQUE - BARRA DA LAGOA (CENÁRIO: 5 ANOS)
CARTA 5



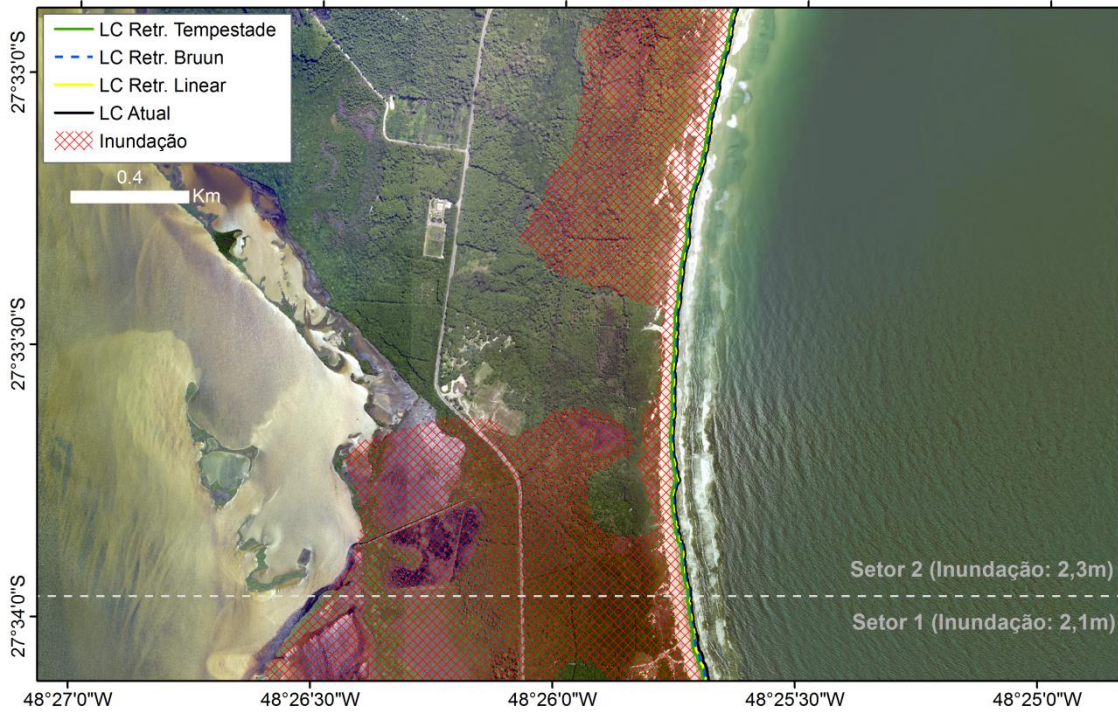
INUNDAÇÃO E RETRAÇÃO DA LINHA DE COSTA
MOÇAMBIQUE E BARRA DA LAGOA
CENÁRIO: 25 ANOS



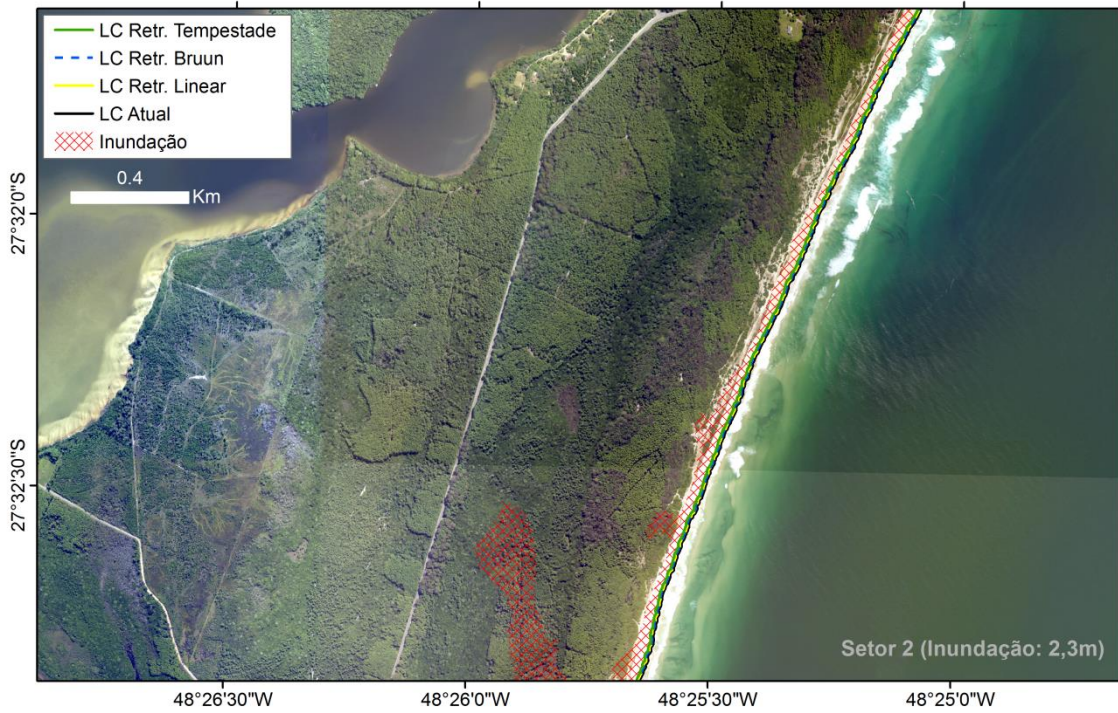
MOÇAMBIQUE - BARRA DA LAGOA (CENÁRIO : 25 ANOS)
CARTA 1



