

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

**ESTRUTURAS ANALÍTICAS EM SIG APLICADAS À
AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE COSTEIRA E
SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS RELACIONADOS: ESTUDO
DE CASO DE JAGUARUNA - SC**

GIULIANA ANDRÉIA SFREDDO

ORIENTADOR – Prof. Dr. Eduardo Guimarães Barboza

COORIENTADORA – Prof^a. Dr^a. Tatiana Silva da Silva

Porto Alegre, 2023

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

**ESTRUTURAS ANALÍTICAS EM SIG APLICADAS À
AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE COSTEIRA E
SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS RELACIONADOS: ESTUDO
DE CASO DE JAGUARUNA - SC**

GIULIANA ANDRÉIA SFREDDO

ORIENTADOR – Prof. Dr. Eduardo Guimarães Barboza

COORIENTADORA – Prof^a. Dr^a. Tatiana Silva da Silva

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jair Weschenfelder – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Nelson Luiz Sambaqui Gruber – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Milton Lafourcade Asmus – Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande

Tese de Doutorado apresentada como requisito parcial para a obtenção do Título de Doutora em Ciências.

Porto Alegre, 2023

CIP - Catalogação na Publicação

Sfreddo, Giuliana Andréia
Estruturas Analíticas em SIG Aplicadas a Avaliação
da Vulnerabilidade Costeira e Serviços Ecossistêmicos
Relacionados: Estudo de Caso de Jaguaruna - SC /
Giuliana Andréia Sfreddo. -- 2023.
147 f.
Orientador: Eduardo Guimarães Barboza.

Coorientadora: Tatiana Silva da Silva.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de
Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, BR-RS,
2023.

1. Vulnerabilidade Costeira. 2. Riscos Costeiros.
3. Ecossistemas. 4. Valoração econômica. 5. Modelagem
Espacial. I. Guimarães Barboza, Eduardo, orient. II.
Silva da Silva, Tatiana, coorient. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Meus mais sinceros agradecimentos:

A Deus e ao universo por me conceder o privilégio de estar viva, por ter me graduado, me tornado mestra e agora, por me permitir defender a Tese de Doutorado, depois de anos tão difíceis. Nada é por acaso, e tenho certeza de que os obstáculos que enfrentei na vida pessoal foram um ensinamento e me provaram que é possível ter resiliência e recomeçar quantas vezes forem necessárias.

Aos meus pais João e Josete, e minha irmã Giordana, por serem uma família inigualável! Sempre me apoiaram e estiveram juntos comigo nos momentos difíceis. Abdicaram de oportunidades pessoais para me ajudarem nos estudos. Por outro lado, compartilharam e continuam compartilhando comigo os momentos mais felizes das nossas vidas. Agradeço pelos conselhos e orações e por me amarem tanto. Eu amo vocês.

Ao Paulo, que foi o principal incentivador para que eu terminasse o doutorado, mesmo quando eu acreditava que não conseguiria. Você me apoiou, cuidou de mim, ajudou nas muitas dúvidas que surgiram, me ouviu muitas vezes e consolou vários choros. Eu te amo muito, você é o melhor companheiro do mundo. Não teria forças para concluir essa etapa sem o teu apoio.

A minha dinda Miriam e tio Silvio, por terem me acolhido sempre que necessário na sua casa, por terem oferecido bons conselhos, por proporcionarem boas conversas e pelas muitas caronas e deslocamentos que fizeram entre Canoas e Porto Alegre para me ajudar.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ao Instituto de Geociências, ao Programa de Pós-Graduação em Geociências, e a Comissão de Curso, por toda a estrutura concedida, por um ensino gratuito e de qualidade, e pelos convênios que me oportunizaram estudar na Espanha.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por propiciar a minha formação acadêmica, através de bolsas de estudo no mestrado e no doutorado.

Aos meus orientadores, prof. Eduardo e prof^a. Tatiana, pelas orientações, ideias, compreensão nos momentos difíceis, por me atenderem no meio das férias para tirar dúvidas, e, principalmente, por terem tido paciência com meu atraso. Os resultados demoraram a chegar, mas os aceites dos artigos vieram e estou muito feliz por ter compartilhado essa etapa com vocês e por ter contribuído um pouco à Geologia Costeira ao Gerenciamento Costeiro. Muito, muito, muito obrigada!

À *Universidad de Cádiz* (UCA) que abriu as portas para que eu estudasse lá por quase um ano e me desenvolvesse como pesquisadora e como ser humano, através das bolsas e convênios oportunizados pelos programas da *Asociación Universitaria Iberoamericana de Postgrado* (AUIP) e *Erasmus+*. A internacionalização do ensino só tem a contribuir para o enriquecimento da ciência no Brasil.

Ao prof. Juan Adolfo Chica Ruiz, que me acolheu na UCA e me orientou enquanto estive lá, e a Esther Puertas Cristóbal que me oportunizou viver a experiência de colaborar em um laboratório experimental onde aprendi muito, o Laboratório Comunica-Educa-Participa (LABCOEDPA).

Ao meu orientador de mestrado, prof. Ricardo Ayup (in memoriam), por ter me aberto as portas do hoje Laboratório de Modelagem Ricardo Ayup Zouain (LABMODEL) da UFRGS e ter me ajudado muito a amadurecer durante o mestrado. O senhor partiu antes do meu primeiro ano de doutorado, mas eu não esqueço dos seus conselhos e da sua risada inconfundível. Tenho certeza de que o senhor estaria feliz pelo meu progresso, desde que cheguei à UFRGS até os dias de hoje.

Ao prof. Nelson Gruber, diretor do Instituto de Geociências, que oportunizou a internacionalização do PPGGEO e contribuiu decisivamente para que eu e meus colegas pudéssemos estudar na *Universidad de Cádiz*.

Ao prof. Léo Hartmann que com toda humildade e conhecimento nos ministra uma das melhores disciplinas que eu já tive o prazer de assistir, “Redação e submissão de artigo científico”, e que foi fundamental para a elaboração e aceite dos meus artigos.

A prof^a. Myriam, que mesmo não tendo sido minha professora, considero como um modelo de profissional e ser humano, sempre estendeu a mão quando precisei escrever cartas de apresentação e com suas palavras amigas me incentivou a focar nas coisas boas e terminar o doutorado.

Aos amigos e colegas que passaram pelo Labmodel: Daniela Forgiarini, Marco Antônio, Jerusa Peixoto, José Nunes, Kahuam Gianunca, Northon Gruber, Rafael Mastracusa, Ricardo Franchini; aos amigos e colegas do Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica: Ana Rita, Inaiê, Karla Figueiredo, Natacha de Oliveira; aos amigos e colegas do Sensoriamento Remoto: Alan Mendes, Fabiane Furlan, Grazieli Rodigheri, Samuel Gameiro; aos amigos da *Universidad de Cádiz*: Ana Wasielesky, Carolina Miranda, Deysi Ávila, Jhonatan Dominici, Júlia Terra, Nathalia Terayama, Thet Oo Mon; as minhas grandes amigas da Universidade Federal do Rio Grande: Érika Antolini, Júlia Nyland, Laís Lopes, Raisal Siqueira, Renata Eidt, Tanise

Klein. A todos meu muito obrigada por terem acompanhado a minha caminhada até aqui, por terem me ajudado quando eu precisei, pelas conversas, trabalhos em congressos, disciplinas que fizemos juntos. Eu aprendi muito com todos vocês.

A todos os demais professores que contribuíram para minha formação desde a pré-escola até o doutorado. A educação abre muitas portas e sou muito agradecida por ter tido tão bons exemplos durante esses anos.

*“Toda la naturaleza
es un anhelo de servicio;
sirve la nube, sirve el aire, sirve el surco.
Donde haya un árbol que plantar, plántalo tú;
donde haya un error que enmendar, enmiéndalo tú;
donde haya un esfuerzo que todos esquiven, acéptalo tú”.*
(Gabriela Mistral, *El placer de servir*).

RESUMO

Esta Tese versa sobre a aplicação de modelos espaciais como base para a avaliação de ecossistemas costeiros e a sua valoração ambiental a partir de serviços ecossistêmicos-chave (SEc), integrando-os com a vulnerabilidade costeira (VC). A VC refere-se à tendência da costa a apresentar uma resposta negativa frente aos perigos costeiros e à propensão a sofrer danos ou prejuízos pela ação da erosão, inundações e ondas de tempestade. Os ecossistemas costeiros e seus serviços estão expostos aos eventos relacionados à VC e torna-se relevante a sua valoração como suporte a ações de planejamento e gestão. A zona costeira do município de Jaguaruna, em Santa Catarina, foi escolhida como estudo de caso, por apresentar uma expansão urbana em áreas sujeitas a riscos, pelo aumento de sua população no verão, por fazer parte da Área de Proteção Ambiental da Baleia Franca e por se tratar de área onde problemas relacionados à VC foram identificados em estudos prévios. Para o desenvolvimento da pesquisa, à priori, foram identificados e mapeados os ecossistemas da área, os SEc oferecidos por cada um deles, e foram aplicadas as metodologias de valoração ambiental. A partir do geoprocessamento, foi gerado um índice multicritério de vulnerabilidade costeira, partindo de um modelo de aplicação global. Para sua adaptação ao uso local foi utilizada a média geométrica de variáveis biogeofísicas e socioeconômicas. Os resultados da valoração ambiental para a agricultura e a pecuária; as águas continentais e o ambiente marinho; e, florestamento foram respectivamente 1,74; 2,86; 2,89 milhões de dólares ao ano, enquanto para as dunas, as praias e as restingas variou entre a faixa de US\$ 3120 – 6240 ha⁻¹ ano⁻¹. Já para o índice de VC, os resultados mostram valores máximos no Balneário Torneiro e altos no Balneário Campo Bom e algumas regiões do Balneário Camacho. Os resultados obtidos reforçam que a presença humana na região costeira modifica o ambiente natural e contribui decisivamente para aumentar a VC, bem como, que os SEc disponibilizados pelos ambientes valem milhões de dólares por ano. Portanto, os resultados são passíveis de serem utilizados junto ao poder público, já que o reconhecimento dos setores mais vulneráveis e a valoração dos ecossistemas contribui para a identificação de áreas prioritárias para a Gestão Costeira e indicam áreas que necessitam de um plano prioritário de mitigação contra eventos extremos.

Palavras-chave: Ecossistemas; Serviços ecossistêmicos; Valoração econômica; Área de Proteção Ambiental da Baleia Franca; Modelagem espacial.

RESUMEN

Esta Tesis trata de la aplicación de modelos espaciales como base para la evaluación de ecosistemas costeros y la suya valoración ambiental basada en servicios ecosistémicos-clave (SEc), integrándolos con la vulnerabilidad costera (VC). La VC se refiere a la tendencia de la costa a presentar una respuesta negativa frente a los peligros y a la propensión a sufrir daños o pérdidas por la erosión, las inundaciones y las marejadas ciclónicas. Los ecosistemas costeros y sus servicios están expuestos a eventos relacionados con la VC, por lo que su valoración es relevante como soporte para acciones de planificación y de gestión. La zona costera del municipio de Jaguaruna, en Santa Catarina, fue elegida como estudio de caso, porque presenta una expansión urbana em áreas sujetas a riesgos, por el aumento de su población en el verano, por formar parte del Área de Protección Ambiental de la Ballena Franca y es un área donde los problemas relacionados con la VC se han identificado en estudios anteriores. Para el desarrollo de la investigación, a priori, se identificaron y mapearon los ecosistemas de la zona, los SEc que ofrecen cada uno de ellos, y se aplicaron las metodologías de valoración ambiental. A partir del geoprocésamiento, se generó un índice de vulnerabilidad costera multicriterio, basado en un modelo de aplicación global. Para su adecuación al uso local se utilizó la media geométrica de variables biogeofísicas y socioeconómicas. Los resultados de la valoración ambiental para la agricultura y la ganadería; las aguas continentales y el medio marino; y la forestación fueron de respectivamente 1,74; 2,86; 2.89 millones de dólares al año, y para las dunas, las playas y las restingas varió entre el rango de US\$ 3120 – 6240 ha⁻¹ año⁻¹. En cuanto al índice VC, los resultados muestran valores máximos en el Balneário Torneiro y valores altos en el Balneário Campo Bom y algunas regiones del Balneário Camacho. Los resultados obtenidos refuerzan que la presencia humana en la región costera modifica el medio natural y contribuye de forma decisiva a incrementar la CV, así como que los SEc que presta el medio ambiente valen millones de dólares al año. Por lo tanto, es posible que los resultados se utilicen con las autoridades públicas, ya que el reconocimiento de los sectores más vulnerables y la valoración de los ecosistemas contribuye a la identificación de áreas prioritarias para la Gestión Costera e indican áreas que necesitan un plan prioritario de mitigación frente a los eventos extremos.

Palabras-clave: Ecosistemas; Servicios ecosistémicos; Valoración económica; Área de Protección Ambiental de la Ballena Franca; Modelación espacial.

ABSTRACT

This Thesis deals with the application of spatial models as a basis for the assessment of coastal ecosystems and their environmental valuation from key ecosystem services (key-ES), integrating them with coastal vulnerability (CV). CV is the tendency of the coast to present a negative response to hazards and the propensity to suffer damage or loss by the action of erosion, flooding and storm surge. Coastal ecosystems and their services are exposed to events related to CV, so their assessment is relevant as a support for planning and management actions. The coastal zone of the municipality of Jaguaruna, in Santa Catarina, was chosen as a case study because it presents an urban sprawl in areas pressured by coastal risks, due to increasing of its population in the summer, for being part of the Right Whale Environmental Protection Area and because it is an area where CV-related problems have been identified in previous studies. For the development of the investigation, first, the ecosystems of the area and the key-ES offered by each of them were identified and mapped, and environmental valuation methodologies were applied. From the geoprocessing, a multi-criteria coastal vulnerability index was generated, based on a global application model. For its adaptation to local use, the geometric mean of biogeophysical and socioeconomic variables was used. The results of the environmental assessment for the agriculture and the livestock; the continental waters and the marine environment; and the afforestation were respectively 1.74; 2.86; 2.89 million dollars a year, and for the dunes, the beaches and the restingas it varied between the range of US\$ 3120 – 6240 ha⁻¹ year⁻¹. Regarding the CV index, the results present maximum values in Balneário Torneiro and high values in Balneário Campo Bom and some regions of Balneário Camacho. The obtained results reinforce that human presence on the coastal region modifies the natural environment and contributes decisively to increasing Key-ES, as well as that the services provided by the environment are worth millions of dollars a year. Therefore, the results can be used with public authorities, since the recognition of the most vulnerable sectors and the valuation of the ecosystems contribute to the identification of priority areas for Coastal Management and indicate areas that need a priority plan of mitigation against extreme events.

Keywords: Ecosystems; Ecosystem services; Economic valuation; Right Whale Environmental Protection Area; Spatial modeling.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

- Figura 1.1. Imagem noturna que elucida a ocupação das áreas costeiras na América do Sul, Oceania e Leste Asiático, enquanto os Estados Unidos, Europa e Índia mostram grande densidade de iluminação no interior do continente, ademais do litoral. Fonte: Román *et al.* (2018).23
- Figura 1.2. Ocupação da zona costeira no município de Jaguaruna na década de 1970, estimulada pelo turismo de sol e mar. Fonte: Reynaldo (197_ *apud* Delfino, 2008).25
- Figura 1.3. (a) Imagem de satélite e respectiva (b) foto obtida em campo na Avenida Atlântica, n° 1240, evidenciando a construção em área de dunas (APP); (c) Imagem de satélite e respectiva (d) foto obtida em campo de loteamento irregular “Maria Therezinha” ao lado do sambaqui Elefante Branco (APP). Ambas áreas foram classificadas por Sfredo *et al.* (2023) como sendo de alta exposição socioeconômica. Observar padrão construtivo das casas em (d) e (e): correspondem a casas do tipo “palafitas”, um padrão construtivo para prevenção de alagamentos. Fonte: Imagens de satélite do Google Earth Pro (2018) em setembro de 2018 e fotos da autora em outubro de 2020.27
- Figura 1.4. (a) Venda de imóvel nas imediações do sambaqui Elefante Branco, no Balneário Garopaba do Sul; (b) Placa de advertência indicando Área de Preservação Permanente (APP) no loteamento Maria Therezinha, no Balneário Garopaba do Sul; (c) Placa no Loteamento Cascata Vermelha proibindo construções, no Balneário Arroio Corrente; (d) Placa sinalizando um loteamento objeto de Ação Civil Pública em Jaguaruna. Fontes: (a) Foto da autora em outubro de 2020; (b) Cristiano *et al.* (2015); (c) Nunes (2021); (d) LABGERCO (201_ *apud* Oliveira, 2019).28
- Figura 1.5. Marcas de veículos de tração no Sambaqui Elefante Branco, ocasionando a perda da vegetação fixadora; (b) Reportagem do portal Sul in Foco (2016) sobre as ameaças a que está submetido o Sambaqui Elefante Branco, importante sítio arqueológico da região; (c) Borda do Sambaqui Elefante Branco com a espécie invasora *Casuarina equisetifolia*, um tipo de pinheiro invasor em regiões subtropicais; (d) Espécies exóticas provavelmente plantadas pelos moradores em frente as suas casas para protegerem seus imóveis da migração das dunas. Fontes: (a), (c) e (d) Fotos da autora em outubro de 2020; (b) Sul in Foco (2016).28

Figura 1.6. Localização do município de Jaguaruna – SC. Em hachurado se encontra a zona costeira do município, com os principais balneários indicados por círculos. Fonte: Base de mapas do tipo *shapefile* obtidos de IBGE (2020).....32

Figura 1.7. Perfil topográfico dos Sistemas Laguna/Barreira no Rio Grande do Sul e sua correlação cronológica com a curva isotópica do oxigênio-18 Fonte: Rosa *et al.*, 201734

Figura 1.8. Exemplo de ecossistema como rede complexa e interconectada. A imagem evidencia como cada espécie pode impactar outras espécies e o ambiente ao seu redor. Fonte: Traduzido pela autora com base em Thompson (2010).....38

Figura 1.9. Os Serviços Ecossistêmicos são benefícios que a natureza fornece gratuitamente. Nessa figura foi considerada a classificação adotada pela MA (2003; 2005) que os divide em Serviços de Suporte, Abastecimento, Regulação e Cultural, com exemplos de cada uma das categorias. Fonte: Elaborado pela autora com base em Reese (2022).....41

Figura 1.10. Fatores que incidem na vulnerabilidade de um sistema. Fonte: Elaborado pela autora com base em Arthurton (2009).....49

Figura 1.11. Componentes da vulnerabilidade costeira que se retroalimentam. A) Sistema Natural e B) Sistema Socioeconômico. Fonte: Elaborado pela autora com base em IPCC (2001); Klein & Nicholls (1999).....51

CAPÍTULO II

Figure 2.1. Location of the Municipality of Jaguaruna (c), state of Santa Catarina (b), southern Brazil (a). The hatch area indicates the studied coastal segment70

Figure 2.2. Land use map of the coastal area based on Key Ecosystem Service in the Municipality of Jaguaruna – SC (state of Santa Catarina). Eight classes were identified and five of them were selected for the application of environmental valuation methods.....79

Figure 2.3. Current coastal profile of Jaguaruna, linearly approximated, in black, and the stabilization profile, using Dean's equation (1977), in red. The area hatched in yellow represents the integral of the profile to be nourished, which equals 75.46 m² of sand for each meter of coastline82

CAPÍTULO III

Figure 3.1. Graphical representation of the vulnerability along Brazil and State of Santa Catarina. Adapted from Nicolodi and Petermann (2011) and Serafim *et al.* (2019).....97

Figure 3.2. Location of the Municipality of Jaguaruna (c), Region of South Central, State of Santa Catarina (b), southern Brazil (a). The points indicate the main beaches the studied coastal segment. Background layer credits: Ersi, Maxar, GeoEye, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, 2022.98

Figure 3.3 Models of biogeophysical exposure, socioeconomic exposure and coastal vulnerability along the beaches of Jaguaruna/SC.104

Figure 3.4. Graphical representation of socioeconomic variables by Information Base Report of 2010 Demographic Census and Socioeconomic variables by total number of residences.107

Figure 3.5 Demographic density by census sector in Jaguaruna/SC (IBGE, 2010).108

CAPÍTULO IV

Figura 4.1. Uso indevido dos ecossistemas no município de Jaguaruna. (a) Avanço da urbanização sobre Área de Preservação Permanente próximo ao Sambaqui Elefante Branco; (b) Deposição de lixo próximo às dunas no Balneário Camacho; (c) Retirada ilegal de areia. Fonte: (a) e (b) fotos da autora em outubro de 2020; (c) Delfino (2008).....118

Figura 4.2. A expansão urbana em alguns balneários do município de Jaguaruna se desenvolveu em frente às dunas frontais. Dessa forma, perdeu-se a proteção conferida pelas dunas frente aos eventos extremos, como as marés meteorológicas. Fonte: Balneário Campo Bom, 2019.119

Figura 4.3. Mapa de vulnerabilidade costeira relativa ao relevo. Foi observado que a existência de campos de dunas bem desenvolvidos próximos à costa é capaz de diminuir os níveis de exposição, oferecendo proteção contra eventos climáticos extremos.....121

Figura 4.4. Mapa de vulnerabilidade costeira relativa as ressacas. Foi observado que os ventos predominantes são provenientes de nordeste na maior parte do ano. Fonte: Direção dos ventos obtidas de Tolman (2009); Base de mapas do tipo shapefile obtidos de IBGE (2020).....122

ANEXO

Figura A.1. (a) Atividade de Pecuária na SC-442 ao lado de área de Florestamento, na saída do Balneário Arroio Corrente em direção ao centro do município; (b) Área de Agricultura confrontante com a classe de Dunas no Balneário Figueirinha; (c) Lagoa do Arroio Corrente, exemplificando a classe de Águas Continentais e Marinhas; (d) Área da classe Florestamento, ao lado da atividade de Pecuária, na SC-442, saída do Balneário Arroio Corrente em direção ao centro do município; (e) Área da classe de Dunas, no entorno da Lagoa do Arroio Corrente; (f), (g), (h), (i) e (j) correspondem as imagens de satélites das áreas respectivas às fotos da esquerda. Fontes: (a), (d) fotos da autora em outubro de 2020; (b) Bonacin (201_); (c) e (e) Saviano (2013); (f), (g), (h), (i) e (j) Google Earth Pro (2023) correspondente a imagens de janeiro de 2023. 136

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1.1. Categorizando o risco ambiental: Construção de uma concepção abrangente. Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de Egler (1996)47

Tabela 1.2. Síntese de indicadores para as escalas de gestão do ambiente: do global ao local e do curto ao longo prazo. Fonte : Elaborado pelo autor com base em Egler (1996) e *Conseil National de l'Information Statistique* (CNIS, 1990).....47

CAPÍTULO II

Table 2.1. Ecosystem data framework with risk indicators, method summary and data source. Where ES is Ecosystem Service, ACM is Avoided Costs Method and RCM is Replacement Cost Method75

Table 2.2. Land use area based on Key Ecosystem Service in the Municipality of Jaguaruna – SC79

Table 2.3. Gross annual value in millions of artisanal fisheries in Jaguaruna, based on the total catch by species (PMAP-SC, 2019) and value by species (CEAGESP, 2020). PMAP-SC refers to Monitoring Project of Fishing Activities in the state of Santa Catarina and CEAGESP to São Paulo Terminal Warehouse. Prices corresponding to January 202081

CAPÍTULO III

Table 3.1. Socioeconomic variables by Information Base Report of 2010 Demographic Census and Socioeconomic variables by total number of residences. The indicators are (a) resident population, (b) per capita income of up to 1 minimum wage, (c) vulnerable part of the population, (d) open sewage and (e) total number of residences. 107

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AP – Antes do Presente
- APA – Área de Proteção Ambiental
- APABF – Área de Proteção Ambiental da Baleia Franca
- APP – Área de Preservação Permanente
- CECO – Centro de Estudos em Geologia Costeira e Oceânica
- CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
- CV – *Coastal Vulnerability*
- ESRI – Environmental Systems Research Institute
- GA – Gestão Ambiental
- GC – Gestão Costeira
- GBE – Gestão com Base Ecosistêmica
- GERCO/SC – Comitê Gestor Integrado para o Planejamento Territorial da Região Costeira de Santa Catarina
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IGEO – Instituto de Geociências
- InVEST – *Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs*
- IOC – *Intergovernmental Oceanographic Commission*
- IPTU – Imposto Predial e Territorial Urbano
- Key-ES – *Key-Ecosystem service*
- MA – *Millennium Ecosystem Assessment*
- MCE – Método de Custos Evitados
- MCR – Método de Custo de Reposição
- MPF – Ministério Público Federal
- NatCap – *Natural Capital Project*
- NMM – Nível Médio do Mar
- NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration*
- PPGGEO – Programa de Pós-Graduação em Geociências
- SAC – Sistemas Adaptativos Complexos
- SE – Serviços Ecosistêmicos
- SIG – Sistema de Informação Geográfica
- UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
- USGS – United States Geological Survey
- VC – Vulnerabilidade Costeira
- ZPP – Zona de Preservação Prioritária

