

2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

MIRELA BARROS SERAFIM

**APLICAÇÃO DE UM ÍNDICE MULTICRITÉRIO DE VULNERABILIDADE
A EVENTOS EXTREMOS PARA PRAIAS DO ESTADO DE SANTA
CATARINA ATRAVÉS DE ANÁLISE ESPACIAL**

MIRELA BARROS SERAFIM

TCC-UFSC

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

MIRELA BARROS SERAFIM

**APLICAÇÃO DE UM ÍNDICE MULTICRITÉRIO DE VULNERABILIDADE A
EVENTOS EXTREMOS PARA PRAIAS DO ESTADO DE SANTA CATARINA
ATRAVÉS DE ANÁLISE ESPACIAL**

FLORIANÓPOLIS
2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

MIRELA BARROS SERAFIM

**APLICAÇÃO DE UM ÍNDICE MULTICRITÉRIO DE VULNERABILIDADE A
EVENTOS EXTREMOS PARA PRAIAS DO ESTADO DE SANTA CATARINA
ATRAVÉS DE ANÁLISE ESPACIAL**

Trabalho apresentado ao Curso de Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharela em Oceanografia, na área de concentração de Oceanografia Geológica.

Orientador: Prof. Dr. Jarbas Bonetti Filho
Coorientadora: M.Sc. Mariela Muler

FLORIANÓPOLIS
2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

MIRELA BARROS SERAFIM

**APLICAÇÃO DE UM ÍNDICE MULTICRITÉRIO DE VULNERABILIDADE A
EVENTOS EXTREMOS PARA PRAIAS DO ESTADO DE SANTA CATARINA
ATRAVÉS DE ANÁLISE ESPACIAL**

Este Trabalho de Graduação foi julgado adequado para a obtenção do título de Bacharela em Oceanografia e aprovado em sua forma final pela Comissão examinadora e pelo Curso de Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 02 de julho de 2014.

Prof. Dra. Marinez Eymael Garcia Scherer
Coordenadora do Curso

Prof. Dr. Antonio Henrique da Fontoura Klein
Professor da disciplina

Comissão Examinadora

Prof. Dra. Janete Josina de Abreu
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Antonio Henrique da Fontoura Klein
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Jarbas Bonetti Filho
Universidade Federal de Santa Catarina

*Aos meus pais Mário César e Maria
Helena, pelo apoio em mais uma etapa da
minha vida.*

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, pela formação pessoal que me proporcionaram e à aceitação da minha decisão em cursar Oceanografia, apesar da distância e incerteza em relação ao futuro.

Devo-lhes também a minha preocupação quanto ao meio social, a qual norteou a minha escolha pelo tema desta monografia.

Ao meu orientador, quem eu admiro profissionalmente pela prontidão em auxiliar cientificamente todos que lhe procuram. Muito obrigada por sempre responder-me a todos os “– Por quê?”, pela oportunidade a mim ofertada de participação em diferentes projetos, pelo abrigo no Laboratório de Oceanografia Costeira, pela amizade e confiança.

A minha coorientadora Mariela, pelo auxílio em algumas dificuldades, pelas sugestões metodológicas e correções de texto.

Ao corpo docente do curso de Oceanografia da UFSC por todo o conhecimento repassado.

À Simone da SPU pelas fotografias aéreas de 1995, gentilmente cedidas.

Ao Vianna da EPAGRI por disponibilizar o acesso ao banco de imagens aéreas *Quickbird* para o Estado de Santa Catarina durante a realização do projeto RIMPEEX/SUL.

Aos professores Janete e Klein pelo acompanhamento da pesquisa nas disciplinas de Trabalho de Conclusão de Curso I e II.

Ao CNPq pelo auxílio com bolsas de projeto que possibilitaram o meu aperfeiçoamento com técnicas de SIG.

Aos colaboradores do projeto SMC-Brasil, coordenado pelo MMA, pelo fornecimento de informações sobre os dados de ondas e direção do fluxo de energia por meio de relatórios preliminares.

Ao grupo do Laboratório de Oceanografia Costeira, por toda forma de ajuda.

À tia Gena por todos os cuidados enquanto estive em Florianópolis.

À vó Olindina por todas as orações.

... meus sinceros “Muito obrigada!”.

“A experiência nos tem ensinado que a gestão hábil e prudente do nosso bem natural reclama, em consequência, medidas de longo efeito. Inundações, secas, tempestades de areia, manifestam realmente que a natureza recusa tolerar por mais tempo que se abuse de suas maravilhas” – Roosevelt (1937).

RESUMO

A zona costeira do Estado de Santa Catarina é submetida a condições oceanográficas e meteorológicas particulares. A passagem de frentes frias sobre esta área influencia os eventos extremos de marés meteorológicas associadas a ondas de tempestade (maré de tempestade), os quais por sua vez podem levar à ocorrência de episódios de inundação pela água do mar e erosão praial, causando danos à zona costeira – principalmente quando associados a marés astronômicas de sizígia. Considerando que as praias arenosas são os ambientes predominantes ao longo da linha de costa de SC e que possuem elevado valor social e econômico, devido à variedade de atividades realizadas nestes locais e à alta densidade demográfica dos municípios costeiros, o estudo de vulnerabilidade costeira torna-se de grande relevância. O termo vulnerabilidade foi entendido, segundo a definição de CEPAL (2012a), como a capacidade de uma área se antecipar, enfrentar, resistir e se recuperar do impacto causado por um determinado agente, em função de seus múltiplos aspectos físicos e socioeconômicos. Desta forma, este trabalho apresenta uma alternativa metodológica para o mapeamento da vulnerabilidade costeira frente a eventos extremos de ondas e marés para SC, a partir da criação de um índice multicritério e utilização de um Sistema de Informação Geográfica. O modelo final de vulnerabilidade foi obtido a partir da integração entre dois outros submodelos: o de capacidade adaptativa (composto por variáveis socioeconômicas) e o de suscetibilidade (composto por variáveis do meio físico). Os resultados foram apresentados nos setores do GERCO/SC. Os maiores valores de vulnerabilidade foram encontrados para trechos centrais dos setores norte e centro-norte e para segmentos no norte do setor centro. Em alguns segmentos praias os fatores socioeconômicos tiveram grande relevância. Como exemplo, tem-se a presença de grandes balneários no setor centro-norte (como os dos municípios de Balneário Camboriú, Itapema e Navegantes), onde os graus de vulnerabilidade encontrados foram inferiores, em sua maioria, aos graus de suscetibilidade dos mesmos segmentos. O padrão encontrado para estes grandes balneários pode ser justificado pelos seus altos valores de capacidade adaptativa, para os quais a renda costuma ser elevada e há uma grande presença de domicílios de uso ocasional; apesar do elevado número de residentes comumente encontrado nos mesmos. Por outro lado, os setores sul e centro-sul, embora tenham apresentado graus de capacidade adaptativa relativamente baixos, foram os menos vulneráveis; indicando que o cenário de baixa suscetibilidade, determinado pelos fatores do meio físico, foi de grande relevância nestas regiões.

Palavras-chave: vulnerabilidade, maré de tempestade, eventos extremos, Sistema de Informação Geográfica.

ABSTRACT

The coastal zone of Santa Catarina state is submitted to particular oceanographic and meteorological conditions. The passage of cold fronts over this area influences extreme events of meteorological tides associated to storm waves (*storm surges*), which can lead to episodes of flooding by sea water and beach erosion causing damage to the coastal zone - especially when associated with astronomical spring tides. Since the sandy beaches are the predominant environments along Santa Catarina's coastline and have high social and economic value due to the variety of activities undertaken at these sites and the high population density in coastal cities, the study of coastal vulnerability becomes of great relevance. The term "vulnerability" was understood, as defined by CEPAL (2012a), as the ability of an area to anticipate, cope with, resist and recover from the impact of a particular agent, due to its multiple physical and socioeconomic aspects. Thus, this study presents a methodological alternative for the mapping of coastal vulnerability to extreme events of waves and tides, in Santa Catarina state, from the creation of a multicriteria index and the use of a Geographical Information System. The final model of vulnerability was obtained from the integration between two other sub-models: the adaptive capacity model (composed by socioeconomic variables) and the susceptibility model (consisting of environmental variables). The results were presented in the sectors defined by GERCO/SC. The highest values of vulnerability were found in central portions of the north and central-north sectors and in segments at the north of the central sector. In some segments the socioeconomic factors had great relevance. An example is the presence of large settlements in central-north sector (such as the cities of Balneario Camboriu, Itapema and Navegantes), where the vulnerability degrees were lower than the susceptibility degrees in most cases. The pattern found for these large agglomerations can be justified by their high levels of adaptive capacity, for which the income is usually high and it is expressive the presence of houses for occasional use. On the other hand, the south and south-central sectors showed relatively low levels of adaptive capacity, but even so they were the least vulnerable, indicating that the scenario of low susceptibility, determined by environmental factors, is of great importance in these regions.

Keywords: coastal vulnerability, storm surges, extreme events, Geographic Information System.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.	15
FIGURA 2 – FLUXOGRAMA DA APLICAÇÃO DO ÍNDICE MULTICRITÉRIO DE VULNERABILIDADE COSTEIRA.	16
FIGURA 3 – IDENTIFICAÇÃO DA INTERFACE ENTRE AREIA SECA E ÚMIDA EM UM TRECHO DA PRAIA DO ROSA, IMBITUBA. IMAGEM <i>QUICKBIRD</i>	18
FIGURA 4 – PROCESSO DE OBTENÇÃO DA VARIÁVEL TIPO DE LINHA DE COSTA.	19
FIGURA 5 – MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DOS VALORES DE LARGURA DE PRAIA AOS SEGMENTOS DA ORLA DE SC. P_1 = PONTO DO PROJETO RIMPEEX/SUL E S_1 = SEGMENTO DE PRAIA ENTRE DOIS PONTOS.	20
FIGURA 6 – PROCESSO DE OBTENÇÃO DA VARIÁVEL LARGURA DE PRAIA.	20
FIGURA 7 – INTERFACE DO VISUALIZADOR DE DADOS DO PROJETO <i>ESTUDIO REGIONAL DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA COSTA DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE</i>	22
FIGURA 8 – PROCESSO DE OBTENÇÃO DAS AMPLITUDES DE MARÉ ASTRONÔMICA E METEOROLÓGICA.	22
FIGURA 9 – DELIMITAÇÃO DOS ÂNGULOS RELATIVOS ÀS DIREÇÕES DE EXPOSIÇÃO ÀS ONDAS.	26
FIGURA 10 – PROCESSO DE OBTENÇÃO DA EXPOSIÇÃO ÀS ONDAS.	27
FIGURA 11 – EXEMPLO DE TRANSECTOS CRIADOS PARA O CÁLCULO DA TAXA DE VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA EM UM TRECHO DA PRAIA GRANDE, SÃO FRANCISCO DO SUL.	31
FIGURA 12 – CÁLCULO DA VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA.	32
FIGURA 13 – ESPACIALIZAÇÃO DAS TAXAS DE VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA.	33
FIGURA 14 – MALHA DIGITAL DOS SETORES CENSITÁRIOS DO CENSO DE 2010 REALIZADO PELO IBGE.	36
FIGURA 15 – PROCESSO DE OBTENÇÃO DAS VARIÁVEIS SOCIOECONÔMICAS.	37
FIGURA 16 – SETORES DEFINIDOS PELO GERCO/SC.	41
FIGURA 17 – EXEMPLO DE ESTRUTURA ARTIFICIAL: BARRA DO RIO ITAJAÍ – AÇU.	44
FIGURA 18 – ESPACIALIZAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE DA LINHA DE COSTA EM RELAÇÃO AO TIPO DE LINHA DE COSTA.	47
FIGURA 19 – EXEMPLO DE UM TRECHO PRAIAL CLASSIFICADO EM SUSCETIBILIDADE MUITO BAIXA (GRAU 1) EM RELAÇÃO À VARIÁVEL LARGURA DE PRAIA. PRAIA DO FORTE, FLORIANÓPOLIS.	49
FIGURA 20 – EXEMPLO DE UM TRECHO PRAIAL CLASSIFICADO EM SUSCETIBILIDADE MUITO ALTA (GRAU 5) EM RELAÇÃO À VARIÁVEL LARGURA DE PRAIA. MUNICÍPIO DE BARRA VELHA, SC.	49
FIGURA 21 – ESPACIALIZAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE DA LINHA DE COSTA EM RELAÇÃO À LARGURA DE PRAIA.	52
FIGURA 22 – FOTOGRAFIAS REPRESENTATIVAS DA LARGURA DE PRAIA NAS LOCALIDADES DE PORTO BELO (A – SETOR CENTRO-NORTE) E BALNEÁRIO RINCÃO (B – SETOR SUL).	52
FIGURA 23 – ESPACIALIZAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE DA LINHA DE COSTA EM RELAÇÃO À MARÉ ASTRONÔMICA.	56
FIGURA 24 – ESPACIALIZAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE DA LINHA DE COSTA EM RELAÇÃO À MARÉ METEOROLÓGICA.	59
FIGURA 25 – ESPACIALIZAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE DA LINHA DE COSTA EM RELAÇÃO À ALTURA DE ONDA.	63
FIGURA 26 – ESPACIALIZAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE DA LINHA DE COSTA EM RELAÇÃO À EXPOSIÇÃO ÀS ONDAS.	68
FIGURA 27 – ESPACIALIZAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE DA LINHA DE COSTA EM RELAÇÃO À VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA.	73
FIGURA 28 – EVENTOS EROSIVOS NAS PRAIAS DE MORRO DAS PEDRAS (A, SETOR CENTRO) E NAVEGANTES (B, SETOR CENTRO-NORTE).	74
FIGURA 29 – MODELO DE SUSCETIBILIDADE.	77
FIGURA 30 – ESPACIALIZAÇÃO DA CAPACIDADE ADAPTATIVA DA LINHA DE COSTA EM RELAÇÃO À POPULAÇÃO RESIDENTE.	81
FIGURA 31 – ESPACIALIZAÇÃO DA CAPACIDADE ADAPTATIVA DA LINHA DE COSTA EM RELAÇÃO AO RENDIMENTO DOMICILIAR.	85
FIGURA 32 – ESPACIALIZAÇÃO DA CAPACIDADE ADAPTATIVA DA LINHA DE COSTA EM RELAÇÃO À RESIDÊNCIA OCASIONAL.	88
FIGURA 33 – MODELO DE CAPACIDADE ADAPTATIVA.	92
FIGURA 34 – MODELO DE VULNERABILIDADE COSTEIRA.	97

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – TAXAS DE VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA ESPECIALIZADAS AO LONGO DA LINHA DE COSTA DE SC.....	28
TABELA 2 – PROPRIEDADES E FONTE DAS IMAGENS E FOTOGRAFIAS AÉREAS UTILIZADAS PARA A OBTENÇÃO DAS TAXAS DE VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA PARA O ARCO PRAIAL PRAIA GRANDE – ERVINO (MUNICÍPIO DE SÃO FRANCISCO DO SUL) E PARA TRECHO DA PRAIA DE BALNEÁRIO RINCÃO.....	29
TABELA 3 – CLASSES DE SUSCETIBILIDADE RELATIVAS AO TIPO DE LINHA DE COSTA.....	42
TABELA 4 – CLASSES DE SUSCETIBILIDADE RELATIVAS À LARGURA DE PRAIA.....	47
TABELA 5 – CLASSES DE SUSCETIBILIDADE RELATIVAS ÀS AMPLITUDES DE MARÉ METEOROLÓGICA E ASTRONÔMICA.....	53
TABELA 6 – CLASSES DE SUSCETIBILIDADE RELATIVAS À ALTURA SIGNIFICATIVA DE ONDA COM TEMPO DE RETORNO DE 50 ANOS (TR50).....	60
TABELA 7 – CLASSES DE SUSCETIBILIDADE RELATIVAS À EXPOSIÇÃO ÀS ONDAS.....	64
TABELA 8 – ERRO CORRIGIDO REFERENTE AO GEORREFERENCIAMENTO DAS FOTOS/IMAGENS.....	69
TABELA 9 – CLASSES DE SUSCETIBILIDADE RELATIVAS À VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA.....	69
TABELA 10 – CLASSES DE SUSCETIBILIDADE RELATIVAS AOS VALORES DO ÍNDICE DE SUSCETIBILIDADE COSTEIRA (ISC).....	74
TABELA 11 – CLASSES DE CAPACIDADE ADAPTATIVA RELATIVAS AOS VALORES RESULTANTES DO ICA.....	89
TABELA 12 – CLASSES DE VULNERABILIDADE RELATIVAS AOS VALORES RESULTANTES DO IVC.....	93
TABELA 13 – PERCENTUAL DE LINHA DE COSTA DAS CINCO CLASSES DE VULNERABILIDADE POR SETOR DO GERCO/SC.....	93

LISTA DE SIGLAS

APM – Anticiclone Polar Migratório
ATAS – Anticiclone Tropical do Atlântico Sul
AVADANS – Relatório de Avaliação de Danos
CEPAL – *Comisión Económica para América Latina y el Caribe*
CVI – *Coastal Vulnerability Index*
DSAS – *Digital Shoreline Analysis System*
EPR – *End Point Rate*
GERCO/SC – Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro de Santa Catarina
GOS – *Global Ocean Surge*
GOT – *Global Ocean Tides*
GOW – *Global Ocean Waves*
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICA – Índice de Capacidade Adaptativa
IH Cantabria – Instituto de Hidráulica Ambiental da Universidade de Cantábria
IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*
ISC – Índice de Suscetibilidade Costeira
IVC – Índice de Vulnerabilidade Costeira
mTa – Massa Tropical Atlântica
NCEP-NCAR – *National Center for Environmental Prediction – National Center for Atmospheric Research*
PCs – Pontos de Controle
PLDM/SC – Planos Locais de Desenvolvimento da Maricultura de Santa Catarina
RIMPEEX/SUL – Rede Integrada de Monitoramento e Previsão de Eventos Extremos na Região Sul
ROMS – *Regional Ocean Modeling System*
RMS – *Root Mean Square*
SC – Santa Catarina
SIG – Sistema de Informação Geográfica
UHSLC – *University of Hawaii Sea Level Center*
USGS – *United States Geological Survey*
WLR – *Weighted Linear Regression*

SUMÁRIO

RESUMO	VI
ABSTRACT	VII
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELAS	IX
LISTA DE SIGLAS	X
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	5
2.1. Perigo costeiro.....	5
2.1.1. MARÉS E ONDAS DE TEMPESTADE.....	5
2.1.2. EROÇÃO COSTEIRA E VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA.....	7
2.2. Suscetibilidade, vulnerabilidade e capacidade adaptativa.....	7
2.3. Índice de vulnerabilidade costeira.....	11
3. OBJETIVOS	13
3.1. Geral	13
3.2. Específicos.....	13
4. ÁREA DE ESTUDO	14
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	16
5.1. Indicadores de vulnerabilidade	16
5.2. Digitalização da linha de costa.....	17
5.3. Modelo de suscetibilidade	18
5.3.1. TIPO DE LINHA DE COSTA	18
5.3.2. LARGURA DE PRAIA.....	19
5.3.3. AMPLITUDES DE MARÉS ASTRONÔMICA E METEOROLÓGICA.....	21
5.3.4. EXPOSIÇÃO ÀS ONDAS.....	23
5.3.5. VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA.....	28
5.3.6. CLASSIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS EM GRAUS DE SUSCETIBILIDADE	33
5.3.7. ÁLGEBRA DE MAPAS	34
5.4. Modelo de capacidade adaptativa.....	35
5.4.1. POPULAÇÃO RESIDENTE.....	37
5.4.2. RENDIMENTO DOMICILIAR.....	38
5.4.3. USO OCASIONAL DOS DOMICÍLIOS PARTICULARES PERMANENTES.....	38
5.4.4. CLASSIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS EM GRAUS DE CAPACIDADE ADAPTATIVA.....	38
5.4.5. ÁLGEBRA DE MAPAS	39
5.5. Modelo de vulnerabilidade	39
5.5.1. ÁLGEBRA DE MAPAS	39
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
6.1. Variáveis físicas.....	42
6.1.1. TIPO DE LINHA DE COSTA	42
6.1.2. LARGURA DE PRAIA.....	47
6.1.3. AMPLITUDE DE MARÉS METEOROLÓGICA E ASTRONÔMICA.....	52
6.1.4. EXPOSIÇÃO ÀS ONDAS.....	60
6.1.5. VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA.....	68
6.2. Modelo de suscetibilidade	74
6.3. Variáveis socioeconômicas.....	78
6.3.1. POPULAÇÃO RESIDENTE.....	78
6.3.2. RENDIMENTO DOMICILIAR.....	82
6.3.3. RESIDÊNCIA OCASIONAL.....	85
6.4. Modelo de capacidade adaptativa.....	89
6.5. Modelo de vulnerabilidade	93
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	98
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100

1. INTRODUÇÃO

A zona costeira é composta pelas áreas da plataforma continental e da costa em que a dinâmica marinha determina os processos morfodinâmicos (CEPAL, 2012b). Dentro desta encontra-se inserida a orla, uma subárea de contato imediato entre terra/mar sobre a qual a ação dos processos costeiros se faz sentir de forma mais acentuada (MORAES e ZAMBONI, 2004; MUEHE, 2001). À faixa unidimensional dinâmica que define o contato frontal entre o continente emerso e o oceano adjacente, atribui-se o termo linha de costa. A mobilidade temporal e espacial que esta apresenta deve-se à atuação de agentes externos atmosféricos, terrestres e marinhos, os quais alteram sua configuração por meio de processos erosivos e deposicionais (MUEHE, 2001; RIBEIRO *et al.*, 2013). Estes variam em magnitude e frequência, ocasionando maior ou menor impacto nas adjacências da linha de costa.

Praias arenosas são os ambientes predominantes ao longo da orla do Estado de Santa Catarina (SC). Possuem elevado valor social e econômico, por constituírem o local onde se desenvolve uma grande variedade de atividades turísticas, comerciais, de subsistência e industriais. Segundo Komar (1976 *apud* MENEZES, 2002) as praias e os estuários foram os primeiros ambientes ocupados e que mais sofrem com os impactos advindos do crescimento demográfico. Small e Nicholls (2003) estimaram que, no ano de 1990, 23% da população mundial se situava sobre áreas entre 100 km de distância da costa e abaixo da altitude de 100 m acima do nível do mar e que a densidade populacional em regiões costeiras era, aproximadamente, três vezes superior à média global.

De acordo com os dados do censo de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), os municípios de Santa Catarina situados defrontes ao mar abrigam em torno de 28 % da população estadual (IBGE, 2010a).

Do ponto de vista físico, praias podem ser definidas como acumulações de sedimentos inconsolidados situados entre a linha de máximo alcance de onda de tempestade ou de preamar viva e uma profundidade que corresponde à zona onde o movimento de sedimentos ocasionado pela ação das ondas deixa de ser ativo (CEPAL, *op. cit.*). A definição de Klein *et al.* (2009) engloba os ambientes urbanos, ao considerar praias como o espaço entre a zona de surfe e as dunas frontais ou estruturas artificiais, formados tanto pela influência de processos naturais – como os de natureza morfodinâmica – quanto por intervenções humanas e atividades recreacionais, os quais interagem em um processo de retroalimentação.

Segundo a definição de Hoefel (1998), as praias também podem ser compreendidas como sistemas transicionais altamente dinâmicos e sensíveis, que se ajustam às flutuações dos

níveis locais de energia e são retrabalhadas por processos eólicos, biológicos e hidráulicos. Estes atuam em diferentes escalas de variabilidade temporal e espacial, gerando diferentes respostas sobre os sistemas praias (CEPAL, 2012b).

Os sedimentos arenosos contribuem para o amortecimento da energia hidráulica, dando proteção à orla. Portanto, deve-se buscar a racionalização na ocupação do solo sobre esta levando em consideração os processos costeiros e a natureza móvel da linha de costa.

O Estado de Santa Catarina submete-se a condições oceanográficas e meteorológicas particulares. Dados da reanálise do *National Center for Environmental Prediction – National Center for Atmospheric Research* (NCEP-NCAR) para os anos de 1990 a 1999 demonstram que, mensalmente, o litoral catarinense é afetado por uma média de 3 a 4 frentes frias (RODRIGUES *et al.*, 2004). A passagem destas influencia os eventos de marés meteorológicas e ondas de tempestade, os quais por sua vez podem levar à ocorrência de episódios de inundação pela água do mar e erosão praias, causando danos à zona costeira – principalmente quando associados a marés astronômicas de sizígia.

Krueger (2011) realizou uma análise de condições meteorológicas e oceanográficas associadas às ressacas ocorrentes entre janeiro de 2001 e dezembro de 2010 em SC. Para tanto, recorreu a registros da Defesa Civil e a jornais, identificando a ocorrência de um total de 60 episódios.

O termo ressaca pode ser entendido, segundo as definições de Bitencourt *et al.* (2002) e Kobiyama *et al.* (2006), como uma sobre-elevação do nível do mar ocasionada por evento de maré meteorológica e/ou astronômica coincidente com a ocorrência de ondas de amplitude maior que o habitual.

Rudorff *et al.* (2014) citam que um único evento relacionado à ocorrência de um ciclone extratropical muito intenso em condição de maré de sizígia – a tempestade de maio de 2001 – afetou 11 municípios no Estado, representando um dano avaliado em mais de 11 milhões de reais. Ainda segundo Krueger (*op. cit.*), entre os meses de abril e maio de 2010, uma sequência de ressacas atingiu o litoral catarinense, danificando 70 casas e deixando 1.803 pessoas afetadas e 21 desalojadas no município de Florianópolis. Na ocasião foram implantadas obras de contenção, como a construção de enrocamentos, a fim de conter o processo erosivo impulsionado pela maré de tempestade (RUDORFF *op. cit.*).

A maioria dos registros de eventos danosos de maré meteorológica associada a ondas de tempestade refere-se ao norte do Estado, o que Herrmann (2009) justifica pela presença de grandes balneários nesse setor da orla, com forte presença de infraestruturas urbanas que ficam expostas à ação das ondas.

A grande diversidade de tipos e orientações de linha de costa condiciona a existência de setores com diferentes graus de suscetibilidade (aqui definida como a maior ou menor propensão à alteração da condição de equilíbrio dinâmico de um setor em função das características do meio físico) a eventos meteo-oceanográficos. A combinação entre as características do meio físico e as decorrentes do uso do solo intensivo e extensivo próximo à costa, impulsionado pelo aumento populacional, contribui para o surgimento de uma maior preocupação quanto à vulnerabilidade destas no campo das políticas públicas, ao qual o conhecimento científico deve estar atrelado para que se tenha um gerenciamento efetivo da zona costeira.

No âmbito deste trabalho, o termo vulnerabilidade refere-se à capacidade de uma área se antecipar, enfrentar, resistir e se recuperar do impacto causado por um determinado agente. Sua análise leva em consideração múltiplos aspectos físicos e socioeconômicos, o que requer que se adapte a objetivos específicos e escalas adequadas de relevância à área de estudo (CEPAL, 2012a).

Recentemente, uma maior preocupação quanto à vulnerabilidade costeira tem surgido em decorrência de projeções do aumento do nível médio do mar devido ao aquecimento global. A projeção mais utilizada é a contida nos boletins do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), a qual aponta uma subida no nível do mar de 0,26 a 0,98 m durante os próximos cem anos (CHURCH e CLARK, 2013). O relatório sobre efeitos das mudanças climáticas elaborado pela *Comisión Económica para América Latina y el Caribe* (CEPAL) indica que um cenário de subida do nível do mar de 1 m afetaria amplas populações costeiras no Brasil e em Ilhas do Caribe (CEPAL, 2011a).

O aquecimento global também tem contribuído para um aumento contínuo na temperatura superficial do mar, acarretando em uma probabilidade maior que 66% de chances de intensificação dos ciclones tropicais (IPCC, 2007). Além disso, se a projeção de subida do nível do mar devido ao aquecimento global se confirmar, a vulnerabilidade à inundação por marés de tempestade decorrentes de ciclones tropicais deverá aumentar (WMO, 2006). Gornitz (1991) ressalta ainda que o aumento na taxa e na extensão da erosão costeira é outra das consequências esperadas da subida do nível do mar.

O índice de vulnerabilidade costeira (IVC) determinado para a orla de Santa Catarina nesta pesquisa foi obtido através de uma adaptação da fórmula do *Coastal Vulnerability Index* (CVI), inicialmente proposto por Gornitz (*op.cit.*). Este contém apenas variáveis físicas, resultando em um cenário de suscetibilidade. Neste trabalho, determina-se o IVC a partir da somatória de dois outros índices: o índice de suscetibilidade costeira (ISC) e o índice de

capacidade adaptativa (ICA). Para tanto, visando à obtenção de um modelo de capacidade adaptativa e outro de vulnerabilidade, foram também incluídas variáveis socioeconômicas.

Este estudo pode ser considerado como de mesoescala. Nesta escala de detalhamento os dados costumam ser mais abundantes, de maior resolução e envolver mais aspectos físicos e socioeconômicos quando comparados aos disponíveis para estudos de macroescala, devido à homogeneidade de informação ser exigida somente a nível estadual (CEPAL, 2011b). Por outro lado, possui um menor detalhamento espacial quando comparada a microescalas (como, por exemplo, RUDORFF e BONETTI, 2010; MULER, 2012). Desta forma, para medidas concretas altamente específicas de defesa da costa – como, por exemplo, medidas de proteção de uma praia ao processo de erosão – surge a necessidade de serem efetuados estudos locais (CEPAL, *op. cit.*).

A aplicação de um índice multicritério de vulnerabilidade atrelada à análise espacial em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG) possibilita estimar, com um esforço analítico relativamente reduzido, a resposta relativa de diferentes setores da linha de costa a eventos de ondas e marés de tempestade.

Além da distribuição espacial do “problema”, SIGs também possibilitam a representação dos padrões existentes através de estruturas objetivas (DRUCK *et al.*, 2002). Neste contexto, a análise espacial visa fornecer um conjunto de ferramentas para estabelecer e mensurar relacionamentos, levando em conta a localização espacial do objeto ou fenômeno em estudo (DRUCK *op. cit.*).

A identificação regional dos setores costeiros mais vulneráveis a eventos extremos pode dar suporte a estudos de maior resolução, essenciais quando se pretende implementar medidas concretas de proteção da costa. A apresentação dos resultados nos setores do Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro de Santa Catarina (GERCO/SC) visa facilitar a sua interpretação e dar apoio ao planejamento costeiro do Estado.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O conceito de vulnerabilidade tem sido continuamente expandido com o objetivo de se atingir um formato que possibilite melhor compreendê-lo, considerando inclusive sua relação com os termos: suscetibilidade, exposição, capacidade adaptativa, sensibilidade, risco, etc., bem como as diferentes áreas em que a vulnerabilidade pode ser reconhecida – física, social, econômica, ambiental e institucional (BIRKMANN, 2005). A diversidade terminológica ocasionou certa inconsistência no uso dos conceitos relacionados à temática, tornando imprescindível a elucidação dos significados utilizados para fins de cada pesquisa – o que é feito neste capítulo.

2.1. Perigo costeiro

Gornitz (1991) define perigo costeiro (*coastal hazard*) como o fenômeno natural que expõe a zona costeira a riscos de danos e demais efeitos adversos, citando como exemplos: a subida do nível do mar, marés de tempestade, ventos e ondas.

A UNDP (2004) apresenta uma definição mais abrangente, ao definir o perigo não somente como um fenômeno, mas também como um processo, capaz de causar danos e que pode ser modificado pela ação humana.

Monteiro (1991 *apud* MULER, 2012) assinala que o perigo só existe na presença do elemento humano, já que sempre envolve iniciativa e decisão deste, por exemplo, “enchentes não seriam danosas se o homem evitasse as planícies de inundação”.

Deste modo, para fins deste trabalho, entende-se o termo perigo costeiro como o evento ou processo com potencial para causar danos à zona costeira e que este remete à presença humana. Entre os perigos aqui discutidos, pode-se citar: variação da posição da linha de costa, erosão e inundação costeiras, marés e ondas de tempestade.

2.1.1. MARÉS E ONDAS DE TEMPESTADE

Segundo Carter (1988), as séries de marés podem ser divididas em componentes periódicos e não periódicos. Estes últimos tendem a possuir maior amplitude, devido a influências meteorológicas diretas ou indiretas, e são denominados, na literatura em inglês, *surges*. Podem ser positivos (acima do nível do mar previsto) ou negativos (abaixo do nível do mar previsto) (CARTER, *op. cit.*).

O termo maré de tempestade (*storm surge*) é utilizado para definir a condição de sobre-elevação do nível do mar oriunda, geralmente, de eventos de tempestade associados à baixa pressão atmosférica. Além desta, outros fatores influenciam o nível do mar, como: duração, intensidade e pista do vento (relacionados à formação de ondas de gravidade), relevo local, batimetria adjacente (CARTER, 1988). Segundo Rudorff (2005) a direção dos ventos também é importante, pois os ventos do quadrante sul ocasionam o empilhamento de água na costa sul-brasileira – induzido pelo cisalhamento do vento.

Além de provocarem inundações, as marés de tempestade elevam o nível de base do ataque das ondas, podendo acarretar danos à costa.

Neste trabalho os resultados das variáveis maré meteorológica e maré astronômica são apresentados juntos, pois apesar de eventos de marés de tempestade serem mais interligados às marés meteorológicas extremas, sobre-elevações excepcionais ocorrem durante tempestades intensas associadas a marés astronômicas de sizígia (GORNITZ, 1991).

A maré meteorológica é uma componente de sobre-elevação ou descenso do nível do mar devido ao efeito do vento e/ou pressão barométrica (CEPAL, 2012b).

Já as marés astronômicas de sizígia são aquelas que ocorrem na lua nova ou cheia – quando a terra, a lua e o sol estão alinhados –, provocando marés astronômicas de maior amplitude. Segundo CEPAL (*op. cit.*), esta é uma variável determinística que oscila em escala temporal de horas sobre o nível do mar.

Rudorff (*op. cit.*) ressalta que, embora a principal causa das inundações costeiras seja a ocorrência de marés de tempestade (*storm surges*) influenciadas por eventos meteorológicos, algumas cidades de Santa Catarina, como Florianópolis e Joinville, também sofrem inundações por marés astronômicas extremas.

Quando o aumento do nível do mar provocado pela elevação da maré astronômica e/ou maré meteorológica é acompanhado de ondas com amplitude maior que o habitual, ocorre o evento denominado ressaca (BITENCOURT *et al.*, 2002; KOBAYAMA *et al.*, 2006). Este predomina em Santa Catarina nos meses de outono e inverno (RUDORFF *et al.*, 2014), no entanto em outras estações do ano ciclones extratropicais também podem se desenvolver sobre o Oceano Atlântico, provocando ventos fortes e gerando agitação marítima na costa da Região Sul do Brasil (BITENCOURT *et al.*, 2002).

2.1.2. EROSÃO COSTEIRA E VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA

A erosão costeira é um perigo geomorfológico que resulta da complexa interação de ondas, nível do mar, correntes costeiras, balanço de sedimentos e geologia (KOMAR, 1983).

As variações do clima de ondas modificam o perfil praias de forma que este atinja um equilíbrio dinâmico em relação às condições hidrodinâmicas, ocasionando zonas de erosão e outras de sedimentação (CEPAL, 2012b).

Em episódios de tempestade podem ser observados processos erosivos intensos, quando a ação conjunta de ondas, correntes longitudinais e de retorno e marés meteorológicas e de sizígia podem erodir grandes volumes de areia das dunas e praias (RUDORFF, 2005; BONETTI *et al.*, 2013).

Para lidar com este tipo de problema, diversas abordagens têm sido utilizadas pela engenharia costeira, como a construção de estruturas rígidas de engenharia (muros de contenção, quebra-mares, espigões e molhes) e alimentação de praia (RUDORFF, *op. cit.*). Todavia, a interferência muitas vezes tem levado a uma aceleração do processo erosivo, agravando ainda mais o problema ou transferindo o mesmo para outro setor (RUDORFF, *op. cit.*).

No Estado de Santa Catarina, tendo em vista sua elevada densidade populacional e ocupação irregular sobre a costa, a avaliação da vulnerabilidade à erosão costeira pode ser considerada uma ferramenta útil à prevenção de danos socioeconômicos.

2.2. Suscetibilidade, vulnerabilidade e capacidade adaptativa

Embora a indistinção entre os termos “vulnerável” e “susceptível” seja frequente na bibliografia, eles podem ser diferenciados.

O conceito de suscetibilidade aproxima-se ao de sensibilidade, sendo inclusive tratado como sinônimo por alguns autores. As diferentes concepções do termo são decorrentes da natureza da pesquisa e ocorrem principalmente entre os estudos de caráter social e aqueles voltados ao meio ambiente. Entretanto, mesmo quando de caráter social, a maioria dos estudos trata a suscetibilidade como uma componente de análise de risco que independe de fatores humanos.

A definição da UNDP (2004), por exemplo, está vinculada somente às condições físicas do meio, ao definir a suscetibilidade como “a intensidade ou probabilidade de um determinado ambiente sofrer impacto devido a um perigo, tendo como fatores suas características físicas”.

Para fins deste trabalho, a suscetibilidade se refere à potencialidade ou probabilidade da orla catarinense ser afetada por ondas de tempestade e marés meteorológicas e astronômicas extremas, e sua análise considera apenas os fatores de natureza física e ambientais.

A vulnerabilidade, por outro lado, vincula-se à ideia ampla de se estar sujeito ou vulnerável a sofrer dano ou perda devido a um perigo costeiro. Cutter (1996) a define inclusive como “potencial de perda”, porém a autora salienta que há certa discussão sobre o tipo de perda e quem a sofre.

São encontrados diferentes conceitos para o termo vulnerabilidade, decorrentes da diversidade de perigos estudados e dos elementos com potencial de serem afetados por estes dentro de um sistema. A maioria, todavia, considera como componentes essenciais a presença humana e a exposição desta ao perigo. Em Peduzzi *et al.* (2009), por exemplo, a vulnerabilidade humana foi obtida a partir de um cruzamento entre a exposição da população e parâmetros socioeconômicos.

Muler e Bonetti (2014) consideram que é possível estar exposto e não ser vulnerável ao perigo. No entanto, ser vulnerável a um evento extremo requer que se esteja exposto.

Algumas definições deixam claro o seu foco social. Para Cutter (1996), a vulnerabilidade é vista como a interação entre perigos locais e condições sociais da comunidade exposta, de modo a apontar a importância da determinação da localização de espaços e pessoas vulneráveis, bem como do grupo de pessoas que é mais vulnerável no espaço. A UNDP (2004), ao analisar a vulnerabilidade humana, considera que esta inclui a vulnerabilidade dos sistemas social e econômico, infraestrutura física e recursos ambientais.

Entretanto, definições como a do ISDR (2004), Schneiderbauer e Ehrlich (2004), IPCC (2001), Balica *et al.* (2012), CEPAL (2011b; 2012a) e Bonetti *et al.* (2013) se enquadram melhor no âmbito desta pesquisa, por considerarem elementos essenciais na determinação da vulnerabilidade tanto a suscetibilidade do meio físico quanto as características socioeconômicas relacionadas à resiliência e capacidade adaptativa – termos correlatos.

Balica *et al.* (2012) ao analisarem a vulnerabilidade à inundação de cidades costeiras frente a mudanças climáticas, consideram a vulnerabilidade composta por três termos: exposição, suscetibilidade e resiliência. Os autores definem a suscetibilidade como os elementos expostos dentro de um sistema, os quais influenciam a probabilidade de serem ameaçados em perigos de inundações. Citam que as habilidades dos sistemas individuais ou sociais para lidar com os impactos de inundação, geralmente relacionadas a indicadores

socioeconômicos, determinam a resiliência. Já a exposição é definida como a predisposição de um sistema ser interrompido por um evento de inundação devido a sua localização na mesma área de influência. Segundo a UNDP (2004), esta pode ser medida como o número de pessoas localizadas sobre áreas de ocorrência de perigos, em combinação com a frequência destes.

Para o ISDR (2004), a vulnerabilidade pode ser entendida como “condições determinadas por fatores ou processos físicos, sociais, econômicos e ambientais, os quais aumentam a suscetibilidade de uma comunidade aos impactos ocasionados pelos perigos”. Já a resiliência é definida como a capacidade de um sistema, comunidade ou sociedade potencialmente expostos a perigos de se adaptarem, resistindo ou se modificando para alcançar ou manter um nível aceitável de funcionamento e estrutura.

De acordo com CEPAL (2011b), a vulnerabilidade se refere à capacidade de uma área antecipar-se, enfrentar, resistir e recuperar-se do impacto produzido por um agente de dada magnitude através de seus fatores institucionais, econômicos e socioculturais. Ainda segundo CEPAL (2012a), para estimar a vulnerabilidade é importante determinar a sensibilidade ou suscetibilidade e a capacidade adaptativa ou resiliência, dois elementos distintos que são encontrados na zona exposta, em função da intensidade do evento associado ao agente; sendo, portanto, um parâmetro multidimensional.

A Comissão Europeia (SCHNEIDERBAUER e EHRLICH, 2004) considera a vulnerabilidade como a soma da suscetibilidade ou sensibilidade e da resiliência, a qual por sua vez pode dividir-se em capacidade de resistir e recuperação.

No âmbito das mudanças climáticas, o IPCC (2001) define a vulnerabilidade como o grau de dano que as mudanças podem produzir em um sistema natural ou social, e se estabelece que a vulnerabilidade varia em função da suscetibilidade ou sensibilidade (grau de resposta de um sistema às mudanças climáticas, incluindo efeitos prejudiciais e benéficos) e da capacidade adaptativa (habilidade de um sistema se ajustar às mudanças climáticas – incluindo eventos extremos –, moderando danos potenciais e aproveitando as oportunidades, ou lidando com as consequências). Este conceito, porém, equivale-se ao de resiliência dado pela Comissão Europeia (SCHNEIDERBAUER e EHRLICK, 2004).

Já a UNDP (2004) define capacidade adaptativa como a possibilidade da sociedade redirecionar suas atividades de forma proativa, pela modificação de seu modelo de desenvolvimento, de modo a minimizar o risco a desastres.

Neste trabalho considera-se a capacidade adaptativa um componente que colabora para a criação de uma maior resiliência e está interligada a fatores sociais e econômicos, os

quais possibilitam que a população se adapte às novas condições de um sistema após este ter sido afetado por um perigo natural, não necessariamente voltando à sua condição anterior aos danos.

Já o termo vulnerabilidade – objeto deste estudo –, foi compreendido como a capacidade de uma área antecipar-se, enfrentar, resistir e recuperar-se do impacto produzido por um agente de dada magnitude através de elementos físicos e socioeconômicos. Considerou-se a suscetibilidade do meio físico e a capacidade adaptativa – decorrente de fatores socioeconômicos – como elementos essenciais à determinação da vulnerabilidade.

A distribuição espacial das variáveis socioeconômicas é analisada de forma a responder como a presença da população influencia na ocorrência de danos sobre os setores costeiros levando em consideração a suscetibilidade destes.

Muler e Bonetti (2014) ressaltam que o mapeamento da suscetibilidade fornece indicações para o planejamento do desenvolvimento à medida que identifica as áreas expostas à ação de ondas, enquanto mapas de vulnerabilidade fornecem informações para ações adaptativas.

A inclusão de fatores socioeconômicos a índices de vulnerabilidade costeira tem sido sugerida por diversos autores (McLAUGHLIN *et al.*, 2002; GORNITZ *et al.*, 1991). Gornitz (1991) cita que a omissão da densidade populacional, em sua avaliação da vulnerabilidade ao longo da costa leste dos Estados Unidos, acabou limitando potencialmente seus resultados e que, se presente, poderia ter elevado o grau de vulnerabilidade encontrado para algumas áreas, como o sul da Flórida.

Segundo McLaughlin *et al.* (2002), muitos autores que ressaltam a importância da inclusão de variáveis socioeconômicas, não o fazem mesmo em estudos posteriores. Os autores comentam que uma das prováveis causas seja a dificuldade de classificá-las em graus de vulnerabilidade e, além disso, a restrição dos dados ao tempo em que se analisa. Dados atuais podem variar ao longo do tempo com a construção de novas casas, por exemplo. Logo, a percepção de ameaça e a resposta desses locais também mudam.

Para Doornkamp (1990 *apud* McLAUGHLIN *et al.*, 2002), “estudos de problemas de gerenciamento costeiro têm mostrado que as diferentes reações humanas e sociais se manifestarão segundo o tamanho da população da área afetada, a atividade econômica da área e as condições sociais prevalentes”.

Peduzzi *et al.* (2009) relacionam a vulnerabilidade com o nível de desenvolvimento de um país/região. Os autores desenvolveram um índice de vulnerabilidade econômica ao desastre, como parte de um estudo do risco associado a eventos de inundação, ciclone,

terremoto e seca para o período de 1980-2006 na região da América Latina e Caribe. Os resultados demonstraram que, embora os percentuais de população exposta a perigos fossem muito próximos entre países mais desenvolvidos e menos desenvolvidos, nestes o percentual de vítimas foi muito superior – acima de 50% -, em relação aos mais desenvolvidos.

Outro termo comumente utilizado na temática da vulnerabilidade é o risco. Este, segundo UNDP (2004), é uma medida da probabilidade das consequências adversas ou das perdas esperadas de vidas, pessoas feridas, danos materiais e econômicos resultantes da interação entre os perigos naturais e as condições de vulnerabilidade. Portanto, os resultados obtidos por meio deste trabalho podem ser incluídos em futuras análises de risco para a costa oceânica do Estado de Santa Catarina.

2.3. Índice de vulnerabilidade costeira

O *Coastal Vulnerability Index* (CVI), proposto inicialmente por Gornitz (1991), é um índice multicritério que permite a avaliação da resposta física relativa de setores da linha de costa frente a perigos costeiros. Originalmente foram utilizadas sete variáveis associadas à inundação e erosão costeiras para o seu cálculo.

O índice é determinado através de uma fórmula matemática na qual se inserem descritores qualitativos e quantitativos, que nela são expressos após terem sido hierarquizados em graus de vulnerabilidade – individualmente – de acordo com seus valores e natureza.

Neste trabalho, cada variável foi classificada em uma escala ordinal de 1 a 5, seguindo a metodologia do *United States Geological Survey* (USGS) (THIELER e HAMMAR-KLOSE, 1999).