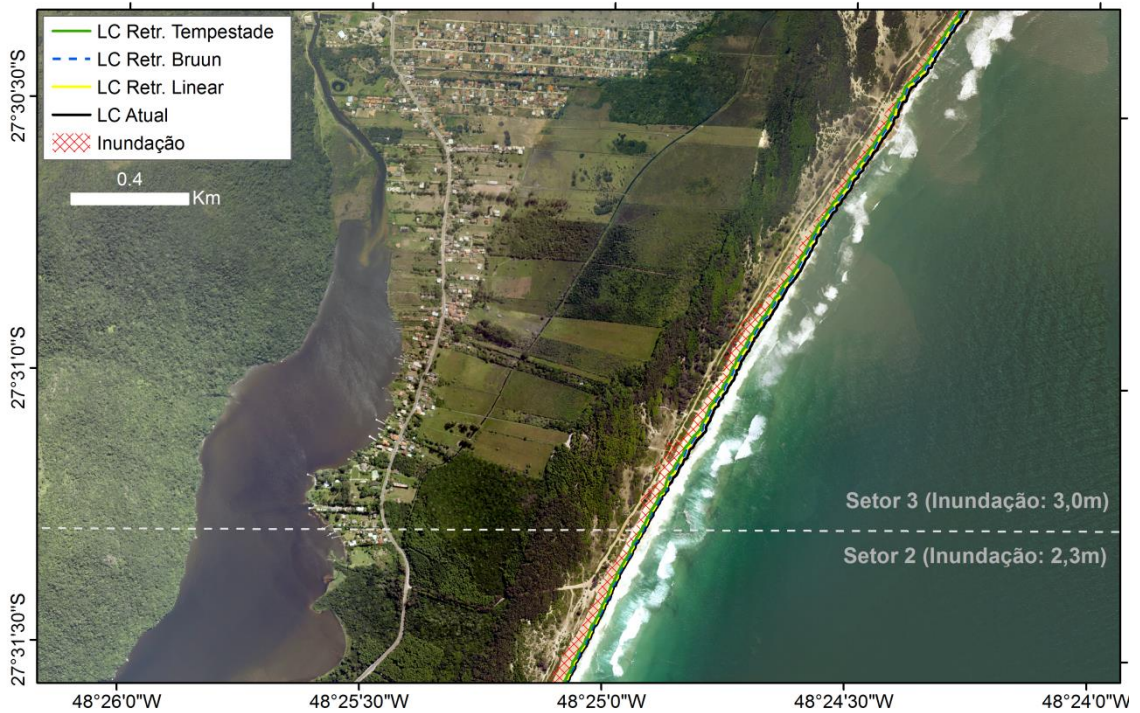
MOÇAMBIQUE - BARRA DA LAGOA (CENÁRIO: 25 ANOS)
CARTA 2



