

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
BACHARELADO EM OCEANOGRAFIA**

EDUARDO HIROSHI SHIMONAGA BAIXO

**IDENTIFICAÇÃO DA VULNERABILIDADE DA LINHA DE COSTA
CATARINENSE A EPISÓDIOS DE ALTA ENERGIA COM BASE NO MODELO
INVEST**

Florianópolis, SC

2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS

DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS

BACHARELADO EM OCEANOGRAFIA

EDUARDO HIROSHI SHIMONAGA BAIXO

**IDENTIFICAÇÃO DA VULNERABILIDADE DA LINHA DE COSTA
CATARINENSE A EPISÓDIOS DE ALTA ENERGIA COM BASE NO MODELO
INVEST**

Monografia apresentada ao curso de Bacharelado em Oceanografia da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Oceanografia.

Professor orientador: Dr. Jarbas Bonetti.

Florianópolis, SC

2015

*Dedico esse trabalho à minha família e
principalmente à minha mãe.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço minha mãe, que sempre olhou e continua a olhar por seus filhos. Que sempre incentivou a buscar o caminho do bem e seguir em frente, respeitando os princípios alheios sem perde a essência de quem você é.

Obrigado família que sempre incentivou os estudos e apoiou nos momentos difíceis que sempre podem nos pegar desprevenidos.

Agradecimento especial às minhas avós, que mesmo não nós falando muito ultimamente, sei que torcem por mim e merecem todo o meu respeito e consideração.

Ao meu orientador o qual me concedeu a oportunidade de usufruir dessa abordagem de estudo, em um ambiente dinâmico acolhedor com várias linhas de pesquisa na área costeira que é o Laboratório de Oceanografia Costeira. Uma pessoa que admiro pela flexibilidade, proatividade e praticidade em esclarecer dúvidas, aliado sempre ao seu ótimo humor.

Ao Prof. Dr. Antônio Klein, que se comprometeu a resolver os problemas com a documentação na ausência do Orientador. Demonstrou sempre preocupação com os prazos e sempre esteve aberto ao diálogo quando foi preciso.

Aproveito também para agradecer o corpo docente do curso de oceanografia, por acreditar no curso e levar adiante da melhor maneira, sempre buscando aprimorar o aprendizado.

A equipe do LOC que sempre acham um tempo para auxiliar em dúvidas, especialmente a Mirela Serafim pelo apoio com aquisição de fontes e geoprocessamento em geral.

Aos “feios”, Renan, Sandro, Tiago, Vitor e Zenon. Pois amizade é uma das poucas coisas nessa vida que não estraga com o tempo. É uma família que você escolhe.

A minha namorada Giulianne, pela companhia, bons momentos e motivação.

Aos amigos que fiz na Universidade, um lugar que é possível achar pessoas tão incríveis quanto você... Se metendo em altas confusões em nome da “parceragem”, “VL” e Shiryus amigos.

“You must not lose faith in humanity. Humanity is an ocean; if a few drops of the ocean are dirty, the ocean does not become dirty.”

Mahatma Gandhi

Resumo:

A compreensão das dinâmicas que regem a zona costeira é necessária para prevenir situações que inicialmente não esperaríamos, tais como a erosão e a deposição, que são processos naturais que ocorrem ao longo da costa, podendo ser acelerados pelas ações humanas. Modelos espaciais se utilizam de mapas e bases estatísticas para favorecer a análise e visualização da área objeto de estudo de forma clara e simplificada. O modelo *InVEST 3.0.0* possui diversas rotinas para análise espacial, incluindo uma de geração de índice de vulnerabilidade à erosão e inundação devido a eventos de alta energia para uma linha de costa. Esse trabalho teve como objetivo aplicar o modelo de vulnerabilidade do InVEST para o litoral de Santa Catarina e compará-lo com estudos na mesma área analisada. Os resultados obtidos indicam a linha de costa catarinense com 63% em classes de vulnerabilidade baixa a média e secções mais ao sul se enquadrando em classe alta, representando, 8,76% do total do litoral. O Setor Centro Norte teve os menores valores de vulnerabilidade de quase 75% de sua extensão, esta classificada como baixa a muito baixa. Já o Setor Sul apresentou os maiores valores onde toda sua linha de costa foi classificada entre as classes muito alta e alta. A vulnerabilidade teve respostas perceptíveis às alterações das entradas geomorfologia, forçantes hidrodinâmicas e presença de habitats naturais para setor do litoral catarinense tendo um comportamento ligeiramente diferente. Comparando resultados com o estudo da mesma área de interesse notou-se que o termo vulnerabilidade utilizado pelas duas abordagens é diferente. Vulnerabilidade obtida pelo InVEST foi equiparada a suscetibilidade e quando foram comparados, verificou-se que mesmo utilizando de entradas físicas ambos os resultados diferiram substancialmente ao longo da linha de costa catarinense.

Palavras-chave: erosão costeira, ocupação urbana, geoprocessamento, *InVEST 3.0.0*.

Abstract:

Understanding the dynamics governing the coastal zone is necessary to prevent situations that initially we aren't expecting, such as erosion and sedimentation, which are natural processes that occur along the coast and can be accelerated by human actions. Spatial models use maps and statistics to facilitate analysis and visualize an area of study in a simplified and clear way. The InVEST 3.0.0 model has several routines for spatial analysis, including one that generates a vulnerability index to erosion and flooding due to high energy events in a coastline. This study aimed to apply the InVEST vulnerability model for the coast of Santa Catarina and compare it with studies analyzed in the same area. The obtained results indicate that 63% of the coast line of Santa Catarina are in low to medium vulnerability classes, and sections further south fit in a highly vulnerable class, representing 8.76% of the total coastline. The North Central sector had the lowest vulnerability values of almost 75% of its extension is classified as low to very low. But the South sector had the highest vulnerability values where his entire coastline was ranked between very high and high classes. The vulnerability had noticeable responses when considering changes in geomorphology, hydrodynamic forcing and natural habitats entries for sectors along Santa Catarina coast, and its reflections on vulnerability has a slightly different behavior over sectors. Comparing results from the study of the same area of interest is noted that the term vulnerability is used by the two with different approaches. Vulnerability obtained by InVEST was treated equivalent as susceptibility and when both results were compared, it was found that even both using physical inputs, their results differed substantially along the shoreline from Santa Catarina.

Key-words: Coastal erosion, human occupation, geoprocessing, InVEST 3.0.0.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – MAPA DE SANTA CATARINA COM DESTAQUE PARA A LINHA DE COSTA.....	19
FIGURA 2 - CLASSIFICAÇÃO DA GEOMORFOLOGIA SETOR NORTE.	26
FIGURA 3 - CLASSIFICAÇÃO DA GEOMORFOLOGIA SETOR CENTRO NORTE.	27
FIGURA 4 – CLASSIFICAÇÃO DA GEOMORFOLOGIA SETOR CENTRO.	27
FIGURA 5 – CLASSIFICAÇÃO DA GEOMORFOLOGIA SETOR CENTRO SUL.....	28
FIGURA 6 – CLASSIFICAÇÃO DA GEOMORFOLOGIA SETOR SUL.....	28
FIGURA 7 – MDE DO LITORAL DE SANTA CATARINA.....	29
FIGURA 8 – HABITATS NATURAIS SETOR NORTE.	30
FIGURA 9 – HABITATS NATURAIS SETOR CENTRO NORTE.	30
FIGURA 10 – HABITATS NATURAIS SETOR CENTRO.	31
FIGURA 11 – HABITATS NATURAIS SETOR CENTRO SUL.	31
FIGURA 12 – HABITATS NATURAIS SETOR SUL.....	32
FIGURA 13 – VELOCIDADE DO VENTO NA DIREÇÃO NE, L, SE, E SUL.	33
FIGURA 14 - ENERGIA DE ONDA NA DIREÇÃO NE, L, SE E SUL.	34
FIGURA 15 - POLÍGONO DE TENDÊNCIA DE MUDANÇA DO NÍVEL O MAR.	35
FIGURA 16 – LOCALIZAÇÃO DA QUEBRA DA PLATAFORMA.....	36
FIGURA 17 – POPULAÇÃO NOS SETORES CENSITÁRIOS.	37
FIGURA 18 – ÁREA DE INTERESSE E CONTINENTE.	37
FIGURA 19 – DADOS DE PROFUNDIDADE.	38
FIGURA 20 - GRÁFICO ILUSTRATIVO DA VULNERABILIDADE POR SETOR.	40
FIGURA 21 - VULNERABILIDADE PARA SETOR NORTE.	44
FIGURA 22 - VULNERABILIDADE PARA SETOR CENTRO NORTE.	45
FIGURA 23 - VULNERABILIDADE PARA SETOR CENTRO.....	45
FIGURA 24 - VULNERABILIDADE PARA SETOR CENTRO SUL.	46
FIGURA 25 - VULNERABILIDADE PARA SETOR SUL.	46

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: SUGESTÃO DE CLASSIFICAÇÃO DOS RANKS PARA CADA VARIÁVEL.	24
TABELA 2: CLASSES DE VULNERABILIDADE DEFINIDAS POR INTERVALOS DE VALORES DO ÍNDICE.....	39
TABELA 3: DISTRIBUIÇÃO DA VULNERABILIDADE PERCENTUAL EM CADA SETOR E TOTAL.	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
1.1.1	Vulnerabilidade e risco	14
1.1.2	Processos Costeiros	15
1.1.3	Geoprocessamento e SIG	17
2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	19
3	OBJETIVOS.....	21
3.1	OBJETIVO GERAL	21
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
4	MATERIAIS E MÉTODOS	22
4.1	O MODELO	22
4.2	DADOS DE ENTRADA	25
4.2.1	Geomorfologia.....	25
4.2.2	Relevo	29
4.2.3	Habitats Naturais.....	29
4.2.4	Vento.....	32
4.2.5	Onda.....	33
4.2.6	Mudança do nível do mar.....	34
4.2.7	Potencial de ondas de tempestade.....	35
4.2.8	<i>Layers</i> base e auxiliares	36
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
6	CONCLUSÃO.....	47
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

1 INTRODUÇÃO

Estima-se que 41% da população mundial estão a uma distância de pelo menos 100 km da costa (CBD, 2012). No Brasil, 23% da população habita cidades litorâneas. No Estado de Santa Catarina aproximadamente uma em cada três pessoas mora em cidades que estão localizadas na zona costeira, são cerca de 1.821.745 pessoas que se encontram nesse domínio (IBGE, 2004). A importância e necessidade de estudos para compreender e identificar áreas mais vulneráveis na zona costeira se torna bem mais intuitiva quando apresentados esses dados de população em diferentes escalas.

A interação da tríade, atmosfera, terra e oceano fornece um cenário dinâmico devido à quantidade de processos atuantes, os quais estão intimamente ligados ao estilo de vida das populações humanas. Diante das mudanças climáticas e intensificação das atividades humanas na costa, as comunidades costeiras, bem como os gestores da iniciativa privada e pública, necessitam de maiores subsídios para entender mais a fundo como modificações do ambiente físico e biológico podem afetar sua exposição à erosão ou inundação induzida por tempestades. Assim, poderá se quantificar riscos associados a esses eventos para a mitigação dos danos às populações residentes.

De acordo com Kasperson (apud BIRKMANN, 2006), a habilidade de mensurar vulnerabilidade está começando a ser vista como um passo chave frente à redução de risco efetiva e a promoção de uma cultura resiliente a desastres. Considerando o aumento na frequência de desastres e a contínua degradação de habitats, quantificar a vulnerabilidade é uma tarefa crucial quando se almeja um mundo mais sustentável.

Uma das alternativas para a avaliação da vulnerabilidade é a aplicação de modelos espaciais considerando fatores chaves de determinada ameaça a uma sociedade, para reconhecer áreas mais susceptíveis a impactos negativos. O InVEST 3.0.0 é um software livre, desenvolvido pelo *Natural Capital Project* (parceria entre *Stanford University*, *University of Minnesota*, *The Nature Conservancy* e *World Wildlife Fund*), que se utiliza de modelos de análise espacial para avaliar os serviços ecossistêmicos de forma integrada objetivando auxiliar tomadores de decisão a escolher melhores alternativas para manejo de recursos de maneira sustentável.

O Modelo utilizado calcula um índice de exposição físico combinando os *ranks* (classificação hierárquica) de sete variáveis em cada segmento de linha de costa com base em uma imagem *raster* (matricial). Os *ranks* variam de 1 (baixa exposição) a 5 (alta exposição).

Encontrar seções mais ou menos vulneráveis às ameaças pode auxiliar na gestão de recursos e elaboração de planos de mitigação, favorecendo o desenvolvimento sustentável.

1.1 REFERENCIAL TEÓRICO

1.1.1 Vulnerabilidade e risco

Vulnerabilidade é um conceito que evoluiu das ciências sociais e foi introduzido em resposta à percepção puramente orientada do perigo (BIRKMANN, 2006). A palavra vulnerável origina-se do verbo latim *vulnerare*, que significa ferir, penetrar. Por essas raízes etimológicas, vulnerabilidade é um termo geralmente usado na referência de predisposição a desordens ou de susceptibilidade de populações ou sistemas ao estresse (JANCZURA, 2012). Cardona (*apud* BIRKMANN, 2006) reforça o fato do conceito de vulnerabilidade ajudar a esclarecer os conceitos de risco e desastres. O autor vê a vulnerabilidade como uma predisposição intrínseca de ser afetado ou de suscetibilidade ao dano; isso significa que vulnerabilidade representa a exposição física, econômica, social ou política da comunidade ao dano como resultado de eventos de perigo de origem natural ou antropogênicas.

Atualmente a literatura abrange mais de 25 termos diferentes, incluindo definições, conceitos e métodos para sistematizar vulnerabilidade, onde várias disciplinas têm desenvolvido suas próprias definições e visões preanalíticas do que significa vulnerabilidade (BIRKMANN, 2006). Em Ciências Sociais o risco não poder ser identificado como vulnerabilidade, embora se possa estabelecer uma relação estreita entre eles. O primeiro conceito se refere à situação de grupos, e o segundo deve ser usado para a situação fragilizada de indivíduos (JANCZURA, 2012).

A habilidade de mensurar vulnerabilidade está cada vez mais sendo vista como um passo chave para a redução de risco efetivo e promover uma cultura resiliente a desastres. A Organização das Nações Unidas afirma que o ponto de partida para redução de riscos de desastres consiste no conhecimento dos perigos e das vulnerabilidades físicas, sociais, econômicas e ambientais, e de como os desastres enfrentados pela maioria das sociedades se alteram a curto e longo prazo. Em seguida, devem-se tomar ações com base nesse conhecimento (BIRKMANN, 2006).

No ano de 2002, Wisner (*apud* BIRKMANN, 2006) definiu, vulnerabilidade como a probabilidade de dano, morte, perda e quebra de subsistência em um evento extremo, ou dificuldades incomuns em recuperar-se de impactos negativos de eventos de perigo –

primariamente relacionada às pessoas. Essa definição reforça o fato de os elementos principais de vulnerabilidade serem as condições que determinam a sustentabilidade e aumento do dano, morte, perda e perturbação da subsistência de seres humanos.