Nos Estados Unidos a utilização de um CVI tem sido mais comumente aplicada a estudos que avaliam a resposta física da costa do país à elevação do nível do mar, como observado em Gornitz (*op. cit.*) e Thieler e Hammar-Klose (*op. cit.*). Para atender a este propósito, ambos calcularam a raiz quadrada da razão entre o produto das variáveis – já hierarquizadas em graus de vulnerabilidade – e o número de variáveis, como demonstrado pela Equação 1:

$$CVI = \sqrt{\frac{a_1 \times a_2 \times \dots \times a_n}{n}} \quad (1)$$

onde, a_i = variável e n = número total de variáveis.

O índice pode ser calculado tanto pelo produto quanto pela soma das variáveis. O primeiro expande o alcance dos valores, no entanto é mais sensível a pequenas mudanças (GORNITZ, 1991). A autora ressalta ainda a possibilidade de inclusão de diferentes pesos às variáveis em estudos futuros.

Partindo da ideia de que a vulnerabilidade resulta da suscetibilidade em combinação com a capacidade adaptativa, neste trabalho adaptou-se a fórmula do CVI de Gornitz (1991) à linha de costa do Estado de Santa Catarina, incorporando variáveis socioeconômicas além das de natureza física.

3. OBJETIVOS

3.1.Geral

Desenvolver e aplicar um índice multicritério que permita a representação da vulnerabilidade costeira do Estado de Santa Catarina frente a eventos extremos de ondas e marés de tempestade através de técnicas de análise espacial.

3.2.Específicos

- Analisar a suscetibilidade da zona costeira de Santa Catarina a eventos extremos de ondas e marés de tempestade a partir da integração das variáveis de natureza física: tipo de linha de costa, largura de praia, exposição às ondas, variação da linha de costa e amplitudes de marés meteorológica e astronômica;
- Determinar, em diferentes graus, a capacidade adaptativa dos setores censitários costeiros de Santa Catarina – definidos por IBGE (2011) – aos perigos estudados, através da integração das variáveis socioeconômicas: população residente, rendimento domiciliar e residência ocasional;
- Adaptar o índice proposto por Gornitz (1991) às características socioeconômicas e do meio físico inerentes ao Estado de Santa Catarina e de interesse para a geração de um modelo de vulnerabilidade costeira a eventos extremos de ondas e marés de tempestade;
- Gerar subsídios para a futura elaboração de estratégias políticas de ordenamento espacial e estudos de alta resolução para a zona costeira do Estado de Santa Catarina que levem em consideração a vulnerabilidade de seus setores praias.

4. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende a zona costeira do Estado de Santa Catarina, localizada na Região Sul do Brasil (Fig. 1) e delimitada pelos paralelos 25°57'41" e 29°23'55" de latitude sul e entre os meridianos 48°19'37" e 53°50'00" de longitude oeste (IBGE, 2000).

Limita-se a norte com o Estado de Paraná, a sul com o Rio Grande do Sul e a oeste com a Argentina. Em seu extremo leste é banhado pelo Oceano Atlântico na totalidade dos seus 564 km de linha de costa, ou 1.874 km quando contabilizadas suas baías e ilhas mais expressivas (SANTA CATARINA, 2006).

De acordo com os dados do censo de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), os municípios de Santa Catarina defrontes ao mar abrigam em torno de 28 % da população estadual (IBGE, 2010a).

A dinâmica dos ventos de superfície na região sul do Brasil é caracterizada pelo domínio do sistema semi-fixo de alta pressão denominado Anticiclone Tropical do Atlântico Sul (ATAS), centro de ação da massa Tropical Atlântica (mTa), com ventos de nordeste/leste de intensidade fraca (GRIMM, 2009). Este está presente em quase todas as estações do ano, porém é mais forte no inverno, quanto está mais deslocado para norte e oeste, penetrando sobre o continente (GRIMM, *op. cit.*).

Monteiro e Furtado (1995) citam ainda a influência do Anticiclone Polar Migratório (APM) – centro de ação das massas polares. Estas percorrem o litoral da América do Sul e apresentam uma trajetória de sudoeste para nordeste (RODRIGUES *et al.*, 2004).

A massa Tropical Atlântica está relacionada a tempo estável e temperaturas mais elevadas, enquanto a massa Polar Atlântica é fria e possui pouca umidade (MONTEIRO e FURTADO, *op. cit.*). O encontro destas dá origem à Frente Polar Atlântica (frente fria), de baixa pressão, causando mudanças bruscas nas condições do tempo em qualquer época do ano, embora seja mais comum durante o inverno e primavera (MONTEIRO e FURTADO, *op. cit.*).

Entre o outono e o inverno, a frente fria avança pelo sul do Brasil, geralmente associada a um ciclone extratropical. Os ciclones extratropicais são centros profundos de baixas pressões e migratórios, resultantes de oclusões, que se deslocam de oeste para leste a uma velocidade de 30km/h a 50km/h, sendo mais rápidos no inverno (AYOADE, 1996).

Dados da reanálise do *National Center for Environmental Prediction – National Center for Atmospheric Research* (NCEP-NCAR) para os anos de 1990 a 1999 demonstraram que, mensalmente, o litoral catarinense é afetado por uma média de 3 a 4 frentes frias

(RODRIGUES *et al.*, 2004). A passagem destas influencia os eventos de marés meteorológicas e ondas de tempestade, os quais por sua vez podem levar à ocorrência de episódios de inundação pela água do mar e erosão praial, causando danos à zona costeira – principalmente quando associados a marés astronômicas de sizígia.

Segundo Trucollo (1998), os efeitos meteorológicos na maré possuem grande importância, pois podem provocar uma elevação de até 1 m acima da maré astronômica e ocorrer na frequência de 10 dias.

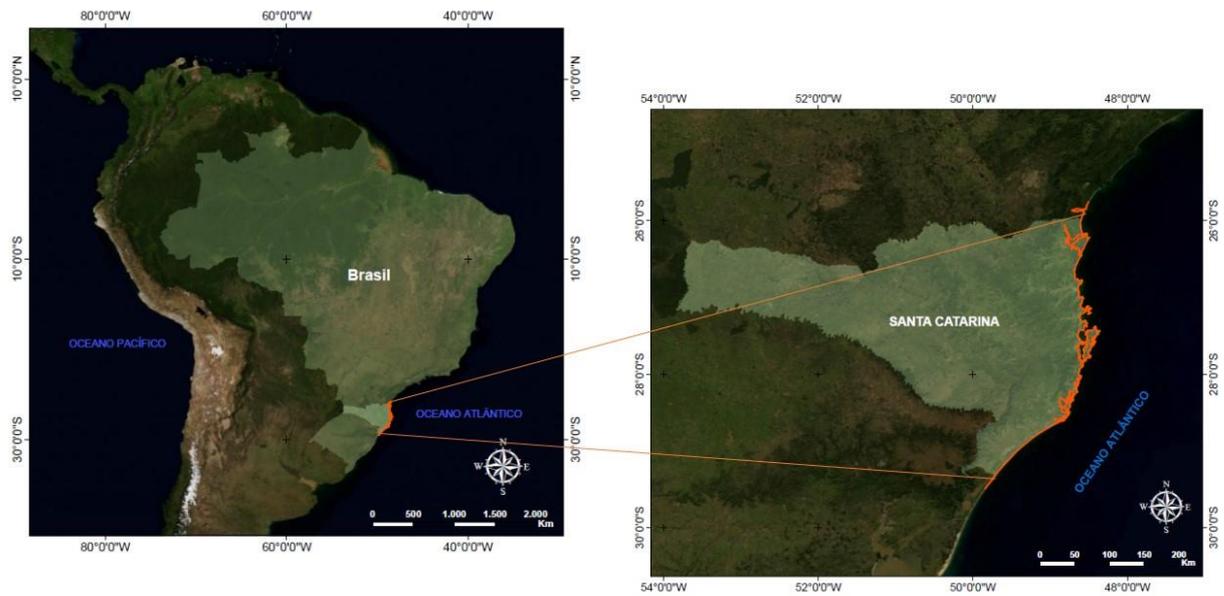


Figura 1 – Localização da área de estudo. Fonte: Imagem *Quickbird*.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a obtenção da vulnerabilidade a eventos extremos de ondas e marés de tempestade foram acoplados dois modelos: um de suscetibilidade e outro de capacidade adaptativa, ambos desenvolvidos através de técnicas de análise espacial baseadas em SIG.

A Figura 2 resume o processo de aplicação do índice multicritério para a avaliação da vulnerabilidade costeira.

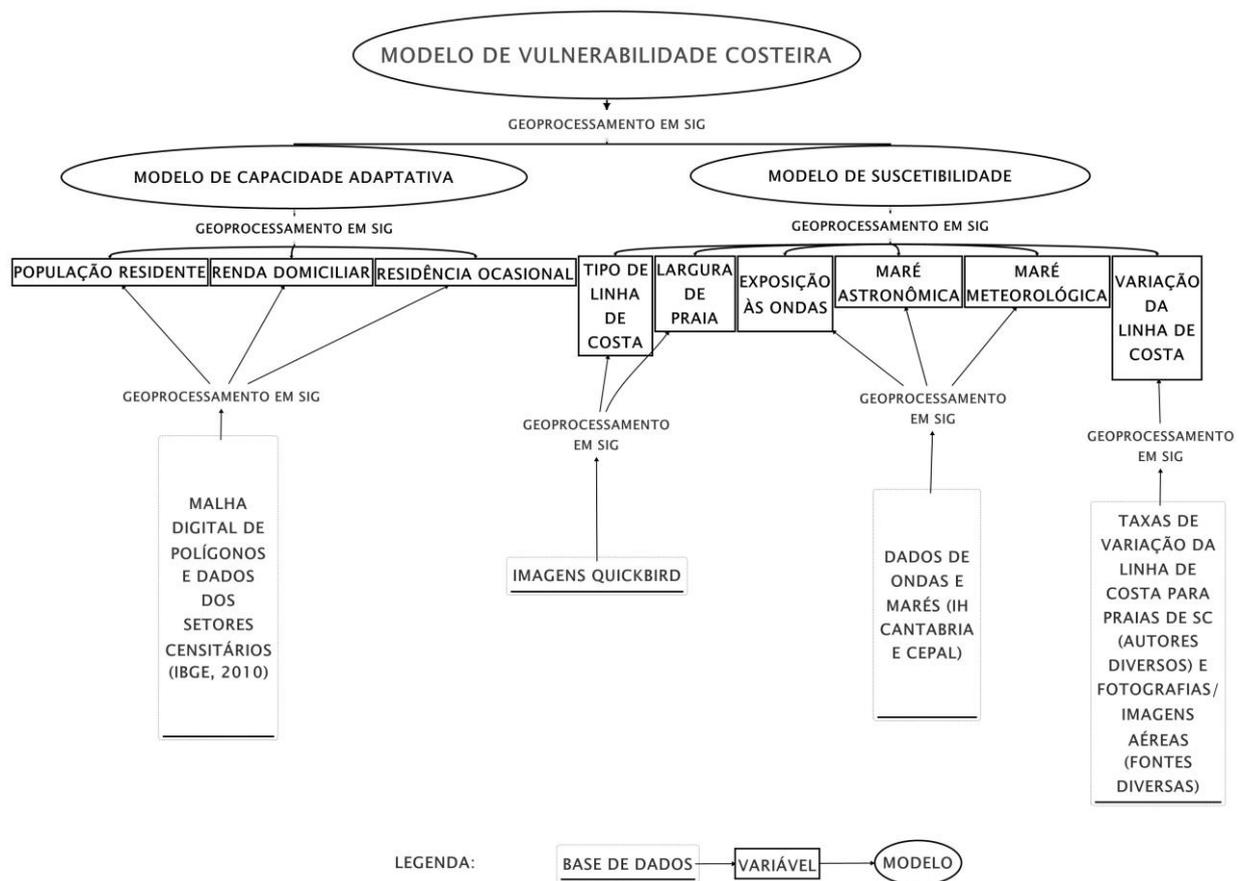


Figura 2 – Fluxograma da aplicação do índice multicritério de vulnerabilidade costeira.

5.1. Indicadores de vulnerabilidade

A escolha das variáveis a serem incorporadas a modelos de vulnerabilidade depende da escala de trabalho, dos fenômenos estudados e das características da área de estudo (MAZZER *et al.*, 2008). Portanto, a seleção das variáveis constituintes do Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) foi realizada com a ajuda de um acervo bibliográfico, a fim de identificar indicadores habitualmente utilizados em estudos relacionados ao tema e de

relevância à orla de Santa Catarina. Além disso, a seleção se guiou pela disponibilidade e representatividade dos dados à área de estudo.

Foram selecionadas as variáveis referentes ao ambiente físico da orla catarinense para comporem o modelo de suscetibilidade: tipo de linha de costa, largura de praia, exposição às ondas, amplitude de maré astronômica, amplitude de maré meteorológica e variação da linha de costa, bem como descritores socioeconômicos essenciais à identificação da capacidade adaptativa da população: população residente, rendimento domiciliar e residência ocasional.

5.2. Digitalização da linha de costa

A linha de costa, utilizada como base geométrica para a projeção das variáveis neste estudo, foi gerada no âmbito do projeto Rede Integrada de Monitoramento e Previsão de Eventos Extremos na Região Sul (RIMPEEX/SUL). Neste, um modelo de suscetibilidade costeira foi produzido a partir de informações referentes a 30 geoindicadores coletados a, aproximadamente, cada 2 km da linha de costa ao longo do Estado de Santa Catarina, totalizando 302 pontos amostrais.

A digitalização foi realizada através do editor do *ArcGIS* 9.3; seguindo-se a interface entre areia seca e úmida nos segmentos da classe praia e utilizando imagens do satélite *Quickbird* como base geográfica. Estas estavam disponíveis no servidor da empresa *DigitalGlobe* e foram acessadas através da extensão *Image Connect*, compatível com o *software ArcGIS* 9.3 (Fig. 3). As imagens em questão possuem 3 bandas multiespectrais e resolução espacial de 2,4 m (EURIMAGE, 2001).

Buscou-se utilizar a imagem mais recente e de boa qualidade disponível para a área, tendo sido utilizadas imagens dos anos de 2002 a 2010, as quais tiveram seu contraste corrigido – quando necessário – a fim de facilitar a identificação da interface.

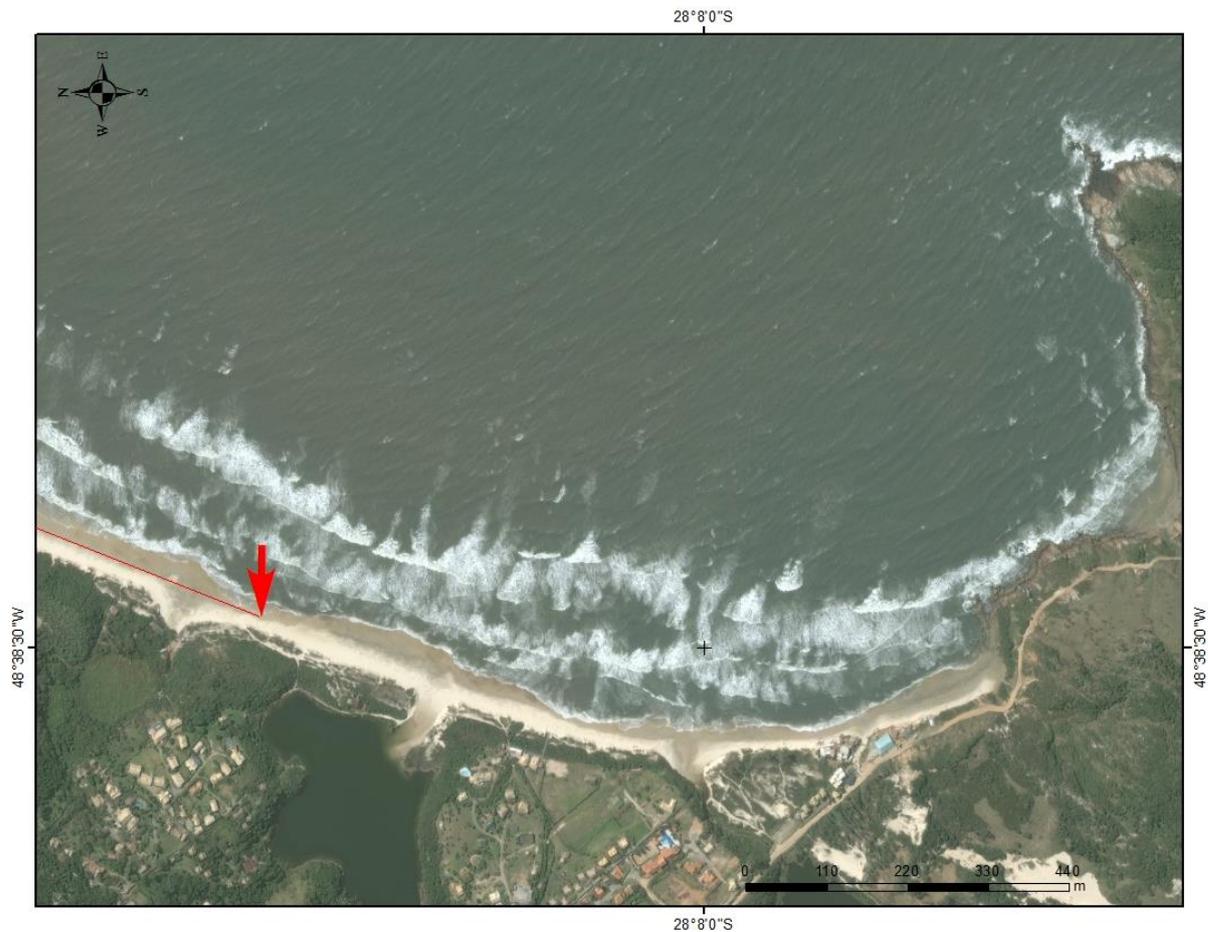


Figura 3 – Identificação da interface entre areia seca e úmida em um trecho da Praia do Rosa, Imbituba. Imagem *Quickbird*.

5.3. Modelo de suscetibilidade

O modelo de suscetibilidade é composto pelas variáveis físicas: tipo de linha de costa, largura de praia, exposição às ondas, variação da linha de costa e amplitudes de marés meteorológica e astronômica.

5.3.1. TIPO DE LINHA DE COSTA

A classificação se deu com base na interpretação visual das imagens *Quickbird* acessadas pela extensão *ImageConnect*, buscando-se sempre a utilização da imagem disponível mais atual e de boa qualidade.

O tipo de linha de costa foi segmentado a cada mudança de classe pela ferramenta *split tool*, disponível no editor do *ArcGIS 9.3*. A classificação aqui apresentada provém de uma adaptação das classes contidas no projeto Planos Locais de Desenvolvimento da Maricultura de Santa Catarina (PLDM/SC, SEAP, 2008), sendo elas: vegetação costeira, praia, aterro, costão rochoso e desembocadura de rio. Neste trabalho, optou-se pela substituição da classe

“aterro” por “estruturas artificiais”, pois esta abrange as demais obras que evidenciem uma alteração no ambiente natural de origem antrópica.

A Figura 4 resume o processo de obtenção da variável tipo de linha de costa.

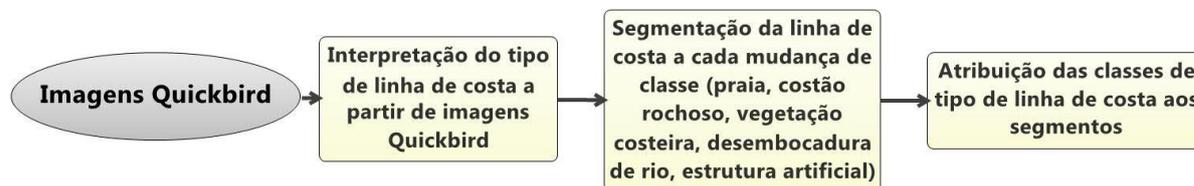


Figura 4 – Processo de obtenção da variável tipo de linha de costa.

5.3.2. LARGURA DE PRAIA

A largura de praia foi medida através da ferramenta *Measure* do *ArcGIS* 9.3 para todos os 302 pontos de coleta de geoindicadores do projeto RIMPEEX/SUL, tendo como base as imagens do servidor *DigitalGlobe* disponíveis através da extensão *ImageConnect*. Quando na ausência de cobertura espacial da área ou baixa qualidade das imagens, recorreu-se ao auxílio do *Google Earth Pro*TM.

A medição foi feita da interface entre areia seca e úmida até a base da duna frontal – quando presente –, ou outra barreira física abrupta. Esta pôde ser facilmente delimitada nas imagens pela mudança de coloração decorrente dos diferentes padrões de reflexão da luz solar pelo sedimento. A areia seca tem maior reflectância que a molhada, o que explica a diferença na tonalidade da superfície praial (BOAK e TURNER, 2005).

O brilho e contraste das imagens foram alterados, quando necessário, a fim de se identificar mais facilmente a interface.

Neste trabalho, considerou-se como um arco praial o segmento de linha da classe “praia”, situado entre dois elementos da classe “costão rochoso”. Outras feições não foram consideradas como divisoras de arcos praias, com exceção da desembocadura da Baía de Babitonga, onde foi possível observar visualmente uma mudança brusca de orientação entre as faixas praias adjacentes à esquerda e à direita da desembocadura.

A segmentação da linha de costa para esta variável se deu sobre os pontos do projeto RIMPEEX/SUL, atribuindo-se o valor da média aritmética entre um ponto e o seu conseqüente ao segmento entre eles.

Para pontos conseqüentes situados em arcos praias diferentes o procedimento teve que ser diferenciado. Neste caso, aos segmentos situados nas duas extremidades de cada arco, atribuiu-se o valor de largura de praia do último ponto de cada extremo. O valor pontual de

largura de praia também foi mantido sem alteração para a totalidade de um arco praial quando na presença de apenas um ponto amostral (Fig. 5).

Uma forma alternativa de segmentação do arco praial seria segmentar a linha de costa nas medidas centrais entre dois pontos consecuintes e atribuir ao segmento o valor do seu ponto central, não necessitando o cálculo de médias. No entanto, este método traz uma maior dificuldade em relação à segmentação em ambiente SIG, além de resultar em uma menor quantidade de segmentos.

A Figura 6 resume o processo de obtenção da variável largura de praia.

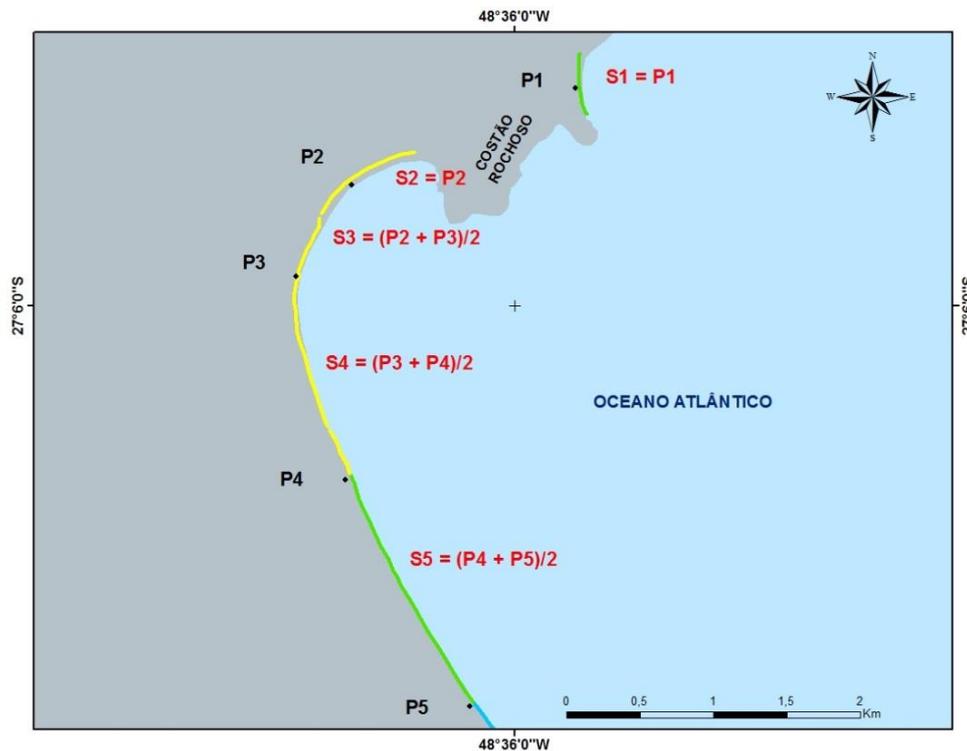


Figura 5 – Método de determinação dos valores de largura de praia aos segmentos da orla de SC. P_i = Ponto do projeto RIMPEEX/SUL e S_i = Segmento de praia entre dois pontos.

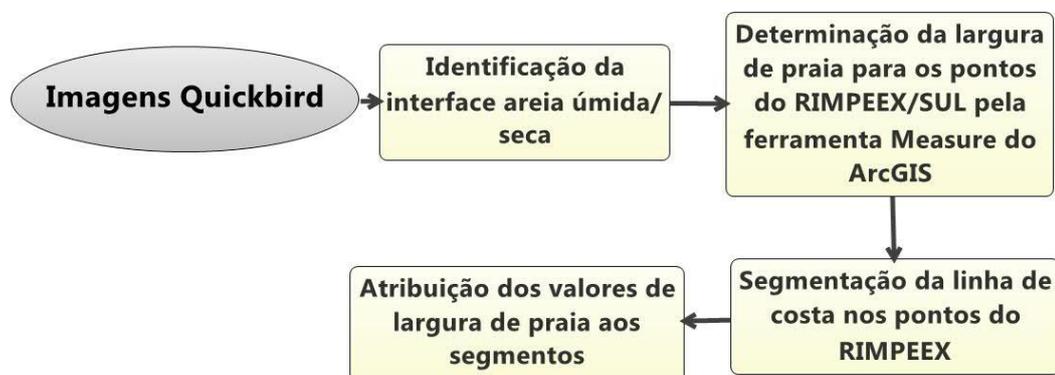


Figura 6 – Processo de obtenção da variável largura de praia.

5.3.3. AMPLITUDES DE MARÉS ASTRONÔMICA E METEOROLÓGICA

Em estudos de vulnerabilidade costuma-se trabalhar sempre com o pior cenário ambiental. Desta forma, valores extremos de amplitudes de marés meteorológica e astronômica foram extraídos de dados provindos do projeto *Estudio regional de los efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe*, efetuado pela CEPAL em parceria com o Instituto de Hidráulica Ambiental da Universidade de Cantábria (IH Cantabria).

No visualizador *web* do projeto (CEPAL, <http://www.c3a.ihcantabria.com/>) (Fig. 7) foi possível obter dados para 11 pontos distribuídos ao longo da costa catarinense. Encontram-se disponíveis valores extremos de marés meteorológicas para os tempos de retorno (Tr) de 50, 100 e 500 anos. Neste trabalho, optou-se pela utilização dos valores de Tr 50, que representam o observado no período modelado da reanálise. O dado de maré astronômica disponível é o referente ao quantil 0,90 anual.

As variáveis amplitude de maré meteorológica e amplitude de maré astronômica foram geradas pelo IH Cantabria através da simulação numérica das reanálises *Global Ocean Surge* (GOS) e *Global Ocean Tides* (GOT), respectivamente. Os dados possuem cobertura temporal de 1948 a 2008 a um intervalo de tempo de 1 hora e resolução espacial de 0,25° (CEPAL, 2011a). As bases GOS e GOT foram validadas com os dados dos marégrafos da *University of Hawaii Sea Level Center* (UHSLC, CEPAL, *op. cit.*).

Os dados de maré astronômica foram gerados pelo IH Cantabria, utilizando-se as constantes harmônicas provenientes do modelo global de marés TPXO (versão 7), desenvolvido pela Universidade do Estado de Oregon (EGBERT *et al.*, 1994; EGBERT e EROFEEVA, 2002). O modelo se baseia em dados altimétricos do sensor TOPEX/POSEIDON e de marégrafos (CEPAL, *op.cit.*). A maré astronômica foi calculada/estimada a partir das componentes harmônicas semidiurnas (M2, S2, N2, K2), diurnas (K1, O1, P1, Q1) e de longo prazo (Mf e Mm) (CEPAL, *op.cit.*).

O modelo utilizado pelo IH Cantabria para o cálculo da maré meteorológica foi a versão 2D do modelo de circulação *Regional Ocean Modeling System* (ROMS), desenvolvido por *Ocean Modeling Group de Rutgers* (SHCHEPETKIN e MCWILLIAMS, 2005). Para o seu funcionamento, necessita-se de dados referentes à batimetria, pressão atmosférica e vento – descritos em CEPAL (*op. cit.*).

As coordenadas dos pontos situados no litoral catarinense foram extraídas do visualizador e, através destas, pôde-se criar um arquivo *shapefile* com os pontos e espacializá-los em ambiente SIG.

A linha de costa para esta variável foi segmentada em 11 partes através da ferramenta *split tool*, mantendo os pontos na posição central de cada segmento. Os valores referentes às duas variáveis – obtidos através do visualizador *web* – foram então projetados para os segmentos de linha de costa, pelo preenchimento da tabela de atributos desta, em modo de edição, através do *ArcGIS 10*.

A Figura 8 resume o processo de obtenção das variáveis amplitude de maré astronômica e meteorológica.

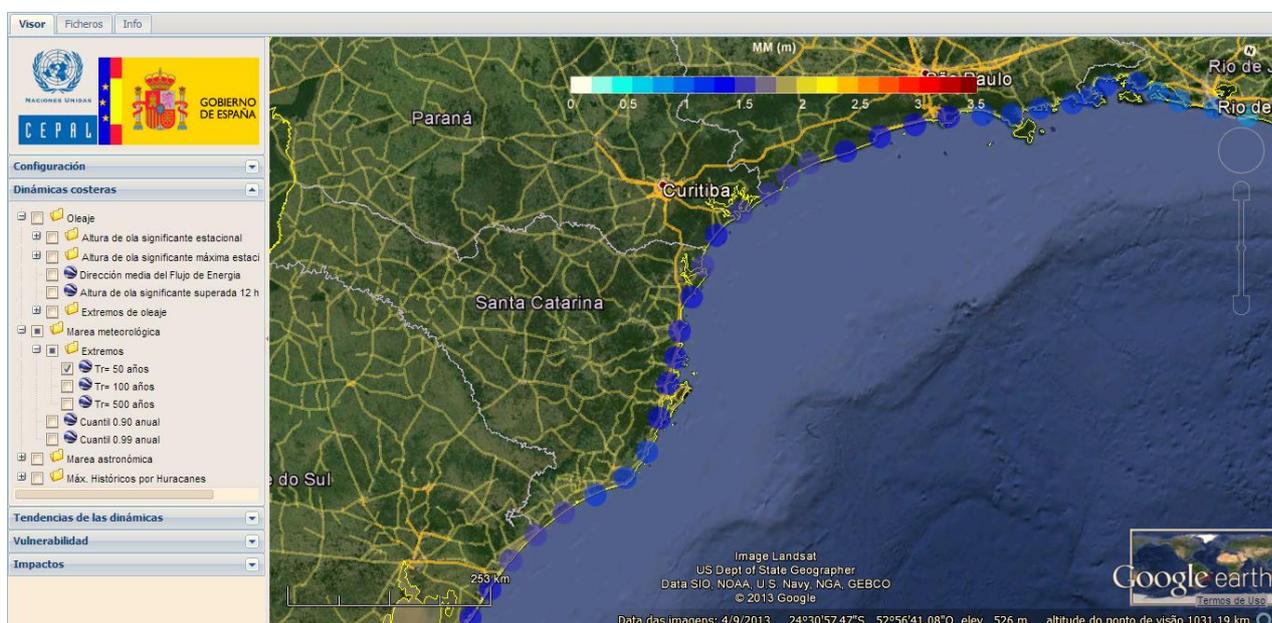


Figura 7 – Interface do visualizador de dados do projeto *Estudio regional de los efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe*. Os pontos apresentados são referentes a eventos extremos de maré meteorológica para $Tr = 50$ anos. Fonte: < <http://www.c3a.ihcantabria.com/> >



Figura 8 – Processo de obtenção das amplitudes de maré astronômica e meteorológica.

5.3.4. EXPOSIÇÃO ÀS ONDAS

A análise da variável exposição às ondas se deu com base na determinação do ângulo de exposição da linha de costa às ondas, na altura significativa de onda e na direção do fluxo médio de energia de onda.

A linha de costa para esta variável foi segmentada a cada 2 km pela ferramenta *split*, representando uma escala espacial aproximada a dos pontos do RIMPEEX/SUL.

A orientação foi obtida através da extensão *Find Polyline Angle* (ZAZULA, 2005), compatível com o *ArcGIS* 9.3. O cálculo é efetuado quando há um arquivo de linha selecionado, permitindo que um campo denominado *GeoAngle* (ângulo de rotação do azimute do norte geográfico) seja adicionado à tabela de atributos do arquivo digital. O ângulo geográfico considera a direção norte equivalente a 0°, leste a 90°, sul a 180° e oeste a 270°. A partir do ângulo de orientação da linha de costa foi possível obter o ângulo de exposição da mesma às ondas, somando-se 90° ao valor do *GeoAngle* para obter a normal da orientação.

O ângulo de exposição às ondas pode ser obtido a partir do ângulo de orientação partindo da ideia de um processo básico que atua sobre ondas que incidem em águas rasas: a refração. Este é um fenômeno que opera sobre as ondas de águas profundas ao incidirem sobre águas rasas, mais significativamente quando atingem uma profundidade 4 vezes menor que o seu comprimento ($h/L < 1/4$, onde (h) é a profundidade e (L) o comprimento de onda) (HOEFEL, 1998).

A refração pode ser entendida como o redirecionamento dos raios de onda devido à batimetria, o que faz com que uma frente de ondas que incide obliquamente à costa de contornos batimétricos regulares e paralelos entre si tenda a se reajustar paralelamente à linha de costa (HOEFEL, *op. cit.*).

Optou-se pela utilização de valores já processados de altura significativa de onda (H_s) e de direção do fluxo médio de energia de onda (*dirFE*). Os valores obtidos para estas variáveis fazem parte da reanálise *Global Ocean Waves* (GOW) desenvolvida pelo IH Cantabria e estão disponíveis para os mesmos onze pontos da linha de costa de Santa Catarina utilizados para a extração dos dados de marés.

Entre os resultados da reanálise GOW, têm-se: parâmetros estatísticos de onda de resolução temporal horária e espacial de 0,5° e espectros de energia com resolução temporal de 3 horas e espacial de 1° (CEPAL, 2011a).

No visualizador *web* do projeto *Estudio regional de los efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe* (CEPAL, <http://www.c3a.ihcantabria.com/>)

encontram-se disponíveis valores extremos de onda referentes à altura significativa máxima mensal para os tempos de retorno (Tr) de 50, 100 e 500 anos. Os valores expressam o 1/3 das maiores ondas em seu valor máximo mensal, refletindo as condições mais severas de onda por mês (CEPAL, 2011a). Assim como para os dados de maré, optou-se pela utilização dos valores referentes ao tempo de retorno de 50 anos (Hs Tr-50), que representam o observado no período modelado da reanálise.

O modelo numérico utilizado na geração das séries de ondas foi o *WaveWatch III* (TOLMAN 1997, 1999), desenvolvido pelas agências *National Oceanic and Atmospheric Administration/ National Centers for Environmental Prediction* (NOAA/NCEP). Como este não simula a propagação de onda em águas rasas de forma eficaz, os resultados de sua simulação são utilizados como condições iniciais para as simulações com o modelo *Simulating Waves Nearshore* (SWAN, BOOIJ *et al.*, 1999). A validação dos dados de ondas foi feita por meio de registros de boias da NOAA e de satélites. Estes também foram utilizados na calibração (CEPAL, *op.cit.*).

Outra variável disponível referente à altura de onda é a altura significativa de onda com probabilidade de exceder-se 12 horas ao ano (Hs₁₂). Esta representa um quantil de altas condições de onda e está relacionada com a profundidade na qual o transporte de sedimentos deixa de ser dominado por esta, sendo de grande relevância em estudos de perfis de equilíbrio de praias (CEPAL, *op. cit.*). No entanto, tais valores não foram utilizados devido a sua menor variabilidade ao longo do litoral de Santa Catarina.

O fluxo de energia de onda representa a taxa de transferência de energia que é transmitida na direção de propagação das ondas através de um plano vertical perpendicular ao avanço da direção de onda e estendido por toda a profundidade (USACE, 2002). A direção do fluxo médio de energia de onda está intimamente relacionada à forma da praia em planta, assim como com o transporte de sedimentos (CEPAL, *op. cit.*).

O vetor fluxo de energia $\vec{F} = F_x \vec{i}, F_y \vec{j}$ de uma dada onda tem como direção a correspondente ao vetor número de onda, a qual, por sua vez, coincide com a direção de onda. Sua magnitude equivale a $1/8 \rho g H^2 C_g$, onde C_g é a celeridade do grupo de ondas e H é a altura de onda. O fluxo médio anual pode ser obtido através da soma dos vetores de fluxo de energia de todas as ondas em um ano. Logo, se para cada hora do ano existe um fluxo de

energia $F_{x,t}\vec{i} + F_{y,t}\vec{j}$, então o fluxo médio é definido pela Equação 2 (SMC-Brasil, em fase de elaboração)¹.

$$\vec{F}_m = \frac{1}{8760} \left(\sum_{t=1h}^{8760} F_{x,t} \vec{i} + \sum_{t=1h}^{8760} F_{y,t} \vec{j} \right), \quad (2)$$

$$\vec{F}_m = \overline{F}_x \vec{i} + \overline{F}_y \vec{j}.$$

A direção do fluxo médio de energia é determinada pela Equação 3 (SMC-Brasil, *op. cit.*):

$$\overline{\theta}_m = \arctan \left(\frac{\overline{F}_y}{\overline{F}_x} \right). \quad (3)$$

A direção do FE foi representada pela direção sudeste em todos os onze pontos. Desta forma, os segmentos de costa expostos às ondas de sudeste foram considerados os mais suscetíveis e a estes foi atribuída a classe “muito alta” de suscetibilidade, de valor 5. Às direções leste e sul, distanciadas por um ângulo de 45° em relação a sudeste, foi atribuída a classe “alta”, de valor 4. Seguindo a lógica, quanto maior o ângulo entre as direções de propagação de onda e a direção do fluxo médio de energia (sudeste), menor o grau de suscetibilidade. Desta forma, as direções de propagação nordeste e norte foram classificadas em suscetibilidade média (grau 3) e baixa (grau 2), respectivamente. Os segmentos expostos às demais direções de propagação de onda foram considerados como suscetibilidade muito baixa (grau 1), uma vez que a orientação da linha de costa do Estado encontra-se abrigada em relação às direções de onda de oeste, sudoeste e noroeste – devido à presença do continente. Os ângulos referentes às direções podem ser conferidos na Figura 9.

Os valores de Hs Tr-50 foram hierarquizados em cinco quantis (valores de 1 a 5), considerando que maiores valores de altura de onda acarretam em cenários de maior suscetibilidade costeira.

A suscetibilidade para a variável exposição às ondas, levando em consideração Hs Tr-50 e dirFE, foi obtida a partir da Equação 4:

¹ SMC-Brasil. *Regeneração de praias*: documento temático. Desenvolvido por: Laboratório de Oceanografia Costeira (Universidade Federal de Santa Catarina), Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantábria, Instituto Oceanográfico (Universidade de São Paulo).

$$x = \frac{2*a+b}{3}, \quad (4)$$

onde x = exposição às ondas, a = grau de suscetibilidade da dirFE e b = grau de suscetibilidade da Hs Tr-50.

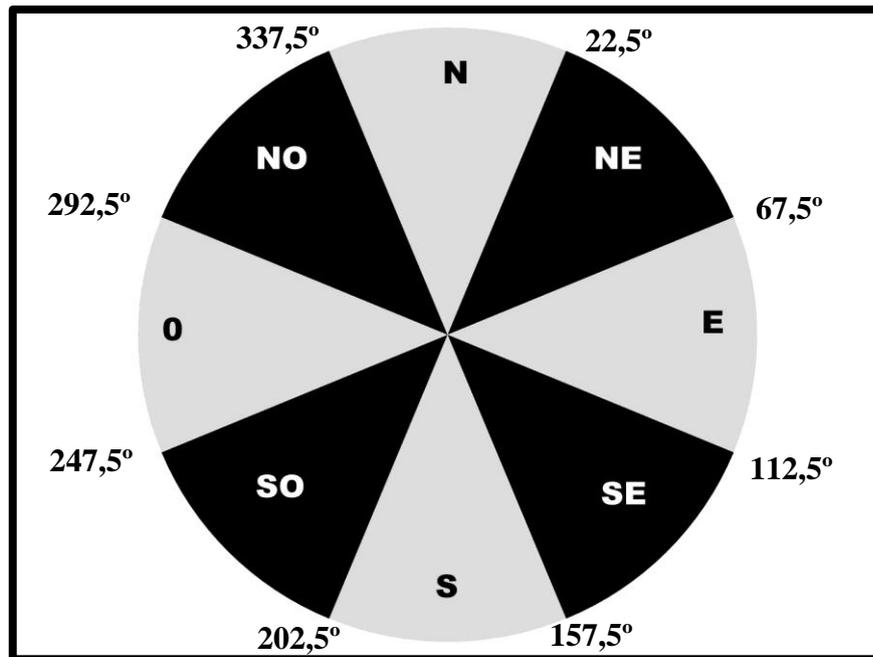


Figura 9 – Delimitação dos ângulos relativos às direções de exposição às ondas.

Julgou-se a exposição à direção do fluxo médio de energia de onda (peso 2) mais relevante para a análise de suscetibilidade praial do que a altura significativa de onda (peso 1). A atribuição dos pesos considerou que uma praia que recebe um maior fluxo de energia é mais suscetível que outra com alto valor de Hs Tr-50, uma vez que esta pode representar episódios ocasionais e não necessariamente uma condição de maior energia atuando sobre a orla e capaz de refletir em uma maior propensão à geração de danos sobre esta.

A Figura 10 resume o processo de obtenção da variável exposição às ondas.

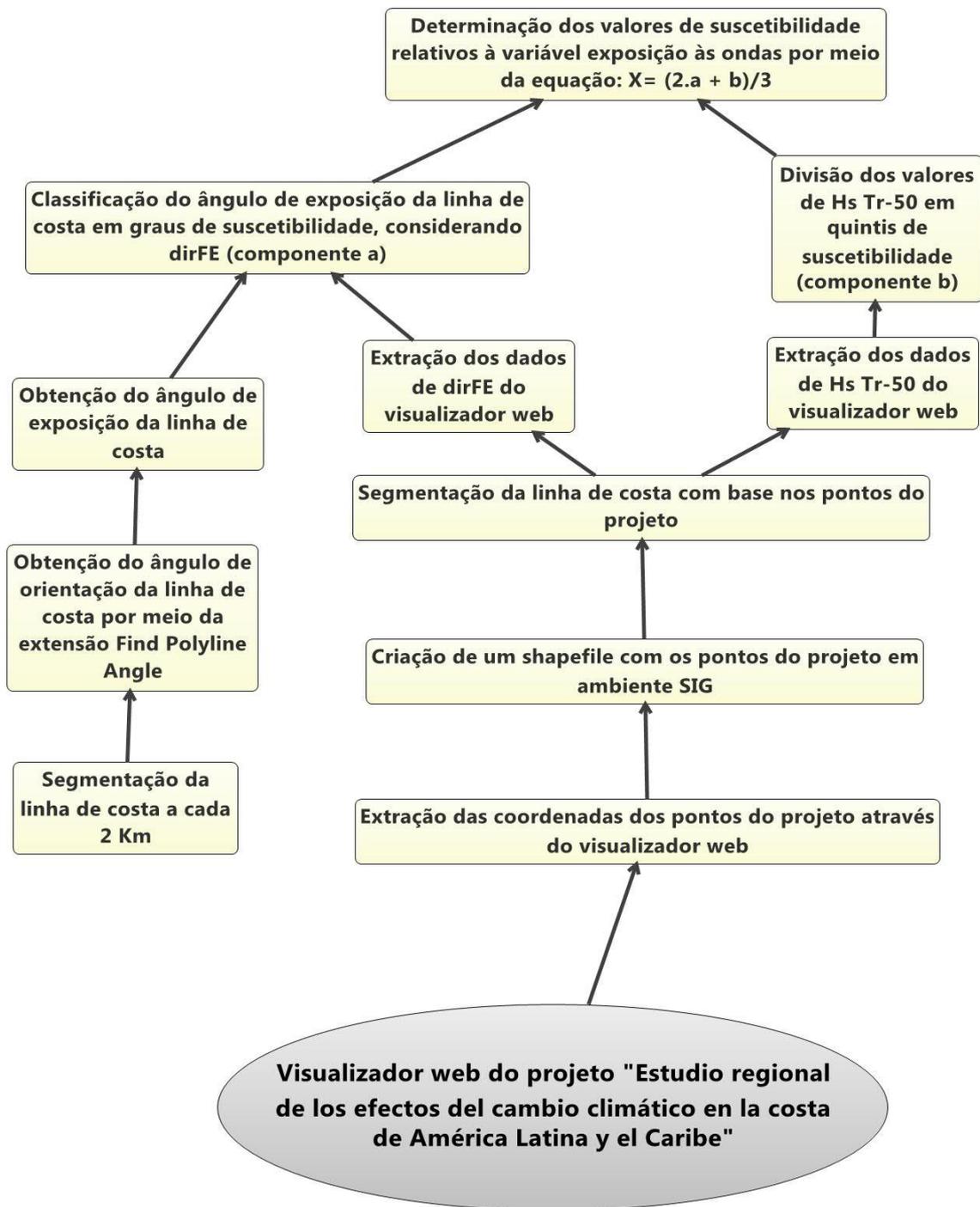


Figura 10 – Processo de obtenção da exposição às ondas.

5.3.5. VARIACÃO DA LINHA DE COSTA

Para a representação desta variável ao longo da linha de costa de Santa Catarina, foram compiladas taxas de variação da linha de costa de estudos pretéritos calculadas por meio do *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS), extensão desenvolvida pelo *United States Geological Survey* (THIELER *et al.*, 2009) e compatível com o *ArcGIS* 9.3.

A Tabela 1 apresenta as taxas de variação da linha de costa selecionadas às diferentes praias do Estado, bem como as datas das fotografias e imagens aéreas utilizadas para a sua determinação e as fontes de referência.

Tabela 1 – Taxas de variação da linha de costa espacializadas ao longo da linha de costa de SC.

