



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ANÁLISE DE REGIMES EXTREMOS DE INUNDAÇÃO COSTEIRA NOS
BALNEÁRIOS CENTRAIS DO MUNICÍPIO DE JAGUARUNA – SC, COM O USO DO
SISTEMA DE MODELAGEM COSTEIRA (SMC-BRASIL)

JERUSA DA SILVA PEIXOTO

ORIENTADOR: Prof. Dr. Nelson Luiz Sambaqui Gruber
CO-ORIENTADOR: Profº. Dr. Antonio Henrique da Fontoura Klein

PORTO ALEGRE
2019

JERUSA DA SILVA PEIXOTO

ANÁLISE DE REGIMES EXTREMOS DE INUNDAÇÃO COSTEIRA NOS
BALNEÁRIOS CENTRAIS DO MUNICÍPIO DE JAGUARUNA – SC, COM O USO DO
SISTEMA DE MODELAGEM COSTEIRA (SMC-BRASIL)

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de
Pós-graduação em Geografia, como requisito para a
obtenção do título de Mestra em Geografia pela
Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

ORIENTADOR: Prof^o. Dr. Nelson Luiz Sambaqui Gruber

CO-ORIENTADOR: Prof^o. Dr. Antonio Henrique da Fontoura Klein - UFSC

Banca Examinadora:

Dr. Francisco Eliseu Aquino
Departamento de Geografia – UFRGS

Dra. Tatiana Silva da Silva
Departamento de Geodésia – UFRGS

Dra. Venisse Schossler
Centro Polar Climático - UFRGS

PORTO ALEGRE

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitor: Jane Fraga Tutikian

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Peixoto, Jerusa da Silva

Análise de regimes extremos de inundação costeira nos balneários centrais do município de Jaguaruna – SC, com o uso do Sistema de Modelagem Costeira (SMC-Brasil). / Jerusa da Silva Peixoto. – Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2019.
[90 f.].

Dissertação (Mestrado). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2019.

Orientador (es): Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Co-Orientador (es): Antonio Henrique da Fontoura Klein

1Cota de inundação. 2. Eventos Meteorológicos Extremos. 3. Inundação Costeira. I. Título.

CDU 911.2

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Renata Cristina Grun

CRB 10/1113

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Campus do Vale Av. Bento Gonçalves, 9500 - Porto Alegre - RS - Brasil CEP: 91501-970 / Caixa Postal: 15001.

Fone: +55 51 3308-6569

E-mail: bibgeo@ufrgs.br

DEDICATÓRIA

In memoriam da minha Mãe,
Eronita da Silva Peixoto,
foi sua dedicação, sabedoria e exemplo de dignidade e
amor à vida que me fez alcançar meus propósitos.
A lembrança da sua alegria e sorriso afável é uma
motivação para mim.

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial à minha irmã, Jaqueline Peixoto, ao meu Pai, Ildo Peixoto, e à Mara Franco, pela compreensão e incentivo.

Agradeço ao meu orientador, Nelson Gruber, pela oportunidade, dedicação e amizade adquirida ao longo dessa jornada. Ao co-orientador, Antonio Klein, pela disponibilidade, compartilhamento de conhecimentos e por conceder o LOC para o desenvolvimento desse estudo.

À oceanógrafa Charline Dalinghaus, pelos ensinamentos transmitidos, atenção e prestatividade. Sua cooperação e profissionalismo foi essencial para a produção deste trabalho.

À professora Flávia Farina, por sempre se mostrar disposta a ajudar, pelas suas sugestões e por, gentilmente, disponibilizar o Labmodel RAZ para o desenvolvimento desse estudo.

Aos professores (a) Tatiana da Silva Silva, Felipe Nievinski, Cláudio Mendes pelo auxílio técnico e sugestões.

Ao técnico do CECO José Nunes pelo auxílio prestado e sempre se mostrar disposto a dialogar sobre a pesquisa.

Ao geógrafo Eduardo Martins, pelo auxílio e prestatividade.

Aos colegas do Labmodel RAZ, em especial a Jeniffer, Mauella, Isabel, Tamiris pelo carinho e atenção.

Aos colegas do Labgerco, em especial a Marília, Cíntia, Ricardo, Reginaldo.

A equipe do LOC, em especial ao José Maurício pelos ensinamentos e atenção em sempre estar pronto a ajudar.

Ao oceanógrafo Matias Boll, da EPAGRI, pela atenção e fornecimento de informações.

Ao companheiro Alexandre, pelo amparo e cuidados.

Aos amigos (as) Rafael Braga, Sofia Royer, Cauana Kuhn, Laís.

A amiga Adriana Coelho e seu pequeno Antonio, pelo acolhimento e carinho durante o período em Florianópolis.

À UFRGS e à sociedade por me proporcionar um ensino de qualidade.

À CAPES por disponibilizar bolsa de pesquisa durante o mestrado.

RESUMO

O sistema costeiro consiste em um conjunto de fatores sujeito às marés, ventos, ondas, correntes oceânicas e o impacto das tempestades. Nesse sentido, o município de Jaguaruna (SC), situado em uma zona costeira, encontra-se sujeito aos impactos decorrentes das marés de tempestade. Assim, o presente estudo tem por objetivo analisar a amplitude das inundações costeiras oriundas dos eventos meteorológicos extremos, apresentando resultados de cotas de inundação extrema e a área urbana exposta aos eventos de inundação. A cota de inundação foi obtida a partir da soma da maré astronômica, maré meteorológica e do *runup*. Para tanto, a metodologia empregada consistiu em calcular valores de cota de inundação, utilizando a modelagem numérica SMC-Brasil, com uma base de dados de 60 anos (1948 a 2008) de ondas e marés, além da batimetria disponível na modelagem. A partir deste cálculo foram obtidos os valores de cota de inundação associados a regimes extremos de período de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos. Posteriormente, foi delimitado os regimes extremos de cotas de inundação para os respectivos anos, para tal foram utilizados dados topográficos de um Modelo Digital do Terreno (MDT), considerando os limites da inundação as áreas com valores topográficos menores que a cota de inundação. A análise da área urbana exposta a inundação se deu por meio da sobreposição da área urbana e da mancha de inundação, com o uso da ferramenta *Intersect*, disponível no *Software* ArcGis 10.6, tornando possível mensurar a área urbana atingida pelos regimes extremos de inundação. Também foi realizada apuração da área urbana atingida por um evento meteorológico extremo, com a busca de informações sobre inundações costeiras ocorridas na área de estudo, com isso, constatou-se que durante o evento meteorológico ocorrido em outubro de 2016, a amplitude da maré de tempestade alcançou a cota de inundação referente ao PR de 10 anos. Os resultados mostraram diferentes valores de cota de inundação ao longo da área, na porção norte os valores foram de 2,9 m e na porção sul os valores ficaram em 3,4 m, tomando como base o PR de 5 anos. Esses valores aumentaram gradativamente para os demais PR. A delimitação da mancha de inundação e posterior mensuração da área atingida demonstrou que o Balneário Campo Bom é o mais exposto a inundação costeira, em todos os períodos de retorno analisado. A metodologia empregada neste estudo se mostrou eficaz para realizar análise da amplitude das inundações costeiras. Por fim, consistem em ferramentas viáveis para auxiliar a gestão pública na tomada de decisões e no planejamento urbano, de forma que apontam as áreas atingidas por eventos extremos de inundação costeira, contribuindo assim, para o gerenciamento costeiro.

Palavras-chave: cota de inundação; eventos meteorológicos extremos; inundações costeiras.

ABSTRACT

The coastal system is a combination of factors susceptible to tides, winds, waves, ocean currents and the impact of storms. Since the city of Jaguaruna (SC) is located in a coastal zone, it is subjected to the impact caused by storm tides. This study aims at analysing the extension of coastal floods caused by extreme weather events and indicating the extreme flooding rates and the urban area exposed to such flooding events. The flooding rate was calculated by adding up high tides, storm surge, and the run-up. The methodology used consisted of calculating the flooding rate values by using the SMC-Brazil numerical modeling, a database of 60 years (1948-2008) of information on waves and tides and the bathymetry available in the model. From this estimate, we got the rates of flooding prompted by extreme regime in the return period of 5, 10, 25, 50 and 100 years. After that, we narrowed the flooding rates of extreme regime for the respective years, using a Digital Terrain Model (DTM) that equalled the flooding limits to the areas with topographic figures lower than the flooding rate. The analysis of the urban area exposed to the flood occurred through the overlapping of the urban area and the flooded spot, using the Intersect tool, available in the ArcGIS 10.6 Software, making it possible to measure the urban area affected by extreme flood regimes. It was also verified the urban area reached by an extreme meteorological event, with the search for information about coastal floods occurred in the study area, with that, it was verified that during the meteorological event occurred and October 2016, the amplitude of the storm surge reached the flood quota for the 10-year RP. The results have shown different values for the flooding rate throughout the area: in the north, the values were 2.9 m, and in the south, 3.4 m, considering a 5 year RP. These values rise gradually according to the RPs. The demarcation of the flooded spot and further measurement of the stricken area showed that Campo Bom Beach is the more susceptible one to coastal flood in all the RP assessed. The methodology used in this research has proven effective in analysing the range of coastal floodings. They are viable tools to help public administration in the decision-making and urban planning by pointing out the areas stricken by extreme events of coastal flood and helping in the management of coastal areas.

KEYWORDS: Inundation quote; extreme meteorological events; coastal floods

SUMÁRIO

Capítulo 1 - INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Contextualização	12
1.2 Justificativa.....	13
1.3 Objetivo Geral	15
1.3.1 Objetivos específicos.....	15
Capítulo 2 ÁREA DE ESTUDO	16
2.1 Aspectos físicos	18
2.2 Aspectos demográficos.....	22
Capítulo 3 - REFERENCIAL TEÓRICO.....	25
3.1 Morfodinâmica praial	25
3.2 Eventos Meteorológicos Extremos.....	27
3.3 Inundação costeira	28
3.4 Sistema de Modelagem Costeira (SMC - Brasil)	29
3.4.1 Modelo OLUCA-SP	30
3.4.2 Base de dados do SMC-Brasil	31
3.4.3 Análise de Regime Extremo	34
3.5 Perfil de Equilíbrio de DEAN	34
Capítulo 4 - METODOLOGIA	36
4.1 Elaboração das bases de dados	36
4.2 Delimitação da área de estudo	37
4.3 Determinação das cotas de inundação.....	39
4.3.1 Maré astronômica e Maré meteorológica	39
4.3.2 Modelo Numérico.....	40
4.3.3 <i>RUNUP</i>	48
4.3.4 Cálculo da cota de inundação (CI)	49

4.3.5 Regime extremo.....	50
4.4 Limitações da metodologia.....	50
4.5 Delimitação dos regimes de inundação	51
4.6 Verificação da área urbana atingida pelos regimes de inundação	53
Capítulo 5 - Resultados	55
5.1 Clima de ondas em águas profundas (Ponto DOW).....	55
5.2 Propagação de ondas	57
5.3 Reconstrução da Série em águas rasas	60
5.4 <i>Runup</i>	62
5.5 Cotas de inundação.....	63
Capítulo 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
ANEXOS – MAPAS TEMÁTICOS DE INUNDAÇÃO COSTEIRA	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Inundação costeira durante evento meteorológico extremo, no balneário Camacho, município de Jaguaruna, em outubro de 2016.....	14
Figura 2: Mapa de localização da área de estudo, compreendido pelos balneários centrais de Jaguaruna, entre Arroio Corrente e Esplanada.	17
Figura 3: Face de praia do Balneário Arroio Corrente..	20
Figura 4: Face de praia do Balneário Campo Bom.	21
Figura 5: Face de praia do Balneário Esplanada.	21
Figura 6: Representação esquemática do perfil praias.....	26
Figura 7: Esquema representativo dos componentes que constituem a cota de inundação.....	29
Figura 8: Pontos selecionados para a base de dados de maré meteorológica.....	32
Figura 9: Pontos selecionados para a base de dados de maré astronômica.	33
Figura 10: Carta-imagem da área de estudo com localização dos balneários..	38
Figura 11: Série de MA para a área de estudo.....	39
Figura 12: Série de MM para a área de estudo.	40
Figura 13: Localização do ponto DOW utilizado na propagação de ondas até águas rasas.....	41
Figura 14: Rosa direcional de altura de onda do ponto Dow.	41
Figura 15: Casos selecionados para a propagação até a praia.	43
Figura 16: Perfil de Equilíbrio (Perfil de DEAN) da área de estudo.....	44
Figura 17: Isolinhas de profundidade elaboradas para o processamento da batimetria.	45
Figura 18: Malha externa e acoplada (maior resolução) de Sul.	46
Figura 19: Malha externa e acoplada de Sudeste.	46
Figura 20: Malha externa e acoplada de Leste.	47
Figura 21: Perfis elaborados na modelagem numérica para a área de estudo.	49
Figura 22: Representação da correção da topografia.....	51
Figura 23: Verificação das curvas de nível do MDT e dos perfis praias.	52
Figura 24: Registro fotográfico de inundação costeira ocorrido na área de estudo em outubro de 2016.	54
Figura 25: Tabela estatística de Hs do ponto DOW.	55
Figura 26: Tabela estatística de Tp do ponto DOW.	56
Figura 27: Rosas de direções de ondas do ponto DOW para cada estação do ano	57
Figura 28: Caso de onda propagado nas praias centrais de Jaguaruna na malha com direção de Leste.	58

Figura 29: Caso de ondas propagado nas praias centrais de Jaguaruna na malha com direção Sudeste.....	59
Figura 30: Caso de ondas propagado nas praias centrais de Jaguaruna na malha com direção Sul.....	60
Figura 31: Caracterização do clima de ondas no ponto de análise (P04).....	61
Figura 32: Representação da altura média de onda em águas rasas (Ponto 04).....	62
Figura 33:Frequência de ocorrência de CI para o perfil 04.....	63
Figura 34:Gráficos com valores extremos e períodos de retorno das cotas de inundação dos perfis 01, 02, 03 e 04.	65
Figura 35:Gráficos com valores extremos das cotas de inundação dos perfis 05, 06 e 07.....	66
Figura 36: Representação gráfica dos balneários atingidos pela mancha de inundação em relação aos períodos de retorno.	69
Figura 37: Detalhe do Balneário Campo Bom.	70
Figura 38: Detalhe do Balneário Arroio Corrente.....	71
Figura 39:Detalhe do Balneário Esplanada.	72
Figura 40: Localização do registro de inundação costeira ocorrida em Jaguaruna.	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Coluna litoestratigráfica para os depósitos na planície costeira da área de estudo. .	19
Tabela 2: Valores médios do <i>runup</i> em cada perfil.....	62
Tabela 3: Valores extremos de CI relativos ao PR.....	67
Tabela 4: Área urbana total atingida conforme os períodos de retorno, em percentual.	68
Tabela 5: Balneários expostos a inundação para PR de 5 anos.	68
Tabela 6: Balneários expostos a inundação para o PR de 10 anos.	68
Tabela 7: Balneários expostos a inundação para o PR de 25 anos.	69
Tabela 8: Balneários expostos a inundação para PR de 50 anos.	69
Tabela 9: Balneários expostos a inundação para PR de 100 anos.	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CI - Cota de inundação

CECO – Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica

DHN - Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil

DOW – *Dowscaled Ocean Waves*

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

GOS - *Global Ocean Surge*

GOT - *Global Ocean Tide*

GOW - *Global Ocean Waves*

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IH Cantabria - Instituto de Hidráulica da Cantabria

INPH - Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*

LOC – Laboratório de Oceanografia Costeira

MA - Maré Astronômica

MM - Maré Meteorológica

MaxDiss - Máxima Dissimilaridade

MDT - Modelo Digital de Terreno

MDS – Modelo Digital de Superfície

NR - Nível de Referência

NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration*

RBF - *Radial Basis Function*

E - Leste

ESE – Leste - sudeste

S – Sul

SE – Sudeste

SSE – Sul – sudeste

SDS - Secretaria de Desenvolvimento Sustentável

SMC - Sistema de Modelagem Costeira

SWAN – *Simulating Waves Near Shore*

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

USP – Universidade de São Paulo

UHSLC - Universidade do Havai

Capítulo 1 - INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

O sistema costeiro consiste em um vasto ecossistema, uma interação com a vida no planeta e os sistemas da atmosfera, hidrosfera e litosfera, o que interfere consideravelmente na dinâmica da linha de costa (CHRISTOPHERSON, 2012). Ainda, segundo o autor, esse sistema é cenário para complexas flutuações das marés, ventos, ondas, correntes oceânicas e o impacto de eventos meteorológicos extremos (tempestades).

Devido às mudanças climáticas, os ambientes costeiros constituem as áreas do planeta mais afetadas (GAGLIARDI, 2013). Existindo ainda, o condicionante antrópico neste ambiente, pois, segundo o *Atlas of the Oceans* publicado pelas Nações Unidas em 2002, 44% da população mundial habita uma faixa de 150 km a partir do nível do mar e, ainda, 8 das 10 megalópoles do mundo estão localizadas na faixa costeira, ocasionando modificações profundas na sua dinâmica (GAGLIARDI, 2013). O mais recente relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014) estimou como pior cenário climático, com ritmo acelerado de crescimento das emissões de gases, um aquecimento da superfície da Terra entre 2,6° e 4,8°C ao longo deste século, o que acarretaria em uma subida do nível do mar entre 45 e 82 centímetros. Dentre os possíveis impactos citados pelo relatório, estão a intensificação de eventos meteorológicos extremos, ocasionando forte erosão nas regiões costeiras, grandes inundações e salinização da água doce, influenciando diretamente as populações que residem nas regiões costeiras.

Existe uma farta literatura científica que exhibe definições acerca dos eventos meteorológicos extremos. Bjerknes e Solberg (1922) foram pioneiros no modelo conceitual sobre ciclones extratropicais. Por meio de observações em superfície constataram a presença de sistemas de baixa pressão, sob forma de perturbações ondulatórias, com características de duas massas de ar distintas, uma de ar frio e outra de ar quente. Para Taljaard (1972), os ciclones extratropicais podem ser definidos enquanto eventos meteorológicos extremos, de características meteorológicas acentuadas, com fortes tempestades e ventos velozes. Ahrens (2008), também os denomina de tempestades ciclônicas de latitudes médias, por se formarem fora da região tropical, sobre as latitudes médias e altas (entre 30° e 60° N/S).

Durante a ocorrência dos eventos meteorológicos extremos há empilhamentos de ondas durante um curto período (CARTER, 1988). Entrementes, sucedem-se fortes ventos, precipitações torrenciais e inundações costeiras. A presente investigação focou, especificamente, sobre esta última. As inundações costeiras são geradas pelas marés de tempestade, onde ocorre a sobre-elevação do nível do mar durante as passagens de eventos meteorológicos. Tais inundações atingem as praias, e, conseqüentemente, impactam nas estruturas antrópicas situadas nas zonas costeiras, como por exemplo, as casas, os prédios, as ruas e sistemas de esgoto (RUDORFF et al; 2014).

Para entender como esses fenômenos ocorrem e os impactos associados a eles, diversos estudos vêm sendo empregados com o uso de simulações e modelagens para prever os possíveis efeitos da subida do nível do mar, na questão de erosão e inundações costeiras, obstrução de desembocaduras de canais e intrusão salina em corpos hídricos (BARROS et al; 2010). Nesse seguimento, Silva (2012) realizou um estudo no estado de Santa Catarina com o intuito de calcular a cota de inundação na Enseada do Itapocorói e Morro dos Conventos, com o auxílio do modelo SWAN (*Simulating Waves Nearshore*) e SMC-Brasil, o autor calculou as cotas de inundação e respectivas recorrências, para os diferentes setores de praia (exposto, semiexposto, semiprotégido e protegido).

Alcoforado (2017) estudou a vulnerabilidade costeira e risco de inundação para o Estuário do rio Piranhas-Açu, no estado do Rio Grande do Norte, com aplicação do método Índice de Vulnerabilidade Costeira à Erosão (IVC) para os diferentes cenários de mudanças climáticas, estimados pelo IPCC, empregando o uso de geotecnologias e modelagens. Os resultados encontrados pelo autor demonstraram uma melhor e pior projeção da linha de costa sob condições de alta e muito alta vulnerabilidade à erosão e ao risco de inundação da planície estuarina.

1.2 Justificativa

A Região Sul do Brasil é frequentemente atingida por passagens de frentes frias, que são, em sua maioria, associadas a intensos ciclones extratropicais (OLIVEIRA et al; 2009). Estudo realizado por Rudorff et al; (2014), indicou que o estado de Santa Catarina sofreu um registro anual de marés meteorológicas, relacionadas às passagens dos ciclones sobre a sua costa, especialmente entre os anos de 1997 e 2010, com uma frequência de 3,28 marés por ano. A

costa catarinense possui vinte e oito cidades, ao longo de 450 km (SANTA CATARINA, 2019). Entre essas cidades, encontra-se Jaguaruna (latitude 28°36'54''S e longitude: 49°01'32''W).

O município de Jaguaruna, no período de alta temporada de turismo, ocorrido no verão, possui acréscimo de até 180.000 pessoas em seus balneários (GRUBER et al; 2013a). Tais balneários estão situados na zona costeira (ZC), categorizada como costa de dunas, com realização de atividades de recreação, contendo construções e conservação natural, (GRUBER et al; 2013a). Isto posto, cabe dizer que Jaguaruna, por estar localizada na ZC, está sujeita às ocorrências de marés meteorológicas sobre sua costa, que gera problemas para os balneários e seus moradores e frequentadores. Um desses problemas aconteceu em 2016, quando uma grande ressaca acometeu a cidade por conta da passagem de ciclone extratropical. Grandes ondas tomaram conta das dunas, com riscos aos residentes locais e turistas. A água do mar invadiu ruas e casas, conforme pode ser visto na Figura 1.



Figura 1: Inundação costeira durante evento meteorológico extremo, no balneário Camacho, município de Jaguaruna, em outubro de 2016. Fonte: Redação Folha Regional. Foto: Dilney Antunes.

De fato, os balneários centrais de Jaguaruna estão sob o raio de amplitude das marés meteorológicas (ressacas), sendo por isso mesmo, submetidos à danos estruturais, prejuízos financeiros e subtração da qualidade de vida. Sendo assim, tendo em vista à fragilidade que as cidades litorâneas se encontram, devido à ampla exposição aos eventos meteorológicos extremos, colocou-se enquanto problema de pesquisa: como analisar a amplitude de inundação costeira em decorrência das passagens de eventos meteorológicos extremos sobre os balneários centrais do município de Jaguaruna - SC?

Nesse sentido, Jaguaruna, é cidade localizada na ZC, sujeita às dinâmicas e aos problemas inerentes a tais regiões. Essa dinâmica é caracterizada pela tensa relação entre o uso antrópico, caracterizado pelas residências edificadas sobre dunas, no limite da praia, exatamente na zona de alcance das marés (ressacas). Sobre ela, cabe investigação que visa compreender sua dinâmica e sua complexidade, de modo que as produções recentes, a seu respeito, apontam para uma necessidade de especializações sobre temas pontuais e, ao mesmo tempo, à busca por informações de vários campos do conhecimento, para entender aspectos ambientais e sociais recorrentes na sua costa.

É sobre esse contexto problemático que se justifica a presente pesquisa, que faz da amplitude da inundação costeira sobre os balneários centrais do município de Jaguaruna – SC, em decorrência de eventos meteorológicos extremos, tema de investigação. Sobretudo por que esses dados podem subsidiar a análise de zonas de perigos naturais, a tomada de decisões, e, principalmente, o planejamento urbano nas regiões costeiras.

1.3 Objetivo Geral

Analisar a amplitude das inundações costeiras oriundas dos eventos meteorológicos extremos sobre a região dos balneários centrais do município de Jaguaruna – SC, com o uso de modelagem numérica.

1.3.1 Objetivos específicos

- I. Determinar os valores das cotas de inundação ao longo da região dos balneários centrais do município de Jaguaruna - SC.
- II. Aferir os limites dos regimes extremos de cotas de inundação, para os períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos, por meio de mapas temáticos.
- III. Verificar a área urbana de Jaguaruna atingida pelos regimes extremos de inundação costeira, com períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos.

Capítulo 2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo abrange um setor central da orla do município de Jaguaruna – SC, cuja delimitação é baseada nos limites dos setores censitários do IBGE (2010) e abrange os balneários: Arroio Corrente (porção sul), Campos Verdes, Jardim Finasc, Campo Bom, Panorama, Montreal, Catarinense, Albatroz, Navio Gravataí, Copa 70, Janaína e porção norte de Esplanada (Figura 2). A área total deste setor selecionado para o estudo é de 17,85 km².

O município de Jaguaruna situa-se na região Centro-sul do litoral catarinense, entre a coordenada latitude: 28°36'54''S e longitude: 49°01'32''W, compreendido em uma área territorial de 328 km². Seus limites territoriais são os municípios de Içara, ao sul; Sangão e Treze de Maio, ao oeste; Laguna e Tubarão, ao norte; e a leste pelo Oceano Atlântico.

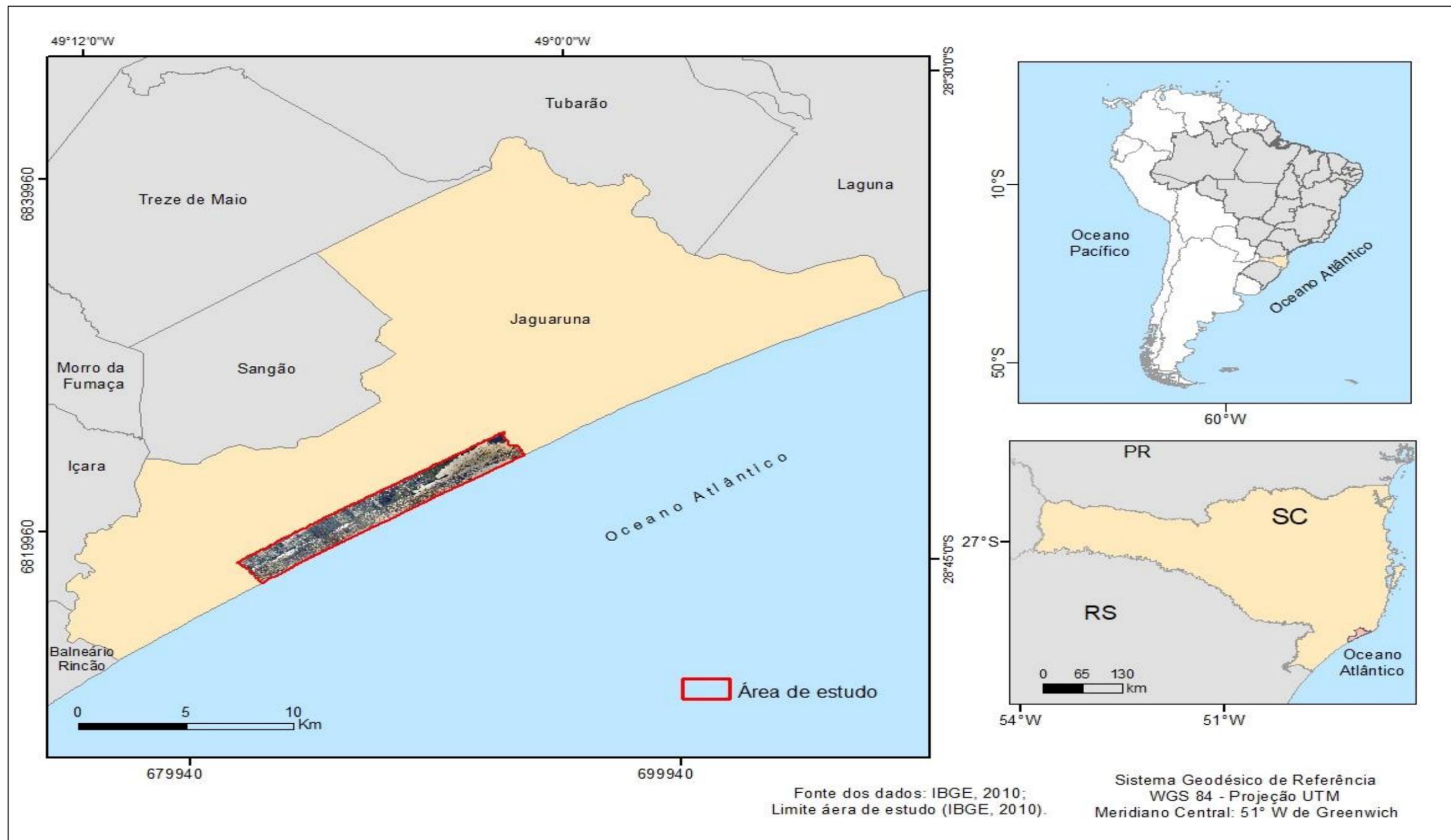


Figura 2: Mapa de localização da área de estudo, compreendido pelos balneários centrais de Jaguaruna, entre Arroio Corrente e Esplanada.