Também define-se vulnerabilidade como uma componente dentro do contexto de perigo e risco. Essa linha de investigação normalmente vê vulnerabilidade, capacidade de resposta e exposição como aspectos diferentes. A estrutura conceitual adotada em 2003 por Bollin *et al.* (*apud* BIRKMANN, 2006), vê a vulnerabilidade como uma componente do risco de desastres; as componentes são perigo, exposição, vulnerabilidade e capacidade adaptativa. Enquanto o perigo é definido por sua probabilidade e severidade, a exposição é caracterizada por estruturas, população e economia. Em contraste, a vulnerabilidade tem dimensões físicas, sociais, econômicas e ambientais, e a capacidade adaptativa – que está relacionada com a capacidade de resposta - abrange planejamento físico, capacidade social, capacidade econômica e gestão (BIRKMANN, 2006).

A *International Strategy for Disaster Reduction* (UM/ISDR) (*apud* BIRKMANN, 2006), declara que promover sustentabilidade em redução de desastres significa reconhecer e fazer melhor uso das conexões entre metas sociais, econômicas e ambientais para reduzir riscos de ameaças significativos. Todos os países precisam de um saudável e diverso sistema ecológico que seja produtivo e sustente a vida, uma economia saudável e diversa que se adapte as mudanças e reconheça os limites sociais e ecológicos.

A terminologia adotada pela linha de pesquisa de SERAFIM (2014) adota a terminologia de vulnerabilidade que é resultante da suscetibilidade em combinação com a capacidade adaptativa. Sendo o termo vulnerabilidade compreendido como a capacidade de uma área antecipar-se, enfrentar, resistir e recuperar-se do impacto produzido por um agente de atributos físicos e socioeconômicos. Considera capacidade adaptativa componente que colabora para uma maior resiliência interligada a fatores sociais e econômicos, os quais possibilitam a readaptação da população em um sistema afetado por um perigo natural. E suscetibilidade se refere à potencialidade ou probabilidade de um sistema ser afetado por atributos de natureza física, independentes de fatores antrópicos.

1.1.2 Processos Costeiros

Segundo Muehe (*apud* TESSLER & GOYA, 2005), a principal variável que induz os processos costeiros de curto e de médio prazo é o clima de ondas. “É a energia das ondas, a intensidade e recorrência das tempestades que comandam a dinâmica dos processos de erosão e acúmulo na interface entre o continente e o oceano.” (TESSLER & GOYA, 2005, p.14).

Os processos de erosão e deposição são denominados de dinâmica *onshore-offshore*, na qual a erosão é responsável pela retirada de sedimentos da costa, que são transportados e então depositados em outros locais, nos quais se depositam e passam a formar parte de outro ciclo (LIMA, 2006). Erosão é um processo onde o material sedimentar é retirado de um determinado local por agentes físicos (ventos e correntes) e biológicos. Quando fala-se em erosão costeira se entende que está ocorrendo perda de sedimento na linha de costada praia. É nas áreas de maior ocupação que a erosão costeira se torna uma preocupação, sendo frequentemente agravada pela interferência do homem por meio de construções e estruturas de bloqueiam o trânsito livre de sedimentos (MUEHE, 2005).

Para Bacci (*apud* LIMA, 2006), o transporte litorâneo é também responsável pela erosão costeira através da alteração do volume de sedimentos transportados paralelamente a linha de costa, que ocorre entre a zona de arrebentação e a linha de praia, com intensidade e sentido determinados pela altura e direção das ondas, bem como pela orientação da linha de costa. Fenômenos erosivos são frequentes em todo o litoral, concentrando-se preferencialmente nas proximidades de desembocaduras fluviais e em segmentos localizados de áreas urbanizadas, muitas vezes a jusante de estruturas artificiais que alteram o balanço sedimentar, como por exemplo, em Fortaleza, Recife e litoral Norte do Rio de Janeiro (MUEHE, 2006). O fato de ser composta muitas vezes por sedimentos inconsolidados faz com que a linha costeira esteja sujeita a alterações que ocorrem de forma natural através de processos geomorfológicos, mas que são muitas vezes intensificadas e aceleradas pela ação humana (LIMA, 2012). Para Tessler & Goya (*apud* LIMA, 2006) podem ocorrer mudanças da dinâmica atual por variações climáticas naturais derivadas de eventos episódicos como tempestades ou tormentas, furacões ou deslocamentos da desembocadura de rios.

A respeito de ondas, cabe destacar que algumas de suas características têm grande relevância, como: intensidade, ângulo de incidência, altura e período, que também interferem em muito na estabilidade da linha de costa, já que as ondas são responsáveis pela erosão e carreamento do material *offshore* (LIMA, 2006). Durante elevações positivas do nível do mar geradas por tempestades, a água inunda uma extensa área (CODIGNOTTO, 2012) o que aumenta o alcance espacial das áreas de influência dos processos erosivos gerados por ondas.

A conceituação em torno dos riscos costeiros ainda é fruto de debate, não existindo consenso quanto ao significado específico e emprego de conceitos como vulnerabilidade, perigo, capacidade adaptativa, susceptibilidade, exposição, etc. No âmbito desta pesquisa será adotado o conceito de vulnerabilidade, considerando a proposta de Birkmann (2006), anteriormente apresentada.

1.1.3 Geoprocessamento e SIG

Com o surgimento e evolução da informática, foi possível desenvolver novas possibilidades de análises estratégicas para o auxílio na tomada de decisão. A possibilidade de visualização dos resultados de análises espacialmente em um mapa, faz com que a compreensão por intermédio de um analista ocorra de forma mais facilitada e clara. O Geoprocessamento (ou Geomática, como preferem alguns pesquisadores) é uma área do conhecimento onde diversos tipos de informações são processados por meio de técnicas matemáticas e computacionais. O Sistema de Informações Geográficas (SIG) é uma ferramenta do geoprocessamento através da qual são geradas informações por meio da análise de dados geográficos. Tais dados permitem a criação de diferentes mapas temáticos, onde vários tipos de informações podem ser sobrepostos e interpretados. Assim é possível gerar novos mapas contendo informações novas sobre a área em estudo, facilitando as tomadas de decisão.

Um SIG integra hardware, software e dados, coletando, manejando, analisando e exibindo todas as formas de informações referenciadas geograficamente em meio digital. O SIG permite visualizar, armazenar, compreender, questionar e interpretar dados de modo que revelam relações, criando novas perspectivas sobre padrões e tendências com auxílio de mapas, globos, relatórios e tabelas (ESRI, 2013). Estas ferramentas são muito úteis na gestão ambiental e na gestão do uso e ocupação da terra, sendo usualmente aplicadas em projetos nas áreas de agricultura, mineração, planejamento ambiental e urbanismo.

Além disso, o SIG pode ser visto como um *software* ou como um processo. Diversos *softwares* estão disponíveis na internet para download, alguns são *open sources* e outros necessitam de licença comercial para rodar completa ou parcialmente. Alguns exemplos de *softwares* SIG: GRASS, MapInfo, Quantum GIS, SPRING, CARIS, ArcGIS, além de muitos outros, cada qual com suas particularidades, vantagens e limitações.

O SIG como processo possui as seguintes etapas:

1. Entrada de dados: onde os dados preexistentes são convertidos para um formato determinado.
2. Gerenciamento dos dados: Consiste na armazenagem, atualização e resgate de dados que compõem a base permitindo o processamento de representações de informação espacial.

3. Consulta e análise de dados: rotinas e algoritmos que permitem a exploração e geração de modelos a partir dos dados, podendo gerar novos dados sobre os dados preexistentes.

Saída de dados com foco nos usuários: São gerados mapas, cartas, cartogramas, gráficos e relatórios. Possuem a alternativa de visualização dos resultados em meio digital (3D, animações etc.) e compartilhamento de dados via web.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO



FIGURA 1 – MAPA DE SANTA CATARINA COM DESTAQUE PARA A LINHA DE COSTA.

O litoral do Brasil se estende da região equatorial às latitudes subtropicais do sul defrontando o Atlântico sul-oriental ao longo de mais de 8000 km. Conseqüentemente, a zona costeira atravessa áreas de diferentes climas variando do equatorial ao subtropical assim como diferentes ambientes geológicos e geomorfológicos. A ocupação da área costeira é relativamente baixa, considerando que apenas 20% (cerca de 30 milhões de pessoas) da população do país reside em municípios costeiros (MUEHE, 2005). O Estado de Santa Catarina está localizado na região Sul do Brasil (Figura 1) e ao longo dos 564 km de extensão do seu litoral, entre as latitudes de 25° 57' 41" S e 29° 23' 55" S, desenvolvem-se importantes atividades do setor marítimo, entre elas a pesca artesanal, em diferentes níveis de organização, e a pesca industrial (RODRIGUES et al., 2004).

O processo de urbanização no litoral de Santa Catarina, sobretudo o centro-norte, acarretou em um incremento populacional considerável, mais notório nos últimos 30 anos. Uma tendência de “unificação” das zonas urbanas dos municípios devido ao processo de conturbação foi verificada a partir da construção da BR-101 na década de 70 quando não se

levou em consideração planejamentos locais e regionais efetivos. Observa-se esse padrão de ocupação desordenada ao longo da costa brasileira, salvo casos isolados (MUEHE, 2006).

O clima de ondas é definido pela ação dos ventos originados no Atlântico Sul. Esses são controlados basicamente pelo Anticiclone Tropical do Atlântico Sul, centro de alta pressão que origina os ventos alísios; e Anticiclones Polares Migratórios, que são centros de alta pressão responsáveis pela passagem de sistemas frontais (TESSLER & GOYA, 2005). Alturas significativas variam entre 1,5 m e 2,3 m no extremo sul. A propagação de vagas e marulhos geradas por tempestades associadas ao deslocamento de frentes frias modifica este padrão, com aumento substancial das ondas e dos períodos que podem chegar respectivamente a mais de 3 m e mais de 14 s (MUEHE, 2005). Na análise de suscetibilidade feita por (SERAFIM, 2014), obteve-se valores de altura significativa de onda de até 7,6 m para um tempo de retorno de 50 anos. E Araújo em 2003 (apud SERAFIM, 2014), através de dados de ondógrafo instalado ao sul da Ilha de Santa Catarina, obteve valores de altura significativa de onda de 4 m presentes em todas as estações do ano.

O clima da região litorânea catarinense segundo classificação de Koppen é Temperado Chuvoso com Verões Quentes. Em 2004 Brasil (apud Amorim, 2013), afirma que os ventos provenientes do quadrante sul apresentam no final do inverno frequências que alcançam os 38% e sua intensidade média varia de fraca a moderada. Nessa época do ano são comuns as tempestades intensas associadas a sistemas frontais oriundos das regiões antárticas e subantárticas. Tendo uma média mensal de três a quatro frentes frias atingindo Santa Catarina em todos os meses do ano, com um número ligeiramente maior desses sistemas durante a primavera. Sendo o intervalo médio entre duas passagens frontais consecutivas de oito dias, porém mais de 50% das frentes frias atingem o litoral catarinense em um intervalo entre três e oito dias (RODRIGUES et al., 2004).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

- Este trabalho objetiva identificar quais áreas da costa catarinense são mais vulneráveis à erosão e inundação devido a eventos de tempestade, utilizando técnicas de análise espacial em SIG baseadas no modelo InVEST 3.0.0.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar distribuição da população residente na zona costeira catarinense com base na análise dos setores censitários do IBGE.
- Comparar modelos e resultados com literatura.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 O MODELO

O InVEST é um *software* que possui diversos modelos desenvolvidos com o intuito de melhorar as decisões sobre o manejo de recursos naturais. Ele apresenta um conjunto de rotinas executáveis para mapear e quantificar os serviços ecossistêmicos de sistemas terrestres, marinhos e de água doce. Nesta pesquisa será adotado o modelo de Vulnerabilidade Costeira, que é um modelo para auxiliar na análise ambiental gerando um mapa *raster* (matricial) contendo a vulnerabilidade na linha de costa e outro *raster* representando a densidade populacional ao longo linha de costa. O índice contém classes de exposição relativa das comunidades costeiras à erosão e inundação causadas por grandes tempestades na região costeira de interesse. As entradas do modelo são sete variáveis biogeofísicas listadas abaixo:

- Geomorfologia: É um objeto do tipo linha (polilinha) que percorre a costa de interesse, sendo que cada seção de linha corresponde a uma feição geomorfológica (ex.: costão rochoso, estrutura rígida, estuário, lagoa, praia arenosa, delta etc.). O *rank* de cada tipo de feição geomorfológica é similar ao proposto por HAMMAR-KLOSE & THIELER (2001). Recomenda-se que o usuário inclua estruturas rígidas paralelas à linha de costa na classificação e associe-as a uma classe hierárquica dependente de suas características. Os dados padrão para as entradas são do *Global Self-consistent, Hierarchical, High-resolution Shoreline* da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), mas podem ser substituídos no caso de existir dados mais precisos para a escala espacial desejada.
- Relevo: É uma imagem *raster* de Modelo de Elevação Digital (MDE) que cobre toda a área de interesse. Locais que estão a uma maior elevação em relação ao nível médio do mar tem risco menor do que áreas em elevações menores. A extensão padrão da faixa altimétrica calculada é definida como sendo da linha de costa até 5 km para cada segmento descrito da linha de costa.
- Habitats naturais: Sabe-se que a presença de habitats naturais (marismas, dunas costeiras, manguezais, bancos de algas etc.) tem efeito vital na diminuição dos perigos que ameaçam a linha de costa e as comunidades costeiras. Para calculá-lo em um segmento da linha de costa, o modelo determina quais classes de habitats estão dentro do alcance de atuação definido para cada habitat (p. ex. Determina-se que o alcance de atuação de habitats do tipo dunas seja de até 300 m de distância. Se o segmento de costa estiver a uma distância menor do que a distância máxima de atuação do habitat, será considerado que o segmento tem influência do habitat natural). Consiste em um polígono representando a localização espacial do habitat

associado a um arquivo .csv (tabela contendo nome, *rank* e distância de procura de cada um dos *shapefiles* dos habitats). Os polígonos que representam os habitats podem ser criados usando imagens de satélite (Google Earth ou Bing Maps, por exemplo).

- Mudança relativa do nível do mar: É a soma do aumento do nível do mar global, aumento local do nível do mar (aumento eustático) e movimento de terra local (aumento isostático). O aumento relativo entre -1 e +1 não altera as tendências de inundação ou de erosão. Valores menores que -1 diminuem a exposição, enquanto valores maiores do que +1 aumentam a exposição. Pode ser uma feição do tipo polígono (*shapefile*) que delinea a mudança do nível do mar uniformemente, ou um *shapefile* de pontos onde os pontos possuem dados de mudanças do nível do mar. Em qualquer um dos casos o modelo irá localizar o campo “*Trend*”, que é o aumento do nível do mar anual.

- Exposição ao vento: Ventos intensos podem gerar ondas fortes se soprarem em uma área por tempo suficientemente longo. A exposição ao vento dos segmentos é baseada na sua exposição relativa aos ventos mais fortes. Obtém-se esse *rank* através de cálculo e mapeamento do Índice de Exposição Relativa (REI). Este índice é calculado pegando a série de velocidade dos ventos dos 10% mais rápidos, dividindo a rosa dos ventos em 16 setores equiangulares e combinando as características do vento e da pista de vento (*fetch*) nos setores. Para um dado segmento da linha de costa o modelo estima a distância da pista de vento para cada um dos 16 setores equiangulares com precisão de 1 km. O modelo *WAVEWATCH III* (WW3) pode ser usado como padrão para a obtenção dos dados.