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	4
RESUMO	8
RESUMEN.....	9
ABSTRACT.....	10
LISTA DE FIGURAS.....	11
LISTA DE TABELAS.....	15
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	16
SUMÁRIO	17
ESTRUTURA DA TESE.....	20
CAPÍTULO I.....	21
1. Texto Introdutório.....	21
1.1. Introdução	22
1.1.1. Delimitação do Problema: O Crescimento Urbano do município de Jaguaruna e a Propensão ao Risco	24
1.1.2. Objetivos	29
1.1.3. Hipótese	30
1.1.4. Justificativas	30
1.2. Caracterização da Área de Estudo	31
1.3. Estado da Arte	34
1.3.1. O Ecossistema e Suas Relações	34
1.3.2. Os Ecossistemas como Redes Complexas ou Sistemas Interconectados.....	38
1.3.3. O Ecossistema como Provedor de Bens e Serviços: Serviços Ecossistêmicos	39
1.3.4. A Gestão com Base Ecossistêmica.....	42
1.3.5. Se os ecossistemas têm valor por nos proporcionar serviços, como podemos quantificá-lo?	43
1.3.6. A Problemática do Risco e da Vulnerabilidade Costeira	46
1.3.7. Síntese da Gestão da Vulnerabilidade Costeira no Brasil	53
Referências	55
CAPÍTULO II.....	65

2. Avaliação econômica de ecossistemas costeiros selecionados baseada nos serviços ecossistêmicos-chave de abastecimento e regulação de Jaguaruna (Brasil).....	65
2.1. Introduction	68
2.2. Study Area	70
2.2.1. Environmental and Socioeconomic Aspects.....	70
2.2.2. The Urban Growth of Jaguaruna and the Risk Propensity	72
2.3. Material and Methods.....	73
2.3.1. Definition of Ecosystems and their Key Provisioning and Regulation Services.....	73
2.3.2. Data Structuring	74
2.3.3. Environmental Valuation.....	75
2.4. Results and Discussion.....	78
2.4.1. Mapping of Ecosystems Based on Key Ecosystem Service.....	78
2.4.2. Environmental Valuation.....	80
2.4.3. Limitations	84
2.5. Final considerations	85
Acknowledgments	86
Funding	86
References.....	86
CAPÍTULO III.....	94
3. Avaliação da Vulnerabilidade Costeira Local com Base em um Modelo Global: Estudo de Caso em Jaguaruna, SC, Brasil.....	94
Abstract:	95
3.1. Introduction	96
3.2. Methodology.....	97
3.2.1. Study Area.....	97
3.2.2. Data Structure and Information Sources	99
3.2.3. Biogeophysical Index of Coastal Exposure (BICE).....	101
3.2.4. Socioeconomic Exposure Index (SEI)	101
3.2.5. Coastal Vulnerability Index (CVI).....	102
3.2.6. Simplifications and Limitations	103

3.3.	Results and Discussions	103
3.3.1.	Biogeophysical Index of Coastal Exposure (BICE).....	103
3.3.2.	Socioeconomic Exposure Index (SEI)	106
3.3.3.	Coastal Vulnerability.....	109
3.4.	Final Considerations	110
	Acknowledgments	111
	Funding	111
	References.....	111
	CAPÍTULO IV	116
4.	Texto de Integração e Encerramento	116
4.1.	Análise integrada dos resultados dos artigos.....	118
4.2.	Conclusão	129
	Fontes de Financiamento.....	130
	Referências	131
	ANEXO A: Carta de aceite.....	134
	ANEXO B: Folha de rosto de publicação	135
	ANEXO C: Ecossistemas Selecionados em Jaguaruna	136
	ANEXO D: Resumo em Evento – 2022	137
	ANEXO E: Resumo Expandido em Evento – 2021	138
	ANEXO G: Resumo em Evento – 2019	147

ESTRUTURA DA TESE

Esta Monografia está estruturada em um texto introdutório, um artigo aceito na revista *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, estrato Qualis-CAPES A2, um artigo publicado na *Regional Studies in Marine Science*, estrato Qualis-CAPES A3 e um texto de encerramento que apresenta a integração entre os artigos publicados. A sua organização compreende as seguintes partes principais:

CAPÍTULO I: Texto Introdutório. Compreende a introdução à temática, a delimitação do problema, os objetivos, a hipótese e as justificativas. Caracterização da área de estudo com seus aspectos físicos e sociais. Estado da arte sobre o tema da pesquisa.

Corpo Principal da Tese: Compreende os capítulos escritos na forma de artigos, conforme segue:

CAPÍTULO II: Avaliação econômica de ecossistemas costeiros selecionados baseada nos serviços ecossistêmicos-chave de abastecimento e regulação de Jaguaruna (Brasil), aceito pela revista *Desenvolvimento e Meio Ambiente*.

CAPÍTULO III: Avaliação da Vulnerabilidade Costeira Local com Base em um Modelo Global: Estudo de Caso em Jaguaruna, SC, Brasil, publicado pela revista *Regional Studies in Marine Science*.

Erro! Fonte de referência não encontrada.: Texto de Integração e Encerramento, contendo a integração entre os artigos publicados, as conclusões e as fontes de financiamento.

Anexos: Compreende a carta de aceite do primeiro artigo, a folha de rosto do segundo artigo já publicado, resumos simples, resumos expandidos e artigo publicados em eventos que a doutoranda é autora ou coautora, produzidos durante o Curso de Doutorado.

CAPÍTULO I
1. Texto Introdutório

1.1. Introdução

Esta Monografia versa sobre os principais aspectos e as definições fundamentais que concernem às temáticas: de ecossistema e suas relações, de manutenção dos ecossistemas e de sua valoração ambiental a partir de serviços ecossistêmicos-chave, dos modelos de base ecossistêmica integrados à vulnerabilidade costeira (VC), dos componentes natural e social da VC e da modelagem espacial. A área escolhida para a aplicação do estudo de caso é o município de Jaguaruna, região centro-sul de Santa Catarina, sul do Brasil. Isto posto, este estudo integra principalmente as áreas de Geologia e Gestão Costeira, Ecologia, Oceanografia, Geografia, Biodiversidade, Ciências Ambientais e Ciências Sociais.

O presente capítulo tem como proposta oportunizar uma visão geral acerca do tema central da Tese, delimitando o problema, apresentando os objetivos, a hipótese e as justificativas, bem como a caracterização da área de estudo e o estado da arte. O capítulo dois traz o primeiro artigo desenvolvido e aceito, que contempla uma perspectiva histórica do uso do solo no município de Jaguaruna, bem como a valoração dos seus ecossistemas com base em um mapeamento a partir dos serviços ecossistêmicos-chave. A terceira parte trata da aplicação de um índice multicritério para o diagnóstico das áreas com maior vulnerabilidade costeira. Por fim, o capítulo quatro apresenta a integração dos artigos, as conclusões trazidas pelo estudo e as suas contribuições à ciência.

As zonas costeiras, como é o caso do município escolhido para este trabalho, apresentam muitas qualidades que as tornam atrativas para a vida, incluindo benefícios econômicos, sociais, recreativos e culturais. Conforme os dados da *United Nations Ocean Conference*, realizada em Nova York, em 2017, estima-se que cerca de 40% da população mundial esteja alocada em áreas que se localizam em até 100 km da linha de costa (UNOC, 2017) (Fig. 1.1).

A população do Brasil, 5º maior país em área, atingiu, em 2010, 26,6% do seu total alocado em municípios da zona costeira, conforme dados divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2011). A mesma tendência foi percebida nos Estados Unidos da América, 4º maior país em território, cuja população costeira atingiu 29% do total, em 2016, conforme dados do *United States Census Bureau* (US Census Bureau, 2016).



Figura 1.1. Imagem noturna que elucida a ocupação das áreas costeiras na América do Sul, Oceania e Leste Asiático, enquanto os Estados Unidos, Europa e Índia mostram grande densidade de iluminação no interior do continente, ademais do litoral. Fonte: Román *et al.* (2018).

Por esse motivo, torna-se fundamental entender as relações dinâmicas, complexas e retroalimentadas entre o meio ambiente costeiro e as pessoas que ali vivem para que seja possível gerir os recursos naturais, promover a sustentabilidade e proteger tanto os seres humanos, quanto o ecossistema, sem abdicar da prosperidade econômica. Nesse sentido, a busca pelo desenvolvimento sustentável permeia a necessidade de manter uma gestão costeira adequada, minimizando o risco de perder ecossistemas e seus serviços, devido aos perigos costeiros existentes, como, por exemplo, a ação da erosão, as inundações e as ondas de tempestade, bem como à vulnerabilidade que a costa está exposta.

Este estudo foi concebido a partir da observação de que, nos últimos anos, muitos fenômenos vêm impactando e causando destruição nas costas de todo o mundo. Em consequência, a oferta de serviços ecossistêmicos é afetada e observa-se a ocorrência de áreas com alta vulnerabilidade costeira, prejudicando o bem-estar social. Nessa perspectiva, é percebida a importância da união entre meio ambiente saudável e bem-estar social, através da manutenção dos ecossistemas e de seus serviços ecossistêmicos, isto é, dos benefícios e produtos fornecidos pelos ecossistemas aos seres humanos.

No Brasil, a manutenção dos ecossistemas e de seus serviços, bem como a gestão da vulnerabilidade costeira, é um desafio devido à multiplicidade de situações existentes no território (Nicolodi & Pettermann, 2011), e também pela sua extensão continental. O litoral tem 8.698 km de extensão, envolvendo 395 municípios e cobrindo

aproximadamente 535.000 km² (Scherer *et al.*, 2010), o que provoca grandes diferenças entre a gestão e a conservação dos recursos naturais das distintas áreas.

Os problemas mais comuns na zona costeira que contribuem para a vulnerabilidade e para a modificação nos ecossistemas são: redução da biodiversidade, diminuição da produtividade primária, fragmentação dos ecossistemas, erosão costeira, contaminação da água e contaminação química (Scherer *et al.*, 2010). Como consequência, observamos a deterioração do patrimônio histórico-cultural costeiro, a perda do patrimônio público e a limitação no uso dos serviços ecossistêmicos prestados pelas regiões costeiras.

Nesse sentido, o município de Jaguaruna apresenta características e exposição aos processos costeiros ativos diferenciados entre os balneários que o compõe. Ademais, esse município apresentou, ao longo dos anos, uma expansão urbana sem a utilização de um zoneamento, por parte dos órgãos gestores, que definisse áreas propensas aos riscos costeiros e uma zona de amortecimento para tais riscos. Isso acarretou modificações dos ambientes naturais que deveriam proteger as populações, como os ambientes de dunas, de restingas e de vegetação nativa. Esses riscos são agravados em períodos de veraneio, quando a população salta de aproximadamente 20 mil para mais de 80 mil habitantes (Gruber *et al.*, 2017a; IBGE, 2022). Consideramos, assim, que Jaguaruna possui características que refletem, em maior ou menor grau, a situação geral do litoral brasileiro.

1.1.1. Delimitação do Problema: O Crescimento Urbano do município de Jaguaruna e a Propensão ao Risco

“A cidade de hoje é o resultado cumulativo de todas as outras cidades de antes, transformadas, destruídas, reconstruídas (Sposito, 1988)”.

A busca pelo turismo de sol e mar, a partir de meados da década de 1970, levou ao aumento na demarcação de loteamentos na orla do município de Jaguaruna para comportar o incremento da demanda turística na região (Gruber *et al.*, 2017a). Esse processo foi decorrente da proximidade e facilidade de acesso da população de municípios maiores e não defrontantes com o mar, como Tubarão e Criciúma e o baixo valor de mercado dos terrenos na época (Delfino, 2008). A Figura 1.2 apresenta o início da ocupação da zona costeira do município de Jaguaruna. Nela é possível perceber o padrão construtivo simples, casas próximas ao mar e em frente às dunas.



Figura 1.2. Ocupação da zona costeira no município de Jaguaruna na década de 1970, estimulada pelo turismo de sol e mar. Fonte: Reynaldo (197_ *apud* Delfino, 2008).

Esse processo no município de Jaguaruna seguiu a tendência nacional que transformou o Brasil, de um país onde a população vivia em predominância nas áreas rurais e trabalhava na agricultura, em um país urbano, em que as pessoas passaram a migrar para perto das grandes cidades (Martine & McGranahan, 2010) em busca de melhores condições de vida. Devido aos atrativos proporcionados pelas zonas costeiras, a maior densidade populacional passou a se concentrar no litoral, que rapidamente se urbanizou.

Impulsionada pela tendência nacional à urbanização, Jaguaruna promulgou a Lei n.º 281/1974 que determinou a criação “do perímetro urbano na faixa considerada zona turística e balneária do município de Jaguaruna” (Jaguaruna, 1974), que passou a considerar como área urbana o trecho que inicia na Barra do Rio Urussanga, no Balneário Torneiro, até a Barra do Arroio Camacho, no Balneário Camacho, até então consideradas áreas rurais.

Dos anos de 1980 em diante, houve um crescimento significativo na ocupação dos balneários jaguarunenses, com planejamento territorial insuficiente, com legislação falha e com fiscalização deficiente por parte do poder público (Gruber *et al.*, 2017a; Martins, 2017), o que ocasionou relevantes modificações nos sistemas ambientais e, por consequência, uma tendência de maior exposição aos riscos e ao aumento da vulnerabilidade costeira. Em relação ao litoral de Santa Catarina (SC), os resultados do estudo de De Andrés *et al.* (2018) mostraram que 26% da ocupação urbana do estado de SC está localizada no litoral, o que representa aproximadamente

2% da área do estado. Já para Jaguaruna, a autora estimou uma ocupação de 35% na área confrontante com o mar, baseada em dados do IBGE (2011).

A área costeira de Jaguaruna foi classificada em 2010 pelo Comitê Gestor Integrado para o Planejamento Territorial da Região Costeira de Santa Catarina (GERCO/SC), no produto “Zoneamento Ecológico Econômico Costeiro do Plano de Gestão Costeira”, como sendo uma Zona de Preservação Prioritária (ZPP), já que a maior parte do território defronte ao mar está inserido na Área de Proteção Ambiental da Baleia Franca (APABF) (SPG, 2010). Exceção a esse zoneamento foram os assentamentos urbanos já estabelecidos e algumas poucas regiões designadas à expansão urbana (Gruber *et al.*, 2017a; Martins, 2017).

Com essa perspectiva, e considerando os conflitos de uso entre os diferentes serviços ecossistêmicos, o Ministério Público Federal (MPF), representando a União, ajuizou uma ação civil pública contra o município, a qual gerou o embargo de novas construções nos balneários do município em 2011.

Esse novo cenário legal travou os projetos e os empreendimentos imobiliários que repetiam uma base de desenvolvimento insustentável, deixando sem alternativas o empreendedor e o poder público municipal (Martins, 2017). A arrecadação municipal acabou apresentando baixas, devido ao abalo do turismo e à ocupação de áreas irregulares e ilegais, o que prejudicou a cobrança do Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU).

Nesse cenário, foi desenvolvido um convênio entre o Centro de Estudos em Geologia Costeira e Oceânica (CECO), do Instituto de Geociências (IGEO), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e o Município de Jaguaruna, através do projeto intitulado “Diagnóstico e Plano de Manejo das Dunas Frontais do Município de Jaguaruna”, entregue no ano de 2017 contendo diagnósticos socioeconômico, ambiental, condições de conflitos da Orla Marítima e das Dunas Interiores e a elaboração dos prognósticos de gestão (Gruber *et al.*, 2017a;b;c;d;e;f; Martins, 2017).

Os problemas que o município vem enfrentando desde então incluem a ocupação de ambientes protegidos pela legislação vigente (Fig. 1.3); construções e comércio de imóveis irregulares (Fig. 1.4); alterações paisagísticas; degradação de sítios arqueológicos (Fig. 1.5a,b); dispersão sem controle de espécies arbóreas exóticas (Fig. 1.5c,d); baixo repasse de recursos para a gestão ambiental municipal; falta de planejamento adequado capaz de ponderar os conflitos de uso da terra; capacidade limitada de investimentos em equipamentos, em tecnologia e em recursos

humanos (Martins *et al.*, 2014; Cristiano *et al.*, 2015; Gruber *et al.*, 2017a; Martins, 2017); e, a conseqüente modificação e deterioração dos ecossistemas e de seus serviços. Todos esses fatores levam o município a apresentar trechos de alta vulnerabilidade costeira, com risco de perdas ambientais e econômicas.



Figura 1.3. (a) Imagem de satélite e respectiva (b) foto obtida em campo na Avenida Atlântica, nº 1240, evidenciando a construção em área de dunas (APP); (c) Imagem de satélite e respectiva (d) foto obtida em campo de loteamento irregular “Maria Therezinha” ao lado do sambaqui Elefante Branco (APP). Ambas áreas foram classificadas por Sfredo *et al.* (2023) como sendo de alta exposição socioeconômica. Observar padrão construtivo das casas em (d) e (e): correspondem a casas do tipo “palafitas”, um padrão construtivo para prevenção de alagamentos. Fonte: Imagens de satélite do Google Earth Pro (2018) em setembro de 2018 e fotos da autora em outubro de 2020.



Figura 1.4. (a) Venda de imóvel nas imediações do sambaqui Elefante Branco, no Balneário Garopaba do Sul; (b) Placa de advertência indicando Área de Preservação Permanente (APP) no loteamento Maria Therezinha, no Balneário Garopaba do Sul; (c) Placa no Loteamento Cascata Vermelha proibindo construções, no Balneário Arroio Corrente; (d) Placa sinalizando um loteamento objeto de Ação Civil Pública em Jaguaruna. Fontes: (a) Foto da autora em outubro de 2020; (b) Cristiano *et al.* (2015); (c) Nunes (2021); (d) LABGERCO (201_ *apud* Oliveira, 2019).



Figura 1.5. Marcas de veículos de tração no Sambaqui Elefante Branco, ocasionando a perda da vegetação fixadora; (b) Reportagem do portal Sul in Foco (2016) sobre as ameaças a que está submetido o Sambaqui Elefante Branco, importante sítio arqueológico da região; (c) Borda do Sambaqui Elefante Branco com a espécie invasora *Casuarina equisetifolia*, um tipo de pinheiro invasor em regiões subtropicais; (d) Espécies exóticas provavelmente plantadas pelos moradores em frente as suas casas para protegerem seus imóveis da migração das dunas. Fontes: (a), (c) e (d) Fotos da autora em outubro de 2020; (b) Sul in Foco (2016).

Considerando a série de problemas enfrentados pelo município de Jaguaruna, a partir de dados publicados e da problemática observada, foi desenvolvida esta Tese de Doutorado, sendo o seu projeto apresentado em 2019. Objetiva-se, através dela, preencher a lacuna das temáticas de valoração ambiental dos ecossistemas no município de Jaguaruna, a partir dos seus serviços ecossistêmicos-chave, e diagnosticar os setores onde há maior probabilidade de perda devido aos riscos costeiros, culminando em uma maior vulnerabilidade costeira.

1.1.2. Objetivos

Objetivo Geral

O objetivo fundamental é propor metodologias de avaliação com base em modelos espaciais de vulnerabilidade costeira e serviços ecossistêmicos relacionados, considerando como estudo de caso a zona costeira do município de Jaguaruna, SC.

Objetivos Específicos

Para além do objetivo geral, faz-se necessário delimitar alguns objetivos específicos, de modo a pormenorizar os propósitos da referida pesquisa:

1. Propor um índice de vulnerabilidade costeira local que possibilite definir unidades de planejamento e que seja adequado às necessidades de gestão em áreas de risco costeiro;
2. Avaliar a aplicação do modelo proposto de vulnerabilidade costeira para o caso específico no município de Jaguaruna;
3. Propor uma valoração ambiental para os ecossistemas no município de Jaguaruna que possibilite o conhecimento, em termos financeiros, de quanto valem os ecossistemas costeiros e seus serviços-chave para a população, para a comunidade científica, para o poder público municipal, para o MPF, e demais atores envolvidos, ou seja, para as “partes interessadas”;
4. Promover uma análise integrada entre o uso dos serviços ecossistêmicos e os aspectos da vulnerabilidade costeira, dando subsídios para Gestão Costeira, inclusive para unidades de conservação.

1.1.3. Hipótese

A hipótese levantada neste trabalho é de que os modelos espaciais de vulnerabilidade costeira podem e devem ser integrados aos serviços ecossistêmicos como uma forma de integração e suporte a Gestão Costeira em nível municipal, na medida em que trazem novos elementos relevantes para o manejo e para a tomada de decisão em áreas propensas a riscos costeiros.

1.1.4. Justificativas

Nesta seção são apresentadas a importância e o caráter inovador da pesquisa, tendo em vista, a sua aplicação conceitual e prática nos problemas observados na área de estudo.

Importância

A atual situação legal do município de Jaguaruna envolve, em síntese, a ocupação humana em áreas próximas à linha de costa e a ocupação em Áreas de Preservação Permanente (APP), gerando conflitos de uso da terra nos balneários costeiros. A carência de infraestrutura, seja pela falta de investimento do poder público, seja pela hipossuficiência financeira de alguns moradores, culmina em áreas sujeitas aos riscos costeiros e em setores com alta vulnerabilidade costeira. Além disso, esses ecossistemas demandariam a injeção de grandes somas de recursos financeiros para sua restauração, em caso de perda.

Devido a essa conjuntura, em 2011, o Ministério Público Federal (MPF) decretou a paralisação de obras e de empreendimentos e proibiu novas construções nos balneários do município de Jaguaruna (Gruber *et al.*, 2014), abrangendo uma faixa longitudinal adjacente ao mar de 38 x 1,5 km, totalizando 57 km² (Martins *et al.*, 2018).

Dessa forma, esta pesquisa é relevante porque se baseia em um histórico e em um banco de dados de mais de 10 anos de estudos detalhados na área, trazendo importantes contribuições sobre a vulnerabilidade do litoral, sua forma de ocupação do solo e os riscos de perda de biodiversidade e de serviços ecossistêmicos-chave para o abastecimento e a regulação.

A proposta é aplicada, serve como subsídio para a Gestão Costeira e para a orientação de políticas públicas. A região estudada, que compreende a APABF, tem

grande carência de instrumentos normativos e de planejamento, tanto pela falta de indicadores, quanto pela ausência de planos detalhados de ordenamento territorial.

Nesse sentido, busca-se suprimir essa lacuna, através da apresentação de mapas, de tabelas e de índices, quantificando e qualificando os indicadores de uso da terra, da vulnerabilidade ambiental e da valoração ambiental dos ecossistemas e de seus serviços ecossistêmicos-chave. Para além, detecta quais são as áreas prioritárias para a Gestão Costeira e contribui cientificamente para alcançar metodologias de mais fácil aplicação nas temáticas relatadas.

Ineditismo

O ineditismo desta pesquisa consiste na adaptação de metodologias para detecção da vulnerabilidade costeira consolidadas ao nível global e sua adaptação ao nível local, resultando na proposição de um novo índice de vulnerabilidade costeira. O índice proposto considera conjuntamente os aspectos biogeofísicos de determinada área de estudo com seus indicadores socioeconômicos, embasado no entendimento de que o ambiente por si só não é vulnerável, e sim, está exposto às condições biogeofísicas ocorrentes nele. Ademais, a valoração dos ecossistemas presentes naquela área através dos seus serviços ecossistêmicos-chave.

1.2. Caracterização da Área de Estudo

O município de Jaguaruna localiza-se na região Centro-Sul do estado de Santa Catarina, sul do Brasil (Fig. 1.6). Tem seus limites ao norte com Tubarão e Laguna; ao sul com Içara; ao oeste com Sangão e Treze de Maio; e ao leste com o Oceano Atlântico. O acesso ao município dá-se pelas rodovias BR-101, SC-442, SC-443 e pela ferrovia que a conecta às cidades catarinenses de Siderópolis e Imbituba. A área do município corresponde a 328,347 km² (IBGE, 2022).

Este município está localizado ao sul do Cabo de Santa Marta. A partir desta feição geográfica, ocorre uma mudança em direção ao litoral. A orientação está alinhada com o eixo nordeste-sudoeste. O segmento costeiro abrange cerca de 38 km, divididos em oito balneários principais, que são de SO para NE: Torneiro, Esplanada, Campo Bom, Arroio Corrente, Figueirinha, Dunas do Sul, Garopaba do Sul e Camacho e, fazem parte da Área de Proteção Ambiental da Baleia Franca (APABF).