TAXA DE VARIACÃO DA LINHA DE COSTA			
PRAIA (MUNICÍPIO)	DATAS DAS IMAGENS/FOTOGRAFIAS	TAXA (m/ano)	REFERÊNCIA
Praia Grande – Ervino (São Francisco do Sul)	1957, 1978, 1995, 2011	-0,35	Elaboração própria
Armação de Itapocorói (Piçarras)	1957, 1978, 1995, 2005	-0,13	FREITAS (2008)
Inglese (Florianópolis)	1957, 1978, 1994, 2002, 2007, 2009	-0,73	MULER (2012)
Moçambique - Barra da Lagoa (Florianópolis)	1957, 1978, 1994, 2002, 2007, 2010	-0,35	MULER (2012)
Armação (Florianópolis)	1957, 1978, 1994, 2002, 2007, 2011	-0,18	MULER (2012)
Itapirubá (entre Imbituba/Laguna)	1938, 1957, 1978, 1995, 2009	-0,25	SILVA (2010)
Rincão (Balneário Rincão)	1957, 1978, 1995, 2011	-0,30	Elaboração própria

As taxas referentes ao arco praial Praia Grande – Ervino (município de São Francisco do Sul) e ao trecho da praia de Balneário Rincão foram calculadas no âmbito deste trabalho. Para tanto, foram utilizadas fotografias de levantamentos aerofotogramétricos dos anos 1957, 1978, 1995 e imagens aéreas de 2011 do sensor orbital *Quickbird* (Tab. 2). Estas foram obtidas através do *software Google Earth Pro*™ com resolução de 4800 x 3312 pixels.

As demais taxas de variação da linha de costa utilizadas foram extraídas de estudos pretéritos.

Tabela 2 – Propriedades e fonte das imagens e fotografias aéreas utilizadas para a obtenção das taxas de variação da linha de costa para o arco praial Praia Grande – Ervino (município de São Francisco do Sul) e para trecho da praia de Balneário Rincão.

DATA DAS FOTOS/IMAGENS	ESCALA/RESOLUÇÃO	ENTIDADE/EMPRESA RESPONSÁVEL
1957	1:25.000/600DPI	Secretaria de Planejamento do Estado
1978	1:25.000/600DPI	Departamento Nacional de Produção Mineral
1995	1:12.500/600DPI	Superintendência do Patrimônio da União no Estado de Santa Catarina
2011	- / 4800 x 3312 pixels	Google Earth Pro™

As fotografias aéreas e imagens de satélite foram georreferenciadas em ambiente SIG pela ferramenta *Georeferencing*. A base cartográfica compôs-se de imagens *Quickbird* disponíveis através da extensão *ImageConnect*, para o Balneário Rincão, e através da extensão *BingMaps*, para a praia de São Francisco do Sul. Estas mesmas imagens foram utilizadas na seleção dos pontos de controle necessários ao processo de correção geométrica das demais imagens e fotografias aéreas.

Pontos de controle (PCs) são feições bem definidas e de fácil reconhecimento tanto na base quanto na fotografia que se georreferencia (MULER, 2012). Para este trabalho foram identificados 15 pontos de controle para cada foto/imagem, buscando-se uma boa distribuição espacial dos mesmos e tentando minimizar o valor do erro quadrático médio (RMS, *Root Mean Square*).

O RMS é automaticamente calculado pelo *ArcGIS* e corresponde à raiz quadrada da soma das diferenças entre as posições da fotografia e da base cartográfica elevadas ao quadrado (ARAÚJO *et al.*, 2009), ou seja, o RMS exprime o erro posicional inerente ao modelo criado no registro entre uma imagem e a base através da Equação 5:

$$RMS = \sqrt{(X_{foto} - X_{base})^2 + (Y_{foto} - Y_{base})^2} \quad (5)$$

onde X_{foto} e Y_{foto} correspondem às coordenadas da fotografia/imagem, e X_{base} e Y_{base} correspondem às coordenadas da base cartográfica.

O RMS deve ser multiplicado por uma constante tabelada de valor 1,7308 a fim de se obter um nível de confiança de 95% em relação à posição verdadeira dos pontos na base cartográfica (FGDC-STD, 1998). Isto significa que 95% da imagem retificada terá uma exatidão igual ou maior que o valor obtido após a multiplicação pela constante, além de refletir as incertezas embutidas no processo fotogramétrico segundo o Comitê Norte-Americano de Padronização de Dados Geográficos (FGDC-STD, *op. cit.*).

Para a análise da taxa de variação da posição da linha de costa foram feitas digitalizações da mesma a partir de registros visuais de diferentes anos. Esta técnica apresenta fontes de erros uma vez que imagens aéreas retratam posições instantâneas da linha de costa e não uma posição média local (BOAK e TURNER, 2005). No entanto, por ser um método indireto de relativa facilidade de obtenção e aceitação no meio científico, optou-se pelo seu uso.

Tendo em vista a natureza móvel da linha de costa, torna-se importante que haja a definição de um critério para sua delimitação, para que os resultados obtidos possam ser comparados. Esta pode ser feita através de diferentes indicadores visuais, como o limite da vegetação costeira, o limite máximo da preamar e a interface areia úmida/seca (RIBEIRO *et al.*, 2013). É indicado que a delimitação da linha de costa seja feita pelo indicador mais discernível e presente em todas as séries temporais (BOAK e TURNER, *op.cit.*).

O critério utilizado na delimitação da linha de costa para o arco praiial Praia Grande – Ervino e para o trecho da praia de Balneário Rincão foi a linha de preamar, a qual se demonstrou a mais discernível e constante ao longo das duas praias.

A aplicação do DSAS exige que seja determinado o arquivo de linha a ser utilizado como referência e que sejam criados os transectos nos quais se dará a medição (THIELER *et al.*, 2009).

Cada linha de costa representa uma posição específica no tempo e, por este motivo, necessita ter sua data registrada na tabela de atributos. Os transectos são dispostos perpendicularmente às linhas de costa a partir da linha de referência (Fig. 11). Os pontos de intersecção entre os transectos e os arquivos de linha fornecem informação sobre a posição e o tempo, utilizadas para o cálculo das taxas de mudança, enquanto as distâncias de cada ponto de intersecção à linha de base são necessárias para o fornecimento das estatísticas.

Para que o cálculo seja efetuado, o aplicativo solicita um valor de incerteza para cada uma das linhas, o qual foi preenchido com a média dos valores de RMS obtidos através do georreferenciamento. Para o traçado dos transectos necessitou-se de uma linha base (*baseline*)

obtida a partir da linha de costa traçada nas imagens de 2011, utilizando a ferramenta *buffer* do *ArcGIS* e reproduzindo esta linha a uma distância determinada pelo usuário.

Os transectos perpendiculares às linhas de costa foram traçados com comprimento de 200 metros a partir da *baseline*. Para o trecho de Balneário Rincão, a distância entre os transectos foi estabelecida em 150 m, resultando em 60 transectos. Para o arco Praia Grande – Ervino, a distância estabelecida foi de 250 m, resultando no total de 104 transectos.

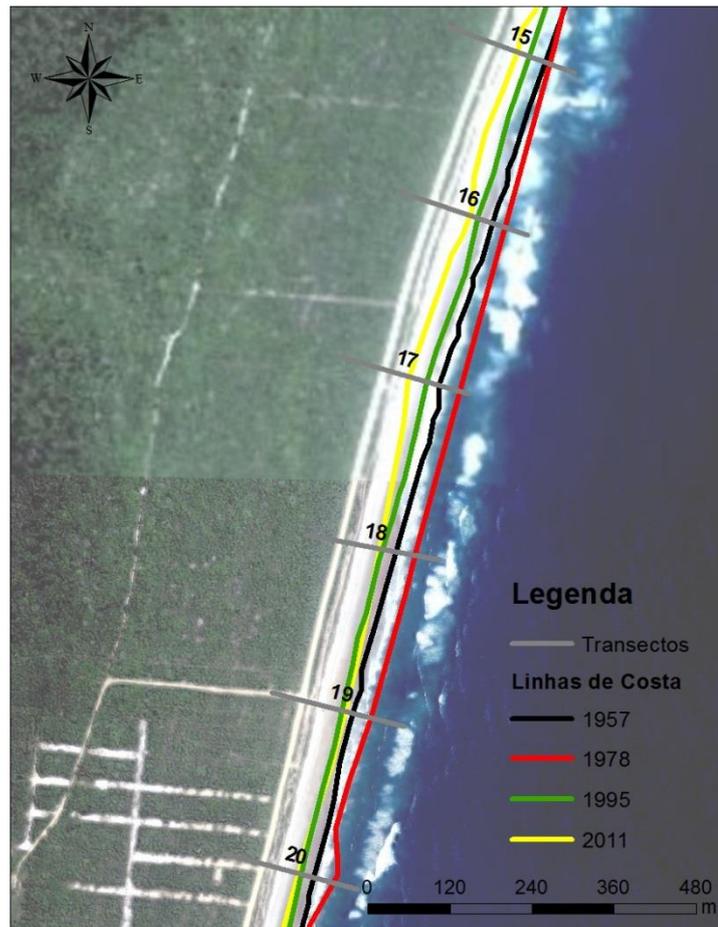


Figura 11 – Exemplo de transectos criados para o cálculo da taxa de variação da linha de costa em um trecho da Praia Grande, São Francisco do Sul.

O DSAS dispõe de quatro diferentes métodos para o cálculo da taxa de variação da linha de costa e, para fins deste trabalho, optou-se pelo *Weighted Linear Regression* (WLR).

Muler (2012) realizou testes para calcular a variação da linha de costa para praias da Ilha de Santa Catarina objetivando incorporá-las a um Índice de Vulnerabilidade Costeira. Como resultado a autora conclui que o método WLR é o mais adequado, por considerar todas as linhas de costa traçadas para os diferentes anos no cálculo e atribuir menor peso à linha de

costa de maior incerteza (valor referente ao RMS do georreferenciamento). O método também apresentou o pior cenário de suscetibilidade, representado pelos maiores valores de erosão.

Para o cálculo pelo método WLR, o aplicativo computa os parâmetros WCI, referente à incerteza da taxa de variação calculada com intervalo de confiança determinado pelo usuário (nesse caso 95%) e WR2, relativos à porcentagem da variância dos dados explicada pela regressão linear (equiparado ao coeficiente de determinação).

Segundo Menezes (2002), a incerteza do cálculo da taxa de variação da linha de costa – através de técnicas de SIG (Fig. 12) – consiste no georreferenciamento das fotografias/imagens, na extração da linha de costa a partir das mesmas, além de distorções resultantes da obtenção e da digitalização das fotografias. Variações na altitude do voo, na inclinação da câmara, na distância focal e erros de paralaxe (distorções em função da velocidade da aeronave) podem ser considerados imprecisões decorrentes do processo fotogramétrico (FREITAS, 2008).

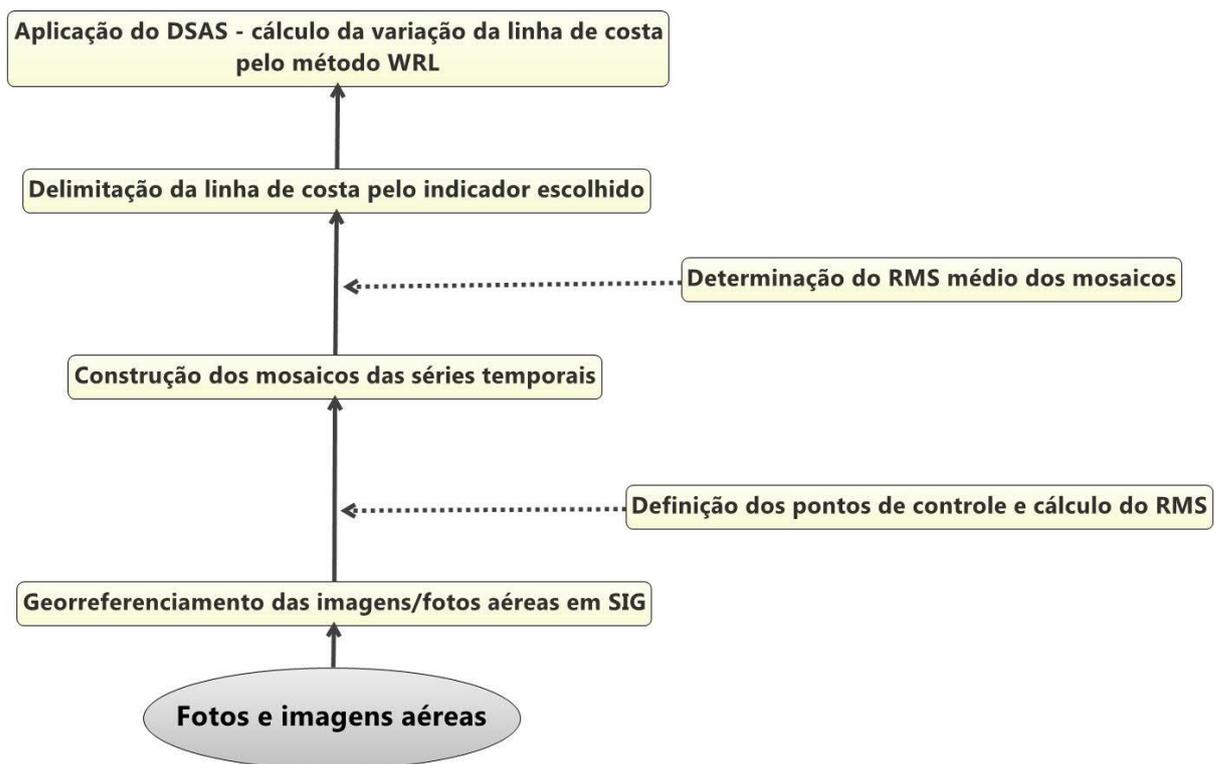


Figura 12 – Cálculo da variação da linha de costa.

Para as praias pertencentes ao município de Florianópolis, o valor obtido a cada uma é referente à taxa média de variação da linha de costa entre todos os seus transectos. Estas

foram calculadas por Muler (2012) pelo método WLR através do DSAS. Para a digitalização das linhas de costa, a autora optou pelo indicador areia úmida/seca.

Freitas (2008) subdividiu a Enseada da Armação de Itapocorói em 3 setores. Os setores 1 e 2 foram descartados por serem influenciados por aterro hidráulico. O setor 3 é subdividido nos segmentos A, B, C – os quais apresentam variação média de 0,19 m/ano e D, com variação média de -0,45 m/ano. A taxa utilizada para fins deste trabalho foi a média entre os dois valores encontrados para o setor 3. As taxas foram calculadas pelo método *End Point Rate* (EPR), o qual consiste em dividir a distância entre a linha de costa mais antiga e a mais recente pelo número de anos do período. O autor utilizou a máxima linha d'água como indicador de linha de costa.

No trabalho de Silva (2010), para a praia de Itapirubá, a autora digitalizou as linhas de costa referentes aos diferentes anos, porém não calculou a taxa de variação; apenas fez uma análise visual apontando os trechos de erosão e de progradação. A fim de obter uma taxa de variação referente à praia, as linhas de costa disponibilizadas por meio de imagem por Silva (2010) foram digitalizadas em ambiente SIG – no âmbito deste trabalho – e a variação entre elas foi calculada pelo método WLR do DSAS. Foram atribuídas arbitrariamente maiores incertezas às linhas traçadas a partir de fotografias/imagens mais antigas, sendo representadas por: 5m (1938), 4m (1957), 3m (1978), 2m (1995), 1m (2009).

Para a espacialização das taxas de variação ao longo da linha de costa de Santa Catarina, esta foi dividida em 7 segmentos pela ferramenta *split tool*, tendo como base as praias referentes às taxas de variação selecionadas (Fig. 13).

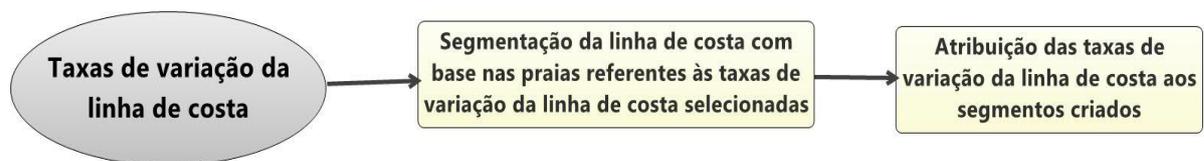


Figura 13 – Espacialização das taxas de variação da linha de costa.

5.3.6. CLASSIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS EM GRAUS DE SUSCETIBILIDADE

Os valores das variáveis quantitativas utilizadas para a geração do modelo de suscetibilidade (largura de praia, variação da linha de costa, amplitudes de maré meteorológica e astronômica) foram divididos em cinco quantis, representados pelos graus de suscetibilidade: muito baixa (grau 1), baixa (grau 2), média (grau 3), alta (grau 4) e muito alta

(grau 5). A classificação da variável “exposição às ondas” em graus de suscetibilidade se deu com base na divisão dos valores da Equação 4, definida anteriormente, em cinco quantis. Aos tipos de linha de costa foram atribuídos os graus de suscetibilidade de 1 a 5 de acordo com as suas características físicas e resiliência.

O quantil é uma medida separatriz que divide os dados ordenados em q subconjuntos de dados de dimensão essencialmente igual. Sua denominação varia conforme o número de partes em que o conjunto de dados é subdividido. Enquanto a mediana separa a distribuição em duas partes iguais, os quintis a dividem em cinco (PIANA, 2009).

Foi necessário o auxílio de referencial bibliográfico para a hierarquização das variáveis em graus de suscetibilidade. A característica/condição física da linha de costa mais suscetível a sofrer danos quando exposta aos perigos em estudo foi representada pelo maior grau de suscetibilidade (grau 5).

5.3.7. ÁLGEBRA DE MAPAS

O modelo final foi segmentado a cada mudança de grau de suscetibilidade de cada uma das variáveis através da ferramenta *split tool*.

Por meio de uma adaptação da fórmula do CVI de Gornitz (1991), pôde-se chegar ao Índice de Suscetibilidade Costeira (ISC).

Cada variável é expressa na fórmula pelo seu grau de suscetibilidade. Os valores de ISC obtidos foram, então, classificados em quintis de suscetibilidade: muito baixa (classe 1), baixa (classe 2), média (classe 3), alta (classe 4) e muito alta (classe 5).

O índice de suscetibilidade costeira é representado pela Equação 6:

$$ISC = \sqrt{\frac{a_1 \times a_2 \times a_3 \times a_4 \times a_5 \times a_6}{6}} \quad (6)$$

onde, a_1 = grau de suscetibilidade referente ao tipo de linha de costa, a_2 = grau de suscetibilidade referente à largura de praia, a_3 = grau de suscetibilidade referente à exposição às ondas, a_4 = grau de suscetibilidade referente à amplitude de maré meteorológica, a_5 = grau de suscetibilidade referente à amplitude de maré astronômica, a_6 = grau de suscetibilidade referente à variação da linha de costa.

É importante ressaltar que os segmentos que não são caracterizados como praia tiveram seu ISC calculado a partir de apenas 5 variáveis, excluindo-se a largura de praia e dividindo o produto entre as variáveis pelo valor 5.

5.4. Modelo de capacidade adaptativa

O modelo de capacidade adaptativa é composto pelas variáveis socioeconômicas: população residente, rendimento domiciliar e residência ocasional. Os dados foram obtidos a partir de tabelas disponibilizadas pelo censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), realizado na data de referência de 31 de julho de 2010 (IBGE, 2011).

Objetivando analisar a capacidade adaptativa da zona costeira do Estado, as tabelas adquiridas para fins deste trabalho foram as que continham informações do menor nível setorial de coleta de dados: o setor censitário.

Como definido em IBGE (*op. cit.*), “setor censitário é a menor unidade territorial, formada por área contínua, integralmente contida em área urbana ou rural, com dimensão adequada à operação de pesquisas e cujo conjunto esgota a totalidade do Território Nacional”. Equivale à área percorrida por um único recenseador (IBGE, *op. cit.*).

A malha de polígonos dos setores censitários de 2010 (Fig. 14) foi utilizada como base para as operações realizadas em ambiente SIG através do isolamento dos setores fronteiriços com o mar. A resolução do arquivo digital é variável: em áreas urbanas é compatível com escalas cartográficas na faixa de 1:2.000 a 1:10.000 e, em áreas rurais, com escalas na faixa de 1:25.000 a 1:250.000 (IBGE, 2011).

Para a análise espacial das variáveis, as tabelas de dados foram incorporadas à malha do arquivo digital dos polígonos dos setores censitários através da ferramenta *join data* disponível pelo *ArcGIS*.

A segmentação da linha de costa para cada uma das variáveis se deu sobre os limites dos setores censitários fronteiriços com o mar. A Figura 15 demonstra as etapas de obtenção das variáveis socioeconômicas.

A capacidade adaptativa foi representada apenas para os segmentos de praias e estruturas artificiais. Também foram excluídos do modelo final os segmentos em que pelo menos um dos dados do IBGE foi ausente.

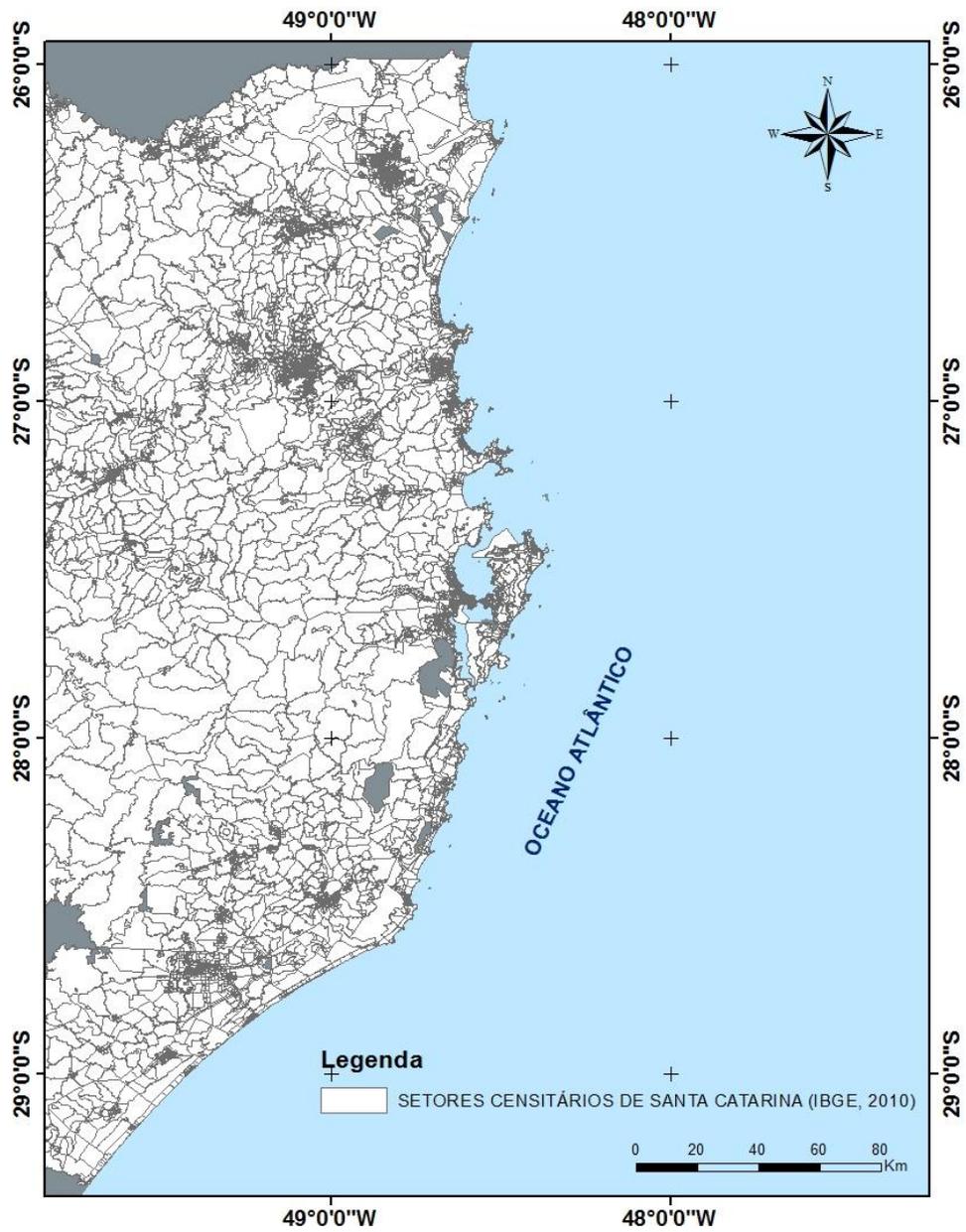


Figura 14 – Malha digital dos setores censitários do censo de 2010 realizado pelo IBGE.



Figura 15 – Processo de obtenção das variáveis socioeconômicas.

5.4.1. POPULAÇÃO RESIDENTE

A população residente constitui-se no somatório do número de moradores em domicílios particulares e coletivos por setor censitário.

Domicílio particular é o local independente que, na data de referência, servia de habitação a uma ou mais pessoas e onde o relacionamento entre seus ocupantes é ditado por laços de parentesco, de dependência doméstica ou por normas de convivência (IBGE, 2011). Domicílios coletivos são instituições ou estabelecimentos em que a relação entre as pessoas presentes na data de referência estava restrita a normas de subordinação administrativa (IBGE, *op. cit.*). Exemplos de domicílios coletivos são: asilos, conventos, hotéis, *campings*, pensões, alojamento de trabalhadores ou estudantes, república de estudantes, presídio.

5.4.2. RENDIMENTO DOMICILIAR

O valor de rendimento domiciliar refere-se à somatória da renda anual obtida pelos domicílios particulares permanentes e particulares improvisados.

Domicílio particular permanente é aquele que serve exclusivamente à habitação de uma ou mais pessoas. Já os improvisados são representados pelos domicílios localizados em edificação (loja, fábrica etc.) onde não há dependência destinada exclusivamente à moradia, bem como por locais inadequados à habitação e que, na data de referência, estavam ocupados por morador (IBGE, 2010b).

5.4.3. USO OCASIONAL DOS DOMICÍLIOS PARTICULARES PERMANENTES

O valor utilizado neste trabalho refere-se à somatória, por unidade de setor censitário, do número de domicílios particulares permanentes considerados de uso ocasional.

Domicílio particular permanente de uso ocasional é o domicílio particular permanente que servia ocasionalmente de moradia na data de referência, ou seja, era o domicílio utilizado para descanso de fins de semana, férias ou outro fim, mesmo que, na data de referência, seus ocupantes ocasionais estivessem presentes (IBGE, 2011).

5.4.4. CLASSIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS EM GRAUS DE CAPACIDADE ADAPTATIVA

Os polígonos dos setores censitários possuem diferentes áreas e formatos, podendo estar majoritariamente concentrados nas adjacências da linha de costa ou terem uma maior área deslocada em direção ao interior do continente. Isso inviabiliza a comparação direta da capacidade adaptativa entre os setores sobre a orla, sendo necessário otimizá-la. Para tanto, foi realizada uma transformação na escala de valores, levando em consideração o comprimento do setor censitário em contato com o mar e sua área, através da Equação 7:

$$y = \frac{x}{a*b} \quad (7)$$

onde x = valor original da variável, y = valor da variável ajustado pelas variáveis a e b, a = comprimento do setor censitário em contato com o mar (metros) e b = área do setor censitário (metros quadrados).

Após o escalonamento, os valores obtidos foram divididos em quintis. A hierarquização dos valores nos cinco graus de capacidade adaptativa (muito baixa = 1, baixa =

2, média = 3, alta = 4 e muito alta = 5) levou em consideração que esta é diretamente proporcional ao rendimento dos domicílios particulares e ao uso ocasional dos domicílios e é inversamente proporcional à população residente.

5.4.5. ÁLGEBRA DE MAPAS

As variáveis de entrada foram projetadas para a linha de costa, individualmente, pelos seus graus de capacidade adaptativa. As três linhas de costa resultantes serviram como base para a geração do modelo de capacidade adaptativa, o qual foi segmentado pela ferramenta *slip tool* do *ArcGIS* a cada mudança de grau de cada uma das variáveis.

Por meio de uma adaptação da fórmula do CVI de Gornitz (1991), pôde-se chegar ao Índice de Capacidade Adaptativa (ICA), no qual cada variável foi expressa pelo seu grau de capacidade adaptativa. Posteriormente, os valores resultantes do ICA – por setor censitário – foram divididos em quintis. Quanto maior o valor deste, maior é o valor da sua classe de capacidade adaptativa – sendo elas: muito baixa (valor 1), baixa (valor 2), média (valor 3), alta (valor 4) e muito alta (valor 5).

O índice de capacidade adaptativa é representado pela Equação 8:

$$ICA = \sqrt{\frac{a_1 \times a_2 \times a_3}{3}} \quad (8)$$

onde, a_1 = grau de capacidade adaptativa referente à população residente, a_2 = grau de capacidade adaptativa referente ao rendimento domiciliar, a_3 = grau de capacidade adaptativa referente à residência ocasional.

5.5. Modelo de vulnerabilidade

A vulnerabilidade foi determinada pela integração dos modelos de suscetibilidade e capacidade adaptativa.

5.5.1. ÁLGEBRA DE MAPAS

Para a obtenção do índice final, a linha de costa foi segmentada manualmente – em modo de edição do *ArcGIS* 10 – a cada mudança de classe dos valores de ISC e ICA.

O Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) foi então calculado a todos os segmentos resultantes através da Equação 9:

$$IVC = \sqrt{\frac{a_1 \times a_2}{2}} \quad (9)$$

onde, a_1 = classe referente ao segmento do modelo de capacidade adaptativa e a_2 = classe referente ao segmento do modelo de suscetibilidade.

A vulnerabilidade costeira é maior em setores mais suscetíveis e com menor valor de capacidade adaptativa. Portanto, a classe “muito alta” de suscetibilidade é incorporada ao IVC através do grau 5 e as classes “alta”, “média”, “baixa” e “muito baixa”, pelos graus 4, 3, 2, 1, respectivamente. O contrário é válido aos quintis de capacidade adaptativa, sendo a classe “muito alta” incorporada ao IVC pelo grau 1 e as classes mais baixas representadas por graus mais altos.

Os valores resultantes da aplicação da fórmula do IVC foram divididos em quintis de vulnerabilidade, onde os maiores valores associam-se às maiores classes de vulnerabilidade: muito baixa (valor 1), baixa (valor 2), média (valor 3), alta (valor 4) e muito alta (valor 5).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para uma melhor visualização dos resultados, o litoral do Estado de Santa Catarina foi representado em cinco mapas – para cada uma das variáveis e modelos – correspondentes aos setores do Programa Estadual de Gerenciamento Costeiro de Santa Catarina (GERCO/SC), sendo eles: norte, centro-norte, centro, centro-sul e sul (SANTA CATARINA, 2006) (Fig. 16).

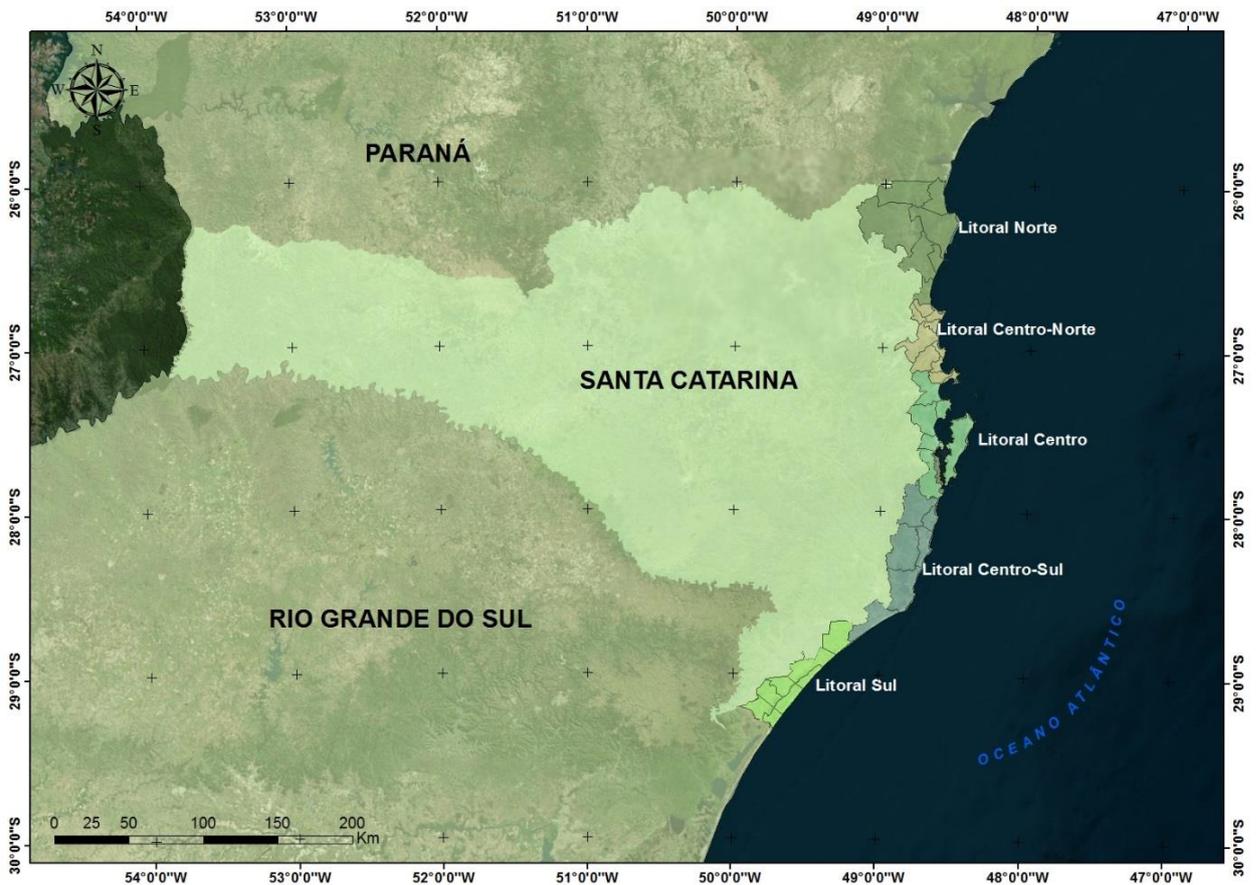


Figura 16 – Setores definidos pelo GERCO/SC.

6.1. Variáveis físicas

6.1.1. TIPO DE LINHA DE COSTA

Segundo Gornitz e White (1992), os tipos de linha de costa que apresentam maiores riscos são os que possuem maior mobilidade e instabilidade, sustentados por materiais inconsolidados. Além disso, estes geralmente apresentam baixos relevos. Por outro lado, as linhas de costa compostas por substratos duros apresentam riscos menores (GORNITZ e WHITE, *op. cit.*). A combinação entre estes fatores ocasiona os diferentes graus de resiliência ambiental ao longo da costa, a qual serviu de base para a determinação das classes de suscetibilidade relativas à variável em questão (Tab. 3).

O termo resiliência pode ser compreendido, segundo a Comissão Europeia (SCHNEIDERBAUER e EHRLICH, 2004), como a soma da capacidade de resistir e de se recuperar de um dano.

Tabela 3 – Classes de suscetibilidade relativas ao tipo de linha de costa.

SUSCETIBILIDADE (GRAU)	TIPO DE LINHA DE COSTA
MUITO ALTA (5)	ESTRUTURA ARTIFICIAL
ALTA (4)	PRAIA
MÉDIA (3)	VEGETAÇÃO COSTEIRA
BAIXA (2)	DESEMBOCADURA DE RIO
MUITO BAIXA (1)	COSTÃO

Os diferentes tipos de linha de costa refletem variações espaço-temporais de: processos físicos naturais (ventos, ondas, correntes, marés, tempestades, nível relativo do mar), atividades humanas (dragagem, obras de engenharia costeira) e a história geológica local (WILLIAMS *et al.*, 2008). Agem na atenuação da energia de onda e de maré e, segundo Gornitz *et al.* (1991), sua diversidade faz com que a linha de costa apresente diferentes respostas aos perigos costeiros em sua extensão, colaborando para a variação espacial da vulnerabilidade.

Quando afetados por perturbações de curto prazo, como os eventos de tempestades, os tipos de linha de costa geralmente retornam à morfologia que tinham anteriormente ao distúrbio, por meio de um equilíbrio morfodinâmico (CROOKS, 2004). Todavia, respondem às variações de energia em diferentes escalas espaço-temporais. Certos tipos realizam

migrações, ortogonais e/ou paralelas à costa, visando manter sua posição segundo o gradiente de energia (CROOKS, 2004).

Os costões rochosos foram considerados os menos suscetíveis devido a sua maior resistência ao impacto mecânico de ondas, agindo como uma barreira protetora à inundação marinha sobre a costa.

Desembocaduras são feições altamente din micas espacialmente, que podem migrar por centenas de metros, sugerindo instabilidade em suas adjacências (RIBEIRO *et al.*, 2013). Dependem tanto do regime de ondas e amplitudes de marés quanto do regime fluvial, e concentram as correntes de maré (enchente e vazante), amplificando seus efeitos. No entanto, apesar de tenderem a variar significativamente durante eventos extremos, também podem facilmente voltar   sua posição inicial quando em condições meteo-oceanográficas mais estáveis. Desta forma,   classe desembocadura, atribuiu-se grau 2 de suscetibilidade.

Esta foi seguida pela vegeta o costeira (grau 3), praia (grau 4) e estruturas artificiais (grau 5). As duas primeiras modificam rapidamente sua morfologia em função de altera es no regime de ondas (período, altura e direção de propagação) e amplitudes de marés.

Os segmentos de linha de costa representados por vegeta o costeira, embora sejam geralmente compostos por sedimentos finos em relevos baixos – assim como as praias –, foram considerados menos suscetíveis que estas, uma vez que a própria presenç a da vegeta o sobre estes substratos reduz o risco de erosão e intrusão de água salina.

Embora os ambientes praias estejam em constante remodelagem em função de processos gerados por ondas, ventos e marés; as maiores e mais dramáticas transforma es ocorrem durante grandes tempestades.

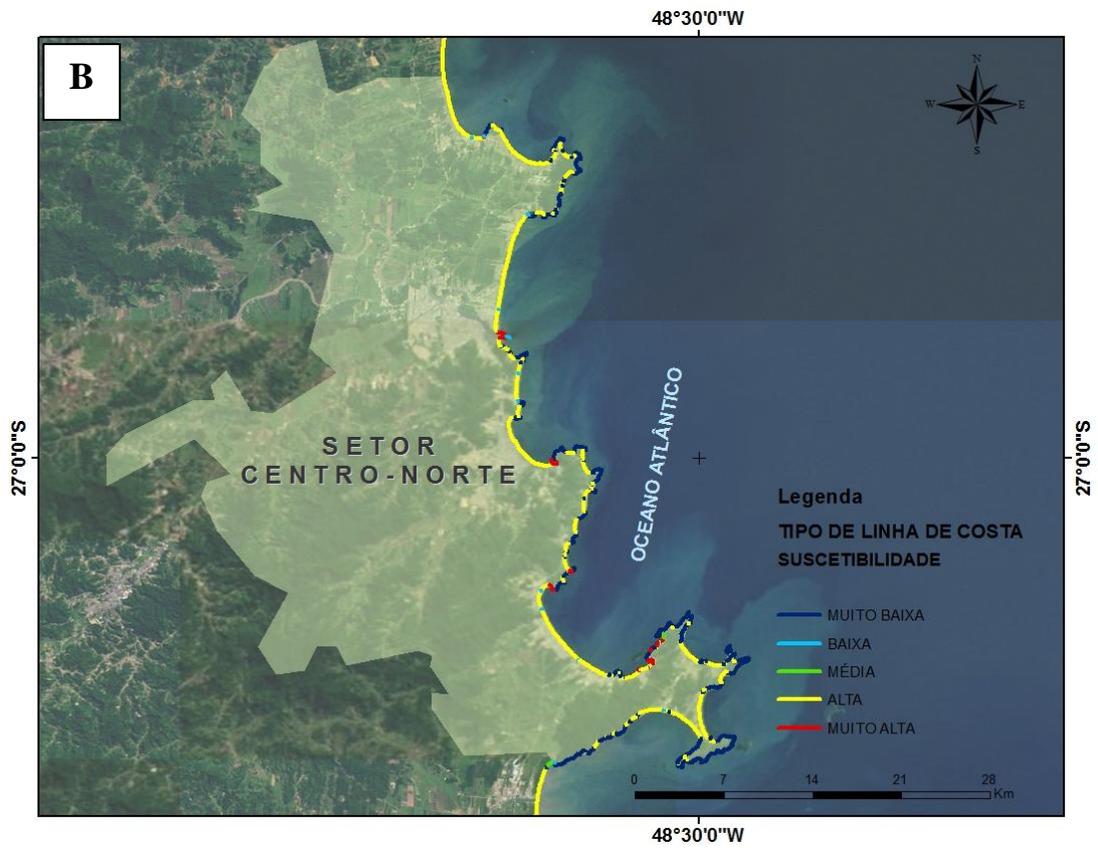
A intensa ocupa o destes ambientes acarreta em uma menor disponibilidade de espaço e sedimento, elementos que – segundo Crooks (2004) –, são essenciais   manutenção da resiliência da costa.

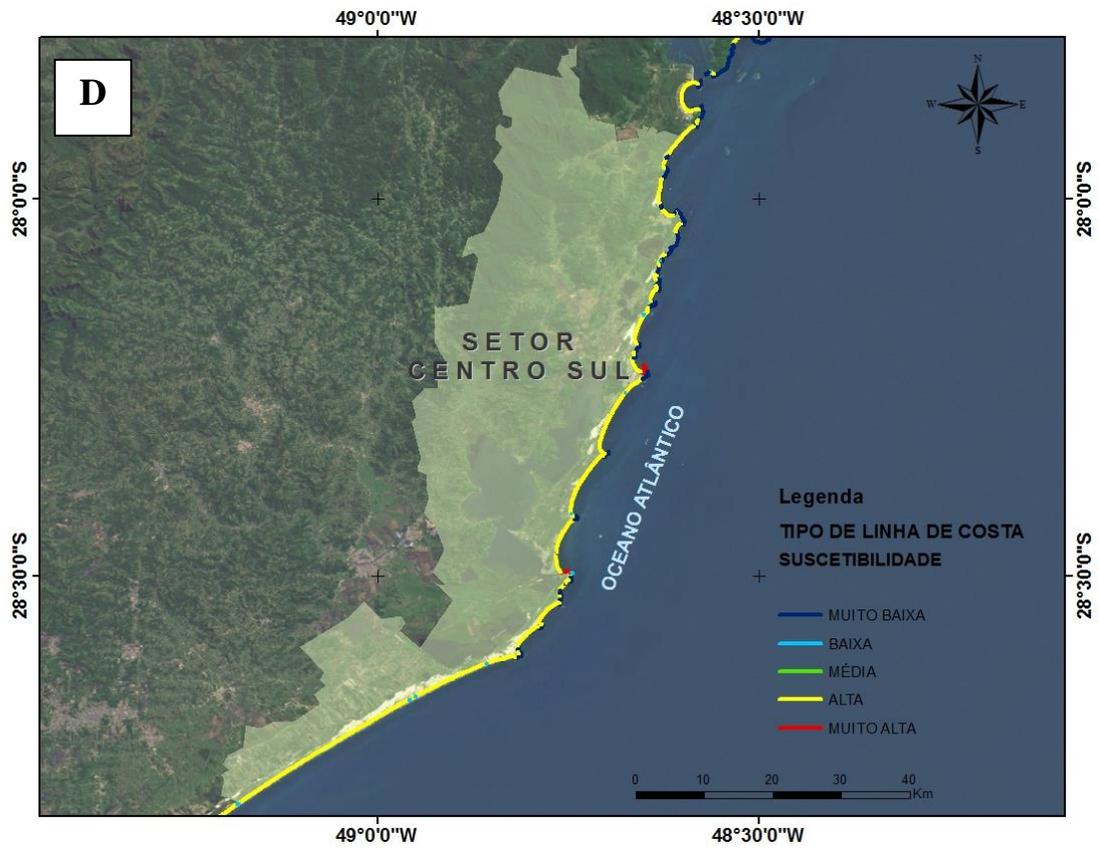
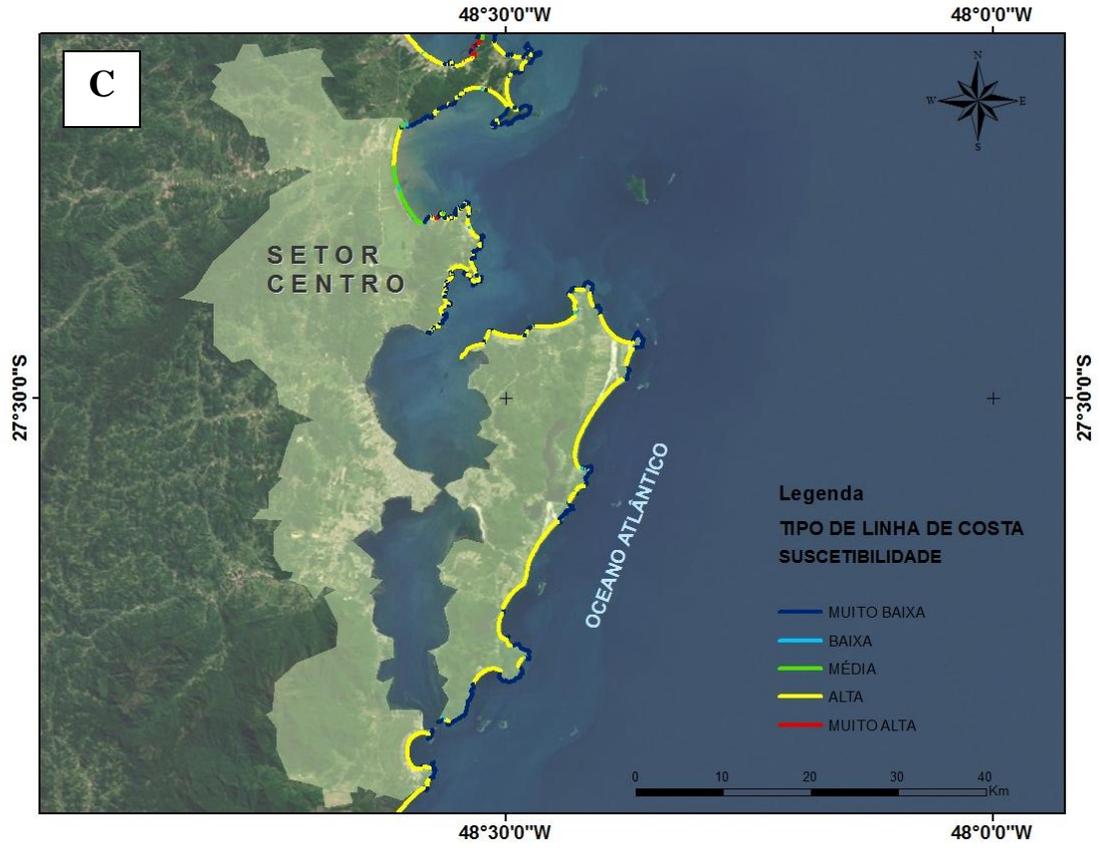
As estruturas artificiais são construídas, muitas vezes, como resposta a uma maior suscetibilidade   erosão. Muitas destas estão situadas diretamente sobre o mar (Fig. 17). Segundo Ribeiro *et al.* (2013), sua presenç a pode indicar instabilidade atual ou recente da linha de costa, uma vez que têm como objetivo conter a erosão costeira e/ou proteger constru es presentes no local, além de tenderem a induzir erosão a sotamar. Devido a estas considera es, a classe “estruturas artificiais” foi considerada como o mais alto grau de suscetibilidade (grau 5).