- Exposição à onda: Considera apenas setores de ondas oceânicas que tem potencial de chegar à linha de costa a fim de avaliar a exposição das mesmas, isso reflete em pistas de vento maiores do que 50Km. Então a exposição de onda leva em conta a distância da pista de vento nos 16 setores equiangulares, a média dos 10% mais altos valores de energia de onda e a porcentagem de tempo que essas ondas foram observadas nesse setor. Da mesma forma que a variável anterior, o modelo WW3 pode ser usado como padrão para obtenção dos dados.

- Potencial de ocorrência de ondas de tempestade (*surge potential*): A elevação de marulhos de tempestade é uma função da velocidade do vento, direção do vento e tempo que ele sopra sobre áreas relativamente rasas. O modelo assume que quanto maior for a distância entre a linha de costa e a quebra da plataforma continental de uma área durante uma tempestade, maior será a onda de tempestade. É um contorno que acompanha a quebra da plataforma continental ou apenas a linha de contorno batimétrica para uma profundidade especificada pelo usuário.

Cada uma dessas sete variáveis tem uma recebem um valor de classe de vulnerabilidade (*rank*), como ilustrado na (Tabela 1):

TABELA 1: SUGESTÃO DE CLASSIFICAÇÃO DOS RANKS PARA CADA VARIÁVEL.

Rank	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
Variável	1	2	3	4	5
Geomorfologia	Rochoso; falésia alta; fjord; seawalls	Falésias médias; costa recortada; anteparos e seawalls pequenas	Falésias pequenas; planície aluvial;	Praias rochosas; estuários; lagoas; lagunas	Praias barreiras, praias arenosas, planícies lamosas; deltas
Relevo	≤ 20º Percentil	≤ 40º Percentil	≤ 60º Percentil	≤ 80º Percentil	> 80º Percentil
Habitats Naturais	Recife de coral; manguezal; floresta costeira	dunas altas; brejos	dunas baixas	Gramamarinha; kelps	Sem Habitat
Mudança do nível do mar	diminuição absoluta		de -1 até +1		Aumento absoluto
Exposição ao vento	≤ 20º Percentil	≤ 40º Percentil	≤ 60º Percentil	≤ 80º Percentil	> 80º Percentil
Exposição à ondas	≤ 20º Percentil	≤ 40º Percentil	≤ 60º Percentil	≤ 80º Percentil	> 80º Percentil
Potencial de vagas ou marulhos	≤ 20º Percentil	≤ 40º Percentil	≤ 60º Percentil	≤ 80º Percentil	> 80º Percentil

Fonte: Traduzido de (TALLIS, H.T. et al., 2013).

O modelo calcula o índice de exposição (*EI*) para cada segmento como expresso pela equação abaixo:

$$EI = (RG.RR.RH.RN.REO.REV.RT)^{\frac{1}{7}}$$

- *RG*: *rank* da geomorfologia.
- *RR*: *rank* do relevo.
- *RH*: *rank* dos habitats.

- *RN*: *rank* da mudança do nível do mar.
- *REO*: *rank* de exposição à ondas.
- *REV*: *rank* de exposição ao vento.
- *RT*: *rank* do potencial de ocorrência de ondas de tempestade.

Podendo ser expressa genericamente como:

$$EI = \left(\prod_{i=1}^n R_i \right)^{1/n}$$

Onde R_i representa o *rank* da i -ésima variável biogeofísica que é fornecida para calcular o EI .

Além disso, para mapear o índice de exposição, o modelo calcula um índice de erosão (ErI) como:

$$ErI = (RG.RH.REO)^{\frac{1}{3}}$$

Como dados padrão oferecidos pelo modelo temos: *Global Rural-Urban Mapping Project* (GRUMP) para dados de população; *Global Self-consistent, Hierarchical, High-resolution Shoreline* da NOAA para dados do *layer* geofísico; WW3 pode ser utilizado como padrão para obter dados de vento e onda; *shapefile* da quebra da plataforma continental para todo o globo. O potencial de ocorrência de ondas de tempestade pode ser obtido a partir da profundidade de contorno da quebra da plataforma e valores da tendência de mudança do nível do mar pode ser obtida do *Sea Level Change* ou *Sea Level Rise*. Com liberdade de escolher dados disponíveis mais recentes e precisos para substituir os padrões e instruções de como criar todas as entradas estão contidas no manual.

4.2 DADOS DE ENTRADA

4.2.1 Geomorfologia

A linha de costa utilizada para criar o *shapefile* geomorfologia foi a obtida do projeto Rede Integrada de Monitoramento e Previsão de Eventos Extremos na Região Sul (RIMPEX-SUL), digitalizada a partir de imagens de alta resolução espacial do satélite QuickBird. Uma

vez que os dados já estavam seccionados para cada feição morfológica ao longo da costa, bastou apenas estabelecer os valores de *rank* para cada classe, tendo sido realizada da seguinte maneira: Costão rochoso = 1; Aterro = 2; Vegetação costeira = 3; Rio = 4; Praia = 5. As Figuras 2, 3, 4, 5 e 6 ilustram a geomorfologia respectiva dos setores Norte, Centro Norte, Centro, Centro Sul e Sul.

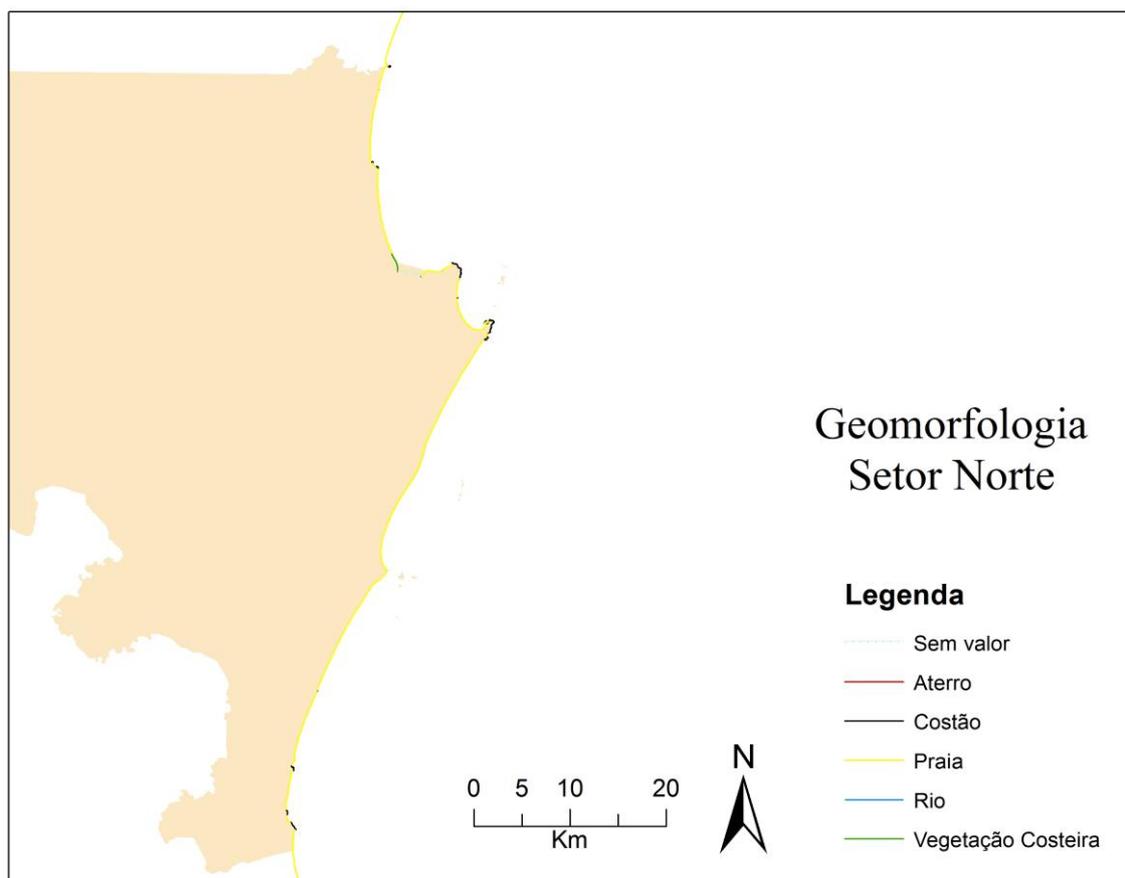


FIGURA 2 - CLASSIFICAÇÃO DA GEOMORFOLOGIA SETOR NORTE.

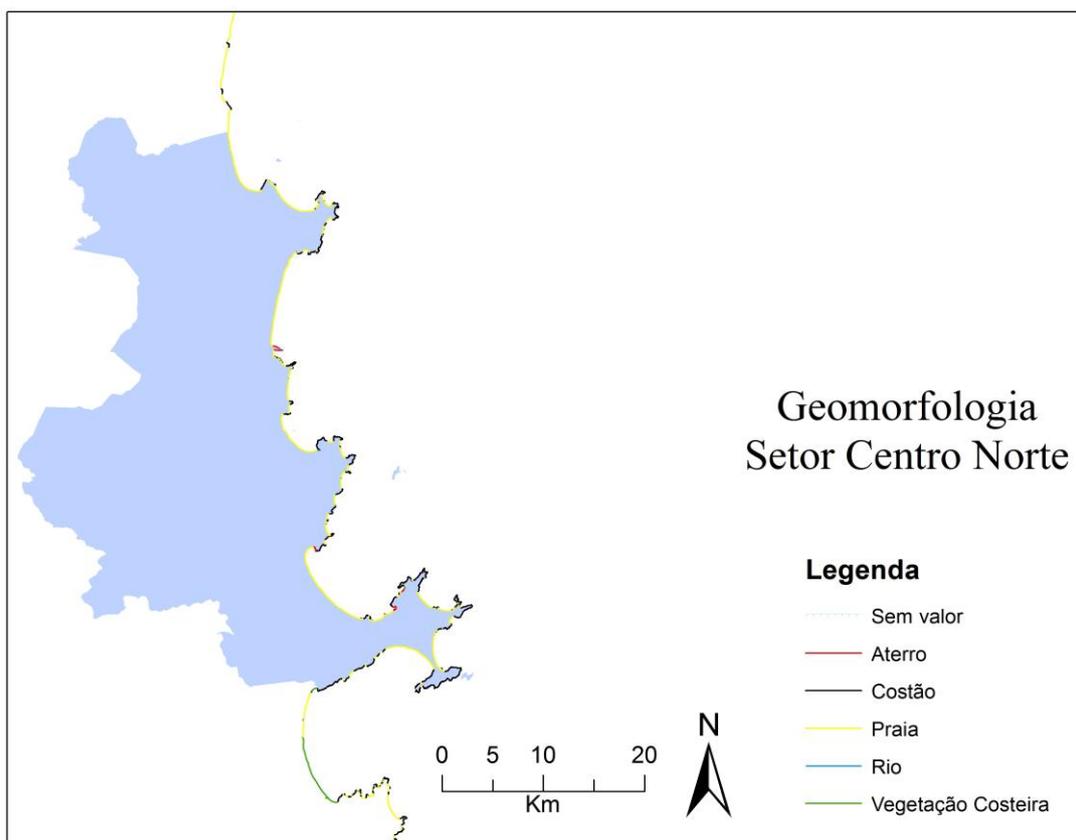


FIGURA 3 - CLASSIFICAÇÃO DA GEOMORFOLOGIA SETOR CENTRO NORTE.

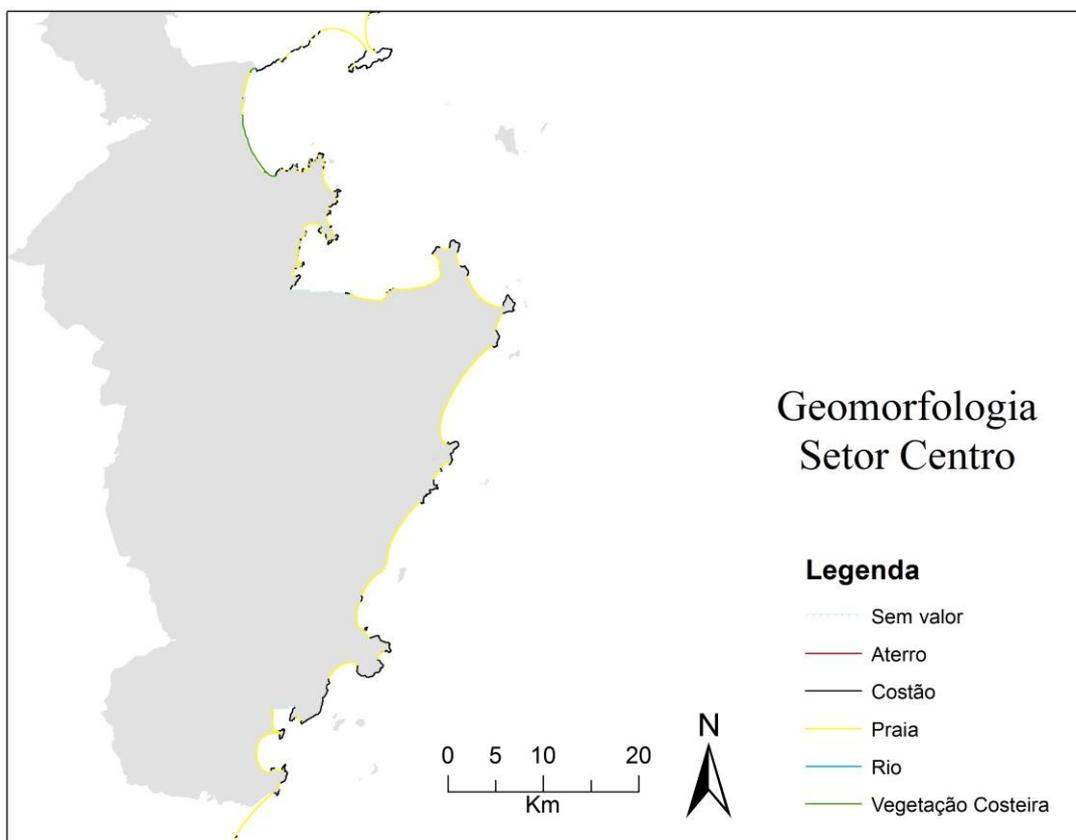


FIGURA 4 – CLASSIFICAÇÃO DA GEOMORFOLOGIA SETOR CENTRO.