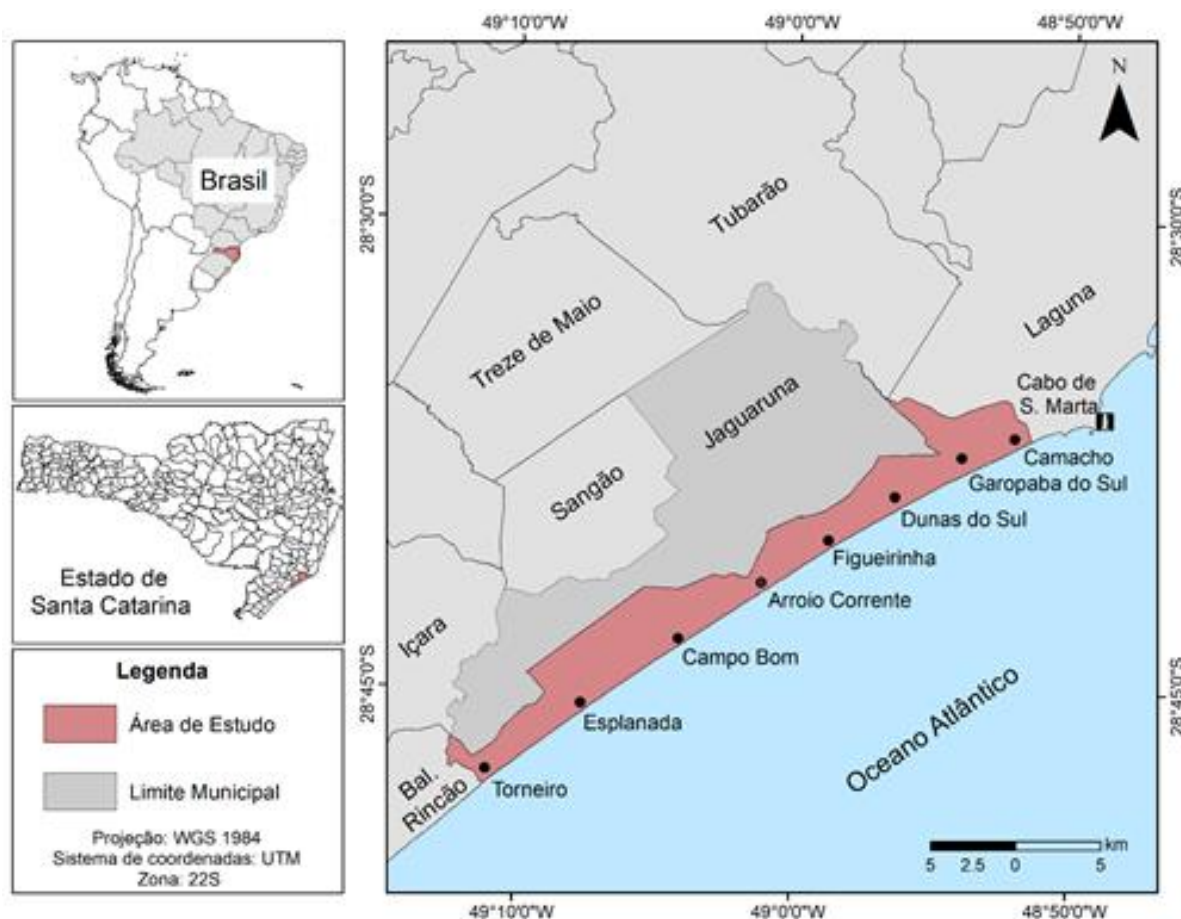


Figura 1.6. Localização do município de Jaguaruna – SC. Em hachurado se encontra a zona costeira do município, com os principais balneários indicados por círculos. Fonte: Base de mapas do tipo *shapefile* obtidos de IBGE (2020).

Trata-se de uma unidade geológica recente e suscetível as ações que alteram os processos e/ou os elementos envolvidos na dinâmica costeira (Gruber *et al.*, 2017a). A linha de costa da barreira holocênica apresenta diferentes comportamentos entre os balneários estudados. Para Torneiro, Esplanada e Campo Bom o comportamento da barreira é regressivo (Leal & Barboza, 2017; Becker *et al.*, 2021; Oliveira, 2016). Em oposição, os trechos do Arroio Corrente, Dunas do Sul, Figueirinha, Garopaba do Sul e Camacho apresentaram comportamento transgressivo da linha de costa (Soccol, 2015; Martinho, 2006; Oliveira, 2019; Martins *et al.*, 2014).

O clima corresponde ao tipo Cfa, conforme a classificação climática de Köppen (Alvares *et al.*, 2013), em que “C” equivale a uma região de clima temperado quente, com mês mais frio entre -3°C a 18°C , “f” diz respeito a áreas que não possuem estação seca, considerando que o mês com menor precipitação tem sua média mensal superior a 60 mm, e “a” significa que a temperatura do mês mais quente é maior que 22°C . A média mensal da temperatura varia entre 18° e 20°C , com precipitação média

anual entre 1.460 a 1.820 mm, oscilando entre 129 e 144 dias de chuva por ano, e apresenta chuvas bem distribuídas ao longo do ano (Climate Data, 2022).

No município, os domínios tectono-estratigráficos predominantes são o Cinturão Dom Feliciando/Batólito de Florianópolis, representado pela Suíte Granitoide Pedras Grandes; e as Coberturas Cenozóicas, representadas por sistemas continentais de leques aluviais e fluviais e por sistemas laguna-barreira pleistocênicos e holocênicos (CPRM, 2000). Por sua vez, os domínios geomorfológicos do município classificam-se em Terras Altas e Terras Baixas (SPG, 2010). As Terras Altas estão relacionadas ao compartimento embasamento cristalino, enquanto as Terras Baixas, aos compartimentos aluviais, lagunares, praias e eólicos.

Em se tratando da caracterização geológica, o município constitui-se por sequências sedimentares da Bacia de Pelotas superpostas às sequências sedimentares e vulcânicas da Bacia do Paraná e ao Escudo Cristalino Catarinense. Conforme o mapeamento geológico de Horn Filho *et al.* (2010), as rochas do embasamento são constituídas por formações proterozoicas do Escudo Catarinense e paleozoicas da Bacia do Paraná, pertencem à classe temática “embasamento indiferenciado” e são definidas como sistema cristalino/sedimentar de idade pré-quadernária. Durante o período Quaternário, o nível relativo do mar oscilou, fazendo com que ocorressem regressões e transgressões marinhas na zona costeira da Bacia de Pelotas, as quais foram responsáveis por sua evolução.

Considerando o modelo evolutivo de Villwock & Tomazelli (1995) referente à zona costeira do Rio Grande do Sul, mas passível de aplicação para o sul de Santa Catarina devido à similitude dos ambientes, quatro são os Sistemas Laguna/Barreira que constituem a planície costeira, os quais têm origem em variações do Nível Médio do Mar (NMR) no Pleistoceno. Não obstante, na região de estudo, só ocorrem registros de dois deles (Dillenburg & Barboza, 2014), o pleistocênico (III, 125 mil anos AP) e holocênico (IV, 7 mil anos AP) (Fig. 1.7).

O modelo paleogeográfico da região pode ser sintetizado em quatro estágios evolutivos, partindo da regressão ocorrida do Pleistoceno Inferior até a regressão do Holoceno. São eles: depósitos litorâneos, depósitos continentais, depósitos lagunares e depósitos antropogênicos (Horn Filho *et al.*, 2010). Quanto aos depósitos antropogênicos, formados no Holoceno, observa-se na região, a maior concentração mundial de sítios arqueológicos do tipo sambaqui, bem como sambaquis com as maiores dimensões já registradas (Kneip, 2004).

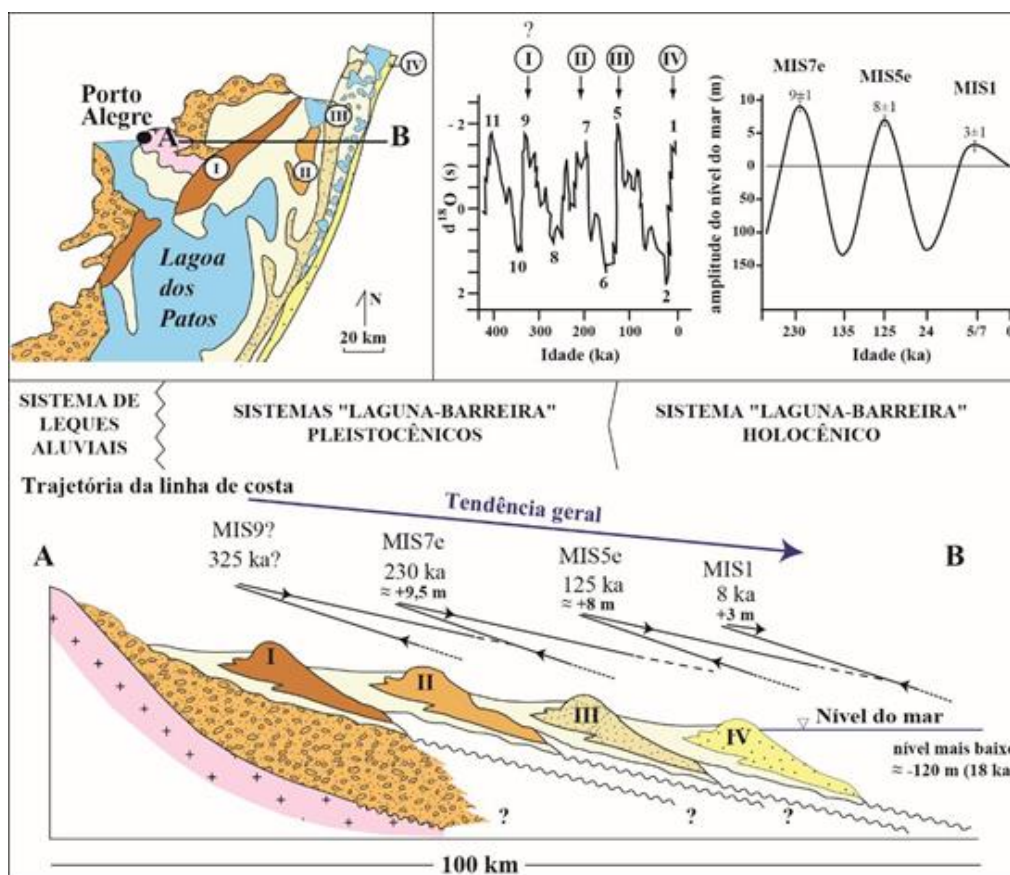


Figura 1.7. Perfil topográfico dos Sistemas Laguna/Barreira no Rio Grande do Sul e sua correlação cronológica com a curva isotópica do oxigênio-18. Fonte: Rosa *et al.*, 2017

Quanto aos aspectos oceanográficos, ao sul do Cabo de Santa Marta, o litoral catarinense é composto de planícies costeiras extensas e contínuas, com praias dissipativas de micro-marés, dominadas por ondas; antepraia com declividade suave e zona de surfe bem desenvolvida; e constituída por areia quartzosa fina, bem selecionada (Giannini, 2002).

No aspecto social, possui uma população total estimada em 20.547 habitantes (IBGE, 2022). Ao considerar apenas os setores censitários da área de estudo, esse número cai para 7.161 habitantes, aproximadamente 35% do total. Assim, é representativa quando comparada aos 26% da população catarinense que habitam os municípios considerados litorâneos pela legislação (De Andrés *et al.*, 2018).

1.3. Estado da Arte

1.3.1. O Ecossistema e Suas Relações

Conceito de Ecossistema

A ideia de ecossistema, ainda que sem conceito formulado naquele momento, é conhecida desde a antiguidade clássica. O filósofo Theophrastus (372 a.C. – 287

a.C.) já estava ciente da importância do clima na distribuição das plantas e das “relações harmônicas” entre os ciclos de vida das plantas e das estações do ano (Woodward & Williams, 1987), embora tais ideias não tenham sido desenvolvidas satisfatoriamente por mais de dois milênios.

Na idade contemporânea, o fundador da ciência dos ecossistemas aquáticos Stephen Alfred Forbes; o pioneiro dos estudos de sucessão ecológica, Henry Chandler Cowles; o limnologista alemão, August Friedrich Thienemann; e o ecólogo americano, Warder Clyde Allee, empreendem estudos importantes a respeito da integração entre a biota e o meio ambiente abiótico (Forbes, 1887; Cowles, 1899; Thienemann, 1918; Allee, 1934), embora não tenham proposto um termo para designar tal integração.

A primeira vez em que o termo “ecossistema” aparece na literatura impressa é em 1935 no conhecido artigo científico “*The use and abuse of vegetational concepts and terms*” (“O uso e abuso de conceitos e termos vegetais”), do pioneiro da ecologia vegetal, Arthur George Tansley, o qual afirma:

“A concepção mais fundamental é, como me parece, todo o sistema (no sentido da física), incluindo não apenas o complexo-organismo, mas também todo o complexo de fatores físicos que chamamos de ambiente do bioma [...]. Embora os organismos possam reivindicar nosso interesse primário, [...] não podemos separá-los de seu ambiente especial, com o qual eles formam um sistema físico. São os sistemas assim formados que, do ponto de vista do ecologista, são as unidades básicas da natureza na face da Terra. Nossos preconceitos humanos naturais para considerar os organismos (no sentido da biologia) as partes mais importantes desses sistemas, mas certamente os “fatores” inorgânicos também são partes - não poderia haver sistemas sem eles, e é o intercâmbio constante dos mais variados tipos dentro de cada sistema, não apenas entre os organismos, mas entre o orgânico e o inorgânico. Esses ecossistemas, como podemos chamá-los, são dos mais variados tipos e tamanhos” (Tansley, 1935).

Tansley (1935) conclui que ecossistema é “o conceito fundamental apropriado ao bioma, considerado, juntamente com todos os fatores inorgânicos efetivos de seu ambiente”.

Um conceito mais amplo é proposto por Raymond Laurel Lindeman, cuja pesquisa foi precursora da ecologia de ecossistemas, alguns anos mais tarde. O autor considera que “o ecossistema pode ser formalmente definido como o sistema composto de processos físico-químico-biológicos ativos dentro de uma unidade espaço-temporal de qualquer magnitude”, sendo de “importância fundamental na interpretação dos dados da ecologia dinâmica” (Lindeman, 1942).

Nos anos subsequentes, o termo é pouco utilizado em estudos expressivos, até a publicação de “*The Tropical Rain Forest*” (A Floresta Tropical) do botânico Paul

Westmacott Richards, no qual escreve que “é preferível considerar o solo, a vegetação, a vida animal, o clima e a rocha mãe como componentes de um único sistema, o ecossistema” (Richards, 1952).

Contudo, o conceito que mais se popularizou e é utilizado ainda hoje, dentre todos os citados, é o de Eugene Pleasants Odum, autor de um dos mais célebres livros-textos de ecologia, “Fundamentos da Ecologia”, publicado pela primeira vez em 1953. Para o autor:

“Os organismos vivos e seu ambiente inerte (abiótico) estão inseparavelmente ligados e interagem entre si. Qualquer unidade que inclua a totalidade dos organismos (isto é, a “comunidade”) de uma área determinada interagindo com o ambiente físico por forma a que uma corrente de energia conduza a uma estrutura trófica, a uma diversidade biótica e a ciclos de materiais (isto é, troca de materiais entre as partes vivas e não vivas) claramente definidos dentro do sistema é um sistema ecológico ou ecossistema” (Odum, 1953; Odum & Barret, 2015).

Odum (1953) considera o ecossistema como a unidade funcional básica em Ecologia, uma vez que inclui tantos organismos (comunidades bióticas) como o ambiente abiótico. A relação entre organismos e meio ambiente é retroalimentada, e a vida na Terra depende dessa combinação para sua manutenção e conservação.

A definição é refinada pelo botânico Arthur John Willis na última década do século XX, segundo a qual o ecossistema é “uma unidade compreendendo comunidade(s) de organismo(s) e seu ambiente físico e químico, em qualquer escala, desejavelmente especificada, onde existem fluxos contínuos de matéria e energia, em um sistema aberto interativo” (Willis, 1997). O pesquisador, em sua exposição, ressalta a importância de que a escala seja especificada, visto que o termo foi muitas vezes mal aplicado em estudos para designar, por exemplo, populações.

Abordagem Ecosistêmica e Ecologia de Sistemas

No final da década de 1950, um novo impulso para a ecologia foi dado a partir do entendimento da abordagem ecosistêmica por Odum (1957), após quase duas décadas de dedicação ao ensino de Ecologia. O autor concluiu que essa abordagem era a mais efetiva para fundamentar os princípios da Ecologia, pois considera o sistema como um todo, e não apenas partes isoladas, além de levar em consideração a dinâmica do sistema e a relação entre seus componentes. Ele exemplificou que uma boa prática sobre abordagem ecosistêmica poderia ser ilustrada na exploração de um pequeno lago e um campo agrícola abandonado, já que ambos apresentariam:

estrutura trófica, produtividade, sucessão, fatores limitantes, entre outros (Odum, 1957).

A partir da década de 1960, existe uma crescente contribuição no âmbito da Ecologia, fundamentalmente relacionada ao conceito de ecossistema. Whittaker (1962) elogia a abordagem ecossistêmica, escrevendo “a capacidade de suporte e o habitat formam juntos um todo funcional, o ecossistema ou o complexo da natureza, no qual matéria e energia são transformadas entre ambiente e organismos”. Ele considera que “a concepção do ecossistema sugere uma abordagem multifatorial ou de paisagem para a classificação”, apesar de não propor um termo para designar essa abordagem.

Dessa forma, um dos principais aportes da época é a proposta do conceito de “ecologia de sistemas”, por Odum, que diz respeito à “estrutura e função dos níveis de organização além do indivíduo e da espécie” ou ainda “estudo da estrutura e função da natureza, se definirmos a natureza como qualquer sistema de suporte à vida (ou seja, qualquer ecossistema) funcionando dentro de qualquer espaço que decidamos considerar” (Odum, 1964). Dessa forma, Willis (1997) reflete que Odum considerou o ecossistema como a unidade básica dos ecologistas e favoreceu uma abordagem holística, ao invés de uma abordagem reducionista.

A partir de então, Patten (1966) e Van Dyne (1966) promoveram a ecologia de sistemas, como “o estudo do desenvolvimento, dinâmica e perturbação dos ecossistemas”. Waring (1989) argumenta que os estudos ecossistêmicos mudaram de uma ênfase descritiva para uma ênfase preditiva.

Modelos Espaciais como Ferramenta de Análise dos Ecossistemas

Desde a gênese da concepção da ecologia de sistemas, concomitante com a evolução computacional nas duas últimas décadas do século XX, os modelos espaciais têm sido uma ferramenta de análise integral de ecossistemas. Os precursores desse campo da ciência foram Neel & Olson (1962), ao usarem computadores para simular os movimentos de isótopos em um sistema ecológico.

Considerando que os ecossistemas são muito complexos para serem descritos por apenas algumas equações, os modelos surgem da necessidade de resolver centenas de equações (Jørgensen, 1986; Mauersberger & Straskraba, 1987), que apresentam interações de formas não contínuas e não lineares, bem como de fornecer uma base sistêmica para interpretar e analisar o comportamento do ecossistema.

Os objetivos principais para a utilização de modelos de simulação de ecossistemas são descritos por Swartzman (1979): a) replicar o comportamento do sistema sob condições normais, por comparação com dados de campo; b) entender melhor o comportamento do sistema; c) organizar e utilizar informações de campo em estudos de laboratório; d) identificar áreas para pesquisa de campo futura; e) generalizar o modelo além de um único local; f) investigar os efeitos de manipulações ou distúrbios importantes no ecossistema em uma ampla gama de condições. O manejo da terra é alcançado de forma majoritária pelos objetivos (e) e (f), conforme Waring & Running (1985).

1.3.2. Os Ecossistemas como Redes Complexas ou Sistemas Interconectados

Os ecossistemas e a biosfera global são exemplificados por Levin (1998) como protótipos de SAC, sendo essa classificação de suma importância para compreendermos as interações na estrutura e no funcionamento em diferentes territórios do globo. São exemplos das interações: estrutura trófica, relações de diversidade-productividade e padrões de fluxo de nutrientes. Essas interatividades ocasionam o processo conhecido como retroalimentação ou *feedback* (Fig. 1.8).

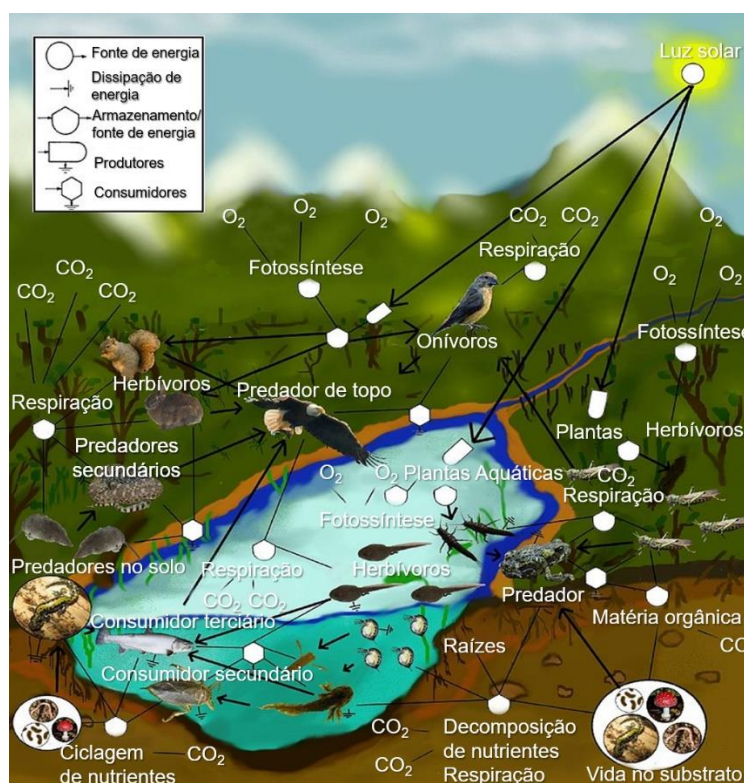


Figura 1.8. Exemplo de ecossistema como rede complexa e interconectada. A imagem evidencia como cada espécie pode impactar outras espécies e o ambiente ao seu redor. Fonte: Traduzido pela autora com base em Thompson (2010).

Sistemas Adaptativos Complexos (SAC) não são caracterizados como sistemas determinísticos, previsíveis e mecanicistas, mas como processos orgânicos dependentes, com retroalimentações entre múltiplas escalas que permitem que esses sistemas se auto-organizem (Holland, 1995; Levin, 1999). Um sistema adaptativo é aquele que muda suas propriedades ou seu ambiente em face a perturbações, para manter seu estado. A parte “complexa” dos SAC diz respeito às vastas interligações encontradas nestes sistemas, o que acarreta uma dificuldade de prever como vão se comportar, frente às mudanças.

O estudo dos SAC busca explicar como estruturas complexas e como padrões de interação, como por exemplo o ecossistema, podem surgir da desordem através de elementos simples. Levin (1998) exemplifica esse mecanismo com a natureza de determinada região dispersa e local. Essa natureza, provinda de um processo autônomo de seleção, tem garantida sua adaptação contínua pela ausência de um controlador global e pelo surgimento de uma organização hierárquica.

Dessa maneira, Janssen & De Vries (1998) consideram que um SAC consiste em conjuntos de agentes individuais heterogêneos, que interagem localmente e evoluem com base no resultado das interações: em sua genética; em seus comportamentos; e/ou em suas distribuições espaciais.

1.3.3.O Ecossistema como Provedor de Bens e Serviços: Serviços Ecossistêmicos

Assim como o termo “ecossistema”, o conceito de “serviços ecossistêmicos” é relativamente recente. Conforme Hermann *et al.* (2011) foi nas décadas de 1960 e 1970 que os cientistas começaram a abordar o valor social das funções da natureza (King, 1966; Helliwell, 1969; Dee *et al.*, 1973; Westman, 1977; Bormann & Likens, 1979). Pensando em como os sistemas naturais fornecem bens e serviços à humanidade que os necessita, o ecologista americano Walter E. Westman utilizou o termo “serviços da natureza” na publicação em 1977 de um artigo intitulado “*How Much Are Nature’s Services Worth?*” ou “Quanto valem os serviços da natureza?”, em tradução livre.

O artigo de Westman (1977) foi um chamado para avaliar os benefícios do funcionamento do ecossistema natural para o bem-estar humano, em que o autor argumentou que os ecossistemas eram valorizados, principalmente, por seu fornecimento de materiais colhidos, como as árvores e as rochas, e não por outros serviços, como o de inspiração poética.

O termo “serviços ecossistêmicos” foi introduzido em 1981 por Ehrlich & Ehrlich (1981) em seu livro “*Extinction: the causes and consequences of the disappearance of species*” ou Extinção: as causas e consequências do desaparecimento das espécies, em português. Já o primeiro artigo a apresentar o termo “*ecosystem service*” ou serviço ecossistêmico em seu título foi o dos autores Ehrlich & Mooney (1983). “*Extinction, Substitution, and Ecosystem Services*” ou “Extinção, Substituição e Serviços Ecossistêmicos”, em tradução livre, discutiu o impacto das extinções e a perda da biodiversidade nos serviços proporcionados pelos ecossistemas à humanidade.

A partir de então, muitos conceitos foram propostos, e a concepção de que os serviços ecossistêmicos apoiam e sustentam a vida humana ganhou força e culminou em um estudo chamado *Millennium Ecosystem Assessment* (Avaliação do Ecossistema do Milênio) que se baseou na expertise de mais de 1.300 cientistas (MA, 2003; 2005). Seu objetivo era avaliar como os ecossistemas do mundo apoiam o bem-estar humano e as implicações para a conservação dos ecossistemas.