2.1 Aspectos físicos

A região de inserção do município de Jaguaruna possui importantes aspectos físicos, naturais e históricos. De acordo com Kneip (2004), esta região possui os maiores sítios arqueológicos do tipo Sambaquis, reconhecidos mundialmente. Nesta região ocorre a maior jazida de biodetritos carbonáticos conhecidos no sul-sudeste brasileiro, nomeado de Lençol Conchífero da Jaboticabeira (SCHIAVINI; PEREZ; 2006).

Casuro Jr. (1995), caracteriza a geologia e geomorfologia de Jaguaruna em Embasamento Cristalino e Planície Costeira, onde se identifica os sistemas deposicionais Laguna-Barreira III (formado no Pleistoceno, e o sistema Laguna-Barreira IV (formado no Holoceno) (WILLWOCK, 1984).

A Planície Litorânea caracteriza-se por ser uma área de transição entre ambientes continentais e marinhos. Devido aos aspectos texturais e estruturais dos depósitos, os sedimentos apresentam alta susceptibilidade à erosão, interferindo diretamente nos sedimentos e formas de relevo desta unidade geomorfológica. Suas formas de relevo são de depósitos coluvial, colúvio-aluvial, aluvial, fluvio-lagunar, lagunar, praias e eólico e os agentes responsáveis por esculpir essas formas são a ação das ondas, marés, correntes, ventos e cursos fluviais ao longo da planície (Horn et al; 2004). Conforme as características das formações sedimentares, Horn Filho et al; (2010) verificaram a ocorrência de três grupos de depósitos: continentais, litorâneos e antropogênico, propondo a presença de 12 unidades litoestratigráficas nesses depósitos (Tabela 1).

Tabela 1: Coluna litoestratigráfica para os depósitos na planície costeira da área de estudo. Fonte: Horn Filho et al; 2010.

Depósito	Unidade litoestratigráfica	Idade		
		Período	Época	
Antropogênico	Depósito tecnogênico	Quaternário	Holoceno	
	Depósito do tipo sambaqui			
Litorâneo	Depósito flúvio-lagunar			
	Depósito lagunal praiial			
	Depósito marinho praiial			
	Depósito lagunar			
	Depósito eólico			
	Depósito lagunar			Pleistoceno superior
	Depósito eólico			
Continental	Depósito aluvial			Indiferenciado
	Depósito de leque aluvial			
	Depósito coluvial			

Os depósitos litorâneos encontram-se em áreas próximas a linha de costa, compostos por sedimentos arenosos (próprio de ambiente marinho praiial e eólico) e sedimentos siltsos e argilosos (ambientes lagunares). Pertencem aos depósitos litorâneos, o eólico holocênico, em forma de campos de dunas, composto principalmente de areia fina de cor clara e bem selecionada. Com presença de dunas ativas e fixas (GRUBER et al; 2013a).

Segundo, Giannini (1993), o Sul catarinense, caracteriza-se por extensas e contínuas planícies litorâneas, suas praias são do tipo dissipativas (altura de onda modal maior que 2,5m - altas), perfil de declividade suave e armazenamento de sedimentos em forma de bancos lineares submersos – bancos de areia – (SHORT, 1999). De forma geral, a costa catarinense apresenta uma amplitude de maré inferior a 2 m, caracterizado como regime de micromaré, e, especificamente à área de estudo, por estar situada adjunta a planície costeira norte do Rio Grande do Sul, sua maré astronômica é semelhante à gaúcha, com valores de até 0,5 m (HORN FILHO et al; 2004).

Especificando os limites da área de interesse, compreendido entre os balneários supracitados anteriormente, estudos realizados por Gruber et al; (2013b), demonstraram que a fração ao norte da área (Balneários Arroio Corrente e Campos Verdes) apresenta um pós-praia estreito, com presença de dunas frontais de baixo estoque sedimentar, onde ocorre erosão por

canalização de ventos entre as dunas (corredores de deflação) (Figura 3). A mancha urbana se mostra, em uma parte, mais interiorizada, e em outra parcela com construções próximas a praia.



Figura 3: Face de praia do Balneário Arroio Corrente. Fonte: Gruber et al; (2013b).

A parcela central da área, compreendida pelo Balneário Campo Bom e Navio Gravataí, indica presença de dunas frontais desenvolvidas e vegetadas, em certos pontos comprimidas pela urbanização e em outros bem desenvolvidas e preservadas. Específico ao Balneário Campo Bom, este apresenta um pós-praia muito estreito, úmido e baixa inclinação da face de praia, aspecto típico de uma praia dissipativa de energia de ondas em estágio erosivo. As dunas frontais são de baixo desenvolvimento vertical e horizontal, alteradas pela ação antrópica. As residências se encontram sobre áreas próximas, ou em alguns casos, exatamente nas dunas frontais, conforme pode ser visualizado na Figura 4. (GRUBER et al; 2013b).



Figura 4: Face de praia do Balneário Campo Bom. Fonte: Gruber et al; (2013b).

Ao Sul da zona de estudo, na faixa do Balneário Esplanada, caracteriza-se por morfologias de dunas frontais mais desenvolvidas e conservadas, diferentemente do perímetro do Balneário Campo Bom, e com menor densidade urbana próxima a praia, conforme visualizado na Figura 5. Apresenta campo de dunas frontais bem desenvolvido (50 m de comprimento) e com variação entre cavas e cristas de dunas de cerca de 3,5 m.



Figura 5: Face de praia do Balneário Esplanada. Fonte: Gruber et al; (2013b).

A área de estudo está inserida na Área de Preservação Ambiental (APA) da Baleia Franca, através do Decreto de 14 de setembro de 2000, acarretando condições e restrições especiais para usos (BRASIL, 2000).

As regiões costeiras Sudeste e Sul (local de inserção da área de estudo), são as áreas de maior produtividade da cadeia alimentar do Brasil, devido as características da plataforma continental e das correntes marítimas. O ambiente costeiro desempenha importante papel para o desenvolvimento e reprodução de diversas espécies, além do mais, essa região compõe um mosaico de ecossistemas formadores de ambientes com alta complexidade ecológica e de grande relevância para a sustentação da vida no mar (BRASIL, 2010).

O município pertence ao Bioma Mata Atlântica, onde nas áreas interiores desenvolvem-se extensos campos de dunas, lagoas e ecossistemas associados, com diversificadas tipologias de vegetação de restinga, com remanescentes do bioma da região, caracterizando-o um grande valor ecológico e fundamental para a conservação desse ecossistema. Atualmente, estima-se que restam apenas 12% da vegetação natural do bioma Mata Atlântica em Jaguaruna (261 ha de mata e 3.835 ha de restinga), visto que, entre 2011 e 2012 ocorreu a supressão de aproximadamente 32 ha de restinga, segundo estudos realizados Gruber et al; (2013c).

Segundo a classificação climática de Köppen (KÖPPEN, 1936), Jaguaruna enquadra-se no tipo Cfa, onde “C” significa região de clima temperado quente com mês mais frio entre -3°C a 18°C, “f” representa áreas que não possuem estação seca, visto que a menor precipitação pluviométrica mensal é superior a 60 mm, e, “a” demonstra que a temperatura do mês mais quente é superior a 22°C.

As quatro estações caracterizam-se por verões úmidos e suave, invernos menos rigorosos e as estações intermediárias. No município de Jaguaruna, a média mensal da temperatura varia entre 18° e 20°C, com precipitação média anual entre 1.460 a 1.820 mm, totalizando anualmente entre 129 e 144 dias de chuva. Portanto, possui chuvas distribuídas ao longo do ano, com uma leve concentração nos meses de verão (SANTA CATARINA, 2010). Segundo dados da estação meteorológica de Laguna, o mês com menor média de precipitação é o mês de junho, 84,70 mm, e o mês com maior precipitação média é o mês de janeiro, 158,90 mm (GRUBER et al; 2013a). Os corpos hídricos mais relevantes são a lagoa Jaguaruna, a lagoa Garopaba do Sul, lagoa do Laranjal e a lagoa Arroio Corrente.

2.2 Aspectos demográficos

O surgimento do município iniciou no ano de 1804, quando a localidade de Campo Bom pertenceu a uma das três primeiras sesmarias que deram origem ao município, ocorrendo no ano de 1880 a junção das três sesmarias (Garopaba, Campo Bom e Jaguaruna), formando o

atual território de Jaguaruna. O município teve sua ocupação inicial ao norte do seu território, em lugares estratégicos, próximos ao mar e à desembocadura de rios, pois, sem a existência de estradas, a produção agrícola era transportada pela praia, utilizando carretões puxados por juntas de bois até a lagoa Garopaba do Sul e após para o município de Laguna (limítrofe norte de Jaguaruna) para serem exportados por navios (DELFINO, 2008). Portanto, a extensa faixa litorânea utilizada para o transporte de mercadorias incluía o município de Jaguaruna na rota comercial.

O primeiro loteamento do Balneário Campo Bom surgiu entre 1964 e 1977, se estendendo, no sentido norte, cerca de 1.000 metros do ponto onde fica o bosque, este era uma pequena área de restinga preservada pelo empreendedor do loteamento. Salienta-se que a criação (reinstalação) do município se deu em 1930 e a cidade de Jaguaruna em 1938, sendo que após os anos 70, o município apresentou um processo de expansão de loteamentos na faixa litorânea, principalmente a partir de 1980, quando gaúchos começaram a adquirir terras na região. No ano de 1978 ocorreu redefinição do perímetro urbano do município, abrangendo novas comunidades no setor central e a criação de novos loteamentos. A partir de 1980 a população do município passa a ser predominantemente urbana, acompanhando a intensificação da ocupação do litoral Sul-catarinense (DELFINO, 2008).

Segundo registros históricos dos censos demográficos, a população de Jaguaruna no ano de 1960 era de 11.649 habitantes, em 1970 saltou para 14.397, em 1991 eram 18.427. No ano de 2000 houve um decréscimo para 14.613. Em 2010, o município tinha uma população de 17.290 habitantes, sendo que 13.198 residiam na área urbana e 4.092 na área rural, totalizando uma densidade demográfica de 52,66 hab/km² (IBGE, 2010).

A população de Jaguaruna é predominantemente urbana, com 76,33% (13.198 habitantes), para 23,67% (4.092 habitantes) na zona rural. Sendo que, segundo o último censo do IBGE (2010b), dos 17.007 domicílios recenseados, apenas 5.777 estavam ocupados permanentemente, haja visto que desses ocupados, 4.460 domicílios são permanentes na área urbana. Os cerca de 12.000 domicílios não ocupados permanentemente denotam o uso provável para fins de segunda residência ou ocupados por turistas em período de veraneio. A média de moradores nos domicílios particulares ocupados é de 2,99 moradores por habitação, caracterizado por famílias pequenas (IBGE, 2010b). Segundo informações da Secretaria de Turismo, Cultura e Esporte de Santa Catarina, até 180.000 pessoas visitam Jaguaruna nos meses de verão (alta temporada), o que conseqüentemente acarreta em um aumento considerável no consumo de energia elétrica, abastecimento de água, esgotamento sanitário e coleta de resíduos sólidos (GRUBER et al; 2013a).

As localidades de maior destaque no município são: Costa da Lagoa, Garopaba do Sul, Olho D'água, Riachinho e os Balneários Camacho, Arroio Corrente, Campo Bom e Esplanada (GRUBER et al; 2013a).

Segundo Delfino (2008), Jaguaruna classifica-se como uma cidade pequena, possui forte relação econômica com o meio agrícola, dispondo de serviços ligados à indústria, ao turismo, ao comércio e à prestação de serviços.

Capítulo 3 - REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta a fundamentação sob aspecto teórico do tema apresentado nesta pesquisa. Serão abordados conceitos utilizados durante a pesquisa, com a função de nortear a mesma, apontando um embasamento da literatura já publicada sobre o tema.

3.1 Morfodinâmica praial

Morfodinâmica praial integra observações morfológicas e dinâmicas da praia e da zona de arrebentação (CALLIARI et al; 2003). De acordo com Prado (2016, p.28), “morfodinâmica costeira é o ajuste mútuo da topografia e dinâmica de fluído, envolvendo ainda o transporte de sedimento”. Assim, a morfodinâmica praial refere-se aos ambientes praias, os quais são resultantes da interação de ondas incidentes, refletidas ou parcialmente refletidas da face da praia com o sedimento disponível no litoral, iniciando-se onde a onda começa a influenciar o sedimento no fundo oceânico (zona de arrebentação) até a zona de espraiamento (WRIGHT & SHORT; 1983). Nesse sentido, as praias se caracterizam por serem feições geológicas temporárias, são dependentes das ondas e sedimentos e modificadas pelas marés, vento, tamanho e tipo de sedimento (TOLDO JR., 2017). Ainda, segundo o autor, o perfil de uma praia é controlado principalmente por três fatores: variações do nível do mar, quantidade e tipo de sedimentos e padrões de ondas e ventos.

Segundo classificação adotada por Short (1999), o sistema praial pode ser dividido em três subsistemas, descritos abaixo e representados na Figura 6.

- Praia subaérea/pós-praia (*back shore*): Nível do estirâncio superior ao campo de dunas, caracterizando a porção de areia seca da praia, sujeita aos fenômenos aerodinâmicos.
- Zona de surfe (*surf zone*): Zona entre o ponto de quebra da onda e a linha de costa.
- Antepraia (*shoreface*): Zona onde a onda começa a interagir com o fundo marinho até o primeiro ponto de quebra.

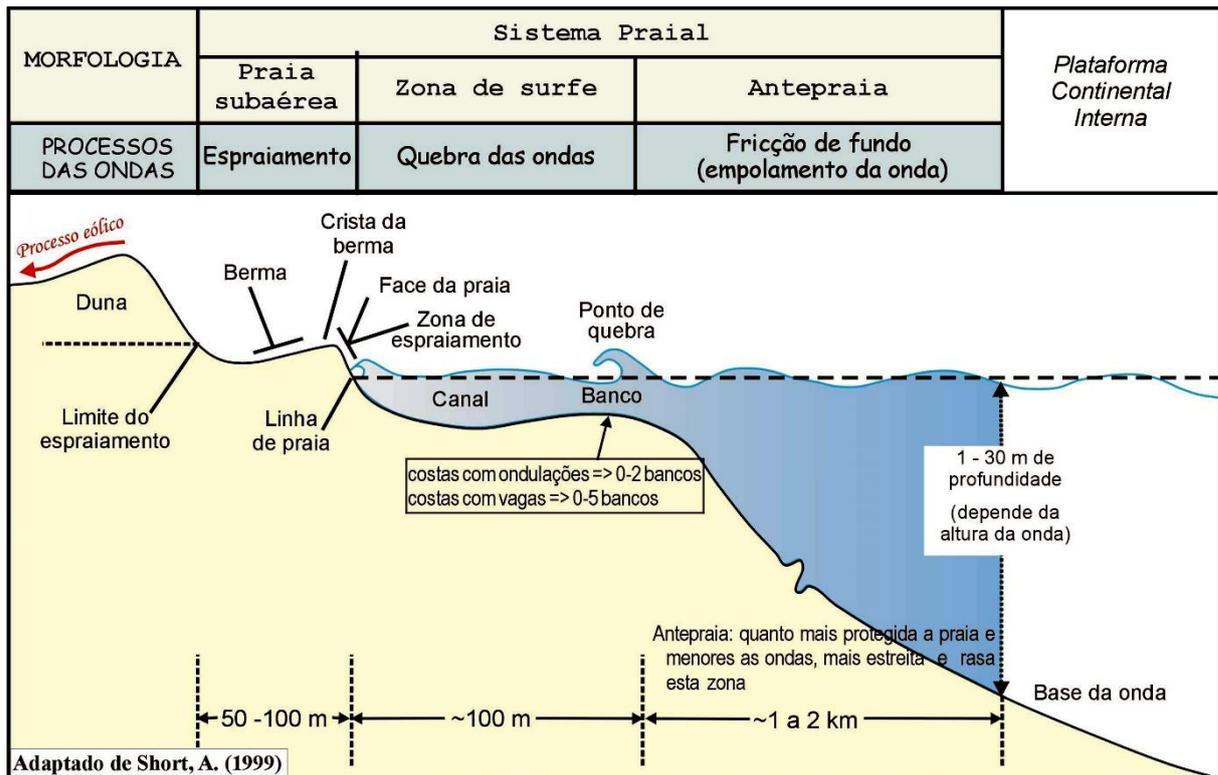


Figura 6: Representação esquemática do perfil praiial. Fonte: Toldo Jr. (2010) modificado de Short (1999).

Estudos realizados por Short e Wriqth (1981; 1983; 1984) reconheceram estágios morfológicos de praias distintos, associados a diferentes regimes de ondas e marés, sendo possível definir a tipologia da praia pelo comportamento das ondas e marés (CALLIARI et al; 2003).

As ondas são diferenciadas pelas suas características, dependendo da relação entre seu comprimento de onda e a profundidade da coluna de água. A grande maioria das ondas acaba por quebrar na costa, dissipando sua ordem e energia. A região entre a quebra da onda e a costa é chamada de zona de arrebatção, sendo que a declividade do fundo é que vai influenciar, em parte, a forma como as ondas irão quebrar na costa (GARRISON, 2010). Ao chegarem à costa possibilitam, por meio de sua energia, mudanças no nível do mar, movimentos de sedimentos, turbulência e calor. Sendo que em eventos de tempestades essa energia aumenta, ocasionando uma maior altura da onda, esta agrega componentes da maré astronômica, da maré meteorológica. Assim, a faixa de praia e as dunas são vigorosamente atacadas pelas ondas incidentes, resultando em processos erosivos (RODRIGUES, 2014).

A maré astronômica é o conjunto de movimentos regulares de elevação e queda do nível do mar, em períodos próximos de 12 ou 24 horas, ocasionados pela gravidade do sistema Terra-

Lua-Sol (BRASIL, 2017f). Classificam-se as marés astronômicas em três tipos: diurnas, onde há uma preamar (PM) e uma baixa-mar (BM) durante o período lunar, não havendo diferenças dos níveis de maré sucessíveis; as semi-diurnas que apresentam dois ciclos de preamar e de baixa-mar com o mesmo nível, no decorrer de um dia lunar e; a maré mista, semelhante a semi-diurna, porém, com desigualdades significativas de uma preamar ou de uma baixa-mar (GARRISON, 2010). Ainda segundo o autor, quanto a amplitude, as marés são do tipo: micromarés (amplitudes < 2 m), mesomarés (amplitudes entre 2 a 4 m) e macromarés (amplitudes > 4 m).

A maré meteorológica (*storm surge*) é a oscilação do nível do mar causada pelos efeitos meteorológicos derivados, principalmente, do vento e de variações nos campos de pressão, sendo suas maiores elevações associadas com os eventos de tempestades, coincidindo com as maiores ondas. Visto que se uma elevação significativa do nível do mar coincidir com a maré astronômica de sizígia e ondas de tempestades, tende a ocorrer grandes inundações na zona de costa (BRASIL, 2017a). A associação das marés meteorológicas (*storm surge*) com a maré astronômica (*high tide*) resulta na maré de tempestade (*storm tide*) (*National Hurricane Center, NOAA*).

3.2 Eventos Meteorológicos Extremos

As tempestades constituem eventos atmosféricos caracterizados por centros de baixa pressão e ventos intensos, a presença desses dois fatores gera a tensão de cisalhamento na superfície dos oceanos, ocasionando a geração de ondas e o aumento, em um curto período, do nível do mar (CARTER, 1977).

Sarewitz e Pielke Jr. (2000) conceituam eventos extremos como uma ocorrência e apresentação que se distanciam da média, variando em sua magnitude.

Segundo Júnior (2013, p. 41), os eventos extremos estão associados a diversificadas formas de efeitos de natureza meteorológica, como: “secas, perdas de produtividade agrícola, enchentes, inundações, ondas de calor e de frio, ventanias, tempestades, furacões, desastres, escorregamentos, movimentos de massa, etc.”.

A Região Sul do Brasil é local de passagem de tempestades, que são, em sua grande maioria, associadas a intensos ciclones extratropicais (OLIVEIRA et al; 2009). Estes, por sua vez, são centros de baixa pressão atmosférica formados a partir de um encontro de massas de

ar com características distintas. Esse fenômeno geralmente ocorre em regiões subtropicais, por meio da influência de massas de origem subpolar e tropical (VAREJÃO, 2005). Em estudo realizado por Machado et al; (2010), foram identificados quatro padrões de situações sinóticas que geram eventos extremos de tempestades no Sul do Brasil, sendo os três primeiros tempestades extratropicais (de baixa pressão) e o quarto padrão um anticiclone (alta pressão).

3.3 Inundação costeira

A passagem de tempestades severas proporciona a elevação extraordinária do nível do mar, em curto prazo. Esta sobre-elevação do mar dá-se o nome de *storm surge*, na literatura mundial, e, maré meteorológica na literatura brasileira (CALLIARI et al; 2010).

A ocorrência de maré meteorológica ocasiona eventos de inundação costeira, onde ocorre a sobre-elevação do nível do mar durante eventos de tempestades, afetando praias e estruturas costeiras (RUDORFF et al; 2006). Segundo Holthuijsen (2007), a inundação costeira é um processo de ação conjunta de ondas, maré meteorológica e maré astronômica, motivado pela sobre-elevação do mar em eventos extremos.

O fenômeno de inundação consiste no nível médio do mar em um determinado segmento da costa, e a partir deste, as marés meteorológicas e astronômicas ocasionam a elevação da superfície do mar, acompanhadas das ondulações que, na praia, percorrem parte da faixa de areia até certa altura, o chamado *runup* (empilhamento de água na costa devido à quebra de ondas e pelo espraiamento da onda) (BRASIL, 2017f).

Todos esses componentes combinados resulta em um nível final alcançado, chamado de cota de inundação (CI), que sofre influência da altura das ondas e da declividade da praia, conforme apresentado na Figura 7. A cota de inundação é o limite máximo que a lâmina d'água alcança durante um evento de inundação. Em uma região costeira, o conhecimento da cota de inundação é essencial para realizar o planejamento de atividades na zona costeira (SILVA, 2014).

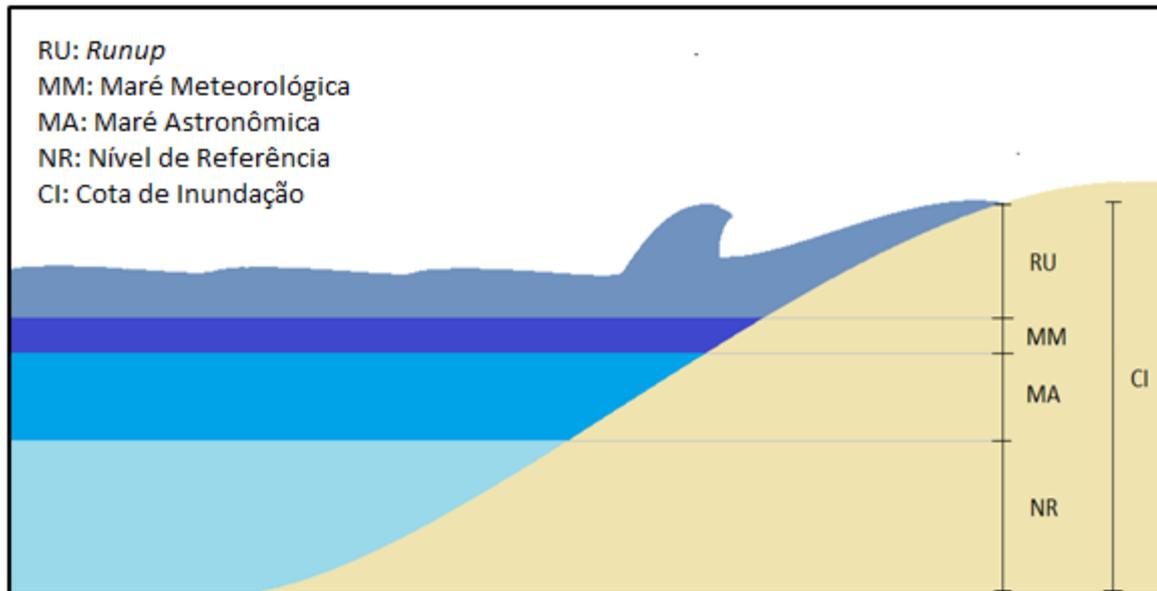


Figura 7: Esquema representativo dos componentes que constituem a cota de inundação. Fonte: BRASIL, 2017f.

3.4 Sistema de Modelagem Costeira (SMC - Brasil)

O Sistema de Modelagem Costeira foi uma iniciativa do Instituto Hidráulico Ambiental da Cantábria (IH-Cantábria) da Universidade da Cantábria, em parceria com a Diretoria Geral de Costas do Ministério do Meio Ambiente da Espanha. Com uma experiência de mais de 15 anos com recuperação da linha de costa espanhola utilizando o SMC, o modelo pertence ao programa de gestão costeira que envolve a produção de conhecimento para a tomada de decisão no âmbito da dinâmica natural, gestão da costa e a gestão urbana. Devido ao acelerado processo de urbanização na Espanha nos anos 70, a estratégia do governo espanhol foi de atuar na gestão de conflitos no litoral, procurando garantir a defesa da costa, *habitats* de fauna e flora e a ocupação urbana. Atendendo também às diretivas da União Europeia no quesito da gestão costeira integrada e avaliação de risco à inundação costeira (BRASIL, 2017b).

Seguindo a experiência espanhola, em 2010, os governos espanhol e brasileiro estabeleceram um Acordo de Cooperação Técnica, Científica e Tecnológica para executar o projeto “Transferência de Metodologias e Ferramentas de Apoio à Gestão da Costa Brasileira”, proporcionando a implementação da ferramenta para a melhoria da gestão de implementação de obras costeiras no Brasil, gerando o projeto SMC-Brasil, promovendo a recuperação dos espaços públicos já ocupados e protegendo as populações em áreas de risco. A proposta do projeto SMC-Brasil é apresentar subsídios para apoiar a construção de um modelo que auxilie

na dinamização e qualificação do planejamento territorial, avaliando os impactos na zona costeira, com o propósito de formação de pessoal e instrumentalização de gestores públicos para a proteção e gestão do litoral, facilitando a tomada de decisões (BRASIL, 2017b).

Portanto, consiste em uma ferramenta computacional que integra metodologias de trabalho, base de dados sólida e modelos numéricos que orientam o estudo da zona costeira. O sistema é dividido em duas ferramentas:

- O SMC-Tools: Esta ferramenta é distribuída em três módulos: IH-DATA, que inclui as bases de dados das cartas náuticas do litoral brasileiro (batimetria), dados de ondas e dados do nível do mar (MA e MM). O IH-AMEVA, que realiza a análise estatística das variáveis ambientais. E o IH-DYNAMICS, este submódulo possibilita avaliar o ponto de quebra das ondas, em um perfil de praia, de modo que é possível obter o transporte litorâneo de sedimentos, o fluxo médio de energia das ondas e a cota de inundação (BRASIL, 2017a).