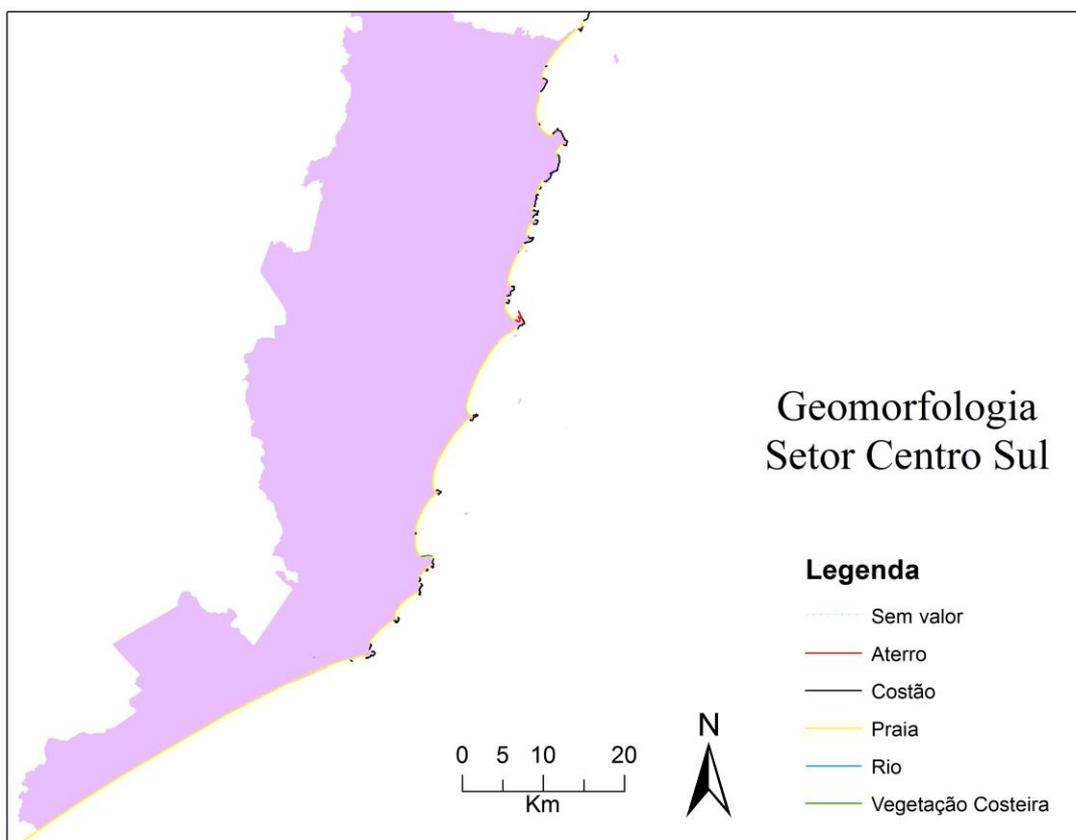


FIGURA 5 – CLASSIFICAÇÃO DA GEOMORFOLOGIA SETOR CENTRO SUL.

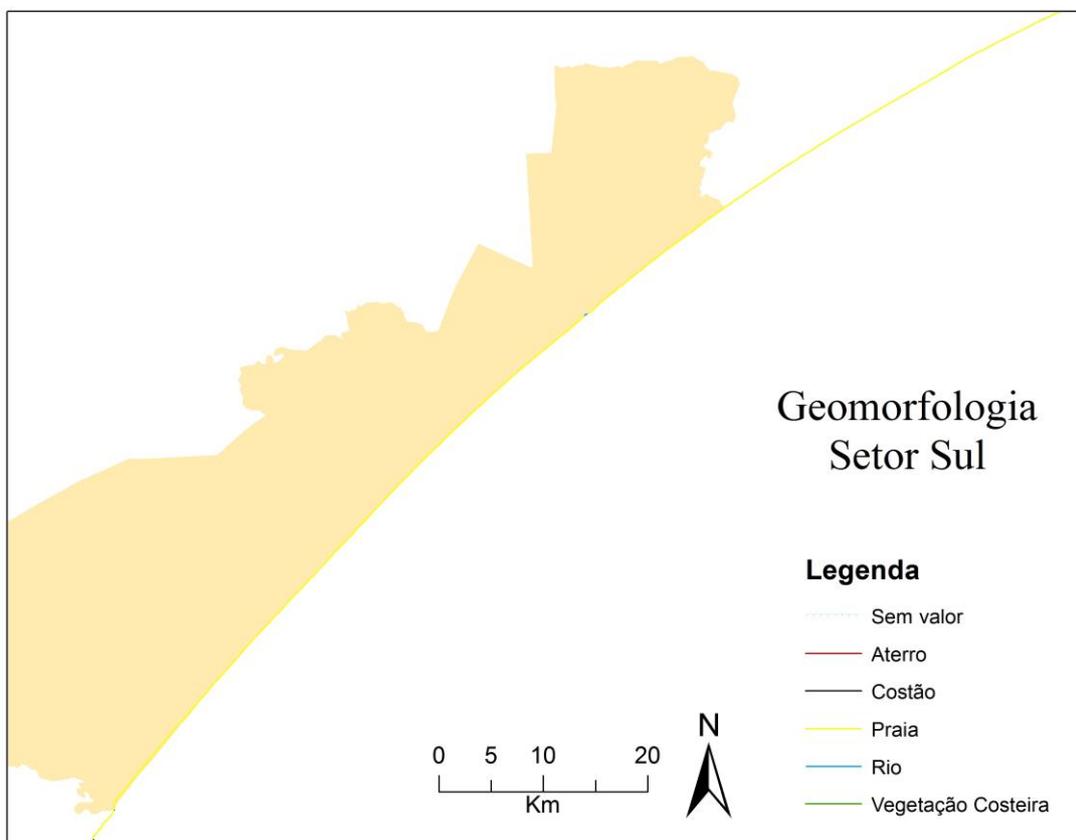


FIGURA 6 – CLASSIFICAÇÃO DA GEOMORFOLOGIA SETOR SUL.

4.2.2 Relevo

Um MDE pode ser encontrado na mapoteca online do Epagri/Ciram. Dividido por região hidrográfica, foram fundidas na Figura 7 para ser compatível com a extensão da área de interesse:

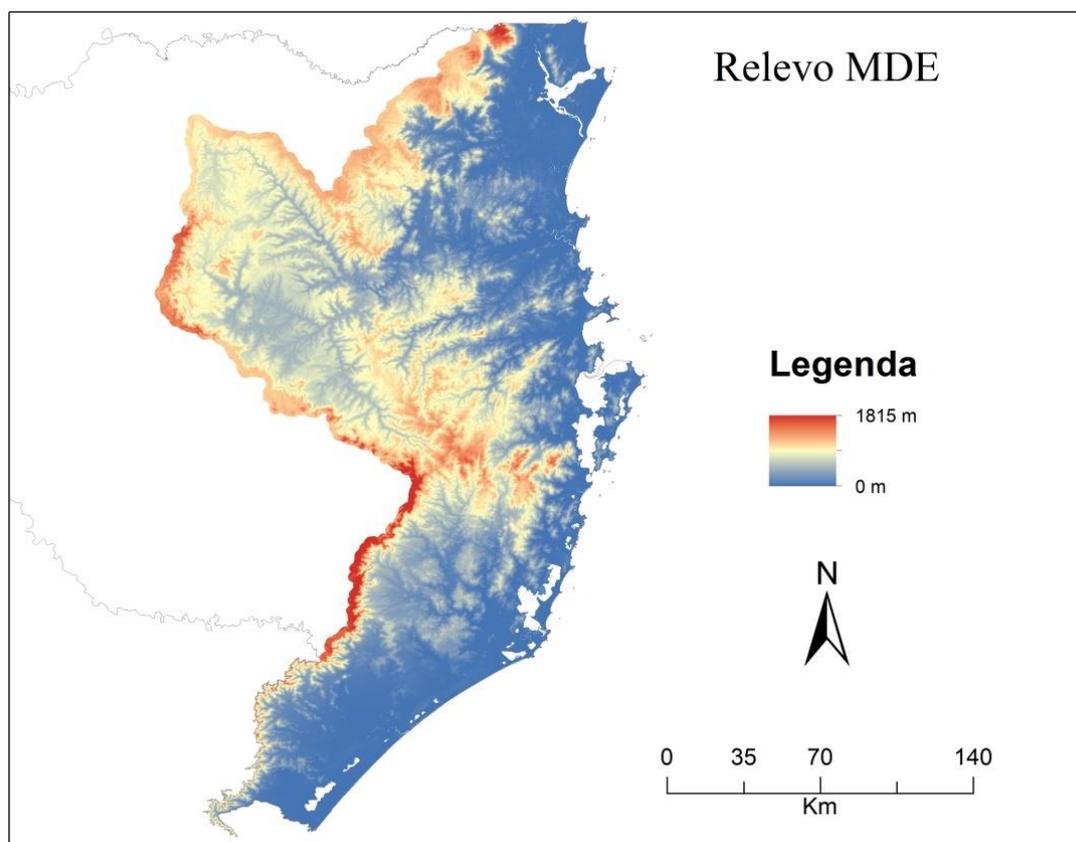


FIGURA 7 – MDE DO LITORAL DE SANTA CATARINA.

4.2.3 Habitats Naturais

Foram obtidos a partir da classificação de imagens do satélite LANDSAT e cedidos pela M.S. Carolina Mussi.

Nas Figuras 8, 9, 10, 11 e 12 estão os habitats naturais por setor:

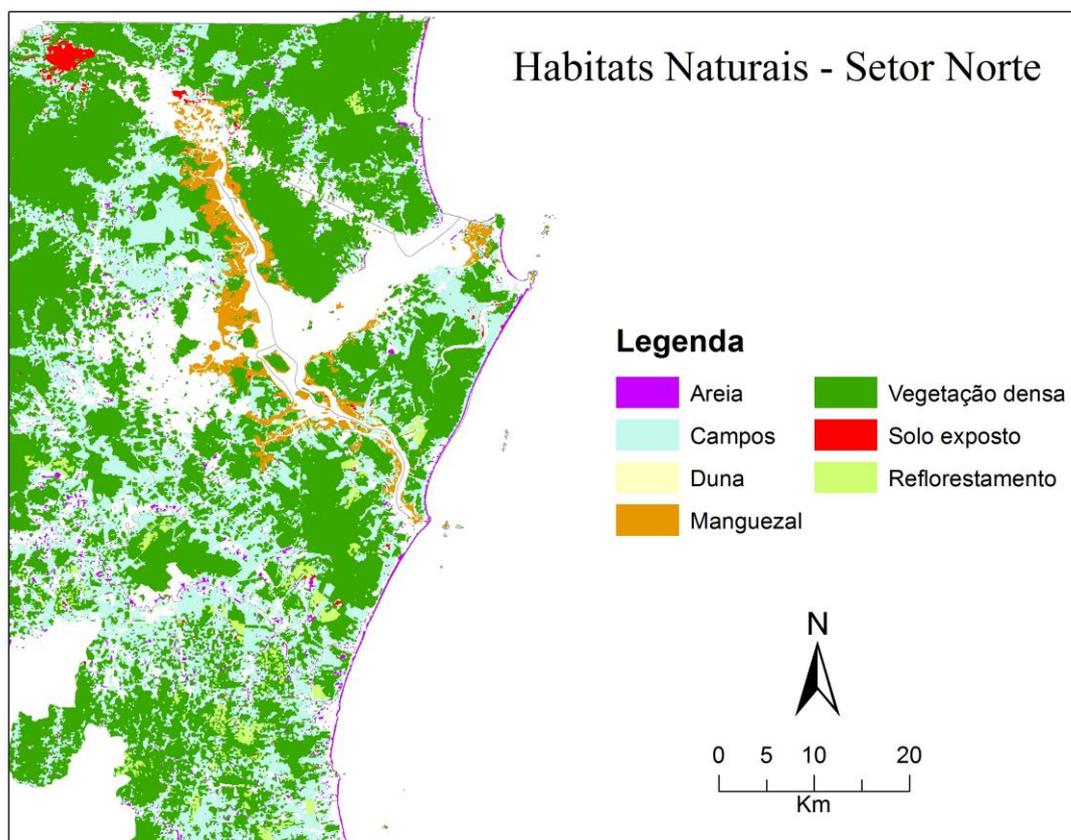


FIGURA 8 – HABITATS NATURAIS SETOR NORTE.

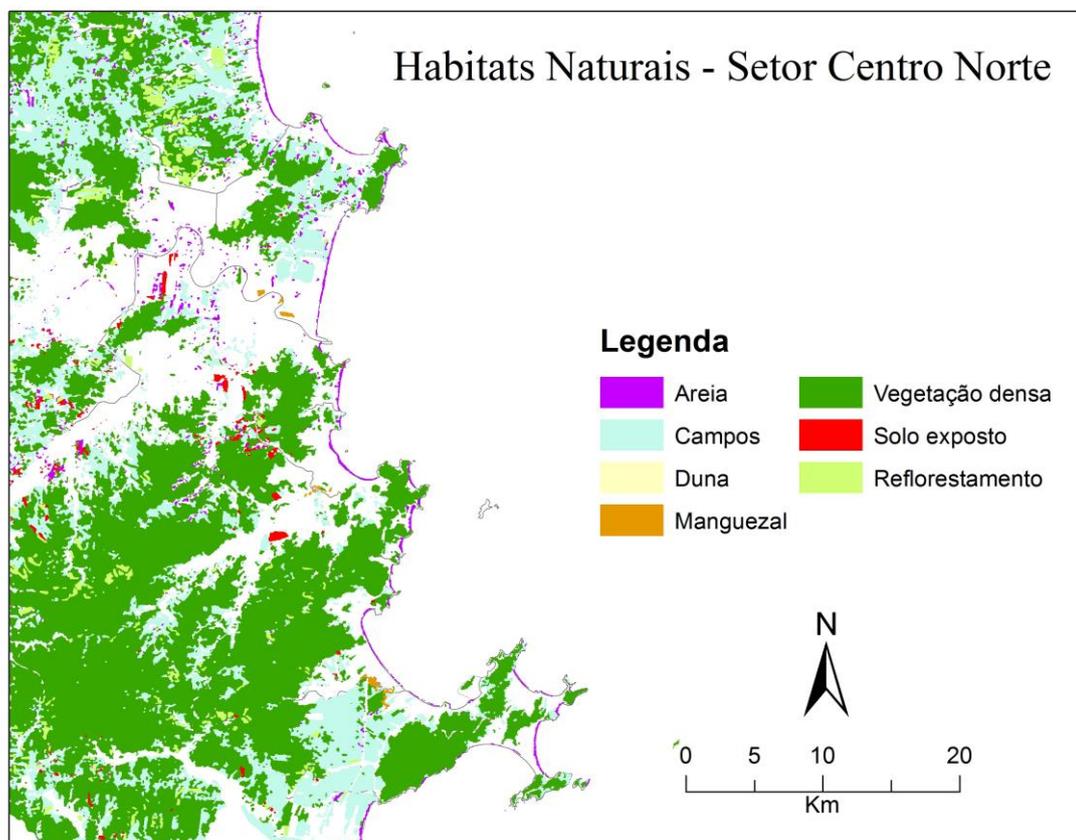


FIGURA 9 – HABITATS NATURAIS SETOR CENTRO NORTE.