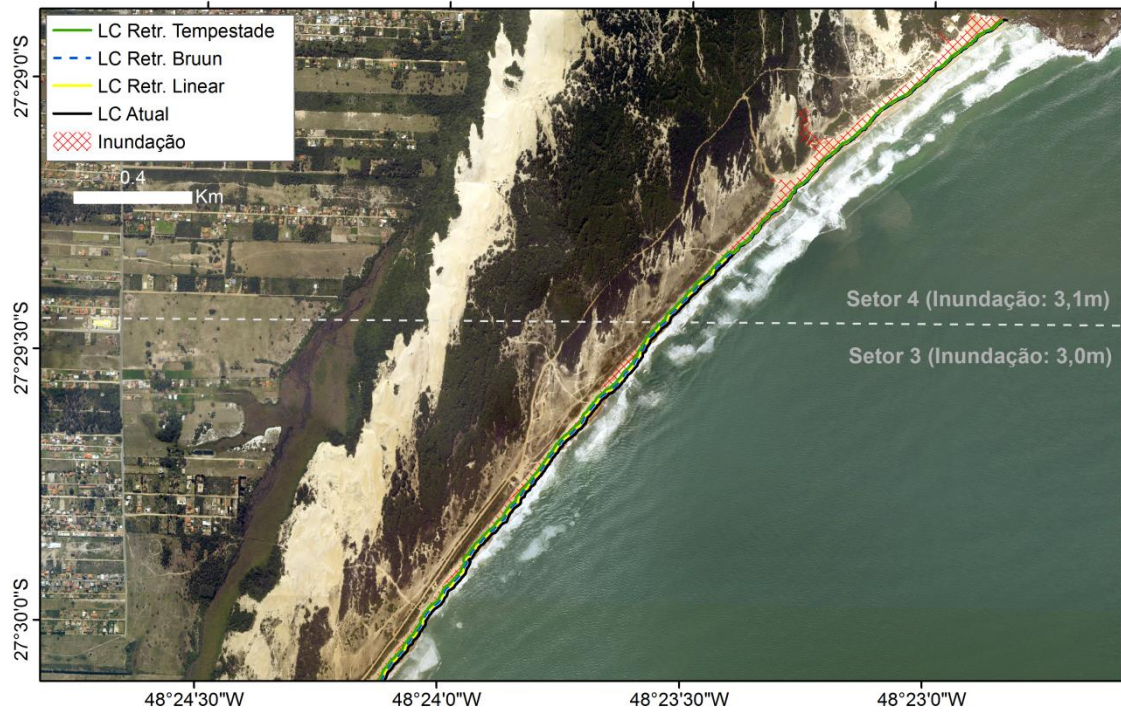
MOÇAMBIQUE - BARRA DA LAGOA (CENÁRIO: 25 ANOS)
CARTA 3



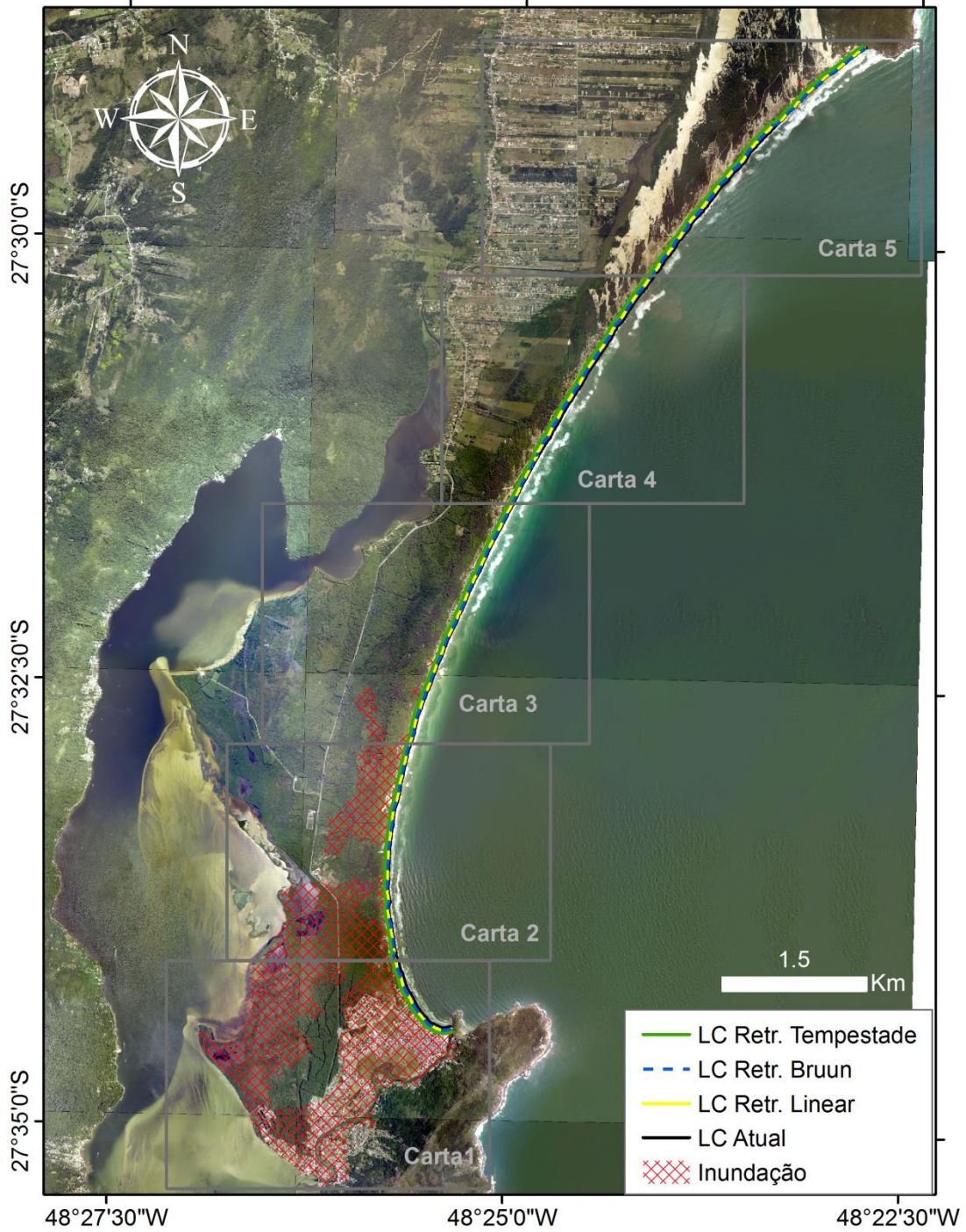
MOÇAMBIQUE - BARRA DA LAGOA (CENÁRIO: 25 ANOS)
CARTA 4