Dessa forma, ao longo deste trabalho será adotada a definição do *Millennium Ecosystem Assessment*, que construída a partir de Daily (1997) e de Costanza *et al.*, (1997) (MA, 2005). Em suma, os serviços ecossistêmicos (SE) são os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas (MA, 2003; 2005).

De acordo com Daily (1997), os SE são as condições e processos pelos quais os ecossistemas naturais e suas espécies sustentam e satisfazem as necessidades humanas. O autor destaca que isso é alcançado por meio da preservação da biodiversidade e da produção de bens ecossistêmicos, como frutos do mar, madeira, combustíveis de biomassa, fibras naturais e muitos outros produtos farmacêuticos e industriais. O conceito de SE adotado pelo *Millennium Ecosystem Assessment* (MA, 2005) segue a definição de Daily, usando o termo “serviços” para abranger benefícios tangíveis e intangíveis que as pessoas obtêm dos ecossistemas.

Já Costanza *et al.* (1997) definiram os benefícios que as populações humanas obtêm, de forma direta ou indireta, como “funções” do ecossistema, subdividindo-as em bens (como alimentos) e serviços (como a assimilação de resíduos). Nesse sentido, o MA acompanha Costanza *et al.* (1997) ao incluírem ecossistemas naturais e modificados pelo homem como fontes de serviços ecossistêmicos.

A categorização proposta no relatório do grupo de trabalho do *Millennium Ecosystem Assessment* (MA, 2003; 2005) e adotada nesse estudo subdivide os serviços ecossistêmicos em: abastecimento ou provisão, regulação, cultural e de

suporte. A Figura 1.9 traz essa subdivisão e exemplos de cada uma dessas categorias. É importante esclarecer que algumas categorias se sobrepõem, pois como já visto, os ecossistemas são redes interconectadas.

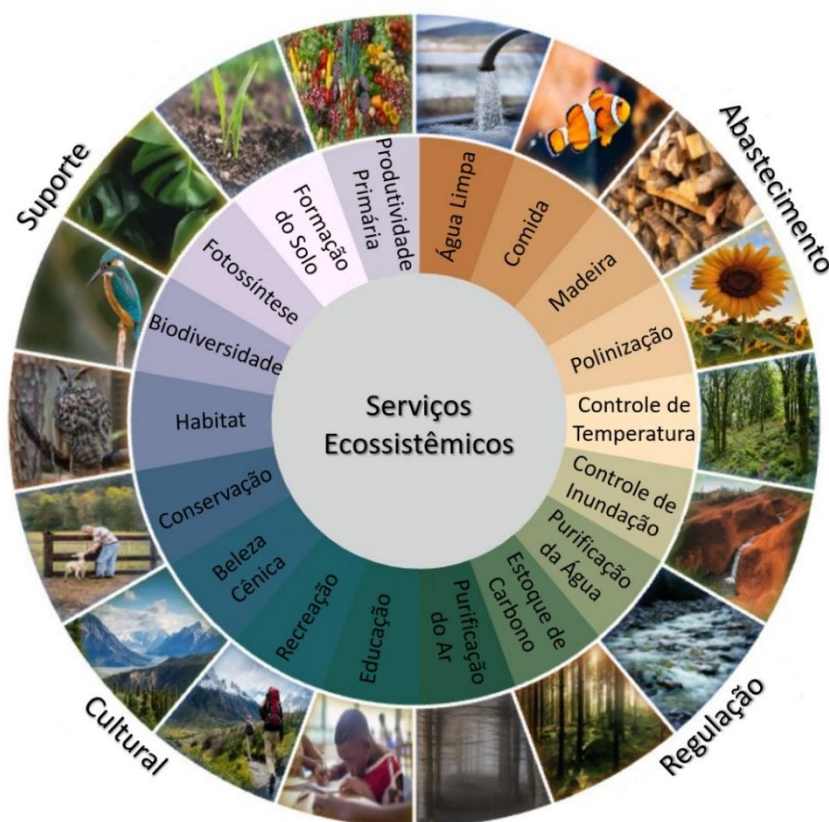


Figura 1.9. Os Serviços Ecosistêmicos são benefícios que a natureza fornece gratuitamente. Nessa figura foi considerada a classificação adotada pela MA (2003; 2005) que os divide em Serviços de Suporte, Abastecimento, Regulação e Cultural, com exemplos de cada uma das categorias. Fonte: Elaborado pela autora com base em Reese (2022).

- i) **Abastecimento** – São os produtos obtidos dos ecossistemas, como: água, alimentos, combustíveis, fibras naturais, recursos genéticos, medicamentos naturais, fármacos e recursos ornamentais.
- ii) **Regulação** – São os benefícios obtidos com a regulação dos processos ecossistêmicos, como: regulação do clima e da água, manutenção da qualidade do ar, proteção contra tempestades, controle da erosão, polinização, regulação de enfermidades, controle biológico.
- iii) **Cultural** – São os benefícios não materiais que as pessoas obtêm dos ecossistemas através do enriquecimento espiritual, da estimulação mental, da reflexão, do entretenimento, entre outras experiências proporcionadas pelo contato com o meio ambiente.
- iv) **Suporte** – São aqueles necessários para a produção de todos os outros serviços ecossistêmicos. Eles se distinguem dos serviços de provisão,

regulação e culturais, já que seus impactos nas pessoas são indiretos ou ocorrem em um período muito longo, ao contrário das mudanças nas outras categorias que têm impactos relativamente diretos e de curto prazo.

1.3.4. A Gestão com Base Ecosistêmica

Uma das primeiras fontes científicas da Gestão com Base Ecosistêmica foi a publicação do artigo *The report of the Ecological Society of America committee on the scientific basis for ecosystem management* (O relatório do comitê da Sociedade Ecológica da América sobre a base científica para o gerenciamento de ecossistemas), em 1996, postulando a integração de princípios ecológicos e pesquisas científicas sobre o gerenciamento de recursos naturais e enfatizando a necessidade de considerar todo o ecossistema ao tomar decisões de gerenciamento (Christensen *et al.*, 1996).

No ano seguinte, Boyce & Haney publicaram o livro “*Ecosystem Management: Applications for Sustainable Forest and Wildlife Resources*” (Gerenciamento de ecossistemas: pedidos de recursos sustentáveis da floresta e da vida selvagem) enfatizando a importância da pesquisa científica e do monitoramento na informação na tomada de decisão e pediu uma mudança das abordagens de gerenciamento do setor tradicional para uma abordagem mais holística baseada no ecossistema (Boyce & Haney, 1997).

Em 1997 também foi publicado o livro “*The Ecological Basis of Conservation: Heterogeneity, Ecosystems, and Biodiversity*” (A base ecológica da conservação: heterogeneidade, ecossistemas e biodiversidade) dos ecologistas Steward T. A. Pickett, Richard S. Ostfeld, Moshe Shachak & Gene E. Likens. Nele os autores argumentaram que é necessário concentrar esforços de conservação em ecossistemas inteiros, ao invés de espécies individuais, e enfatizavam a importância de entender as relações complexas entre espécies e seus ambientes (Pickett *et al.*, 1997).

Dessa forma, o conceito de GBE surgiu como uma resposta ao reconhecimento de que as abordagens tradicionais para o gerenciamento de recursos naturais, focadas em espécies ou setores individuais, eram frequentemente ineficazes e poderiam levar a consequências não intencionais para os ecossistemas e para as pessoas que dependessem deles.

A partir daí, houve uma evolução na compreensão de que os seres humanos também são parte integrante desses sistemas, afetando e sendo afetados por eles. Conforme McLeod & Leslie (2009), a GBE advém da necessidade de perceber, entender e, eventualmente, interferir em sistemas ambientais complexos, tendo em conta suas características físicas e sociais. A GBE tem sido proposta, em anos recentes, como uma alternativa aos já tradicionais modelos de Gerenciamento Costeiro, na busca de uma estrutura de gestão que facilite os processos de integração da informação sobre a zona costeira e possibilite sua efetiva implementação (Agardy *et al.*, 2011).

Portanto, a GBE é uma abordagem de gestão integrada que reconhece todo o conjunto de interações dentro de um ecossistema, incluindo seres humanos, em lugar de considerar questões únicas, espécies ou SE isoladamente (McLeod *et al.*, 2005). O objetivo da GBE é manter um ecossistema em condições saudáveis, produtivas e resilientes, para que possa fornecer os serviços que os seres humanos querem e precisam (McLeod & Leslie, 2009), além de gerar produtos que beneficiem aos próprios ecossistemas (Odum & Odum, 2001).

Trata-se de uma gestão complexa e dinâmica, visto que considera as interações dos indivíduos com o meio que os cerca e com as questões socioeconômicas. A GBE em ambientes costeiros e marinhos advém da necessidade de mitigar os impactos negativos que têm aumentado progressivamente com o desenvolvimento da indústria e com o crescimento da população.

Dessa forma, essa abordagem constitui uma ferramenta importante para os atuais e futuros desafios ambientais, visto que atua em todos os setores, para gerenciar espécies e habitats, atividades econômicas, usos conflitantes, sustentabilidade dos recursos, com objetivo de proteger e equilibrar ecossistemas diversos e seus serviços (NOAA, 2018).

1.3.5. Se os ecossistemas têm valor por nos proporcionar serviços, como podemos quantificá-lo?

“E, no entanto, na busca inexorável de racionalizar as atividades da civilização, os formuladores de políticas nas sociedades ocidentais perguntam cada vez mais o valor monetário de itens e qualidades anteriormente considerados inestimáveis: ar e água limpos, vida selvagem, a própria natureza selvagem. Por trás dessa busca está a esperança de que, valorando os benefícios para a sociedade da natureza no estado subdesenvolvido em oposição aos benefícios do desenvolvimento de recursos, uma base objetiva para a tomada de decisão será alcançada” (Westman, 1977).

Em 1997, o economista ecológico Robert Costanza e seus colegas publicaram uma das primeiras estimativas do valor monetário dos serviços ecossistêmicos para todo o mundo. Eles revisaram a literatura internacional em busca de estimativas do valor monetário de serviços específicos e depois extrapolaram para uma escala global. O estudo estimou o valor médio anual dos serviços ecossistêmicos em US\$ 33 trilhões. Embora tenham reconhecido que havia limitações na precisão da estimativa, sua pesquisa foi significativa ao destacar a enorme importância econômica dos ecossistemas que deve ser considerada nos processos de tomada de decisão, ajudando a lançar uma nova área de estudo conhecida como “economia ambiental” (Costanza *et al.*, 1997).

Os estudos da economia ambiental destacaram a importância dos ecossistemas e de seus serviços ecossistêmicos em fornecer benefícios às atividades humanas e também os custos gerados pelas atividades humanas no uso e modificação do solo. Antes da economia ambiental, os serviços ecossistêmicos (SE) não eram considerados nos mercados financeiros e, portanto, eram negligenciados na tomada de decisões. A falta de valorização e a subvalorização interferia e ainda interfere no processo de tomada de decisão, o que leva à constante modificação, exploração e degradação indiscriminada dos ecossistemas, em favor de outras opções mais produtivas de uso da terra e dos recursos, o que gera lucros mais elevados e imediatos (Emerton, 2003).

Ao propor a precificação para esses ativos naturais (também chamados de capital natural), Costanza *et al.* (1997) buscavam que as pessoas reconhecessem seu valor. Considerar a percepção dos indivíduos em termos monetários é uma forma de tornar os SE comparáveis a outros setores econômicos na hora de tomar decisões sobre o uso dos recursos naturais. Se bem avaliado, o valor econômico total de um ecossistema, considerando seus serviços, geralmente supera os ganhos econômicos das atividades baseadas na degradação ou conversão do ecossistema (Emerton *et al.*, 2002; Pagiola *et al.*, 2005).

Nesse sentido, o valor dos ativos naturais inclui valores de uso e não uso, conforme descritos por Pascual *et al.* (2012):

Valores de uso dos serviços ecossistêmicos

Valor de uso direto – Resultado do uso humano direto da Biodiversidade, podendo ser consuntivo, quando se refere a algo que é extraível para o consumo, como produtos oriundos da agropecuária, pesca, alimentos silvestres, aquicultura ou

não consuntivo. Quando se refere a serviços diretos que não podem ser extraídos do ambiente, como recreação, bem-estar espiritual/cultural, pesquisa, educação.

Valor de uso indireto – Decorrente dos serviços de regulação prestados pelas espécies e ecossistemas, como: controle de erosão, fertilidade do solo, polinização, regulação e purificação da água, etc.

Valor de opção – Refere-se à relevância que as pessoas atribuem à disponibilidade futura de serviços ecossistêmicos de benefícios conhecidos e desconhecidos para uso pessoal.

Valores de não uso dos serviços ecossistêmicos

Valor de herança – Valor conferido pelos seres humanos ao fato de que as gerações vindouras também terão acesso aos benefícios das espécies e ecossistemas.

Valor altruísta – Valor atribuído pelos indivíduos ao fato de outras pessoas da geração atual têm acesso aos benefícios proporcionados pelas espécies e ecossistemas.

Valor de existência – Valor atrelado à satisfação que os indivíduos obtêm pelo mero conhecimento de que as espécies e os ecossistemas continuam a existir.

No que tange aos métodos de valoração ambiental desses serviços ecossistêmicos (SE), uma forma de agrupá-los é classificando-os em diretos e indiretos. Os métodos diretos mensuram o valor dos SE a partir da disposição a pagar do consumidor. Já os métodos indiretos têm como finalidade identificar o valor dos SE a partir das alterações de produtos no mercado.

Para o estudo apresentado no capítulo II, serão considerados apenas os métodos indiretos, que permitem estabelecer valores de uso e não uso para medir danos ambientais sem ter que relacionar esses parâmetros com a disposição direta de pagar ou de receber dos indivíduos. A escolha pela utilização de métodos de valoração indireta justifica-se por permitir a replicação do estudo em outras áreas, com a facilidade de realizar análises remotamente. Além disso, entendeu-se que em um mundo cada vez mais globalizado, as geotecnologias são capazes de suportar mais facilmente os métodos indiretos.

Método de Custos Evitados (MCE)

O Método de Custos Evitados (MCE) calcula o valor econômico dos benefícios fornecidos por um ecossistema que não estaria disponível se tal ecossistema fosse

removido. Portanto, esse valor econômico representaria um custo adicional para a sociedade caso esse serviço ambiental não estivesse mais disponível.

A ideia implícita do MCE é que o gasto com produtos substitutos ou complementares para algumas características ambientais pode ser usado como uma aproximação para calcular monetariamente a “percepção dos indivíduos” sobre as mudanças nos ecossistemas. São gastos com a defesa ou com a prevenção das características ambientais para a proteção das populações (Pearce, 1993).

Método de Custos de Reposição (MCR)

O Método de Custos de Reposição (MCR) baseia-se no custo de substituição ou restauração de um bem danificado, sendo este custo entendido como uma medida do seu benefício (Pearce, 1993). Nesse sentido, os custos de reposição são um indicativo de que haverá maiores benefícios para a sociedade com sua implantação do que de outra forma. Além disso, essa abordagem é necessária para situações em que a reparação do dano é imprescindível devido a alguma restrição ambiental.

Os riscos para esse procedimento, segundo Pearce (1993), estão relacionados à percepção por parte da sociedade de que os custos são insignificantes quando comparados ao número de benefícios obtidos com a recuperação de um determinado ecossistema. O método funciona somando os custos de reparação dos efeitos negativos, que são consequência de algum distúrbio na qualidade ambiental.

1.3.6. A Problemática do Risco e da Vulnerabilidade Costeira

Riscos Ambientais Costeiros

O conceito de risco está atrelado à probabilidade de insucesso de um determinado acontecimento, em função de evento fortuito, cuja ocorrência independe da vontade das partes envolvidas. A existência de risco somente existe de forma relevante quando há uma valoração de algum bem, seja ele material ou imaterial, já que o risco está intrinsecamente ligado à ideia de que algo pode ser perdido (Godard *et al.*, 2002; Castro *et al.*, 2005; Correa *et al.*, 2009). Em outras palavras, sem a noção de perda potencial, não pode haver risco.

Os riscos estendem-se às sociedades e ao meio em que vivem, no caso deste estudo, às zonas costeiras. É salientado por Egler (1996) que o risco ambiental deve ser avaliado em diferentes categorias (Tab. 1.1), podendo ser natural, tecnológico e social.

Tabela 1.1. Categorizando o risco ambiental: Construção de uma concepção abrangente. Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de Egler (1996).

Tipo de risco	Causa	Consequências iminentes	Consequências a longo prazo
Natural	Natural; Induzido por atividade antrópica.	Inundações, Desabamentos; Erosão.	Inundações, Desabamentos; Erosão.
Tecnológico	Processos produtivos; Atividade industrial.	Explosões; Vazamentos ou derramamentos de produtos tóxicos.	Poluição de ecossistemas; Lançamento e deposição de resíduos do processo produtivo.
Social	Carências sociais; Condições de vida degradantes.	Falta de acesso aos serviços básicos (água tratada; saneamento e coleta de resíduos).	Condições de pleno desenvolvimento humano (emprego, renda e capacitação técnica da população local).

As zonas costeiras, por constituírem ambientes bastante complexos, apresentam variáveis muito dinâmicas. Egler (1996) propõe que essas variáveis sejam analisadas como um conjunto de indicadores capaz de monitorar as interações que ocorrem em distintos períodos de tempo, isto é, a curto, médio e longo prazo. Além disso, é importante avaliar esses indicadores em diversas escalas, definindo níveis de gestão que variam desde o local até o internacional (Tab. 1.2).

Tabela 1.2. Síntese de indicadores para as escalas de gestão do ambiente: do global ao local e do curto ao longo prazo. Fonte: Elaborado pelo autor com base em Egler (1996) e *Conseil National de l'Information Statistique* (CNIS, 1990).

	Escala de Tempo		
	Curto prazo	Médio prazo	Longo prazo
Nível internacional e global	Acidente nuclear; Derramamento de petróleo no mar; Proliferação de algas verdes.	Poluição transfronteiriça (aquática e atmosférica); Transporte de materiais perigosos; Desmatamento em grande escala; Gerenciamento de áreas de pesca.	Alteração climática; Poluição global dos oceanos; Degradação do solo; Acidificação da chuva; Perda global da diversidade biológica.
Nível nacional	Intoxicação por produtos tóxicos disseminados em âmbito nacional; Bloqueios generalizados (ineficiência na administração do tempo).	Formulação de políticas ambientais nacionais; Gestão de unidades de conservação; Regulação de substâncias tóxicas; Integração entre atividades econômicas e ambientais.	Ordenamento territorial (litoral, montanha, áreas agrícolas); Gestão dos recursos hídricos; Gerenciamento de resíduos nucleares; Regulação de tecnologias; Desenvolvimento sustentável.
Nível regional	Acidente ambiental; Derramamento químico; Contaminação acidental das águas; Introdução de espécies invasoras; Desastres naturais (enchentes, terremotos, queimadas).	Impactos de projetos de grande porte; Provisão de água para grandes empresas e áreas urbanas; Gestão de parques regionais e estaduais; Regulação da caça e pesca de espécies.	Manejo florestal; Equilíbrio entre zonas rurais e urbanas; Preservação do solo e das águas subterrâneas; Resíduos industriais; Erosão.

Nível local	Implementação de medidas de prevenção e controle da poluição atmosférica.	Controle de poluição sonora; Tratamento de efluentes poluentes; Descontaminação do ar e da água; Planejamento urbano e áreas verdes; Saúde e segurança ocupacional (impactos ambientais e sociais).	Conservação de patrimônios naturais e culturais; Planejamento urbano sustentável; Tecnologias ambientalmente amigáveis; Acesso público a áreas verdes e espaços naturais.
--------------------	---	---	---

A preocupação com as escalas espaciais local e regional é imprescindível, já que seus resultados representam uma amostra do que ocorre a nível global. Assim, sendo, considera-se que a conexão entre as escalas espaço-temporais é instigante para estudos de risco ambiental e vulnerabilidade costeira. Apenas com o entendimento mais aprofundado acerca desses assuntos é possível criar políticas apropriadas ao gerenciamento costeiro, que beneficiem tanto os ecossistemas, quanto os sujeitos que nele vivem.

Vulnerabilidade costeira

O termo “vulnerabilidade”, em linhas gerais, tem sua aplicação vinculada à ideia de que algo ou alguém está propenso a ser ferido, ou prejudicado. Para um sistema, refere-se à predisposição a danos devido a uma infinidade de fatores que influenciam o andamento natural do meio. Tais fatores podem se referir tanto a componentes biogeofísicos intrínsecos ao meio ambiente, quanto socioeconômicos, relacionados ao uso antrópico do ambiente. O uso científico do termo tem suas raízes na geografia e na pesquisa de desastres naturais, mas é agora um conceito central em uma variedade de outros contextos de pesquisa (Füssel, 2007), como por exemplo, Ecologia, sustentabilidade, mudanças no uso da terra, mudanças climáticas, Ciências Sociais, Geologia Costeira e Oceanografia.

No que se refere à “vulnerabilidade costeira”, a conceituação por Gornitz (1991) propõe que seja vista como a tendência da costa em responder adversamente aos perigos costeiros. Tais perigos são os fenômenos naturais que expõem a zona costeira ao risco de danos ou outros efeitos adversos, tais como erosão, inundação e a subida do nível relativo do mar. Assim, esses perigos possuem a capacidade de perturbar ou prejudicar as estruturas físicas das comunidades e os ecossistemas existentes no território.

Nesse sentido, as estruturas físicas referem-se tanto às edificações urbanas, como aos aspectos socioeconômicos das comunidades. Já os ecossistemas

abrangem relações de interdependência estabelecidas entre os seres vivos e as condições físicas, químicas e biológicas presentes no meio ambiente em que habitam. Essas interações são reguladas por uma série de fatores que influenciam diretamente a sua dinâmica (Odum, 1953; Odum & Barret, 2015). O conjunto de estruturas físicas e ecossistemas confere resiliência ao meio ambiente e auxilia que a população se recupere após um desequilíbrio provocado pelos eventos já mencionados.

Dessa forma, a vulnerabilidade pode ser decomposta em três fatores predominantes. São eles: o nível de exposição de um ambiente a determinada ameaça somado à sensibilidade inerente aos sistemas naturais e humanos e contrabalanceado pela capacidade adaptativa desses sistemas (Arthurton, 2009), conforme o esquema apresentado na Figura 1.10.

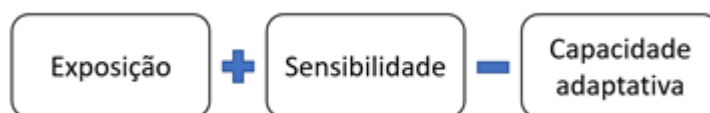


Figura 1.10. Fatores que incidem na vulnerabilidade de um sistema. Fonte: Elaborado pela autora com base em Arthurton (2009).

Analisando a Figura 1.10, percebe-se que a vulnerabilidade será maior em áreas mais pobres, já que, em geral, essas comunidades ocupam áreas com menos condições de habitação ou mesmo irregulares, estando mais propensas a desastres naturais. Como consequência, tais comunidades enfrentam grandes perdas econômicas após a ocorrência de um ou mais eventos extremos, o que afeta o seu bem-estar social e seu desenvolvimento humano. Já uma comunidade mais rica, mesmo habitando uma área vulnerável, possui maior capacidade de construir estruturas para se proteger, o que é representado pela capacidade adaptativa. Nesse sentido, existem ferramentas que auxiliam na adaptação e na recuperação de uma área, como os recursos financeiros, a tecnologia e a capacidade de auto-organização do sistema.

Egler (1996) apresenta outra definição para o termo, caracterizando a vulnerabilidade dos sistemas naturais como um limiar entre a estabilidade dos processos biofísicos e as situações instáveis que resultam em perdas significativas de produtividade primária. O autor destaca que a vulnerabilidade deve ser considerada um dos critérios para a avaliação do risco ambiental.

A partir de Egler (1996), é possível perceber que a vulnerabilidade impacta também nos ecossistemas e nos serviços prestados por eles. Os serviços ecossistêmicos, como já abordado, consistem em benefícios obtidos a partir dos

ecossistemas (MA, 2003; 2005). Eles compreendem, por exemplo, regulação do clima, purificação da água, ciclagem de nutrientes, formação do solo, refúgio e berçário de espécies, beleza cênica e paisagística.

Para mais, o informe *Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability* (Mudanças no Clima: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade) (IPCC, 2001), caracteriza a vulnerabilidade como o grau em que um sistema é suscetível a efeitos adversos de mudança climática ou incapaz de lidar com esses impactos. Dessa forma, sob a ótica do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) (IPCC), há a adição do componente “mudança climática” na estimativa da vulnerabilidade costeira.

“A vulnerabilidade é definida como a medida em que um sistema natural ou social é suscetível a sofrer danos causados por mudanças climáticas. É uma função da sensibilidade de um sistema a mudanças no clima (o grau em que um sistema responderá a uma determinada mudança climática, incluindo efeitos benéficos e prejudiciais), sua capacidade adaptativa (o grau em que ajustes nas práticas, processos, ou estruturas podem moderar ou impedir o potencial de dano ou aproveitar as oportunidades criadas por uma dada mudança no clima) e o grau de exposição do sistema a riscos climáticos. Um sistema altamente vulnerável seria um sistema que é muito sensível a mudanças modestas no clima, onde a sensibilidade inclui o potencial para efeitos prejudiciais substanciais, e para os quais a capacidade de adaptação é severamente limitada. A resiliência é o outro lado da vulnerabilidade - um sistema resiliente não é sensível à variabilidade e à mudança do clima e tem a capacidade de se adaptar” (IPCC, 2001).