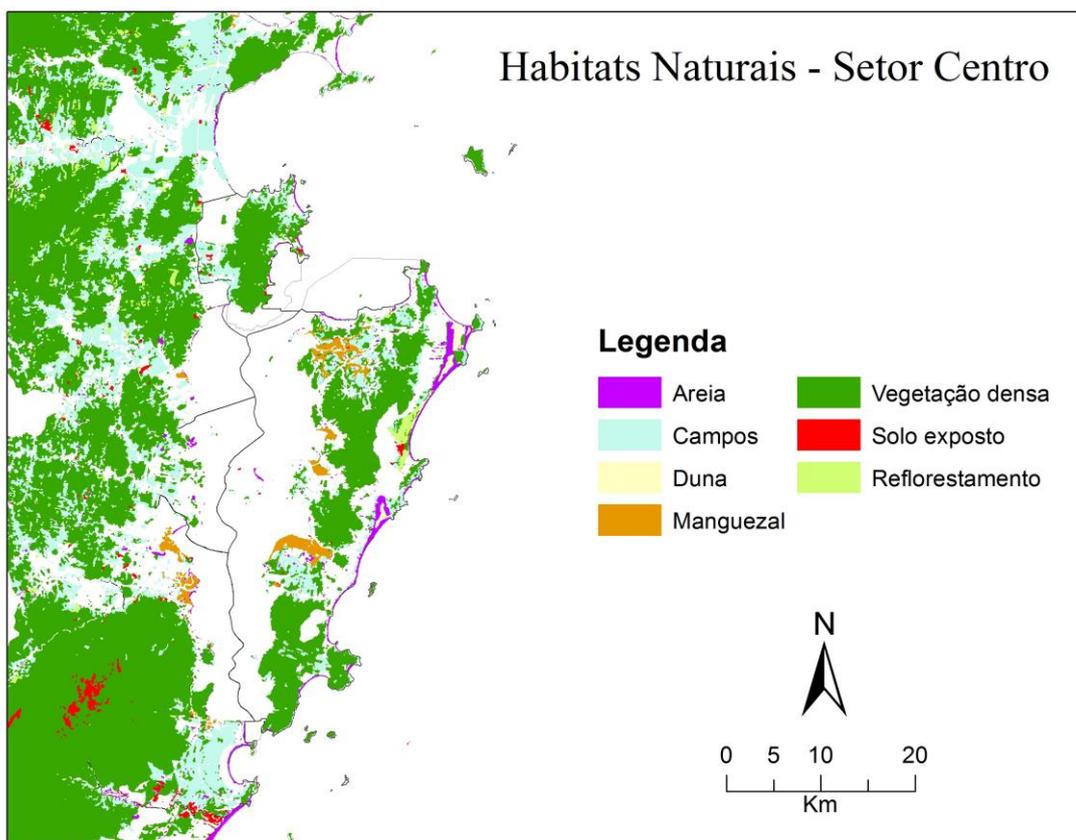


FIGURA 10 – HABITATS NATURAIS SETOR CENTRO.

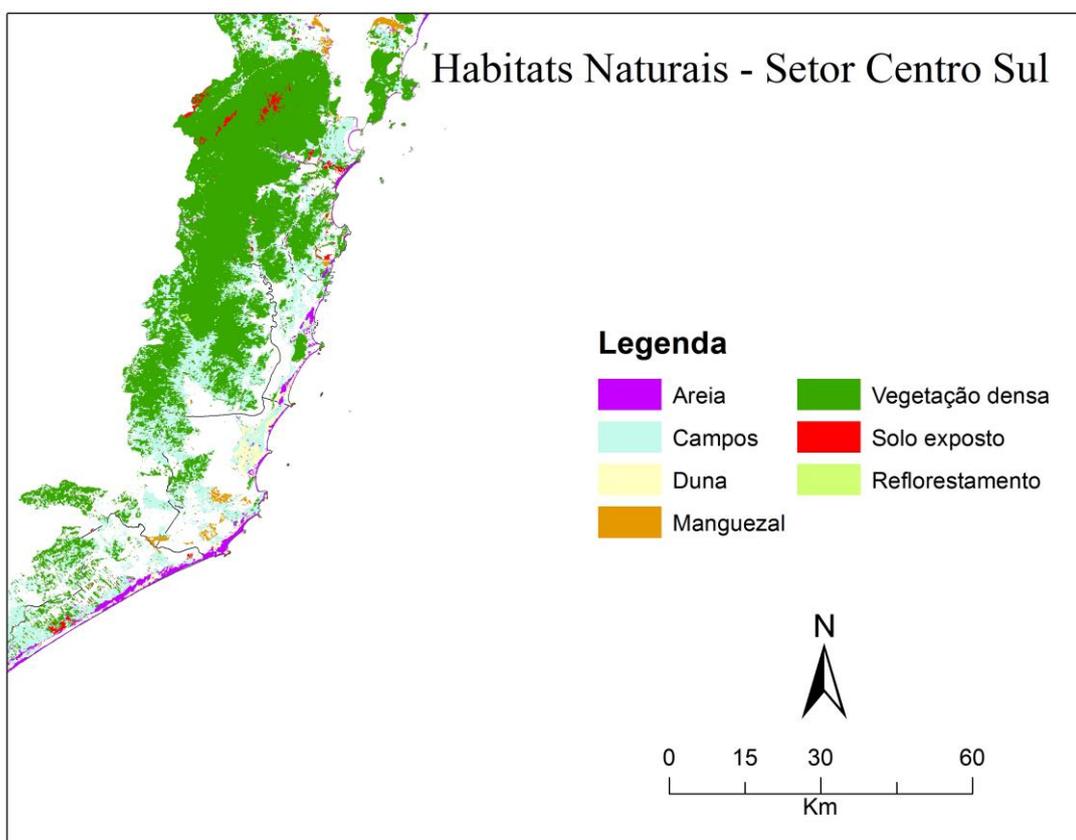


FIGURA 11 – HABITATS NATURAIS SETOR CENTRO SUL.

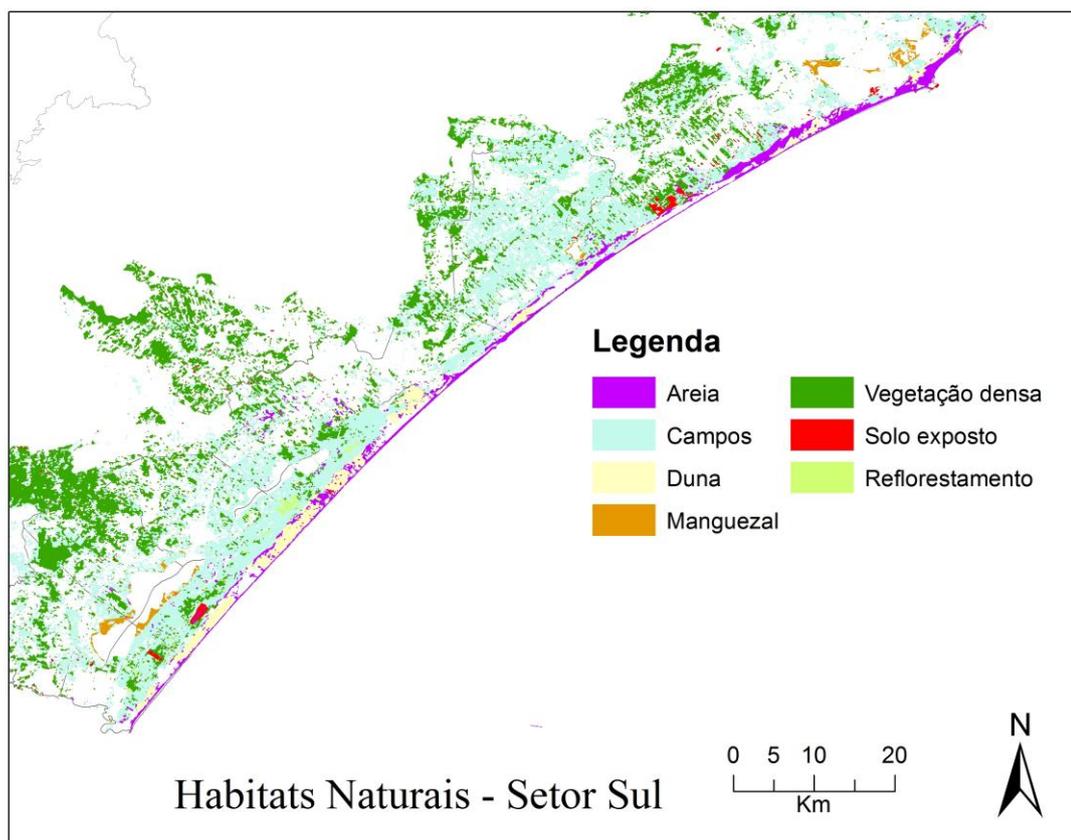


FIGURA 12 – HABITATS NATURAIS SETOR SUL.

4.2.4 Vento

Os dados de velocidade do vento são processados a partir do modelo de reanálise *Wave Watch III* pelo Natural Capital Project. São a média das 10% mais elevadas velocidades de vento da série temporal em cada um dos 16 setores angulares. Extraem-se apenas os valores mais altos, pois seriam os valores de velocidade correspondentes de uma tempestade local. A Figura 13 ilustra as velocidades de vento nas direções nordeste, leste, sudeste e sul:

Velocidade do Vento de:

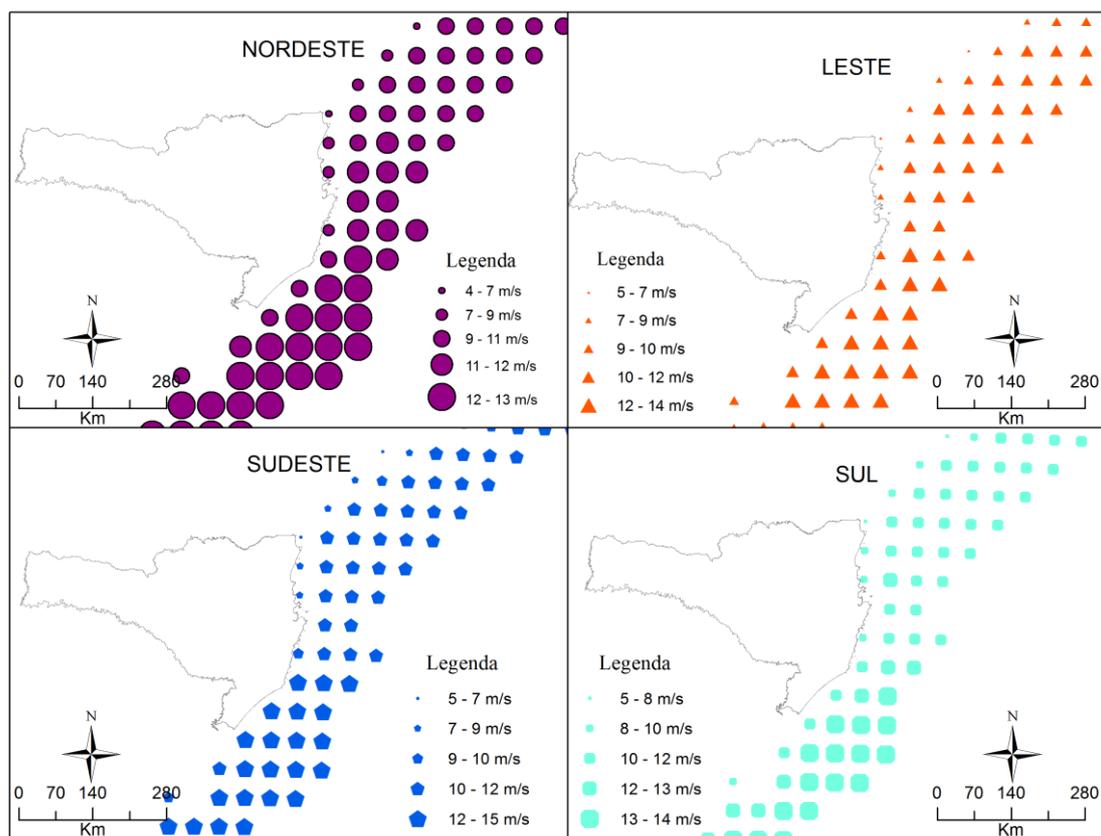


FIGURA 13 – VELOCIDADE DO VENTO NA DIREÇÃO NE, L, SE, E SUL.

4.2.5 Onda

O modelo computa pistas de vento oceânicas utilizando os valores de velocidade de vento citado no item anterior em cada setor. A energia de onda obtida para cada setor será considerada de tempestade oceânica, uma vez que só foram computados pistas de vento com pelo menos 60 km de distância. A figura 14 a energia de onda nas direções nordeste, leste, sudeste e sul.

Energia de ondas na direção:

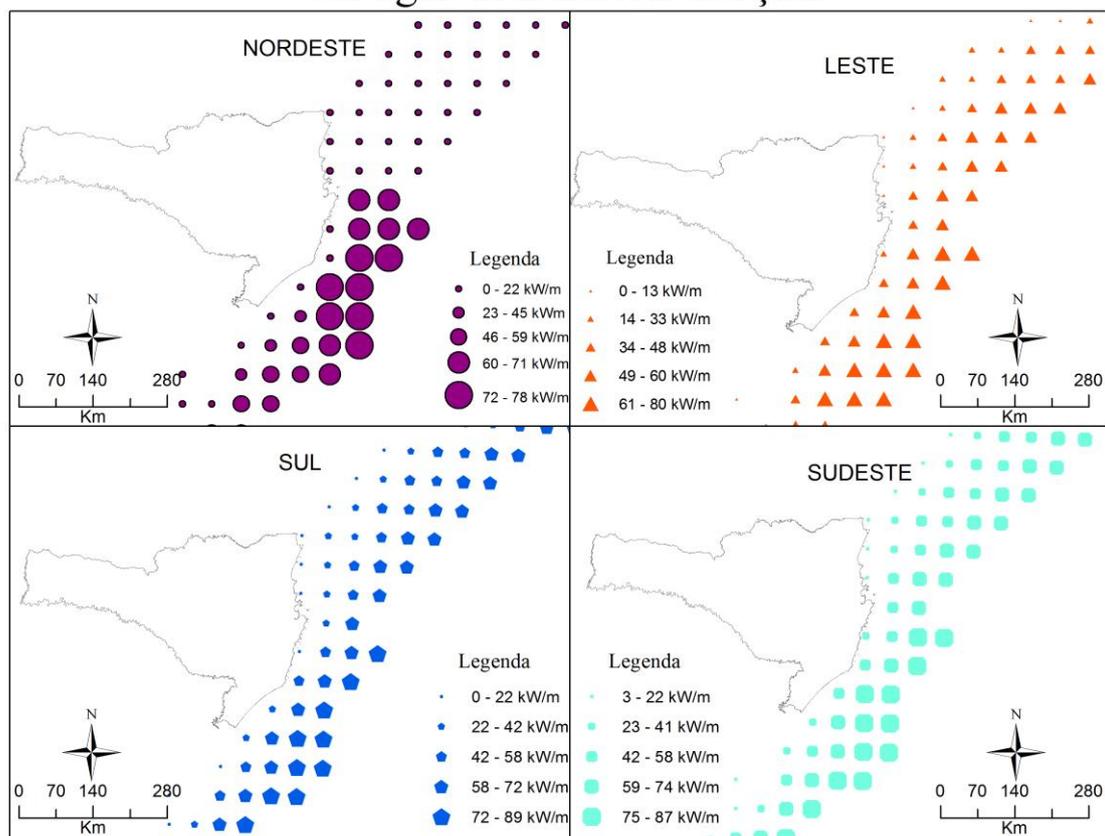


FIGURA 14 - ENERGIA DE ONDA NA DIREÇÃO NE, L, SE E SUL.