Figura 17 – Exemplo de estrutura artificial: Barra do Rio Itajaí – Açú. Foto da autora.

A Figura 18 apresenta a suscetibilidade encontrada para os setores em relação ao tipo de linha de costa. Ao longo desta foi observado uma predominância da classe de suscetibilidade muito alta – representada pelas praias (65,87%). Estas compõem praticamente toda a extensão dos setores norte e sul, onde são intercaladas por algumas desembocaduras de rio. Os costões rochosos – definidos como grau de suscetibilidade muito baixo – também representam um elevado percentual (30,77%) e são praticamente restritos aos setores centrais (centro-norte, centro e centro-sul). Os demais tipos de linha de costa são pouco expressivos. As estruturas artificiais representam 2,21%, concentrando-se nitidamente no setor centro-norte. É notória a presença de muitas desembocaduras ao longo do litoral catarinense, no entanto apresentam extensões muito pequenas, representando somente 0,94% deste. São poucos e pequenos os trechos de vegetação costeira (0,21%), estando o mais expressivo localizado no setor centro.





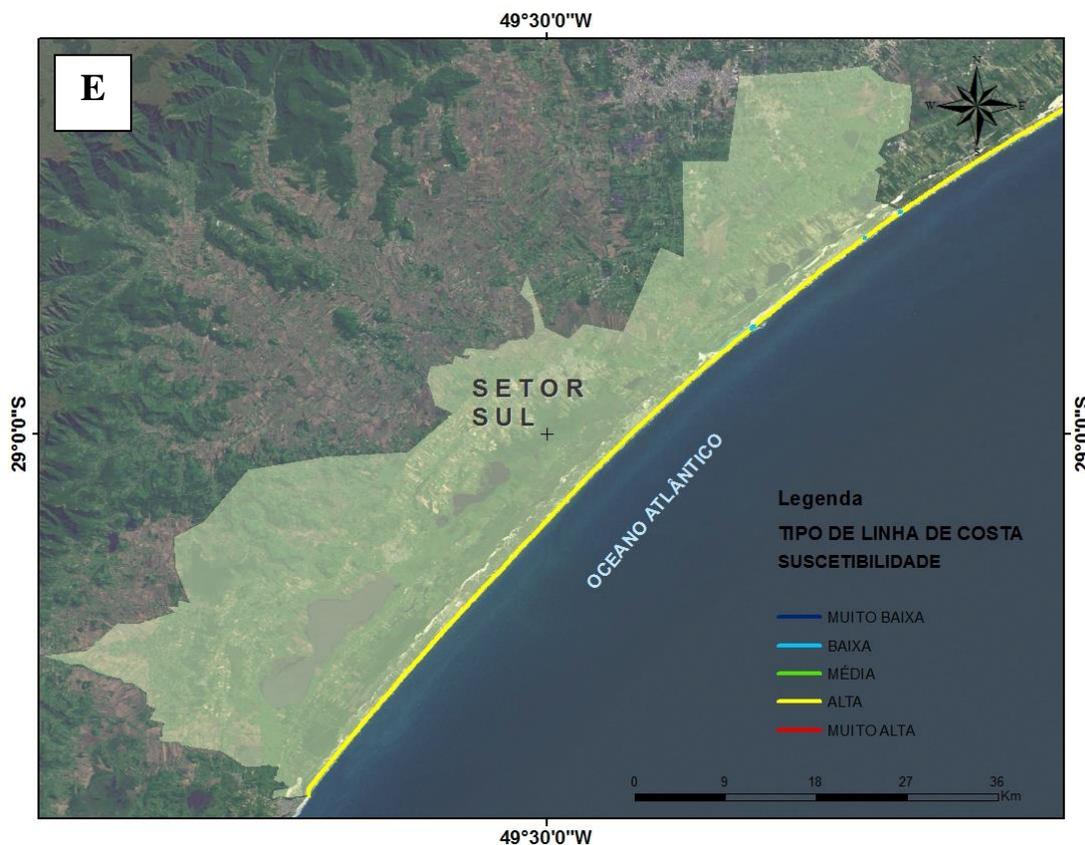


Figura 18 – Espacialização da suscetibilidade da linha de costa em relação ao tipo de linha de costa.

6.1.2. LARGURA DE PRAIA

A determinação dos graus de suscetibilidade para esta variável (Tab. 4) foi baseada na concepção de que os sistemas praias mais largos são mais propensos à estabilidade (RIBEIRO *et al.*, 2013) e seus valores de corte foram obtidos com base na análise de toda a distribuição de valores. As Figuras 19 e 20 apresentam praias classificadas nos graus 5 e 1, respectivamente.

Tabela 4 – Classes de suscetibilidade relativas à largura de praia.

SUSCETIBILIDADE (GRAU)	LARGURA DE PRAIA (m)
MUITO ALTA (5)	0,10 a 9,64
ALTA (4)	9,65 a 15,64
MÉDIA (3)	15,65 a 22,87
BAIXA (2)	22,88 a 31,54
MUITO BAIXA (1)	31,55 a 177,5

A espacialização da suscetibilidade encontrada para os setores em relação à variável largura de praia pode ser observada na Figura 21.

O setor sul apresentou segmentos praias com maiores larguras de praia, contendo somente trechos de suscetibilidade média, baixa e muito baixa.

O setor centro-sul é marcado pelos graus de suscetibilidade muito baixo, baixo e médio. Os graus alto e muito alto são significativos apenas em seu norte, nos municípios de Imbituba e Garopaba.

O setor centro apresenta-se bem diversificado em relação aos graus de suscetibilidade relativos à largura de praia. Apresentou consideráveis trechos de grau muito alto nas localidades de: Praia da Guarda e Praia de Cima (município de Palhoça), sul das praias da Armação e dos Ingleses, oeste de Canasvieiras, trecho da Praia do Forte (município de Florianópolis) e em uma grande extensão do litoral do município de Governador Celso Ramos. O leste da Ilha de Santa Catarina apresentou praias relativamente largas – graus 2 e 3 – com pequenas exceções de graus alto e muito alto, como observado no sul da Armação.

Nos setores centro-norte e norte há uma forte redução de segmentos praias com larguras de praia de grau de suscetibilidade muito baixo. O último setor destaca-se pela suscetibilidade de grau alto. O setor centro-norte apresenta a maior extensão de linha de costa classificada no grau de suscetibilidade muito alto – em comparação aos demais setores do GERCO/SC –, localizados principalmente nos municípios de: Bombinhas, Porto Belo e Penha.

Pela Figura 22 pode-se observar a diferença entre uma praia do setor sul – mais largas, em sua maioria – e outra do setor centro-norte, de menor largura praias.

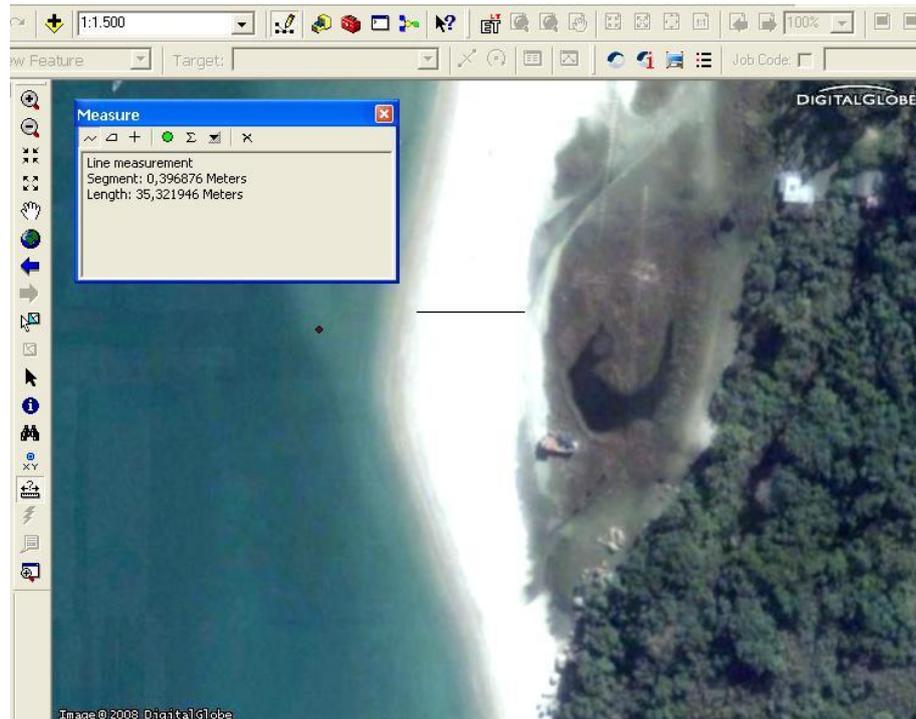


Figura 19 – Exemplo de um trecho praial classificado em suscetibilidade muito baixa (grau 1) em relação à variável largura de praia. Praia do Forte, Florianópolis. Fonte: Imagem *Quickbird* disponível através do servidor *DigitalGlobe*. Data da Imagem: 27 de janeiro de 2010.

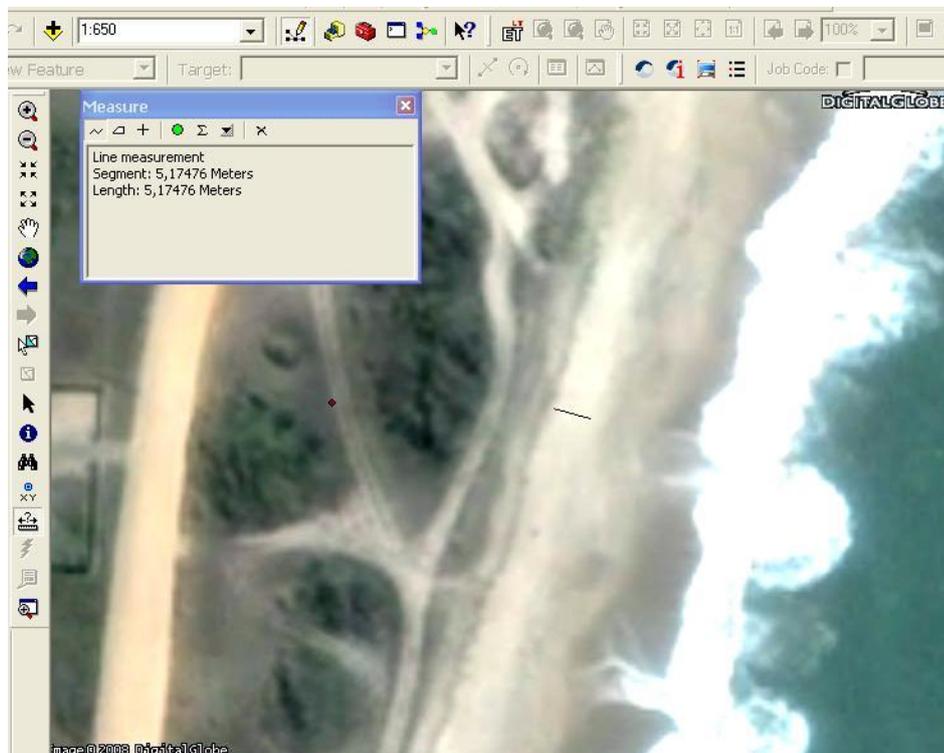
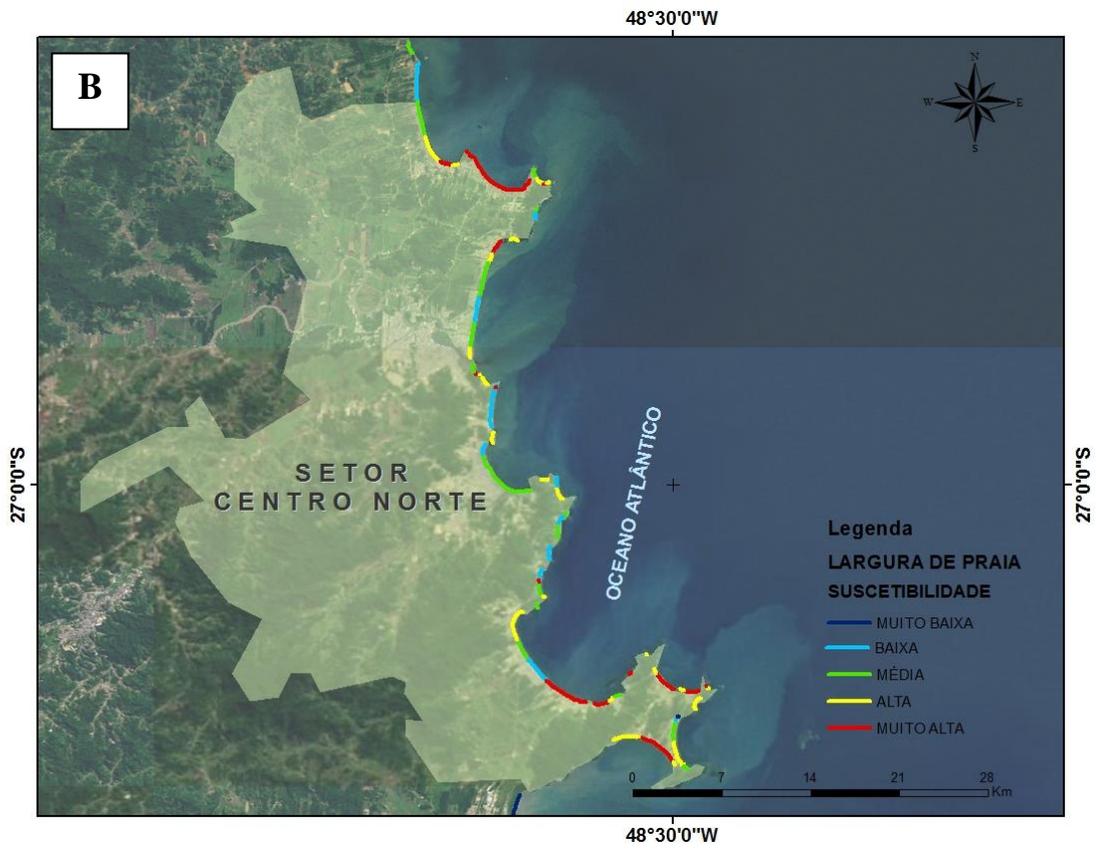
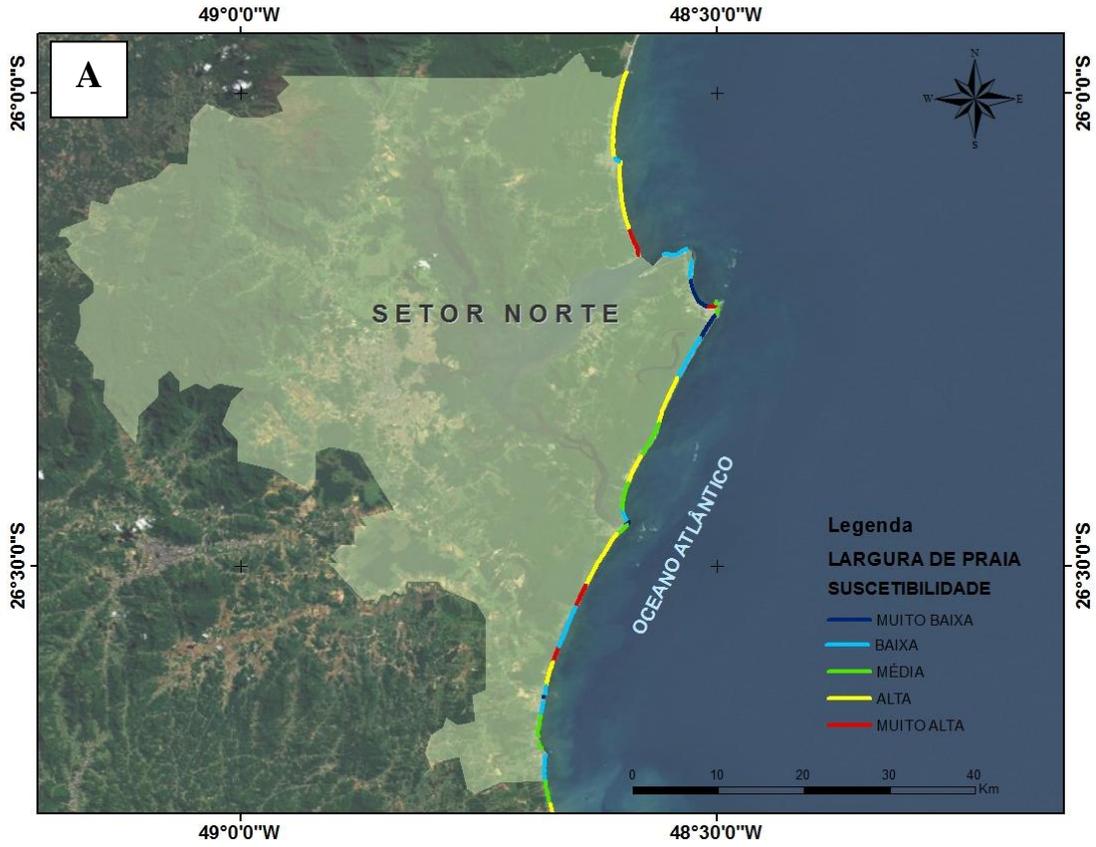
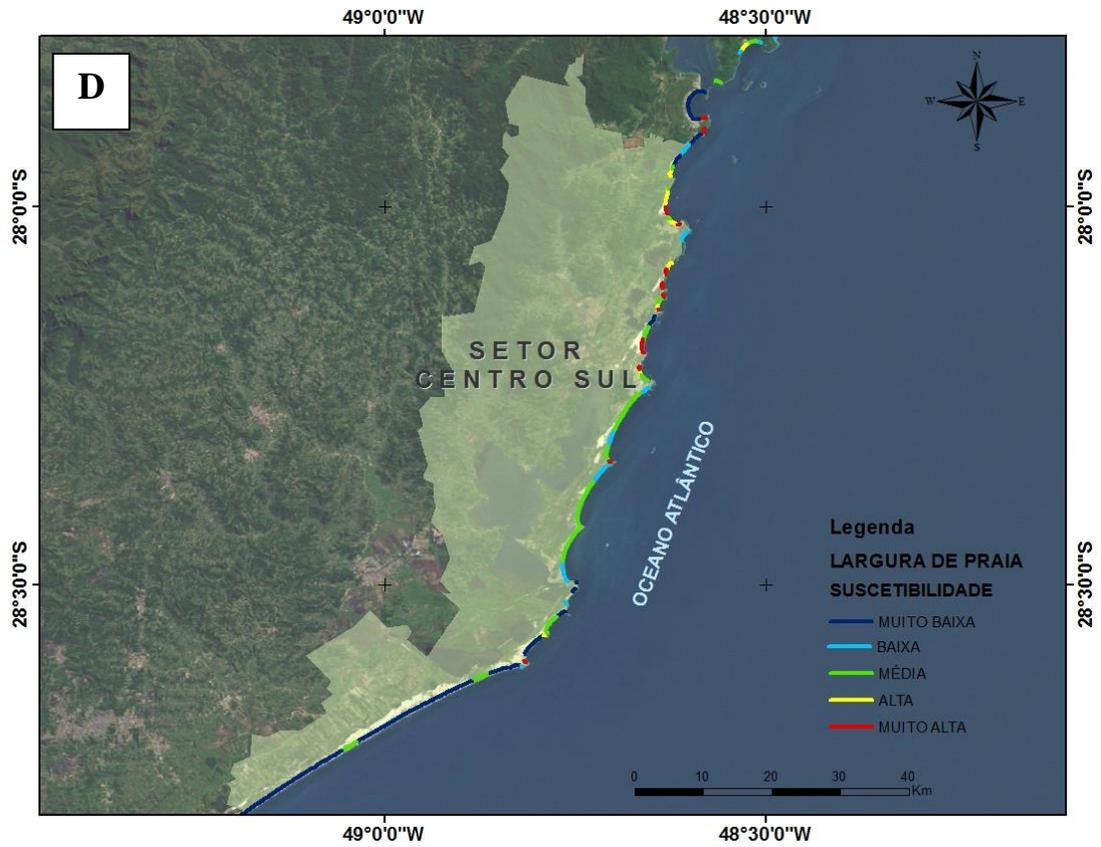
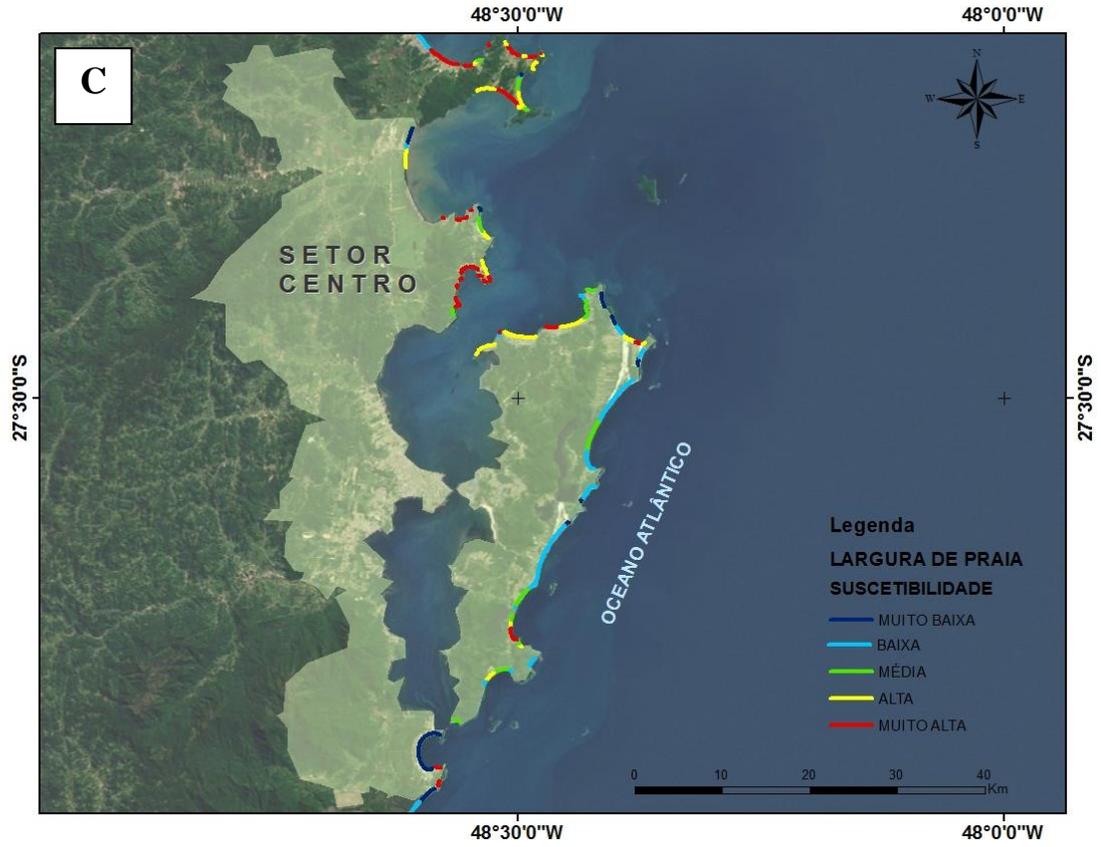


Figura 20 – Exemplo de um trecho praial classificado em suscetibilidade muito alta (grau 5) em relação à variável largura de praia. Município de Barra Velha, SC. Fonte: Imagem *Quickbird* disponível através do servidor *DigitalGlobe*. Data da Imagem: 04 de agosto de 2005.





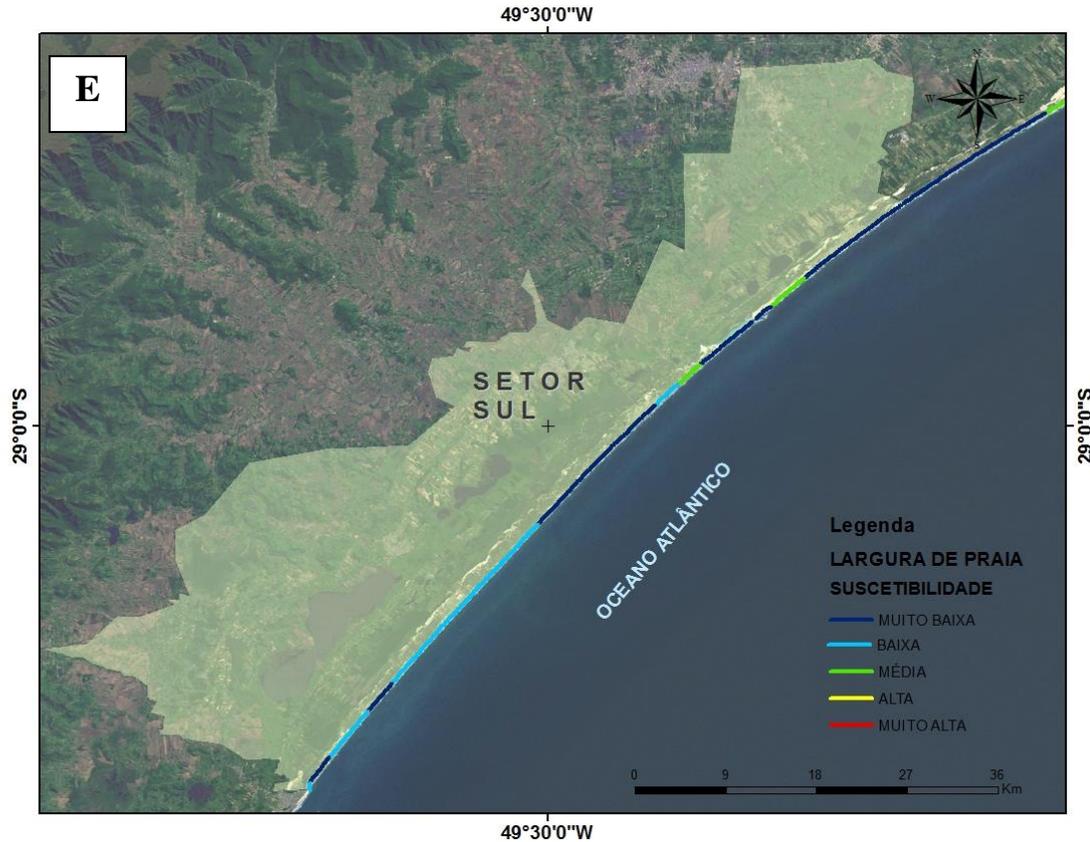


Figura 21 – Espacialização da suscetibilidade da linha de costa em relação à largura de praia.



Figura 22 – Fotografias representativas da largura de praia nas localidades de Porto Belo (A - Setor centro-norte) e Balneário Rincão (B – setor sul). Fotos da autora.

6.1.3. AMPLITUDE DE MARÉS METEOROLÓGICA E ASTRONÔMICA

A amplitude de maré está relacionada tanto à inundação quanto   erosão costeiras. Grandes amplitudes dissipam maior energia de onda e geram correntes de maré mais fortes, capazes de erodir a costa e transportar os sedimentos (GORNITZ *et al.*, 1991). Portanto,

maiores amplitudes de maré potencializam um maior avanço do mar sobre a zona costeira, incidindo em um cenário de maior vulnerabilidade (RIBEIRO *et al.*, 2013; GORNITZ *et al.*, 1991).

Os resultados das variáveis maré meteorológica e maré astronômica são apresentados juntos pois, apesar de eventos de marés de tempestade (*storm surges*) serem relacionados a episódios meteorológicos extremos, sobre-elevações excepcionais ocorrem durante tempestades intensas associadas a marés astronômicas de sizígia. Durante tais eventos, a elevação do nível do mar causada pela maré meteorológica de tempestade, somada aos níveis extremos de maré de sizígia, pode causar inundações severas nas comunidades costeiras (RUDORFF *et al.*, 2014).

A Tabela 5 apresenta a classificação das amplitudes de maré meteorológica e astronômica em termos de suscetibilidade costeira.

Tabela 5 – Classes de suscetibilidade relativas às amplitudes de maré meteorológica e astronômica.

SUSCETIBILIDADE (GRAU)	MA (m)	MM (m)
MUITO BAIXA (1)	0,18 a 0,19	1,1
BAIXA (2)	0,20 a 0,23	1,11 a 1,19
MÉDIA (3)	0,24 a 0,28	1,20 a 1,27
ALTA (4)	0,29 a 0,33	1,28 a 1,33
MUITO ALTA (5)	0,34 a 0,51	1,34 a 1,50

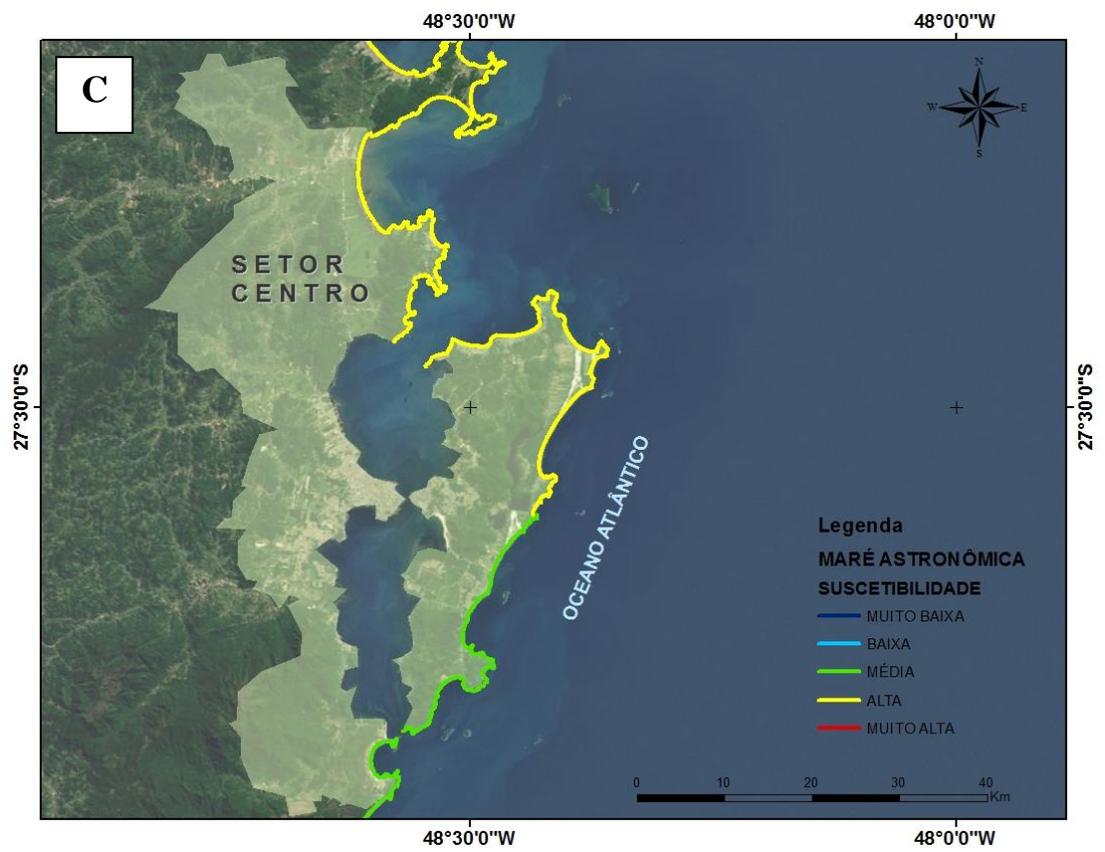
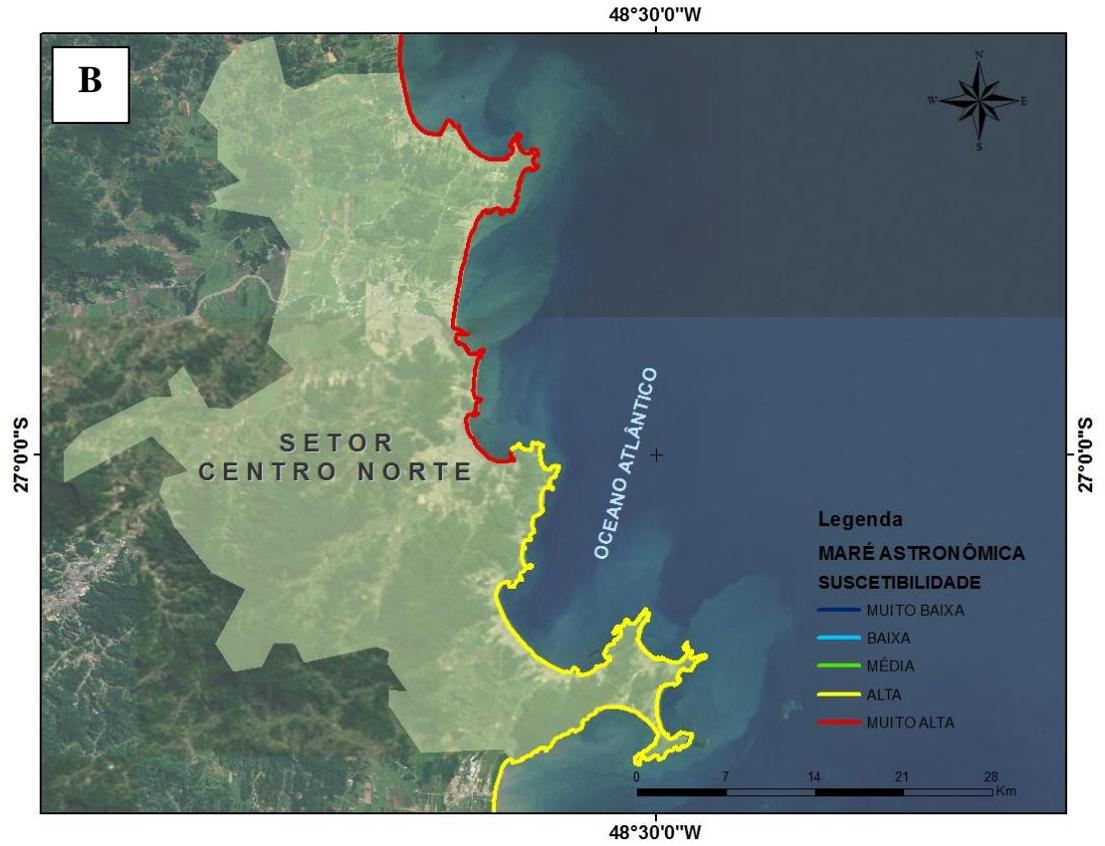
A espacialização da amplitude de maré astronômica, ao longo da linha de costa, indicou um padrão decrescente de norte a sul, variando entre 0,51 m (extremo norte) e 0,18 m (extremo sul).

É importante ressaltar que, embora neste trabalho as amplitudes de maré astronômica acima de 0,33 m tenham sido classificadas como grau de suscetibilidade muito alto, em escala global estes valores são considerados baixos, uma vez que se inserem em regime de micromaré (< 2 m). Ao analisar os perigos da costa leste dos Estados Unidos, Gornitz *et al.* (1991) consideram de muito baixo a baixo o risco de regiões costeiras onde a amplitude de maré astronômica é inferior a 2 m, enquanto amplitudes acima de 4 m (macromaré) representam risco alto a muito alto à costa.

Rudorff (2005) ressalta que, embora a principal causa das inundações costeiras seja a ocorrência de marés de tempestade (*storm surges*) influenciadas por eventos meteorológicos, algumas cidades de SC, como Florianópolis e Joinville, também sofrem inundações por marés astronômicas extremas.

A Figura 23 apresenta a suscetibilidade encontrada para os setores em relação à maré astronômica, a qual variou da seguinte forma: muito alta (setor norte), muito alta a alta (setor centro-norte), alta a média (setor centro), média a muito baixa (setor centro-sul) e muito baixa (setor sul).





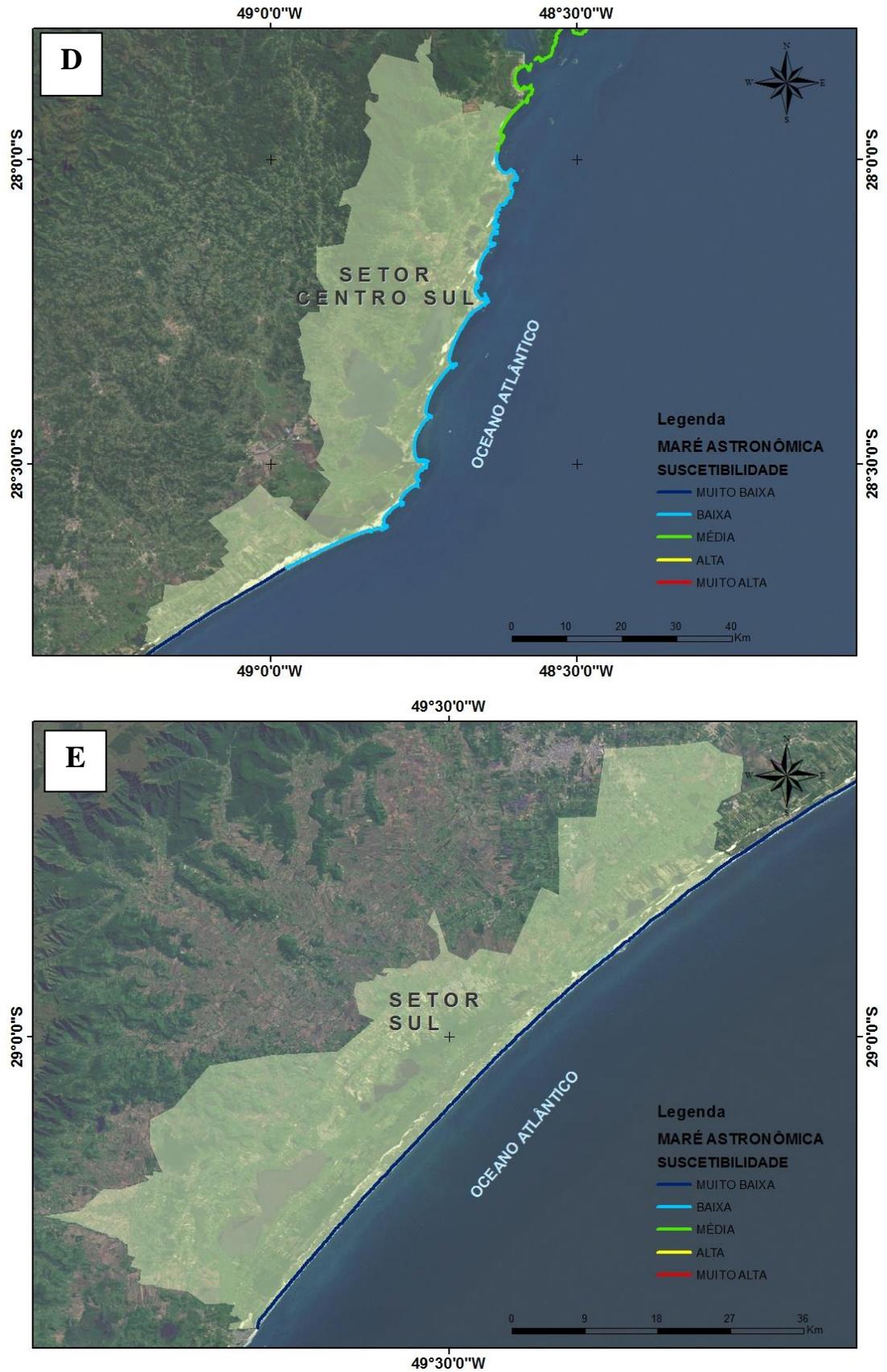


Figura 23 – Espacialização da suscetibilidade da linha de costa em relação à maré astronômica.

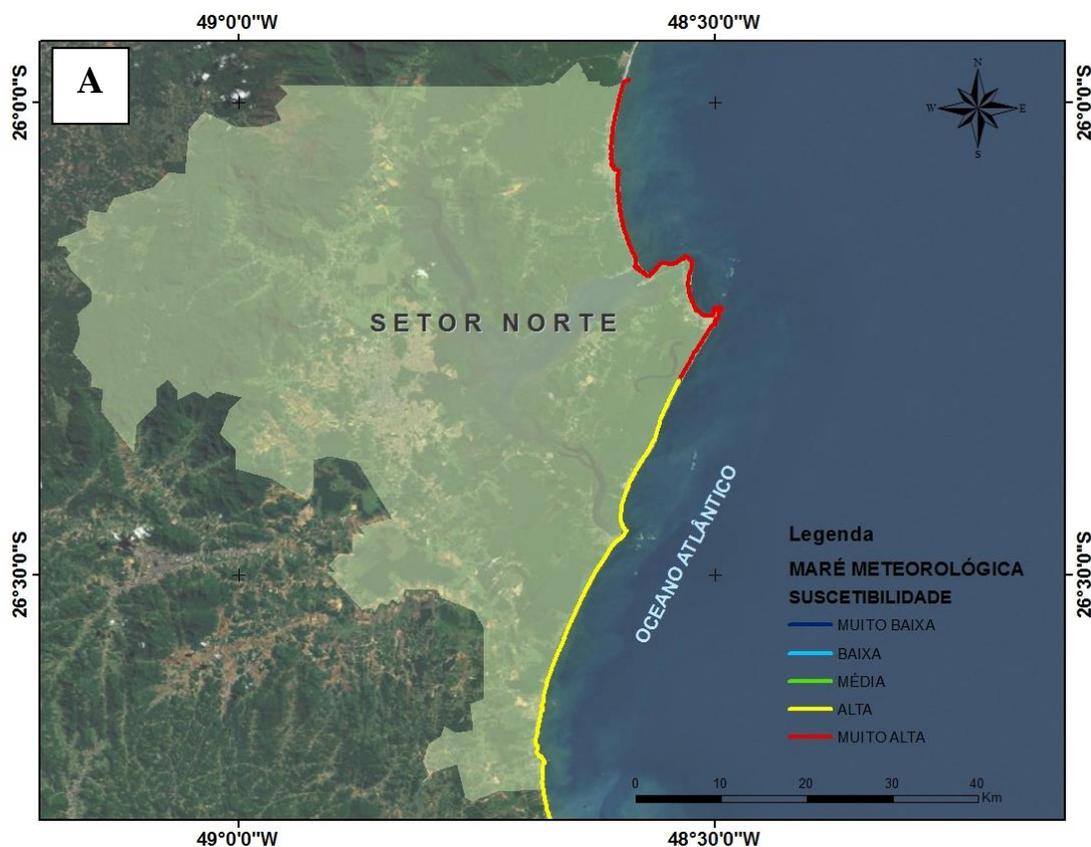
Em relação à maré meteorológica, os maiores valores foram encontrados nos setores norte e sul, variando de 1,32 a 1,50 metros. No outro extremo estão os setores centro e centro-sul, com quase todas as amplitudes situadas no intervalo de 1,1 a 1,27 metros.