Assim, a vulnerabilidade é considerada pelo IPCC (2001) em função do caráter, da magnitude e da taxa de mudança climática a que um sistema está exposto, bem como, conforme a sua sensibilidade e a sua capacidade adaptativa. Nesse sentido, uma região submetida à alta vulnerabilidade costeira é aquela com menor capacidade de adaptação, mesmo a pequenas alterações climáticas.

Essas definições já abordadas também estão em consonância com a *Intergovernmental Oceanographic Commission* (Comissão Oceanográfica Intergovernamental) (IOC), órgão vinculado à *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura) (UNESCO), que define “vulnerabilidade costeira” como o estado das comunidades costeiras, incluindo sua estrutura social, ativos físicos, economia e suporte ambiental, que as tornam mais ou menos suscetíveis a serem afetadas por eventos extremos (IOC, 2009).

A partir desses conceitos, neste estudo é adotado o conceito de que a vulnerabilidade costeira se vincula à concepção de determinada comunidade estar mais propensa a ser afetada ou prejudicada por um evento ou perigo devido a um ou

mais riscos costeiros (Arthurton, 2009), sendo dependente das suas estruturas físicas e de seu suporte ambiental para se recuperar. Ou seja, considera-se que não pode haver vulnerabilidade costeira, se não houverem pessoas a serem afetadas pelos eventos que levam à vulnerabilidade. São considerados fenômenos de risco para as comunidades: erosão, inundação, ondas de tempestade, altitude dos ecossistemas com relação ao nível do mar, mudança e perda nos ecossistemas e seus serviços.

Componentes Naturais e Socioeconômicos da Vulnerabilidade Costeira

A vulnerabilidade costeira, como já abordado no subtópico anterior, constitui um somatório dos componentes naturais e socioeconômicos, que são apresentados e detalhados a seguir.

A análise da vulnerabilidade costeira, conforme IPCC (2001), pondera que a suscetibilidade do sistema natural aos efeitos biogeofísicos das mudanças climáticas – sendo considerado primordialmente seu impacto na elevação do nível do mar – combinada com sua resiliência – isto é, sua capacidade de lidar com os efeitos biogeofísicos – determina a vulnerabilidade natural da zona costeira, conforme a Figura 1.1111.

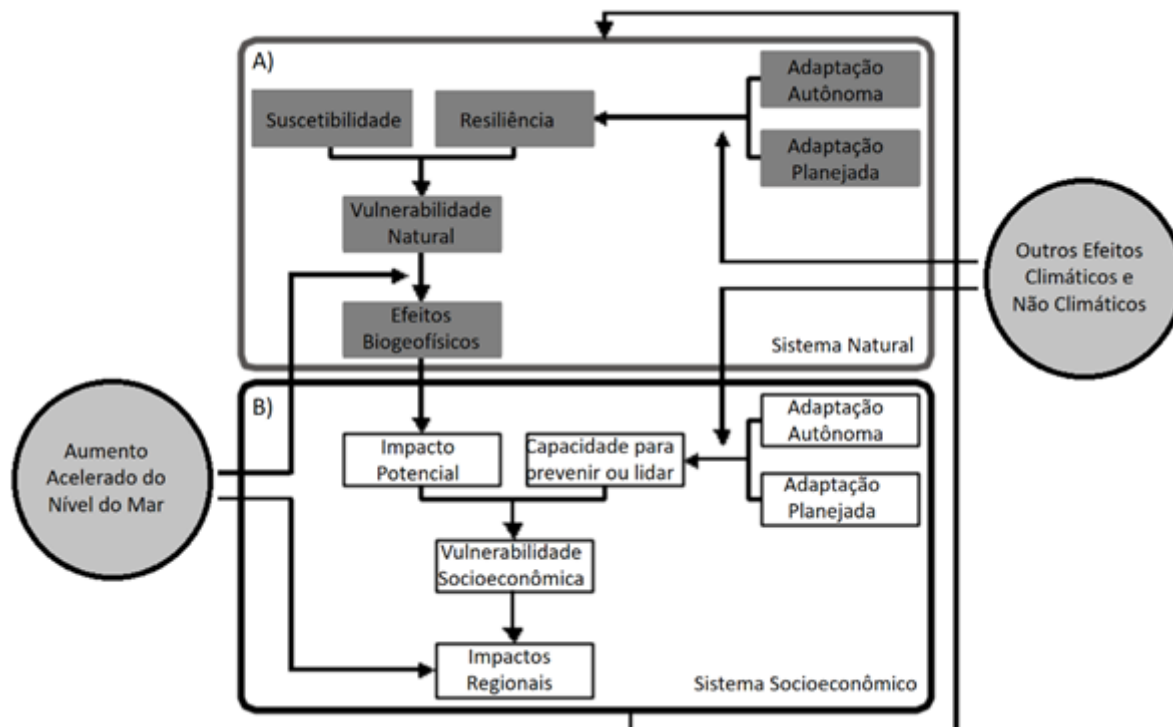


Figura 1.11. Componentes da vulnerabilidade costeira que se retroalimentam. a) Sistema Natural e b) Sistema Socioeconômico. Fonte: Elaborado pela autora com base em IPCC (2001); Klein & Nicholls (1999).

Com a perspectiva trazida pela Figura 1.11, observa-se que a interação entre os sistemas naturais e socioeconômicos é dinâmica, complexa e retroalimentada. Isto

posto, nota-se que a interação não ocorre de forma independente em sociedades urbanas, e sim, manifesta-se de forma coevolucionária, já que os sistemas naturais e os seres humanos estão conectados reciprocamente e os seres humanos são dependentes dos serviços e recursos providos pelos ecossistemas.

Na parte (a) da Figura 1.1111, observa-se o funcionamento normal de um sistema natural. A suscetibilidade reflete o potencial do sistema costeiro de ser afetado pelo efeito de fatores climáticos e não climáticos, bem como, pelo aumento acelerado do nível relativo do mar. A resiliência, por sua vez, determina a capacidade do sistema de continuar funcionando e de se recuperar diante de possíveis distúrbios naturais ou antrópicos. Essa capacidade do sistema é afetada pelas atividades humanas, que podem ser positivas, como quando há uma adaptação planejada, ou pode ser uma interferência negativa. Já os efeitos biogeofísicos da zona costeira dizem respeito ao clima de ondas, ventos e dinâmica costeira que impõem uma série de impactos naturais potenciais.

A partir dos impactos potenciais, há um fluxo para a parte (b) da Figura 1.11, onde se observa a conexão do sistema natural com o sistema socioeconômico. A capacidade de prevenir ou lidar com esses impactos potenciais é a chave da avaliação da vulnerabilidade socioeconômica, a qual depende muito das influências humanas. A vulnerabilidade socioeconômica é, assim, consequência da soma do potencial de impacto e da habilidade de prevenir ou lidar com esses impactos, seja ela técnica, institucional, econômica e/ou cultural, por parte da sociedade. Essa habilidade é determinada pelo potencial de adaptação autônoma e adaptação planejada, que está presente tanto nos sistemas naturais, quanto nos socioeconômicos.

Em suma, observa-se que existem dois componentes principais para a vulnerabilidade costeira: o componente natural, intrínseco do sistema e o componente socioeconômico, devido ao uso antrópico desse sistema. Estudos de diferentes autores mostram que a presença humana é responsável por modificar o ambiente natural e, desse modo, contribui decisivamente para o aumento da vulnerabilidade costeira. Para mais, observa-se que a vulnerabilidade costeira é progressivamente agravada por fatores climáticos, como degradação dos ecossistemas, inundações costeiras e erosão, e não climáticos, tal quais deposição de resíduos, contaminação do lençol freático, presença de esgoto a céu aberto.

1.3.7. Síntese da Gestão da Vulnerabilidade Costeira no Brasil

A gestão da vulnerabilidade costeira no Brasil é um desafio devido à multiplicidade de situações existentes no território (Nicolodi & Pettermann, 2011). O litoral brasileiro tem 8.698 km de extensão, envolvendo 395 municípios com aproximadamente 535.000 km² (Scherer *et al.*, 2010). Além da extensão do território ser continental, ainda há formações biogeofísicas extremamente diversificadas entre as regiões do país. Além disso, é fundamental levar em conta a convergência de vetores de pressão e fluxo nas regiões litorâneas, o que cria um extenso e intrincado conjunto de variáveis que afetam a ocupação humana, o uso do solo, a utilização dos recursos naturais e o desenvolvimento econômico (Nicolodi & Zamboni, 2008).

Toda essa confluência de fatores gera problemas na zona costeira, que contribuem para a vulnerabilidade, dos quais os mais comuns são: redução da biodiversidade, diminuição da produtividade primária, fragmentação dos ecossistemas, erosão costeira, contaminação da água e contaminação química (Scherer *et al.*, 2010). Como consequência, observa-se a deterioração do patrimônio histórico-cultural costeiro, a perda do patrimônio público e a limitação no uso dos serviços ecossistêmicos prestados pelas praias e demais habitats costeiros.

Nesse sentido, a gestão da vulnerabilidade costeira no Brasil tem sido estudada em diferentes escalas. Para a macroescala, destaca-se o estudo de vulnerabilidade em seus aspectos ambientais, sociais e tecnológicos de Nicolodi & Pettermann (2011). Nele, os autores destacam que as áreas com baixa altitude, alta densidade populacional e com poucos recursos socioeconômicos são as mais suscetíveis e exigem uma ação prioritária dos responsáveis pelas políticas públicas. O estudo mostrou que em todo o país ocorrem áreas vulneráveis e altamente vulneráveis, mas destacaram-se as regiões metropolitanas de Belém, as capitais do Nordeste, e as cidades do Rio de Janeiro e Santos.

Em termos de planejamento institucional acerca dessa temática, em âmbito nacional, Nicolodi & Zamboni (2008) analisaram as principais ações do Governo Federal na zona costeira. Os autores concluíram que o planejamento estratégico integrado para mitigar os impactos dessa vulnerabilidade é ainda insuficiente, apesar de ter havido algum progresso com os instrumentos de gestão desenvolvidos. Eles observaram que os Planos Estaduais e seus Zoneamentos, previstos pela Política Nacional de Gerenciamento Costeiro, estão em diferentes fases de desenvolvimento, enquanto os instrumentos de monitoramento e relatórios de qualidade ambiental ainda

estão em estágios iniciais, com metodologias e implementações que carecem de padronização nacional e diretrizes.

Já os estudos em escala local mostram a necessidade de considerar fatores socioeconômicos, além de aspectos naturais, ao investigar a vulnerabilidade costeira de uma região e conseqüentemente elaborar planos locais para a sua gestão. Esses estudos têm se desenvolvido cada vez mais nos últimos anos, devido ao avanço de Geotecnologias e de Sensoriamento Remoto que possibilitaram sua realização de modo remoto e com resultados robustos. Nesse sentido, destacam-se os estudos de Pavan (2012), Lins-de-Barros & Muehe (2013), Scolaro (2013), Serafim & Bonetti (2017), Mussi *et al.* (2018), e Serafim *et al.* (2019).

Todos os autores são enfáticos sobre haver ainda muito a ser feito em termos de mitigação de impactos decorrentes da vulnerabilidade costeira no Brasil, em termos gerais. Em se tratando da região Sul do Brasil, existem investimentos de combate a erosão em praias com grande apelo turístico, como, por exemplo, em praias de Florianópolis, Balneário Camboriú e Piçarras em Santa Catarina.

Não obstante, zonas costeiras com menos fluxo de turistas, e por consequência, menor arrecadação pública, como Jaguaruna (SC), Farol da Conceição – Mostardas (RS) e Hermenegildo (RS) não possuem investimentos suficientes que possibilitem colocar em prática planos de combate à vulnerabilidade costeira. Esses locais possuem em comum a grande quantidade de estudos realizados por universidades públicas de prestígio. A falta de recursos financeiros e educativos, porém, constituiu uma barreira para o combate aos riscos e a vulnerabilidade costeira que os atinge.

Um exemplo que ilustra essa questão é o estudo de Koerner (2012), que constatou a disponibilidade de recursos minerais, como rochas para estruturas de proteção e estabilização da praia, e areia para realizar engordamento que proteja a infraestrutura afetada por marés meteorológicas, na região de Hermenegildo (RS). Além disso, há área disponível para recuo das casas, contudo, a comunidade não apresenta interesse em se mudar da orla, que é uma área altamente vulnerável. Assim, o autor concluiu que é necessária a intervenção das autoridades públicas para reestruturar a urbanização e remover as estruturas existentes nas áreas afetadas ciclicamente por eventos climáticos extremos.

Referências

Agardy, T., Davis, J., Sherwood, K. & Vestergaard, O. 2011. Taking Steps toward Marine and Coastal Ecosystem-Based Management: An Introductory Guide. UNEP Regional Seas Reports and Studies, 189. <<https://wedocs.unep.org/20.500.11822/8445>>.

Allee, W.C. 1934. Concerning the Organization of Marine Coastal Communities. *Ecological Monographs. Ecological Society of America*, v. 4, n. 4, p. 541-554. <<https://doi.org/10.2307/1961657>>.

Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., De Moraes, G., Leonardo, J., & Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728. <DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507>.

Arthurton, R. 2009. Hazard awareness and risk mitigation in integrated coastal management. Intergovernmental Oceanographic Commission, Manuals and Guides, 50, ICAM Dossier, 5, 1-143. <<https://doi.org/10.25607/OBP-1441>>.

Becker, C., Barboza, E.G., Martins, E.M. 2021. Uma visão política-administrativa e morfológica dos balneários Esplanada e Campo Bom do Município de Jaguaruna, SC. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 22 (4), 747-768. <<https://doi.org/10.20502/rbg.v22i4.1806>>.

Bormann, F.H. & Likens, G.E. 1979. Catastrophic disturbance and the steady state in northern hardwood forests: A new look at the role of disturbance in the development of forest ecosystems suggests important implications for land-use policies. *American Scientist*, 67(6), 660-669. <<http://www.jstor.org/stable/27849531>>.

Boyce, M.S., & Haney, A.W. 1997. *Ecosystem management: applications for sustainable forest and wildlife resources*. Yale University Press.

Castro, C.M., Peixoto, M.N.O. & Rio, G.A.P. 2005. Riscos Ambientais e Geografia: Conceituações, Abordagens e Escalas. Anuário do Instituto de Geociências, UFRJ, 28 (2), 11-30. <<https://papegeo.igc.usp.br/index.php/anigeo/article/view/4830>>.

Christensen, N.L., Bartuska, A.M., Brown, J.H., Carpenter, S., D'Antonio, C., Francis, R. *et al.* 1996. The report of the Ecological Society of America committee on the scientific basis for ecosystem management. *Ecological applications*, 6(3), 665-691. <<https://doi.org/10.2307/2269460>>.

Climate Data. 2022. Climate Data for Jaguaruna, Santa Catarina. Available on: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/santa-catarina/jaguaruna-43879/>>.

Correa, I.D., Ferreira, O. & Carrío, J.A. 2009. Introducción a los Riesgos Geológicos. In: Carrío, J.A., Correa, I.D., Isla Mendy, F.I., Alvarado Ortega, M., *et al.* (Eds.). Métodos en Teledetección Aplicada a la Prevención de Riesgos Naturales en el Litoral. Valencia: Servicio de Publicaciones del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, p. 9-28. <https://www.researchgate.net/profile/Javier_Alcantara_Carrio/publication/259592235_Introduccion_a_los_riesgos_geologicos_litorales/links/00b4952ceda927ee95000000/Introduccion-a-los-riesgos-geologicos-litorales.pdf>.

Costanza, R., D'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M. *et al.* 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253-260. <<https://doi.org/10.1038/387253a0>>.

Cowles, H.C. 1899. The Ecological Relations of the Vegetation on the Sand Dunes of Lake Michigan. *Botanical Gazette*, v. 27, n. 2, p. 167-202. <<https://www.journals.uchicago.edu/doi/pdf/10.1086/327812>>.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Carta Geológica, Escala 1:250.000, Anexo I. <http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_basica/plgb/criciuma/criciuma_ctg_eo.pdf>.

Cristiano, S.C., Martins, E.M., Gruber, N.L.S., Barboza, E.G. 2015. Avaliação do processo de ocupação irregular na zona costeira: caso da “invasão Maria Terezinha”, município de Jaguaruna/SC. *Gravel*, 13(1), 1-14. <<https://www.ufrgs.br/gravel/>>.

Daily, G.C., 1997. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Washington, Island Press, 412p.

De Andrés, M., Barragán, J. M., Scherer, M. 2018. Urban Centers and Coastal Zone Definition: Which Area Should We Manage? *Land use policy*, 71, 121-128, 2018. <<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.11.038>>.

Dee, N., Baker, J., Drobny, N., Duke, K. *et al.* 1973. An environmental evaluation system for water resource planning. *Water Resources Research*, 9(3), 523-535. <<https://doi.org/10.1029/WR009i003p00523>>.

Delfino, D.D.S. 2008. *Desenvolvimento e planejamento urbano na cidade de Jaguaruna/SC: representação e atuação dos atores locais*. Florianópolis, Dissertação (Mestrado em Geografia) – UFSC. <<http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/90847>>.

Dillenburg, S.R. & Barboza, E.G. 2014. The Strike-Fed Sandy Coast of Southern Brazil. In: Martini, I.P., Wanless, H.R. (Eds.), *Sedimentary Coastal Zones from High to Low Latitudes: Similarities and Differences*. Geological Society, London. Special Publications 388, pp. 333-352. <<https://doi.org/10.1144/SP388.16>>.

Egler, C.A.G. 1996. Risco Ambiental como critério de gestão do território. *Território*, v. 1, n. 1, p. 31-41. <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4381579/mod_resource/content/1/EGLER%20-%20Risco%20ambiental.pdf>.

Ehrlich, P. & Ehrlich, A. 1981. *Extinction: the causes and consequences of the disappearance of species*. New York: Random House, 305 p.

Ehrlich, P.R. & Mooney, H.A. 1983. Extinction, Substitution, and Ecosystem Services. *BioScience*, 33, 248-254. <<https://doi.org/10.2307/1309037>>.

Emerton, L. 2003. Integrating Wetland Economic Values into River Basin Management. *Wetland Valuation Issues*, 1, 2003. Available on: <https://www.pacificwater.org/userfiles/file/IWRM/Toolboxes/financing_IWRM/issuespaper01wetlandvaluationanddecisionmaking.pdf>.

Emerton, L., Seilava, R. & Pearith, H.B. *Kirirom, Kep and Ream National Parks, Cambodia: Case studies of economic and development linkages, field study report*. In: Review of Protected Areas and their Role in the Socio-economic Development of the Four Countries of the Lower Mekong Region. Brisbane-Australia and Karachi-Pakistan: International Centre for Environmental Management and IUCN - The World Conservation Union Regional Environmental Economics Programme, 2002. <http://www.mekong-protected-areas.org/documents/biodiversity/pad/cambodia_field.pdf>.

Forbes, S.A. 1887. The Lake as a Microcosm. *Bulletin of the Peoria Science Association*, p. 77-87. Reprinted by Illinois Natural History Survey Bulletin. 1925. v. 15, n. 9, p. 537-550. <<http://people.wku.edu/charles.smith/biogeog/FORB1887.htm>>.

Füssel, H.M. 2007. Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research. *Global environmental change*, v. 17, n. 2, p. 155-167. <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.05.002>>.

Giannini, P.C.F. 2002. Complexo lagunar centro-sul catarinense: valioso patrimônio sedimentológico, arqueológico e histórico. In: Schobbenhaus, C., Campos, D.A., Queiroz, E.T., Winge, M., Berbert-Born, M.L.C. (Eds.). 2002. *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. DNPM/CPRM – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP): Brasília/DF. 554p.

Godard, O., Henry, C., Lagadec, P., Michel-Kerjan, E. 2002. *Traité des Nouveaux Risques. Précaution, crise, assurance*. Gallimard, collection Folio-Actuel.

Gornitz, V. 1991. Global coastal hazards from future sea level rise. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 89, n. 4, p. 379-398. <[https://doi.org/10.1016/0031-0182\(91\)90173-O](https://doi.org/10.1016/0031-0182(91)90173-O)>.

Gruber, N., Portz, L., Gré, J.C., Abreu, J., Scherer, M., *et al.* 2014. Diagnóstico e plano de manejo das dunas frontais para o município de Jaguaruna-SC: Extensão para gestores e sociedade. Florianópolis: 31º Seminário de Extensão Universitária da Região Sul. <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/117319>>.

Gruber, N.L.S., Barboza, E.G., Martins, E.M, Prestes, L.D., Cristiano, S.C. *et al.* 2017d. *Diagnóstico e Plano de Manejo das Dunas Frontais do Município de Jaguaruna/SC - 2ª etapa - Balneário Camacho: Relatório Técnico/ Fundamentação Metodológica*. Instituto de Geociências (IGEO). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). v. 1, 1ªed, 107p.

Gruber, N.L.S., Barboza, E.G., Martins, E.M, Prestes, L.D., Cristiano, S.C. *et al.* 2017e. *Diagnóstico e Plano de Manejo das Dunas Frontais do Município de Jaguaruna/SC - 2ª etapa - Balneário Camacho: Avaliação e Cenários de Manejo das Dunas Interiores*. Instituto de Geociências (IGEO). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). v. 2, 1ªed, 224p.

Gruber, N.L.S., Barboza, E.G., Martins, E.M, Prestes, L.D., Cristiano, S.C. *et al.* 2017f. *Diagnóstico e Plano de Manejo das Dunas Frontais do Município de Jaguaruna/SC - 2ª etapa - Balneário Camacho: Avaliação e Cenários de Manejo da Orla Marítima*. Instituto de Geociências (IGEO). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). v. 3, 1ªed, 110p.

Gruber, N.L.S., Barboza, E.G., Portz, L.C., Strohaecker, T.M. *et al.* 2017a. *Diagnóstico e Plano de Manejo das Dunas Frontais do Município de Jaguaruna:*

Arcabouço teórico-conceitual. Instituto de Geociências (IGEO). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). v. 1, 2ªed, 86p.

Gruber, N.L.S., Barboza, E.G., Portz, L.C., Strohaecker, T.M. *et al.* 2017b. *Diagnóstico e Plano de Manejo das Dunas Frontais do Município de Jaguaruna: Orla Marítima: Morfodinâmica e Aspectos Ecológicos do Sistema Eólico-Praial*. Instituto de Geociências (IGEO). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). v. 2, 2ªed, 85p.

Gruber, N.L.S., Barboza, E.G., Portz, L.C., Strohaecker, T.M. *et al.* 2017c. *Diagnóstico e Plano de Manejo das Dunas Frontais do Município de Jaguaruna: Índice de Criticidade Legal – Ambiental*. Instituto de Geociências (IGEO). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). v. 3, 2ªed, 68p.

Helliwell, D.R. 1969. Valuation of wildlife resources. *Regional studies*, 3(1), 41-47. <<https://doi.org/10.1080/09595236900185051>>.

Hermann, A., Schleifer, S. & Wrba, T. 2011. The concept of ecosystem services regarding landscape research: a review. *Living Reviews in landscape research*, 5(1), 1-37. <<http://www.livingreviews.org/lrlr-2011-1>>.

Holland, J.H. 1995. *Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity*. Reading, MA: Addison-Wesley.

Horn Filho, N.O., Felix, A., Vieira, C.V. & Baptista, E.D.C. 2010. Geologia da planície costeira das folhas Jaguaruna e Lagoa de Garopaba do Sul, SC, Brasil. *Revista Discente Expressões Geográficas*, n. 6, p. 90-111. <https://www.researchgate.net/profile/Alexandre-Felix/publication/304363780_geologia_da_planicie_costeira_das_folhas_jaguaruna_e_lagoa_de_garopaba_do_sul_sc_brasil/links/5773b7d308ae4645d609ed8c/geologia-da-planicie-costeira-das-folhas-jaguaruna-e-lagoa-de-garopaba-do-sul-sc-brasil.pdf>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2011. *Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil*. IBGE, Diretoria de Geociências & Comissão Interministerial para Recursos do Mar. Rio de Janeiro, 176p. <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=283741>>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2020. *Malha municipal*. IBGE, Diretoria de Geociências. <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads>>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2022. *IBGE Cidades – Jaguaruna*. <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/jaguaruna>>.

IOC – Intergovernmental Oceanographic Commission. 2009. Hazard awareness and risk mitigation in integrated coastal area management. Manuals and Guides nº 50, ICAM Dossier. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). <http://ioc-unesco.org/index.php?option=com_oe&task=viewDocumentRecord&docID=3947>.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001. *Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability: contribution of Working Group II to the*

third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

Jaguaruna. 1974. Lei municipal nº 281, que cria o perímetro urbano na faixa considerada zona turística e balneária do município de Jaguaruna. <<https://leismunicipais.com.br/a/sc/j/jaguaruna/lei-ordinaria/1974/28/281/lei-ordinaria-n-281-1974-cria-o-perimetro-urbano-na-faixa-considerada-zona-turistica-e-balnearia-do-municipio-de-jaguaruna>>.