4.2.6 Mudança do nível do mar

Foi adotada a tendência de mudança do nível do mar oferecida pelo site da *NOAA tides and currents* da estação maregráfica da Ilha Fiscal/RJ. Em 2014 o valor de tendência de mudança do nível do mar era +2,5mm/ano. A Figura 15 ilustra a forma do polígono da tendência do nível do mar.

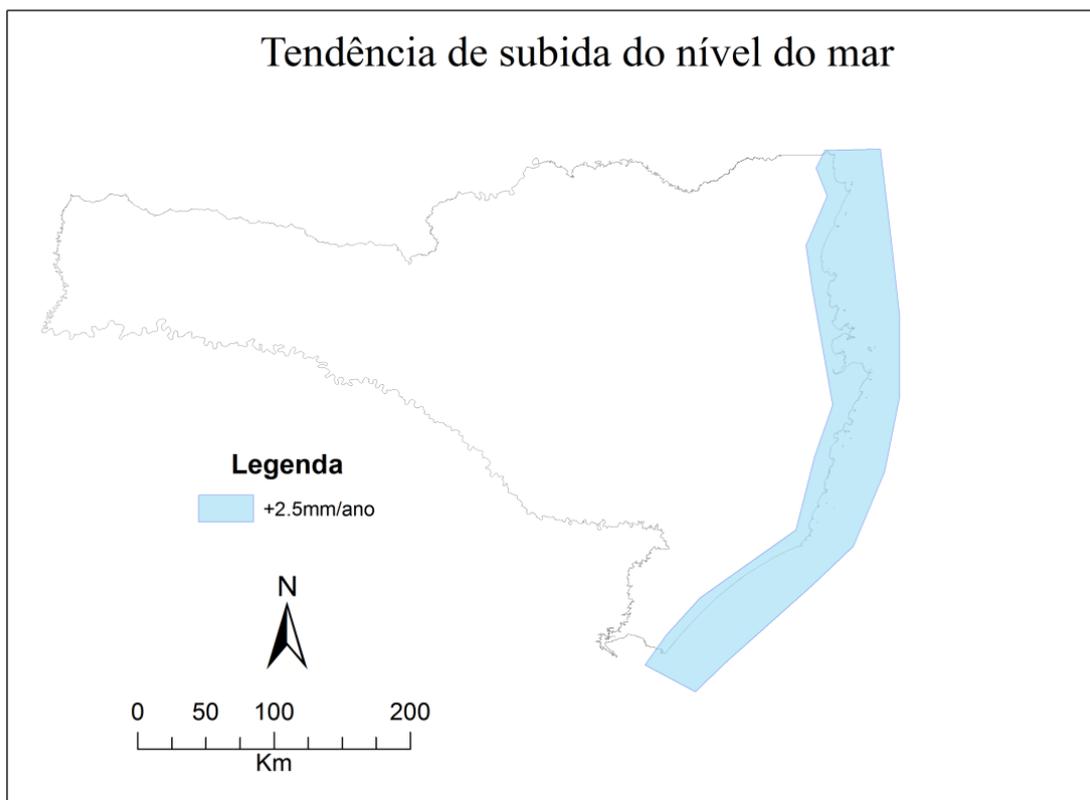


FIGURA 15 - POLÍGONO DE TENDÊNCIA DE MUDANÇA DO NÍVEL O MAR.

4.2.7 Potencial de ondas de tempestade

O tipo de plataforma continental influencia o comportamento das ondas geradas por tempestade. Em geral quanto mais suave o declive da plataforma continental maior são as chances de ocorrer inundações devido a ondas de tempestade. É uma entrada relativamente simples, que deve estar próxima a quebra da plataforma continental. Está a aproximadamente localizado sobre a isóbata de 200 metros de profundidade. Na Figura 16 está espacializada profundidade de quebra da plataforma continental.

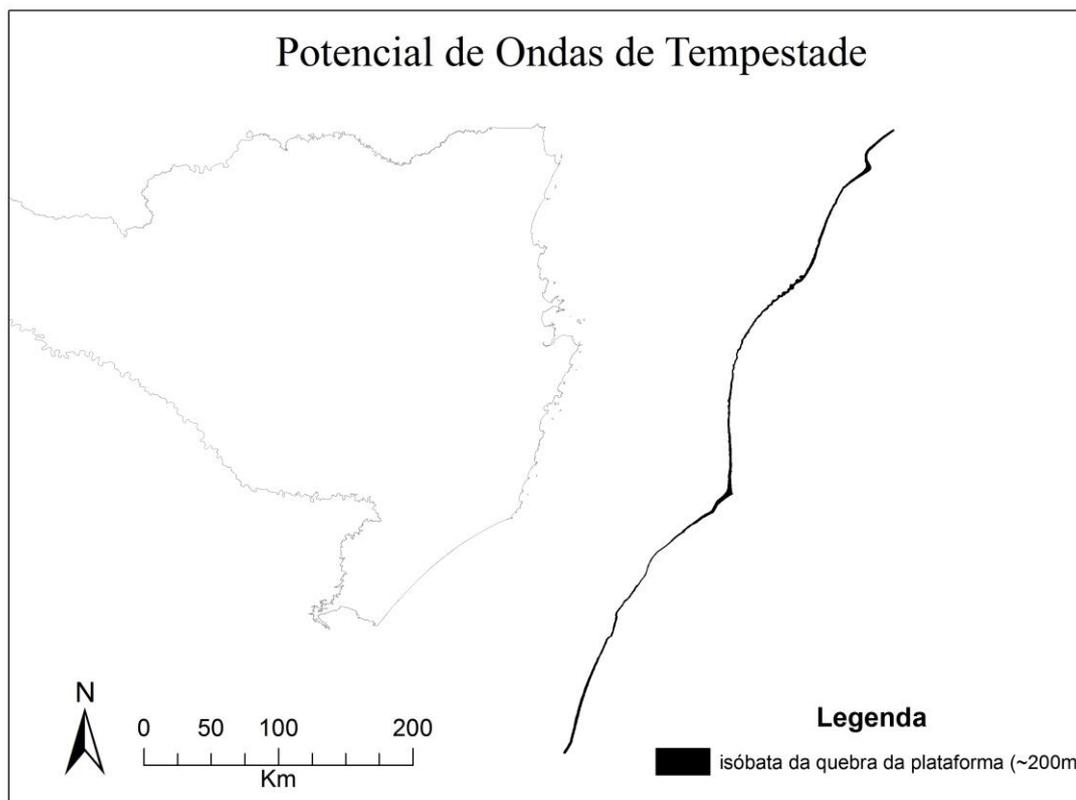


FIGURA 16 – LOCALIZAÇÃO DA QUEBRA DA PLATAFORMA.

4.2.8 *Layers base e auxiliares*

O modelo ainda exige um *raster* contendo dados de população (Figura 17), um polígono de massa continental (Figura 18), um polígono definindo a área de interesse (Figura 18) e dados de batimetria (Figura 19).

Os dados de população são do levantamento dos setores censitários do IBGE de 2010.

E os dados de batimetria são provenientes do Projeto SMC-Brasil e foram obtidos a partir da digitalização de cartas náuticas da DHN, tendo sido posteriormente interpolados.

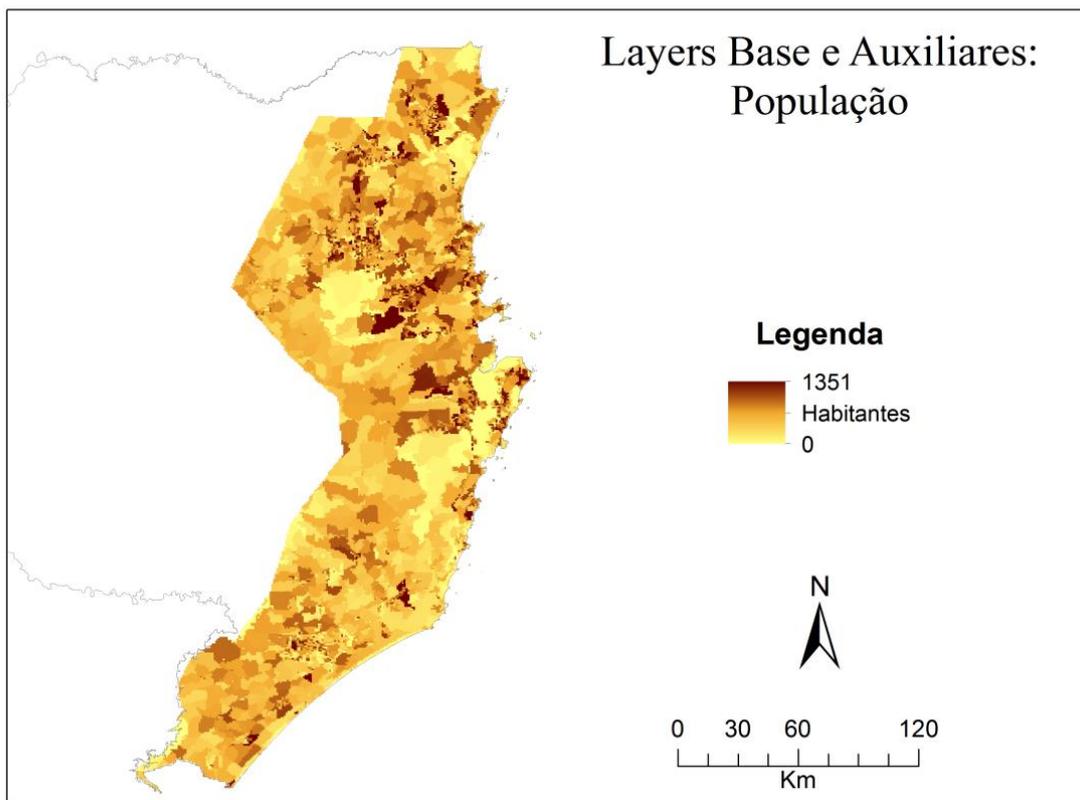


FIGURA 17 – POPULAÇÃO NOS SETORES CENSITÁRIOS.

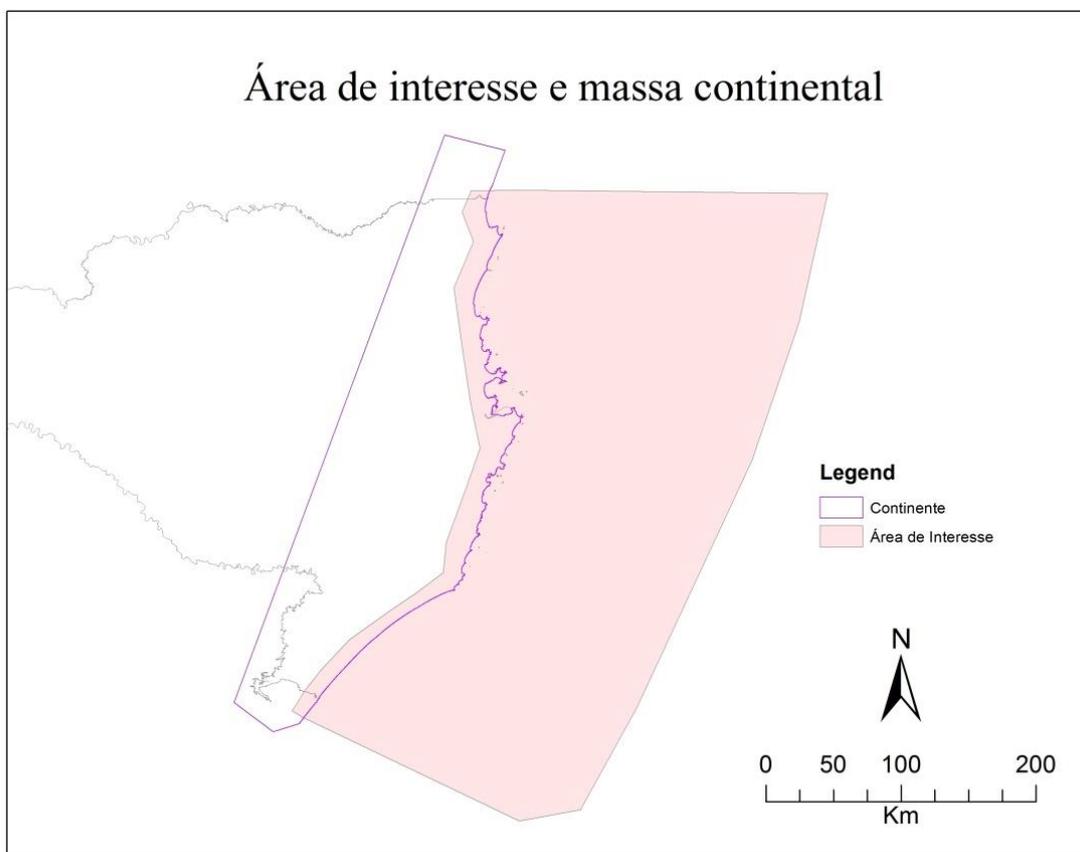


FIGURA 18 – ÁREA DE INTERESSE E CONTINENTE.

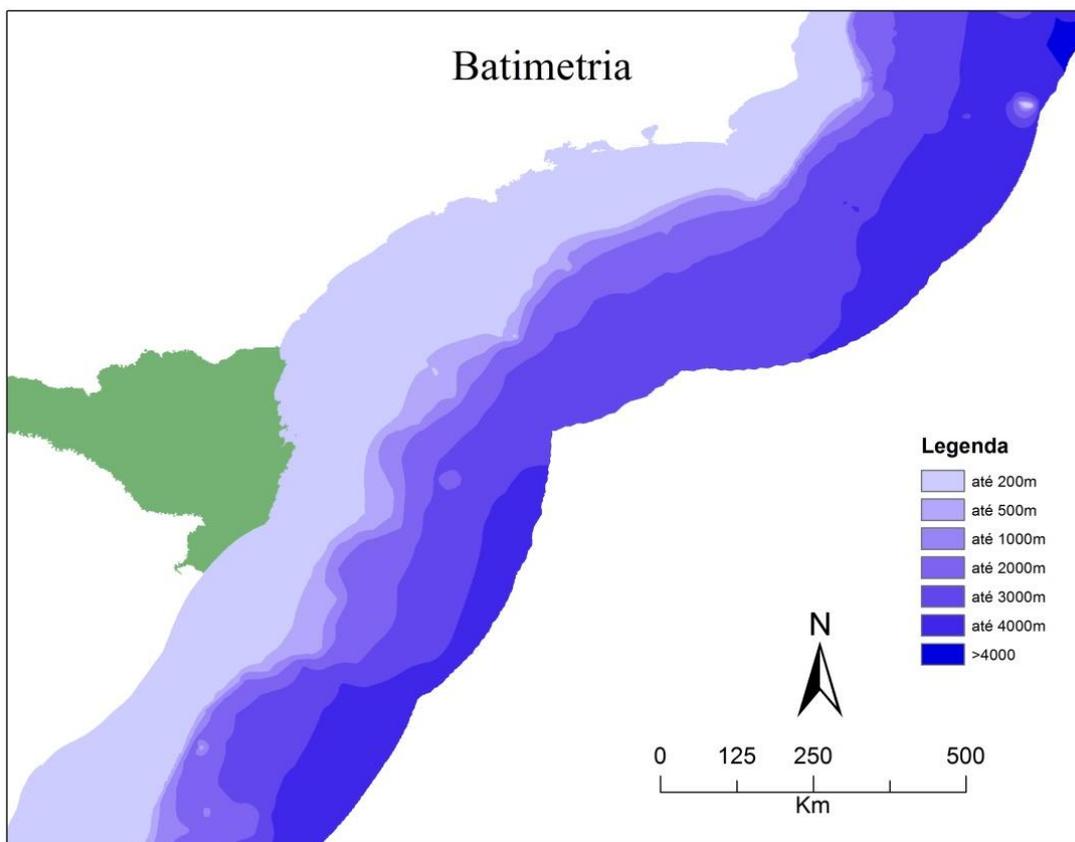


FIGURA 19 – DADOS DE PROFUNDIDADE.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Obteve-se do modelo aplicado valores de vulnerabilidade entre 1,58 e 3,84 ao longo da costa catarinense. Os valores do índice foram divididos em 5 intervalos para determinar as classes de vulnerabilidade Muito baixa (1,50 – 1,97), baixa (1,98 – 2,44), média (2,45 – 2,90), alta (2,91 – 3,37) e muito alta (3,38 – 3,84); conforme ilustrado na Tabela 2.