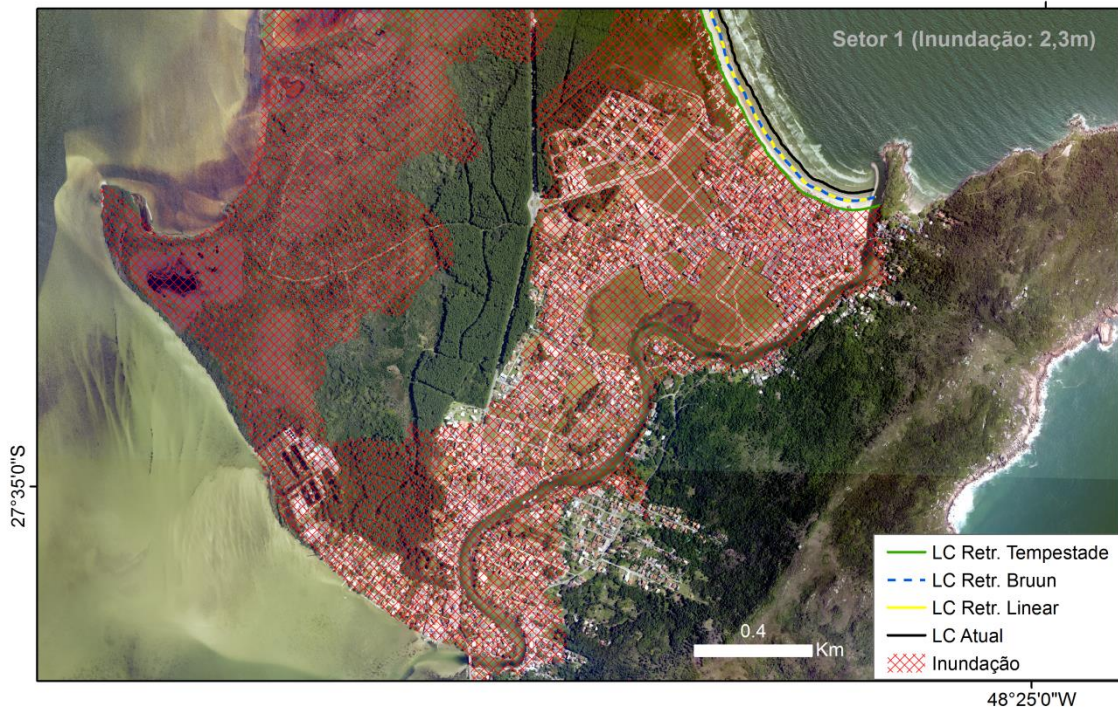
MOÇAMBIQUE - BARRA DA LAGOA (CENÁRIO: 25 ANOS)
CARTA 5