Janssen, M. & De Vries, B. 1998. The battle of perspectives: a multi-agent model with adaptive responses to climate change. *Ecological economics*, v. 26, n. 1, p. 43-65. <[https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(97\)00062-1](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(97)00062-1)>.

Jørgensen, S.E. 1986. *Fundamentals of Ecological Modelling*. Elsevier, Amsterdam.

King, R.T. 1966. Wildlife and man. *New York Conservationist*, 20 (6), 8-11.

Klein, R.J.T. & Nicholls, R.J. 1999. Assessment of coastal vulnerability to climate change. *Ambio*, p. 182-187. <<https://www.jstor.org/stable/4314873>>.

Kneip, A. 2004. *O povo da lagoa: uso do SIG para modelamento e simulação na área arqueológica do Camacho*. São Paulo, Tese (Doutorado em Arqueologia) – USP. <DOI:10.11606/T.8.2004.tde-13102004-172248>.

Koerner, K.F. 2012. Alternativas de manejo para o problema da erosão costeira no balneário de Hermenegildo, Rio Grande do Sul. 2012. 156 f. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento Costeiro) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, Brasil. <<https://gerenciamentocosteiro.furg.br/images/dissertacoes/012-Karl-Franz-Koerner.pdf>>.

Leal, R.A. & Barboza, E.G. 2017. Caracterização geológica, geomorfológica e evolutiva holocênica do litoral sul de Jaguaruna, SC, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 44 (3), 417–430. <<https://doi.org/10.22456/1807-9806.83265>>.

Levin, S.A. 1998. Ecosystems and the Biosphere as Complex Adaptive Systems. *Ecosystems*, v. 1, n. 5, p. 431-436, 1998. <<https://doi.org/10.1007/s100219900037>>.

Levin, S.A. 1999. *Fragile Dominion: Complexity and the Commons*. Reading, MA: Perseus Books.

Lindeman, R.L. 1942. The Trophic-Dynamic Aspect of Ecology. *Ecology*, v. 23, n. 4, p. 399-418. <<https://doi.org/10.2307/1930126>>.

Lins-de-Barros, F.M. & Muehe, D. 2013. The smartline approach to coastal vulnerability and social risk assessment applied to a segment of the east coast of Rio de Janeiro State, Brazil. *Journal of Coastal Conservation*, 17(2), 211-223. <<https://doi.org/10.1007/s11852-011-0175-y>>.

MA – Millennium Ecosystem Assessment. 2003. *Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment*. Washington, DC: Island Press. <http://pdf.wri.org/ecosystems_human_wellbeing.pdf>.

MA – Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. DC: Island Press. <<http://www.millenniumassessment.org/en/Synthesis.aspx>>.

Martine, G. & McGranahan, G. 2010. *Brazil's Early Urban Transition: What Can It Teach Urbanizing Countries?* London and New York: International Institute for Environment and Development and United Nations Population Fund. <<http://www.iied.org/pubs/display.php?o=%0A10585IIED>>.

Martinho, C.T., Giannini, P.C.F., Sawakuchi, A.O. & Hesp, P.A. 2006. Morphological and Depositional Facies of Transgressive Dunefields in the Imbituba - Jaguaruna Region, Santa Catarina State, Southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI 39, 673-677. <<https://www.jstor.org/stable/25741662>>.

Martins, E. 2017. *Gerenciamento Costeiro Integrado à Luz dos Sistemas e da Diversidade Ambiental: Aplicação em Jaguaruna, Santa Catarina*. Porto Alegre, Tese (Doutorado em Geociências) – UFRGS. <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/172146>>.

Martins, E.M., Gruber, N.L.S., Barboza, E.G., Cristiano, S.C., *et al.* 2018. Subsídios para o planejamento estratégico costeiro do município de Jaguaruna, Santa Catarina. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 44, 267-289. <DOI: 10.5380/dma.v44i0.54885>.

Martins, E.M., Oliveira, J.F.D., Bitencourt, V., Scarelli, F.M. *et al.* 2014. Comportamento Evolutivo da Barreira Costeira junto ao Balneário do Camacho, Jaguaruna/SC. *Gravel*, 12 (1), 109-118. <<https://www.ufrgs.br/gravel/>>.

Mauersberger, P. & Straskraba, M. 1987. Two approaches to generalized ecosystem modelling: thermodynamic and cybernetic. *Ecological Modelling* 39, 161-176. <[https://doi.org/10.1016/0304-3800\(87\)90018-4](https://doi.org/10.1016/0304-3800(87)90018-4)>.

McLeod, K.L. & Leslie, H. 2009. *Ecosystem-based management for the oceans*. Washington: Island Press, 392p.

McLeod, K.L., Lubchenco, J., Palumbi, S.R. & Rosenberg, A.A. 2005. Scientific consensus statement on marine ecosystem-based management. Signed by 219 academic scientists and policy experts with relevant expertise and published by the Communication Partnership for Science and the Sea. <<http://compassonline.org/?q=EBM>>.

Mussi, C.S., Bonetti, J., Sperb, R.M. 2018. Coastal sensitivity and population exposure to sea level rise: a case study on Santa Catarina Island, Brazil. *Journal of Coastal Conservation*, 22 (6), 1117-1128. <<https://doi.org/10.1007/s11852-018-0619-8>>.

Neel, R.B. & Olson, J.S. 1962. Use of Analog Computers for Simulating the Movements of Isotopes in Ecological Systems, n. 3172. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee. <DOI:10.2172/4811854>.

Nicolodi, J.L. & Pettermann, R.M. 2011. Vulnerability of the Brazilian Coastal Zone in its Environmental, Social, and Technological Aspects. *Journal of Coastal Research*, SI 64, 1372-1379. <<http://www.jstor.org/stable/26482400>>.

Nicolodi, J.L. & Zamboni, A. 2008. Gestão Costeira. Pp. 213-241. *In: Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil*. Ministério do Meio Ambiente. Brasília. 242p.

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. Ecosystem-Based Management?. 2018. <<https://www.integratedecosystemassessment.noaa.gov/about-iea/ecosystem-based-management>>.

Nunes, M.F.S. *Dinâmica territorial e impactos ambientais na zona costeira do Estado de Santa Catarina: estudo de caso dos balneários Arroio Corrente e Cascata Vermelha - município de Jaguaruna – SC*. Porto Alegre, Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – UFRGS. <<http://hdl.handle.net/10183/222781>>.

Odum, E.P. & Barret, G.W. 2015. *Fundamentos de Ecologia*, tradução da 5ª edição americana, São Paulo: Cengage Learning.

Odum, E.P. 1953. *Fundamentals of Ecology*. 1st edition, Philadelphia: W. B. Saunders Co.

Odum, E.P. 1957. The Ecosystem Approach in the Teaching of Ecology Illustrated with Sample Class Data. *Ecology*, 38 (3), 531-535. <<https://doi.org/10.2307/1929901>>.

Odum, E.P. 1964. The new ecology. *BioScience*, v. 14, n. 7, p. 14-16. <<https://doi.org/10.2307/1293228>>.

Odum, H.T. & Odum, E.C. 2001. *A prosperous way down: Principles and policies*. Colorado: University Press of Colorado.

Oliveira, J.F.D. 2019. *A dinâmica e a evolução costeira do litoral ao sul do cabo de Santa Marta, estado de Santa Catarina*. Porto Alegre, Tese (Doutorado em Geociências) – UFRGS. <<http://hdl.handle.net/10183/195791>>.

Oliveira, J.F.D., Barboza, E.G., Benavente, J. 2016. Nearshore dynamics and Holocene evolution of the coastal barrier south of the Santa Marta cape, southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, 75 (10075), 437-441. <<https://doi.org/10.2112/SI75-088.1>>.

Oliveira, J.F.D., Barboza, E.G., Martins, E.M. & Scarelli, F.M. 2019. Geomorphological and stratigraphic analysis applied to coastal management. *Journal of South American Earth Sciences*, 96, 102358. <<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.102358>>.

Pagiola, S., Agostini, P., Gobbi, J., de Haan, C., Ibrahim, M. *et al.* 2005. Paying for Biodiversity Conservation Services. *Mountain Research and Development*, 25(3), 206-211. <[https://doi.org/10.1659/0276-4741\(2005\)025\[0206:pfbcs\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1659/0276-4741(2005)025[0206:pfbcs]2.0.co;2)>.

Pascual, U., Muradian, R., Brander, L., Gómez-Baggethun, E. *et al.* 2010. The economics of valuing ecosystem services and biodiversity. *In: Kumar, P. The economics of ecosystems and biodiversity*. Routledge: Abingdon and New York, 183-256. <https://observatoriopantanal.org/wp-content/uploads/crm_perks_uploads/5cb0f734750a11456042675850236/2019/08/2012_The_Economics_of_Ecosystems_and_Biodiversity_Ecological_and_Economic_Foundations.pdf>.

Patten, B.C. 1966. Systems ecology: a course sequence in mathematical ecology. *BioScience*, 16, 593-598. <<https://doi.org/10.2307/1293779>>.

Pavan R.A. 2012. Avaliação da sensibilidade ambiental costeira e de risco sócio ambiental do litoral centro-sul catarinense a eventos naturais extremos e à elevação do nível médio dos oceanos. Itajaí, Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – UNIVALI. <<http://siaibib01.univali.br/pdf/Roberto%20Angelo%20Pavan.pdf>>.

Pearce, D.W. 1993. *Economic Values and the Natural World*. London: Earthscan Publications Limited.

Pickett, S.T.A, Ostfeld, R.S., Shachak, M., & Likens, G.E. 1997. *The ecological basis of conservation: heterogeneity, ecosystems, and biodiversity*. NY: Springer Science + Business Media. 466pp. <<https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6003-6>>.

Reese, D. 2022. Servicios Ambientales y Economía. *Visionlearning*, 5 (7). <<https://www.visionlearning.com/es/library/Biologia/2/Environmental-Services-and-Economics/279>>.

Richards, P.W. 1952. *The Tropical Rain Forest*. Cambridge: The University Press.

Román, M.O., Wang, Z., Sun, Q., Kalb, V. et al. 2018. NASA's Black Marble nighttime lights product suite. *Remote Sensing of Environment*. 210, 113-143. <<https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.03.017>>.

Rosa, M.L.C.D.C., Barboza, E.G., Abreu, V.D.S., Tomazelli, L.J. & Dillenburg, S.R. 2017. High-Frequency Sequences in the Quaternary of Pelotas Basin (coastal plain): a record of degradational stacking as a function of longer-term base-level fall. *Brazilian Journal of Geology*, v. 47, n. 2, p. 183-207.

Scherer, M., Sanches, M. & Negreiros, D.H.D. 2010. Gestão das zonas costeiras e as políticas públicas no Brasil: um diagnóstico. In: Barragán-Muñoz, J.M. (Coord.). *Manejo Costero Integrado y Política Pública en Iberoamérica: Un diagnóstico. Necesidad de Cambio*. Red IBERMAR, Cádiz, pp. 291-336. <http://ibermar.org/wp-content/uploads/documentos/publicaciones/FASE%20I.pdf>.

Scolaro T.L., 2013. Avaliação da sensibilidade ambiental costeira e análise de risco socioambiental do litoral centro-norte catarinense, com base na vulnerabilidade do ambiente às mudanças climáticas. Dissertação (Mestrado em Geociências) – UFRGS. <<http://hdl.handle.net/10183/76141>>.

Serafim, M.B., Bonetti, J., 2017. Vulnerabilidade das praias do Estado de Santa Catarina a eventos de erosão e inundação costeira: proposta metodológica baseada em um índice multicritério. *Quaternary and Environmental Geosciences*, 8 (2), 36-54. <<http://dx.doi.org/10.5380/abequa.v8i2.47281>>.

Serafim, M.B., Siegle, E., Corsi, A.C., Bonetti, J. 2019. Coastal vulnerability to wave impacts using a multi-criteria index: Santa Catarina (Brazil). *Journal of Environmental Management*, 230, 21-32. <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.09.052>>.

Soccol, G., 2015. Evolução costeira junto ao balneário arroio corrente, Jaguaruna/SC. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil. <<http://hdl.handle.net/10183/132055>>.

SPG – Secretaria de Planejamento do Estado. 2010. Implantação do Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro. Fase I. 1. Diagnóstico Sócio Ambiental do Setor Centro-Sul. Secretaria de Estado do Planejamento, Florianópolis, SC, Technical report. <<https://www.sde.sc.gov.br/index.php/biblioteca/gerco/1887-diagnostico-socio-ambiental-gerco-setor-4-site/file>>.

Sposito, M. E. B. 1988. Capitalismo e urbanização: Núcleos urbanos na história, revolução industrial e urbanização. A cidade moderna: Para onde?. Contexto, São Paulo, 80p. Disponível em: <http://www.faed.udesc.br/arquivos/id_submenu/1415/capitalismo_e_urbanizacao_maria_encarnacao_beltrao_sposito_pdf_rev.pdf>.

Sul in Foco. 2016. Maior sambaqui do mundo está ameaçado por casas em Jaguaruna. <<https://www.sulinfoco.com.br/maior-sambaqui-do-mundo-esta-ameacado-por-casas-em-jaguaruna/>>.

Swartzman, G. L. 1979. Simulation Modeling of Material and Energy Flow through an Ecosystem: Methods and Documentation. *Ecological Modelling*, v. 7, n. 1, p. 55-81. <[https://doi.org/10.1016/0304-3800\(79\)90009-7](https://doi.org/10.1016/0304-3800(79)90009-7)>.

Tansley, A.G. 1935. The Use and Abuse of Vegetational Concepts and Terms. *Ecology*, v. 16, n. 3, p. 284-307. <<https://doi.org/10.2307/1930070>>.

Thienemann, A. 1918. Lebensgemeinschaft und Lebensraum. *Naturwissenschaftliche Wochenschrift*, v. 17, n. 20, p. 282-290, 297-303.

UNOC - United Nations Ocean Conference. 2017. *Ocean Factsheet Package: People and Oceans*. <<https://www.un.org/sustainabledevelopment/wp-content/uploads/2017/05/Ocean-fact-sheet-package.pdf>>.

US Census Bureau – United Nations Census Bureau. 2021. Emergency Management Coastal Areas. <<https://www.census.gov/topics/preparedness/about/coastal-areas.html>>.

Van Dyne, G.M. 1966. Ecosystems, Systems Ecology, and Systems Ecologists, No. 3957. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee. <<https://www.osti.gov/servlets/purl/4516278>>.

Villwock, J.A., Tomazelli, L.J. 1995. Geologia costeira do Rio Grande do Sul. *Notas técnicas*, UFRGS: Porto Alegre/Rio Grande do Sul, n. 8, p. 1-45.

Waring, R.H. & Running, S.W. 1985. *Forest ecosystems: Concepts and management*. Academic Press, London, 340pp.

Waring, R.H. 1989. Ecosystems: fluxes of matter and energy. In: Cherrett, J.M. (Org.) *Ecological Concepts: The Contribution of Ecology to an Understanding of the Natural World*, p. 17-41. Black well Scientific Publications, Oxford.

Westman, W.E. 1977. How much are nature's services worth? *Science*, 197 (4307), 960-963. <<http://www.jstor.org/stable/1744285>>.

Whittaker, R.H. 1962. Classification of Natural Communities. *The Botanical Review*, v. 28, n. 1, p. 1-239. <<https://doi.org/10.1007/BF02860872>>.

Willis, A.J. 1997. The ecosystem: an evolving concept viewed historically. *Functional Ecology*, v. 11. n. 2, p. 268-271. <<http://www.jstor.org/stable/2390328>>.

Woodward, F.I. & Williams, B.G. 1987. Climate and plant distribution at global and local scales. *Vegetatio* 69, 189-197. <<https://doi.org/10.1007/BF00038700>>.

CAPÍTULO II

2. Avaliação econômica de ecossistemas costeiros selecionados baseada nos serviços ecossistêmicos-chave de abastecimento e regulação de Jaguaruna (Brasil)

Economic Valuation of Selected Coastal Ecosystems Based on Key Provisioning and Regulation Services of Jaguaruna (Brazil)

Abstract:

The search for sustainability can be understood as a trajectory toward the maintenance of ecosystem services, which include ways of minimizing the risk of losing them due to some imminent coastal hazard. Thus, this study aimed to evaluate the state of ecosystem services of provisioning and regulation in the southern coast of the state of Santa Catarina in the face of coastal stressors. For the development of the research, eight types of ecosystems were identified and mapped, according to a key ecosystem service offered by each of them, and the four largest in area were selected to apply the environmental valuation methodologies. The methodologies used were the Avoided Costs Method (ACM) and the Replacement Cost Method (RCM). The ACM calculates the economic value of the benefits that an ecosystem provides that would not be available if it did not exist. For its part, the RCM is based on the replacement cost of a damaged asset. Valuation results for Agriculture and Cattle farming; Continental waters and Marine environment; and, Afforestation were respectively 1,74; 2,86; 2,89 million of dollars year, Dunes, Beaches and Restingas was a range of US\$ 3120 – 6240 ha⁻¹ yr⁻¹. These values should be understood as approximations of the true economic dimension of the damages caused by the use of ecosystems, since they correspond to how much the environment is capable of monetarily returning to individuals. Furthermore, these values cannot be used to calculate fines in case of environmental degradation.

Keywords: Coastal risk; Environmental valuation methods; Avoided Costs Method; Replacement Cost Method; Economic assessment; Economic losses.

Resumo:

A busca da sustentabilidade pode ser entendida como uma trajetória em direção à manutenção de serviços ecossistêmicos, o que inclui minimizar o risco de sua perda devido a algum perigo costeiro iminente. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar o estado dos serviços ecossistêmicos de abastecimento e regulação no litoral sul catarinense em face a estressores costeiros. Para o desenvolvimento da pesquisa, oito tipos de ecossistemas foram identificados e mapeados, de acordo com um serviço ecossistêmico-chave ofertado por cada um deles, e os quatro maiores em área foram selecionados para aplicar as metodologias de valoração ambiental. As metodologias utilizadas foram o Método dos Custos Evitados (MCE) e o Método do Custo de Reposição (MCR). O MCE calcula o valor econômico dos benefícios que um ecossistema oferece que não estariam disponíveis se ele não existisse. Por sua vez, o MCR é baseado no custo de reposição de um bem danificado. Resultados da avaliação para Sistemas agropecuários; Águas continentais e Meio marinho; e, Sistemas de reflorestamento foram respectivamente 1,74; 2,86; 2,89 milhões de dólares por ano e, e, Dunas, Praias e Restingas variou entre US\$ 3,12 – 6,24 ha⁻¹ yr⁻¹ hectares por ano. Esses valores devem ser entendidos como aproximações da verdadeira dimensão econômica dos danos causados pelo uso dos ecossistemas, uma vez que correspondem a quanto o meio ambiente é capaz de devolver monetariamente aos indivíduos. Além disso, esses valores não podem ser usados para calcular multas em caso de degradação ambiental.

Palavras-chave: Risco costeiro; Métodos de valoração ambiental; Método de Custos Evitados; Método de Custo de Reposição; Avaliação econômica; Perdas econômicas.

2.1. Introduction

The concept of risk is related to the probability of failure of a fortuitous event, whose occurrence does not depend on the desire of the parts involved. The existence of risk is constituted only when there is a valuation of some good, material, or immaterial, as there is no risk without the notion that something can be lost (Godard *et al.*, 2002; Castro *et al.*, 2005; Correa *et al.*, 2009), in this case, provisioning and regulation key ecosystem services in the face of coastal stressors.

Furthermore, coastal risk can be understood, according to ANCORIM (2017), as the expectation of losses that a particular hazard of natural or human origin in a coastal zone and during a specific period could produce, for example: personal, materials damage, economic losses, environmental degradation. The severity of these potential risks depends fundamentally on the level of vulnerability and exposure to danger, such as storms, waste spills, erosion, wave impacts, as well as the value of goods and interests that could be affected (Gornitz, 1991; IOC, 2009; Spalding *et al.*, 2014).

Because of this, risk assessment implies estimating the total losses, that is, people affected, deaths, and material damage to an event with a determined degree of dangerousness (Correa *et al.*, 2009). It is desirable that risk indicators are ecosystem-based, which means, having environmental systems as analysis units, understood as a set of ecological, economic, and social elements (Costanza *et al.*, 2014; Munns *et al.*, 2015).

In this sense, understanding the concept of ecosystem services (ES) is necessary for a holistic view of its importance (Liu *et al.*, 2010; Raffaelli & Frid, 2010; Menzie *et al.*, 2012; Costanza, 2020) for the present study since, in general, changes in ES affect human well-being and are followed by changes on safety, health, and social and cultural relations (MA, 2003). Considering the definition of the Millennium Assessment of the United Nations (MA, 2003), ES are defined as the benefits that society obtains from ecosystems, and are classified into four main categories: provisioning, regulation, cultural, and support.

Provisioning services refer to those products that are obtained directly from ecosystems, such as food, water, timber, fuel, fibers, and genetic resources. Regulation services do not depend on transformation processes, that is, it comes from ecosystems, without the need for intervention. Examples of this category are the air and water purification, biogeochemical cycles maintenance, pollination, disease

prevention, climate regulation, erosion control, biological control, and protection against storms (Gómez-Baggethun & De Groot, 2007; MA, 2003). They are vital to human beings and very prominent in coastal areas.

Despite their importance, ecosystem services provided by coastal systems are commonly undervalued in the decision-making process, which leads to the constant modification, exploitation, and indiscriminate degradation of these areas in favor of other more productive options for land and resource use, which yields higher and immediate profits (Emerton, 2003).

Regarding, one of the purposes of determine the preferences of individuals, applying valuation methods, is to assess ecosystem services (UNEP, 2010). Considering the perception of individuals in monetary terms is a way of making such services comparable to other economic sectors when it comes to making decisions about the use of natural resources. If well evaluated, the total economic value of an ecosystem, considering its services, usually exceeds the economic gains of activities based on the degradation or conversion of the ecosystem (Emerton *et al.*, 2002; Pagiola *et al.*, 2005).

One way to group environmental valuation methods is classifying them into direct and indirect methods. For this study, only indirect methods are considered, which allow for use and non-use values to measure environmental damage without having to relate these parameters to the direct willingness to pay or receive from individuals. The choice of using indirect valuation methods was due to allow replication, with the ease of carrying out analysis remotely, in an increasingly globalized world, where geotechnologies support indirectly methods.

In this perspective, the objective of the present work is to asses and value the state of four coastal ecosystem based on marketable and non-marketable key-services of provisioning and regulation of the Municipality of Jaguaruna, in Santa Catarina. In southern Brazil, Jaguaruna exhibits diversified characteristics among the continental and maritime ecosystems that compose it and their exposure to active coastal processes are factors that contribute to the risk of losing important ecosystem services. Furthermore, this area is part of the Área de Proteção Ambiental da Baleia Franca (Southern Right Whale Environmental Protection Area) (APABF) and presented, over the years, an urban expansion without planning, that contributes negatively to the preservation of this area. Thus, we consider that Jaguaruna has characteristics that reflect the common situation of other segments of the Brazilian coasts. Therefore,

environmental valuation methods of Avoided Cost Method and Replacement Cost Method were used as tools for determining the monetary value of natural resources.

2.2. Study Area

2.2.1. Environmental and Socioeconomic Aspects

The Municipality of Jaguaruna is located to the south of Santa Marta Cape, in the southeast of the state of Santa Catarina. Its orientation is essentially aligned with the NE-SW axis, and it has approximately 38 km of extension in its coastline, and is part of the Southern Right Whale Environmental Protection Area (Figure 2.1).