TABELA 2: CLASSES DE VULNERABILIDADE DEFINIDAS POR INTERVALOS DE VALORES DO ÍNDICE.

Classe	Intervalo
Muito Baixa	(1,50 – 1,97)
Baixa	(1,98 – 2,44)
Média	(2,45 – 2,90)
Alta	(2,91 – 3,37)
Muito Alta	(3,38 – 3,84)

A Tabela 3 mostra a porcentagem de linha de costa incluída nas classes de vulnerabilidade

TABELA 3: DISTRIBUIÇÃO DA VULNERABILIDADE PERCENTUAL EM CADA SETOR E TOTAL.

Porcentagens da linha de costa pertencente a cada classe de vulnerabilidade					
Linha de costa	Muito Alta	Alta	Média	Baixa	Muito Baixa
Norte	0	3,23	52,41	44,36	0
Centro Norte	0	1,56	23,69	61,07	13,68
Centro	0	9,78	38,70	39,63	11,89
Centro Sul	16,80	42,88	25,66	12,81	1,84
Sul	36,90	63,10	0	0	0
Comprimento total	8,76	21,45	29,70	33,80	6,30

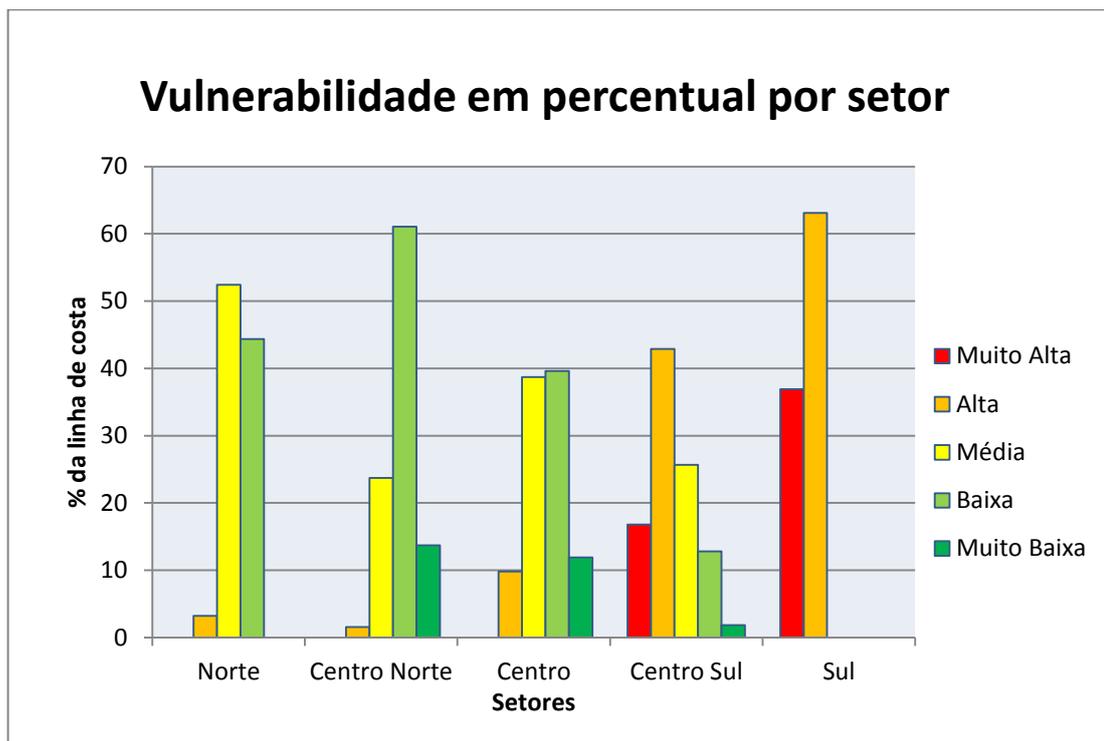


FIGURA 20 - GRÁFICO ILUSTRATIVO DA VULNERABILIDADE POR SETOR.

Ao longo da costa catarinense a vulnerabilidade obtida pelo modelo se mostra crescente conforme seguimos na direção Sul, sendo que a classe de vulnerabilidade muito alta só esteve presente nos setores Sul e Centro Sul. Já os menores valores de vulnerabilidade se encontram nos setores Centro e Centro Norte. O setor que apresentou maiores valores de vulnerabilidade segundo o modelo foi o setor Sul, tendo 36,9% da sua extensão classificada com vulnerabilidade muito alta e o restante alta.

No Setor Norte 96,7% da costa foi classificada com vulnerabilidade entre baixa e média. O segmento de Itapoá a São Francisco do Sul, da costa voltado para nordeste, apresentou vulnerabilidade baixa e o segmento entre São Francisco e Barra Velha, orientado para sudeste, apresentou principalmente valores médios.

O Setor Centro Norte, por possuir mais praias de enseadas acidentada do que a costa do Setor Norte, os valores de vulnerabilidade são bem menores nesse setor comparado com outros setores. Apresentando quase 75% da extensão do setor classificado com vulnerabilidade baixa e muito baixa.

Porém no Setor Centro esse padrão se altera após Governador Celso Ramos. O norte de Florianópolis, apesar da orientação da linha de costa ser norte nordeste, possui valores

médios de vulnerabilidade, podendo ser afetado: 1) Pelos habitats naturais estarem menos presentes e os poucos que estão sendo associados à linha de costa sejam os que oferecem maior vulnerabilidade. 2) A energia de ondas na direção nordeste incrementa de forma significativa nos dados do modelo WW3 para a direção nordeste. 3) A geomorfologia é predominante praial. Ressalta-se que quanto mais ao sul, 1) e 3) começam a se tornar padrão de ocorrência na linha de costa. Também é possível visualizar vulnerabilidade alta em diversas secções da costa. As classes mais notórias continuam sendo média e baixa.

Conforme segue-se para o sul do estado de Santa Catarina as praias de enseada diminuem e os promontórios rochosos se tornam menores e mais espaçados, aumentando a exposição de ondas e ventos de sul e sudeste da secção. Além disso, essa parte do litoral possui poucos habitats com valores elevados de proteção. Começando do litoral de Paulo Lopes até o porto de Imbituba, a situação se assemelha do litoral do Setor Centro. Mas a partir do porto de Imbituba até Laguna começa a ser detectada a presença de classes muito alta a geomorfologia de praias até o final do setor e a vulnerabilidade aumenta. A classe mais frequente foi a alta, representando 42% da linha de costa do setor.

Por fim, o setor Sul apresentou valores altos de vulnerabilidade em 63% da linha de costa e ainda maiores no restante em regiões com maior concentração populacional. Comparando os habitats naturais junto à costa, a vulnerabilidade se mostrou menor onde não existiam dunas nas proximidades da secção da linha de costa. Onde as dunas estavam além da distância de 300 m as secções estão classificadas em classe muito alta.

Os habitats podem estar associados aos menores valores de vulnerabilidade ao norte, devido a essa linha de costa conter habitats com valores mais altos de proteção (Manguezais) contra os de menor proteção no sul (Dunas). Os habitats naturais em questão são todos terrestres, mas o modelo sugere utilização de habitats e feições marinhas para enriquecer essa entrada. Apesar dos esforços de conservar habitats costeiros, incorporar habitats naturais marinhos poderia atenuar valores de vulnerabilidade de maneira mais significativa do que os habitats terrestres, considerando que atuam diretamente na dispersão de energia de ondas e que habitats terrestres estão cada vez mais sendo ameaçados e pressionados pela ocupação humana desordenada.

Os resultados obtidos permitiram uma boa interpretação considerando algumas variáveis para discussão. Isso não pode ser afirmado quando considera-se o dado de alteração do nível do mar. Para uma secção de costa inteira temos um valor constante associado, o que

não adiciona variabilidade na área de estudo. Isso pode ter explicado valores relativos mais homogêneos do que se previa, entre 1,5 e 3,38. Esse valor pode variar de 1 a 5 para a área de interesse. A redução dos intervalos máximo e mínimo da vulnerabilidade pode estar associada a pouca variabilidade de algumas entradas do modelo. Um dado muito bom de grau de detalhamento refinado é o de habitats naturais, mas que poderia ser aprimorado para facilitar manejo de áreas litorais incorporando habitats marinhos ao longo da costa no sentido mar a dentro. Isso poderia auxiliar a ampliar o leque de possibilidades para interpretações espaciais de entradas de modelos futuros para identificar vulnerabilidade costeira, associando os ambientes marinhos aos serviços e usos, compreendo melhor os efeitos na suscetibilidade das populações que dependem deles.

Um modelo de vulnerabilidade foi aplicado em secções arenosas na área de estudo por SERAFIM (2014). A vulnerabilidade é uma associação feita com modelo susceptibilidade e capacidade adaptativa nas praias do estado; ambos também executados pela autora no mesmo trabalho. Os resultados não foram similares. Apresentaram resultados praticamente opostos no que se refere à vulnerabilidade nos setores do GERCO. Essa divergência dos dados é extrema nos setores Norte e Sul principalmente. O Setor Norte obteve os maiores valores de vulnerabilidade no Setor Norte e os menores no Setor Sul. Apesar de calcularem as entradas de maneira semelhante para adquirir a vulnerabilidade, é importante considerar que o a interpretação de vulnerabilidade do modelo do InVEST equivale a suscetibilidade na linha de pesquisa de SERAFIM (2014).

Ambos os modelos de análise espacial visam adquirir a vulnerabilidade da linha de costa a eventos de alta energia. BIRKMANN (2006) comenta sobre a vulnerabilidade ter dimensões físicas, sociais, econômicas e ambientais. Logo a grande diferença da natureza dos dados utilizados como entrada para executá-los, bem como as bases conceituais por de trás dos termos de vulnerabilidade, justificam os modelos de vulnerabilidade não necessitar apresentar resultados parelhos.

Esse estudo utilizou entradas puramente físicas para identificar a vulnerabilidade a eventos extremos de tempestade, potencialmente provocando erosão e inundação, e a contribuição que as características físicas teriam em resposta perante eventos dessa natureza em todos os tipos de geomorfologia ao longo da costa. O modelo possui limitações devido a simplificações de natureza teórica que implicam não considerar a dinâmica entre processos costeiros, simplificando na média de sete variáveis. Não é modelada a onda de tempestade

nem o campo de ondas atuando próximo da costa, nem a quantidade e qualidade dos habitats naturais. O peso de todas as entradas são iguais entre as variáveis, por exemplo assumindo que a presença de um manguezal na linha de costa teria resposta equivalente a energia de onda. Foi feito para escalas relativamente pequenas, podendo ser aplicada em escala regional, visto que a dimensão máxima de um pixel da imagem do resultado de vulnerabilidade adquirida é de 250 metros.

O modelo proposto por SERAFIM (2014) oferece entradas físicas e socioeconômicas. As entradas físicas servem para avaliar a susceptibilidade de eventos de extremos e as socioeconômicas avaliam a capacidade de resposta da população afetada considerando renda, se a residência afetada é ocasional e a população residente. A vulnerabilidade foi obtida em praticamente todas as praias do estado. A abordagem da autora foi diferente apesar do evento no qual se quer identificar a vulnerabilidade ser na essência o mesmo e a vulnerabilidade estar sendo associada à capacidade de resposta, o que não é abordado pelo modelo do InVEST. Através de uma ótica de estudo que considera componente de vulnerabilidade como a capacidade de adaptativa de uma dada população. Essas diferenças conceituais sempre devem ser levadas em consideração sempre que houver a intenção de obter a vulnerabilidade da linha de costa.

Os modelos estarem sendo ligados pelo termo vulnerabilidade, pode gerar certa confusão quando se analisa os resultados obtidos em ambos os trabalhos. O modelo abordado no presente trabalho interpreta que vulnerabilidade representa a suscetibilidade física de uma comunidade ao dano. Já o modelo abordado por SERAFIM (2014) considera que a vulnerabilidade deve ser obtida utilizando a suscetibilidade (física) e a capacidade adaptativa, que considera aspectos econômicos e sociais das populações na área de interesse.

Além disso, eventos extremos e eventos de alta energia, são termos vagos que foram empregados nos trabalhos, podendo se referir mais de um processo costeiro. Eventos de alta energia propostos nesse trabalho referem-se às forçantes do vento e de ondas com os valores mais altos da base de dados, que corresponderiam às intensidades das forçantes durante um evento de alta energia (no caso, tentando se aproximar de tempestades). SERAFIM (2014) considera no modelo de suscetibilidade que eventos extremos dependeriam da elevação do nível do mar resultantes de marés meteorológicas e astronômicas.

O curioso é que os objetivos de ambos os modelos é muito similar e estes buscam um resultado que se esperaria serem semelhantes quando aplicados a uma mesma área. Mas as

divergências estão nos pressupostos metodológicos que se adota para obter os resultados. Resultados visuais de vulnerabilidade ao longo da costa obtidos através do modelo InVEST ilustrado nas Figuras 21, 22, 23, 24 e 25 para os respectivos setores Norte, Centro Norte, Centro, Centro Sul e Sul.



FIGURA 21 - VULNERABILIDADE PARA SETOR NORTE.