- O SMC 3.0: Integra uma série de modelos numéricos, com o intuito de dar suporte prático a correta aplicação da metodologia de trabalho proposta nos documentos temáticos. Neste há dois módulos de análise, de curto e longo prazo.

3.4.1 Modelo OLUCA-SP

O modelo OLUCA-SP (modelo espectral propagação de ondas) é um modelo de propagação de ondas espectrais (SP), se encontra inserido na ferramenta SMC 3.0, o modelo realiza simulações dos processos de empinamento, refração, difração, dissipação por quebra e correntes resultantes da quebra.

O modelo OLUCA-SP utiliza a formulação adaptada por Booij (1981), que realizou uma adaptação da equação sugerida por Radder (1979), onde resolve as transformações de águas profundas para intermediárias e rasas, por meio da equação de declive suave (DALINGHAUS, 2016)

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

Sendo:

Cg = Celeridade de grupo;

A = Amplitude da onda;

K = número de onda de referência, tomado como a média ao longo do eixo y ;

$p = C Cg$;

C = Celeridade da onda;

D = parte do termo não linear e é definido por:

$$D = \frac{\cosh 4kh + 8 - 2 \tanh^2 kh}{8 \sinh^4(kh)}$$

Para h = profundidade no ponto do domínio.

O modelo assume que: - Fluido não é viscoso, incompressível e de densidade constante; - A pressão é constante na superfície livre, não considerando a ação do vento e a ação da Coriolis; - Fundo de declividade suave; - O modelo trabalha com uma determinada resolução espacial de comprimento de onda, limitando as dimensões da malha; - Não considera o efeito de reflexão das ondas, apenas o de refração, difração, empinamento e quebra de ondas; - Para ondas próximas ao contorno das malhas pode ocorrer instabilidade, portanto, deve-se atentar para que os contornos das malhas estejam longe da área de estudo (DALINGHAUS, 2016).

3.4.2 Base de dados do SMC-Brasil

i) Ondas:

Os dados de ondas foram produzidos utilizando o *Global Ocean Waves* (GOW), em uma série temporal desde o ano de 1948 e com alta resolução temporal (a cada hora), calibrados e validados com medições instrumentais de boias oceânicas e por satélites altimétricos, desenvolvido pelo IH-Cantábria, o modelo utilizado foi o WAVEWACH III (TOLMAN 1997, 1999).

A base de dados GOW possui características globais, estruturam-se a partir de uma escala global e regional, portanto, não são muito representativos para águas rasas. Para atender estas áreas, foi realizado um procedimento denominado *downscaling*, que permite obter séries de estados de mar para um intervalo de uma hora em pontos próximos a costa. Por meio de simulações do modelo numérico SWAN (BOOIJ, 1999) foram gerados as bases de dados de reanálise para águas rasas, chamada *Downscaled Ocean Waves* (DOW). Essa base de dados

contém parâmetros de H_s (altura de onda), T_p (período de pico), T_m (período médio) e θ (direção), que encontram-se disponíveis no SMC-Brasil, para a realização da propagação de ondas até a costa, por meio do modelo numérico OLUCA (BRASIL, 2017e)

ii) Maré meteorológica e Maré astronômica:

Constituem a base de dados de níveis do mar séries de maré meteorológica e a maré astronômica, com duração de 60 anos com intervalo temporal de uma hora.

A maré meteorológica possui 24 séries temporais, para tanto, o instituto IH Cantábria realizou o cálculo a partir do modelo tridimensional de circulação *Regional Ocean Modeling System* (ROMS), com dados de variação do nível do mar decorrente de fatores atmosféricos. Sendo elaborada uma reanálise da maré meteorológica, de 1948 a 2008, com resolução temporal horária. A base de dados da elevação do nível do mar resultante da maré meteorológica, ao longo da costa brasileira, é denominada GOS (*Global Ocean Surge*), validada com dados dos marégrafos da UHSLC, compreende 24 pontos de dados ao longo do litoral, conforme visualizado na Figura 8. (BRASIL, 2017f).

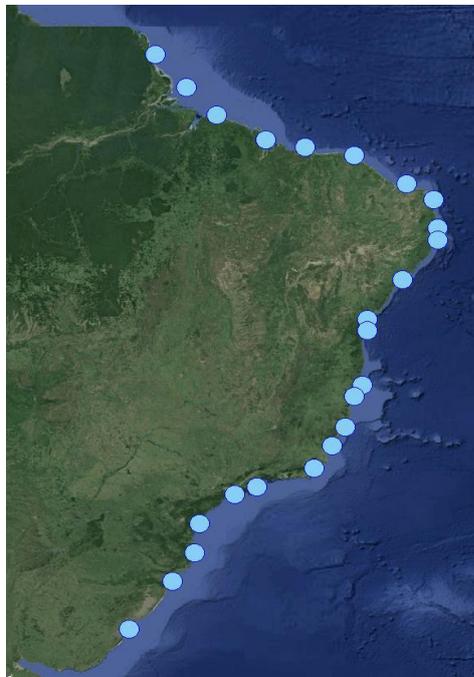


Figura 8: Pontos selecionados para a base de dados de maré meteorológica (BRASIL, 2017f).

A maré astronômica possui 125 séries temporais, proveniente do modelo global de marés TPXO, elaborado pela Universidade do Estado de Oregon. Este modelo é um dos modelos globais mais precisos referentes à maré. A base de dados de maré astronômica gerada para o SMC-Brasil, para todo o litoral brasileiro, é denominada GOT (*Global Ocean Tide*), desenvolvida a partir de uma série de pontos ao longo da costa brasileira (Figura 9). Sua validação se deu com dados de marégrafos da Universidade do Havaí (UHSLC), da Marinha do Brasil e do Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias (INPH) (BRASIL, 2017f).



Figura 9: Pontos selecionados para a base de dados de maré astronômica (BRASIL, 2017f).

iii) Batimetria

Os dados batimétricos disponíveis no SMC-Brasil foram obtidas pela digitalização das cartas náuticas do litoral do Brasil derivadas da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) e das folhas de bordo, oriundas de pesquisas de navios, fornecidas pela Bampetro, Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), Universidade de São Paulo (USP) e Marinha do Brasil. Dados batimétricos de boa qualidade são essenciais para estudos de dinâmica marinha, visto que a morfologia do fundo marinho influencia a propagação das ondas (RODRIGUES, 2014).

Em determinadas pesquisas se faz necessário batimetrias de alta resolução, onde, zona de intermaré, bancos de areia e estruturas antrópicas sejam reconhecíveis, para tanto, esse nível

de detalhe é obtido por meio de trabalhos em campo. Assim, ao se fazer necessário, existe a possibilidade de incorporar batimetria externa, com maior detalhe, no SMC (BRASIL, 2017b).

3.4.3 Análise de Regime Extremo

Análise de regime extremo caracteriza um método de análise estatística a longo prazo, de duração de dezenas de anos ou mais. Esse tipo de análise tem a finalidade de organizar os dados e extrapolar a série temporal a valores extremos que ocorrem com baixas probabilidades de serem excedidos. Proporcionando uma distribuição teórica da probabilidade de ocorrência do fenômeno analisado (KAMPHUIS, 2000).

Usualmente a análise é realizada por meio da distribuição de longo prazo da altura significativa de onda e seus respectivos períodos de retorno. Sendo que há três formas de se realizar esse tipo de análise: i) considerando todos os valores observados; ii) considerando apenas o maior valor em tempestades; iii) considerando o maior valor observado por ano (HOLTHUIJSEN, 2007).

Um dos métodos utilizados para estimar o regime extremo, a partir de uma base de dados, é o “Método dos Máximos Anuais (MMA)”. Esse critério considera o maior valor observado em cada ano, ou seja, busca dentro de toda a série temporal o valor máximo de cada ano. De modo que é utilizado o ajuste através da distribuição de valores extremos generalizada (*Generalized Extreme-Value* – GEV). Caso a distribuição de dados for de Weibull ou log-normal, a GEV se reduz a distribuição de Gumbel (HOLTHUIJSEN, 2007; KAMPHUIS, 2000).

3.5 Perfil de Equilíbrio de DEAN

O perfil de uma praia é entendido como a variação da profundidade mar a dentro, perpendicular à linha de praia, tendo como limite a profundidade de fechamento, entendida como o limite do perfil ativo da praia, onde, a partir do limite, em direção a terra, tem-se efetivamente transporte de sedimentos (DALINGHAUS, 2016). O perfil praiado de equilíbrio se define pelo resultado do balanço entre as forças destrutivas e construtivas (MA, 2012). Segundo Dean, 1991, essas forças ocorrem em condições de ondas estacionárias, para um determinado

tipo de sedimento, portanto, o perfil da praia depende da granulometria presente, onde, o transporte transversal é decorrente das ações hidrodinâmicas, dos pesos e dimensões das partículas do sedimento. Onde, o perfil responde a batimetria do local, e, simultaneamente, a onda será afetada por mudanças no perfil, demonstrando assim, que existe “relação de equilíbrio entre a dinâmica marinha e a morfologia do perfil” (DALINGHAUS, 2016, p.56).

No propósito de caracterizar o perfil praiado de equilíbrio, Dean (1977) considerou a dissipação da energia uniforme por unidade de volume. Em seu estudo, Dean, analisou 504 perfis ao longo da costa Atlântica e do Golfo nos Estados Unidos e apresentou a seguinte equação para o perfil de equilíbrio:

$$h = Ay^m$$

Onde: h é a profundidade através da costa em uma referida distância;

A é o parâmetro do sedimento

y é a distância da linha de costa (m)

m é o coeficiente numérico 2/3

Na equação de Dean, a forma do perfil depende exclusivamente do tamanho de sedimento, por meio do parâmetro A, enquanto que as ondas fornecem a profundidade de fechamento. Portanto, uma praia de areia apresentará uma declividade mais suave do que uma praia de cascalho. Do mesmo modo, uma praia exposta (praia aberta) a uma frente de onda com maior energia, apresentará um perfil mais prolongado do que em uma praia protegida (DALINGHAUS, 2016).

Portanto, a conceituação de perfil de equilíbrio foi apresentado por Dean (1991), definindo as seguintes características de um perfil de equilíbrio: - Tendência de ser côncavo para cima; - O menor tamanho do sedimento resulta em uma declividade mais suave, e vice-versa; - Possui face praiado; - Ondas com acentuada declividade termina em um perfil de baixa declividade.

Capítulo 4 - METODOLOGIA

4.1 Elaboração das bases de dados

A elaboração das bases de dados contou, inicialmente, com uma pesquisa em fontes públicas das informações convenientes para o presente estudo, onde se realizou uma busca em diversas fontes para a seleção das imagens de satélite, de fotografias aéreas, produtos cartográficos e dados estatísticos, considerando a sua aplicabilidade no presente estudo. Assim, essa base de dados é composta pelas seguintes informações:

- Imagens do satélite GeoEye de 19/07/2017, com pixel 0,55 cm, por meio do programa SasPlanet.
- Ortofotos do município em composição colorida RGB321, do período de fevereiro a abril de 2012, obtida do Setor de geoprocessamento da Diretoria de Recursos Hídricos da Secretaria de Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS) do Estado de Santa Catarina, adquiridas da plataforma virtual SIGSC. Resolução espacial de 0,39 metros;
- Modelo Digital de Superfície (MDS) e Modelo Digital do Terreno (MDT) do município, oriundas da SDS do Estado de Santa Catarina, obtidas da plataforma virtual SIGSC;
- Arquivos vetoriais dos trechos de drenagem, corpos d'água, cursos d'água, linha de costa, adquiridos por meio do SIGSC;
- Delimitação do município de Jaguaruna, proveniente do IBGE, em escala 1:500.000;
- Setores censitários do município, em escala 1: 250.000, oriundo do IBGE (2010);

Os dados iniciais foram armazenados e estruturados em formato *geodatabase*, no programa ArcGis 10.6. A escolha desse formato se deve à facilidade para organizar e manipular os dados geográficos e também pela manutenção de sua integridade. Os dados iniciais, bem como aqueles gerados durante a manipulação dos mesmos, foram organizados em formato raster (matriciais) e formato vetorial. O sistema geodésico de referência foi padronizado para Sistema de Referência World Geodetic System (WGS 84), por ser o mesmo sistema utilizado na base de dados da batimetria. Do mesmo modo, a projeção utilizada é a Universal Transversa de Mercator (UTM), fuso 22 Sul.

As informações constantes nas bases de dados passaram por uma triagem das imagens mais adequadas para o objetivo proposto no trabalho, ou seja, aquelas com melhor resolução espacial e enquadramento com melhor qualidade geométrica.

4.2 Delimitação da área de estudo

A delimitação da área teve como referência uma atividade de campo realizada no município de Jaguaruna, no mês de setembro de 2017, para um projeto de maior amplitude intitulado: “Diagnóstico e Plano de Manejo das Dunas Frontais do município de Jaguaruna”, onde se realizou levantamento de pontos críticos em toda a orla do município. Assim, foi verificada a ocorrência de áreas suscetíveis à erosão e inundação costeira, estas estão compreendidas entre os balneários de Esplanada (porção norte) e Arroio Corrente (porção sul). Foi apurado, de forma empírica, que este setor da orla apresenta uma faixa de praia mais estreita que as demais, com evidência de erosão das dunas frontais (erosão marítima), com afloramento de material característico à lama e dunas de baixo desenvolvimento vertical. A área também apresenta uma peculiaridade ainda pouco estudada, um parcel rochoso submerso no oceano, distante cerca de 8 km da praia, conhecida popularmente por “Laje de Jaguaruna” ou “Laje de Campo Bom”.

A delimitação da área de estudo foi obtida a partir do limite dos seguintes setores censitários: 420880705000025, 420880705000026, 420880705000027, 420880705000028, 420880705000029, 420880705000030, 420880705000031, 420880705000032, 420880705000033, 420880705000034, 420880705000063, 420880705000064, 420880705000065; 420880705000025; 420880705000042; 420880705000024; 420880705000021; 420880705000020;

Baseando-se nesse limite, foi elaborada a ortofotomosaico para o ano de 2012, sendo constituída as articulações das folhas: SH-22-X-B-IV-2-SE-C; SH-22-X-B-IV-2-SE-D; SH-22-X-B-IV-2-SE-E; SH-22-B-IV-2-SE-F; SH-22-X-B-IV-2-SO-F; SH-22-X-B-IV-4-NE-A; SH-22-X-B-IV-4-NO-B. Posteriormente, efetuou-se um recorte da ortofotomosaico a partir do limite dos setores censitários, com buffer de 200 metros, apresentado na Figura 10.

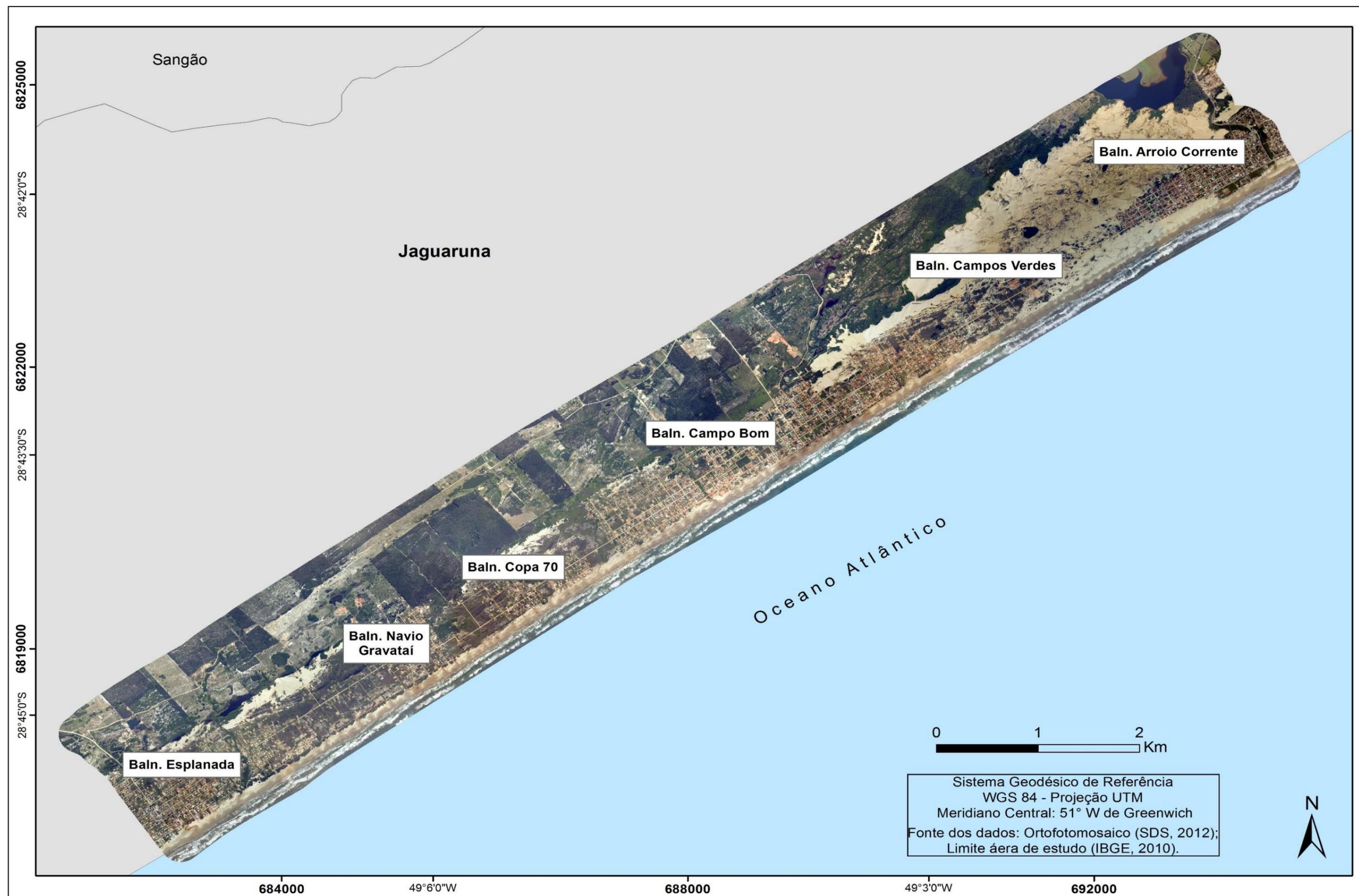


Figura 10: Carta-imagem da área de estudo com localização dos balneários. Ano: 2012.

4.3 Determinação das cotas de inundação

A metodologia para determinar a cota de inundação, efetuada no SMC-Brasil, considera a base de dados de batimetria, maré astronômica, maré meteorológica e ondas (*Runup*) para a área de estudo. Apontando para um período de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos. A formulação que resulta na cota de inundação em um determinado período é proveniente do cálculo: $CI = MA + MM + Ru$. Sendo *MA* a série de maré astronômica; *MM* a série de maré meteorológica e *Ru* o *runup*, oriundo pela quebra das ondas na praia.

4.3.1 Maré astronômica e Maré meteorológica

Os dados de maré meteorológica e maré astronômica utilizados para o cálculo da cota de inundação são oriundos da base de dados GOS e GOT, respectivamente, já descritos no Capítulo 3. A série de valores das marés em um período de 60 anos, para a área de estudo, estão apresentados na Figura 11, onde para *MA* os valores variam de -0.5 a 0.4 m, e na Figura 12 a série de *MM*, com valores variando de -1 a 1.5 m.

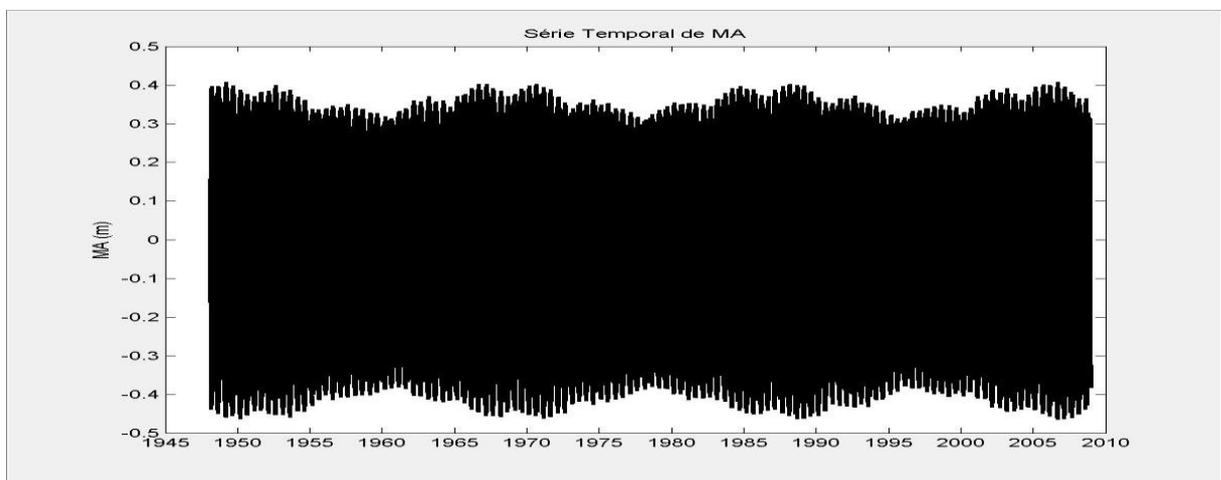


Figura 11: Série de MA para a área de estudo.

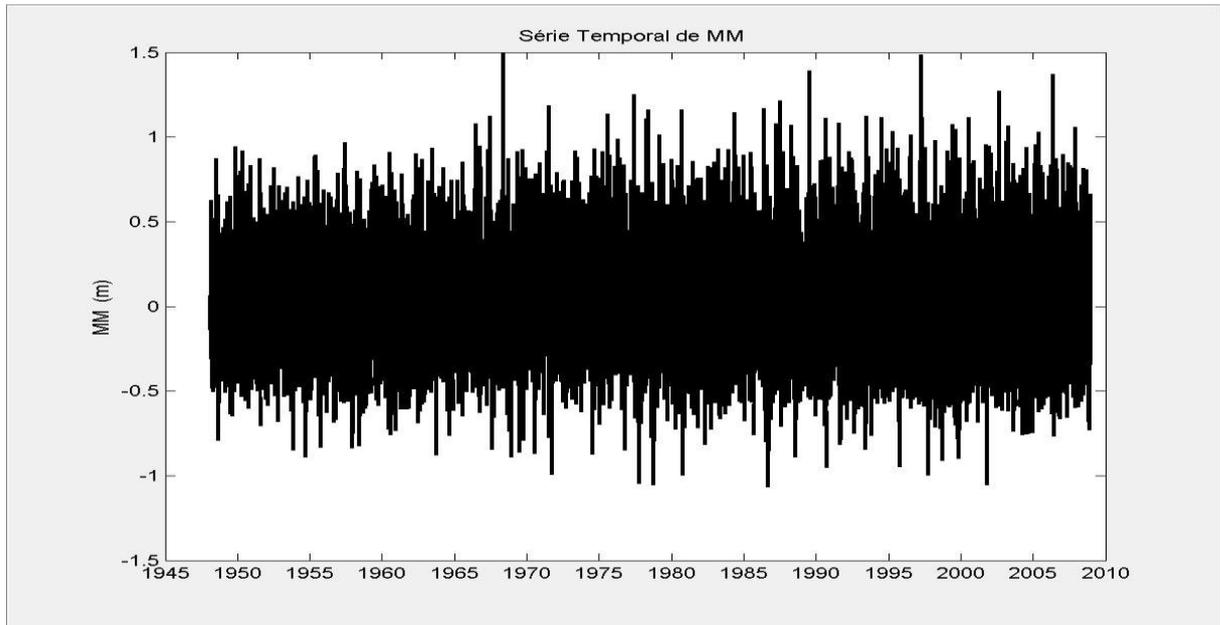


Figura 12: Série de MM para a área de estudo.

4.3.2 Modelo Numérico

A modelagem ocorreu utilizando o SMC 3.0, onde foi utilizado o módulo OLUCA-SP para a propagação de ondas até águas rasas, este modelo foi empregado por possuir boa característica de representatividade dos processos de refração, empinamento, dissipação de energia e difração. Para tanto, na ferramenta SMC-Tools, se realizou a seleção do ponto em águas profundas para a propagação em águas rasas. Ao final, foi estimado a cota de inundação no módulo IH-DYNAMICS, integrante da ferramenta SMC-Tools. As etapas realizadas na modelagem são descritas a seguir.

a) Seleção do ponto DOW:

Um único ponto DOW foi selecionado na área de interesse, a partir da base de pontos DOW. A localização do ponto selecionado é apresentado na Figura 13, onde, também encontram-se informações da profundidade do ponto, $Z = 127.72$ e direção das ondas incidentes a se propagar (≤ 210.000 a ≥ 60.000).

Na Figura 14 apresenta-se a rosa direcional de altura de onda (H_s) do ponto DOW, com maior incidência de ondas vindas de Leste (E) a Sul (S). Com base na rosa direcional de ondas,

foi limitado a direção mínima de entrada das ondas a partir de 60°. Para Sul, a direção de entrada das ondas ficou determinado em 210°.

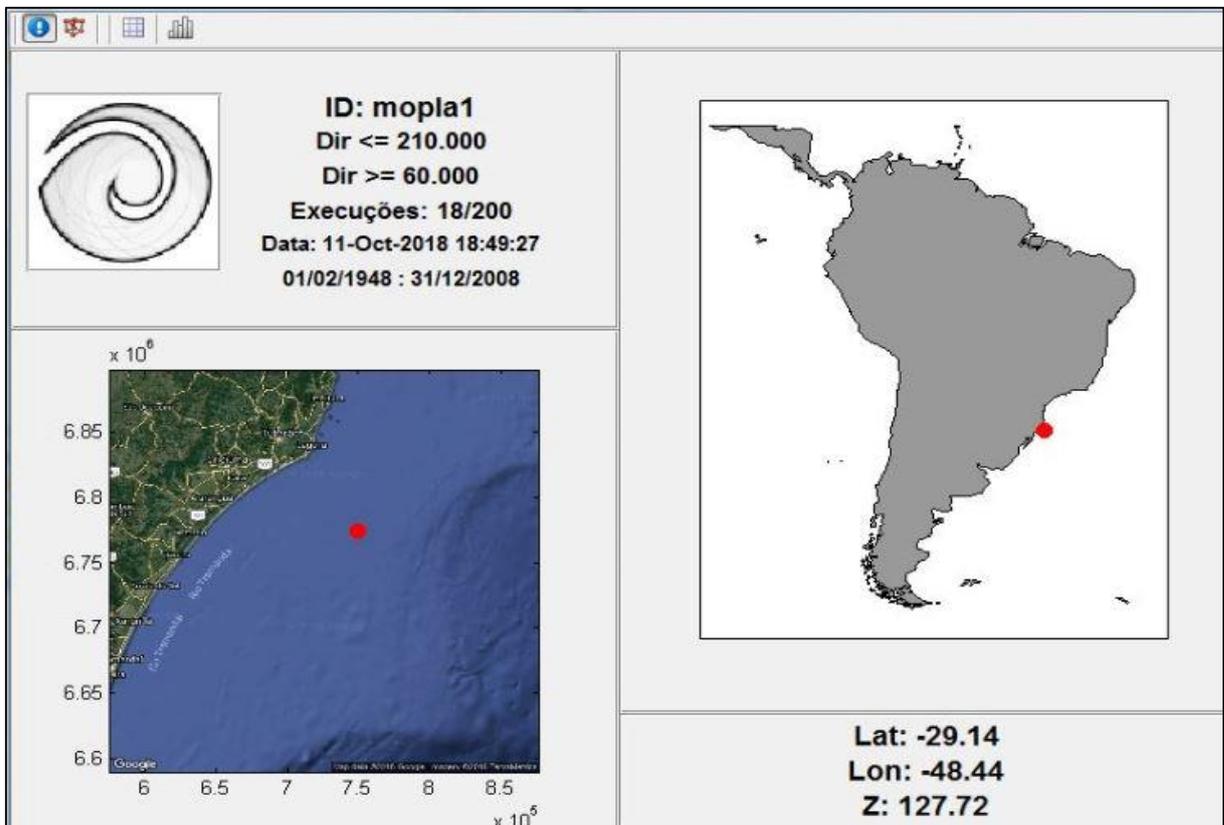


Figura 13: Localização do ponto DOW utilizado na propagação de ondas até águas rasas.