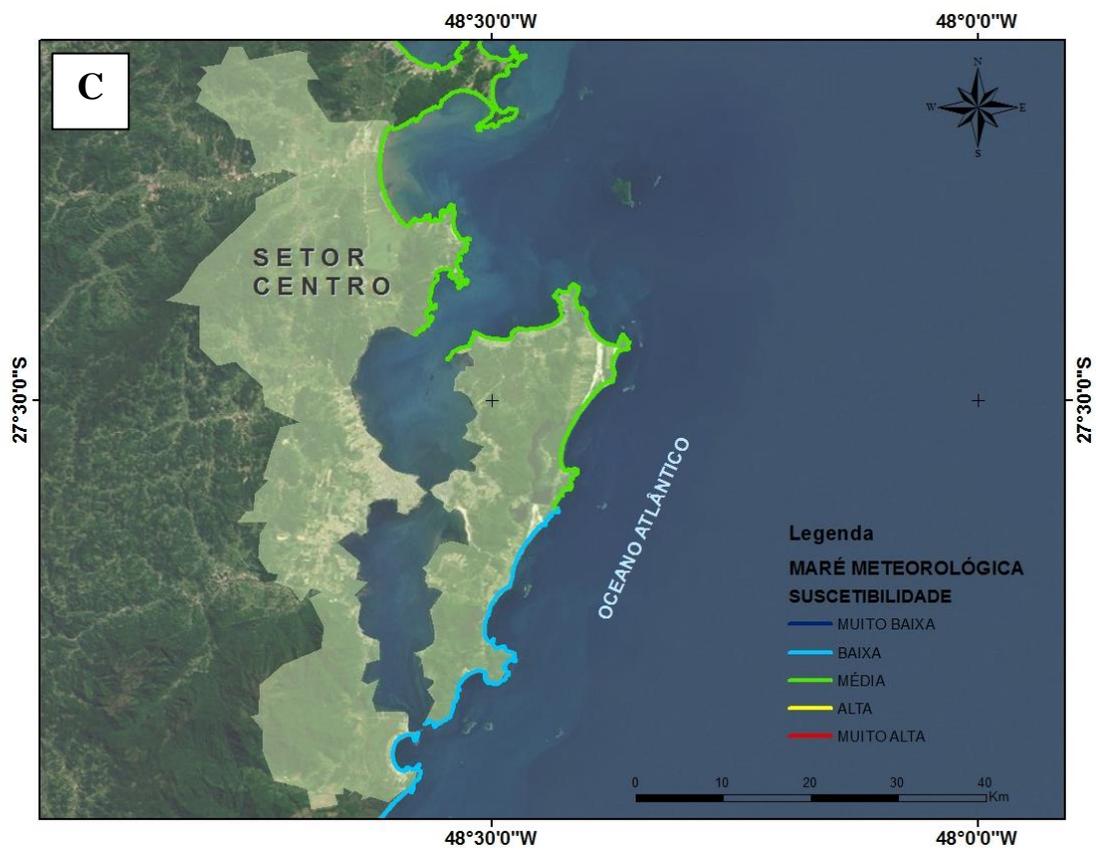
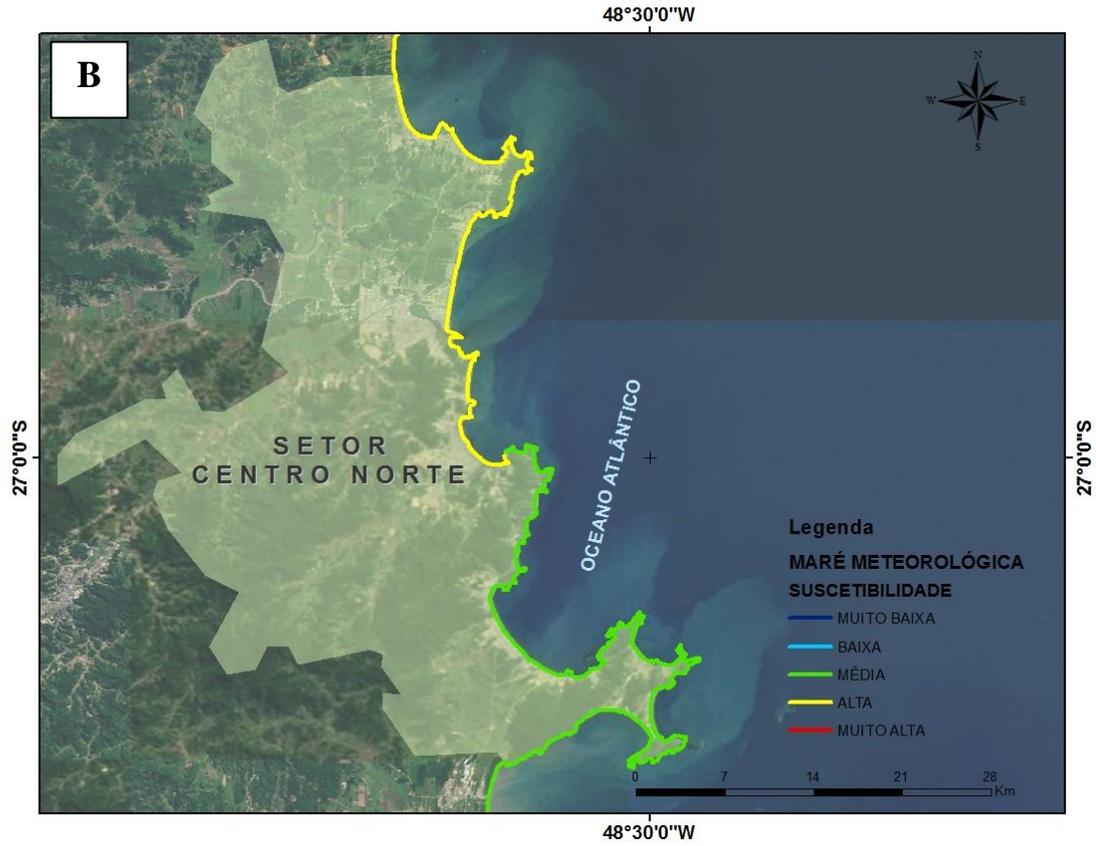
Foi observado um comportamento decrescente da amplitude de maré meteorológica do setor norte até a metade do setor centro-sul. A partir deste ponto os valores começam a crescer, sendo o setor sul representado pelos graus muito alto e alto.

A Figura 24 apresenta a suscetibilidade encontrada para os setores em relação à variável maré meteorológica, a qual variou da seguinte forma: muito alta a alta (setor norte), alta a média (setor centro-norte), média a baixa (setor centro), muito baixa a muito alta (setor centro-sul) e muito alta a alta (setor sul).

Segundo CEPAL (2011a), foi detectada uma ligeira tendência de subida dos níveis de maré meteorológica para o sul do Brasil. Este apresentou uma das maiores taxas na região equivalente à América Latina e Caribe, sendo menor somente que a calculada para as adjacências do Rio da Prata (0,5 cm/ano).

Portanto, a incorporação da componente maré meteorológica é de grande relevância para estudos de vulnerabilidade no Estado de Santa Catarina.





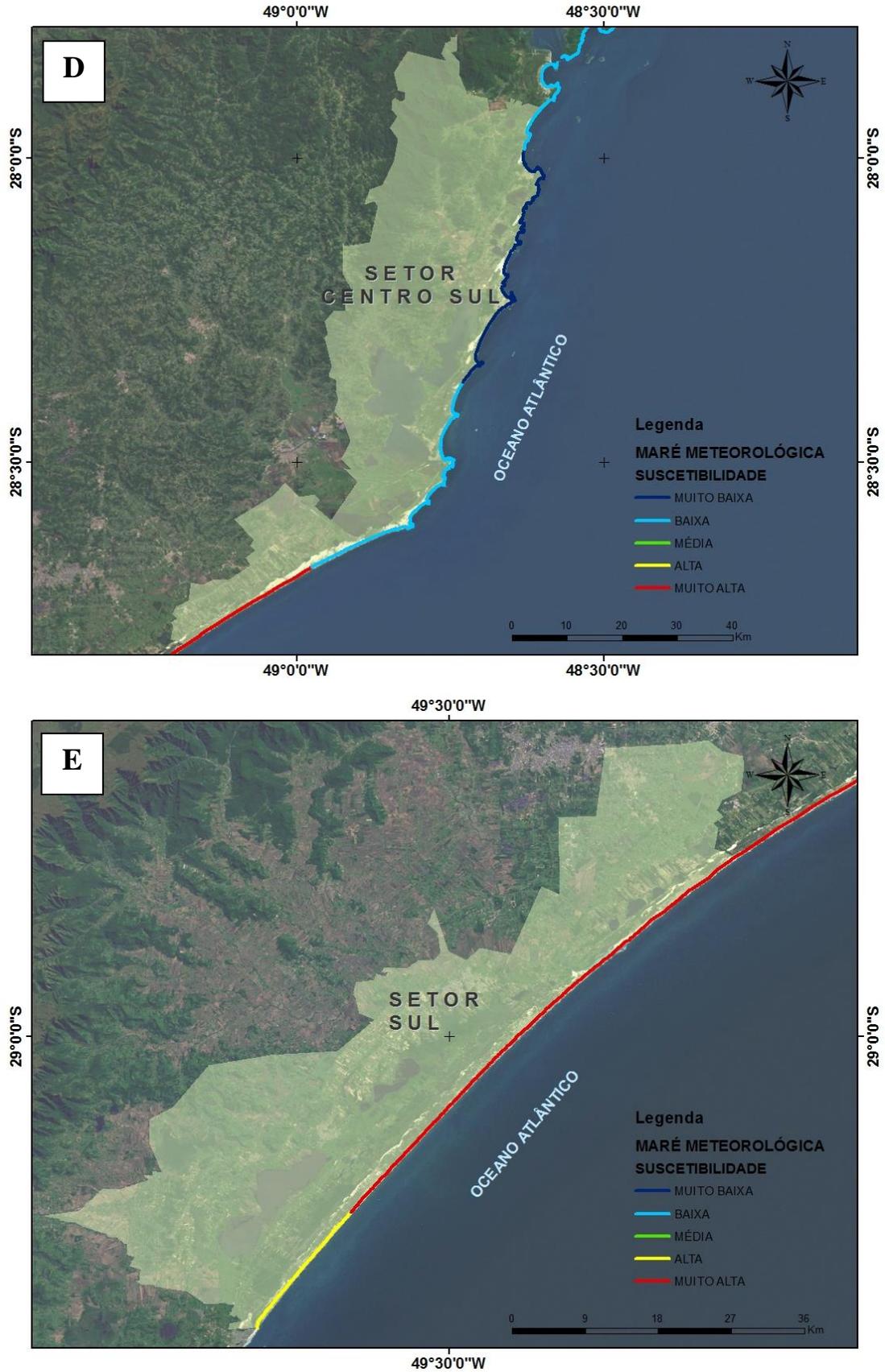


Figura 24 – Espacialização da suscetibilidade da linha de costa em relação à maré meteorológica.

6.1.4. EXPOSIÇÃO ÀS ONDAS

A análise do comportamento desta variável ao longo da linha de costa requer a compreensão do cálculo utilizado para a determinação de sua suscetibilidade. A exposição às ondas, para fins deste trabalho, varia em função da altura significativa de onda (H_s , de peso 1) e, principalmente, em função da exposição dos segmentos à direção do fluxo médio de energia de onda ($dirFE$, de peso 2).

Como descrito nos materiais e métodos, o fluxo médio de energia foi representado pela direção sudeste ao longo de toda a linha de costa do Estado de Santa Catarina, sendo atribuídos maiores graus de suscetibilidade aos segmentos expostos a esta direção e menores graus conforme mais abrigados em relação à mesma.

Já para a altura de onda, considerou-se que maiores alturas potencializam um maior avanço do mar sobre a zona costeira, incidindo em um cenário de maior suscetibilidade. A Tabela 6 apresenta a classificação desta componente em termos de suscetibilidade costeira.

Tabela 6 – Classes de suscetibilidade relativas à altura significativa de onda com tempo de retorno de 50 anos (Tr_{50}).

SUSCETIBILIDADE (GRAU)	H_s (m) para Tr_{50}
MUITO BAIXA (1)	5,87 a 6,4
BAIXA (2)	6,41 a 6,53
MÉDIA (3)	6,54 a 7,06
ALTA (4)	7,07 a 7,13
MUITO ALTA (5)	7,14 a 7,61

Espacialmente a altura de onda apresentou um comportamento crescente do setor norte ao início do setor sul, onde passou a decrescer.

O setor centro-sul, exposto quase em sua totalidade a ondas dos quadrantes sul e leste, recebe as maiores alturas de onda (7,19 a 7,61 metros). Este é seguido pelo setor centro, exposto predominantemente às ondas de leste, com altura máxima de 7,13 metros.

A Figura 25 apresenta a suscetibilidade encontrada para os setores em relação à altura de onda, a qual variou da seguinte forma: muito baixa a baixa (setor norte), baixa (setor centro-norte), alta (setor centro), muito alta (setor centro-sul) e muito alta, passando por média e muito baixa no extremo sul (setor sul).

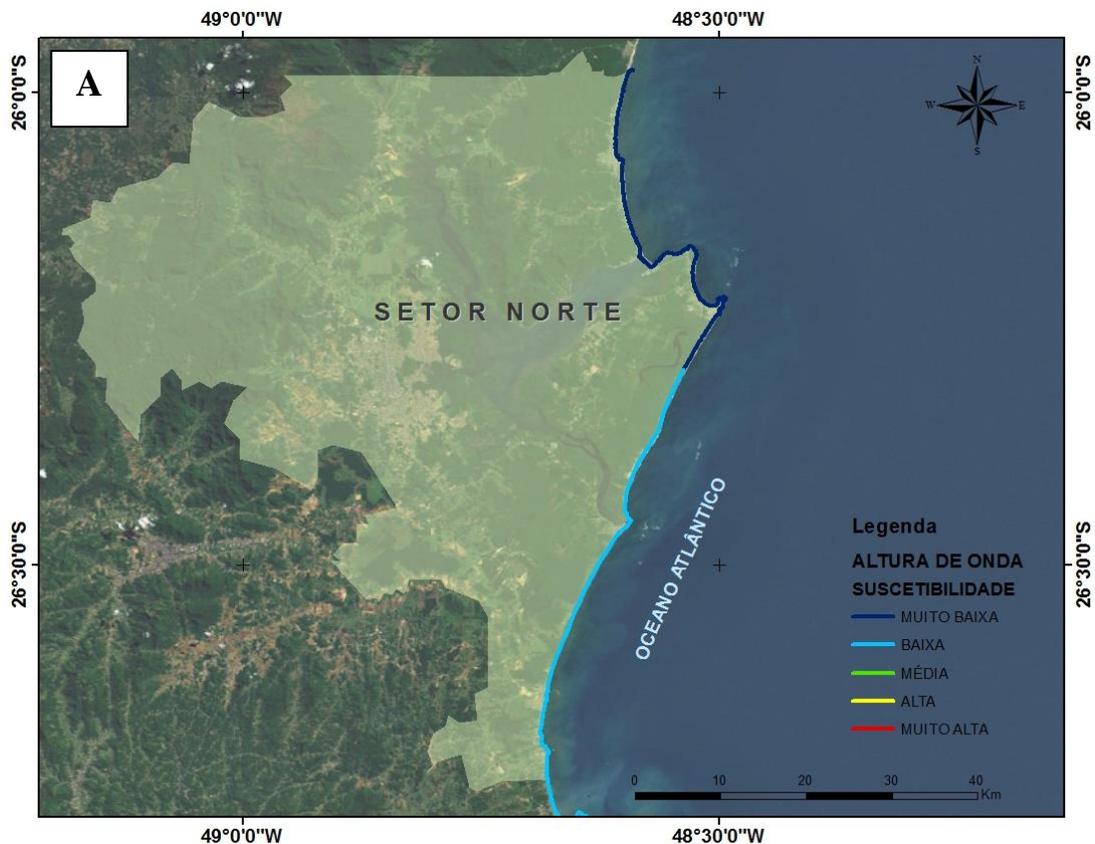
De modo geral, a altura da onda é função do tamanho da pista, da duração, direção e intensidade do vento, bem como do grau de exposição da praia. Ondulações podem vir de qualquer direção, sendo que esta dependerá da posição do sistema gerador em relação à linha

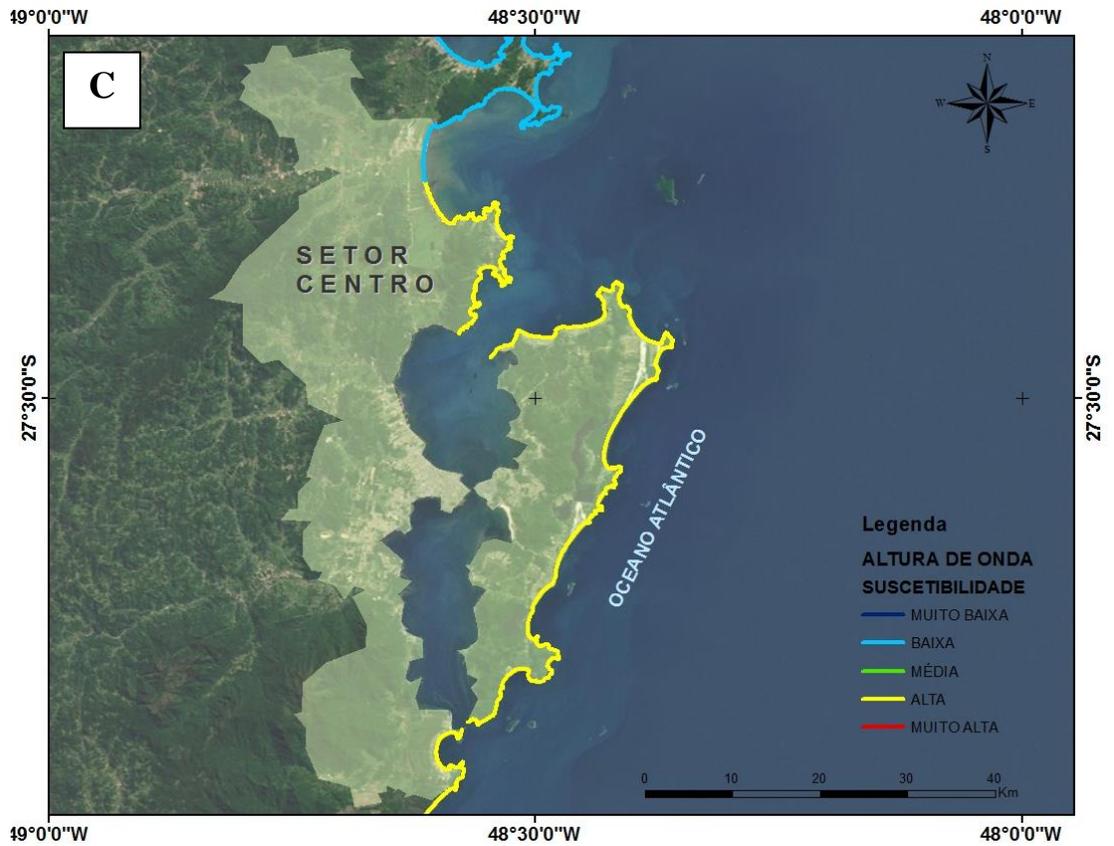
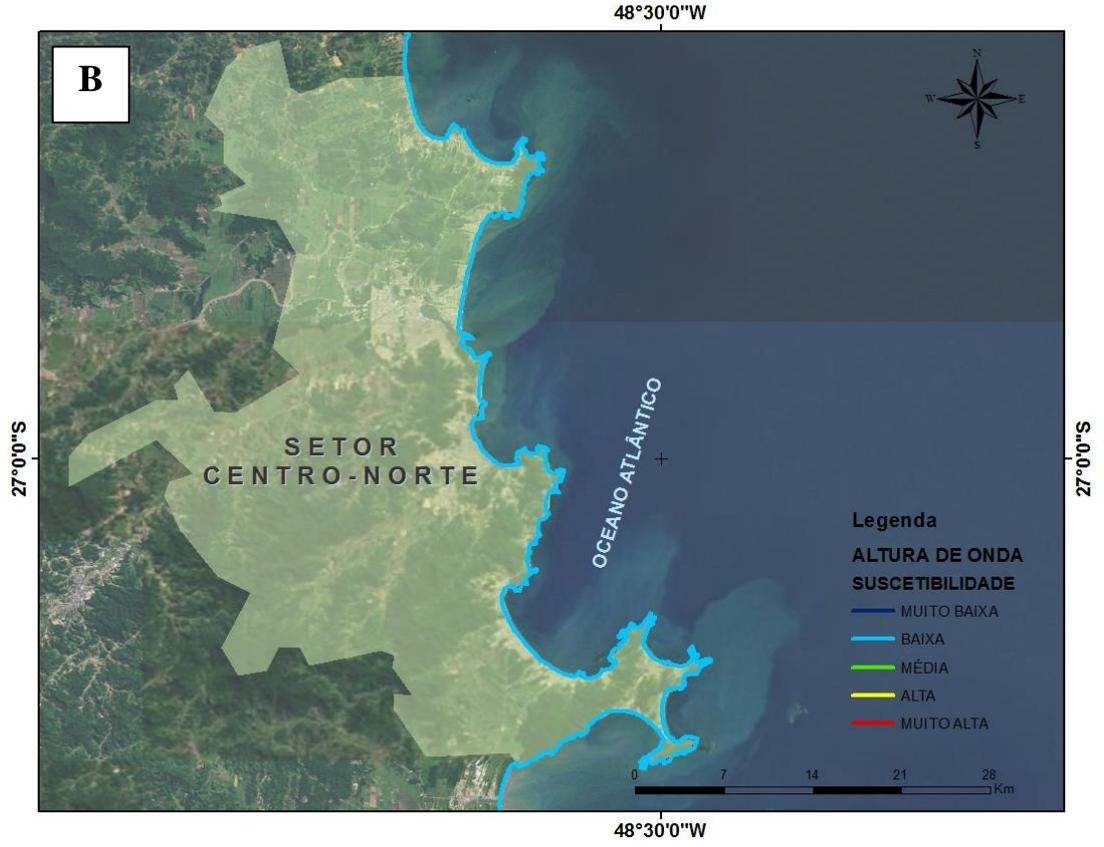
de costa (RUDORFF, 2005). Os danos causados às propriedades pela ação das ondas podem ser decorrentes tanto do impacto direto da pressão da água, quanto do impacto dos detritos nela presentes (GARES *et al.*, 1994 *apud* RUDORFF, 2005).

Araújo *et al.* (2003) ao analisarem dados de um ano do ondógrafo instalado a 80 m de profundidade ao sul da Ilha de Santa Catarina, associaram as maiores ondulações às estações de outono e inverno. Todavia, ondas grandes – com altura significativa de 4,0 m –, estiveram presentes em todas as estações do ano.

Krueger (2011) subdividiu o litoral catarinense em 3 setores: norte, centro e sul. Com base na análise de relatórios de danos da Defesa Civil – os Avadans – e em registros de jornais, a autora analisou a ocorrência de ressacas ao longo do litoral catarinense. A maioria destes eventos foi observada no litoral norte do Estado.

Todavia, neste trabalho, o norte de Santa Catarina apresentou as menores alturas de onda. Uma hipótese é que o maior número de registros de eventos de ressacas no litoral norte do Estado – o qual abrange, também, boa parte do setor centro-norte deste estudo – esteja associado à maior ocupação e presença de estruturas artificiais sobre trechos destes setores, uma vez que os episódios só são registrados pela Defesa Civil quando na ocorrência de danos.





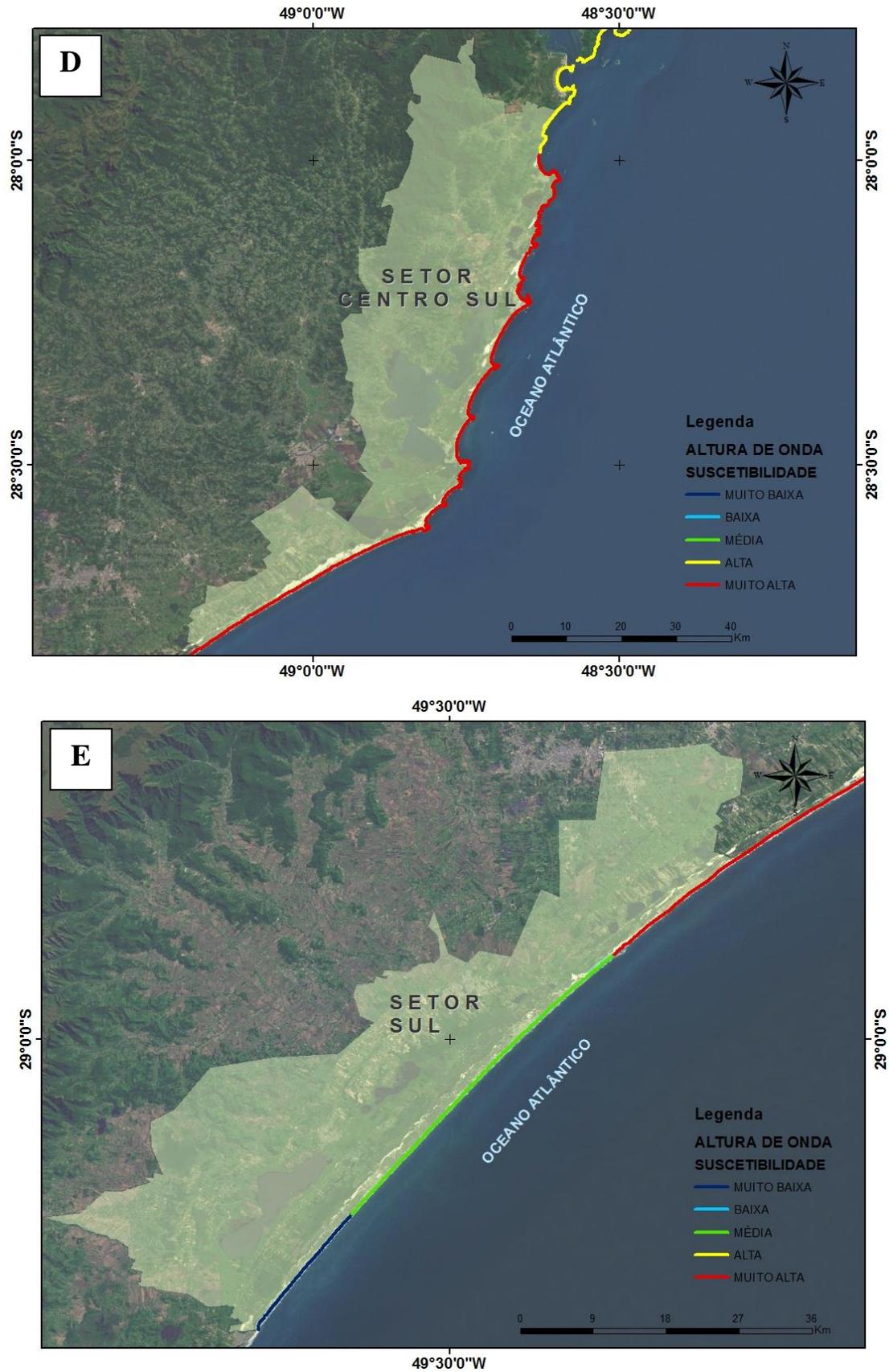


Figura 25 – Espacialização da suscetibilidade da linha de costa em relação à altura de onda.

Os intervalos de classes de suscetibilidade para a variável exposição às ondas podem ser visualizados na Tabela 7.

Tabela 7 – Classes de suscetibilidade relativas à exposição às ondas.

SUSCETIBILIDADE (GRAU)	Exposição às ondas $x=(2*a+ b)/3$
MUITO BAIXA (1)	1,00 a 3,00
BAIXA (2)	3,01 a 3,66
MÉDIA (3)	3,67 a 4,33
ALTA (4)	4,34 a 4,66
MUITO ALTA (5)	4,67 a 5,00

onde x = exposição às ondas, a = grau de suscetibilidade da dirFE e
b = grau de suscetibilidade de Hs (Tr = 50anos).

A espacialização dos graus de suscetibilidade para esta variável pode ser observada na Figura 26.

Os segmentos situados entre o extremo norte de Santa Catarina e o norte do setor centro, bem como quase toda a extensão da linha de costa do setor sul – com exceção do extremo norte deste setor –, foram representados pelas classes de suscetibilidade muito baixa, baixa e média. Nestes trechos, a classe muito alta esteve ausente, enquanto a classe alta foi observada apenas em pequenas extensões do município de Governador Celso Ramos – localizado no norte do setor centro.

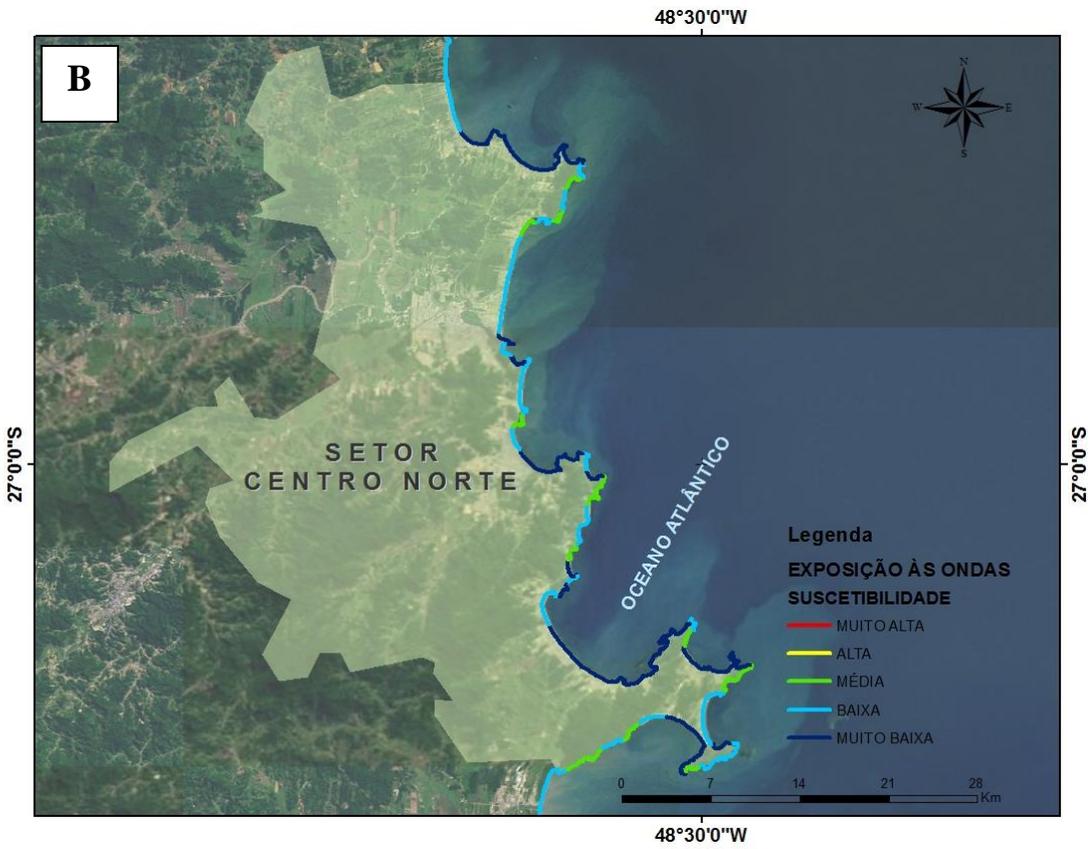
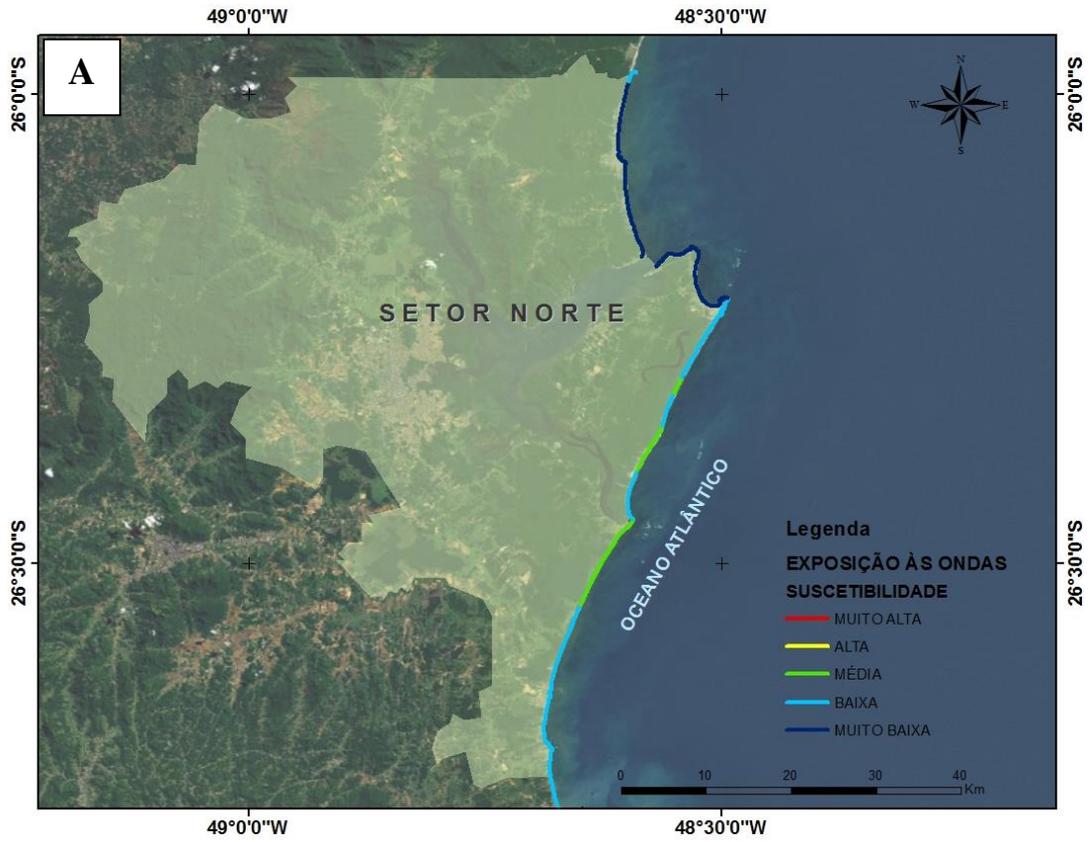
Já o trecho de linha de costa situado entre o setor centro – com exceção de seu extremo norte – e o norte do setor sul apresentou todos os graus de suscetibilidade, porém com uma evidente predominância dos graus alto e muito alto. No setor centro houve um predomínio da classe alta, enquanto os segmentos situados no setor centro-sul e no extremo norte do setor sul representaram o trecho mais suscetível da linha de costa do Estado de Santa Catarina em relação à variável exposição às ondas, com forte predomínio da classe muito alta.

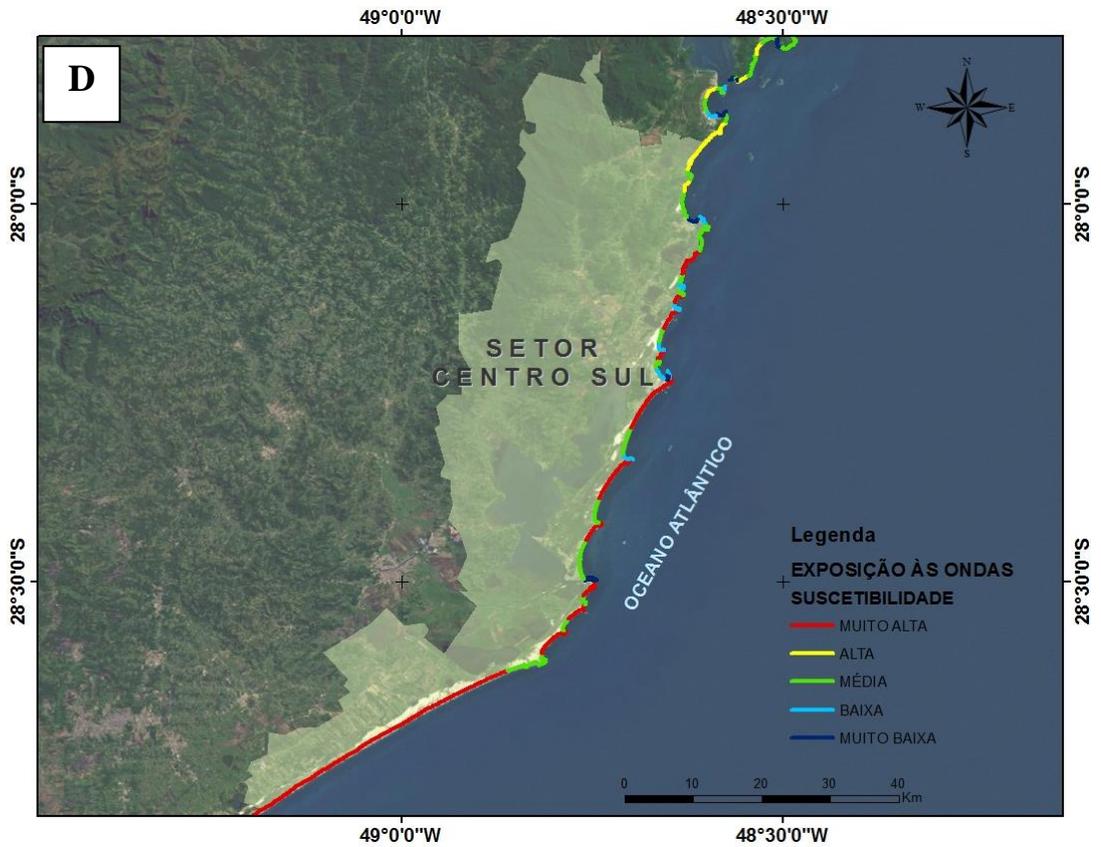
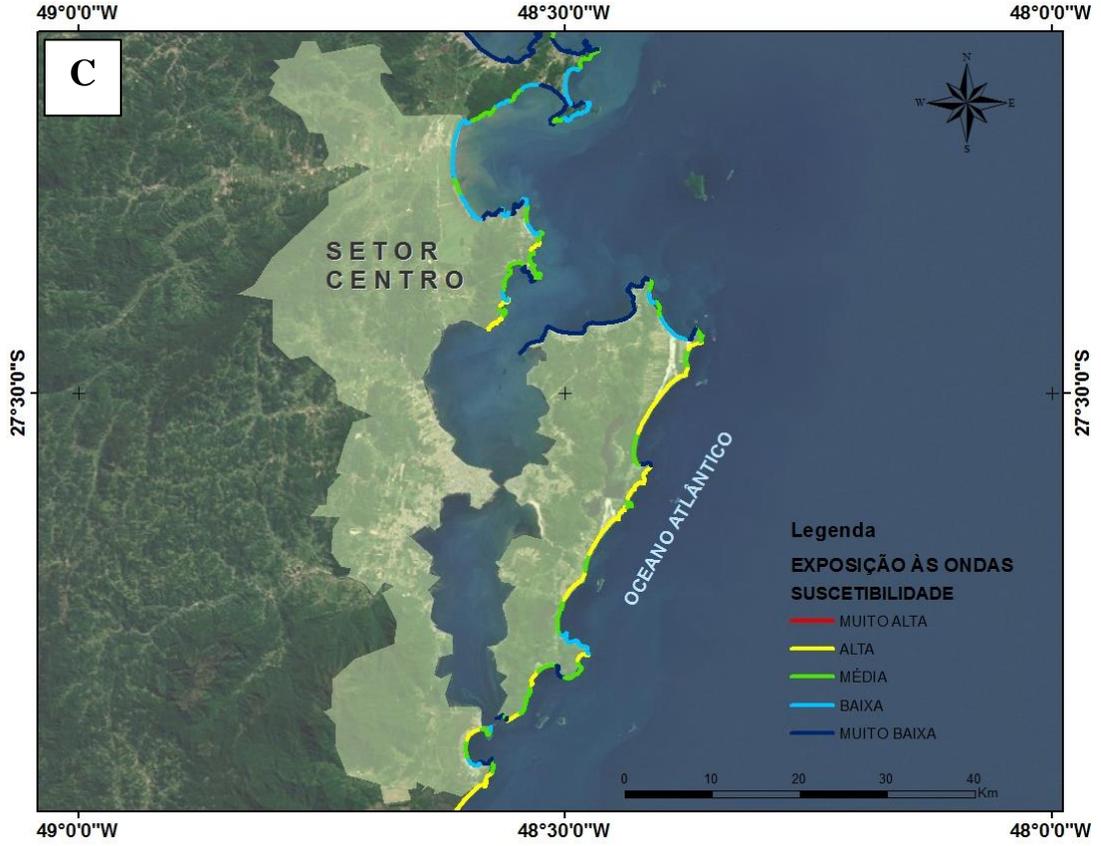
Os setores norte e centro-norte apresentam as menores alturas de onda, diminuindo assim os valores de suscetibilidade para a variável exposição às ondas. Posto isso, pode-se observar que o setor centro-norte apresenta segmentos com valores muito baixos de suscetibilidade em relação à variável exposição às ondas, coincidentes com os trechos da linha de costa com baixa suscetibilidade em relação à altura de onda e abrigados, em sua maior extensão, em relação à direção sudeste.

Embora o setor norte tenha sido classificado em graus mais baixos de suscetibilidade, Abreu de Castilhos *et al.* (2006) citam que sua exposição às ondas de direções sudeste e leste, somada às características da batimetria local e aos efeitos de refração na plataforma continental, produzem zonas de convergência de energia, as quais puderam ser observadas nas praias de Barra Velha, Barra do Sul, Itapoá e no norte da Ilha de São Francisco do Sul. Por outro lado, a incidência oblíqua de ondas de alta energia do quadrante sul é responsável pelo transporte de sedimento para norte, o qual pode promover distúrbios locais no aporte de sedimento e contribuir, assim, para o processo erosivo.

Muler e Bonetti (2014) realizaram uma análise da exposição às ondas de segmentos praias da Ilha de Santa Catarina, com base na vulnerabilidade costeira, através da integração entre: grau de exposição da costa às diferentes direções de incidência de onda, caracterização das máximas alturas de onda por direção de propagação e presença de estruturas em risco. A inclusão desta última induziu a uma ordem de suscetibilidade – em relação às direções de propagação de onda – diferente da encontrada no âmbito deste trabalho, uma vez que considera o dano ao homem, e não exclusivamente aos sistemas costeiros em si. A maior presença de estruturas de risco nos segmentos costeiros expostos às ondas de nordeste – locais onde também foram encontrados grandes valores de população residente no âmbito deste trabalho – colabora para a maior importância dada aos autores para a direção de incidência de ondas de nordeste, seguida da direção sul, leste e sudeste, respectivamente.

A análise da suscetibilidade em relação à exposição às ondas, para fins deste trabalho, considerou somente a exposição dos segmentos ao perigo e não o grau de exposição das construções situadas nas adjacências da linha de costa. O último é mais aplicável a estudos locais, uma vez que, a nível estadual, torna-se mais complicado contabilizar construções sobre a linha de costa, por exemplo. Uma alternativa interessante, mas de difícil operacionalização, poderia ser calcular a área dos aglomerados urbanos – dado disponibilizado pelo IBGE – levando em consideração o grau de exposição destes às direções de propagação de ondas mais frequentes e de maior energia.





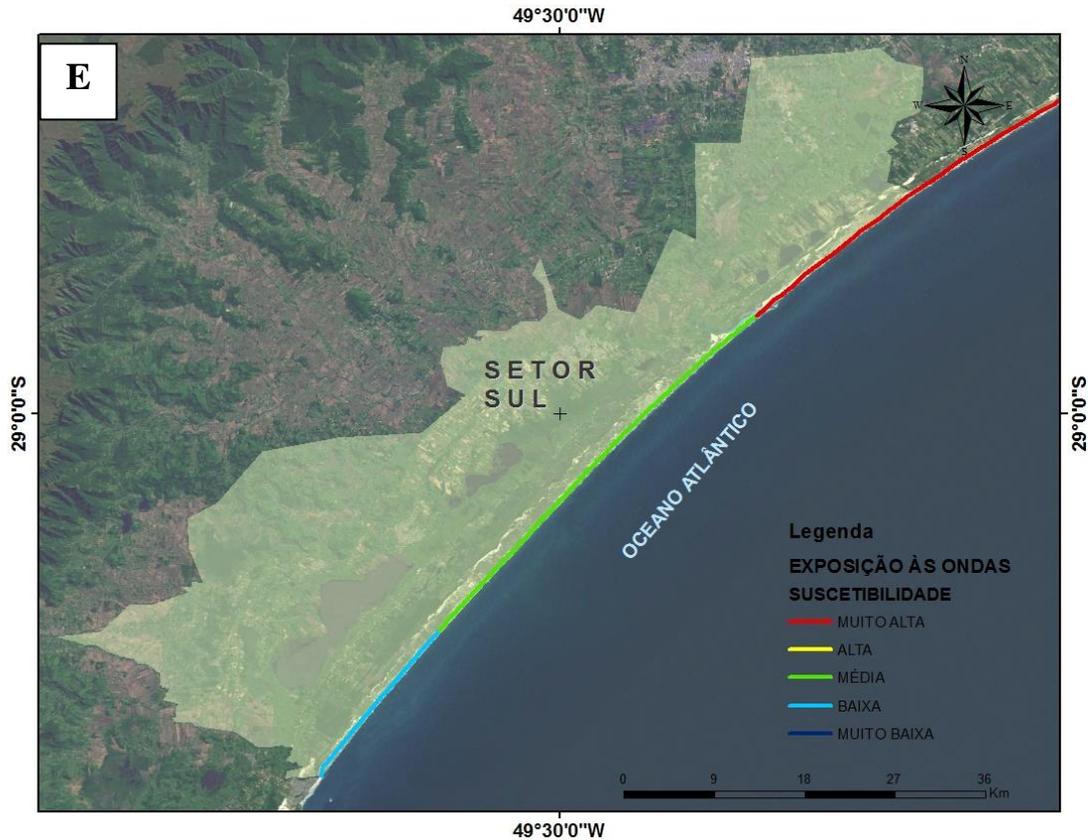


Figura 26 – Espacialização da suscetibilidade da linha de costa em relação à exposição às ondas.

6.1.5. VARIACÃO DA LINHA DE COSTA

As regiões costeiras são constantemente afetadas por variações na posição da linha de costa, sejam elas em escala de longo prazo, ocasionadas pela variação do nível médio do mar, de médio prazo, como por exemplo, a migração de uma desembocadura, ou de curto prazo, como em episódios de tempestades. Independentemente da escala da variação, esta pode representar perigo às populações situadas sobre suas adjacências.

No contexto de eventos de tempestades tropicais e extratropicais, o estado erosivo é comum a praticamente todas as praias (RUDORFF e BONETTI, 2010). Este resulta da complexa interação entre ondas, nível do mar, correntes costeiras, balanço de sedimentos e geologia (KOMAR, 1983).

Maiores taxas de retrogradação da linha de costa indicam um maior avanço do mar sobre a orla, representando um cenário de maior suscetibilidade.

A Tabela 8 apresenta o erro corrigido (95% de confiança) referente ao georreferenciamento de cada um dos mosaicos de imagens/fotografias para as praias de São Francisco do Sul e Balneário Rincão, o qual foi utilizado como valor de incerteza na

determinação da taxa de variação da linha de costa referente a estas duas praias – calculadas no âmbito deste trabalho.

Tabela 8 – Erro corrigido referente ao georreferenciamento das fotos/imagens.

PRAIA	DATA DAS FOTOS/IMAGENS	MÉDIA DO ERRO CORRIGIDO (95% de confiança)
SÃO FRANCISCO DO SUL	1957	6,9
	1978	8,3
	1995	4,3
	2011	2,9
BALNEÁRIO RINCÃO	1957	6,8
	1978	4,7
	1995	3,7
	2011	1,2

Para este trabalho, todas as taxas de variação da linha de costa selecionadas indicaram cenários de retrogradação. Todavia, isto não significa que as praias estejam perdendo sedimentos de forma constante, uma vez que, segundo Komar (1983), as praias arenosas estão sujeitas à ação erosiva durante eventos de alta energia e acresciva durante períodos de menor energia.

A Tabela 9 apresenta a classificação das taxas de variação da linha de costa em termos de suscetibilidade costeira.

Tabela 9 – Classes de suscetibilidade relativas à variação da linha de costa.

SUSCETIBILIDADE (GRAU)	Variação da linha de costa (m/ano)
MUITO ALTA (5)	-0,73
ALTA (4)	-0,35
MÉDIA (3)	-0,25 e -0,30
BAIXA (2)	-0,18
MUITO BAIXA (1)	-0,13

A espacialização dos graus de suscetibilidade para esta variável pode ser observada na Figura 27.

Os setores centro-sul e sul – os quais tiveram suas taxas de variação obtidas a partir da aplicação do DSAS para as praias do Rincão (município de Balneário Rincão) e de Itapirubá (entre os municípios de Laguna e Imbituba) –, apresentaram suscetibilidade média em relação

a esta variável, sendo representados pelos valores: -0,30 m/ano (setor sul e parte do setor centro-sul) e -0,25 m/ano (parte do setor centro-sul).

O grau de suscetibilidade baixo foi encontrado no sul do setor centro (-0,18 m/ano), enquanto o grau muito baixo representou o sul do setor norte e o extremo norte do setor centro-norte (-0,13 m/ano).