Resultados de Vulnerabilidade

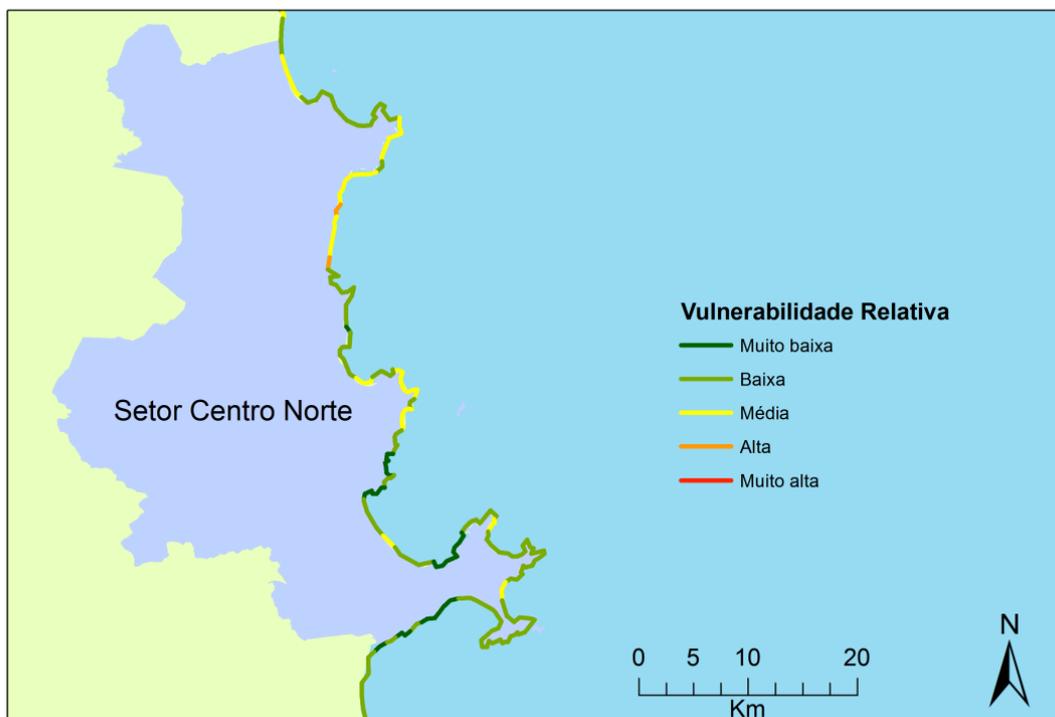


FIGURA 22 - VULNERABILIDADE PARA SETOR CENTRO NORTE.

Resultados de Vulnerabilidade

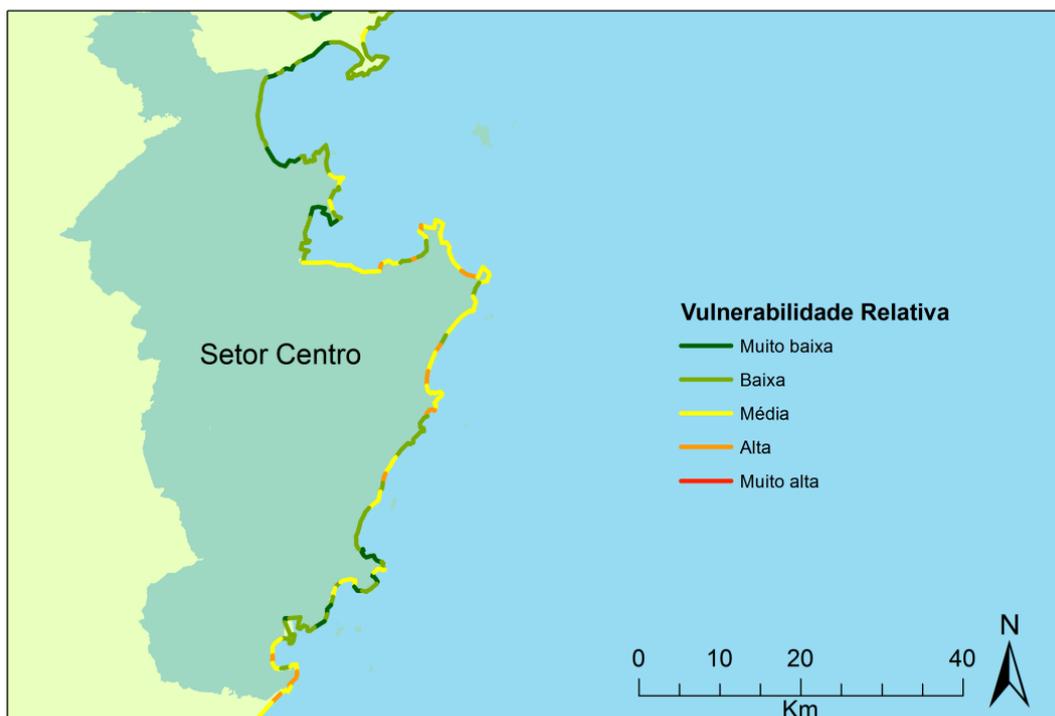


FIGURA 23 - VULNERABILIDADE PARA SETOR CENTRO.

Resultados de Vulnerabilidade

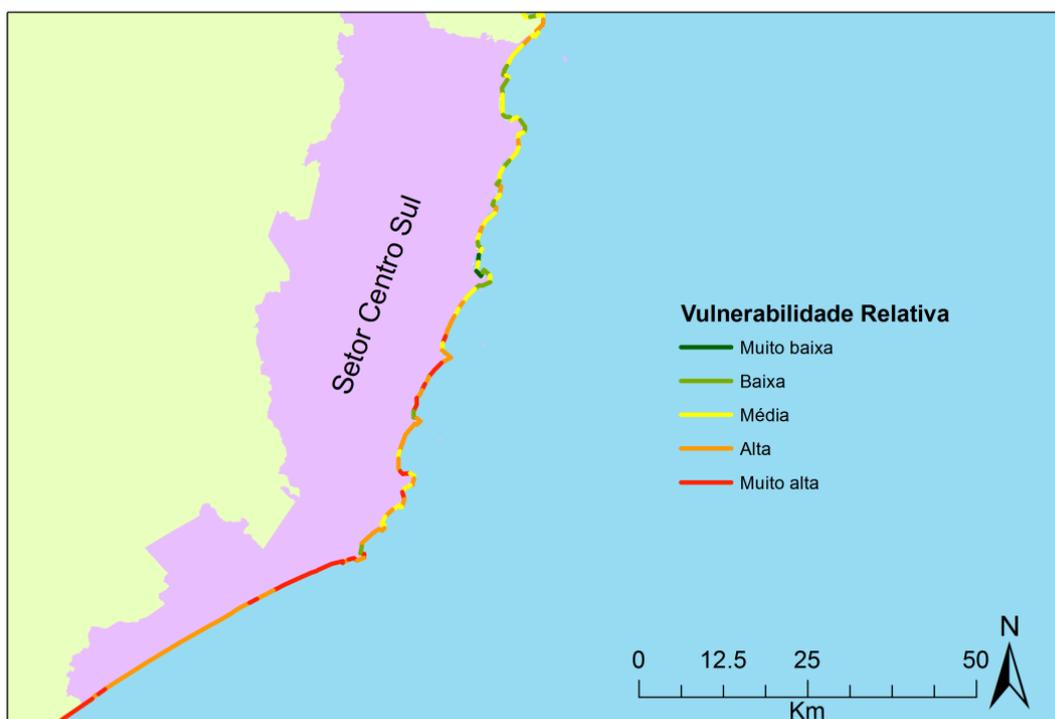


FIGURA 24 - VULNERABILIDADE PARA SETOR CENTRO SUL.

Resultados de Vulnerabilidade

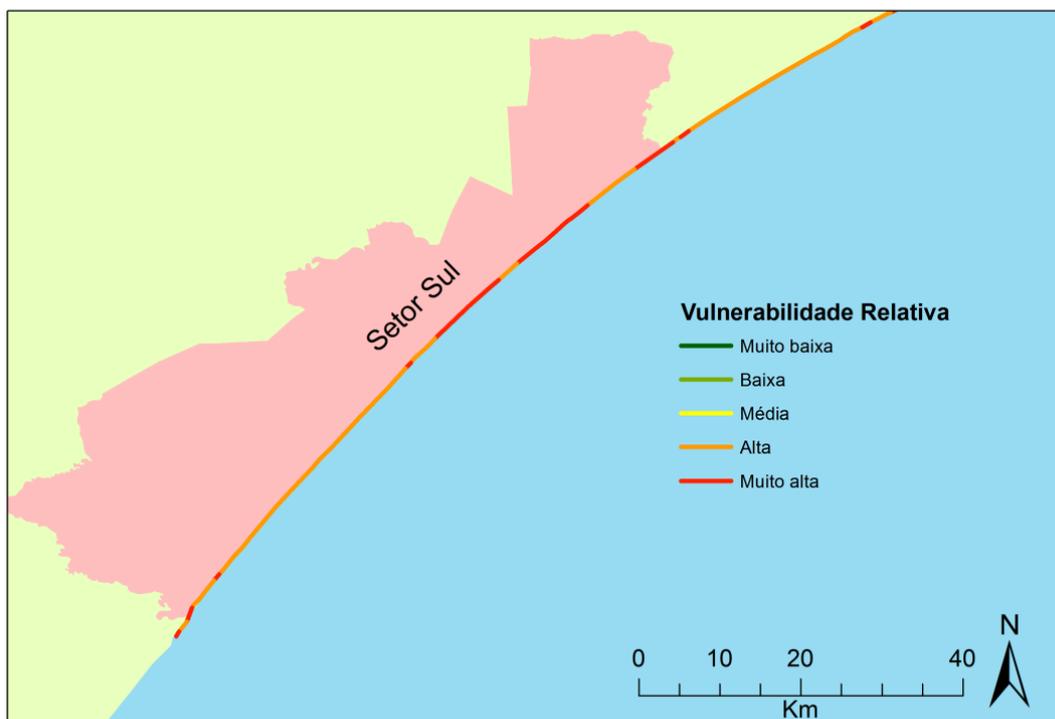


FIGURA 25 - VULNERABILIDADE PARA SETOR SUL.

6 CONCLUSÃO

Esse estudo foi desenvolvido com a intenção de aplicar uma metodologia, desenvolvida pelo *Natural Capital Project*, para mapeamento da vulnerabilidade (pela ótica do modelo seria equivalente a suscetibilidade) costeira da linha de costa catarinense. Consiste de um modelo espacial multicritérios que adota sete variáveis espaciais físicas.

A vulnerabilidade obtida pelo InVEST mostrou resultados interessantes para a linha de costa catarinense para responder como a suscetibilidade pode se comportar adotando parâmetros físicos em escala regional. Os dados atualmente disponíveis são satisfatórios para executar o InVEST. Para melhorar os resultados, o dado que possui maior necessidade de aprimoramento na região seria o de mudança do nível do mar para a costa do Brasil. E outro bom aprimoramento seria especializar os habitats naturais marinhos.

O resultado obtido foi comparado com outro modelo espacial multicritério. Os modelos estarem sendo ligados pelo termo vulnerabilidade, pode gerar certa confusão quando se analisa os resultados obtidos em ambos os trabalhos e diferenças nas bases metodológicas foram identificadas entre os dois modelos de vulnerabilidade, apesar das semelhanças de ambos serem referentes à vulnerabilidade de eventos de alta energia.

Conceitos amplamente usados em diversas áreas de estudo, por exemplo vulnerabilidade, devem ser analisados antes de se discutir e comparar resultados, para que se possa fazer a transição dos termos e compreender os significados dos objetivos e resultados do que será discutido.

O que mais chama a atenção é o fato do resultado estar tão diferente com objetivos tão semelhantes, que na essência são os mesmos: entender os obstáculos dos caminhos para desenvolvermos uma sociedade sustentável e resiliente a desastres sejam eles naturais ou não.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, F. L. L. **Hidrodinâmica e propriedades físicas das águas adjacentes a Reserva Marinha do Arvoredo – SC. Florianópolis**, 2013. Dissertação (Bacharelado em Oceanografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

BIRKMANN, J. **Measuring vulnerability to promote disaster-resilient societies: Conceptual frameworks and definitions**. Measuring vulnerability to natural hazards: towards disaster resilient societies. Nova Deli, Índia, 2006 p. 7-54. cap. 1.

BRASIL. Ministério dos Transportes. **Banco de Informações e Mapas de Transporte**. Sistema de Informações Geográficas. Brasília. Disponível em: <<http://www2.transportes.gov.br/bit/01-inicial/sig.html>> Acesso em 20 out. 2015

CBD (Secretariat of the Convention on Biological Diversity). **Marine Biodiversity – One Ocean, Many Worlds of Life**. Montreal, 2012, 77 p. Disponível em: <<http://www.cbd.int/idb/doc/2012/booklet/idb-2012-booklet-en.pdf> > Acesso em: 5 nov. 2015.

CODIGNOTTO, J.O. **Wind-wave climate change and increasing erosion in the outer Río de la Plata, Argentina**. Continental Shelf Research, vol. 38, 2012.

ESRI. Overview. **What is GIS?** Disponível em: < http://www.esri.com/what-is-gis/overview#overview_panel> Acesso em 20 nov. 2014.

HAMMAR-KLOSE, E. S.; THIELER, E. R. **Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise: A Preliminary Database for the U.S. Atlantic, Pacific and Gulf of Mexico Coasts**. U.S. Geological Survey Digital Data Series – 68. 2001. Disponível em: <<http://pubs.usgs.gov/dds/dds68/htmldocs/project.htm>> Acesso em 08 dez. 2015

IBGE (Brasil). Dimensão ambiental. **Indicadores de desenvolvimento sustentável: populações residentes em áreas costeiras**. Brasil, 2004.

JANCZURA, R. **Risco ou vulnerabilidade social?** Porto Alegre: Santa Maria, Texto&Contextos, v. 11, n. 2, p.301-308, ago./dez. 2012.

LIMA, C. O.; DE OLIVEIRA, R. C. **Os processos de erosão e progradação no município de Ilha Comprida – SP**. Geonorte, ed. especial, v. 1, n. 4, 2012.

MUEHE, D. **Aspectos gerais da erosão costeira no Brasil.** Mercator, Fortaleza, ano 04, nº 07, 2005.

MUEHE, D. (Org.). **Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006. v. 1. 475p.

PAVANI, B.F.; GONÇALVES, D.A.; SOUSA JUNIOR, W.C. **Vulnerabilidade às mudanças climáticas: índice de exposição à inundação e   erosão na região costeira do Litoral Norte de São Paulo, Brasil.** In: CONGRESO IBEROAMERICANO DE GESTIÓN INTEGRADA DE ÁREAS LITORALES, 1., 2012, Cadiz. Anais... São Paulo: Instituto Tecnológico de Aeronáutica. 2012. p. 912-920.

PIPPO, T. et al. **Coastal hazard assessment and mapping in Northern Campania, Italy.** Geomorphology, Nápoles, v. 97, p. 451-466, ago./set.2007.

RODRIGUES, M. L. G.; FRANCO, D.; SUGAHARA, S. **Climatologia de frentes frias no litoral de Santa Catarina.** Revista Brasileira de Geofísica, v. 22(2), p. 135-151, set. 2004.

SERAFIM, M. B. **Aplica o de um  ndice multicritério de vulnerabilidade a eventos extremos para praias do estado de Santa Catarina através de análise espacial.** Disserta o (bacharelado em Oceanografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

TALLIS, H.T. et al. **InVEST 3.0.0 User’s Guide.** The Natural Capital Project, Stanford, 2013.

TESSLER, M.G.; GOYA, S.C. **Processos Costeiros Condicionantes do Litoral Brasileiro.** Revista do Departamento de Geografia, n. 17, p. 11-23, 2005.