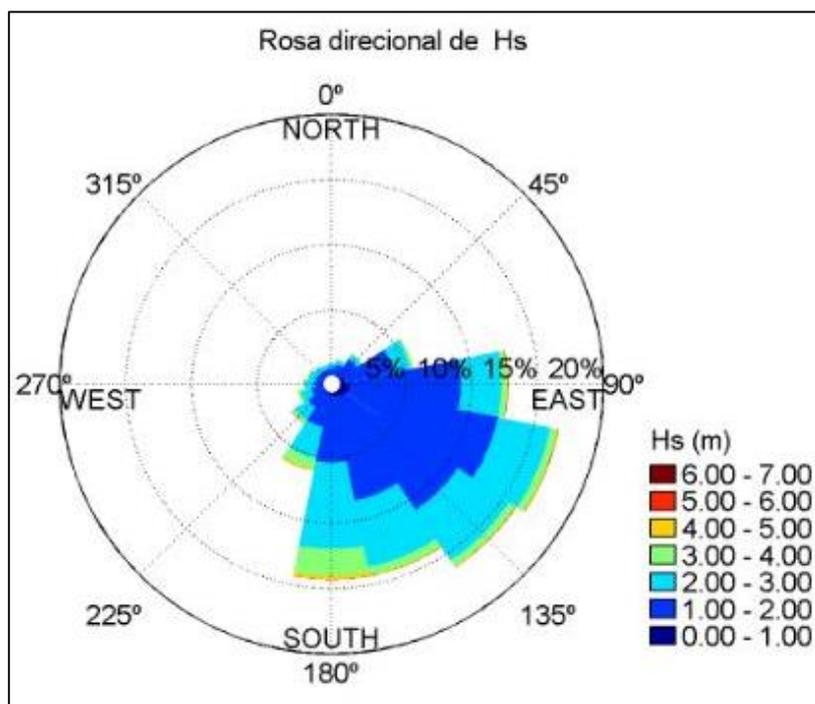


Figura 14: Rosa direcional de altura de onda do ponto Dow.

b) Seleção dos casos (MaxDiss)

A modelagem apresenta uma série reconstruída de cerca de 500.000 dados de estados de mar, para um período de 60 anos, com Hs, Tp e θ . Propagar todos esses casos, um a um, demanda um alto custo computacional e um longo tempo de espera para se obter o resultado final. Ou seja, quanto maior o número de casos propagados, melhor será a qualidade das séries reconstruídas, porém, o tempo de espera para se alcançar o resultado final será demasiadamente grande. Devido a este longo tempo de processamento, o software SMC-Brasil utiliza um método de seleção de casos, onde apura-se os casos mais representativos da série e devidamente propagados para a área selecionada.

Previamente a seleção dos casos, a série do ponto DOW foi reduzida para um conjunto de casos com direções possíveis de se propagar, ou seja, direções de ondas reais que efetivamente chegam a praia (de 60 a 210°), recusando, assim, casos com direções provenientes do continente e direções de ondas que não chegam a atingir a praia. Assim, a série é reduzida para o número de casos possíveis a se propagar, considerando tais ângulos de direções.

Após a redução da série, o modelo realiza a seleção dos casos a serem propagados, por meio do método Máxima Dissimilaridade (MaxDiss). Esta técnica tem como objetivo a seleção dos pontos dentro da série que sejam mais diferentes, ou seja, dissimilares entre si, garantindo assim, que os casos selecionados sejam representativos em todas as suas condições de estados de mar. A técnica seleciona, por meio de cálculo específico, um caso extremo e continua com a verificação da máxima dissimilaridade com o seguinte caso, onde, o caso anteriormente selecionado não participa mais da segregação (CAMUS, 2009).

Para tanto, recomenda-se que sejam propagados um número mínimo de 100 casos, sendo estes suficientes para um resultado satisfatório (BRASIL, 2017e). Essa recomendação advém de testes realizados por Camus (2009), onde a mesma utilizou diferentes tamanhos de subamostras, e, constatou que acima de 100 casos selecionados não apresenta diferença significativa no resultado. Apresenta-se na Figura 15 os resultados da seleção pela técnica MaxDiss.

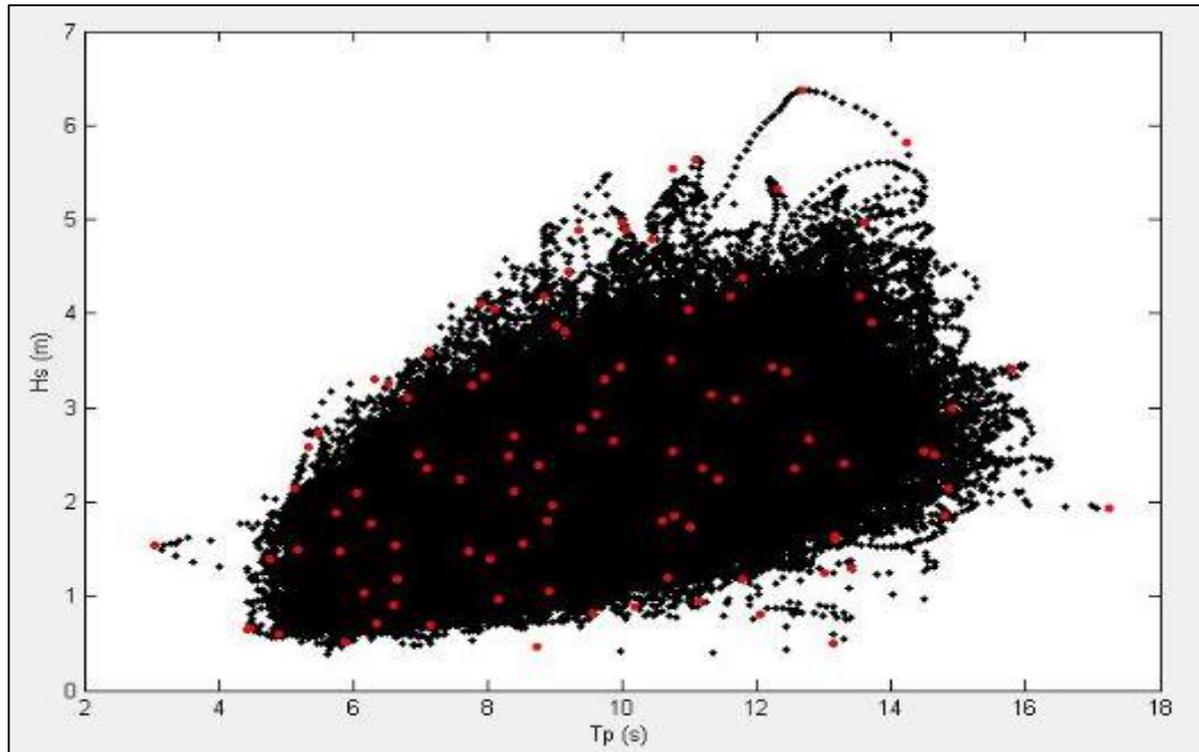


Figura 15: Casos selecionados para a propagação até a praia. Em preto estão os dados da série reduzida. Em vermelho são os casos selecionados.

c) Processamento da batimetria:

A propagação das ondas exige dados de batimetria, de forma a representar o fundo marinho o mais real possível. Foram utilizados dados batimétricos da base de dados do SMC-Brasil (já descritos anteriormente no Item 3.4.2iii). O processamento da batimetria na área foi realizado por meio da inserção de pontos de profundidade, representando isolinhas batimétricas, nos locais onde os dados de batimetria são escassos, com a finalidade de melhorar os resultados de interpolação dos dados de profundidade e evitar instabilidade no modelo.

A confecção da complementação da batimetria foi elaborada com base nos pontos batimétricos disponibilizados na área e com referência à profundidade do perfil de DEAN. Na modelagem numérica em questão, aplica-se a equação do perfil de equilíbrio proposto por Dean (1977), onde se assume que o perfil da praia é côncavo.

A construção do perfil de equilíbrio no presente estudo se deu por meio da aplicação da seguinte equação:

$$h = Ax^{2/3}$$

O valor do parâmetro A foi de 0.103. Este valor foi obtido a partir do tamanho médio do grão para a área de estudo, o qual é de 0,21 mm, segundo Short & Klein (2016). A partir dessa informação encontrou-se o valor de A, na tabela de valores recomendados para o parâmetro, conforme Dean (DEAN, 1977). O valor de X foi de 1000 metros, devido a batimetria. O perfil de DEAN elaborado para o presente estudo encontra-se na Figura 16.

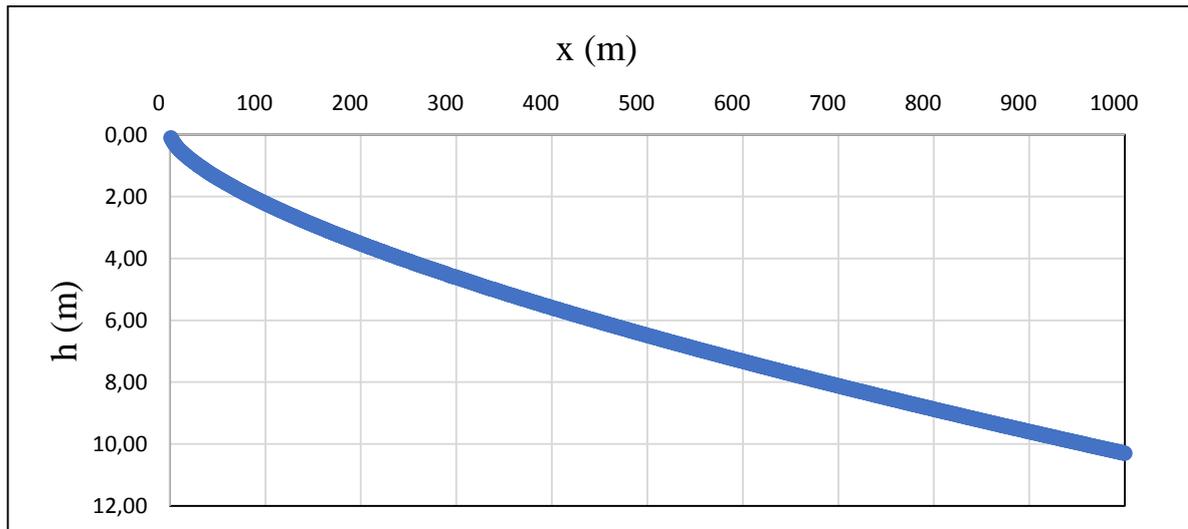


Figura 16: Perfil de Equilíbrio (Perfil de DEAN) da área de estudo. Onde h (m) é a profundidade e X (m) é o distância do perfil.

Com o gráfico do perfil de equilíbrio de Dean, procedeu-se com a criação da complementação da batimetria no modelo. Para tanto, foram inseridos 42 polígonos, que representam isolinhas de profundidade, ao longo da área de estudo, baseando-se a profundidade tanto nos pontos das cartas náuticas como no perfil de Dean. Conforme apresentado na Figura 17 (isolinhas elaboradas).

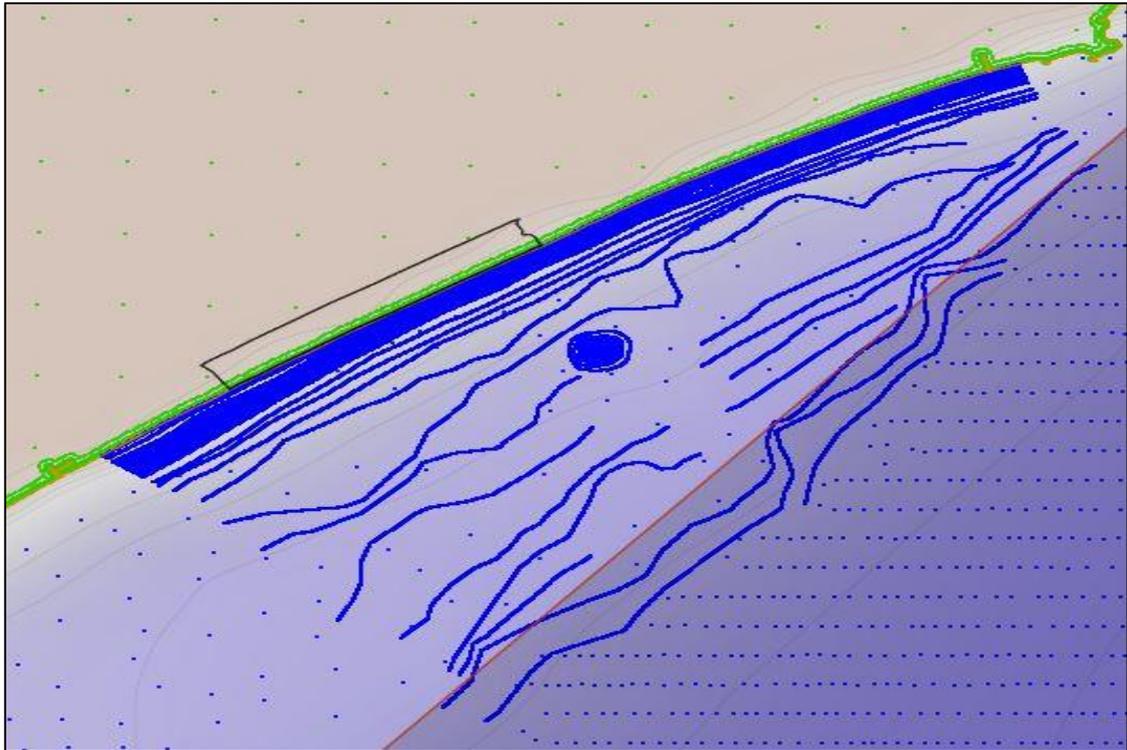


Figura 17: Isolinhas de profundidade elaboradas para o processamento da batimetria.

d) Malhas de Cálculo:

As malhas de cálculo foram geradas a partir das direções de onda e suas orientações, baseadas na rosa de ondas do ponto DOW, de 60° E a 210° S.

A partir das direções de ondas foi determinado o número de malhas necessárias e suas respectivas orientações. Nesse caso, foram criadas 3 malhas com direções de Sul, Sudeste e Leste. Apresenta-se na Figura 18 a malha de Sul, na Figura 19 a malha de Sudeste e na Figura 20 a malha de Leste, com suas respectivas resolução, orientação e demais detalhes.

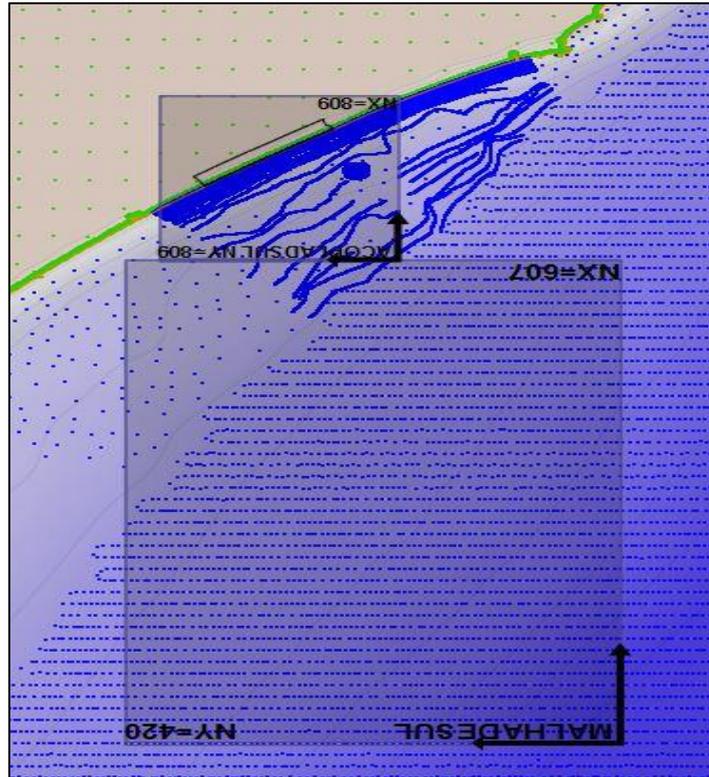


Figura 18: Malha externa e acoplada (maior resolução) de Sul. Direção de entrada de casos principal: 190°. Espaçamento malha externa: 100x100. Espaçamento da malha acoplada: 25x25.

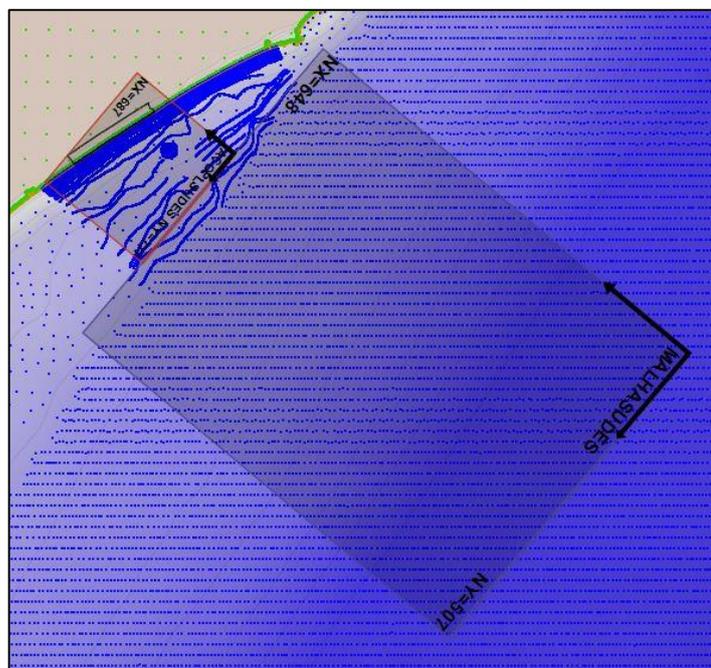


Figura 19: Malha externa e acoplada de Sudeste. Direção de entrada de casos principal: 140°. Espaçamento da malha externa: 100x100. Espaçamento da malha acoplada: 25x25.

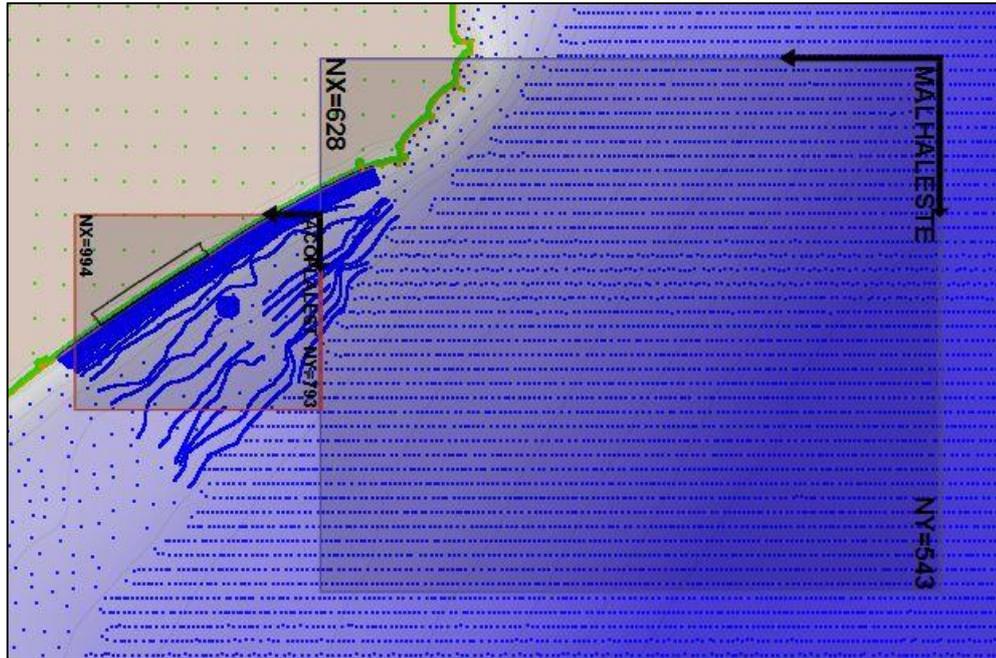


Figura 20: Malha externa e acoplada de Leste. Direção de entrada de casos principal: 90° .
Espaçamento da malha externa: 100×100 . Espaçamento da malha acoplada: 25×25 .

e) Propagação das ondas

A propagação de ondas de águas profundas (cada estado de mar – 100 casos) até águas rasas foi efetuado com o modelo OLUCA-SP, que integra o SMC 3.0. Este modelo foi utilizado por resolver adequadamente todos os processos que as ondas são submetidas ao aproximar-se da costa, como refração, difração, empinamento e quebra das ondas. Maiores informações do modelo são encontradas no Item 3.4.1.

f) Reconstrução da série em águas rasas

Após a propagação dos casos de ondas até a costa, se obteve informações dos seus parâmetros espectrais, sendo possível reconstruir as séries de estados de mar em águas rasas.

O método utilizado nesta etapa é a interpolação baseada em funções de bases radiais (*Radial Basis Function* - RBF) gaussianas, sendo uma técnica adequada para dados com alta dimensionalidade e não distribuídos uniformemente, considerada uma ferramenta eficiente para a reconstrução das séries temporais de ondas (CAMUS et al; 2011).

A técnica RBF considera que a função de aproximação é formada por uma combinação linear (soma ponderada) de funções radiais simétricas centradas nos pontos dos dados, dada pela seguinte equação:

$$RBF(x) = p(x) + \sum_{j=1}^M a_j \Phi(\|x - x_j\|)$$

Onde:

RBF é a função de interpolação;

x é o caso de onda em águas profundas

$p(x)$ é o polinômio linear em todas as variáveis envolvidas no problema;

a_j = coeficiente de ajuste RBF

Φ é a função radial básica para aquele parâmetro, onde $\| \cdot \|$ é a norma euclidiana

x_j é o centro da interpolação RBF (BRASIL, 2017e)

A reconstrução da série de estados de mar é realizada por meio de pontos de interesse e perfis distribuídos ao longo da costa da área de estudo. Uma vez elaborado os perfis e pontos de interesse no SMC-Tolls, aplica-se o método RBF descrito. Com esse processo as variáveis ambientais são reconstruídas para os pontos e perfis elaborados.

4.3.3 RUNUP

A modelagem SMC assumiu para o cálculo do *runup* o modelo empírico desenvolvido por Nielsen e Hanslow (1991), que diferencia a formulação para praias refletivas e praias dissipativas. Conforme a declividade da face de praia se utiliza uma equação em específica (BRASIL, 2017f). Como a área de estudo em questão é uma praia dissipativa, a equação utilizada para o cálculo do *runup* no presente estudo foi:

$$R_{2\%} = 1,98z$$

Onde: $Z = 0,04 (H_b L_o)^{0,5}$ para $\tan\beta < 0,1$

Onde: H_b = Altura significativa de onda na quebra (m);

L_o = Comprimento de onda em profundidade indefinidas (m);

$\tan\beta$ = Declividade da praia.

O *runup* representativo utilizado na modelagem para a obtenção do cálculo de inundação refere-se ao superado em 2% dos casos, ou seja, $R_{2\%}$.

4.3.4 Cálculo da cota de inundação (CI)

Os valores de *runup*, somado a série de maré meteorológica e maré astronômica, resulta na série de cotas de inundação, sendo estes associados aos perfis. Para tanto, foram elaborados 07 perfis ao longo da área, no módulo SMC-Tolls, com distância de 2.000 em 2.000 metros entre eles, os quais são apresentados na Figura 21. Ao final foi gerado um conjunto de resultados estatísticos, como histogramas, regimes extremos e regimes médios.

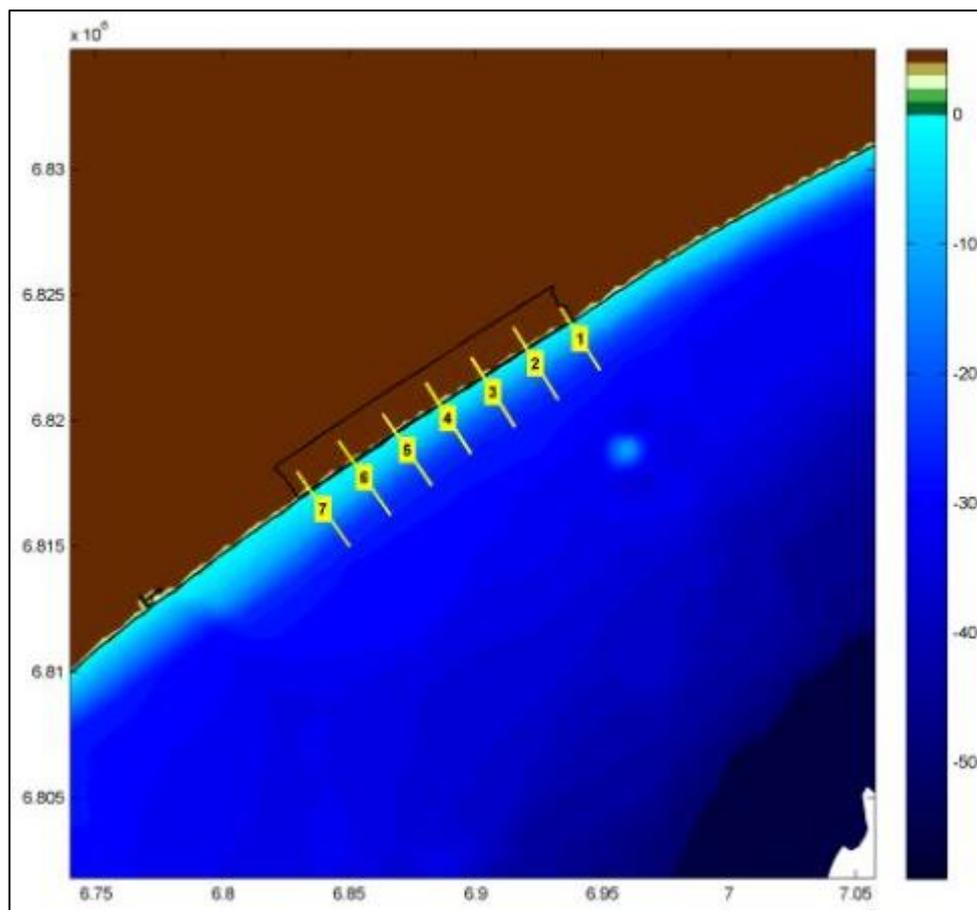


Figura 21: Perfis elaborados na modelagem numérica para a área de estudo.

4.3.5 Regime extremo

Para verificar as piores ocorrências de cota de inundação, a análise de regimes extremos se deu com base no método dos Máximos Anuais, que faz a análise da magnitude dos valores extremos (Item 3.4.3). Cada período de retorno (5, 10, 25, 50 e 100), foram calculados com a distribuição de Gumbel de Máximos (Item 3.4.3).

4.4 Limitações da metodologia

A delimitação das cotas de inundação para gerar os mapas temáticos, deve levar em consideração uma base única de elevação do terreno que contenha dados de batimetria e topografia. Porém, a base de batimetria da DHN e de topografia da SDS, utilizadas neste trabalho, estão referenciadas em *data* verticais distintos. Onde, o Datum da DHN possui como referência o nível médio das mais baixas marés de sizígia. E o Datum utilizado para o levantamento da SDS são de responsabilidade do IBGE, que possui como referência o nível médio do mar, medido em Imbituba. Havendo, portanto, uma diferença entre os “zeros” das duas bases.