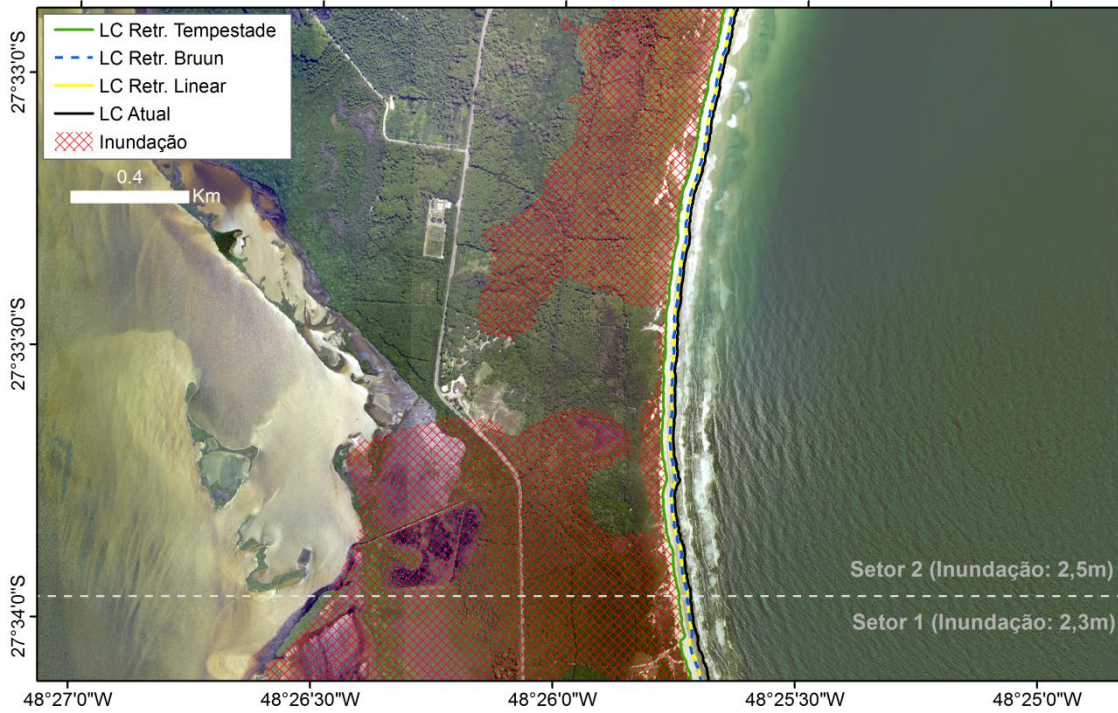
INUNDAÇÃO E RETRAÇÃO DA LINHA DE COSTA
MOÇAMBIQUE E BARRA DA LAGOA
CENÁRIO: 50 ANOS



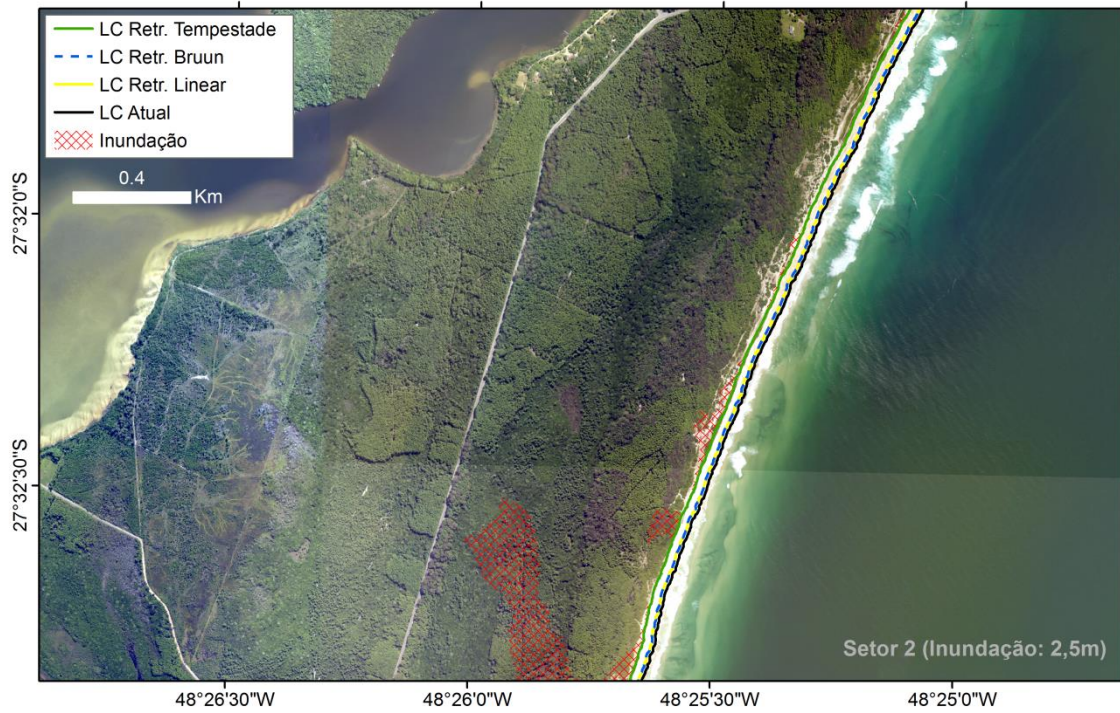
MOÇAMBIQUE - BARRA DA LAGOA (CENÁRIO : 50 ANOS)
CARTA 1