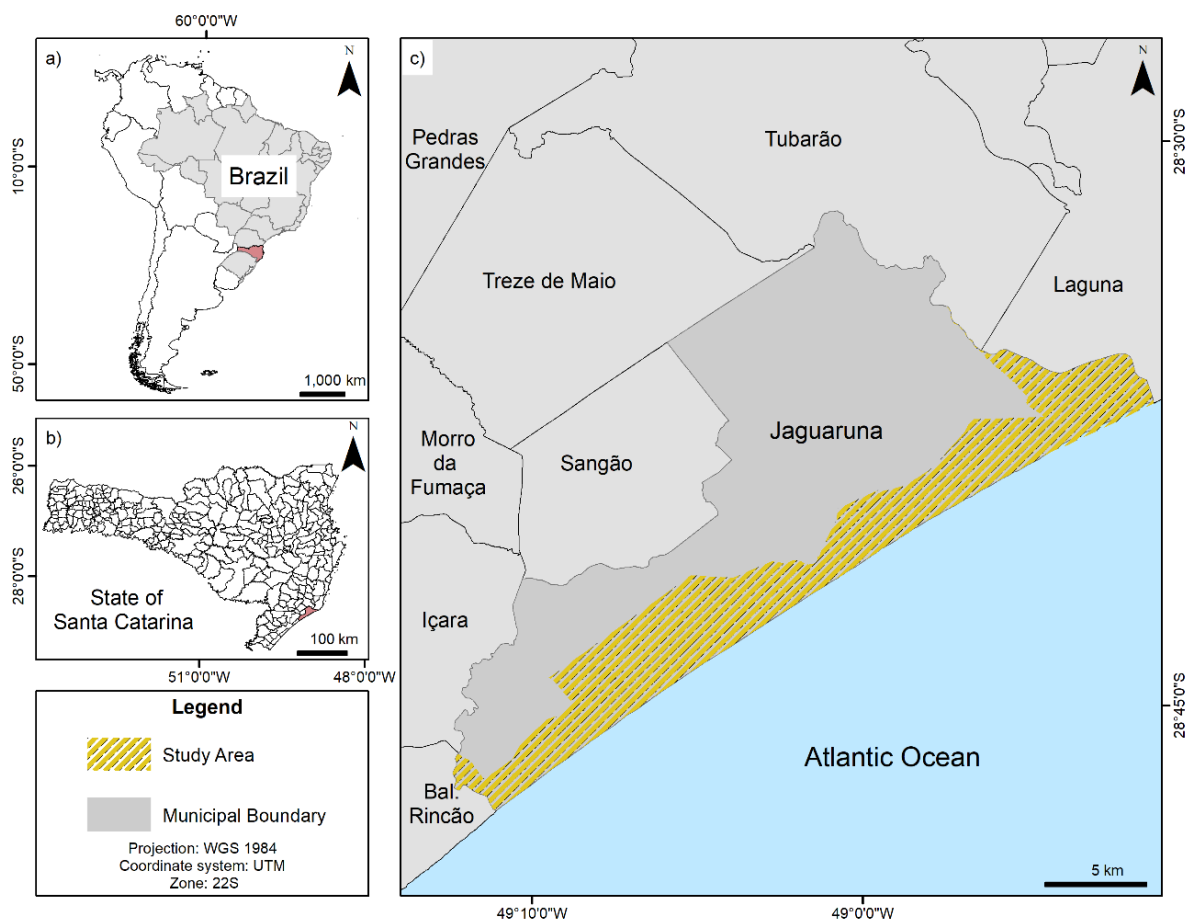


Figure 2.1. Location of the Municipality of Jaguaruna (c), state of Santa Catarina (b), southern Brazil (a). The hatch area indicates the studied coastal segment

This entire coastline is exposed to factors that affect coastal dynamics, such as waves and winds of different orientations throughout the year, watercourses of varying magnitudes, and coastal drifting. Regarding the latter, the most noticeable are positioned to the north and south of the territorial limit, corresponding respectively to the Camacho Channel and the inlet of the Urussanga River. The smallest and most frequent streams that contribute to continental drainage are the washouts.

The climate corresponds to the Cfa type, according to the Köppen climate classification (Alvares *et al.*, 2013), which is equivalent to a region of warm temperate climate, without the presence of a dry season, and with hot summers. The monthly average temperature varies between 18° and 20°C, with average annual rainfall between 1,460 to 1,820 mm, and with rains well distributed throughout the year (Climate Data, 2020).

Wave dynamic is controlled by the wind regime, which varies according to the time of year. Thus, in the period from October to March, the predominant wave direction is from the east quadrant, while between April and September the dominant waves are from the south quadrant (Araujo *et al.*, 2003). About astronomical tides, the regime is a mixed semi-daytime tide with approximately 0.6 m (Araujo *et al.*, 2003). Also, the most significant tides are meteorological, with an amplitude of about 1 meter (Giannini, 1993).

Furthermore, the wave dynamics control the coastal drift, which varies according to the time of year. South of the Cape of Santa Marta, the maximum coastal drift to the north is observed in autumn, while wave conditions in spring with the predominance of east waves, generate drift directed to the south, as well as in summer and winter, resulting in an annual drift predominant to the south (Siegle & Asp, 2007).

These coastal dynamics processes are capable of substantially modifying this geological unit, since it is a recent unit, having been formed during the Holocene. Its paleogeographic evolution was described by Vieira *et al.* (2009) through four evolutionary stages based on sea-level variations, from the lower Pleistocene regression (> 120 ka BP) to the beginning of the Holocene maximum regression (~ 5.4 ka BP). This model is correlated to that of Villwock & Tomazelli (1995), which describes the evolution of the coast of Rio Grande do Sul in lagoon-barrier systems.

About population and economic aspects, Jaguaruna had an estimated population of 20547 inhabitants in 2021 and a gross domestic product of approximately 105.919 million of dollars in 2017 (IBGE, 2017; 2021). Also, according to official estimates, in 2017, agriculture and cattle farming moved around 19.171 million of dollars, industry 18.931 million of dollars, the service sector 46.489 million of dollars, and public administration expenses 21.328 million of dollars. The average monthly salary of formal workers was two minimum wages that corresponded to 595 dollars in that year (IBGE, 2017).

2.2.2. The Urban Growth of Jaguaruna and the Risk Propensity

From the second half of the 1970s, there was an increase in the demarcation of subdivisions in the coastal zone of Jaguaruna, driven by a high demand for beach areas and tourism (Gruber *et al.*, 2017a). This process followed the national trend that quickly transformed Brazil, from a rural and agricultural country to an urban and metropolitan country (Martine & McGranahan, 2010), where the highest population density began to concentrate on the coast. Regarding the coast of Santa Catarina (SC), the results of the study of De Andrés *et al.* (2018) showed that 26% of urban occupation in the state of SC is located on the coast, which represents approximately 2% of the state's area.

From the 1980s onwards, there was significant growth in the occupation of coastal lands with insufficient territorial planning, flawed legislation, and deficient inspection by the government, which caused significant changes in environmental systems and, consequently, a tendency to higher risk exposure.

In 2010, the diagnosis "Coastal Economic Ecological Zoning of the Coastal Management Plan" classified the coastal region of Jaguaruna as a Priority Preservation Zone, except for consolidated urban settlements and few areas destined for urban expansion (Gruber *et al.*, 2017a). With this perspective, and considering the conflicts of use regarding ecosystem services, in 2011, the Federal Public Ministry filed a public civil action against the Union, which led to the embargo of new buildings in the areas adjacent to the beaches.

This new legal situation stopped real estate projects and enterprises that would potentially reproduce an unsustainable development matrix, but left the entrepreneur and the municipal public power without alternatives (Martins, 2017). The municipal tax receipt has declined due to the tourism collapse and the occupation of irregular and illegal areas, which made it impossible to collect the Land and Urban Property Tax.

Other problems that the municipality has been experiencing since then include the occupation of environments protected by current legislation; construction and trade of irregular properties; landscape changes; degradation of archaeological sites; low transfer of funds for municipal environmental management (Martins *et al.*, 2014; Cristiano *et al.*, 2015; Gruber *et al.*, 2017a; Martins, 2017); modification and deterioration of ES; and conflicts of use between ES. All of these factors lead the municipality to present a high risk of environmental and economic losses.

2.3. Material and Methods

2.3.1. Definition of Ecosystems and their Key Provisioning and Regulation Services

This methodology considers as a fundamental starting point a definition of an ecosystem, proposed by Odum (1953), Odum & Barret (2015), which considers the ecosystem as the basic functional unit of an area, since it considers the interaction between the totality of organisms and the abiotic environment, each influencing the properties of the other, and this relationship being necessary for the maintenance of life as it exists on Earth.

As an extension of this definition, we have the benefits provided by ecosystems, which are called Ecosystem Services (ES). ES include provisioning, regulating, support and cultural services. MA (2003) conceptualizes Provisioning Services as products obtained directly from ecosystems, like fresh water, biomass production, fiber, wood, capture fisheries; and Regulation Services as benefits obtained from regulation of ecosystem process, like pollination, pest regulation, water purification, hazard regulation, sediment balance, etc.

Changes in ES offered by ecosystems can be alerted by indicators to measure environmental risk, which, in turn, originate from environmental changes, such as ecosystem loss due to the progression of sand over the continental area. Indicators are defined by the Ministério do Meio Ambiente (Brazilian Ministry of the Environment) as quantified information, of a scientific nature, easy to understand, used in decision-making processes at all levels of society, being useful as evaluation tools for certain phenomena (MMA, 2019).

This study focuses on key ecosystem services for provisioning (ESp) and regulation (ESr), as we understand that they are the main services affected by the risks to which coastal ecosystems are exposed in the segment analyzed in Jaguaruna, which encompasses the entire Southern Right Whale Environmental Protection Area (APABF).

The work of Barbier *et al.* (2011), Scherer & Asmus (2016), Asmus *et al.* (2018), and Silveira (2019) were used in the ecosystem service identification, meaning that only key-ES were considered, following the concept adopted by Barbier *et al.* (2011) and described by Silveira (2019). Key-ES represents the most relevant service for the functioning of a certain activity in a portion of the territory (Silveira, 2019), in this case the ecosystems under indicative of risk. While, the main risks to which these

ecosystems are submitted were pointed out in an expert consultation workshop, starting from the study by Barbier *et al.* (2011) who mapped the main risks to which ecosystems are subjected as “human drivers of ecosystem change”. Hence, to carry out the mapping of land use, it was considered to group ecosystems according to the similarity between the provisioning and regulation services provided by them.

2.3.2. Data Structuring

Ecosystems based on their provisioning and regulation services were mapped through manual vectorization directly in ArcGIS, through photointerpretation, using the Basemap provided by the software itself as a database. First, the ES_p and ES_r provided by each class of ecosystems considered were identified, as well as the indicators of risks to which they are subjected.

Agriculture and cattle farming system were identified based on large properties, in shades of green and yellow, characteristic of pastures to livestock. Inland and marine waters were determined by their dark blue color, smooth to slightly granular texture, well-defined edges and contrast with adjacent areas. PMAP-SC reports (2018; 2019) helped define fishing areas. Dunes, beaches, and restingas were defined by the direction of the sedimentary input, of light-yellow color, and where the vegetation is sparse due to the migration of the dunes. Forests correspond to places where the vegetation was dispersed, in the form of patches that did not follow any geometric pattern. In contrast, Afforestation showed well-defined planting pattern, large extensions, characterized by geometric shapes with defined edges, dark green color, being characteristic of Pinus. Rangelands and wetlands were determined by their dark color, granular texture and proximity to low relief areas. Finally, urban systems were mapped through streets, blocks and construction pattern. To validate the result, a comparison was made with the data provided by MapBiomass (Mapbiomas Project, 2020).

To proceed with the environmental valuation methodology, the widest four systems in the study area were chosen: i) agriculture and cattle farming; ii) continental waters and marine environment (analyzed together); iii) dunes, beaches, and restingas; and iv) afforestation. The key-ES identified for each ecosystem was described for each of the previous classes. Table 2.1 presents the synthesis of the data used for this study.

Table 2.1. Ecosystem data framework with risk indicators, method summary and data source. Where ES is Ecosystem Service, ACM is Avoided Costs Method and RCM is Replacement Cost Method

Ecosystem	Key-ES affected	Risk indicators	Environmental valuation method	Method summary	Data source
Agriculture and Cattle farming	Livestock production.	Loss of the entire system due to sand progression over the continental area; Damage to cultivated species; Damage to cattle.	ACM	Monetary value in SC of an adult cattle per km ² ; Average production value (weighted average).	(CPEA, 2020; Cezar <i>et al.</i> , 2005).
Continental waters and Marine environment	Fisheries capture.	Damage to individuals; Collapse of fish stocks; Water pollution.	ACM	Total monetary value of fisheries captures in Jaguaruna per year.	(CEAGESP, 2020; PMAP-SC, 2018; 2019).
Dunes, Beaches, and Restingas	Hazard regulation.	Increased erosive power and loss of sediment to the ocean in the event of a storm; Erosion due to climate change or extreme event; Increase in buildings such as defenses or tourist infrastructure	RCM	Beach nourishment by section; Multiplying the section by the length of the coastline; Multiplying the total amount of sand required by the m ³ of sand.	(SMI, 2020).
Afforestation	Production of wood as socioeconomic resource.	Loss of soil quality; Loss of biodiversity; Soil erosion.	RCM	Monetary value in SC of Pinus per km ² per year.	(Shimizu, 2008).

2.3.3. Environmental Valuation

The conversion from the Brazilian real (BRL) to the United States dollar (USD) was determined by the authors based on the quotation corresponding to January 15th 2020, to avoid the impacts on prices, due to the Covid-19 crisis and considering the

most recent data obtained for the study. Thus, 1 BRL = 0.239 USD (Exchange Rates UK, 2020).

Avoided Cost Method

The Avoided Costs Method (ACM) calculates the economic value of the benefits provided by an ecosystem that would not be available if such an ecosystem is removed. Therefore, this economic value would represent an additional cost for society if that environmental service is no longer available.

The implicit idea of ACM is that spending on substitute or complementary products for some environmental characteristics can be used as an approximation to monetarily calculate the “perception of individuals” regarding changes in ecosystems. These are expenses for the defense or prevention of environmental characteristics for the protection of populations (Pearce, 1993). ACM was used to monetarily estimate the value of the Agriculture and Cattle farming; and Continental waters and the Marine environment classes provide for the population.

In the first case, the calculation aimed to determine the price of livestock production through the adult cattle per km² for the state of Santa Catarina. The definition of adult cattle considers that the animal goes through the complete cycle, which consists of breeding, reproducing, and fattening. The production period of 24 months was considered as the average time for slaughter. For the Santa Catarina micro-region, the average head of cattle per hectare is 0.55, and one animal unit (AU) is equivalent to an average of 468 kg (Cezar *et al.*, 2005).

Furthermore, the historical price series from 1997 to 2019 of the adult cattle arroba was considered (1 arroba is equal 14,668 kg), according to CEPEA (2020), to obtain a value without the influence of market fluctuations.

For the Continental waters and Marine environment class, the calculation of the gross product of the annual fish biomass production was carried out based on the data collected in the technical reports of the Projeto de Monitoramento da Atividade Pesqueira no estado de Santa Catarina (Monitoring Project of Fishing Activities in the state of Santa Catarina). The data selected for the study refer only to those collected by the PMAP in Jaguaruna in the period that covered from July to December 2018 and from January to June 2019, totaling one year of data (PMAP-SC, 2018; 2019).

The market value for each of the species documented in the reports was determined by the authors, according to the average price of the Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo (São Paulo Terminal Warehouse)

(CEAGESP) corresponding to January 2020. To obtain the total gross annual value, it was considered that the category defined by PMAP-SC (2018; 2019) as “Other species” has price’s average of the all categories of species caught, except for shrimps. Shrimps are valued separately, and considers the price’s average of the different species of shrimps sold at CEAGESP (2020).

Replacement Cost Method

The Replacement Cost Method (RCM) is based on the cost of replacing or restoring a damaged good, and this cost is understood as a measure of its benefit (Pearce, 1993). In this sense, replacement costs are an indication that there will be greater benefits to society with its implementation than otherwise. In addition, this approach is necessary for situations where the repair of the damage is essential due to some environmental restriction.

The risks for this procedure, according to (Pearce, 1993), are related to the perception by a part of society that the costs are negligible when compared to the number of benefits obtained by the recovery of a given ecosystem. The method works by adding the costs of repairing the negative effects, which are a consequence of some disturbance in environmental quality. The RCM was used for the classes of Dunes, Beaches and Restingas, and Afforestation Systems, to estimate their values, assuming that the cost of recovering each of these systems represents the total value of the environment and the corresponding key-ES.

To determine the final monetary value of Dunes, Beaches and Restingas, a simplification of the beach nourishment calculation was used, according to Barletta *et al.* (2008). For this purpose, the current beach profile with linear approximation was plotted, considering the slope angle of 2 degrees, characteristic of a beach with a dissipative domain. Afterward, Dean’s stability profile (1977) was plotted, according to Equation 2.1

$$h(y) = Ay^{\frac{2}{3}} \quad (2.1)$$

In which, h is the water depth as a function of the distance from the coast y , and A is the parameter that depends on the granulometry of the sediment. A 0.103 mm granulometry was used, based on the work of Gruber *et al.* (2017b).

Then, the closing depth for the Jaguaruna beach was calculated, according to the Hallermeier equation (Equation 2.2) for a wave with a significant height of 1.98 m and a period of 8 s (Contestabile *et al.*, 2015).

$$h_c \cong 2,28 H_s - 68,5 \left(\frac{H_s^2}{gT^2} \right) \quad (2.2)$$

Where, h_c is the closing depth, H_s is the significant wave height, g is the acceleration of gravity and T is the associated wave period. The closing depth h_c returned the value of 4.09 m. With the script building on the MATLAB software, the integral of the profile to be nourished in one meter of beach extension was calculated. Also, the value assigned to each cubic meter of sand was US\$ 9.68, based on the nearest and most recent beach nourishment in Canasvieiras between the end of 2019 and the beginning of 2020 (SMI, 2020).

In the case of Afforestation systems, the calculation of the environmental valuation was carried out based on the profitability of the Pinus for the southern region of Brazil. The choice for this species is that due to its characteristics of rapid growth and wood quality, it is the most planted and used industrially in the southern region of Brazil, and it is configured as a sustaining species of an important production chain (Shimizu, 2008; Camargo & Matos, 2016). The database was obtained from Shimizu (2008), which simulated 10 years, between 2008 and 2017.

2.4. Results and Discussion

2.4.1. Mapping of Ecosystems Based on Key Ecosystem Service

The ecosystem map based on Key Ecosystem Service resulted in eight classes: i) agriculture and cattle farming; ii) continental waters; iii) dunes, beaches, and restingas; iv) forests; v) afforestation; vi) rangelands and wetlands; vii) marine environment; and, viii) urban systems areas, according Figure 2.2. Table 2.2 shows the total area of each class. The widest class is Dunes, Beaches and Restingas with 3200 ha, that corresponds to 29% of study's area and the Rangeland and Wetland is the smallest class, with only 200 ha, or, 2% of total area.

The use of the concept of Key Ecosystem Services was used by Barbier *et al.* (2011) in your review about the value of estuarine and coastal ecosystem services, and later by Silveira (2019) in his work in southern Brazil on proposal for a systemic analytical framework to support environmental planning and management. Its concept

aims to facilitate the territorial planning process according to the ecosystem logic (Silveira, 2019).

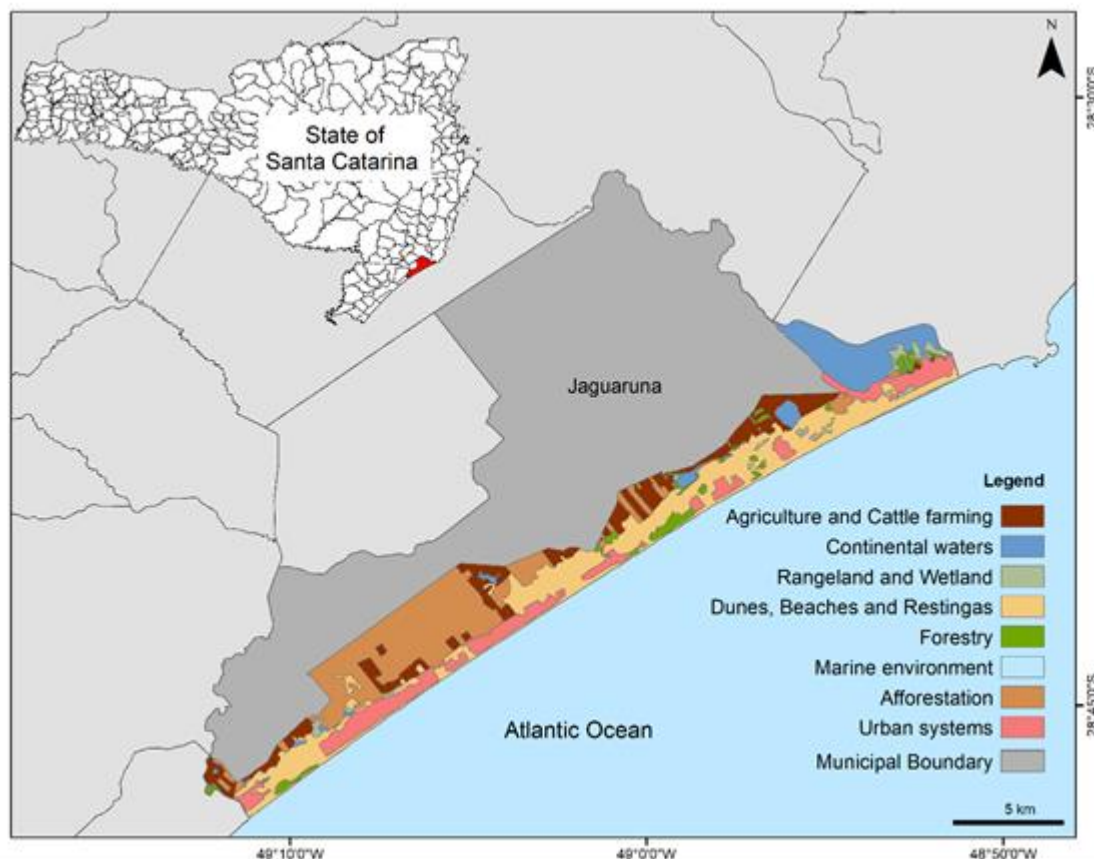


Figure 2.2. Land use map of the coastal area based on Key Ecosystem Service in the Municipality of Jaguaruna – SC (state of Santa Catarina). Eight classes were identified and five of them were selected for the application of environmental valuation methods.

Table 2.2. Land use area based on Key Ecosystem Service in the Municipality of Jaguaruna – SC

Class	Area (ha)	Area (%)
Agriculture and Cattle farming	1600	14
Continental waters	1300	12
Rangeland and Wetland	200	2
Dunes, Beaches and Restingas	3200	29
Forestry	400	4
Afforestation	2800	25
Urban systems	1500	14
Total	11000	100

In the case of coastal ecosystems, studies indicate that around 60% of them have already been degraded on a worldwide scale, and this is a progressing trend, as a consequence of land use changes, alteration of biogeochemical cycles, habitat's destruction and fragmentation, introduction of species, and changes in climatic conditions (changes in rainfall, storm patterns, extreme temperatures) (Barbier *et al.*, 2011; Barragán Muñoz & Chica Ruiz, 2013; Brenner *et al.*, 2010; De Groot *et al.*, 2010). Such modifications are intrinsically linked to ecosystem services. Generally, these services are invisible to humans and, therefore, are not perceived and / nor valued.

Furthermore, it must be considered that when damaged, losses can be significant and difficult to recover.

2.4.2. Environmental Valuation

For the classes of Agriculture and Cattle farming; and Continental waters and Marine environment, the Avoided Costs Method (ACM) was chosen. While for the classes of Dunes, Beaches and Restingas; and Afforestation, the Replacement Cost Method (RCM) was used, as discussed below. In these methods, the value of an environmental resource, in this case the Key Ecosystem Service, is estimated through a production function, using as reference products on the market that are affected by the change in the provision of the environmental resource (Silva, 2008; Kay *et al.*, 2019).

Concerning the Agriculture and Cattle farming, these systems around the world feed the current population of more than 8 billion people worldwide, playing an important role in shaping the environment as well as the economy. While natural ecosystems are sources of numerous wild foods and animals, the needs of the growing population will not be met without agriculture and cattle farming. Whereas, the most practiced economic activity in this sector selected for the study is livestock production. Then, the valuation for this class was based solely on adult cattle and its value was used to determine the market environmental valuation. Through an exponential curve adjustment, the value of R\$ 160.00 Brazilian real was obtained for the arroba of the adult cattle for January, 15th 2020, that corresponded to 38.32 dollars in that day.

The calculation resulted in gross production of US\$ 1088.69 ha⁻¹ yr⁻¹. Considering that the mapped area corresponds to 1600 ha, the resulting value for Jaguaruna is approximately 1,741,902 million dollars per year. In a study about farming production in conventional fields in Canterbury, New Zealand, Sandhu *et al.* (2008) estimated the mean value of the marketable ecosystem service “food” at US\$ 3220 ha⁻¹ yr⁻¹. This value is well above what we found for Jaguaruna, due to a series of factors, such as production costs and methods, that differ between countries. Even so, the market values represent the value of those ES which help in its production (Heal & Small, 2002).

For Continental waters and the Marine Environment, the determination of the value of the environment was based on the total species captured in Jaguaruna (Table 2.3). The sector of fishing and aquaculture provides a significant contribution to food and nutrition security and supports the livelihoods of hundreds of millions of people

around the world (FAO, 2021) and constitutes an important economic activity for Jaguaruna

Table 2.3. Gross annual value in millions of artisanal fisheries in Jaguaruna, based on the total catch by species (PMAP-SC, 2019) and value by species (CEAGESP, 2020). PMAP-SC refers to Monitoring Project of Fishing Activities in the state of Santa Catarina and CEAGESP to São Paulo Terminal Warehouse. Prices corresponding to January 2020

Species	Value (\$/ kg)	Production (t)		Total weight (t)	Annual Value by Species in Thousands of Dollars (\$)	Gross Annual Value in Millions of Dollars (\$)
		Jun - Dec (2018)	Jan - Jun (2019)			
Mullet fish	1.677	139.85	348.94	488.79	819.700	
Corvina	1.198	123.07	29.75	152.82	183.078	
Kingcroaker	0.839	82.51	29.14	111.65	93.674	
Shrimp	5.991	53.84	73.92	127.76	765.410	
Bluefish	2.876	37.47	0	37.47	107.764	2,864.668
Flounder	2.876	0	51.25	51.25	147.395	
Callinectes	1.677	113.07	167	280.07	469.677	
"Others"	2.448	82.54	31.01	113.55	277.970	

Considering that the waters occupy volume for the production of fish (and not the area, as in the other classes), the results pointed out a total gross value, in this case, of 2,864.668 million dollars per year. Other studies evaluated fish production per hectare year or meter year, which makes it difficult to draw a parallel between them. In this sense, we highlight the studies of McArthur & Boland (2006) in the southern of Australia that who valued fish, shrimp, and crab production at this site at US\$ 1436 ha⁻¹ yr⁻¹ and more recently Sangha *et al.* (2019) who assessed the status of ecosystem services through Commercial fishing & Aquaculture in the Northern Territory of Australia at \$ 179.6 m⁻¹ yr⁻¹.