A verificação da diferença dos *data* verticais para a área de estudo consistiu na localização de dois marcos RN (Referência de Nível) do IBGE e do DHN próximos a área de estudo. Assim, foram adotados os RNs dos marcos localizados no Porto de Imbituba, distante cerca de 80 km de Jaguaruna. A aquisição das informações a respeito das duas bases, se deu a partir da disponibilização dos dados de levantamento altimétrico realizado pela EPAGRI (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina) no Porto de Imbituba, o período de levantamento da EPAGRI foi de dois anos e meio (entre 2014 a 2016) e o RN utilizado foi o RN 3122S – RN 1 DHN. Os valores do levantamento resultaram em 2,312 m, referenciado pelo datum do IBGE, e, 2,660 m, referenciado pelo Datum do DHN, gerando uma diferença de *data*, entre os “zeros”, de 0, 348 m. Onde, para aproximar os valores de elevação do terreno, foi subtraído o valor da diferença de *datum* do Modelo Digital do Terreno (MDT), conforme representado na Figura 22.

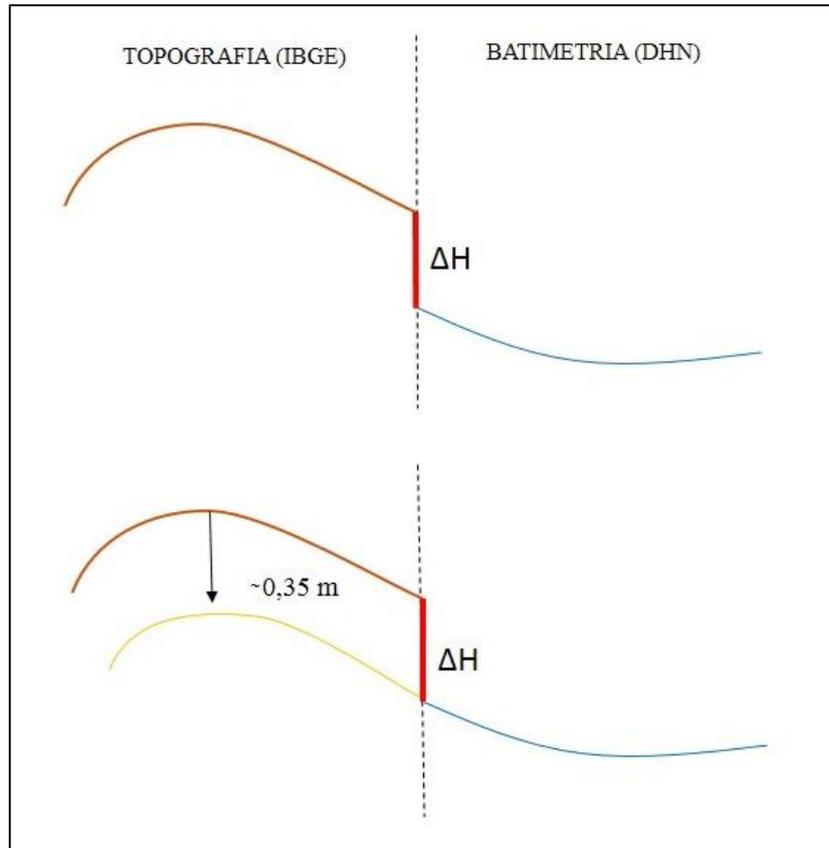


Figura 22: Representação da correção da topografia.

4.5 Delimitação dos regimes de inundação

A delimitação dos regimes de inundação resultou em mapas temáticos, onde foram determinados os contornos das cotas de inundação para os diferentes períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos, adquiridos pela modelagem. O critério utilizado para o limite da mancha de inundação considerou as áreas com valores topográficos menores que os valores das cotas. Para tanto, utilizou-se os dados de altimetria do Modelo Digital do Terreno (MDT), com a representação matemática contínua do relevo da superfície terrestre da área analisada. O MDT foi disponibilizado pela Secretaria de Desenvolvimento Sustentável (SDS) do Estado de Santa Catarina (SDS, 2012).

De acordo com relatório disponibilizado pelo Laboratório de Oceanografia Costeira (LOC) da UFSC, o MDT possui um erro de processamento no seu produto final. Com isso, buscou-se aprimorar o mesmo, por meio da aquisição de levantamentos de perfis praias perpendiculares a linha de costa. Os perfis são provenientes de levantamento realizado pela equipe do CECO para um projeto de Manejo de Dunas do município de Jaguaruna (GRUBER

et al; 2018), onde os dados foram coletados por meio de GNSS pós processado a cada 500 metros, ao longo de todo o litoral de Jaguaruna. Com a inserção dos pontos coletados no Software de geoprocessamento (ArcGis), foi confirmado uma diferença entre a altimetria do MDT e dos perfis praias, de cerca de 1,00 metro, onde a altimetria do MDT está entorno de 1 metro abaixo dos perfis praias, conforme apresentado na Figura 23.

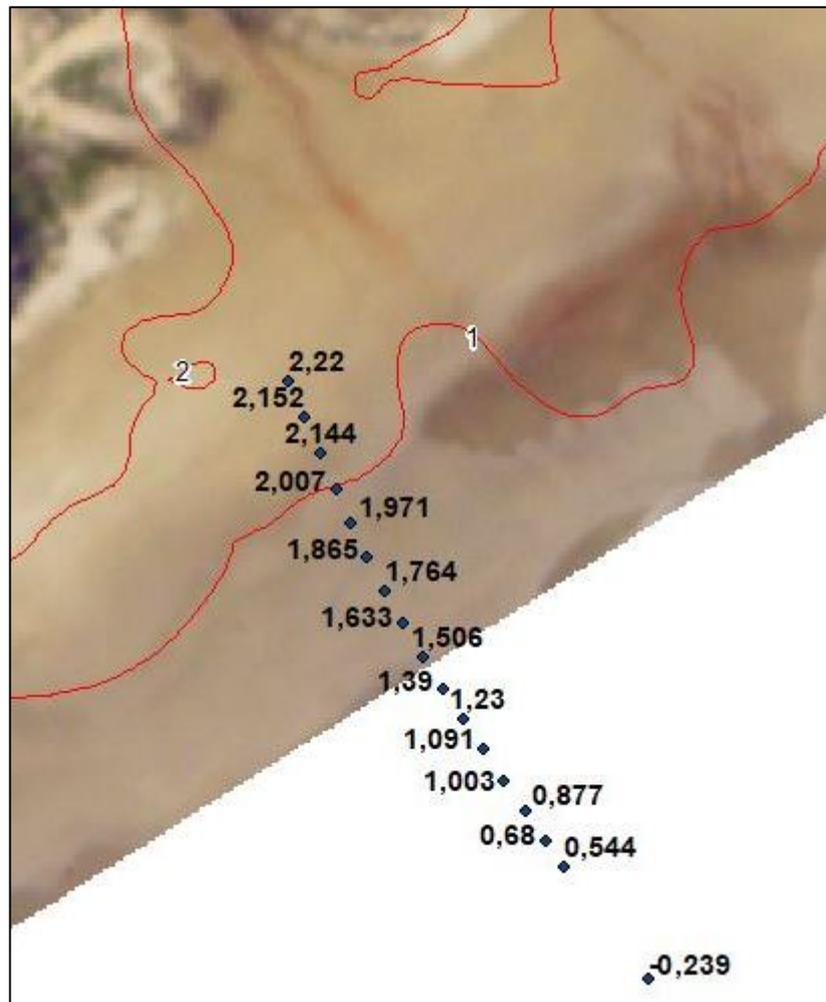


Figura 23: Verificação das curvas de nível do MDT e dos perfis praias. Linha em vermelho: curva de nível do MDT com o valor da altimetria (número em branco). Pontos em azul: pontos coletados do perfil praias, com o valor da altimetria (número preto).

Reunindo a informação do aprimoramento do MDT com a informação da diferença de Datum IBGE e DHN, descrita anteriormente, onde esta última apresenta uma diferença de aproximadamente $-0,35$ m, e, com o erro de processamento do MDT de $\pm 1,00$ metro, foi efetuada a elevação do MDT em 65 cm.

Posterior aprimoramento do MDT se procedeu com delimitação das cotas de inundação, na ortofoto de 2012 (SDS-SC), onde foram traçadas as áreas com níveis topográficos menor que os valores das cotas de inundação gerados. Alguns perfis da modelagem apresentaram valores distintos de cotas de inundação, para tanto, ao confeccionar as cartas de inundação realizou-se uma interpolação manual das cotas geradas em cada perfil, no Software ArcGis, realizando um acompanhamento das curvas de nível com a cota gerada em cada perfil correspondente, de forma a suavizar o contorno da mancha de inundação.

4.6 Verificação da área urbana atingida pelos regimes de inundação

Realizada a confecção da mancha de inundação, procedeu-se com a verificação da área urbana atingida. Esta etapa foi realizada com a sobreposição dos polígonos da área urbana, este disponibilizado pela equipe do CECO (GRUBER et al; 2013b) e das cotas de inundação digitalizadas. A sobreposição dos polígonos teve como função a combinação de duas camadas, ou seja, dos dois polígonos, em uma única camada, sendo a sobreposição utilizada para localizar as áreas onde o polígono da mancha de inundação, simultaneamente, pertence ao polígono da área urbana (intersecção). Aplicou-se uma ferramenta de intersecção disponível no Software ArcGis, para confirmar a sobreposição do polígono da área urbana e da mancha de inundação, a fim de verificar a fração da área urbana atingida pela inundação, estimando a área em km e %. O cálculo da área atingida foi realizada na tabela de atributos do ArcGis.

A segunda etapa da verificação área urbana atingida, considerou a busca de informações sobre inundações costeiras ocorridas na área. Sendo assim, foi realizada uma investigação por meio de notícias de jornais locais e contato com órgãos locais (Prefeitura, defesa civil, bombeiros). Dentre os jornais locais pesquisados, foi encontrado um noticiário sobre um evento meteorológico extremo (ciclone extratropical), ocorrido na cidade de Jaguaruna em outubro de 2016, com um registro fotográfico da amplitude da inundação costeira (Figura 24). Por meio de contato com a autora da fotografia, foi adquirida a informação da localização da fotografia, sendo esta ao final da rua Anita Garibaldi com a Avenida Atlântica, no balneário Campo Bom, ponto este localizado na Ortofoto de 2012, que será demonstrado posteriormente. Assim, foi possível verificar o alcance da inundação costeira durante este evento meteorológico, bem como, se houve a ocorrência de um evento de inundação costeira conforme as cotas obtidas pela modelagem.



Figura 24: Registro fotográfico de inundação costeira ocorrido na área de estudo em outubro de 2016.
Autora da foto: Sônia Ribeiro Goulart. Fonte: Portal Jaguaruna.

Capítulo 5 - RESULTADOS

5.1 Clima de ondas em águas profundas (Ponto DOW)

A caracterização do clima de ondas em águas profundas na área de estudo, conforme informações geradas na base de dados do SMC-Brasil (em uma escala temporal de 60 anos – 1948 a 2008), apresentaram uma probabilidade de direções de ondas predominantes de Leste (E), Leste-sudeste (ESE), Sudeste (SE), Sul-sudeste (SSE) e Sul (S), conforme já demonstrado na rosa de altura de ondas (Item 4.3.2a). Avaliando as principais direções, observa-se pela Figura 25 que a altura de ondas em condições medianas ($H_{s50\%}$) variou de 1,6 m a 2,2 m, e, a altura significativa de onda superada 12 horas ao ano (H_{s12}), correspondente à tempestade anual, variaram de 4,14 m a 4,96 m. No tocante ao período de pico (T_p), as condições medianas ($T_{p50\%}$) apresentadas variou de 7,8s a 10s, e na condição de temporais anuais (T_{p12}) variou de 11s a 15s (Figura 26). A maior frequência de ondas provém da direção Leste-sudeste (ESE), com 16,92%, seguida da direção de Sudeste (SE) com 16,21%.

TABELA ESTATÍSTICAS BÁSICAS					
Variável medida: Hs					
direções(N°)	prob. direção	$H_{s_{50\%}}$	$H_{s_{30\%}}$	$H_{s_{99\%}}$	$H_{s_{12}}$
N	0.0092	1.8019	2.5115	3.1993	3.6412
NNE	0.0122	1.7101	2.3744	3.1916	3.4962
NE	0.0210	1.6097	2.2871	3.0438	3.4971
ENE	0.0559	1.6365	2.4531	3.2788	3.6657
E	0.1272	1.6582	2.5503	3.5245	4.1461
ESE	0.1692	1.6872	2.5150	3.6191	4.4855
SE	0.1621	1.7612	2.5720	3.5805	4.3478
SSE	0.1432	1.8776	2.6889	3.8313	4.7675
S	0.1433	2.2395	3.2720	4.3171	4.9644
SSW	0.0614	2.1216	3.2544	4.2572	4.7596
SW	0.0302	1.9975	2.9754	3.9578	4.4156
WSW	0.0197	2.0271	2.9817	3.7901	4.1223
W	0.0150	2.0426	2.9005	3.6668	4.0095
WNW	0.0123	1.9933	2.7585	3.4868	3.8315
NW	0.0098	1.9456	2.7118	3.3267	3.9186
NNW	0.0084	1.8743	2.6479	3.6674	4.2291

Figura 25: Tabela estatística de Hs do ponto DOW.

TABELA ESTATÍSTICAS BÁSICAS

Variável medida: Tp

direções(Nº)	prob. direção	TP _{50%}	TP _{50%}	TP _{99%}	TP ₁₂
N	0.0092	5.8324	6.9981	8.0941	8.8870
NNE	0.0122	6.0686	7.2217	8.2049	9.0088
NE	0.0210	6.5672	7.7070	8.5736	9.0649
ENE	0.0559	7.4229	8.8574	9.8387	10.4558
E	0.1272	7.8492	9.4579	10.5820	11.2086
ESE	0.1692	7.6985	9.6897	11.2575	12.2214
SE	0.1621	8.1742	10.5201	12.1794	13.1948
SSE	0.1432	9.1019	11.6792	13.4558	14.4799
S	0.1433	10.0962	12.9444	14.6255	15.4534
SSW	0.0614	8.8097	11.7981	13.8678	14.9615
SW	0.0302	7.6284	9.6246	11.4765	12.6784
WSW	0.0197	6.9401	8.4185	10.1166	11.6485
W	0.0150	6.3249	7.5942	8.8128	10.1490
WNW	0.0123	5.9867	7.1591	8.5977	9.4345
NW	0.0098	5.8338	7.0086	8.4275	12.2451
NNW	0.0084	5.7324	6.9109	8.0981	9.3444

Figura 26:Tabela estatística de Tp do ponto DOW.

Em relação a direções de ondas durante as estações do ano (verão, outono, inverno e primavera), apresenta-se na Figura 27 a representação gráfica das rosas direcionais. Onde, no período de verão a predominância de ondas vem de ESE e SE, no inverno a predominância de ondas é de S, durante a estação de outono a dominância são de ondas de ESE, SE, SSE e S, já na primavera a maior incidência está em E, ESE, SE, SSE. Sendo nessas duas últimas estações as que apresentam os maiores valores de alturas de ondas.

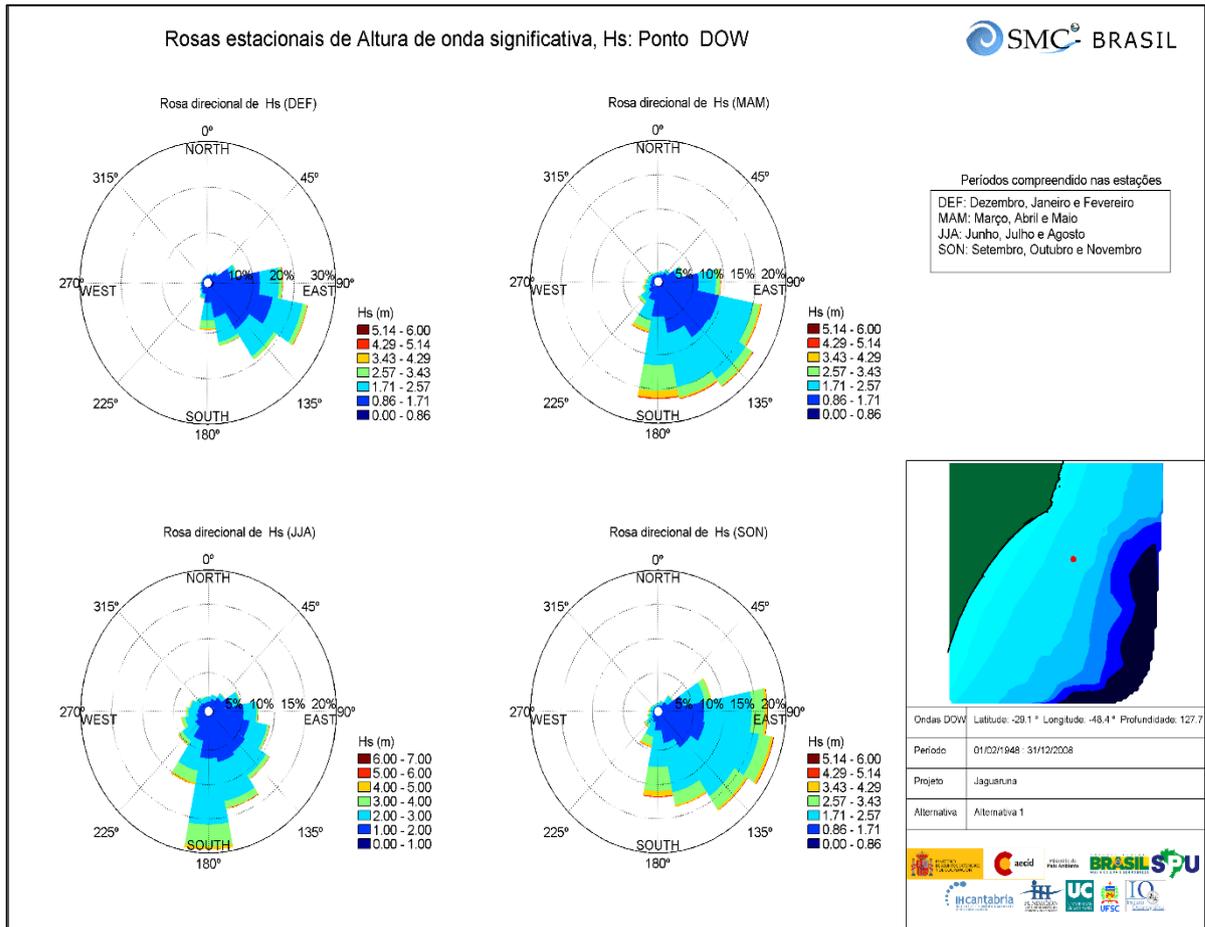


Figura 27: Rosas de direções de ondas do ponto DOW para cada estação do ano: Verão (DEF), outono (MAM), inverno (JJA) e primavera (SON).

5.2 Propagação de ondas

Os resultados da propagação dos casos para as praias da área de estudo estão representados pelas Figura 28 (direção de Leste), Figura 29 (direção de Sudeste) e Figura 30 (direção de Sul). Para representar a propagação de ondas, foram escolhidos apenas um caso representativo dos 100 propagados para cada malha.

A modelagem da propagação de ondas para as três principais direções (E, SE e S) demonstrou que os casos de direção Leste foram os que apresentaram menor altura de onda, em toda a extensão da área, no máximo 2,2 m. Observa-se aumento da altura da onda exatamente no local do parcel rochoso, porém, ocorre um processo de difração logo atrás e ao lado do mesmo.

Os casos de Sudeste foram os que apresentaram maior altura de onda, alcançando 4,2 metros. Sendo que no parcel a altura de onda chega a 6,0 metros, ocorrendo também no local uma leve atenuação da energia das ondas.

Nos casos de Sul a altura das ondas se mostrou no entorno de 2,8 m. Como nos outros casos, ocorreu um aumento na altura da onda no parcel, não havendo, aparentemente, processo de difração nos casos de Sul.

De forma geral, em todos os casos, as ondas chegam direto na praia e com altura homogênea em toda a extensão. A presença do parcel, aparentemente, não causa influência na direção e altura das ondas que chegam a praia.

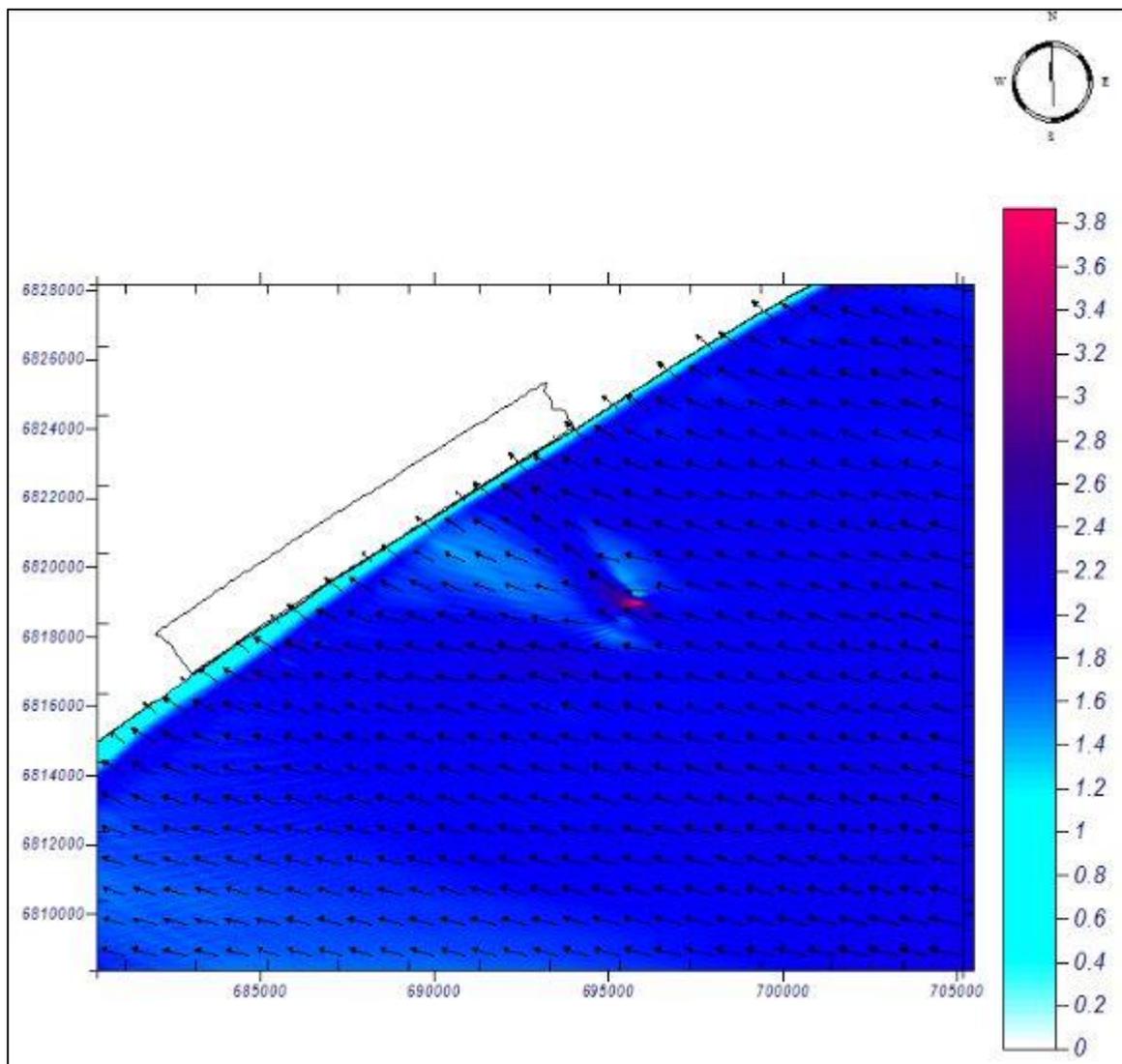


Figura 28: Caso de onda propagado nas praias centrais de Jaguaruna na malha com direção de Leste. Caso espectral: 56. Hs: 2.25 m. Tp: 11. 41s. Direção: 104.52

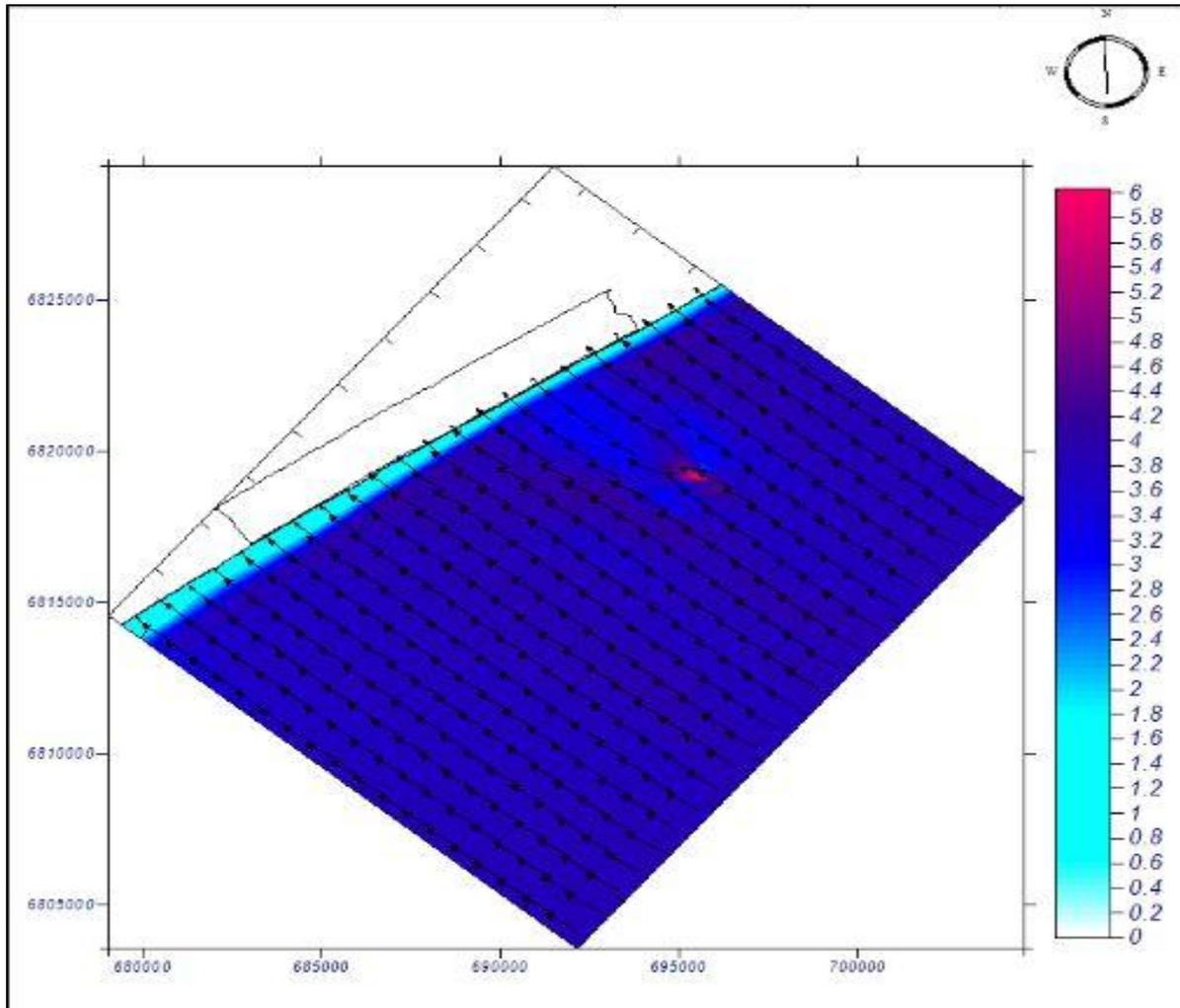


Figura 29: Caso de ondas propagado nas praias centrais de Jaguaruna na malha com direção Sudeste.
Caso espectral: 60. Hs: 4.18 m. Tp: 11.6 s. Direção: 122.45

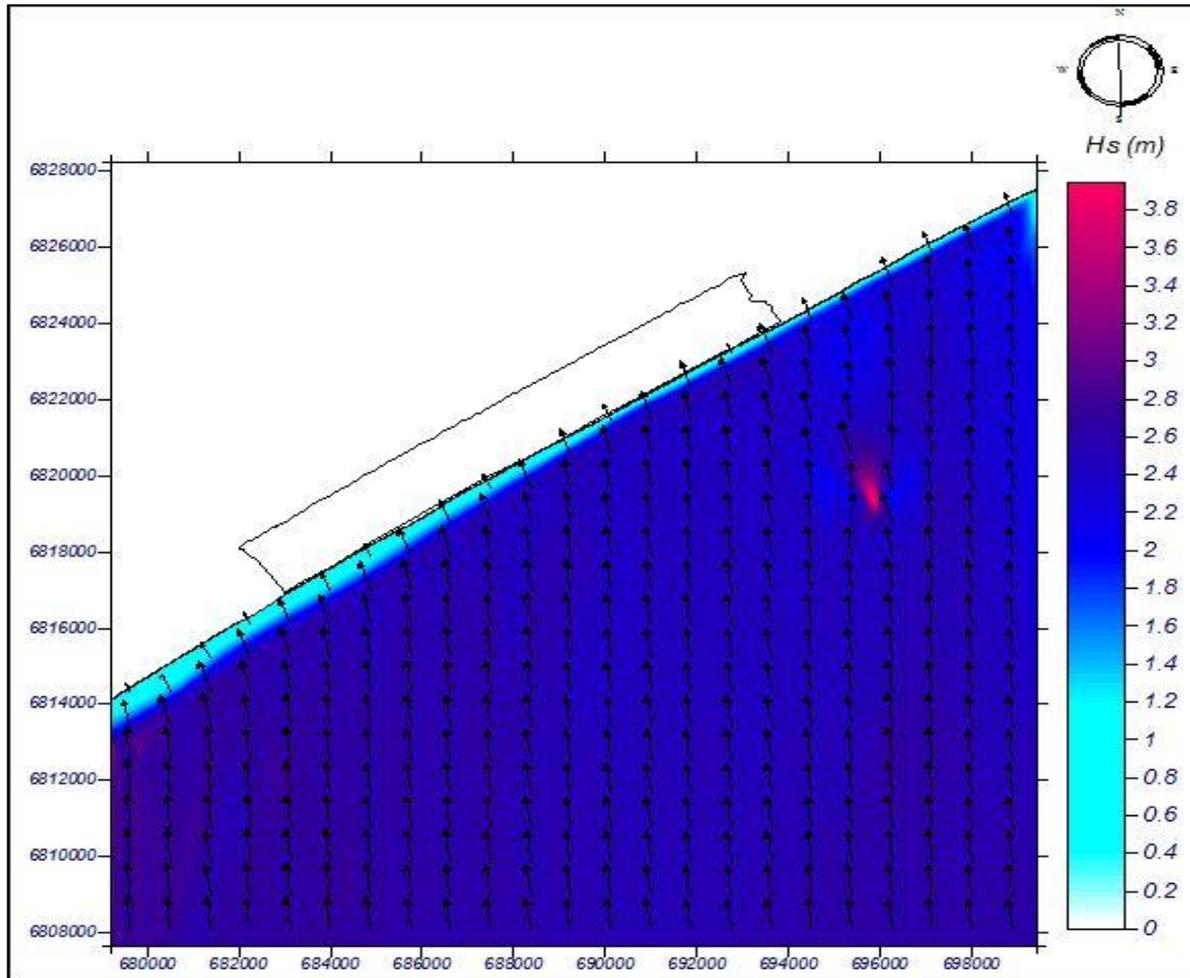


Figura 30: Caso de ondas propagado nas praias centrais de Jaguaruna na malha com direção Sul. Caso espectral: 16. Hs: 2.78 m. Tp: 9.37s. Direção: 177.27.