O setor centro-norte e o norte do setor centro apresentaram o maior cenário de retrogradação da linha de costa – classificados em suscetibilidade muito alta (-0,73 m/ano). O norte do setor norte e as praias mais ao norte do leste da Ilha de Santa Catarina – representados pelo grau alto de suscetibilidade – também apresentaram uma forte retrogradação (-0,35 m/ano).

Klein *et al.* (2006) apresentaram uma síntese da análise da natureza e magnitude de processos erosivos observados nas praias do litoral centro-norte de Santa Catarina. Os autores observaram que, a ocorrência de tempestades decorrentes da passagem de sistemas frontais ocasiona processos de transposição (*overwash*), durante os quais os sedimentos arenosos são jogados pelas ondas sobre as avenidas beira-mar (Balneário Camboriú) ou para retaguarda do cordão de dunas frontais (Barra Velha). Em outras localidades, as ondas atuam diretamente sobre o perfil praiado erodindo as dunas frontais (praia de Gravatá e Barra do Sul). Foi verificado ainda que os locais com presença de muros de contenção (*sea wall*) foram os mais afetados durante os eventos de tempestades, sendo observado o colapso total destas obras em algumas localidades (ex.: praia de Gravatá/ Navegantes e Piçarras).

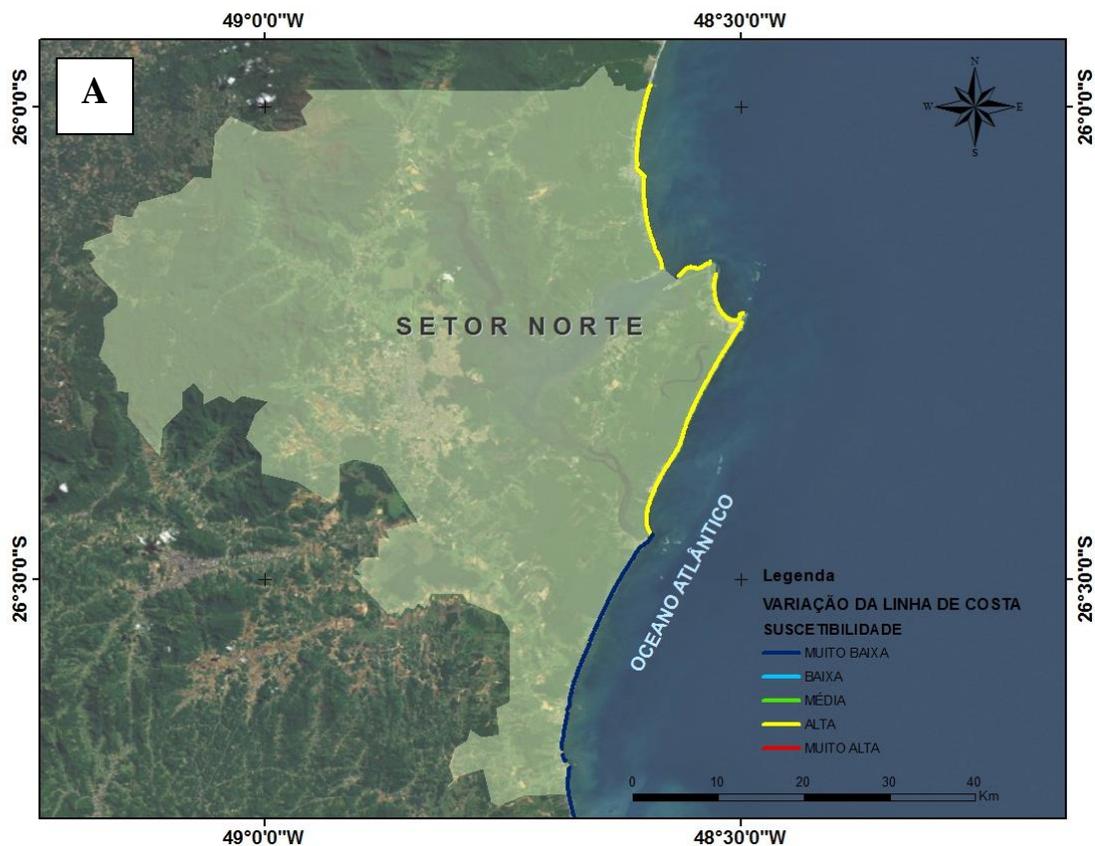
A ocupação neste setor ocorreu de forma desordenada, na maioria das vezes sobre o sistema de dunas frontais com a implantação de avenidas beira-mar e construção de calçadões sobre o prisma ativo da praia (ex.: praia de Piçarras, Barra Velha, Gravatá e Balneário Camboriú) (KLEIN *et al.*, 2006).

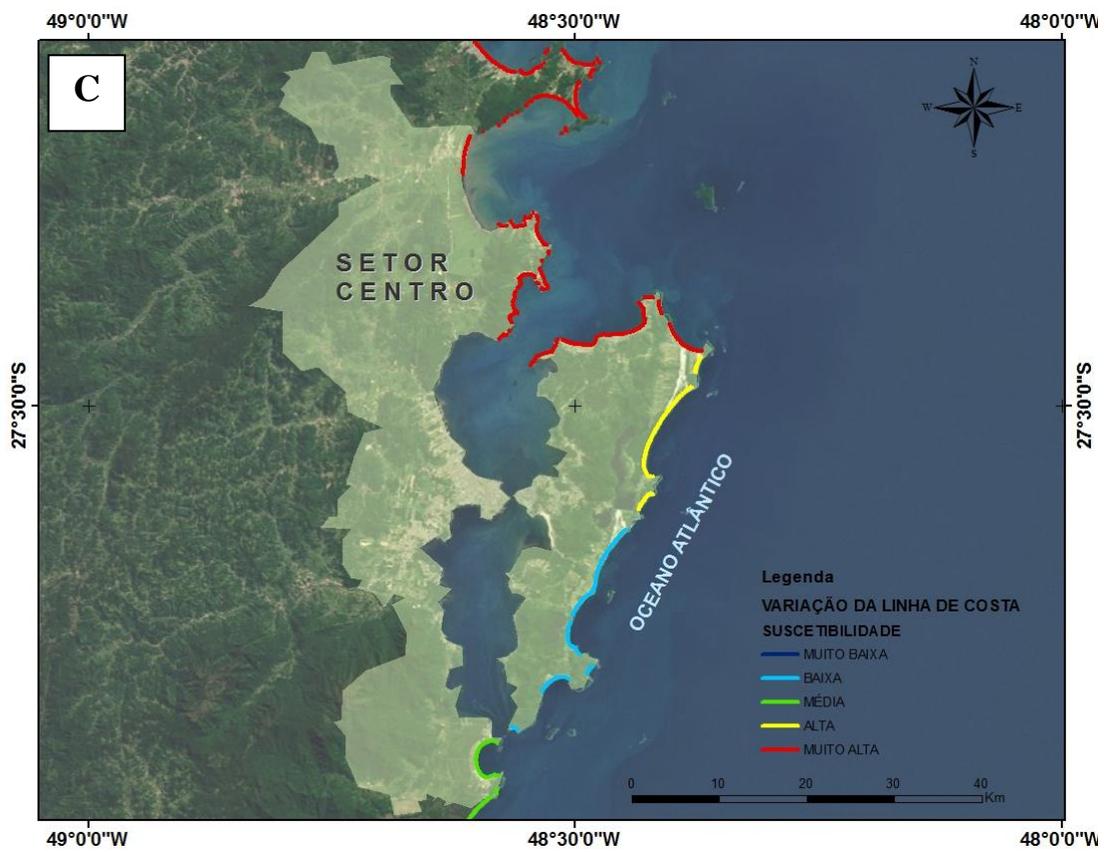
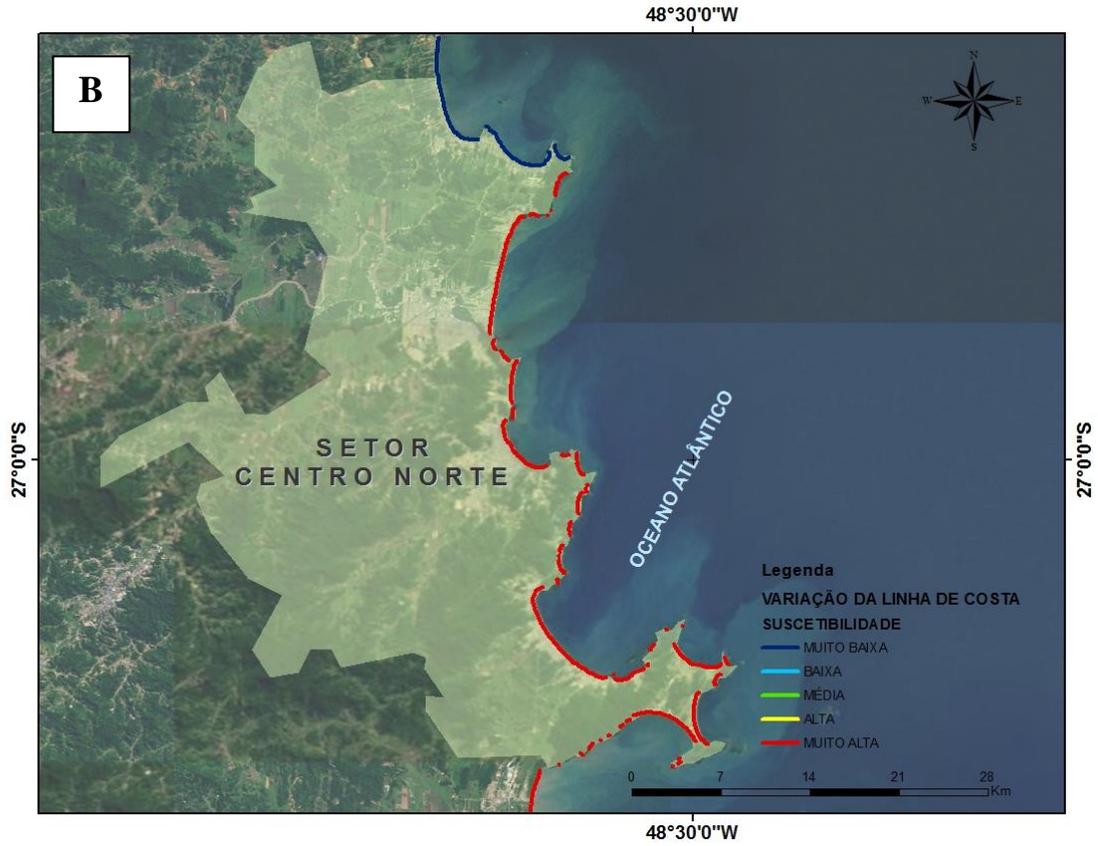
No litoral da Ilha de Santa Catarina, Horn (2006) destacou as evidências erosivas encontradas nas praias da Armação, Barra da Lagoa, Brava, Canasvieiras, Forte, Ingleses, Jurerê, Naufragados, Pântano do Sul e Ponta das Canas. Nas praias com pouca ocupação urbana, após os processos erosivos, foi constatada a recuperação do perfil praiado com ganho sedimentar. Já nas praias com densa ocupação urbana junto ao ambiente praiado, a duna frontal foi descaracterizada, impedindo conseqüentemente a troca de sedimentos. Nestas, os processos erosivos foram intensificados pela ação antrópica, ocorrendo o recuo da linha de costa, como observado nas praias de Armação, Barra da Lagoa, Canasvieiras e Ingleses.

Para lidar com este tipo de problema, Rudorff (2005) cita que a engenharia costeira tem se utilizado de diferentes artifícios, como a construção de estruturas rígidas de engenharia

(muros de contenção, quebra-mares, espigões e molhes) e alimentação de praia. Todavia, a interferência muitas vezes tem levado a uma aceleração do processo erosivo, agravando ainda mais o problema ou transferindo o mesmo para outro lugar (BONETTI *et al.*, 2013). Exemplos de processos erosivos no litoral catarinense podem ser verificados na Figura 28.

É importante ressaltar que os dados pré-existentes das taxas de variação da linha de costa, selecionados para as praias de Santa Catarina no âmbito deste trabalho, não são de todo compatíveis. Estes representam escalas temporais variadas, foram calculados a partir de métodos e indicadores de linha de costa diferenciados e tiveram suas incertezas definidas por diferentes critérios. A integração desta variável aos índices de suscetibilidade e de vulnerabilidade, apesar de aproximativa, é um importante indicativo da condição morfológica local. Todavia, na eventual continuidade desta pesquisa, é recomendável que as taxas sejam recalculadas de forma integrada.





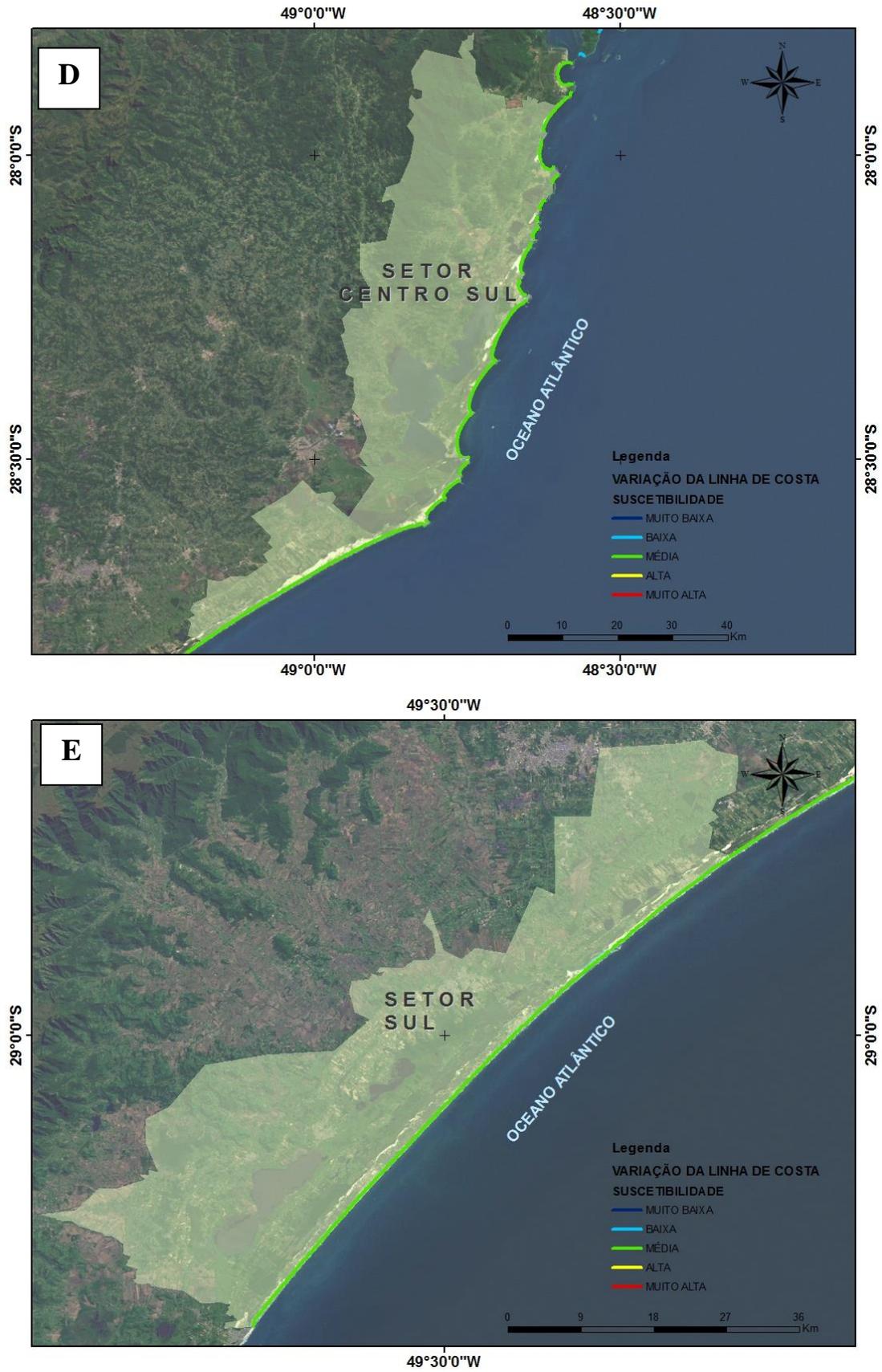


Figura 27 – Espacialização da suscetibilidade da linha de costa em relação à variação da linha de costa.

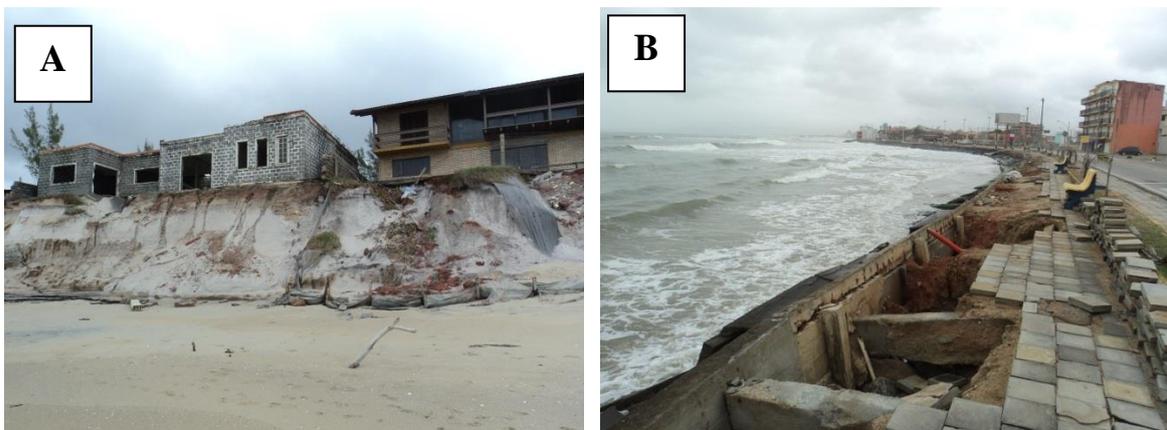


Figura 28 – Eventos erosivos nas praias de Morro das Pedras (A, setor centro) e Navegantes (B, setor centro-norte). Fotos da autora.

6.2. Modelo de suscetibilidade

O modelo de suscetibilidade indica as áreas propensas à ocorrência de eventos naturais que podem causar danos à população, sendo parte fundamental do processo de análise de vulnerabilidade.

A Tabela 10 apresenta os intervalos referentes às classes de suscetibilidade para os valores obtidos a partir do Índice de Suscetibilidade Costeira (ISC).

Tabela 10 – Classes de suscetibilidade relativas aos valores do Índice de Suscetibilidade Costeira (ISC).

SUSCETIBILIDADE (GRAU)	ISC
MUITO ALTA (5)	14,15 - 31,63
ALTA (4)	8,49 – 14,14
MÉDIA (3)	6,33 – 8,48
BAIXA (2)	3,80 – 6,32
MUITO BAIXA (1)	1,09 – 3,79

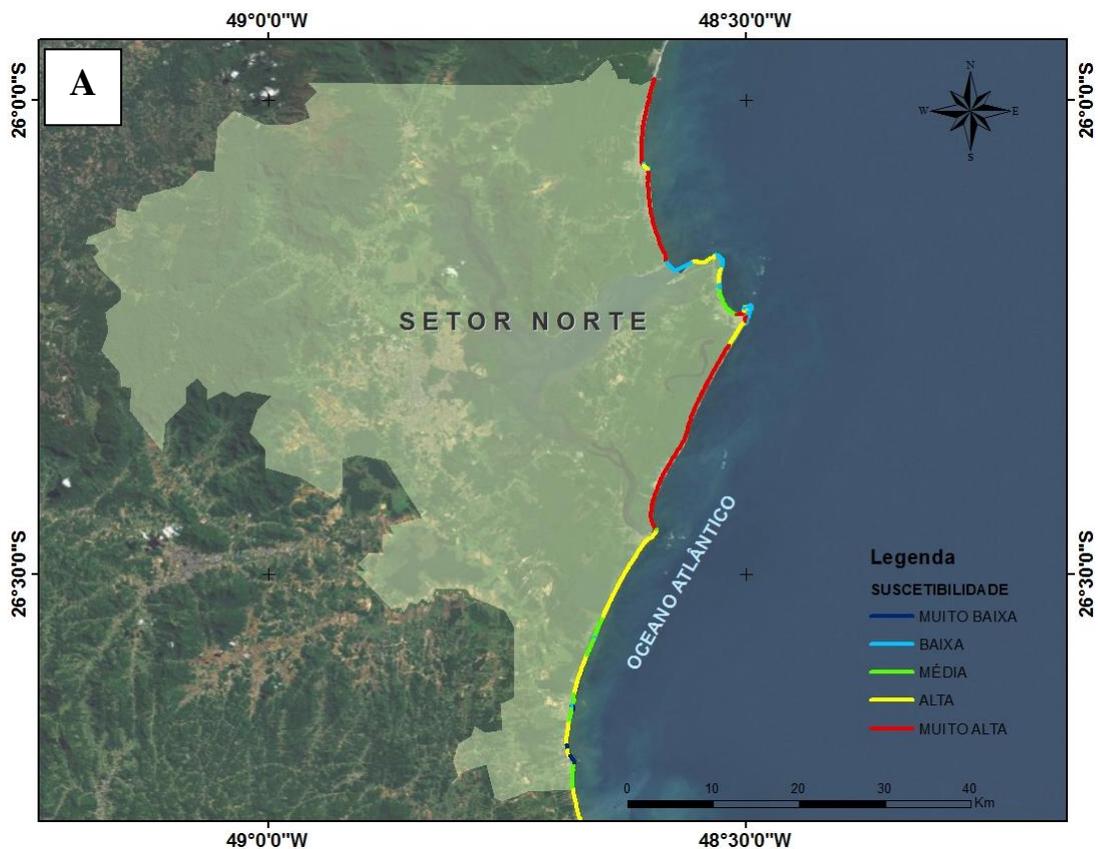
A espacialização da suscetibilidade costeira pode ser observada através da Figura 29. O modelo apresentou forte predomínio das classes alta e muito alta no trecho situado do extremo norte do Estado de Santa Catarina à metade do setor centro. Os costões rochosos, no entanto, são comumente representados pelas classes baixa e muito baixa.

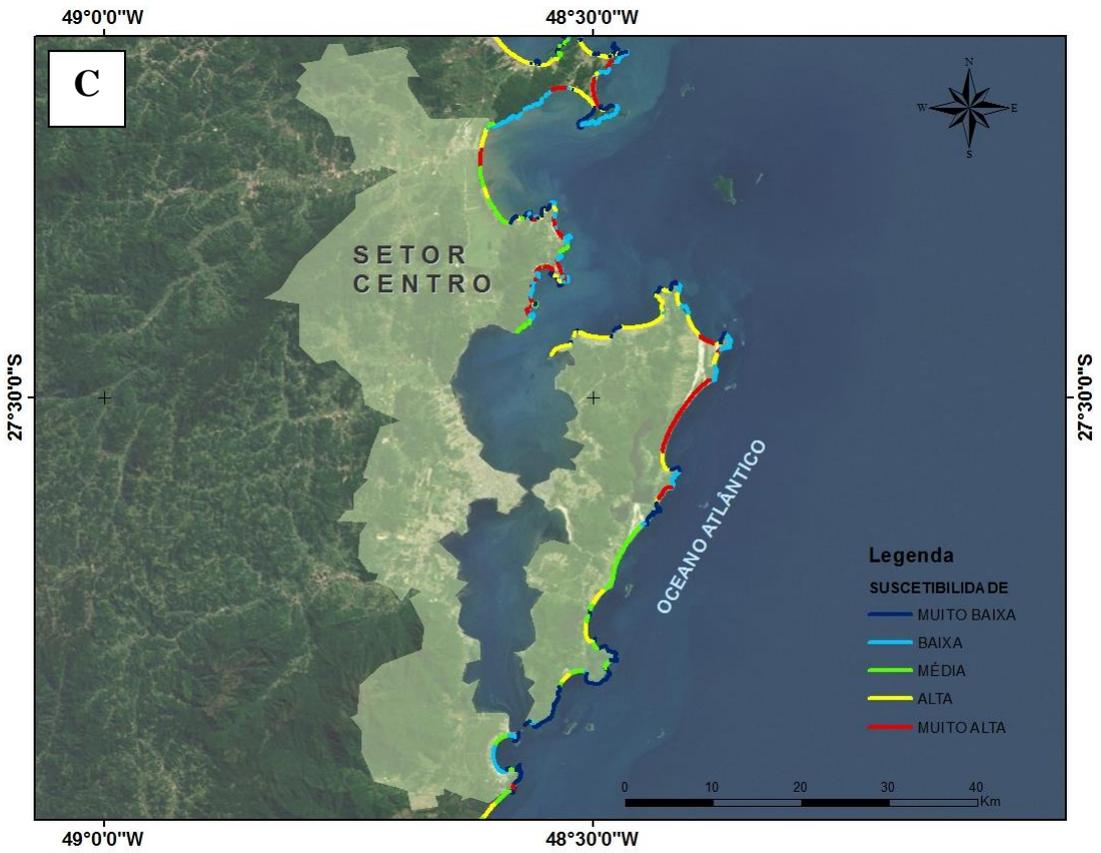
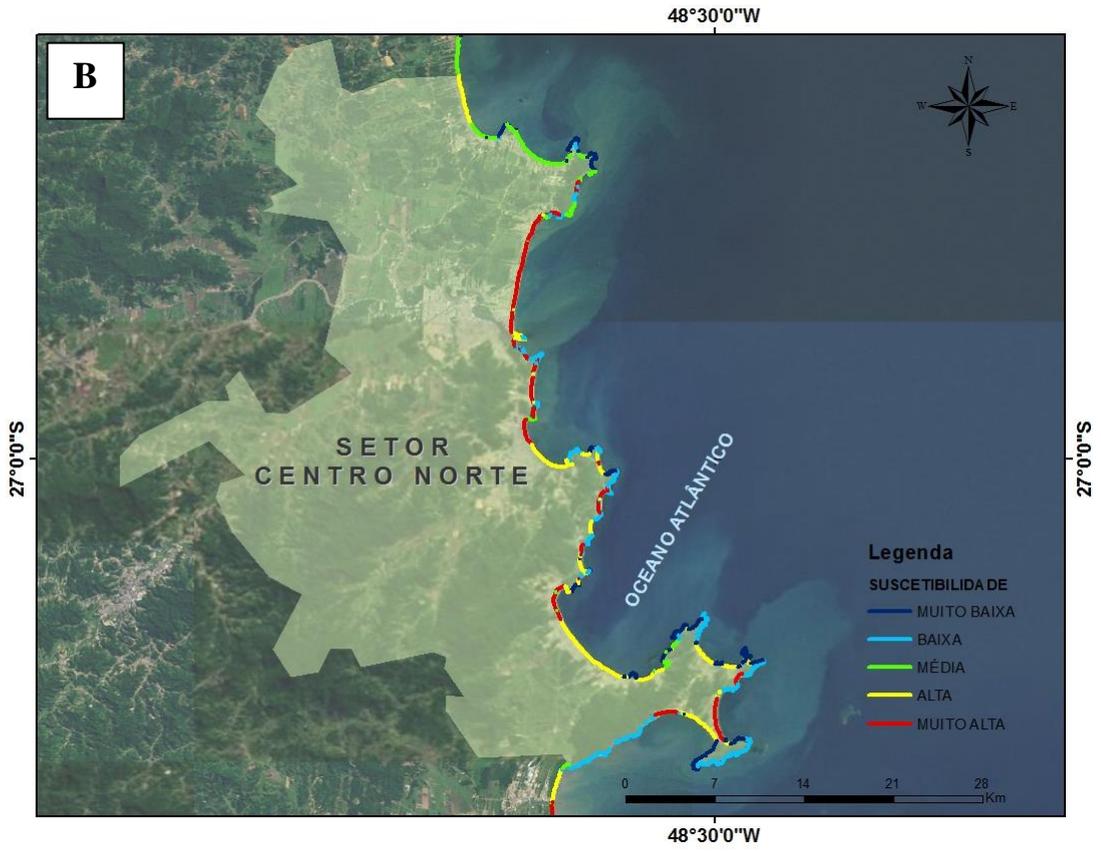
Os setores centro-sul e sul foram os que apresentaram as maiores extensões de linha de costa classificada em suscetibilidade inferior ao médio grau e foram marcados pela ausência da classe muito alta.

Já o setor centro apresentou a região norte classificada predominantemente entre os graus de médio a muito alto sobre os segmentos praias, e outra – a sul – com predomínio das classes baixa, média e alta sobre as praias e uma forte presença de costões rochosos, em sua maioria classificados em suscetibilidade muito baixa.

Os segmentos litorâneos que se destacam pelos graus alto e muito alto, situam-se nas localidades de: municípios de Itapoá e São Francisco do Sul, Praia de Navegantes à Praia de Balneário Camboriú, Praia de Itapema, municípios de Bombinhas e Governador Celso Ramos, norte da Ilha de Santa Catarina, leste da Ilha de Santa Catarina (do sul dos Ingleses ao norte da Praia Mole).

Nos setores sul e centro-sul a classe de suscetibilidade muito alta foi ausente e foram observados trechos de pequena extensão classificados em suscetibilidade alta. Exemplos podem ser observados nas praias de: Gamboa, Ferrugem, Barra, trecho da Guarda do Embaú, praias do Sol, do Gi e da Galheta (setor centro-sul); Camacho, Campo Bom, trechos entre Barra Velha e Rincão e entre Morro dos Conventos e Arroio do Silva (setor sul).





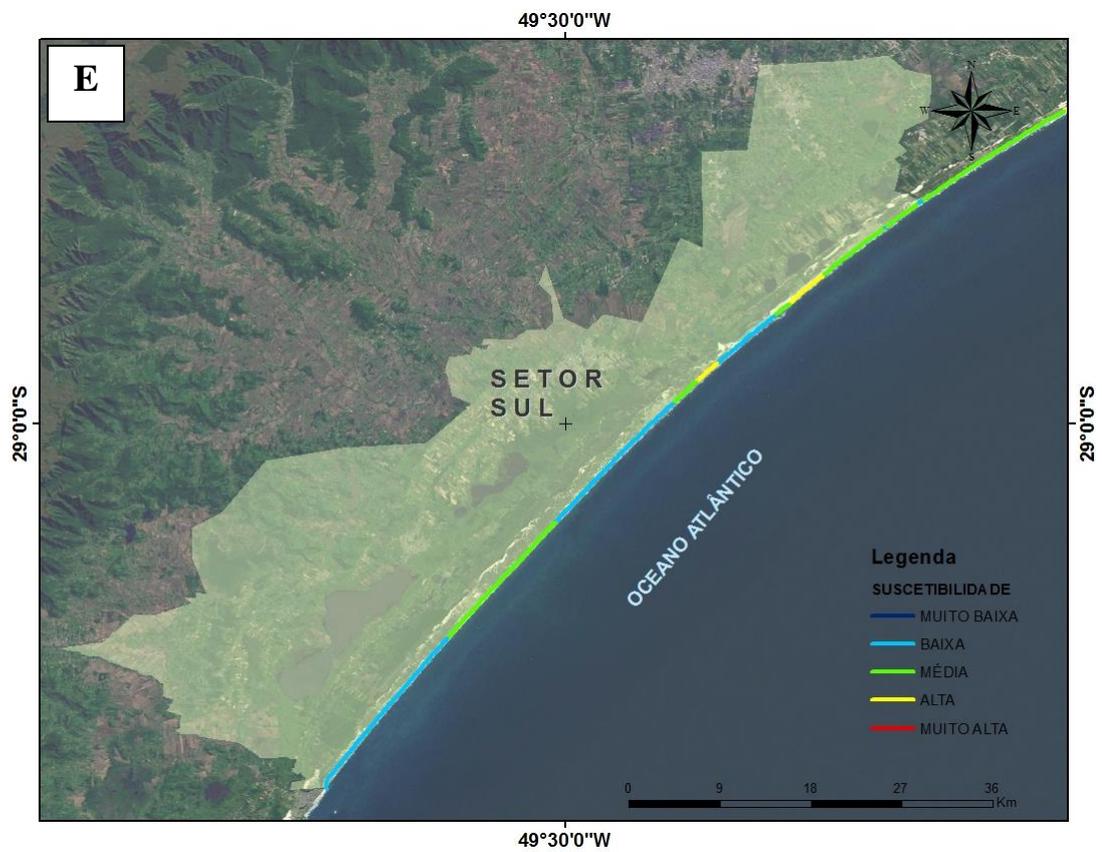
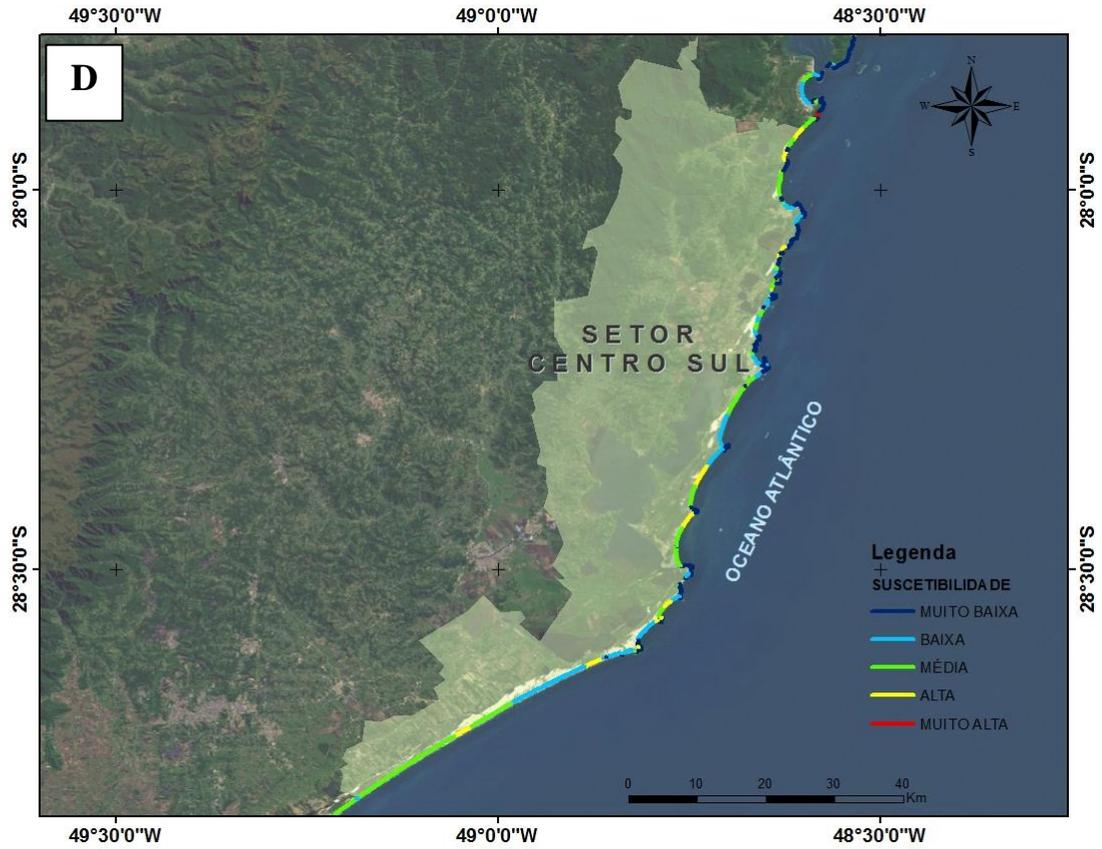


Figura 29 – Modelo de suscetibilidade.

6.3. Variáveis socioeconômicas

6.3.1. POPULAÇÃO RESIDENTE

O conhecimento do número de habitantes sobre as áreas adjacentes à linha de costa é fundamental não só pela necessidade de se estimar em que locais mais pessoas poderão ser afetadas frente a perigos costeiros, mas também para estabelecer relações entre a concentração populacional e a ocorrência de problemas ambientais.

Segundo McLaughlin *et al.* (2002), a população residente pode ser vista de duas maneiras em relação à sua participação na vulnerabilidade costeira: do ponto de vista econômico e do ponto de vista de potencial erosivo. Para os autores, um grande número de residentes ocasiona um cenário de alta vulnerabilidade, uma vez que demonstra um valor econômico elevado decorrente do maior número de estruturas/construções que podem refletir em gastos econômicos – quando na ocorrência de danos causados por eventos de tempestade – através da reconstrução destas ou construção de novas estruturas de proteção ao impacto da água do mar. Além disso, um número elevado de residentes significa que mais pessoas podem ser afetadas por eventos erosivos e de inundações as quais, ao mesmo tempo, contribuem para uma maior ocorrência dos mesmos (McLAUGHLIN *et al.*, 2002).

A ocupação da zona costeira altera o ambiente natural, seja com o desmatamento de vegetação nativa, com a impermeabilização do solo, a criação de corredores de penetração de inundações, entre outras ações. Ademais, as estruturas construídas são muito afetadas por processos erosivos (RIBEIRO *et al.*, 2013).

Em decorrência destas considerações, determinou-se que quanto maior o número de residentes do setor censitário, maior sua vulnerabilidade e, portanto, menor a sua capacidade adaptativa.

Através da distribuição espacial da população (Fig. 30), foi possível observar que alguns poucos setores costeiros são intensamente ocupados, enquanto uma maior extensão da linha de costa é identificada pelas classes mais altas de capacidade adaptativa – indicativo de menor ocupação.

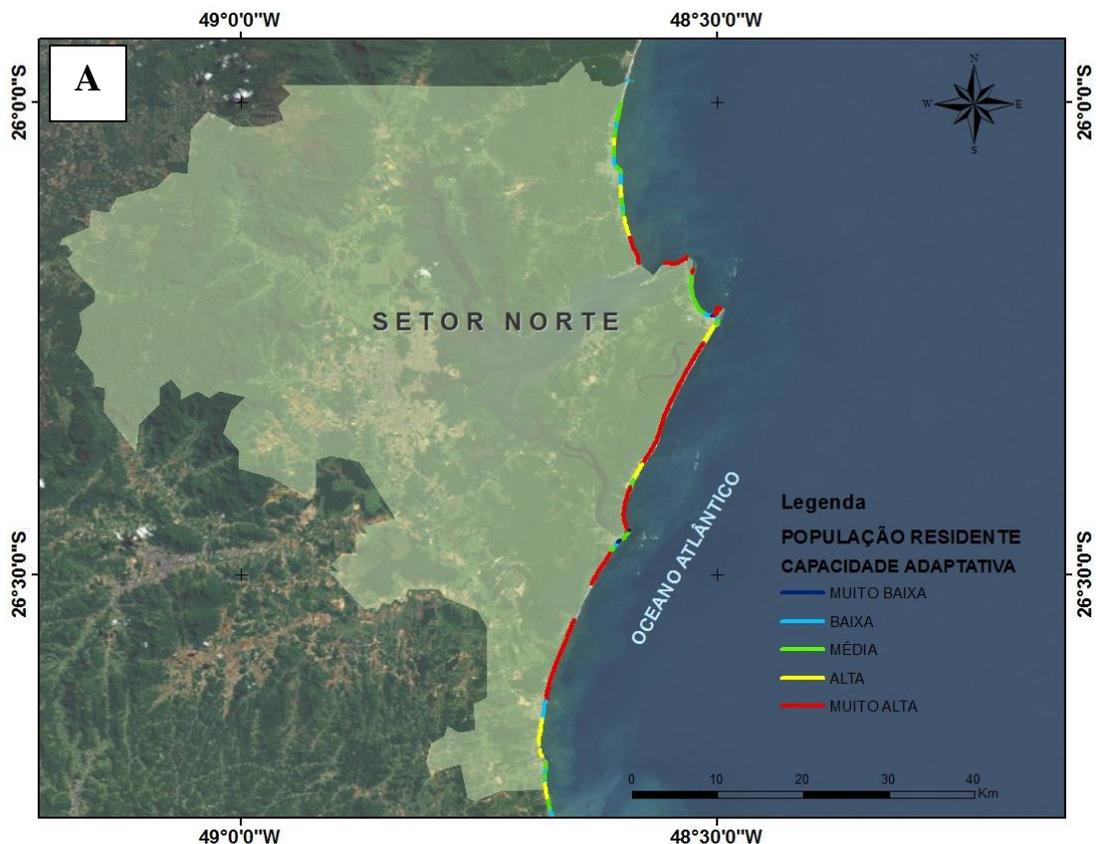
A espacialização da variável também manifestou uma tendência de menor concentração de pessoas sobre os trechos da orla expostos à direção sudeste de fluxo de energia – padrão evidente nos setores norte, centro e sul –, e maiores nos trechos abrigados em relação a esta direção, como pode ser observado nos setores centro e centro-norte.

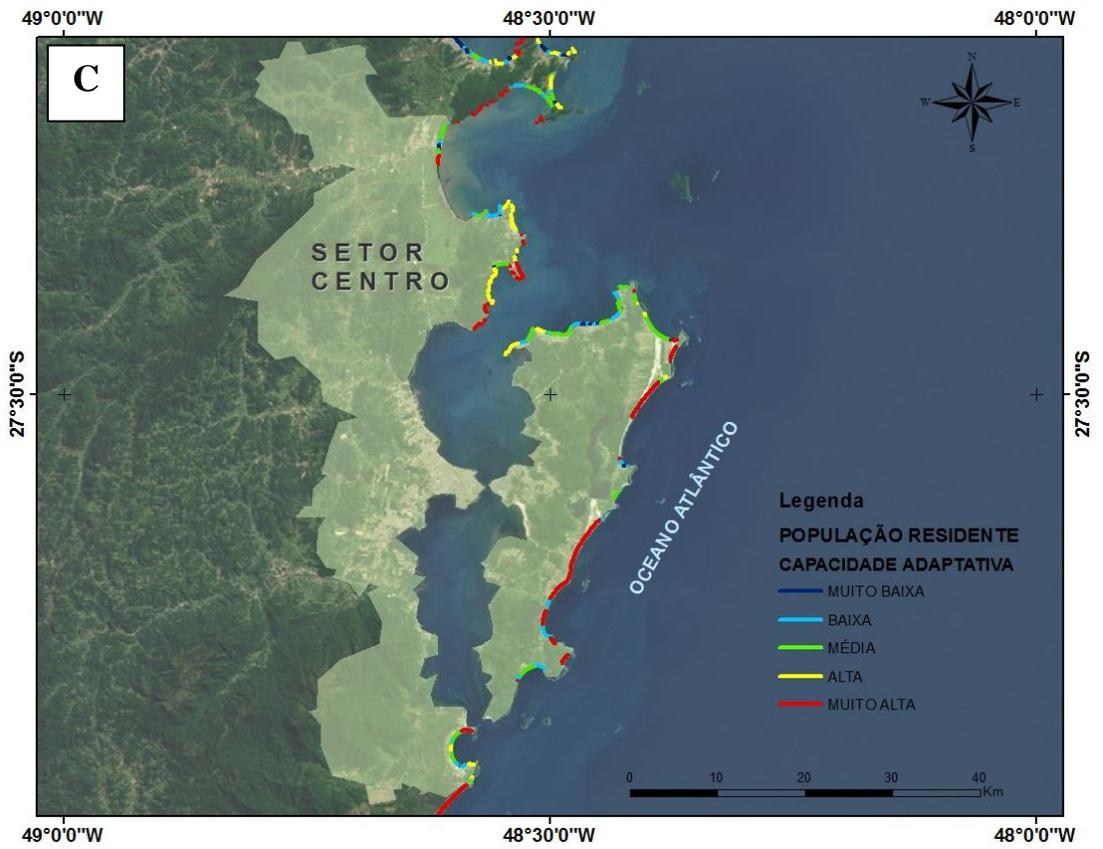
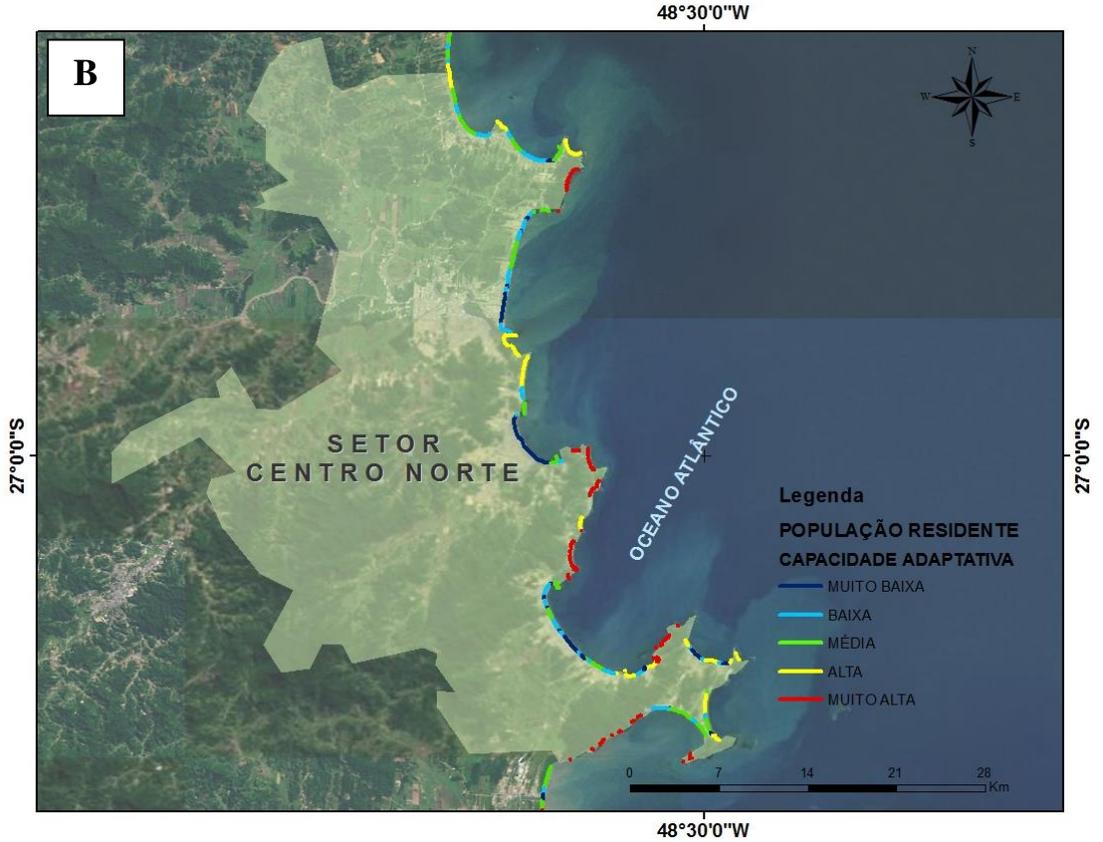
É válido ressaltar que a direção sudeste representou o fluxo médio de energia em toda a extensão da linha de costa.