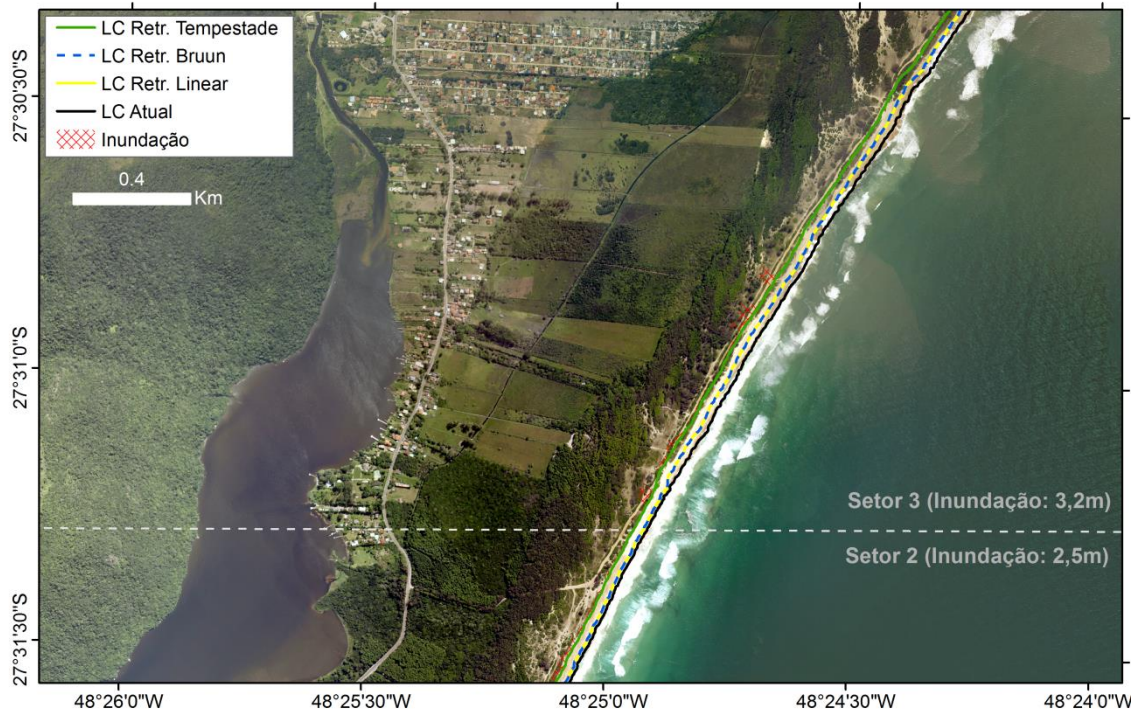
MOÇAMBIQUE - BARRA DA LAGOA (CENÁRIO: 50 ANOS)
CARTA 2



MOÇAMBIQUE - BARRA DA LAGOA (CENÁRIO: 50 ANOS)
CARTA 3



MOÇAMBIQUE - BARRA DA LAGOA (CENÁRIO: 50 ANOS)
CARTA 4



MOÇAMBIQUE - BARRA DA LAGOA (CENÁRIO: 50 ANOS)
CARTA 5