5.3 Reconstrução da Série em águas rasas

A reconstrução da série em águas rasas contou com 07 perfis ao longo da costa da área de estudo, conforme descritos anteriormente (Item 4.3.2(f) e Item 4.3.4). Onde foi possível caracterizar o clima de ondas, os valores do *runup* e a cota de inundação.

Para caracterizar o clima de ondas na zona de interesse, serão apresentados os parâmetros para o ponto localizado ao centro da zona de estudo (ponto 04), visto que o interesse está próximo à praia e os demais pontos não apresentaram diferenças significativas.

O *runup* e a cota de inundação serão apresentados nos tópicos seguintes.

A direção de ondas ao atingirem a costa, demonstrou predominância de Sul-sudeste (ESE), com cerca de 24,73%, em seguida vem as ondas com direção de Sudeste (SE), com 22,93% e após, direção de Sul-sudeste (SSE) com 21,96%. A altura significativa de ondas para condições médias (Hs50%) varia entre 0,98 e 1,92 m. Já para as condições de onda de tempestade que excede 12 horas ao ano (Hs12) variou de 1,64 a 4,82 metros. Conforme o gráfico de regime médio de ondas, a probabilidade de não excedência de ondas em 50% do tempo observado é de 1,5 metros, informações apresentadas na Figura 31. Verifica-se que as ondas com maior ocorrência possuem altura no entorno de 1,5 m, conforme apresentado no histograma da Figura 32.

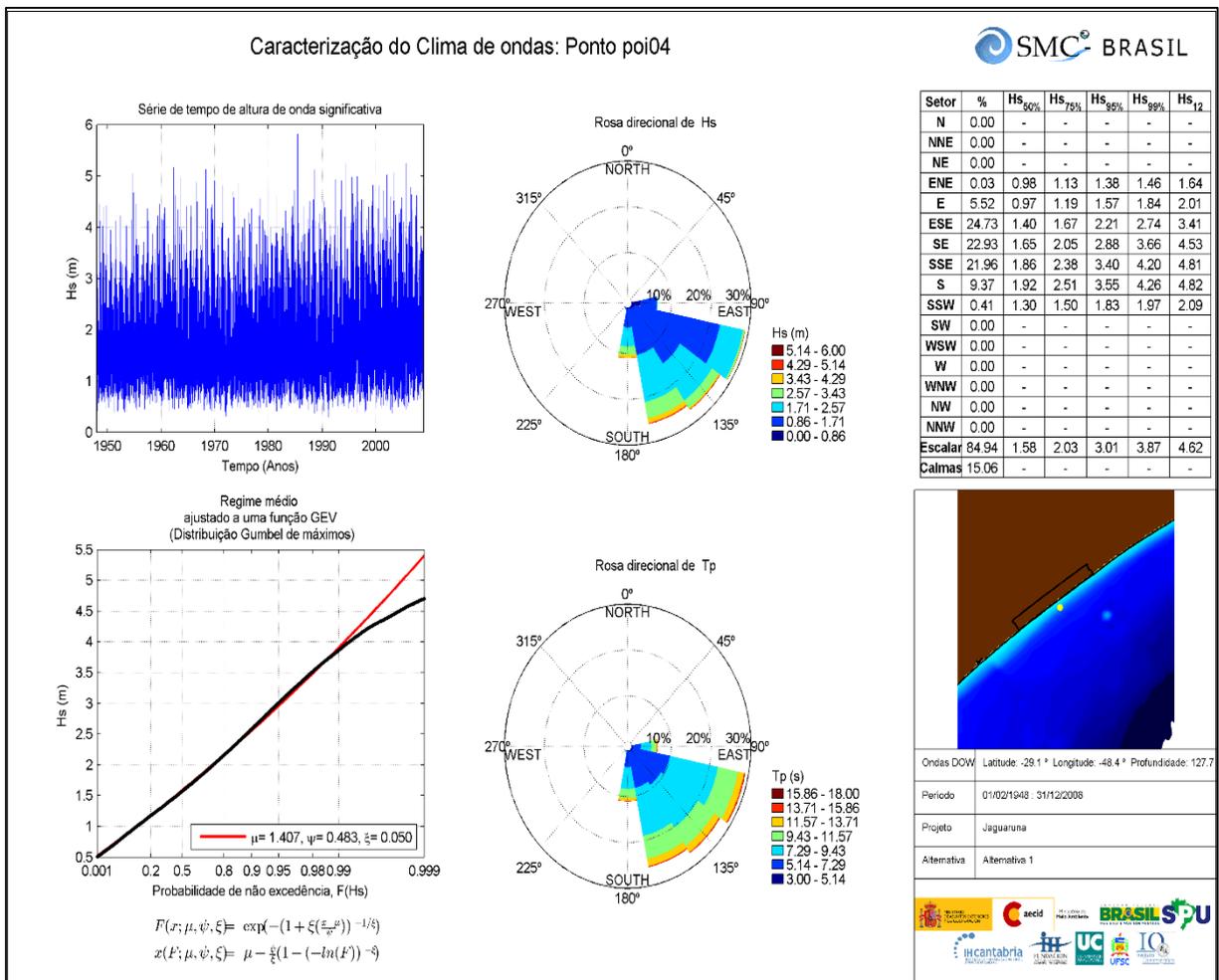


Figura 31: Caracterização do clima de ondas no ponto de análise (P04), com localização do ponto, série temporal e regime médio de altura de ondas significativas, rosa direcional de altura (Hs) e período de pico (Tp).

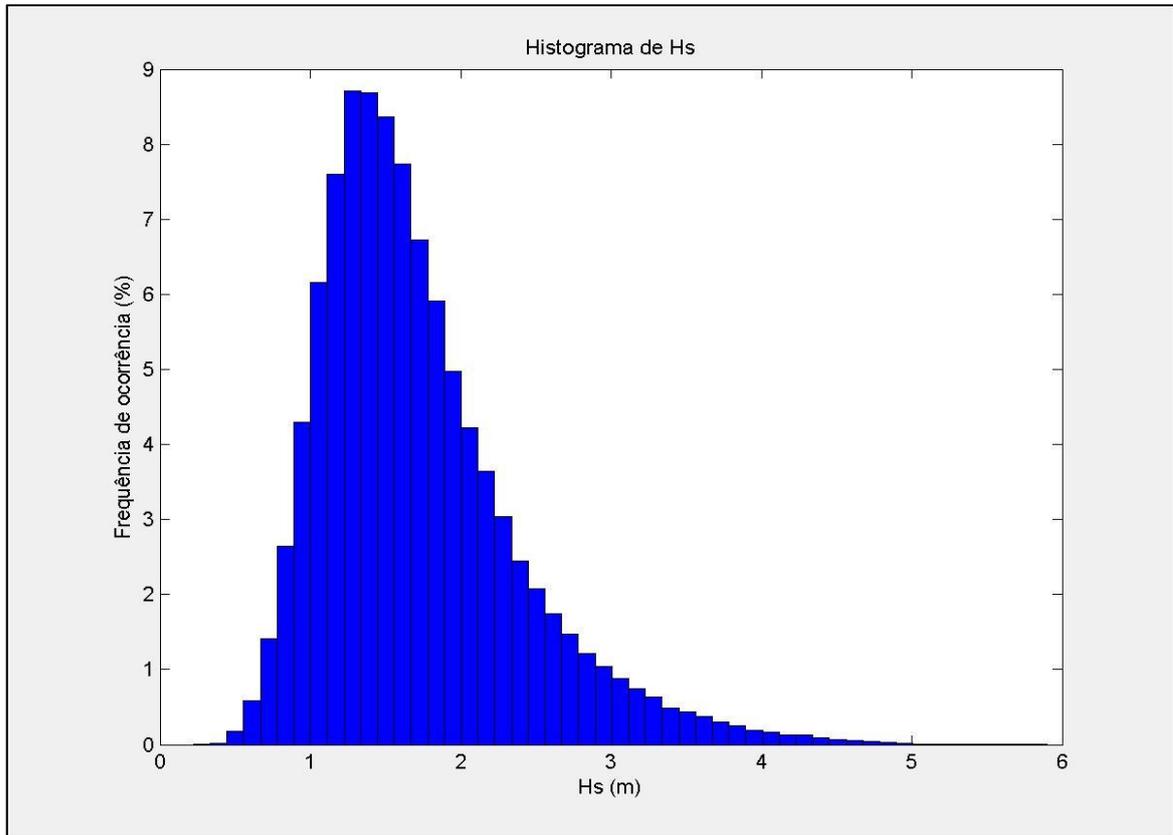


Figura 32: Representação da altura média de onda em águas rasas (Ponto 04).

5.4 Runup

Os valores médios do *runup* se mostraram semelhantes para os perfis 01, 02, 03, 04, estes localizados do centro para o sul da área. Os perfis 05, 06 e 07 apresentaram valores de *runup* moderadamente maiores, conforme apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Valores médios do *runup* em cada perfil.

Perfil	Valor do Runup (m)
01	0,6
02	0,6
03	0,6
04	0,6
05	0,7
06	0,7
07	0,8

De acordo com Roos e Batjes (1976), os valores de *runup* estão diretamente relacionados com valores de altura de ondas e declividade da face da praia. Portanto, como a altura média de onda foi o mesmo para todos os perfis, e o *runup* apresentou valores moderadamente acima para os perfis ao sul da área, deve-se considerar o parâmetro de declividade da face de praia na diferença de resultado encontrado.

5.5 Cotas de inundação

Conforme já descrito, a cota de inundação (CI) em uma praia é estabelecido pela ação conjunta de maré meteorológica, maré astronômica e do *runup*. Portanto, esses três elementos somados resultaram no nível alcançado por uma inundação.

Os valores de cota de inundação com maior frequência de ocorrerem é entre 0,6 a 0,8 metros, conforme representado na Figura 33.

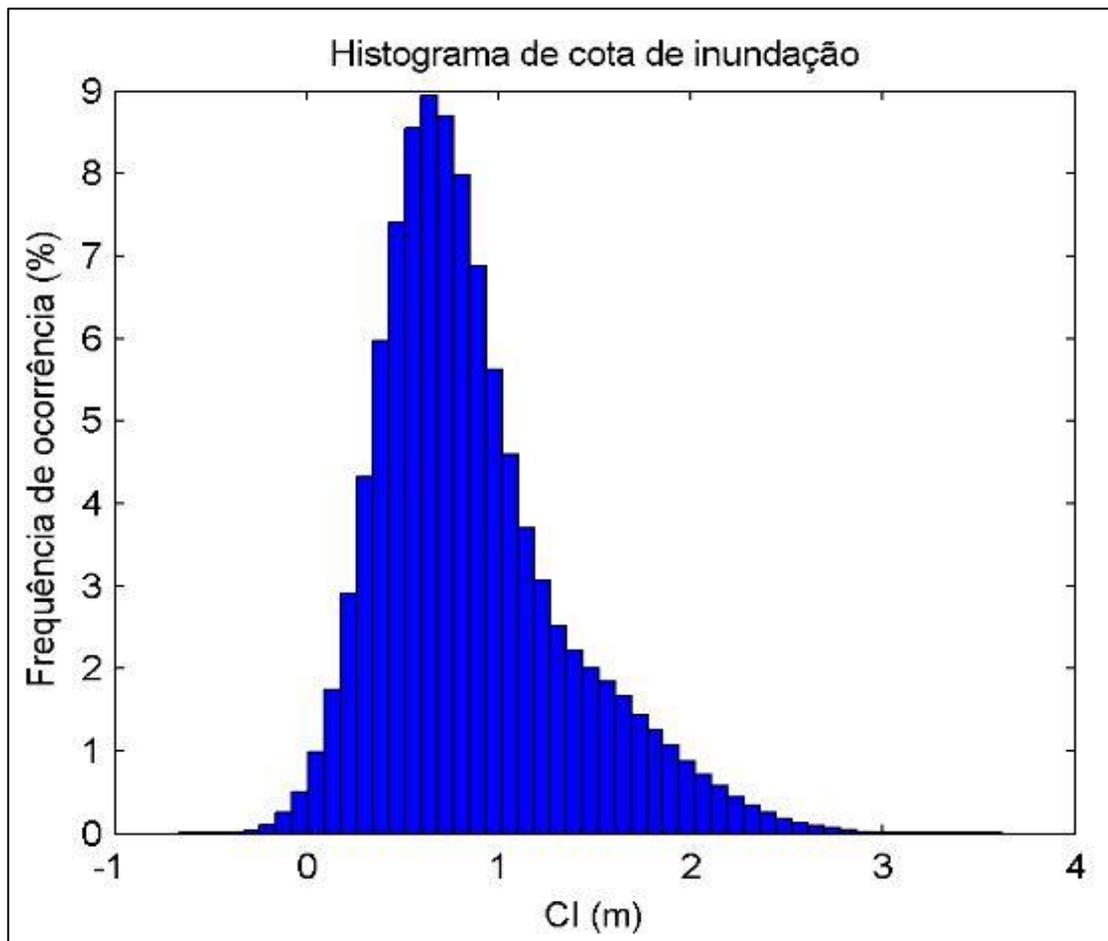


Figura 33:Frequência de ocorrência de CI para o perfil 04.

No presente estudo, foram considerados valores de cota de inundação para regimes extremos, ou seja, os piores cenários possíveis, com o período de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos em cada perfil. Os valores encontrados são apresentados, em forma de gráfico, nas Figura 34 e Figura 35. Os valores extremos de cota de inundação apresentaram diferença entre os perfis, como pode ser observado nos valores para o período de retorno de 10 anos, onde os maiores valores de cota de inundação recaem sobre os perfis localizados ao Sul da área, perfil 05, 06 e 07, no entorno de 3, 5 m de cota de inundação. Os demais perfis, 01, 02, 03 e 04 apresentaram cotas na faixa de 3,0 m, 2,9 m, 2,7 m e 3,2 m, respectivamente.

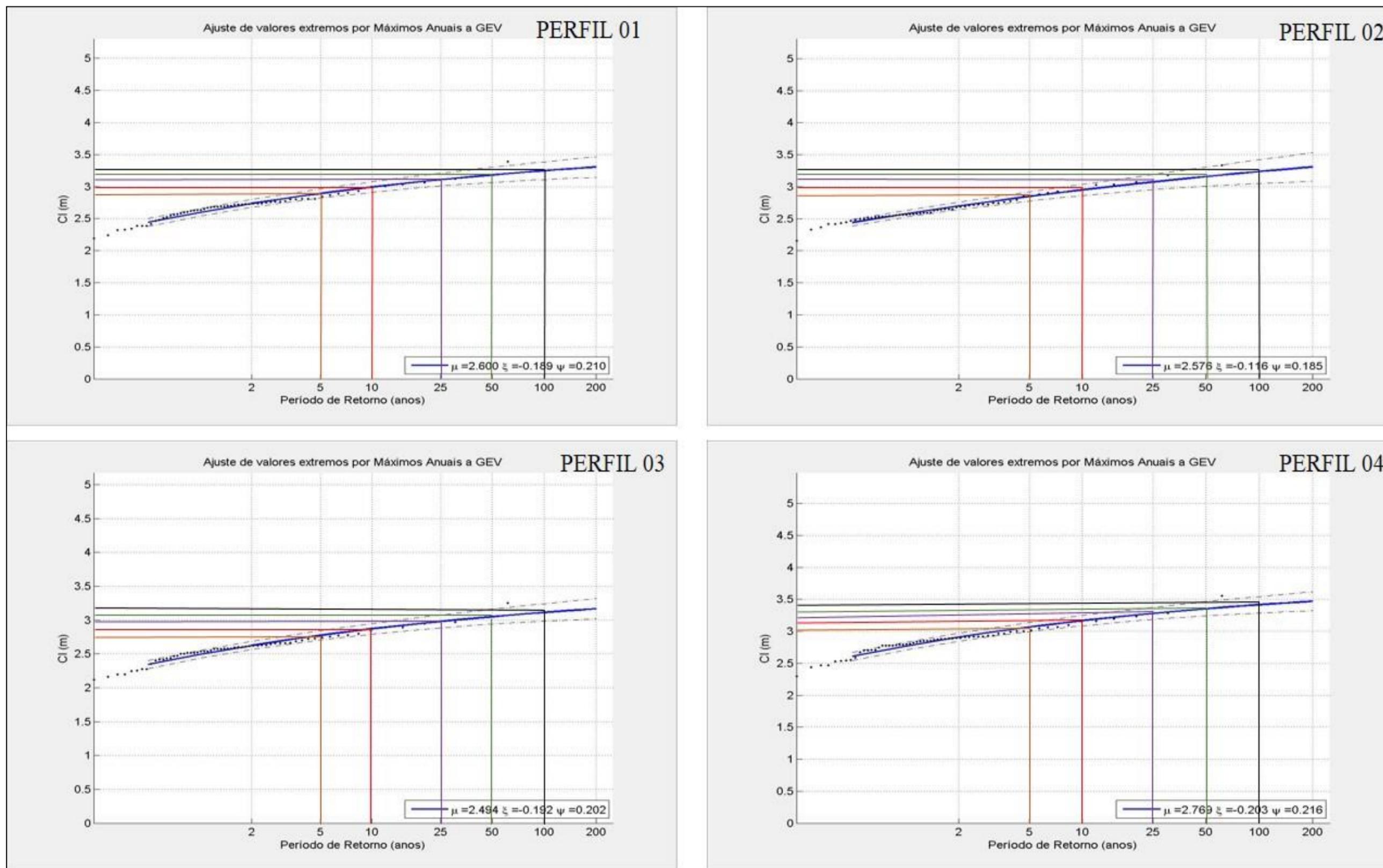


Figura 34: Gráficos com valores extremos e períodos de retorno das cotas de inundação dos perfis 01, 02, 03 e 04.

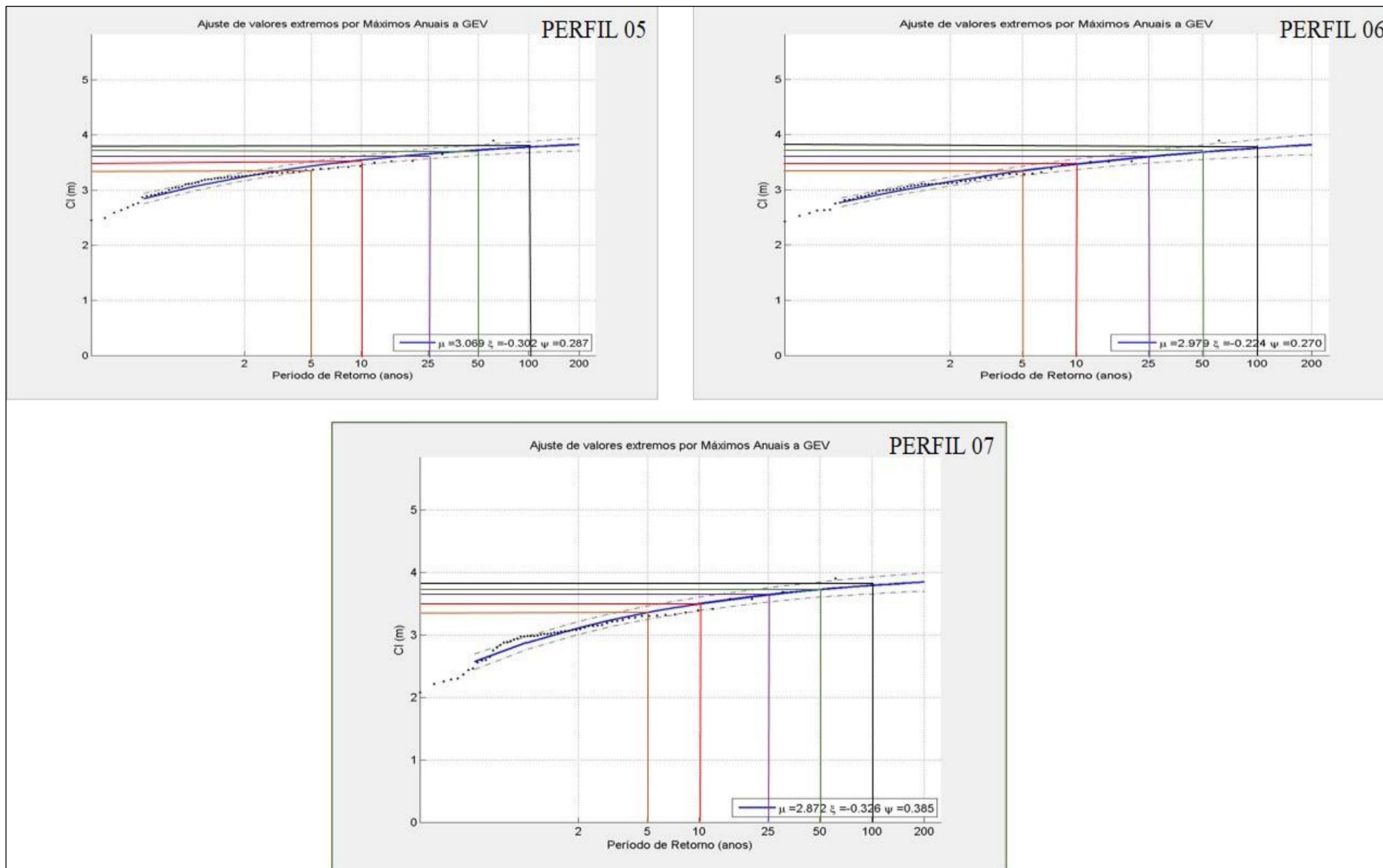


Figura 35: Gráficos com valores extremos das cotas de inundação dos perfis 05, 06 e 07.

Os valores, aproximados, das cotas para os respectivos períodos de retorno estão sintetizados na Tabela 3. Tomando como exemplo o período de retorno de 10 anos, significa que, em uma década, os valores de cotas calculados podem ocorrer ao menos uma vez. E, esse tempo, pelo SMC, inicia a contar a partir de 2008, que foi o limite da base de dados utilizados na modelagem. Onde, remete que, até 2018, já deve ter ocorrido um valor de CI atinente ao período de retorno de 10 anos.

Tabela 3: Valores extremos de CI relativos ao PR.

Perfil	PR 5 anos (m)	PR 10 anos (m)	PR 25 anos (m)	PR 50 anos (m)	PR 100 anos (m)
01	2,9	3,0	3,2	3,3	3,4
02	2,9	2,9	3,2	3,3	3,4
03	2,7	2,7	3,0	3,1	3,2
04	3,0	3,2	3,3	3,4	3,4
05	3,4	3,5	3,7	3,8	3,9
06	3,4	3,5	3,7	3,8	3,9
07	3,3	3,5	3,7	3,8	3,8

5.6 Áreas expostas à inundação costeira

De conhecimento das cotas de inundação, dos períodos de retorno e da altimetria da área de estudo, foi possível determinar os contornos da inundação. Oportunizando, assim, a geração de mapas temáticos, que constituem um recurso para a representação desse fenômeno geográfico, uma vez que possibilita a espacialização das condições físicas levantadas, e, a posteriori, propicia a análise física e demográfica das áreas atingidas pelos eventos de inundação.

Para fins de analisar as áreas expostas aos regimes extremos de inundação e os referentes períodos de retorno, foram elaborados mapas com a mancha de inundação para os períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos, apresentados em anexo.

O total de área urbana presente nos balneários centrais de Jaguaruna, segundo a delimitação apresentada neste estudo, é de 5.329 km². Dessa área, 1,25% (0,066 Km²) é atingida pelo regime extremo de inundação em um período de 5 anos. Em relação ao período de retorno de 10 anos, constatou-se que 1,53% (0,081 Km²) da área urbana é atingida. O período de retorno de 25 anos, acompanha a tendência de crescimento, com 2,79% (0,148 Km²) da área urbana inundada, seguindo essa tendência para os períodos de retorno de 50 e 100 anos, 3,31% (0,176 Km²) e 3,62% (0,193 Km²), respectivamente. Apresenta-se na Tabela 4 a síntese desses dados.