O setor centro-norte apresenta, em relação aos demais, uma maior extensão da linha de costa classificada nos graus muito baixo e baixo. Neste setor, os trechos que se destacam pela elevada densidade populacional estão localizados nas praias de: Armação do Itapocorói, Navegantes, Itapema, Balneário Camboriú, Bombinha, Bombas.

Nos demais setores as classes muito baixa e baixa são pouco relevantes. Nestes, os trechos que mais se destacam situam-se nas praias de: Itapema do Norte, sul da Praia da Enseada, Itajubá e Praia do Sol (setor norte); Calheiros, Ganchos do Meio, Canasvieiras, sul da Barra da Lagoa, do Morro das Pedras e da Armação, Pântano do Sul, sul da Pinheira (setor centro); norte das praias do Porto e da Vila, sul da Praia do Mar Grosso, Prainha, norte da Praia do Camacho (setor centro-sul); trechos do Balneário Arroio do Silva e do Balneário Gaivota (setor sul).

Klein *et al.* (2006) descrevem um acelerado processo de urbanização no litoral centro-norte catarinense a partir dos anos 70, o que resultou na ocupação desordenada de dunas, praias e mangues. Os autores citam que, como consequência, muitos destes municípios foram afetados por eventos de erosão costeira, por exemplo: Piçarras, Navegantes e Balneário Camboriú.





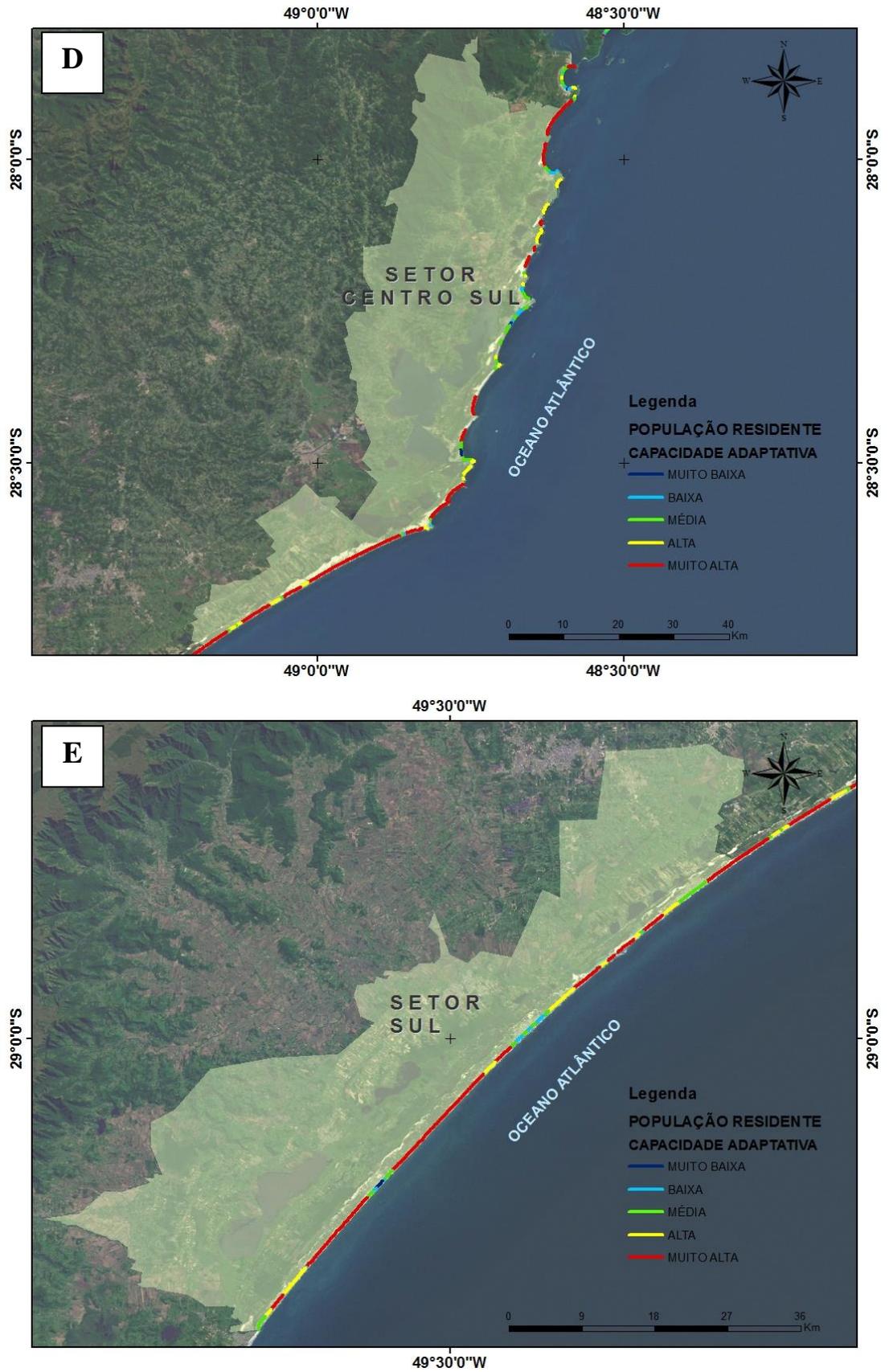


Figura 30 – Espacialização da capacidade adaptativa da linha de costa em relação à população residente.

6.3.2. RENDIMENTO DOMICILIAR

O padrão de espacialização desta variável (Fig. 31) apresentou uma relação com a distribuição espacial da população residente. Trechos de linha de costa com altas concentrações populacionais apresentaram, em sua maioria, valores mais altos de rendimento domiciliar.

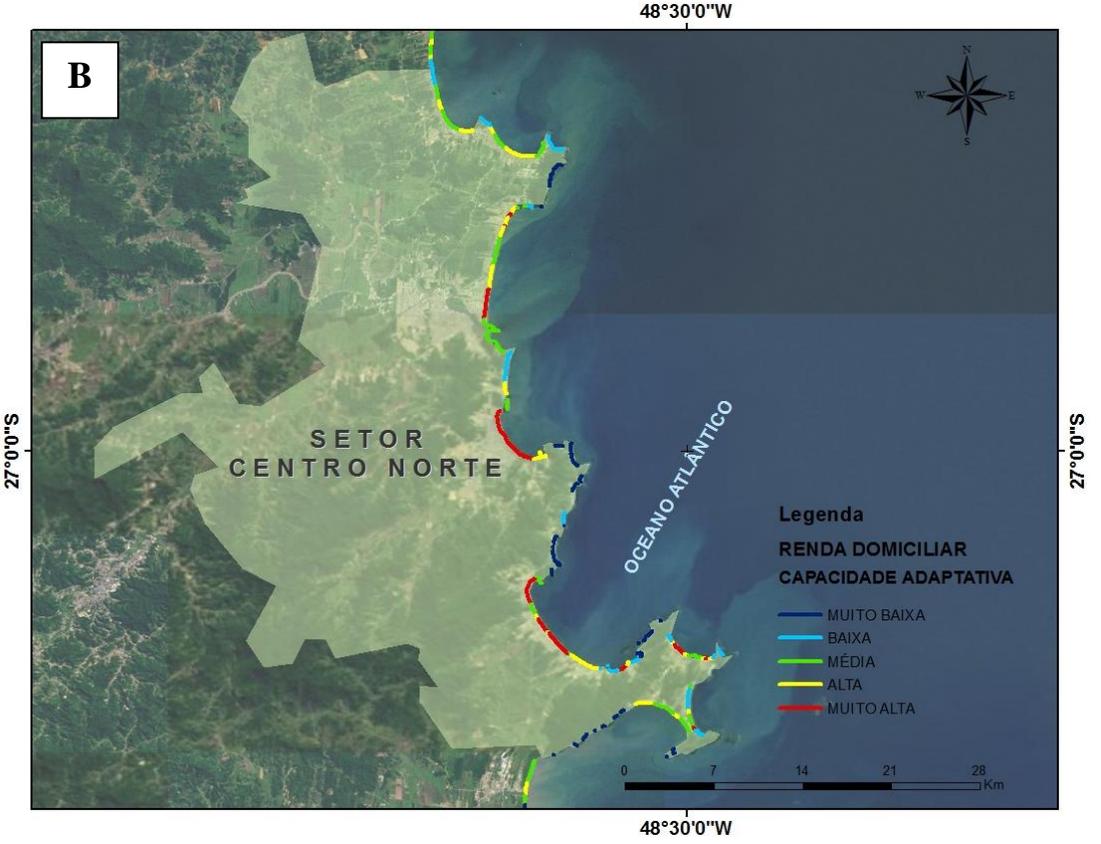
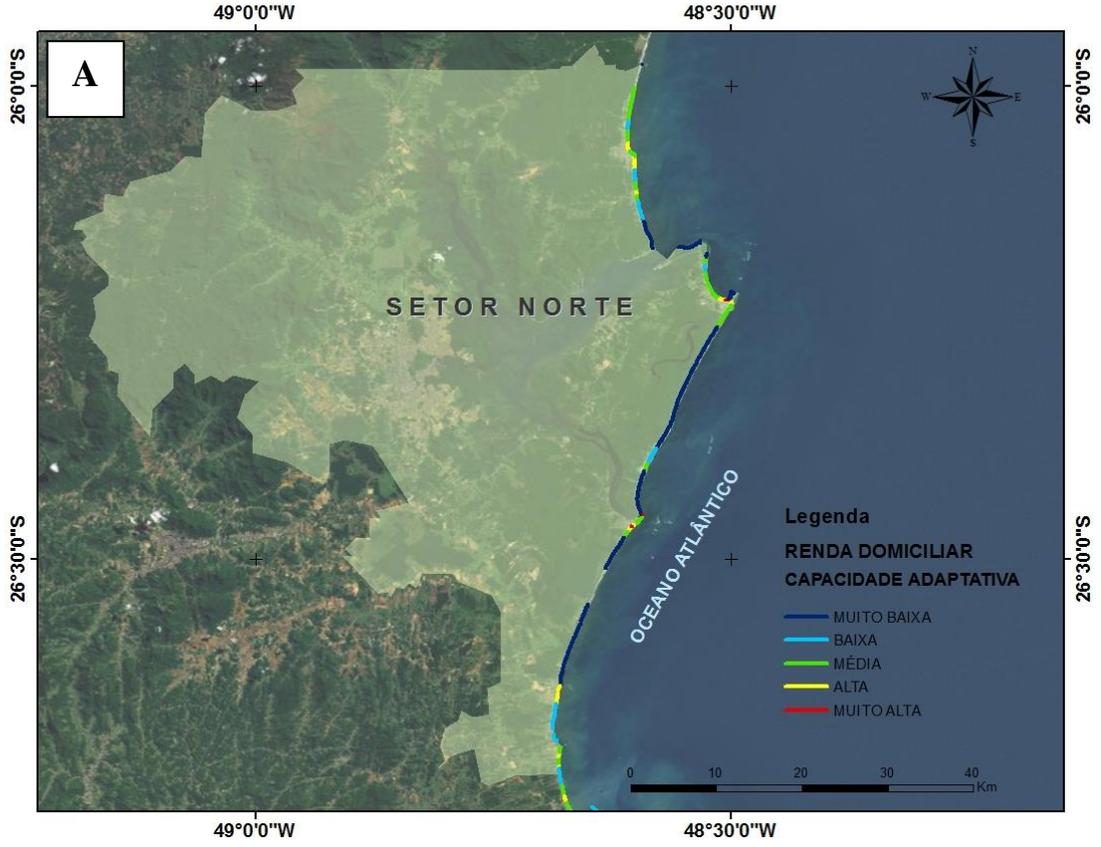
É importante lembrar que o dado referente ao rendimento representa o somatório dos valores de renda anual de todos os domicílios particulares, permanentes e improvisados pertencentes a determinado setor censitário.

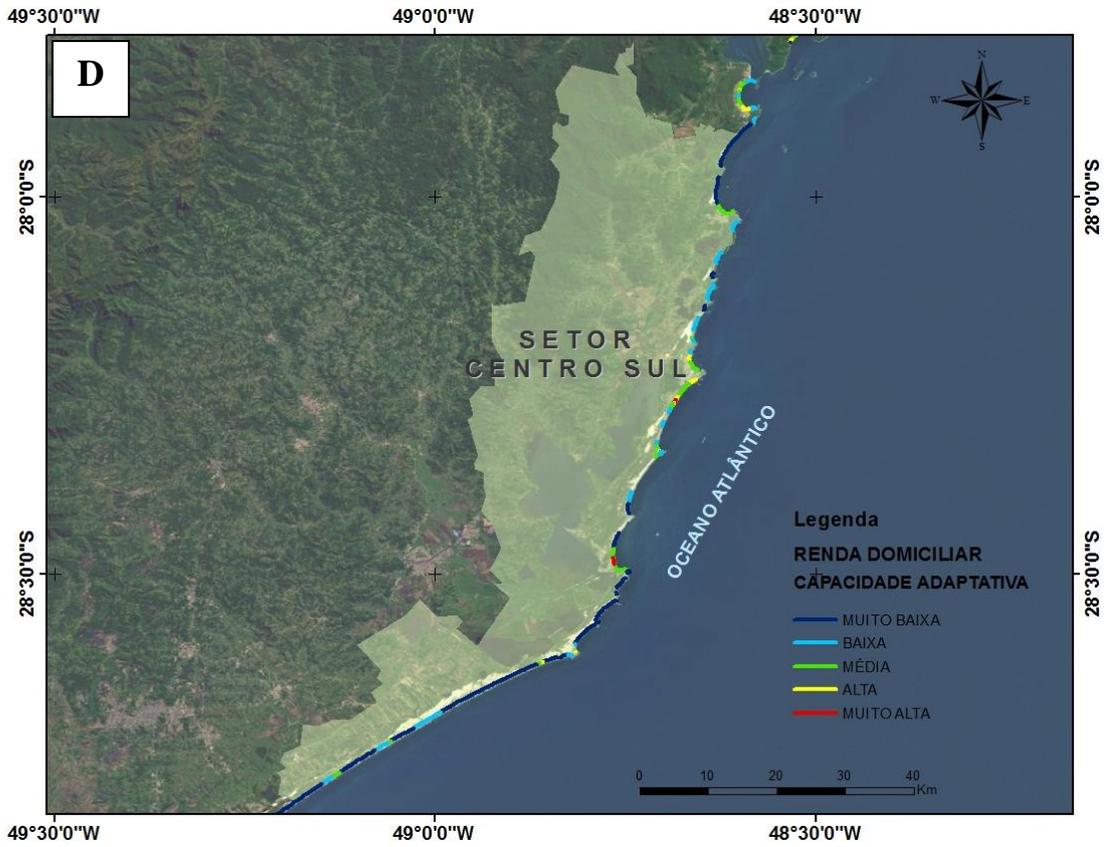
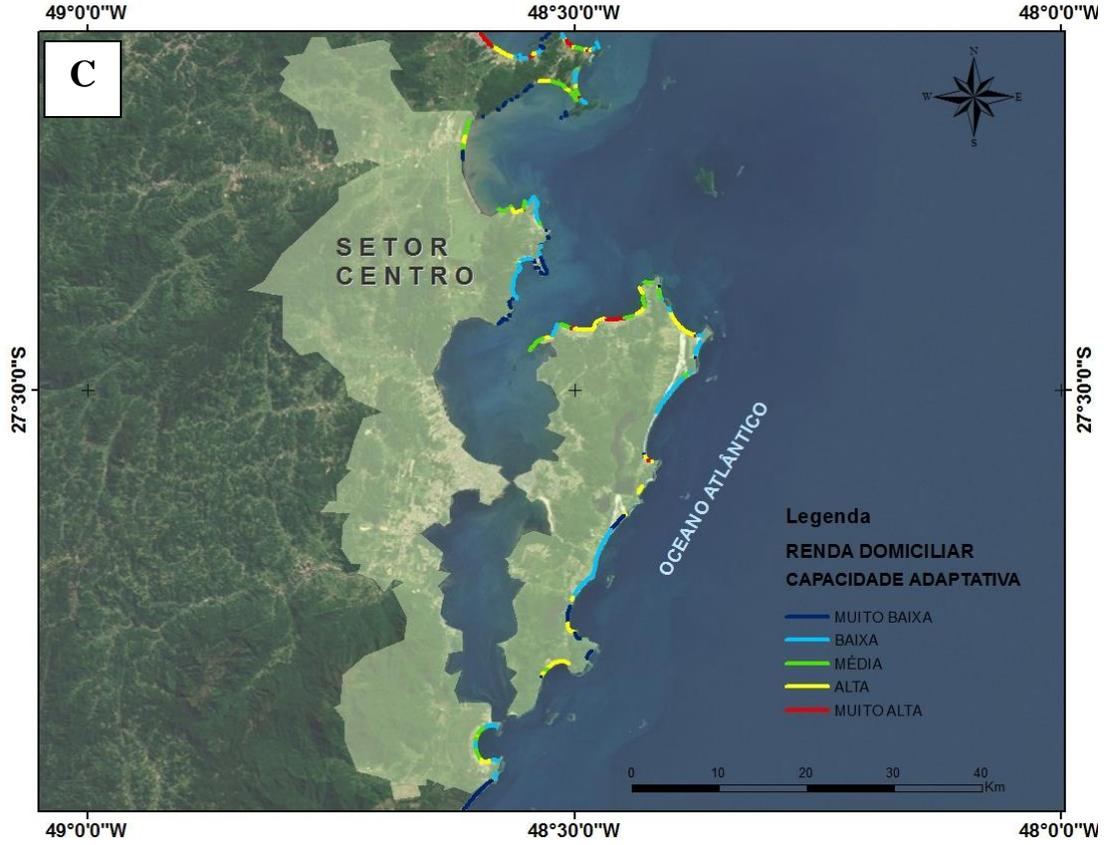
A espacialização desta variável segundo seus quintis de capacidade adaptativa expressou uma distribuição bastante desigual de renda domiciliar ao longo da linha de costa de Santa Catarina, com os setores de rendimento classificados entre muito baixo e baixo grau de capacidade adaptativa representando extensões da linha de costa muito superiores aos setores de graus de capacidade adaptativa acima do médio.

Setores censitários com maiores rendimentos tendem a resistir, enfrentar e se recuperar – com maior facilidade –, de eventuais impactos decorrentes de eventos extremos causados por ondas e marés de tempestade, uma vez que a renda está relacionada ao padrão construtivo das casas e, também, à possibilidade de construção de estruturas de proteção e de reconstrução das edificações danificadas. Logo, quanto mais alto o valor de rendimento domiciliar do setor censitário, maior será a sua capacidade adaptativa.

O setor centro-norte, comparado aos demais, apresentou uma maior extensão da orla classificada nos graus alto e muito alto de capacidade adaptativa em relação à renda, estando os maiores trechos localizados nas praias de: Navegantes, Itapema, Balneário Camboriú, Bombinhas, Bombas. Estes coincidem com os trechos de maior densidade populacional.

Nos demais setores, podem ser observados trechos poucos extensos classificados nas classes alta e muito alta, estando os mais evidentes nas praias de: Itapema do norte, Praia da Enseada, Praia do Sol (setor norte); Calheiros, Ganchos do Meio, Canasvieiras, Jurerê, Ingleses, sul da Barra da Lagoa, Armação, Morro das Pedras, Mole, Pântano do Sul, Solidão, sul da Pinheira (setor centro); praias do Porto e da Vila, Praia do Mar Grosso, do Camacho (setor centro-sul); trechos dos Balneários Gaivota e Arroio do Silva (setor sul).





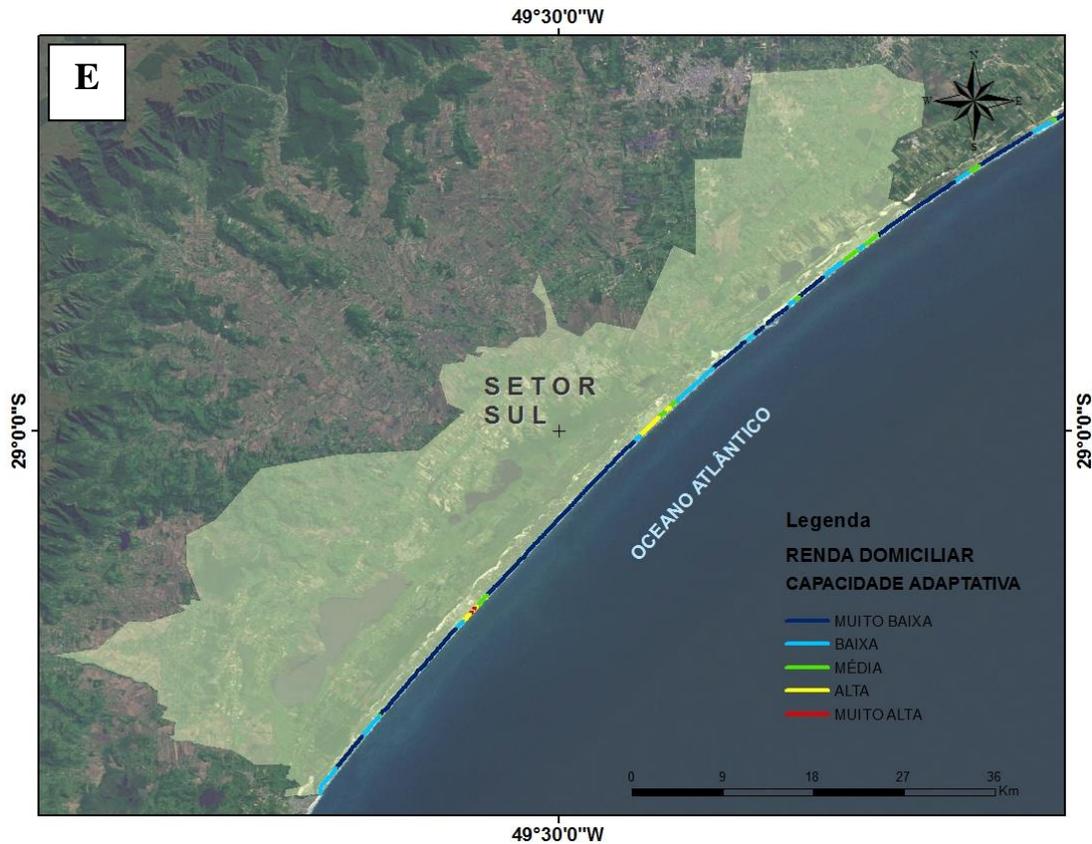


Figura 31 – Espacialização da capacidade adaptativa da linha de costa em relação ao rendimento domiciliar.

6.3.3. RESIDÊNCIA OCASIONAL

A linha de costa do Estado de Santa Catarina apresentou, em sua maior extensão, baixos números de residência ocasional, como pode ser observado na Figura 32. Todavia, alguns trechos pequenos apresentaram valores muito acima da média.

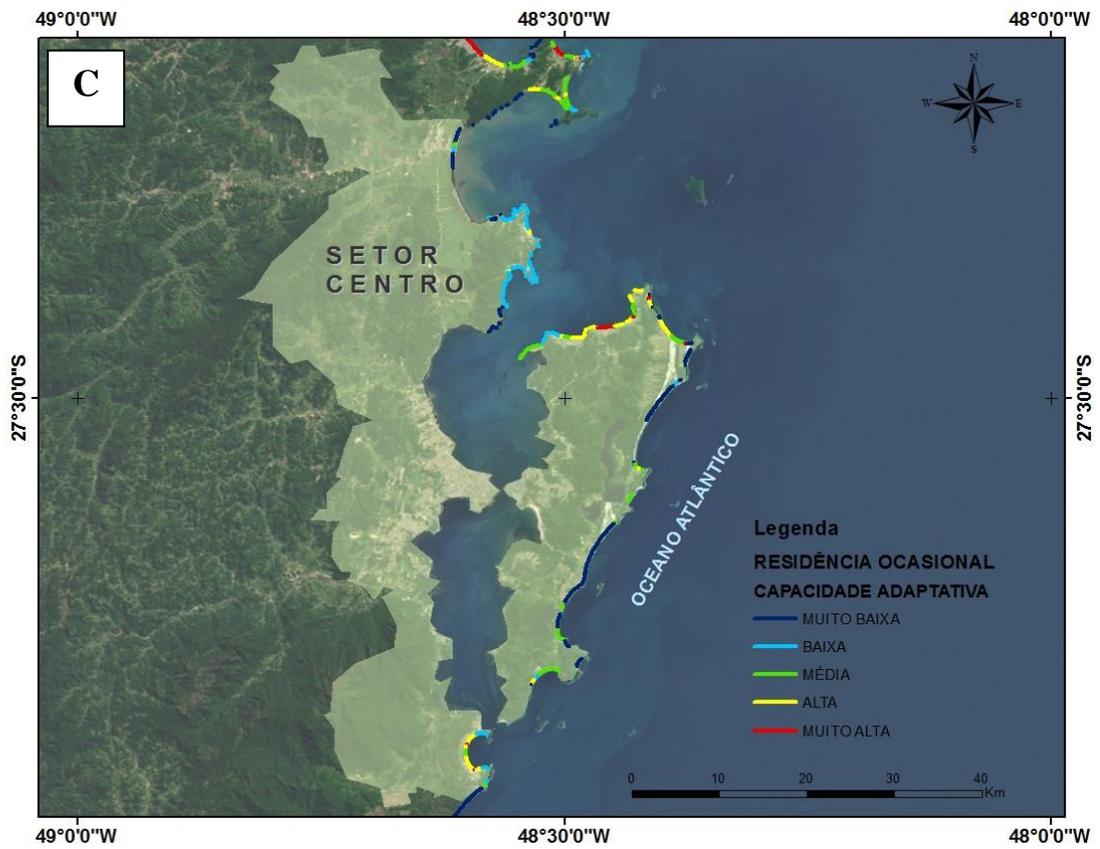
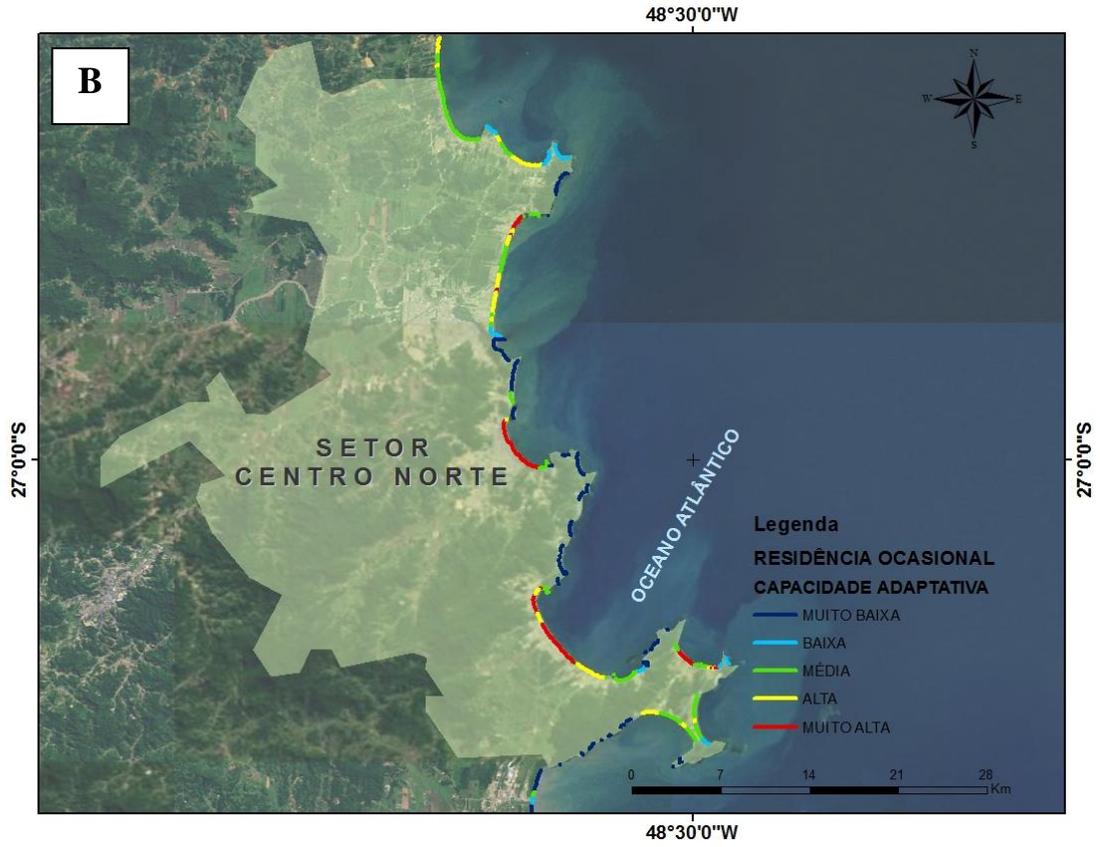
Quanto maior o número de domicílios de uso ocasional, maior a capacidade adaptativa, uma vez que esta variável indica a existência de uma segunda moradia a qual seus moradores podem se deslocar em casos de possíveis danos/perdas do domicílio sobre a linha de costa e, além disso, indica uma maior probabilidade de seus moradores não estarem presentes na ocorrência de eventos de tempestade, não sendo afetados nestas condições.

Os maiores números foram encontrados em trechos do setor centro-norte, coincidindo com segmentos de alto rendimento domiciliar. Exemplos são as praias de Balneário Camboriú, Navegantes, Itapema e Bombas.

Nos demais setores, os segmentos com números elevados – representados pelas classes alta e muito alta de capacidade adaptativa – são praticamente inexpressivos e os mais

evidentes se situam nas localidades de: Itapema do Norte, Praia do Sol, da Enseada e de Itaguaçu (setor norte); norte da Ilha de Florianópolis, Pinheira (setor centro); Prainha e trechos do Camacho e Esplanada (setor centro-sul); trechos das praias do Rincão e dos Balneários Gaivota e Arroio do Silva (setor sul).





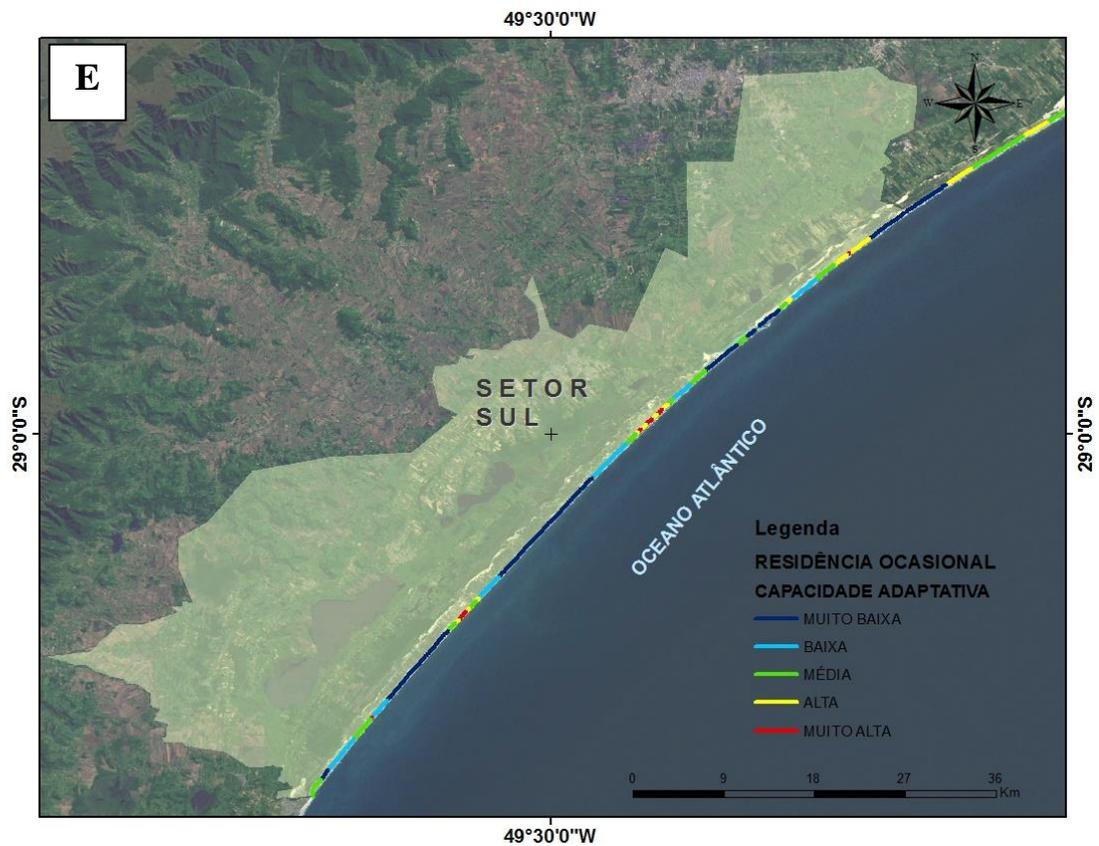
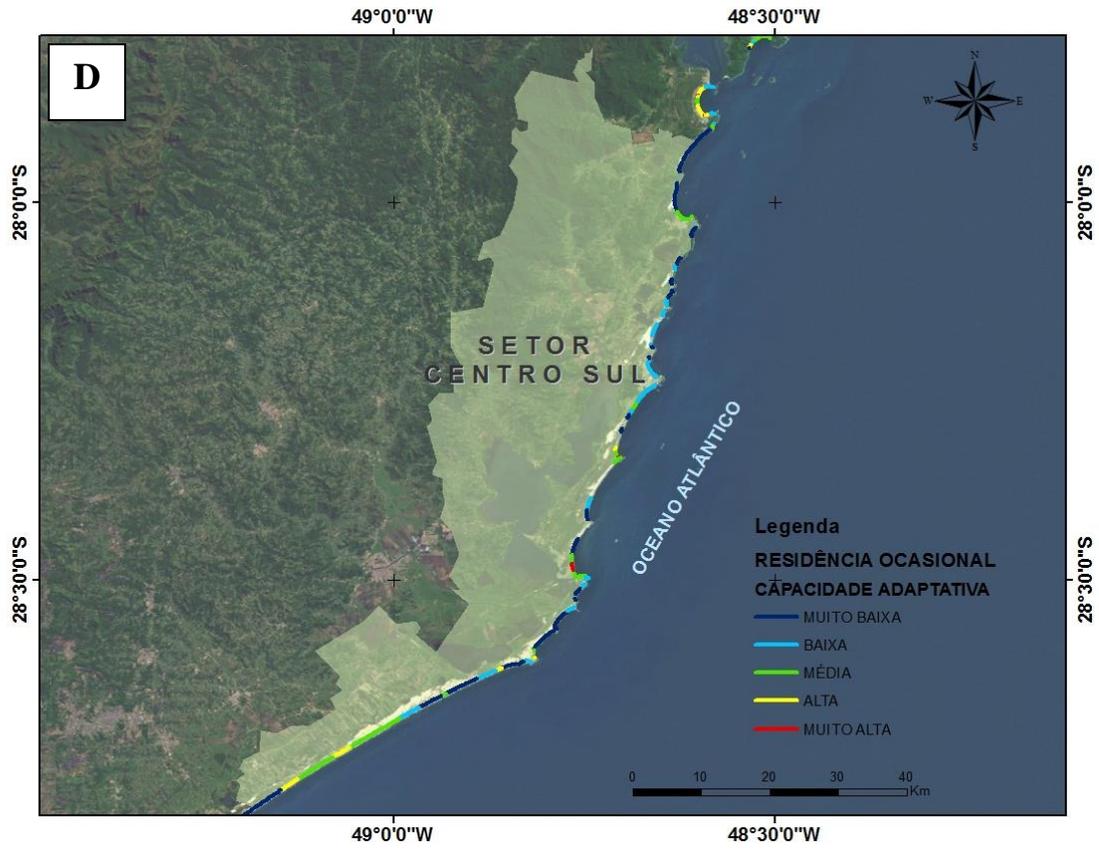


Figura 32 – Espacialização da capacidade adaptativa da linha de costa em relação à residência ocasional.

6.4. Modelo de capacidade adaptativa

A Tabela 11 apresenta os intervalos referentes às classes de capacidade adaptativa para os valores obtidos a partir do Índice de Capacidade Adaptativa (ICA).

Tabela 11 – Classes de capacidade adaptativa relativas aos valores resultantes do ICA.

CAPACIDADE ADAPTATIVA (GRAU)	ICA
MUITO ALTA (5)	3,47 - 5,17
ALTA (4)	2,89 - 3,46
MÉDIA (3)	2,31 - 2,88
BAIXA (2)	1,64 - 2,30
MUITO BAIXA (1)	0,81 - 1,63

Nos cinco setores do GERCO/SC foram verificados segmentos de linha de costa com graus de capacidade adaptativa variando entre 1 e 5, conforme observado na Figura 33. Nota-se, porém, que as classes alta e muito alta são mais expressivas nos setores centro e centro-norte, sobre os segmentos de renda domiciliar elevada e de alto número de residências de uso ocasional.

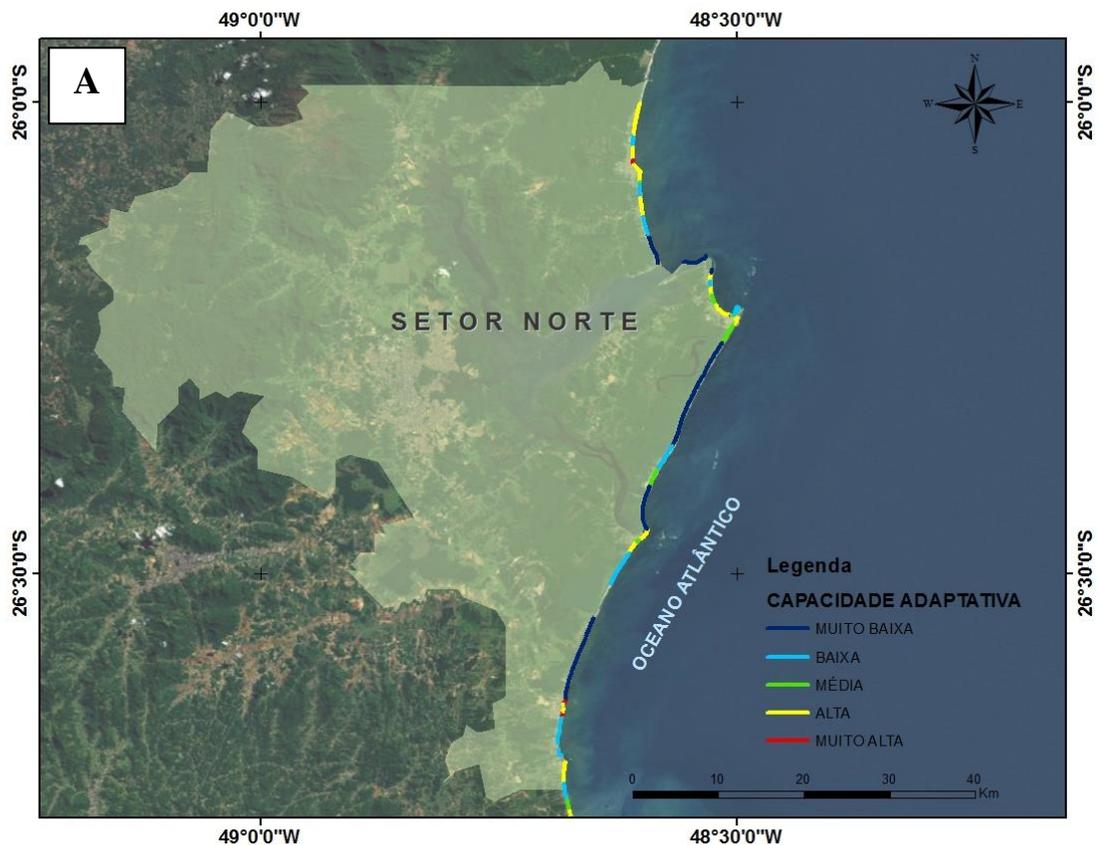
Partindo de uma visão mais generalizada, nota-se uma predominância das classes alta e, principalmente, muito alta em grandes balneários. Os segmentos de maior destaque, em termos de capacidade adaptativa, situam-se nas localidades de: balneários Rincão, Arroio do Silva e Gaivota (setor sul); Balneário Esplanada, Campo Bom, Camacho, sul da Barra do Molhe, Itapirubá (setor centro-sul); Pinheira, Solidão, Canasvieiras, Brava, Ingleses, sul de Palmas (setor centro); Bombas, Bombinhas, Itapema, Perequê, sul da praia de Balneário Camboriú, trechos de Navegantes e Armação do Itapocorói (setor centro-norte); Praia do Sol, sul da Praia da Enseada e Itapema do Norte (setor norte).

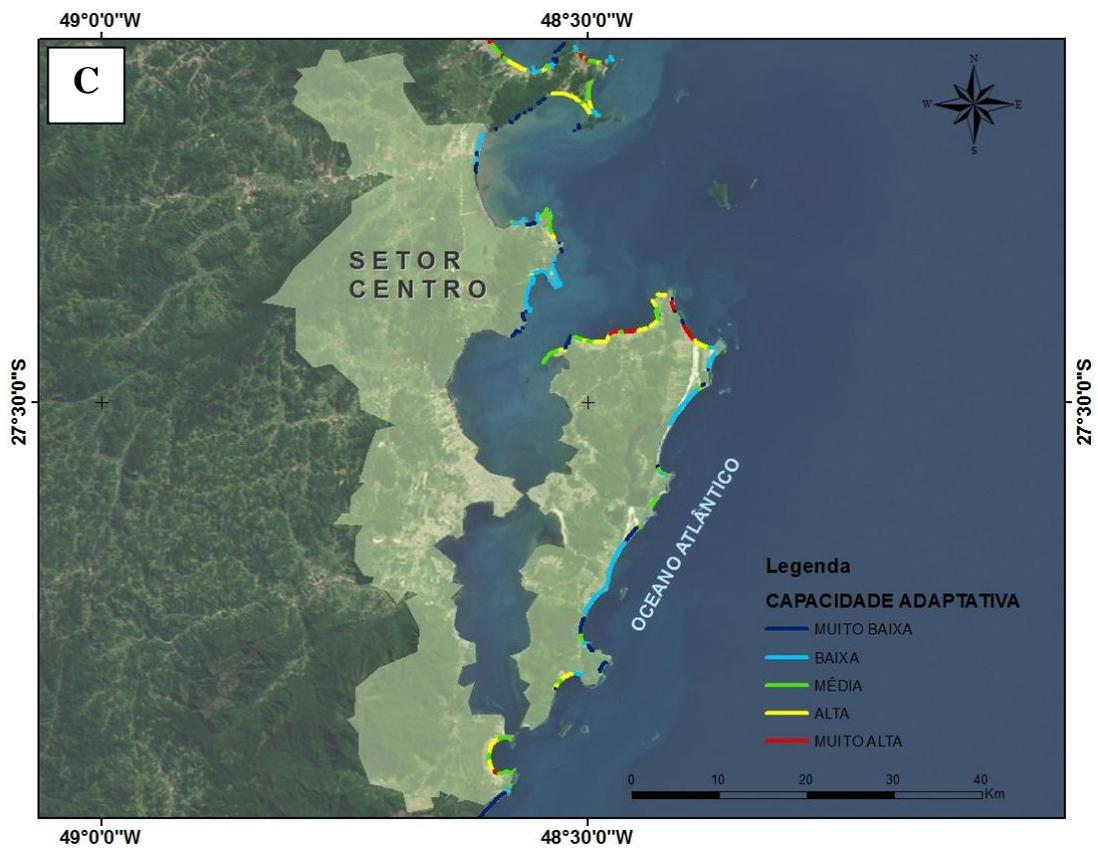
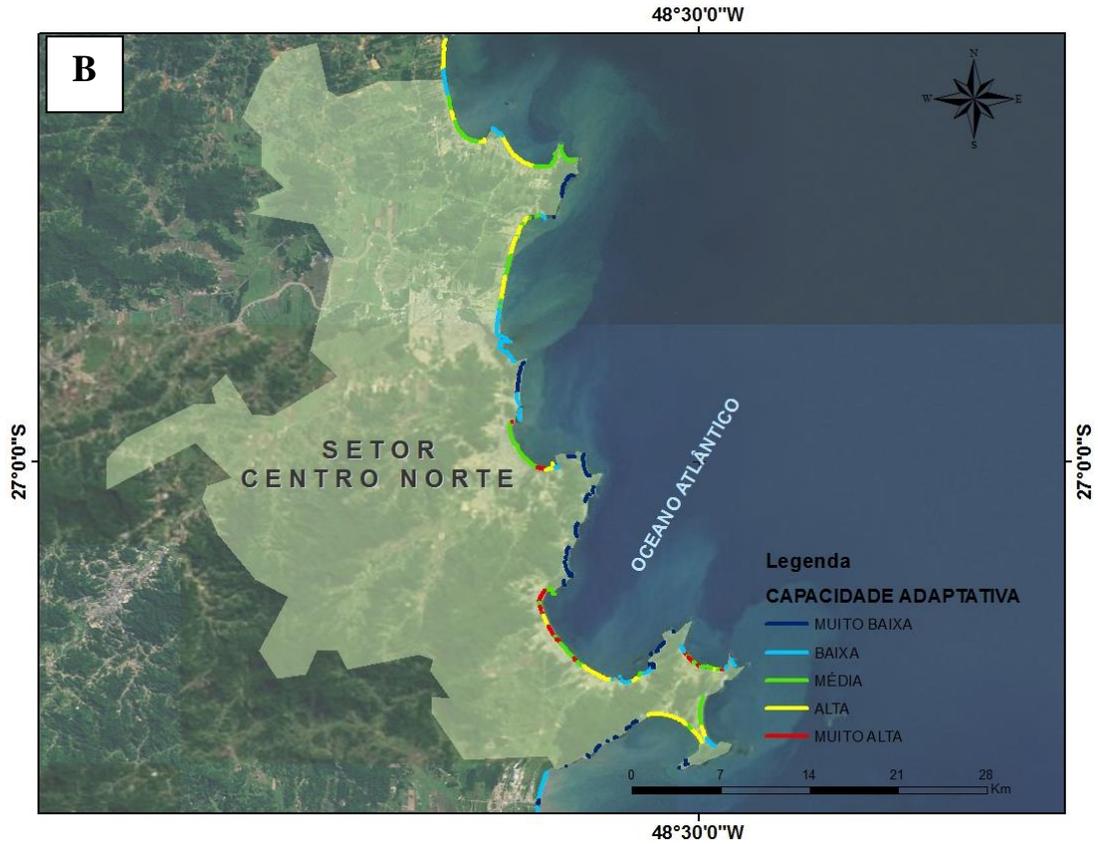
A análise das variáveis socioeconômicas demonstrou que, no geral, os segmentos mais populosos correspondem aos de maior rendimento domiciliar e possuem um maior número de residências de uso ocasional, sendo representados por maiores graus no modelo final de capacidade adaptativa. Portanto, as pessoas situadas sobre estes trechos estarão mais aptas para resistir, enfrentar e se recuperar dos possíveis impactos gerados por eventos de tempestade.