Tabela 4: Área urbana total atingida conforme os períodos de retorno, em percentual.

Período Retorno (anos)	Percentual inundada
05	1,25%
10	1,53%
25	2,79%
50	3,31%
100	3,62%

Dentre os balneários presentes na zona de interesse, o Balneário Campo Bom foi o que apresentou maior área atingida, em todos os períodos de retorno analisados, em seguida vem o Balneário Esplanada, conforme demonstrado nas Tabela 5, Tabela 6, Tabela 7, Tabela 8 e Tabela 9.

Tabela 5: Balneários expostos a inundação para PR de 5 anos.

BALNEÁRIO	ÁREA ATINGIDA (%)
Esplanada	35,2 %
Copa 70	5,6 %
Campo Bom	55,4 %
Arroio Corrente	3,7 %

Tabela 6: Balneários expostos a inundação para o PR de 10 anos.

BALNEÁRIOS	ÁREA ATINGIDA (%)
Esplanada	42,15 %
Copa 70	7,46 %
Campo Bom	47,23 %
Arroio Corrente	3,15 %

Tabela 7: Balneários expostos a inundação para o PR de 25 anos.

BALNEÁRIOS	ÁREA ATINGIDA (%)
Esplanada	31,92 %
Copa 70	9,5 %
Campo Bom	56,16 %
Arroio Corrente	2,4 %

Tabela 8: Balneários expostos a inundação para PR de 50 anos.

BALNEÁRIOS	ÁREA ATINGIDA (%)
Esplanada	32,63 %
Copa 70	9,78 %
Campo Bom	55,04 %
Arroio Corrente	2,53 %

Tabela 9: Balneários expostos a inundação para PR de 100 anos.

BALNEÁRIOS	ÁREA ATINGIDA (%)
Esplanada	37,45 %
Copa 70	8,28 %
Campo Bom	51,60 %
Arroio Corrente	2,65 %

Os valores apresentados nas Tabelas anteriores estão graficamente representados na Figura 36 onde, conforme o período de retorno maior, a área urbana atingida também é maior.

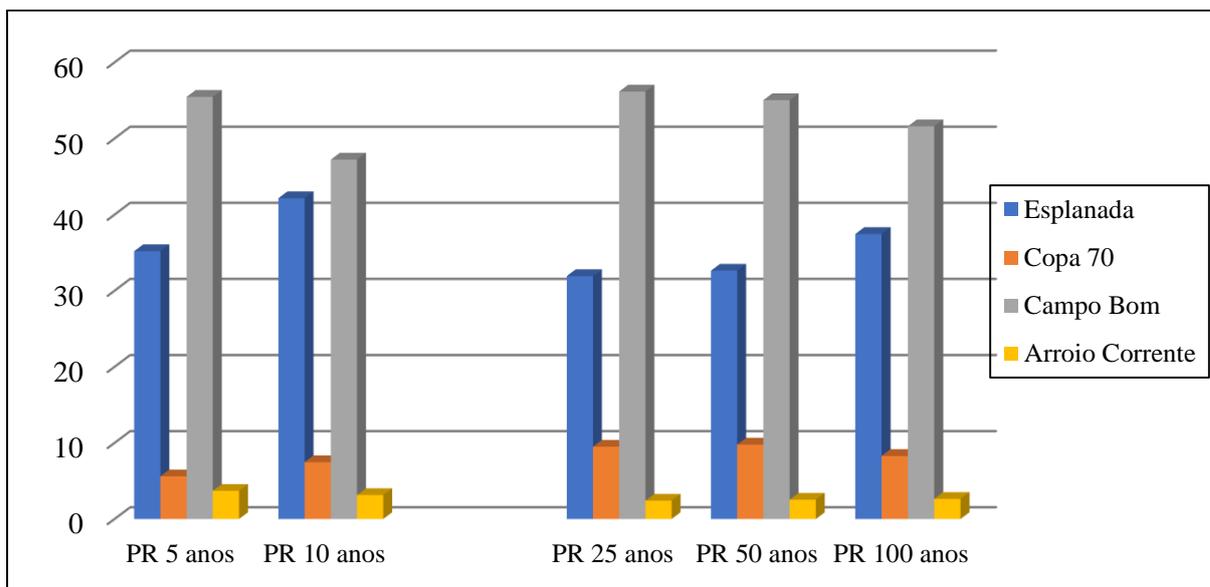


Figura 36: Representação gráfica dos balneários atingidos pela mancha de inundação em relação aos períodos de retorno.

Em vista das cotas de inundação obtidas e considerando os aspectos físicos dos balneários, o Balneário Campo Bom, possui fatores que contribuem para este vir a ser o mais exposto aos regimes de inundação, visto que é uma zona com baixo desenvolvimento de dunas frontais, possui um pós-praia muito estreito e baixa inclinação da face de praia, ainda, aliado com a maior extensão urbanizada na zona de estudo, com 2,42 Km².

Na Figura 37 pode-se verificar em detalhe a exposição da área urbana, para o período de retorno de 10 anos, no Balneário Campo Bom.

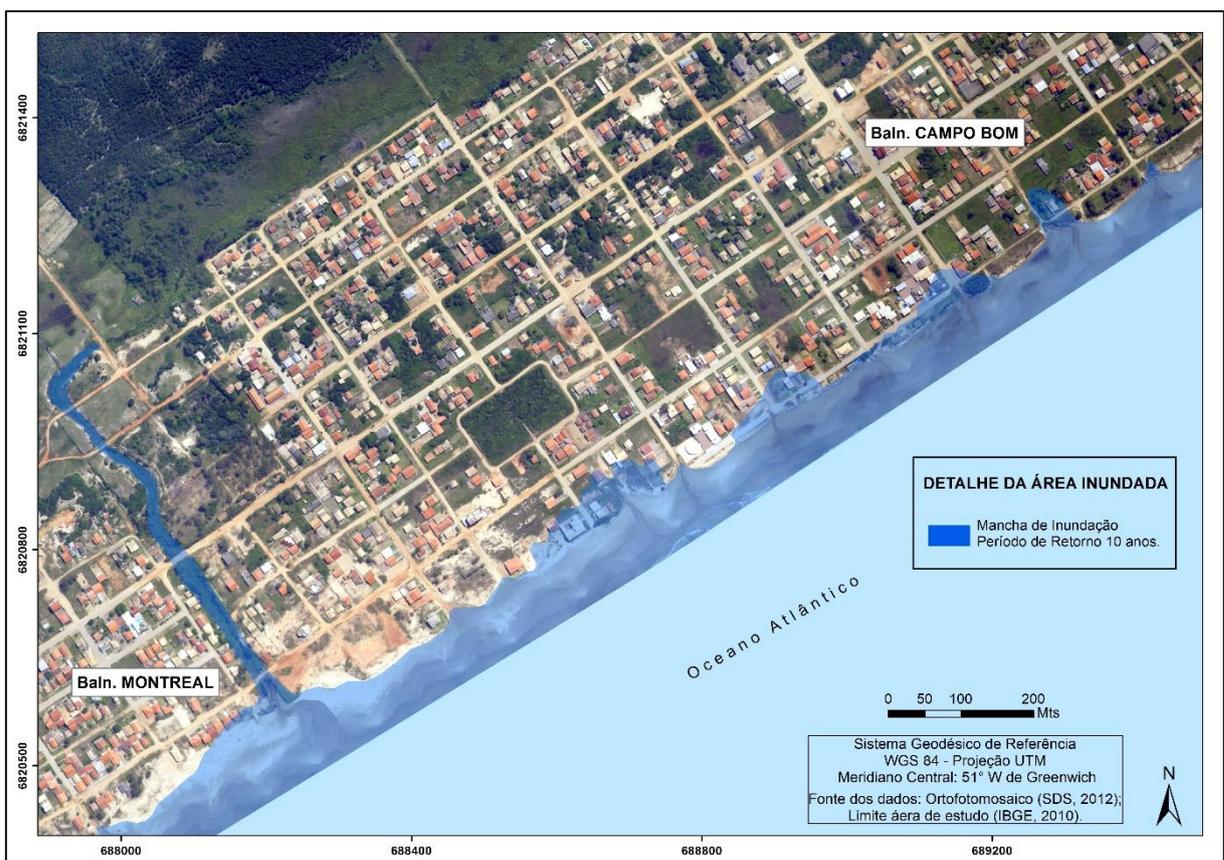


Figura 37: Detalhe do Balneário Campo Bom.

O Balneário Arroio Corrente caracterizou o menos atingido pelos períodos de retorno, este possui pouca extensão urbanizada, com 0,62 Km², visto que o meio urbano se encontra mais interiorizado, com preservação das dunas frontais. Conforme pode ser visualizado na Figura 38 há uma faixa de dunas consideravelmente expressiva no pós-praia, sendo um obstáculo para o avanço do mar em eventos de tempestades.



Figura 38: Detalhe do Balneário Arroio Corrente.

O Balneário Esplanada demonstrou ser o segundo mais atingido pelas inundações, conforme pode ser visualizado na Figura 39, o mesmo possui uma significativa extensão de dunas na orla, porém, percebe-se a entrada do mar na região do sangradouro, o que caracteriza uma parcela do terreno mais baixa que as adjacentes.

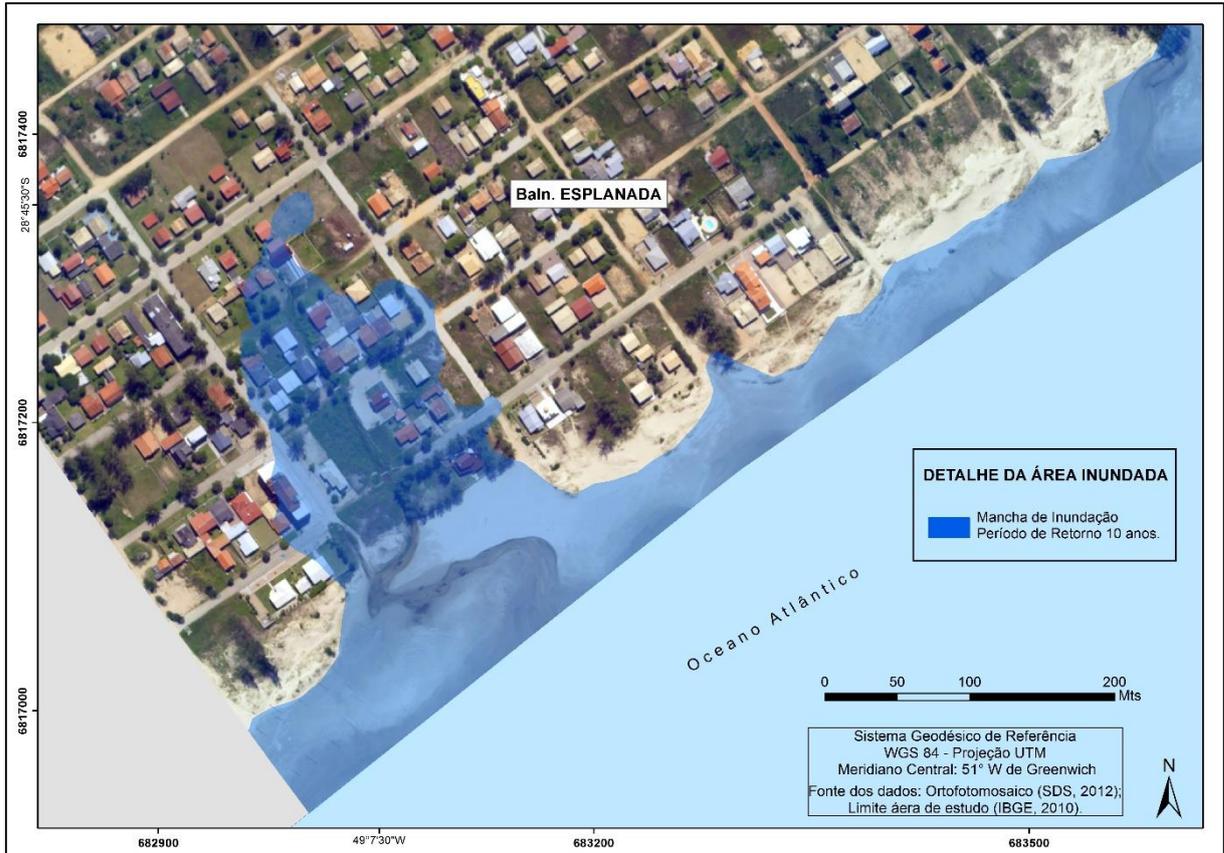


Figura 39: Detalhe do Balneário Esplanada.

Em busca de registros sobre eventos de inundação costeira ocorridas nos balneários centrais de Jaguaruna, se obteve acesso a um registro fotográfico divulgado na mídia local, onde através de relato da autora da fotografia, foi possível localizar no mapa o local do registro fotográfico (Figura 40). Este, também teve a sua confirmação de localização por meio da ferramenta *Street View* do Google Earth. Assim, com a aferição da localização do registro na mancha de inundação, percebe-se que este fenômeno, ocorrido em outubro de 2016 no município de Jaguaruna, condiz ao período de retorno de 10 anos, entre 2008 e 2018, alcançando uma cota de 3,2 metros.



Figura 40: Localização do registro de inundação costeira ocorrida em Jaguaruna.

O fato de não haver outros pontos observados em campo, que aferem com as manchas de inundação delimitadas no presente estudo, pode estar relacionado a uma limitação da metodologia aqui empregada, onde, para dimensionar a área inundada levou-se em conta apenas a elevação do terreno, sem considerar obstáculos antrópicos (casas, prédios, muros de contenção), a rugosidade e o grau de infiltração da água no solo, fatores influentes em análises de regimes de inundação.

Capítulo 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou uma metodologia para analisar a amplitude de inundação costeira, relacionada a eventos extremos de inundação. A aplicação da metodologia proposta possibilitou além do cálculo da cota de inundação, conhecer as características do clima de ondas presentes na zona costeira de Jaguaruna.

A propagação de ondas demonstrou processo de difração no parcel rochoso, nas ondas de direção Leste e Sudeste, porém, como o mesmo está afastado da costa, cerca de 8 km, não apresenta influência na linha de costa.

Os dados de batimetria utilizados na modelagem foram suficientes para realizar o cálculo do *runup* e posterior determinação da cota de inundação. Porém, recomenda-se utilizar dados de batimetria de detalhe, para assim representar de forma mais real o comportamento das ondas. Para o presente estudo esses dados não estavam disponíveis.

O método de seleção MaxDiss se mostrou eficaz para otimizar o tempo computacional. E aliado ao método RBF possibilitou a reconstrução da série próxima a costa, e, assim, calcular a cota de inundação em condições mais reais possíveis, ou seja, com caracterização do climas de ondas mais próxima à zona de interesse.

O cálculo para estimar a cota de inundação apresentou valores distintos ao longo da área de estudo, demonstrando a importância em se empreender estudos locais, abrangendo áreas com maiores níveis de detalhamento.

De modo geral, a modelagem SMC-Brasil produziu resultados satisfatórios para estimar a cota de inundação, possibilitando também, calcular os períodos de retorno para as referidas cotas, bem como conhecer as condições oceanográficas da área de estudo.

Ainda, os valores de cota de inundação calculados foram compatíveis, considerando o ponto levantado, com dados reais de um evento meteorológico extremo ocorrido em outubro de 2016. Entretanto, recomenda-se, para a exata localização do registro de inundação e sua altimetria precisa, a coleta do ponto por meio de técnica de posicionamento e navegação, o que pode ser realizado com aparelho RTK (*Real Time Kinematic* - posicionamento cinemático em tempo real). Dessa forma, através de relatos da população local, fotografias e levantamento em campo de registros de inundação (cicatrices de inundação), aliado a precisão na coleta de dados,

torna-se possível aferir a validação da modelagem, ou seja, conferir se os valores de cotas de inundação calculados estão condizentes com os eventos de inundação ocorridos.

Os dados topográficos de boa qualidade do MDT e do GNSS possibilitaram a construção dos mapas de inundação. Salienta-se que a informação de erro de processamento do MDT foi essencial para delimitar o mais ajustado possível a mancha de inundação. Portanto, ao realizar estudos de inundação, deve-se atentar para possíveis imperfeições dos dados utilizados. Destacando, que para a elaboração dos mapas de inundação não foram considerados os obstáculos físicos (casas, muros, prédios), bem como a infiltração do solo.

A metodologia se mostrou eficaz para análises de inundação costeira. Os resultados de cota de inundação executados na modelagem, aliado a um ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas), demonstram ferramentas viáveis para auxiliar gestores públicos na tomada de decisões e no planejamento urbano, visto que a espacialização dos dados, facilita a visualização e possibilita estimar a área urbana atingida por eventos de inundações oriundas de eventos extremos. Possibilitando a delimitação de zonas de risco, e, por conseguinte, evitar perdas humanas e minimizar custos econômicos para a área de estudo.

Como recomendação para trabalhos futuros, sugere-se utilizar dados de previsões de elevações do nível do mar, como os estudos disponibilizados pelo IPCC (2014), em decorrência das mudanças climáticas, para estimar os piores cenários possíveis de inundação costeira considerando os efeitos das mudanças no clima. Elaborando, assim, projeções de cenários de inundação costeira.

Ainda, sugere-se a integração de mapas de cobertura e uso da terra com os mapas de inundação, possibilitando uma análise mais empreendida no tipo de cobertura natural atingida, como áreas de restinga, lagos, rios e o tipo de atividade existente na área, que se encontra em perigo devido ao alcance da inundação, como aterros sanitários, curtumes, portos. Realizando assim, um estudo mais detalhado dos impactos causados pelos regimes extremos de inundação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCOFORADO, A. V. C. **Índice de Vulnerabilidade Costeira e Risco à Inundação em Cenários de Mudanças Climáticas no Estuário do rio Piranhas-Açu com utilização de imagens de sensores orbitais e de LIDAR Aeroportado**. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. 2017. 122 p.

BRASIL. Lei nº 12.187 de 29 de Dezembro de 2009. **Política Nacional sobre Mudança do Clima**. Brasília, DF: Senado, 2009. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/112187.htm. Acesso em: 12 set. 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Biodiversidade Brasileira - Avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros**. Brasília, 2002. 404 p. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/chm/_arquivos/biodivbr.pdf. Acesso em: 25 jul. 2017.

BRASIL. Decreto de 14 de setembro de 2000. **Área de Proteção Ambiental da Baleia Franca (APA), no Estado de Santa Catarina**. Brasília, 2000. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/dnn/2000/Dnn9027.htm. Acesso em: 17 de set. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Uma proposta de abordagem para o estabelecimento de regime probabilístico de área de inundação costeira do Brasil**. Brasília: MMA, 2017a.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Sistema de Modelagem Costeira, SMC-Brasil: Manual do Usuário – SMC 3.0**. Brasília: MMA, 2017b.

BRASIL. Ministério Do Meio Ambiente (MMA). **Sistema de Modelagem Costeira, SMC-Brasil: Manual de Referência – Modelo de Propagação de Ondas Espectrais em Praias (OLUCA - SP)**. Brasília: MMA, 2017c.

BRASIL. Ministério Do Meio Ambiente (MMA). **Sistema de Modelagem Costeira, SMC-Brasil: Manual de Referência – SMC-Tools**. Brasília: MMA, 2017d.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Sistema de Modelagem Costeira, SMC-Brasil: Documento Temático – Ondas**. Brasília: MMA, 2017e.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Sistema de Modelagem Costeira, SMC-Brasil: Documento Temático – Níveis e Cota de Inundação**. Brasília: MMA, 2017f.

BARROS, F. L; MUEHE, D. **Avaliação local da vulnerabilidade e riscos de inundação na zona costeira da Região dos Lagos, Rio de Janeiro**. Artigo. 2010. DOI 10.5380/abequa.v2i1-2.14106. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/269409449_Avaliacao_local_da_vulnerabilidade_e_riscos_de_inundacao_na_zona_costeira_da_Regiao_dos_Lagos_Rio_de_Janeiro. Acesso em: 10 de mai. 2018.

BJERKNES, J. SOLBERG, H. 1922. The life cycle of cyclones and the polar front theory of atmospheric circulation. **Monthly Weather Review**. P. 468 – 473.

BOOIJ, N. **Gravity waves on water with non-uniform depth e currents**. Report nº 81-1, Delft University of Technology. 131. 1981.

CALLIARI, Lauro J; MUEHE, Dieter; HOEFEL, Fernanda G; TOLDO Jr. Elírio. **Morfodinâmica praias: uma breve revisão**. Revista Brasileira de Oceanografia. 51 (único): 63-78. 2003.

CALLIARI, L. J. GUEDES, R.M.C.; PEREIRA, P.S.; LÉLIS, R.F.; ANTIQUEIRA, J.A. & FIGUEIREDO, S.A. Perigos e riscos associados a processos costeiros no litoral sul do Brasil (RS): uma síntese. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**. V. 14(1). p. 51-63. 2010.

CAMUS, P. **Metodologias para la definición del clima marítimo en aguas profundas y someras: aplicaciones en el corto, medio y largo plazo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Portos e Costas) – Universidade de Cantábria. Santander, 2009. 270 p.

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

CAMUS, Paula; MENDEZ, Fernando; MEDINA, Raul; TOMAS, Antonio; IZAGUIRRE Cristina. **High resolution downscaled ocean waves (DOW) reanalysis in coastal áreas**. *Coastal Engineering* 72, 56-68. 2013.

CARTER, R. W. G. **Coastal Environments: An introduction to physical, ecological, and cultural Systems of Coastlines**. Londres: Academic Press. ISBN: 0-12-161855-2. 1988. 617 p.

CHRISTOPHERSON, Robert W. **Geossistemas: uma introdução à geografia física**. 7ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

CLARK, John. **Integrated Coastal Zone Management – A world wide challenge to comprehend – Shoreline and Coastal Waters as single unit**. Sea Technology. Vol. 37. Nº 6. Virginia USA. 1996.

CRISTIANO, Samanta da Costa. **Diagnóstico ambiental como subsídio para o planejamento costeiro: Abordagem sobre os conflitos de uso na orla do Balneário Camacho, Jaguaruna/SC**. Dissertação (Mestrado em Geologia Marinha). Programa de Pós-graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014. 91 p.

DALINGHAUS, C. **Análise da Estabilidade da Forma em Planta e Perfil nas Praias da Barra da Lagoa, Moçambique e Ingleses, Florianópolis – SC**: Aplicações em Análises de Perigos Costeiros. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-graduação em Geografia. Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Florianópolis, Santa Catarina. 2016. 200 p.

DEAN, R. G. Equilibrium beach profiles: US Atlantic and Gulf Coasts. **Ocean Engineering Technical Report**, v.12, p. 1-45, 1977.

DEAN, R. G. **Equilibrium Beach Profiles: Characteristics and Applications**. Journal of Coastal Research, v. 7.n.1, p. 53-84, 1991.

DEAN, R. G., DALRYMPLE, R. A. **Coastal Processes with Engineering Applications**. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. p. 210-278.

Sul, Porto Alegre, 2007. 73 p.

GAGLIARDI, Marcelo Henrique. **Análise de riscos costeiros a eventos atmosféricos extremos no litoral sul do Estado de São Paulo – Estudo de caso na região da Desembocadura de Canadéia**. 2013. 238 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

GARRISON, Tom. **Fundamento de oceanografia**. São Paulo: Cengage, 2010. 4.ed.

GIANNINI, Paulo. César. Fonseca; **Sistemas deposicionais eólicos no quaternário costeiro do Brasil**. 2007. 244p. Tese (Doutorado em Livre-Docência). Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade de São Paulo. São Paulo-SP.

GRUBER, N. L. S; BARBOZA E. G; NICOLODI J. L. **Geografia dos Sistemas Costeiros e Oceanográficos: Subsídios para Gestão Integrada da Zona Costeira**. Centro de Estudos de Geologia e Oceânica - CECO/UFRGS. Gravel. ISSN 1678-5975, Nº 1, 81-89, Porto Alegre-RS. 2003. Disponível em: http://www.ufrgs.br/gravel/1/Gravel_1_07.pdf. Acesso em 01 jul. 2017.

GRUBER, N. L. S. et al. Projeto Diagnóstico e Plano de Manejo das Dunas Frontais do Município de Jaguaruna/SC: **Arcabouço Teórico-conceitual**. Centro de Estudos em Geologia Costeira e Oceânica (CECO). Instituto de Geociências (IGEO). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). V.1. Porto Alegre. 2013a.

GRUBER, N. L. S. et al. Projeto Diagnóstico e Plano de Manejo das Dunas Frontais do Município de Jaguaruna/SC - **Orla marítima: Morfodinâmica e aspectos ecológicos do sistema eólico-praial**. Centro de Estudos em Geologia Costeira e Oceânica (CECO). Instituto de Geociências (IGEO). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). V.2. Porto Alegre. 2013b. 83p.

GRUBER, N. L. S. et al. Projeto Diagnóstico e Plano de Manejo de Dunas Frontais para o município de Jaguaruna, SC: **Índice de criticidade legal-ambiental**. Centro de Estudos em Geologia Costeira e Oceânica (CECO). Instituto de Geociências (IGEO). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). V.3. Porto Alegre. 2013c. 68 p.

GRUBER, N. L. S. et al. Projeto Diagnóstico e Plano de Manejo das Dunas Frontais do Município de Jaguaruna/SC – **Fundamentação metodológica. Volume Campo Bom e Esplanada**. Centro de Estudos em Geologia Costeira e Oceânica (CECO). Instituto de Geociências (IGEO). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, 2018.

GRUBER, N. L. S. et al. **Projeto Diagnóstico e Plano de Manejo das Dunas Frontais do Município de Jaguaruna/SC**. 2ª Etapa. Centro de Estudos em Geologia Costeira e Oceânica (CECO). Instituto de Geociências (IGEO). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, maio de 2017.

HESP, Patrick. **Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. Geomorphology**. 48: 245-268. 2002.

HORN, Norberto O. F; FELIX, Alexandre; VIEIRA, Celso Voss; BAPTISTA, Elisabeth Mary de Carvalho. **Geologia da planície costeira das folhas Jaguaruna e Lagoa de Garopaba do Sul, SC, Brasil**. 2010. Revista Discente Expressões Geográficas. Florianópolis, n. 06, ano VI, p. 90 – 110, junho de 2010. Disponível em: <http://www.researchgate.net/publication/304363780>. Acesso em: 12 de jul. 2017.

HORN, Norberto O. F; FILHO É. P; FERREIRA, E. **Diagnóstico geológico-geomorfológico da planície costeira adjacente à enseada dos Currais, Santa Catarina, Brasil**. Gravel. ISSN 1678-5975. N° 2. Porto Alegre. Outubro, 2004. p. 25 – 39.

HOLTHUIJSEN, L. H. **Waves in Oceanic and Coastal Waters**. Cambridge University Press. Cambridge, New York. 2007. 405 p.

KNEIP, Andreas. **O Povo da Lagoa: uso do SIG para modelamento e simulação na área arqueológica do Camacho**. Tese (Doutorado em Arqueologia). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo (USP). 2004.

KÖPPEN, W. **Classificação climática de Köppen-Geiger**. 1936.

IBGE. **Atlas geográfico das Zonas Costeiras e oceânicas do Brasil**. Rio de Janeiro - RJ, 2010a. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv55263.pdf>. Acesso em 02 de jul. 2017.

IBGE. **Geociências – Downloads**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro – RJ. 2016. Disponível em: https://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm. Acesso em: 13 de set. 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico**. 2010b. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 24 de ago. 2017.

IPCC, 2014: **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribuição dos Grupos de Trabalho I, II e III ao Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima [Core Writing Team, RK Pachauri e LA Meyer (eds.)]. IPCC, Genebra, Suíça, 151 p.