O modelo de capacidade adaptativa proposto apresenta alguma subjetividade, especialmente quanto às variáveis de entrada. Sugere-se que, na eventual continuidade desta

pesquisa, sejam incluídas outras variáveis socioeconômicas que não sejam tão diretamente relacionadas como o número de residentes e o rendimento domiciliar.

Um dado socioeconômico disponibilizado pelo IBGE e de interessante incorporação como variável ao índice de capacidade adaptativa é o padrão construtivo das edificações. Este pode servir de indicativo de uma maior/menor capacidade de enfrentar processos costeiros danosos resultantes de eventos extremos de ondas e marés, por exemplo: setores onde há predomínio de domicílios com parede externa de alvenaria podem, devido às propriedades físicas do material, apresentar maior resistência ao impacto mecânico de ondas, possuindo uma maior capacidade adaptativa. Todavia, os dados são apresentados por setor censitário em número de domicílios para nove classes de tipo de material, dificultando a reclassificação em graus de capacidade adaptativa.





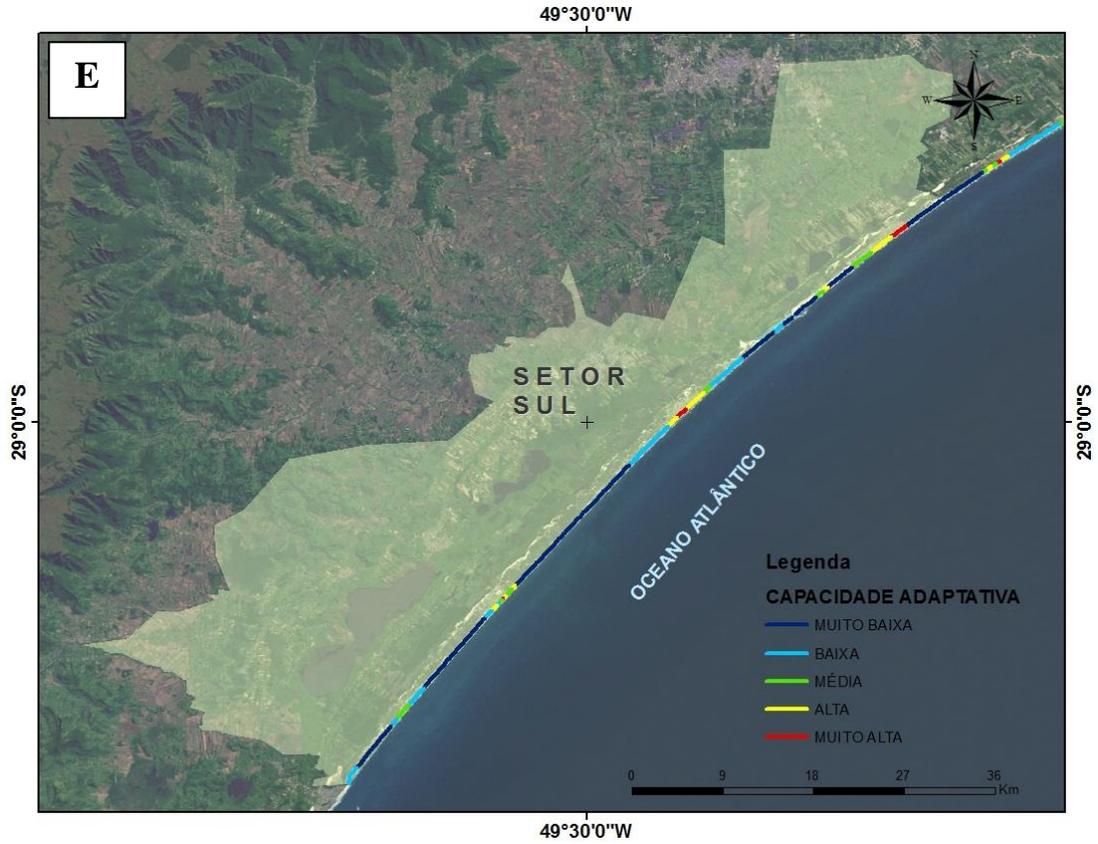
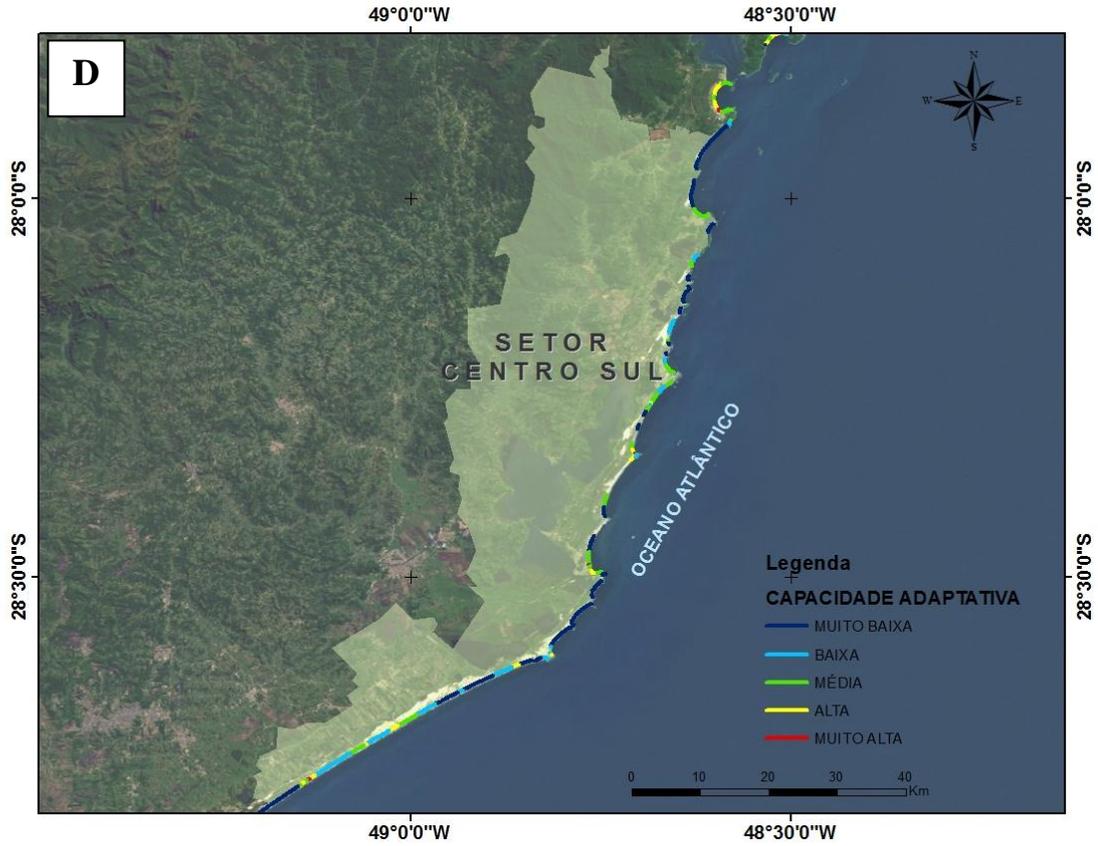


Figura 33 – Modelo de capacidade adaptativa.

6.5. Modelo de vulnerabilidade

O modelo de vulnerabilidade resultou da associação dos modelos de suscetibilidade e de capacidade adaptativa. Assim como no último, a vulnerabilidade foi apresentada somente para os segmentos de praia e de estruturas artificiais. Os trechos com ausência de dados do IBGE também foram excluídos do modelo.

A Tabela 12 apresenta os intervalos de classes para os valores resultantes do índice de vulnerabilidade costeira, enquanto a Tabela 13 apresenta os percentuais de linha de costa referentes às classes de vulnerabilidade para cada setor do GERCO/SC.

Tabela 12 – Classes de vulnerabilidade relativas aos valores resultantes do IVC.

VULNERABILIDADE (GRAU)	IVC
MUITO ALTA (5)	3,17 - 3,54
ALTA (4)	2,83 – 3,16
MÉDIA (3)	2,45 - 2,82
BAIXA (2)	2,01 – 2,44
MUITO BAIXA (1)	0,70 – 2,00

Tabela 13 – Percentual de linha de costa das cinco classes de vulnerabilidade por setor do GERCO/SC.

SETOR	MUITO ALTA (%)	ALTA (%)	MÉDIA (%)	BAIXA (%)	MUITO BAIXA (%)
NORTE	46	11	15	14	14
CENTRO-NORTE	23	8	27	17	25
CENTRO	23	9	31	13	24
CENTRO-SUL	5	6	31	36	22
SUL	7	0	26	31	36

Os maiores valores de vulnerabilidade foram encontrados para trechos centrais dos setores norte e centro-norte e para segmentos no norte do setor centro, como pode ser observado na Figura 34.

No setor norte, os trechos mais evidentes de vulnerabilidade alta e muito alta localizam-se nas praias de: Praia Grande, Ervino, região a norte da Praia do Sol, Praia do Forte e sul de Itapema do Norte. As regiões que se destacaram pelos menores graus de vulnerabilidade foram: proximidades do Canal do Linguado, praias do Sol, de Itajubá, Ubatuba, Enseada e o norte de Itapema do Norte.

Para o setor centro-norte, os graus de vulnerabilidade encontrados ao longo dos maiores trechos praias contínuos – como os dos municípios de Balneário Camboriú, Itapema

e Navegantes – foram menores, em sua maioria, quando comparados aos seus graus de suscetibilidade. Já os trechos praias pequenos, intercalados por costões rochosos, apresentaram um cenário de alta vulnerabilidade, em decorrência da alta suscetibilidade e da baixa capacidade adaptativa sobre estes locais.

Este setor é representado por grandes balneários onde, apesar de suas elevadas densidades populacionais, a capacidade adaptativa foi representada pelas classes alta e muito alta em um grande percentual de suas extensões de linha de costa – colaborando para a redução da vulnerabilidade.

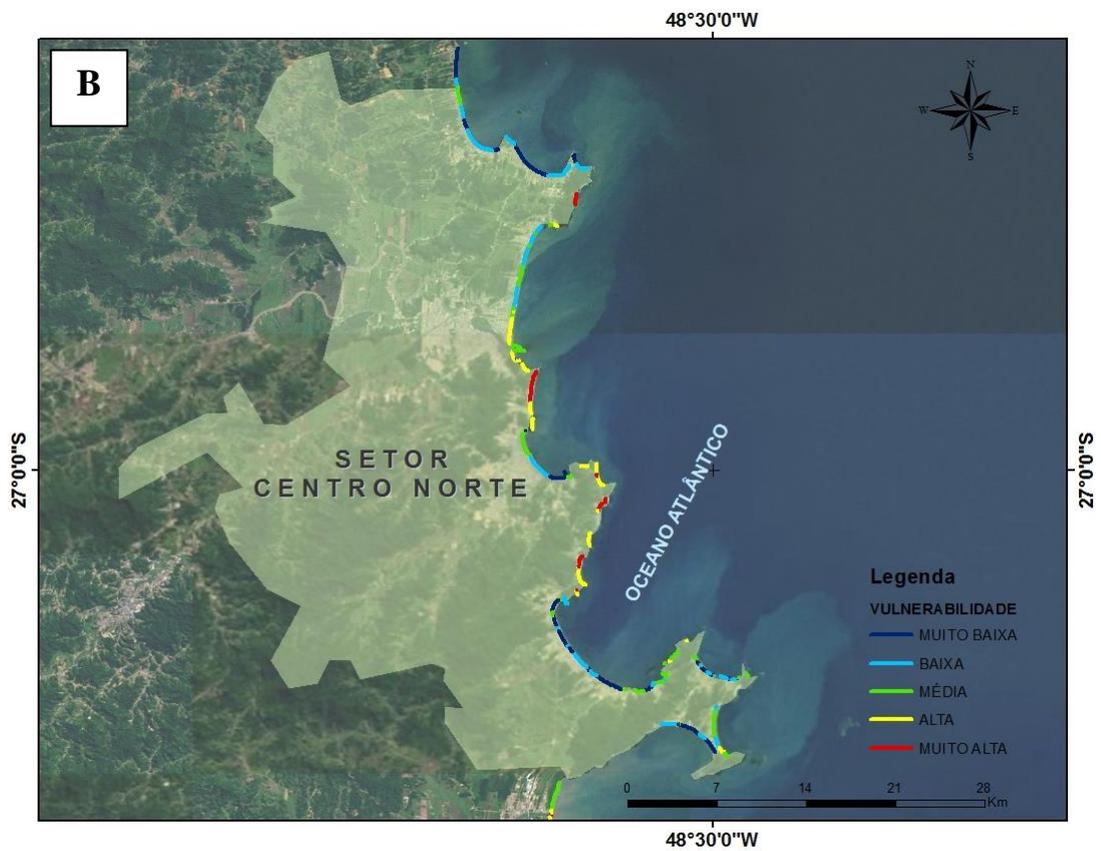
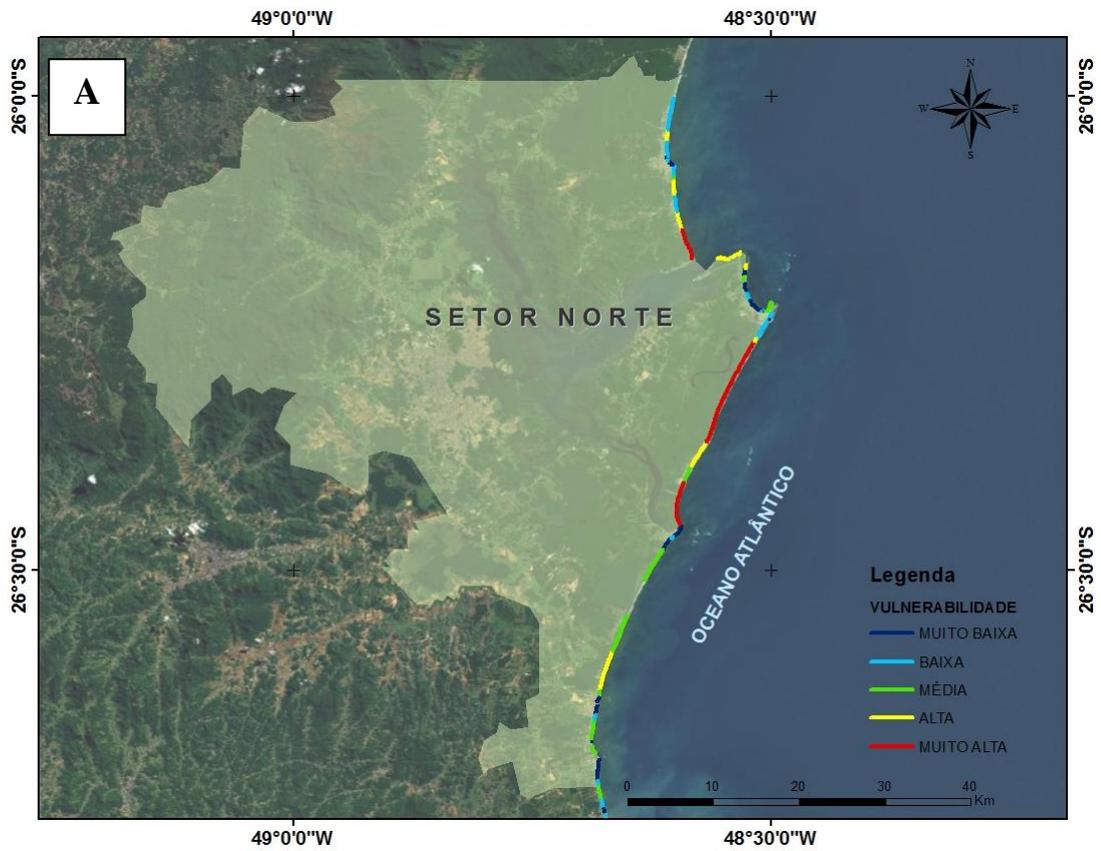
No setor centro, os trechos de maior vulnerabilidade foram encontrados predominantemente no norte do município de Tijucas e na costa leste dos municípios de Governador Celso Ramos (entre a Praia Grande e Currais) e da Ilha de Santa Catarina (com destaque para a Praia de Moçambique). Estes mesmos trechos apresentaram cenários mais suscetíveis (classe alta) e de baixos valores de capacidade adaptativa, os quais apesar de não terem elevadas densidades populacionais, apresentam rendimentos baixos e são ocupados por seus residentes ao longo de todo o ano; e não de forma ocasional.

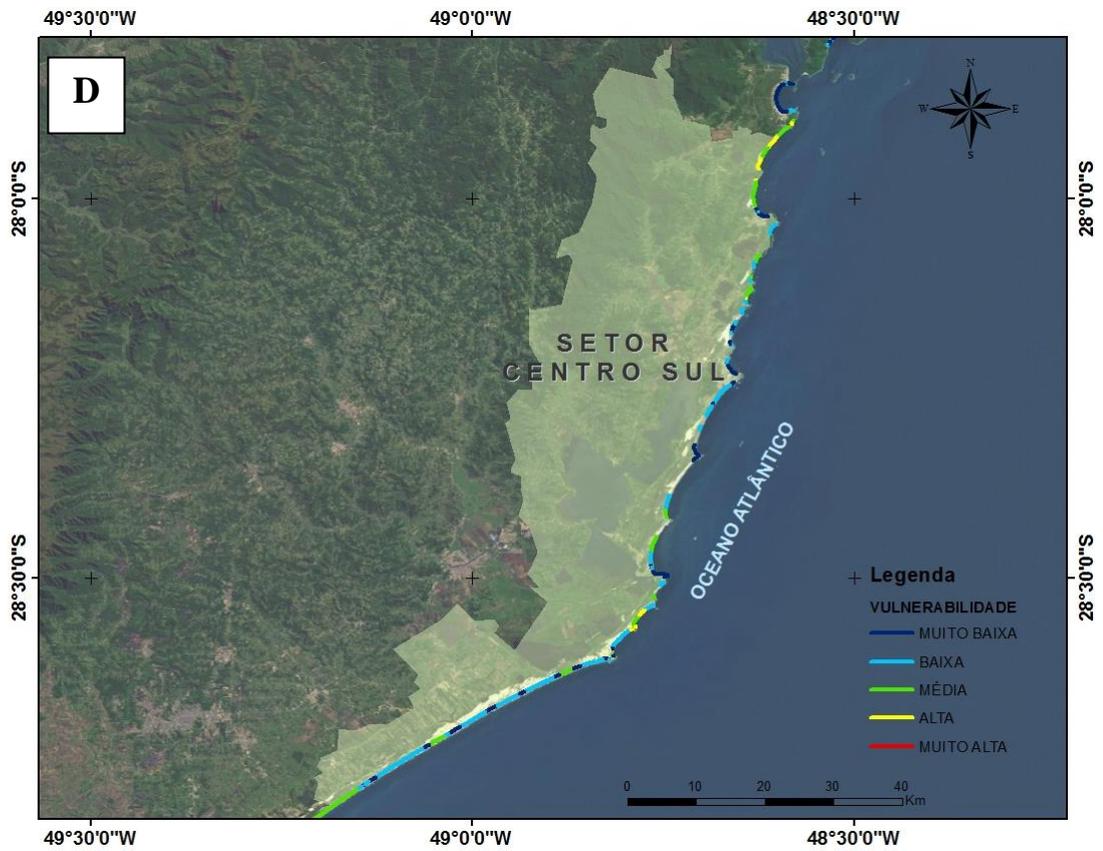
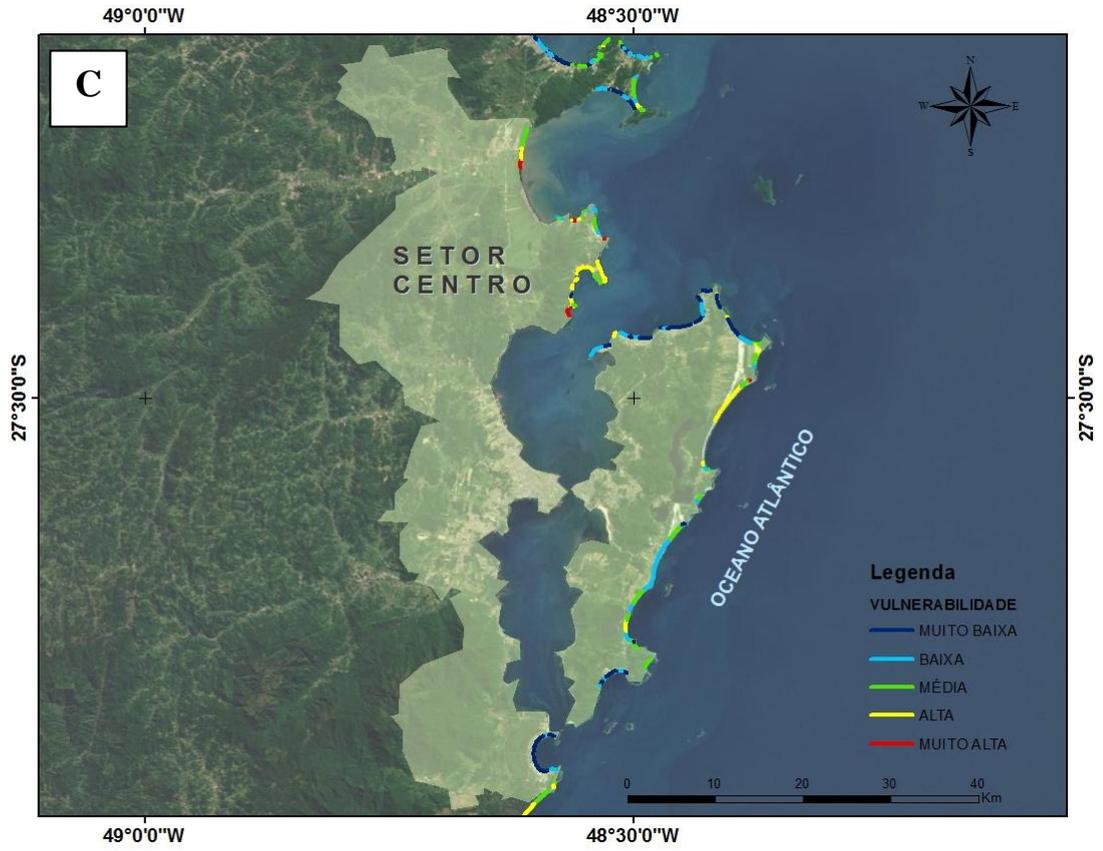
Por outro lado, nas praias do norte da Ilha de Santa Catarina – embora tenham apresentado altos valores de suscetibilidade – a vulnerabilidade foi representada por graus mais baixos (predominantemente muito baixo), em decorrência de sua capacidade adaptativa elevada. Um bom exemplo é a praia de Canasvieiras; onde embora haja um grande número de residentes, estes possuem uma renda bastante elevada e, em muitos casos, até mesmo uma segunda moradia.

Os setores sul e centro-sul apresentaram aproximadamente 90% da extensão de suas linhas de costa classificada entre os graus de vulnerabilidade de muito baixo a médio. Representam os setores menos vulneráveis e são marcados pela ausência da classe de vulnerabilidade muito alta. Apesar de os residentes destes setores apresentarem uma capacidade de adaptação a episódios extremos de ondas e marés predominantemente baixa (excetuando-se os grandes balneários, como os de Rincão, Arroio do Silva e Gaivota), os fatores físicos locais propiciam um cenário de baixa suscetibilidade, colaborando para a baixa vulnerabilidade encontrada para estes setores.

O caráter realístico do modelo foi julgado adequado uma vez que este apresentou menores graus de vulnerabilidade sobre setores com menos relatos de danos costeiros e sobre extensos balneários com alto grau de desenvolvimento econômico. Nos grandes balneários do setor centro-norte e norte, por exemplo, é frequente a ocorrência de danos costeiros – segundo

relatórios de danos da defesa civil –, todavia historicamente têm se recuperado em períodos relativamente curtos e com facilidade.





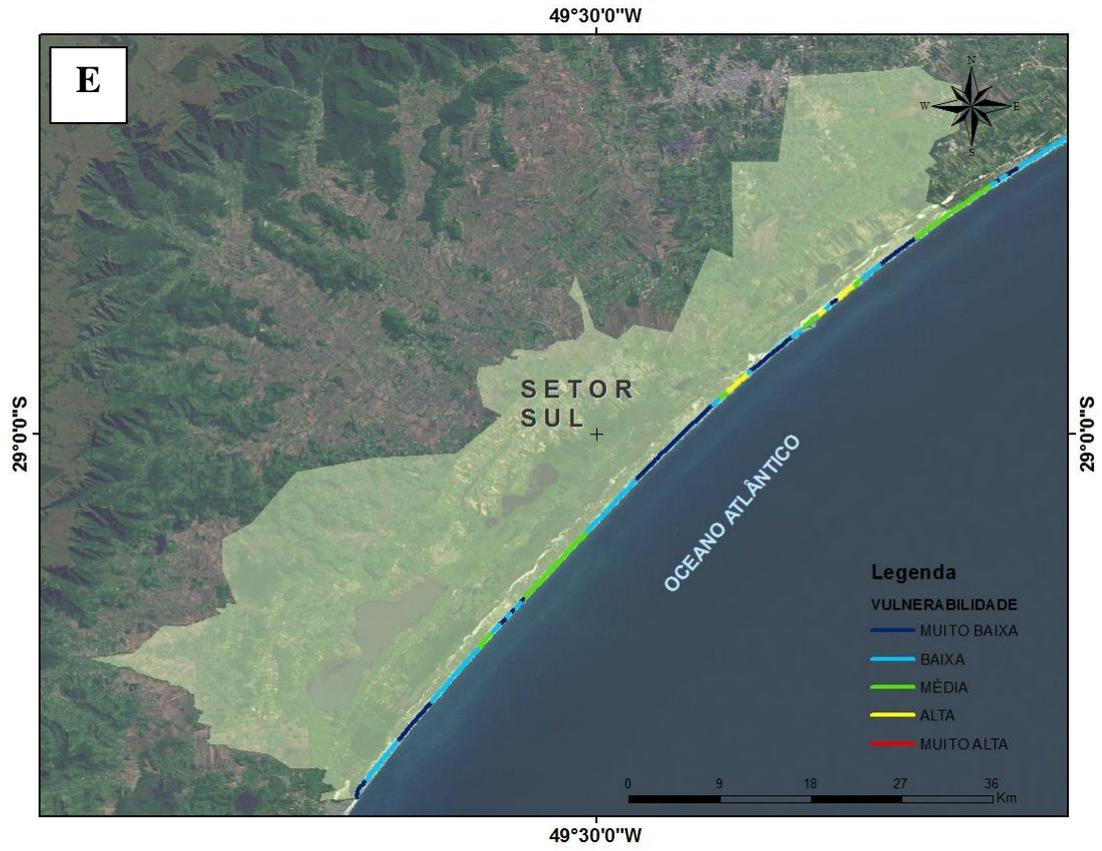


Figura 34 – Modelo de vulnerabilidade costeira.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi apresentada uma alternativa metodológica para o mapeamento da vulnerabilidade costeira frente a eventos extremos de ondas e marés de tempestade para o Estado de Santa Catarina, com base na criação de um índice multicritério atrelada a técnicas de análise espacial. Para tanto, sugeriu-se um índice de vulnerabilidade costeira (IVC) a partir da adaptação da fórmula do *Coastal Vulnerability Index* (CVI), inicialmente proposto por Gornitz (1991), à área de estudo.

O termo vulnerabilidade foi entendido, segundo a definição de CEPAL (2012a), como a capacidade de uma área se antecipar, enfrentar, resistir e se recuperar do impacto causado por um determinado agente, em função de seus múltiplos aspectos físicos e socioeconômicos. Desta forma, procurou-se caracterizar a resposta do meio físico frente a eventos costeiros de tempestade e compreender como a população, ao inserir-se sobre este, influencia na magnitude dos impactos decorrentes de tais episódios.

O IVC foi determinado a partir da somatória de dois outros índices: o índice de suscetibilidade costeira (ISC) e o índice de capacidade adaptativa (ICA). O primeiro é composto apenas por variáveis do meio físico, enquanto o segundo compõe-se de variáveis socioeconômicas.

Os setores mais vulneráveis foram aqueles que se enquadraram na maioria das características seguintes: 1) tipo de linha de costa menos resiliente; 2) pequena largura de praia; 3) alta amplitude de maré meteorológica; 4) alta amplitude de maré astronômica; 5) maior exposição ao fluxo médio de energia e às maiores alturas de onda; 6) alta taxa de retrogradação da linha de costa; 7) grande número de residentes; 8) baixo rendimento domiciliar e 9) poucos domicílios de uso ocasional.

O método utilizado possibilitou identificar espacialmente as diferentes situações de vulnerabilidade costeira a eventos extremos de ondas e marés de tempestade ao longo da linha de costa de Santa Catarina em um período relativamente curto.

Os setores menos suscetíveis (sul e centro-sul) também foram os menos vulneráveis – embora tenham apresentado graus de capacidade adaptativa relativamente baixos –, indicando, portanto, a grande relevância dos fatores físicos/ambientais na determinação de um cenário menos vulnerável sobre estes locais.

Já os maiores valores de vulnerabilidade foram encontrados para trechos centrais dos setores norte e centro-norte e para segmentos no norte do setor centro.

Em alguns segmentos praias os fatores socioeconômicos tiveram grande relevância, o que pôde ser constatado através da comparação entre os modelos de suscetibilidade e de vulnerabilidade. Como exemplo, tem-se a presença de grandes balneários no setor centro-norte (como os dos municípios de Balneário Camboriú, Itapema e Navegantes), onde os graus de vulnerabilidade encontrados foram inferiores, em sua maioria, aos graus de suscetibilidade dos mesmos segmentos. O padrão encontrado para estes grandes balneários pode ser justificado pelos seus altos valores de capacidade adaptativa, para os quais a renda costuma ser elevada e há uma grande presença de domicílios de uso ocasional; apesar do elevado número de residentes comumente encontrado nos mesmos.

Sob o ponto de vista econômico, a falta de uma adequada gestão da zona costeira – que leve em consideração a vulnerabilidade dos setores praias – aliada ao desordenado uso e ocupação do solo tornam necessárias e mais onerosas as obras de ordem preventiva e/ou corretiva.

Ressalta-se também a importância da quantificação dos investimentos necessários à recuperação e a estimação das perdas para os locais afetados por processos costeiros decorrentes de eventos extremos de ondas e marés. No entanto, conforme CEPAL (2012c), ambas se inserem na abordagem de risco.

A análise do risco compreende necessariamente, além da identificação de perigos, uma quantificação e/ou qualificação dos seus efeitos para a coletividade em termos de prejuízos materiais e imateriais (DEYLE *et al.*, 1998 apud MULER, 2012).

Espera-se que esta pesquisa possa embasar futuras análises de risco para a orla catarinense. Dependendo do propósito do estudo, a estimativa de perdas pode ser feita a partir do número de edifícios danificados, de vítimas humanas, desalojados, entre outros. Para a elaboração de planos de longo prazo também é importante a valoração das perdas econômicas.

Além disso, espera-se que este trabalho possa dar suporte a estudos de maior resolução, essenciais na implementação de medidas concretas de proteção à costa.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU DE CASTILHOS, J.; ROMEU, M.A.R.; GRÉ, J.C.R. Simulation of wave propagation along the northern coast of Santa Catarina, Brazil. *Journal of Coastal Research*, v. 39, p. 1638-1642, 2006. Special Issue.
- ARAUJO, C. E. S.; FRANCO, D.; MELO, E.; PIMENTA, F. Wave regime characteristics of the Southern Brazilian Coast. In: International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries. *Proceedings...* Sri Lanka: COPEDEC, 2003. p. 1-15.
- ARAUJO, R. S.; SILVA, G. V.; FREITAS, D.; KLEIN, A. H. F. Georreferenciamento de fotografias aéreas e análise da variação da linha de costa. Itajaí: UNIVALI, 2009.
- AYOADE, J. O. *Introdução à climatologia para os trópicos*. 4 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 332p.
- BALICA, S. F.; WRIGHT, N. G.; VAN DER MEULEN, F. A flood vulnerability index for coastal cities and its use in assessing climate change impacts. *Nat. Hazards*, v. 64, p. 73-105, 2012.
- BIRKMANN, J. *Danger need not spell disaster, but how vulnerable are we?* Research Brief, n.1. Tokyo: United Nations University, 2005. 7 p.
- BITENCOURT, D. P.; QUADRO, M. F. L.; CALBETE, N. O. Análise de dois casos de ressaca no litoral da região sul no verão de 2002. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. *Anais...* Foz do Iguaçu, 2002. p. 3910-3917.
- BOAK, E. H.; TURNER, I. L. Shoreline definition and detection: a review. *Journal of Coastal Research*, West Palm Beach, Florida, v. 21, n. 4, p. 688-703, 2005.
- BONETTI, J.; KLEIN, A. H. F.; MULER, M.; DE LUCA, C. B.; SILVA, G. V.; TOLDO JR., E. E.; GONZÁLEZ, M. Spatial and numerical methodologies on coastal erosion and flooding risk assessment. In: FINKL, C. (Ed.). *Coastal Hazards*. Dordrecht: Springer, Coastal Research Library Series, 2013. p. 423-442.
- BOOIJ, N.; RIS, R. C.; HOLTHUIJSEN, L. H. A third-generation wave model for coastal regions, part I: model description and validation. *Journal of Geophysical Research*, v. 104, n. C4, p.7649-7666, 1999.
- CARTER, R. W. G. *Coastal environments: an introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines*. London: Academic Press, 1988. 617 p.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos. *Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe: dinámicas, tendencias y variabilidad climática*. Santiago de Chile: Naciones Unidas, 2011a. 263 p.
- _____. *Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe: guía metodológico*. Santiago de Chile: Naciones Unidas, 2011b. 31 p.

_____. *Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe: vulnerabilidad y exposición*. Santiago de Chile: Naciones Unidas, 2012a. 174 p.

_____. *Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe: efectos teóricos*. Santiago de Chile: Naciones Unidas, 2012b. 154 p.

_____. *Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe: riesgos*. Santiago de Chile: Naciones Unidas, 2012c. 41 p.

_____. *Estudio regional de los efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe: visor web de resultados*. Disponível em: < <http://www.c3a.ihcantabria.com/> >. Acesso em: out. 2013.

CHURCH, J.A.; CLARK, P. U (Org.). Sea level change. In: IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). *Climate Change 2013: the physical science basis*. Working group I contribution to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. p. 1137- 1216.

CROOKS, S. The effect of sea-level rise on coastal geomorphology. *Ibis*, v.146, n.1, p. 18-20, 2004. Supplement.

CUTTER, S. L. Vulnerability to environmental hazards. *Human Geography*, Columbia, v. 20, n. 4, p. 529-539, 1996.

DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; CARVALHO, M.S. (Ed.). *Análise espacial de dados geográficos*. São José dos Campos: INPE, 2002. 26 p.

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

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

EURIMAGE. *Eurimage Products and Services: QUICKBIRD*. California: Digital Globe, 2001. 10 p.

FGDC-STD (FEDERAL GEOGRAPHIC DATA COMMITTEE). *Geospatial positioning accuracy standards (part 3): national standard for spatial data accuracy*. Washington: Federal Geographic Data Committee, 1998. 25 p.

FREITAS, D. *Quantificação de perigos costeiros e projeção de linhas de costa futuras para a Enseada do Itapocorói*. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Oceanografia). Itajaí: Universidade do Vale do Itajaí, 2008. 61 p.

GORNITZ, V. Global coastal hazards from future sea level rise. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* (Global and Planetary Change Section), Amsterdam, v. 89, p. 379-398, 1991.

GORNITZ, V.; WHITE, T. W. *A coastal hazards data base for the U.S. East Coast*. ORNL/CDIAC-45, NDP-043A. Oak Ridge: Oak Ridge National Laboratory, 1992. 83 p.

GORNITZ, V.; WHITE, T.W.; CUSHMAN, R.M. Vulnerability of the US to future sea level rise. In: 7th Symposium on Coastal and Ocean Management, Long Beach, 1991. *Proceedings...* Oak Ridge: Oak Ridge National Lab., 1991. p. 1345-1359.

GRIMM, A. M. Clima da Região Sul do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. (Org.). *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 259-275.

HERRMANN, M. L. P.; CARDOZO, F.; BAUZYS, F.; PEREIRA, G. Frequência dos Desastres Naturais no Estado de Santa Catarina no Período de 1980 a 2007. In: XII ENCUESTRO DE GEOGRAFOS DE AMERICA LATINA. *Anais...* Montevideú, Uruguai, 2009. 12 p.

HOEFEL, F. G. *Morfodinâmica de praias arenosas oceânicas: uma revisão bibliográfica*. Itajaí: Ed. da UNIVALI, 1998. 92 p.

HORN, N. Santa Catarina – Ilha de Santa Catarina. In: MUEHE, D. (Org.). *Erosão e progradação no litoral brasileiro*. Brasília, DF: MMA, 2006. p. 402-412.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). *Cidades@*. 2010a. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>>. Acesso em: nov. 2013.

_____. *Censo Demográfico 2010: Famílias e domicílios (resultados da amostra)*. Rio de Janeiro: IBGE, 2010b. 203 p.

_____. *Base de informações do Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo por setor censitário*. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. 201 p.

_____. *Censo demográfico 2000: Características da população e dos domicílios: Resultados do Universo*. 2000. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2000>>. Acesso em: nov. 2013.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). *Climate Change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability*. Working group II contribution to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 959 p.

_____. *Climate Change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability*. Working group II contribution to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 976 p.

ISDR (International Strategy For Disaster Reduction). *Living with Risk: A global review of disaster reduction initiatives*. Geneva: World Meteorological Organization and the Asian Disaster Reduction Center, 2004. 114 p.

- KLEIN, A. H. F.; MENEZES, J. T.; DIEHL, F. L.; ABREU, J. G. N.; POLETTE, M.; SPERB, R. M.; SPERB, R. C. Santa Catarina – Litoral Centro Norte. In: MUEHE, D. (Org.). *Erosão e progradação no litoral brasileiro*. Brasília, DF: MMA, 2006. p. 413-436.
- KLEIN, A. H. F.; ARAUJO, R. S.; POLETTE, M.; SPERB, R. M., FREITAS NETO, D.; SPROVIERI, F. C.; PINTO, F. T. Case study 3: Ameliorative strategies at Balneário Piçarras beach. In: WILLIAMS, A.; MICALLEF, A. *Beach Management: principles & practice*. London: Earthscan, 2009. 420 p.
- KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. O.; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E.F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G. S. F.; RUDORFF, F. M. *Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos*. 1 ed. Curitiba: Organic Trading, 2006. 109 p.
- KOMAR, P.D. *Handbook of coastal processes and erosion*. Florida: CRC Press, 1983. 305 p.
- KRUEGER, J. *Análise dos Parâmetros meteorológicos e oceanográficos dos eventos de ressaca, ocorridos entre 2001 e 2010, no Estado de Santa Catarina*. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Oceanografia). Itajaí: Universidade do Vale do Itajaí, 2011.
- MAZZER, A. M.; DILLENBURG, S. R.; SOUZA, C. R. D. G. Proposta de método para análise de vulnerabilidade à erosão costeira no sudeste da Ilha de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Geofísica*, Brasil, v. 38, n. 2, p. 278-294, 2008.
- McLAUGHLIN, S.; McKENNA, J.; COOPER, J.A.G. Socio-economic data in coastal vulnerability indices: Constraints and Opportunities. *Journal of Coastal Research*, Northern Ireland, v. 36, p. 487-497, 2002. Special Issue.
- MENEZES, J.T. *Caracterização morfológica e sedimentar do segmento praia Navegantes/Gravatá e sua ação sobre os esforços de recomposição da praia*. Dissertação (Mestrado em Geografia). Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2002. 114 p.
- MONTEIRO, M. A; FURTADO, S. M. A. O clima do trecho Florianópolis – Porto Alegre: uma abordagem dinâmica. *Geosul*, n. 19/20, p. 117-133, 1995.
- MORAES, A. C. R.; ZAMBONI, A. Construindo o conceito de orla marítima. In: Ministério do Meio Ambiente e Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (Org.). *Projeto Orla: subsídios para um projeto de gestão*. Brasília: MMA e MPO, 2004. 104p.
- MUEHE, D. Critérios morfodinâmicos para o estabelecimento de limites da orla costeira para fins de gerenciamento. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.2, n.1, p. 35-44, 2001.
- MULER, M. *Avaliação da vulnerabilidade de praias da Ilha de Santa Catarina a perigos costeiros através da aplicação de um índice multicritério*. Dissertação (Mestrado em Geografia). Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2012. 184 p.
- MULER, M.; BONETTI, J. An integrated approach to assess wave exposure in coastal areas for vulnerability analysis. *Marine Geodesy*, London, v.37, n.2, p. 220-237, 2014.

- PEDUZZI, P.; DAO, H.; HEROLD, C.; MOUTON, F. Assessing global exposure and vulnerability towards natural hazards: the Disaster Risk Index. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, v. 9, p. 149-1159, 2009.
- PIANA, C. F. B.; MACHADO, A. A.; SELAU, L. P. R. *Estatística básica: versão preliminar*. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2009. 220 p.
- RIBEIRO, J. D. S.; OLIVEIRA SOUSA, P. H. G.; VIEIRA, D. R.; SIEGLE, E. Evolução da vulnerabilidade à erosão costeira na Praia de Massaguaçu (SP), Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, v. 13, n.3, p. 253-265, 2013.
- RODRIGUES, M. L. G.; FRANCO, D.; SUGAHARA, S. Climatologia de Frentes Frias no Litoral de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Geofísica*, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 135-151, 2004.
- RUDORFF, F. M. *Geoindicadores e Análise Espacial na Avaliação de Suscetibilidade Costeira a Perigos Associados a Eventos Oceanográficos e Meteorológicos Extremos*. Dissertação (Mestrado em Geografia). Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2005. 102 p.
- RUDORFF, F. M.; BONETTI, J. Avaliação da suscetibilidade à erosão costeira de praias da Ilha de Santa Catarina. *Braz. J. Aquat. Sci. Technol.*, v. 14, n.1, p. 9-20, 2010.
- RUDORFF, F. M.; BONETTI, J.; MORENO, D. A.; OLIVEIRA, C. A. F.; MURARA, P. G. Maré de Tempestade. In: HERRMANN, M. L. P. (Org.). *Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina: período de 1980 a 2010*. 2 ed. Florianópolis: IHGS; GCN/UFSC, 2014. p. 151-154.
- SANTA CATARINA (Estado). Decreto nº 5.010, de 22 de dezembro de 2006. Regulamenta a Lei n. 13.553, de 16 de novembro de 2005. *Lex: coletânea de legislação e jurisprudência*, Florianópolis, 2006.
- SCHNEIDERBAUER, S.; EHRLICH, D. *Risk, hazard and people's vulnerability to natural hazards*. Luxembourg: European Commission, Joint Research Centre, 2004.
- SEAP (Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca). *Planos Locais de Desenvolvimento da Maricultura – PLDM's de Santa Catarina*. Brasília: Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca da Presidência da República, 2008. 313 p.
- SHCHEPETKIN, A.F.; MCWILLIAMS, J.C. The regional oceanic modeling system (ROMS) a split-explicit, free-surface, topography following-coordinate oceanic model. *Ocean Modelling*, v. 9, n. 4, p. 347-404, 2005.
- SILVA, A. F. *Comportamento morfodinâmico e sedimentar das praias adjacentes ao promontório de Itapirubá, SC, Brasil*. Dissertação (Mestrado em Geografia). Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2010. 131 p.
- SMALL, C.; NICHOLLS, R. J. A global analysis of human settlement in coastal zones. *Journal of coastal research*, v. 19, n. 3, p. 584-599, 2003.

TESSLER, M. G.; GOYA, S. C. Processos costeiros condicionantes do litoral brasileiro. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 17, p. 11-23, 2005.

THIELER, E.R.; HAMMAR-KLOSE, E.S. *National assessment of coastal vulnerability to sea-level rise: preliminary results for the U.S. Atlantic Coast*. U.S. Geological Survey Open – File Report 99-593. Massachusetts: Woods Hole Science Center, 1999. 1 p.

THIELER, E.R.; HIMMELSTOSS, E.A.; ZICHICHI, J.L.; ERGUL, A. *Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0: an ArcGIS extension for calculating shoreline change*. U.S. Geological Survey Open-file Report 2008-1278, 2009. 79 p.

TOLMAN, H. L. *User manual and system documentation of WAVEWATCH-III*. Version 1.15. NOAA / NWS / NCEP / OMB Technical Note 151, 1997. 97 p.

_____. _____. Version 1.18. NOAA/NWS/NCEP/OMB Technical Note 166, 1999. 110 p.

TRUCOLLO, E.C. *Maré meteorológica e forçantes atmosféricas locais em São Francisco do Sul – SC*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1998. 100 p.

UNDP (United Nations Development Programme). *Reducing Disaster Risk: A Challenge for Development*. New York: John S. Swift, 2004. 96 p.

USACE (US ARMY CORPS OF ENGINEERS). *Water Wave Mechanics*. In: USACE. *Coastal Engineering Manual*. Vicksburg, Mississippi, 2002. 121p.

WILLIAMS, S. J.; GUTIERREZ, B. T.; THIELER, E. R.; PENDLETON, E. Geologic effects and coastal vulnerability to sea-level rise, erosion and storms. In: *Solutions to Coastal Disasters Conference, 2008, Turtle Bay, Hawaii. Proceedings...* Massachusetts: U.S. Geological Survey Woods Hole Science Center, 2008. 14 p.

WMO (World Meteorological Organization). WMO TD no.1383. In: VI INTERNATIONAL WORKSHOP ON TROPICAL CYCLONES OF THE WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. *Anais...* San José, Costa Rica: 2006. 92 p.

ZAZULA, J. *Find Polyline Angle*. City of Barrie, Canada: 2005. Disponível em: < <http://arcsripts.esri.com/details.asp?dbid=14234> >. Acesso em: jun. 2013.