JÚNIOR, L. N. **As chuvas no Paraná: Variabilidade, teleconexões, e impactos de eventos extremos**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente. 2013. 162 p. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/31145430>. Acesso em: 07 de set. 2018.

LACERDA, Gleide Borges Moraes. **Diretrizes para a gestão estratégica de risco à inundação costeira em uma planta industrial de petróleo na baía de Guanabara**. 2013. 166 f. Tese (Doutorado em Planejamento Estratégico) – Programa de Pós-graduação em Planejamento Estratégico, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: http://www.ppe.ufrj.br/pppe/production/tesis/gleide_lacerda.pdf. Acesso em: 10 de ago. 2016.

KAMPHUIS, J.W. **Introduction to Coastal Engineering and Management**: World Scientific, London, 2000. Vol. 16. Advanced Series on Ocean Engineering. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/334459788/Kamphuis-Introduction-to-Coastal-Engineering-and-Mangaement>. Acesso em: 15 de nov. 2018.

LIMA, D. C. A. **Climatologia de Ciclones Extratropicais num Clima em mudanças: Cenário RCP8.5**. Dissertação (Mestrado em Ciências Geofísicas). Universidade de Lisboa. Faculdade de Ciências. Lisboa. 2013. 71 f.

MACHADO, A.A; CALLIARI, L. J; MELO, E; KLEIN, A.H.F. **Historical Assessment of extreme coastal sea state conditions in Southern Brazil and their relation to erosion episodes**. Pan-American Journal of Aquatic Sciences. V.5, n.2, p.277-286. 2010.

MONTEIRO, C. A. F. **Clima e excepcionalismo**: conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico. 2ª ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 1991. 233p.

MUEHE, Dieter. **Crítérios morfodinâmicos para o estabelecimento de limites da orla costeira para fins de gerenciamento**. Revista Brasileira de Geomorfologia, V.2 (1), PP. 35-44. 2001.

NOAA – **National Hurricane Center**. Hurricane Preparedness – Hazards. Disponível em: <https://www.nhc.noaa.gov/prepare/hazards.php#surge>. Acessado em: 08 de fev. de 2019.

OLIVEIRA, Marília. M. F. de, EBECKEN, Nelson. Francisco. OLIVEIRA, J. L. de, Santos, I. de A. **Neural Network Model to Predict a Storm Surge**. Journal Of Applied Meteorology And Climatology, 48(January), 2009. 143–155.

PELLOGGIA, A. U; OLIVEIRA, A. M. S. **Tecnógeno: um novo campo de estudos das Geociências**. In: X Congresso da Associação Brasileira de Estudo do Quaternário. 2005. Guarapari. Anais: ABEQUA. 2005.

PRADO, M. F. V. **Previsão dos regimes de impactos gerados por tempestades sobre o sistema praial e a duna frontal**. Dissertação (Mestrado em Geociências). Programa de Pós-graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre, 2016. 79 p.

POLETTE, Marcus. ASMUS, Milton L. **Meio Ambiente Marinho e Impactos Antrópicos**. In: CASTELLO, Jorge P; KRUG, Luiz C. (Org.) Introdução às Ciências do Mar. Pelotas: Ed. Textos. 2015. p. 500 – 520.

PORTAL Jaguaruna. **Veja imagens da ressaca em Balneário Campo Bom**. Registros impressionantes. 29 de Outubro de 2016. Disponível em: <http://www.portaljaguaruna.com/sem-categoria/veja-imagens-da-ressaca-em-balneario-campo-bom-registros-impressionantes>. Acesso em: 05 de dez. 2017.

REDAÇÃO Folha Regional. **Ressaca no litoral sul catarinense**. Outubro 2016. Disponível em: <http://www.folharegionalwebtv.com/geral/ressaca-no-litoral-sul-catarinense-1.1942450>. Acessado em: 05 de dez. 2017.

RIO GRANDE DO SUL. **Plano de manejo – Parque Estadual de Itapuã**. Departamento de Recursos Naturais Renováveis. Secretaria da Agricultura e Abastecimento. Porto Alegre, 1996.

RODRIGUES, Tais Kalil. **Impacto das mudanças climáticas na zona costeira do município de Aracaju-SE: Estudo de caso utilizando o SMC (Sistema de Modelagem Costeira)**. 2014. 144p. Tese (Doutorado em Ciências). Programa de Pós-graduação em Geologia. Universidade Federal da Bahia. Salvador-BA.

ROOS, A.; BATJES, J. A. **Characteristics of Flow in Run-up of Periodic Waves**. Proceedings of 15th. ICCE, Honolulu, ASCE. 1976.

RUDORFF, Frederico de Moraes; BONETTI, Jarbas; MORENO Davis; OLIVEIRA, Cyntia; MURARA, Pedro. **Maré de Tempestade**. In: HERRMANN, Maria Lúcia de Paula. (Org.) Atlas de Desastres Naturais de Santa Catarina. 1º. ed. Florianópolis-SC: CopyLlaser Gráfica Digital, v. 1. p. 117-120, 2014.

SANTA CATARINA. 2010. **Diagnóstico Sócio Ambiental do Setor Centro Sul de Santa Catarina**. Implantação do Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro. Secretaria de Estado do Planejamento. Out.2010. 493p. Disponível em: <http://www.spg.sc.gov.br/gerco/diagnostico-socio-ambiental>. Acesso em: 13 de nov. 2017.

SANTA CATARINA. **Estado de Santa Catarina**. 2019. Disponível em: <http://www.sc.gov.br/conhecasc>. Acessado em: 25 de abr. 2018.

SAREWITZ, D; PIELKE, JR R. **Extreme Events: A Research and Policy Framework for Disasters in Context**. International Geology Review. Disponível em: <http://www.cspo.org/products/articles/xepaperfinal.pdf>. Acesso em: 25 de mai. 2018.

SCHIAVINI, A. L; PEREZ, R. A. **O Sambaqui da Amizade e o Lençol Conchífero Natural da Jabuticabeira, um olhar epistemológico da Arqueologia**. Canindé: Revista do Museu de Arqueologia do Xingo, 8: 43-66. 2006.

SCHERER. M; FERREIRA, C; MUDAT, J; CATANEO, S. **Urbanização e gestão do litoral centro-sul do estado de Santa Catarina**. Desenvolvimento e Meio Ambiente, n. 13, p. 31-50, jan./jun. Editora: UFPR. 2006.

SDS/SC. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável. **Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina – SIGSC**. Disponível em: <http://sigsc.sds.sc.gov.br/>. Acesso em: 26 de set. 2017.

SHORT, A. D. **Handbook of beach and shoreface morphodynamics**. Ed. A. D. Short. Wiley, Chichester, 1999.

SHORT, A. D; KLEIN, A. H. F. **Brazilian Beach Systems**. Ed. Springer, 2016.

SILVA, Paula Gomes. **Exposição à inundação costeira nas praias dos Ingleses, Moçambique e Barra da Lagoa, Florianópolis, SC**. 237p. 2014. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis-SC.

SUGUIO, Kenitiro. **Dicionário de geologia marinha**. São Paulo: T. A. Queiroz, 1992. 171p.

TABAJARA, L.L., ALMEIDA, L. E. S. B. e MARTINS, L.R.S. 2008. **Morfodinâmica Bi-Tridimensional de Praia e Zona de Surfe Intermediária-Dissipativa no Litoral Norte-RS**. Gravel 6(1), 81-97.

TALJAARD, J.J.: **Synoptic Meteorology of the Southern Hemisphere**. Meteor. Monog. 1972. 13, 139-213.

TOLDO, Elírio Jr. **Notas de aula**. Disciplina: Processos Costeiros. PPG Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2017.

VAREJÃO, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Versão Digital. Recife, Pernambuco. 2005. 522 p.

WILLWOCK, Jorge Alberto. **Geology of the Coastal Province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. A Synthesis**. 1984. Pesquisas em Geociências. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Jan. – abr. 1984. 46 p. Disponível

em: <http://seer.ufrgs.br/PesquisaemGeociencias/article/view/21711>. Acesso em: 13 de ago. 2017.

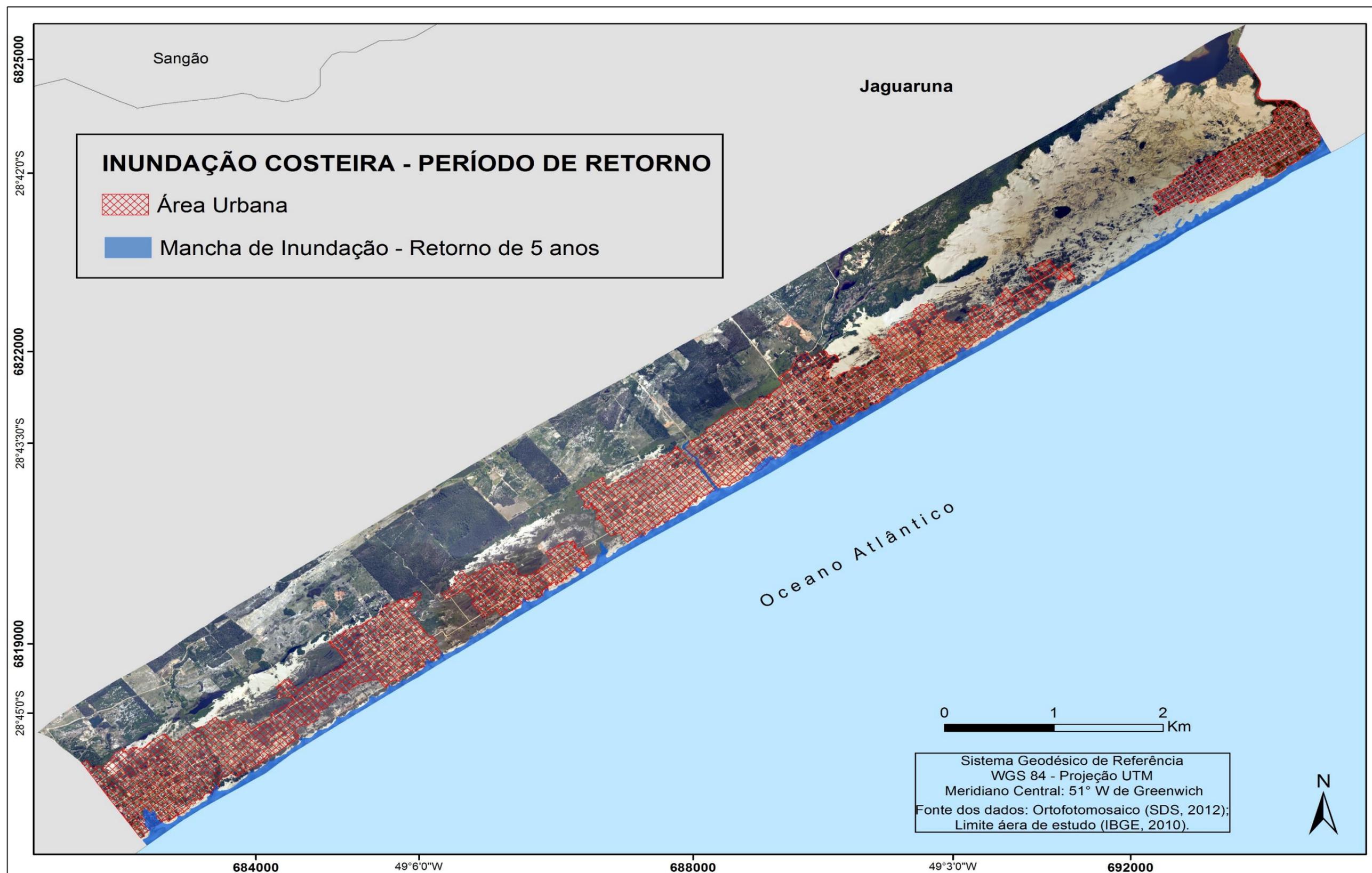
WILLWOCK, Jorge Alberto; MARTINS, L.R. 1972. **Depósitos lamíticos de pós-praia, Cassino – RS. Pesquisas em Geociências** 1, 69-85.

WRIGHT, L. D. & SHORT, A. D. 1983. **Morphodynamics of beaches and surf zones in Australia.** In: Komar P. D. ed. Handbook of coastal processes and erosion. Boca Raton, CRC Press, p. 35-64.

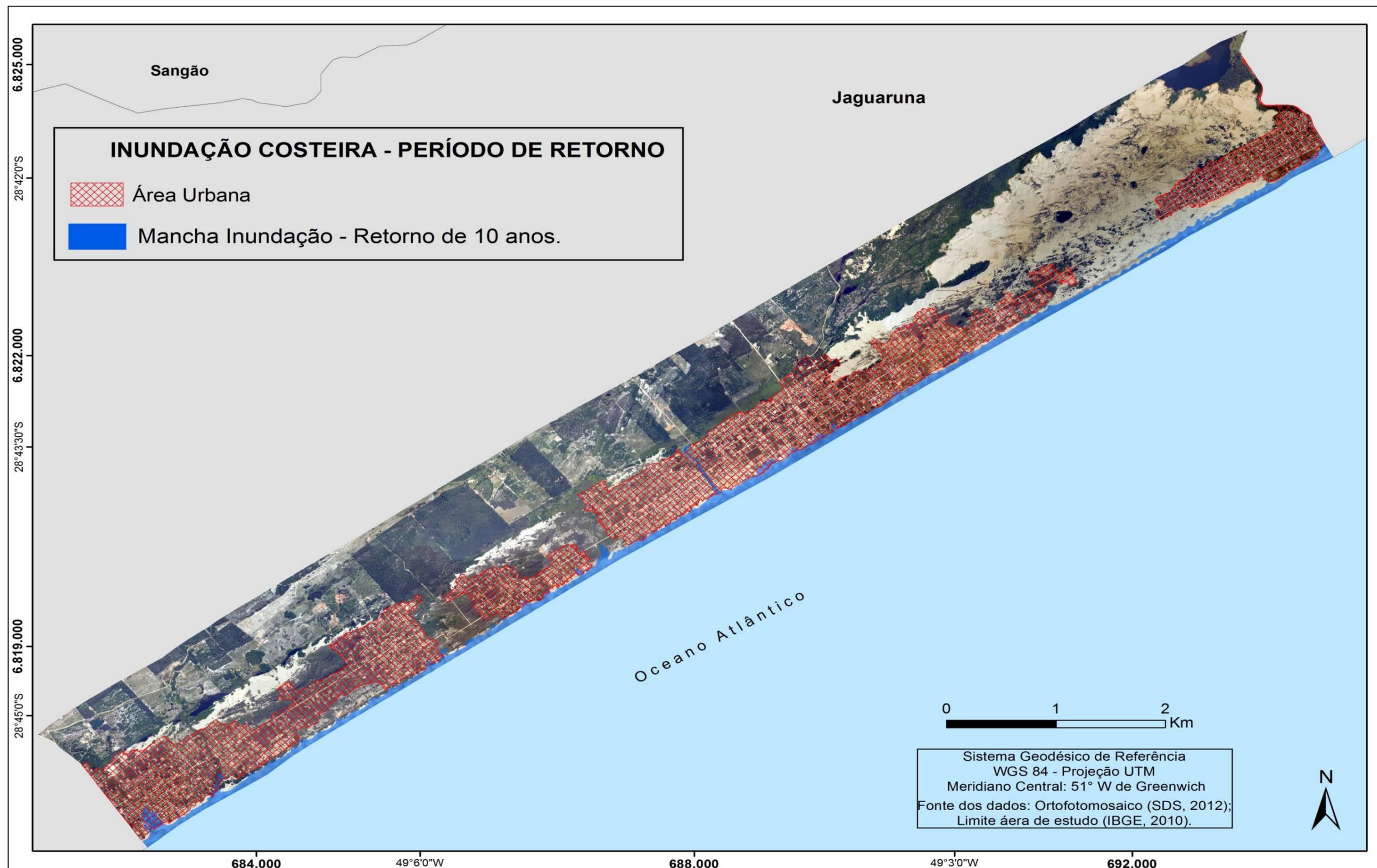
ZANINI, L. F. P.; BRANCO, P. M.; CAMOZZATO, E; RAMGRAB, G. E. **Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil: Folhas Florianópolis e Lagoa.** Estado de Santa Catarina. Brasília: CPRM, 1997. 259 p.

**ANEXOS – MAPAS TEMÁTICOS DE INUNDAÇÃO
COSTEIRA**

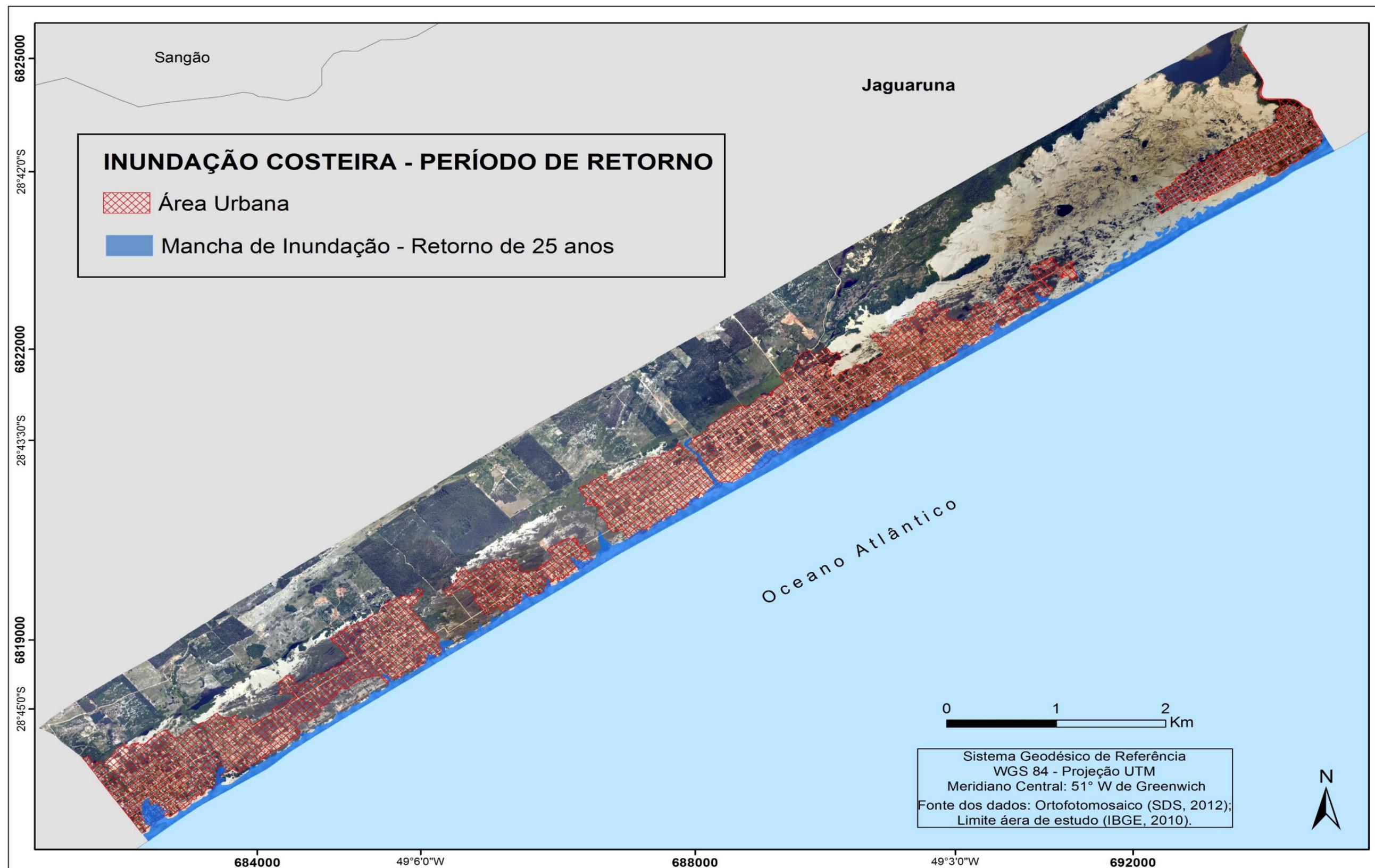
Mapa de inundação para o Período de Retorno de 5 anos.



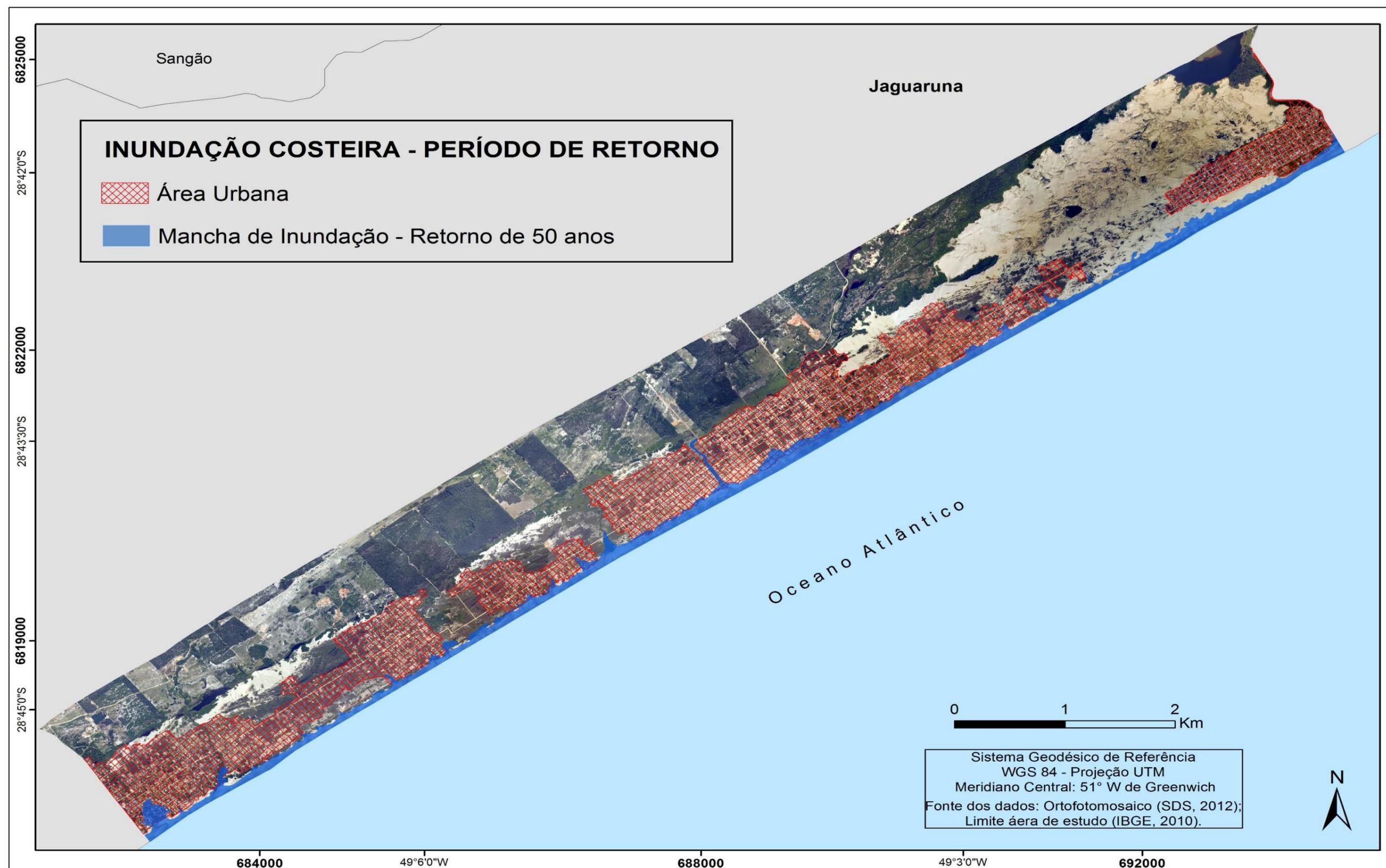
Mapa de inundação para o Período de Retorno de 10 anos.



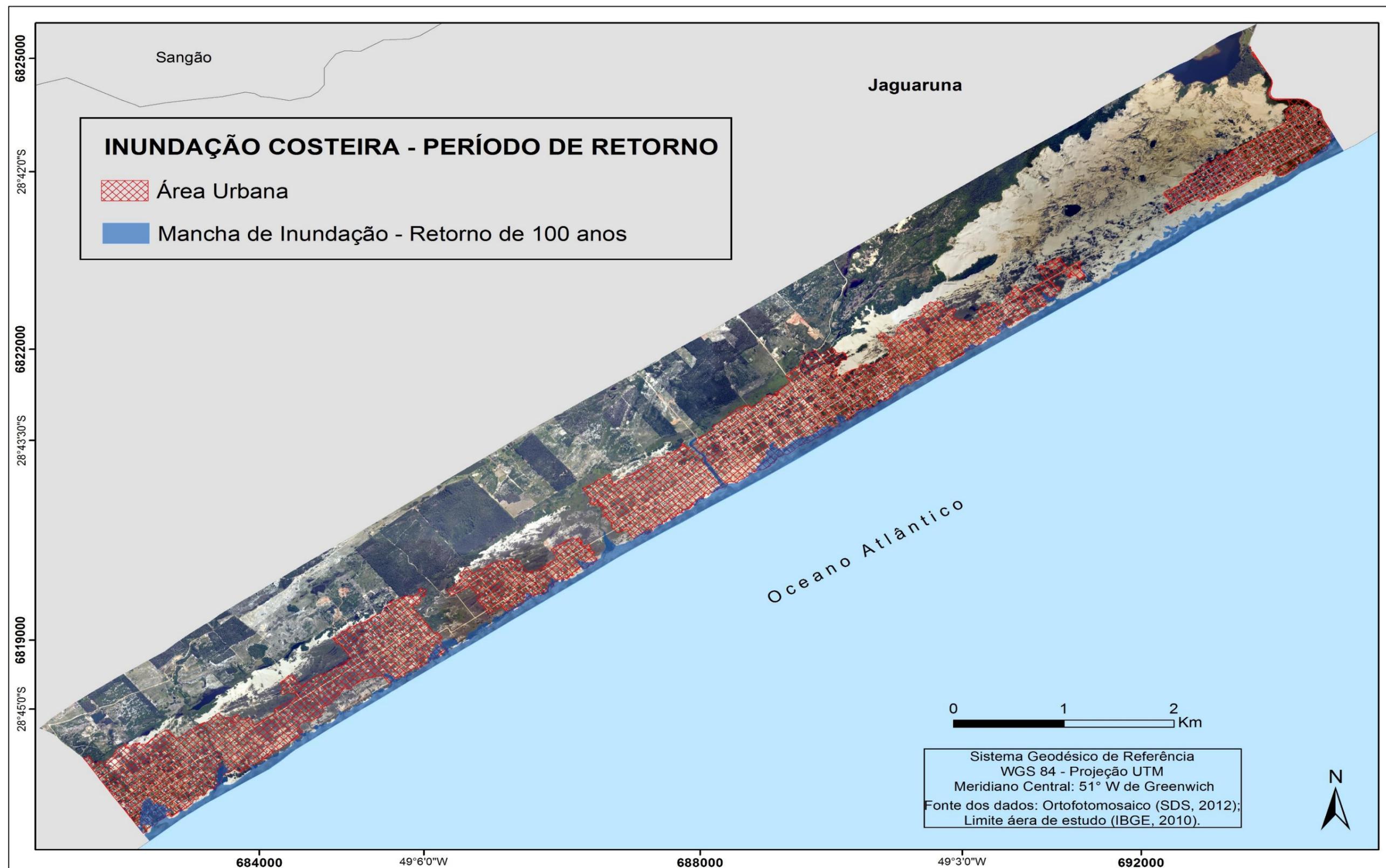
Mapa de inundação para o Período de Retorno de 25 anos.



Mapa de inundação para o Período de Retorno de 50 anos.



Mapa de Inundação para o Período de Retorno de 100 anos.



Mapa de inundação para os Períodos de Retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos.