Regarding Dunes, Beaches, and Restingas the extensive degradation induced from coastal development, reduced sediment delivery from major rivers, increased coastal erosion and sea-level rise (MA, 2003; Syvitski *et al.*, 2005) indicate a continuing negative trajectory for littoral ecosystems and their services around the world.

From this point, the value calculation was based, first, on the amount of sand that would have to be replaced on a section of beach, which resulted in 75.46 m² of sand, according to Figure 2.3. Considering that each cubic meter of sand costs US\$ 9.68, the total value of nourishment for one meter of beach extension was US\$ 730.45. Therefore, the average value per hectare of surface resulted in US\$ 62,420.95 ha⁻¹.

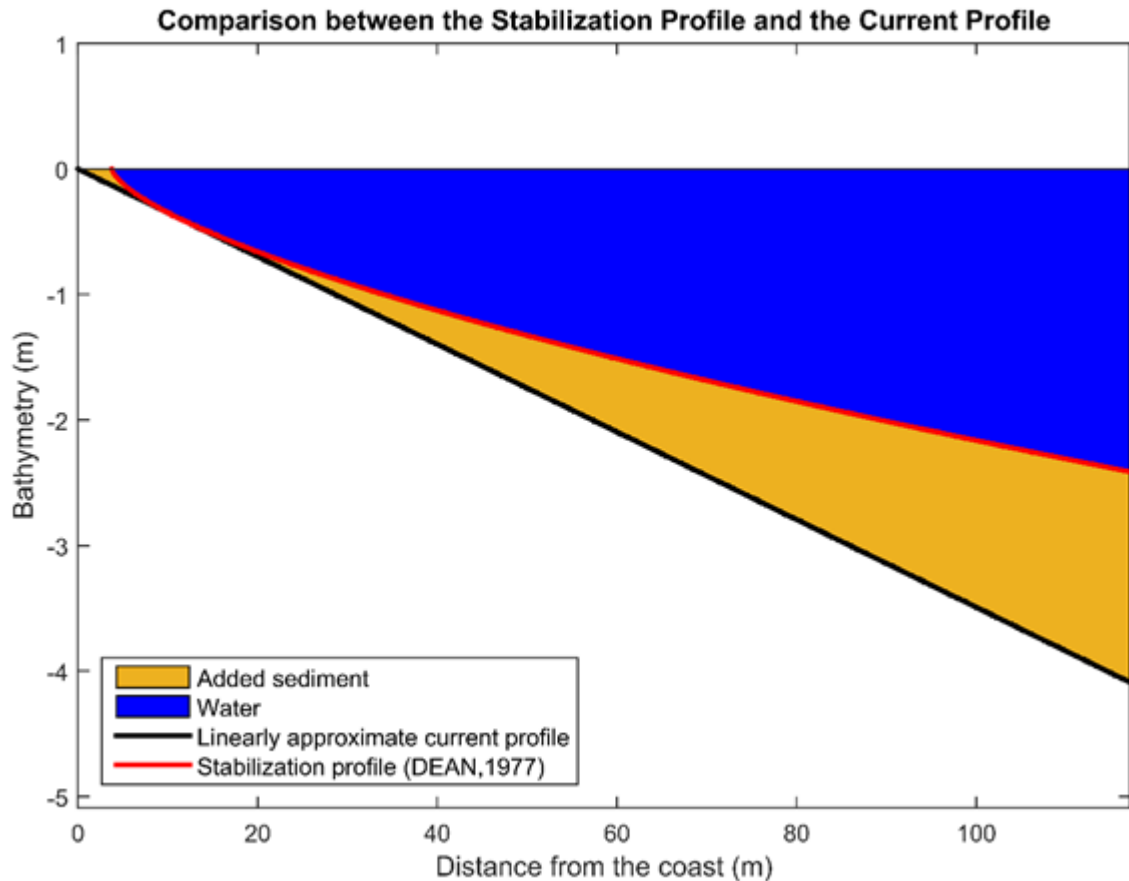


Figure 2.3. Current coastal profile of Jaguaruna, linearly approximated, in black, and the stabilization profile, using Dean's equation (1977), in red. The area hatched in yellow represents the integral of the profile to be nourished, which equals 75.46 m² of sand for each meter of coastline

Although is the ecosystem with the largest cover area and high total value attached to the system in Jaguaruna it is necessary to intend that the high value found is not related to the cost in just one year. Durability of beach nourishment is an important issue, and plans generally estimates of protection about 10 – 20 years (Finkl & Walker, 2002). Thus, the range of value of this ecosystem with its services can be estimated in a range of US\$ 3121.05 - 6242.1 ha⁻¹ yr⁻¹, which corresponds to a total value for the 38 km of coastline in Jaguaruna in a range of 1,3876,618.88 – 2,7752,23.76.

In 2001, Sathirathai & Barbier estimated the value of US\$ 3679 ha⁻¹ yr⁻¹ for replacement cost using artificial barrier for erosion control in Thailand (Sathirathai & Barbier, 2001), which in current values corrected for inflation would be a total around US\$ 5,100 ha⁻¹ yr⁻¹. Another way of valuing services offered by these kinds of systems is the willingness-to-pay methodology. Landry & Liu (2009) analyzed the valuation of services offered by beaches in North Carolina (USA) using this method for an increase in beach width of 100 feet and obtained as a result the value of US\$ 166 /trip or US\$ 1574 per visiting household per year.

From these results, two principle points it is clear: the control of hazards offered by Beaches, Dunes and Restingas is undoubtedly one of the most valuable ES in terms of market and non-market value, as protection, provided by coastal ecosystems, especially in the face of extreme storms, tsunamis and sea level rise; there are still few studies that value Beaches, Dunes and Restingas ecosystems by their replacement cost, but based on these few studies, the replacement cost is considerably larger than the individual's perceived value measured by the willing to pay methodology.

In the case of Afforestation, this class draws our attention, once it is even larger in are than agriculture and cattle farming, comprising 25% of the study area. This result showed the importance of this activity in the region. Although many studies showed that, due to their high adaptive capacity and rapid growth, species of *Pinus* are one of the main exotic invaders on the globe, and afforestation impacts are many worldwide, this activity has an outstanding economic role in the coastal areas of Brazil (Bechara, 2003; Shimizu, 2008; Camargo & Matos, 2016).

From that, the calculation considered the net value of *Pinus* of US\$ 1,032.83 ha⁻¹ yr⁻¹, as well as the area of 2800 hectares. Thus, the value of this environment is 2,891,924 million of dollars. Ninan & Inoue (2013) compiled in their study the valuation of forest systems in different parts of the world, that showed wide variation between forest sites, regions and countries, ranging from US\$ 8/ha (Iran) to US\$ 4,080/ha (Japan). Moreover, Fiorini *et al.* (2020) evaluated the payment for ecosystem services on a forest cover in Rio de Janeiro and the results pointed to a value of restoration for the ecosystem ranging from US\$150-1405/ha. Nevertheless, the value for hectare found for Jaguaruna is close to the one estimated by Fiorini *et al.* (2020) and by Costanza *et al.* (1997) which estimated the value of ecosystem services assessed for whole global forests at an average of US\$1430/ha.

The economic valuation of coastal and marine resources being ignored is an issue recognized worldwide, at local, regional or national scales (MA, 2005; IPBES, 2022) and it is no different in Brazil. Among key ES selected, the economic impact and value of providing services added up to a total of US\$ 7,498,494 yr⁻¹ and the value of regulating service range of US\$ 1,3876,618.88 – 2,7752,23.76 yr⁻¹. These values are particularly high if we consider that the gross domestic product of approximately was of 105.919 million of dollars in 2017. Thus, only 4 ecosystems with their key services already account for 10% of all municipal revenue. In addition, these resources support many sustainable and unique resources and generate local jobs.

By evaluating the monetary values of coastal and marine resources for Jaguaruna (SC), this study opens space to bring this discussion to the fore in the development of policies for the maintenance of the ecosystem and its services. During the time this article was under elaboration, the first law in Brazil on payment for environmental services was passed, Law No. 14,119, of January 13, 2021 (Brasil, 2021). From this law, payments for environmental services can be made, in accordance with the legislation, as direct, monetary or non-monetary payments, among other forms. In addition, the Law seeks mainly to encourage the conservation of ecosystems, water resources, soil, biodiversity, genetic heritage and associated traditional knowledge.

In summary, in order to develop Jaguaruna and the other coastal areas of Brazil as a whole, and bring humans closer to the ecosystem, the authors propose that existing opportunities based on nature be developed and expanded, adapted to the reality of each location, such as recreational fishing, artisanal fishing, water sports, kitesurfing, windsurf, ecological trails, etc. These activities must be carried out by applying equitable benefit sharing principles and appropriate governance mechanisms to achieve more sustainable development.

2.4.3. Limitations

It is important to highlight that, to make this study possible, assumptions and simplifications were assumed according to the reality of the available data. Firstly, it was diagnosed in field visits that agricultural activity coincides in area with extensive livestock production and that fishing activity compiled by PMAP-SC (2018; 2019) occurs in Continental waters and the Marine environment. In addition, for Afforestation, only the value of the genus of Pinus species was considered, which are the most commonly planted in the region. Finally, in Dunes, Beaches and Restingas there were mathematical simplifications to obtain the beach profile.

It is important to note that the methods used so far are indirect. Thus, the values must be understood as approximations of the true economic dimension of the damage caused by use of ecosystems and must be used when direct methods cannot be applied due to lack of data (ABNT, 2005). Even though, it is understood this valuation is relevant as a tool for measuring environmental risks and that a monetized approach to ecosystem services is more easily integrated into the agenda of decision-makers.

Furthermore, it should also be noted that to obtain these values, normal situations of operations and/ or production were considered and that there are climatic,

commercial, and administrative factors that can interfere in the result. Some examples of the factors that can interfere are the excess or lack of rain for long periods; climate changes; commercial agreements or embargoes on products, changes in the taxation of activities carried out, among others.

2.5. Final considerations

This study assessed the state of selected coastal ecosystems based on key provisioning and regulation services in the Southern coast of Santa Catarina State. Although there are not many studies of this type performed in Brazil, the results found are compatible with studies conducted in other parts of the world.

Environmental valuation methodologies are important to estimate the value of a given ecosystem and their ecosystem services (ES), and to enable human beings to have a more concrete view of their existence. Considering the history of degradation of ecosystems and their ES in the world, this approach is useful to improve their conservation and supporting decision-makers to better manage and plan, designing better policies.

It is worth mentioning that these values correspond to how much the environment is capable of offering monetary returns to individuals, and not just a value that can be applied for calculating fines, in the case of environmental degradation. On the other hand, the results of the study can be used in awareness campaigns, to exemplify to the population the annual value that we would have to recover a degraded ecosystem, and, consequently, its ES.

It is necessary to be aware of the importance of maintaining the flow of services of each ecosystem, to allow functions and processes to be continued and develop naturally. In this perspective, the valuation of these ecosystems and their services makes it possible to prioritize, from a financial point of view, those that need management strategies the most.

Continued monitoring of this area is of great importance when it comes to sustainably manage these coastal ecosystems and their uses and activities, given the presence of the Southern Right Whale Environmental Protection Area in this municipality. Besides, it is necessary to give importance to the tourist activity of this area, which depends directly on its good state of conservation and management.

For future studies, further advances in environmental valuation models must include potential accidents or environmental disasters, as well as with far-reaching data, collected directly in the field. Studies with direct methods of evaluation, which

consider the individual's perception of the value of the environment, would also bring valuable elements to better understand and define ecosystem services value in this region.

Acknowledgments

The authors would like to thank the research funding agencies, AUIP and CNPq for the funding received, and the Department of History, Geography and Philosophy of the University of Cádiz for welcoming the authors of this study.

Funding

This research was funded by “*Asociación Universitaria Iberoamericana de Postgrado (AUIP), Programa de Movilidad Académica entre Universidades Andaluzas e Iberoamericanas asociadas a la AUIP, Julio de 2019*” and “*Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), grant number 141344/2017-2*”.

References

ABNT – Associação Brasileira de Normas e Técnicas. NBR 14653-6: Recursos Naturais e Ambientais, Parte 6, 2005. Available on: <https://www.galaxcms.com.br/up_arquivos/1149/5-20170124191546.pdf>. Accessed on: mar. 2021.

Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; De Moraes Gonçalves, J. L.; Sparovek, G. Köppen's Climate Classification Map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711-728, 2013. doi: <<https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>>.

ANCORIM – Atlantic Network for Coastal Risk Management. *Riesgos Costeros: Cómo Reconocerlos y Enfrentarse a ellos*. Red Atlántica Para La Gestión de Los Riesgos Costeros, 40, 2017. Available on: <https://corimat.net/wp-content/uploads/2017/03/1a-GeneralGuide_ES.pdf>. Accessed on: feb. 2021.

Araujo, C. E. S.; Franco, D., Melo, E.; Pimenta, F. Wave Regime Characteristics of the Southern. *International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries*, 097, 1-15, 2003. Available on: <https://www.researchgate.net/profile/Eloi_Melo/publication/309281912_Wave_regime_characteristics_of_the_Southern_Brazilian_coast/links/58a2fba545851598bac01492/Wave-regime-characteristics-of-the-Southern-Brazilian-coast.pdf>. Accessed on: mar. 2021.

Asmus, M. L.; Nicolodi, J.; Scherer, M. E. G.; *et al.* Simples para ser útil: base ecossistêmica para o gerenciamento costeiro. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 44, 4-19, 2018. doi: <<http://dx.doi.org/10.5380/dma.v44i0.54971>>.

Barbier, E. B.; Hacker, S. D.; Kennedy, C.; Koch, E. W.; Stier, A. C.; Silliman, B. R. The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, 81(2), 169-193, 2011. doi: <<https://doi.org/10.1890/10-1510.1>>.

Barletta, R. C.; Oliveira, U.; Mário, H. F. S. de; Ribeiro, D.; Horn Filho, N.; Franco, D. Levantamento de Características Ambientais e Proposta de Pré-projeto de Engordamento da Praia de Canasvieiras - SC, Brasil. In: *Anais do III Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica*. 2008. Available on: <<https://semengo.furg.br/images/2008/29.pdf>>. Accessed on: mar. 2021.

Barragán Muñoz, J. M.; Chica Ruiz, J. A. Evaluación de los Ecosistemas Litorales del Milenio de España: Una Herramienta para la Sostenibilidad de la Zona Costera. *Eubacteria*, 31, 1-6, 2013. Available on: <https://www.um.es/eubacteria/ecosistemas_milenio_litoral.pdf>. Accessed on: mar. 2021.

Bechara, F. C. Restauração Ecológica de Restingas Contaminadas por *Pinus* no Parque Florestal do Rio Vermelho, Florianópolis, SC. Florianópolis, Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – UFSC, 2003. Available on: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/86536/190967.pdf?sequence=1>>. Accessed on: feb. 2021.

Brenner, J.; Jiménez, J. A.; Sardá, R.; Garola, A. An Assessment of the Non-market Value of the Ecosystem Services Provided by the Catalan Coastal Zone, Spain. *Ocean and Coastal Management*, 53(1), 27-38, 2010. doi: <<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2009.10.008>>.

Camargo, R. A.; Matos, J. L. M. Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus taeda* a partir dos anéis de crescimento, 2016. Available on: <<https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/45521>>. Accessed on: dec. 2022.

Castro, C. M.; Peixoto, M. N. O.; Rio, G. A. P. Riscos Ambientais e Geografia: Conceituações, Abordagens e Escalas. *Anuário do Instituto de Geociências, UFRJ*, 28(2), 11-30, 2005. Available on: <<https://ppegeo.igc.usp.br/index.php/anigeo/article/view/4830>>. Accessed on: dec. 2022.

CEAGESP – Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo. Average Price of Species Caught, 2020. Available on: <<http://www.ceagesp.gov.br/entrepostos/servicos/cotacoes/>>. Accessed on: nov. 2020.

CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. ESALQ/B3 Fed Cattle Price Index, 2020. Available on: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/en/indicator/cattle.aspx>>. Accessed on: nov. 2020.

Cezar, I. M.; Queiroz, H. P. S.; Thiago, L. R. L. de; Cassales, F. L. G.; Costa, F. P. Sistemas de Produção de Gado de Corte no Brasil: Uma Descrição com Ênfase no Regime Alimentar e no Abate. Embrapa Gado de Corte, 2005. Available on: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/326307>>. Accessed on: mar. 2021.

Climate Data. Climate Data for Jaguaruna, Santa Catarina, 2020. Available on: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/santa-catarina/jaguaruna-43879/>>. Accessed on: nov. 2020.

Contestabile, P.; Ferrante, V.; Vicinanza, D. Wave Energy Resource Along the Coast of Santa Catarina (Brazil). *Energies*, 8(12), 14219-14243, 2015. doi: <<https://doi.org/10.3390/en81212423>>.

Correa, I. D.; Ferreira, O.; Carrío, J. A. Introducción a los Riesgos Geológicos. In: Carrío, J. A.; Correa, I. D.; Isla Mendy, F. I.; Alvarado Ortega, M.; Klein, A. H. F.; Hernández, A. C.; Barlow, R. S. (Eds.). *Métodos en Teledetección Aplicada a la Prevención de Riesgos Naturales en el Litoral*. Valencia: Servicio de Publicaciones del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, 2009, p. 9-28. Available on: <https://www.researchgate.net/profile/Javier_Alcantara_Carrio/publication/259592235_Introduccion_a_los_riesgos_geologicos_litorales/links/00b4952ceda927ee95000000/Introduccion-a-los-riesgos-geologicos-litorales.pdf>. Accessed on: mar. 2021.

Costanza, R. Valuing natural capital and ecosystem services toward the goals of efficiency, fairness, and sustainability. *Ecosystem Services*, 43, 101096, 2020. doi: <<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101096>>.

Costanza, R., De Groot, R., Sutton, P., Van der Ploeg, S., Anderson, S. J., Kubiszewski, I. *et al.* Changes in the global value of ecosystem services. *Global environmental change*, 26, 152-158, 2014. doi: <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002>>.

Cristiano, S. C.; Martins, E. M.; Gruber, N. L. S.; Barboza, E. G. Avaliação do processo de ocupação irregular na zona costeira: caso da “invasão Maria Terezinha”, município de Jaguaruna/SC. *Gravel*, 13(1), 1-14, 2015. Available on: <<https://www.ufrgs.br/gravel/>>. Accessed on: dec. 2022.

De Andrés, M.; Barragán, J. M.; Scherer, M. Urban Centres and Coastal Zone Definition: Which Area Should We Manage? *Land use policy*, 71, 121-128, 2018. doi: <<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.11.038>>.

De Groot, R. S.; Alkemade, R.; Braat, L.; Hein, L.; Willemsen, L. Challenges in Integrating the Concept of Ecosystem Services and Values in Landscape Planning,

Management and Decision Making. *Ecological Complexity*, 7(3), 260-272, 2010. doi: <<https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2009.10.006>>.

Emerton, L. Integrating Wetland Economic Values into River Basin Management. *Wetland Valuation Issues*, 1, 2003. Available on: <https://www.pacificwater.org/userfiles/file/IWRM/Toolboxes/financing_IWRM/issuespaper01wetlandvaluationanddecisionmaking.pdf>. Accessed on: nov. 2020.

Emerton, L.; Seilava, R.; Pearith, H. B. Kirirom, Kep and Ream National Parks, Cambodia: Case studies of economic and development linkages, field study report. In: Review of Protected Areas and their Role in the Socio-economic Development of the Four Countries of the Lower Mekong Region. Brisbane-Australia and Karachi-Pakistan: International Centre for Environmental Management and IUCN - The World Conservation Union Regional Environmental Economics Programme, 2002. Available on: <http://www.mekong-protected-areas.org/documents/biodiversity/pad/cambodia_field.pdf>. Accessed on: mar. 2020.

Exchange Rates UK. Brazilian Real to US Dollar Spot Exchange Rates for 2020. Available on: <<https://www.exchangerates.org.uk/BRL-USD-spot-exchange-rates-history-2020.html>>. Accessed on: jan. 2020.

FAO – Food and Agriculture Organization, 2021. FAO yearbook. Fishery and Aquaculture Statistics 2019/FAO annuaire. Statistiques des pêches et de l'aquaculture 2019/FAO anuario. Estadísticas de pesca y acuicultura 2019. Rome/Roma. Available on: <https://www.fao.org/fishery/static/Yearbook/YB2019_USBcard/index.htm>. Accessed on: jan. 2023.

Finkl, C. W.; Walker, H. J. Beach Nourishment. In: Chen, J.; Eisma, D.; Hotta, K.; Walker, H. J. (Eds.) *Engineered Coasts. Coastal Systems and Continental Margins*, vol 6. Springer, Dordrecht, 2002, p. 1-23. doi: <https://doi.org/10.1007/978-94-017-0099-3_1>.

Fiorini, A. C. O.; Mullally, C.; Swisher, M.; Putz, F. E. Forest cover effects of payments for ecosystem services: Evidence from an impact evaluation in Brazil. *Ecological Economics*, 169, 106522, 2020. doi: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106522>>.

Giannini, P. C. F. Sistemas Depositionais no Quaternário Costeiro entre Jaguaruna e Imbituba, Santa Catarina. São Paulo, Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) – USP, 1993. Available on: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44136/tde-11032013-133424/publico/Giannini_doutorado_v2.pdf>. Accessed on: mar. 2020.

Godard, O.; Henry, C. Lagadec, P.; Michel-Kerjan, E. *Traité des Nouveaux Risques. Précaution, crise, assurance*. Gallimard, collection Folio-Actuel, 2002.

Gómez-Baggethun, E.; De Groot, R. Capital Natural y Funciones de los Ecosistemas: Explorando las Bases Ecológicas de la Economía. *Ecosistemas*, 16(3), 4-14, 2007. doi: <<https://doi.org/10.7818/re.2014.16-3.00>>.

Gornitz, V. Global coastal hazards from future sea level rise. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 89(4), 379-398, 1991. doi: <[https://doi.org/10.1016/0031-0182\(91\)90173-O](https://doi.org/10.1016/0031-0182(91)90173-O)>.

Gruber, N. L. S.; Barboza, E. G., Portz, L. C., Strohaecker, T. M., *et al.* Projeto Diagnóstico e Plano de Manejo das Dunas Frontais do Município de Jaguaruna: Arcabouço Teórico-Conceitual. 2ª Ed. V. 1. Porto Alegre: UFRGS, 2017a.

Gruber, N. L. S.; Barboza, E. G., Portz, L. C., Strohaecker, T. M., *et al.* Projeto Diagnóstico e Plano de Manejo das Dunas Frontais do Município de Jaguaruna. Orla Marítima: Morfodinâmica e Aspectos Ecológicos do Sistema Eólico-Praial. 2ª Ed. V. 2. Porto Alegre: UFRGS, 2017b.

Heal, G. M.; Small, A. A. Agriculture and ecosystem services. *Handbook of Agricultural Economics*, 2, 1341–1369, 2002. Doi: <[https://doi.org/10.1016/S1574-0072\(02\)10007-7](https://doi.org/10.1016/S1574-0072(02)10007-7)>.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE Cidades e Estados, Jaguaruna, Santa Catarina, 2021. Available on: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sc/jaguaruna.html>>. Accessed on: dec. 2022.

IOC – Intergovernmental Oceanographic Commission. Hazard awareness and risk mitigation in integrated coastal area management. Paris: UNESCO, Manuals and Guides nº 50, ICAM Dossier 5, 1-141. Available on: <http://iocunesco.org/index.php?option=com_oe&task=viewDocumentRecord&docID=3947>. Accessed on: dec. 2022.

IPBES – Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Intergovernmental Platform on biodiversity and ecosystem services, 2022. Available on: <<http://www.ipbes.net>>. Accessed date: dec. 2022.

Liu, S.; Costanza, R.; Farber, S.; Troy, A. Valuing ecosystem services: theory, practice, and the need for a transdisciplinary synthesis. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1185(1), 54-78, 2010. doi: <<https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.05167.x>>.

MA – Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment. Washington, DC: Island Press, 2003. Available on: <http://pdf.wri.org/ecosystems_human_wellbeing.pdf>. Accessed on: mar. 2020.

Mapbiomas Project. Collection 5 of the Annual Series of Coverage and Land Use Maps of Brazil, 2020. Available on: <<https://mapbiomas.org/>>. Accessed on: dec. 2020.

Martine, G.; McGranahan, G. Brazil's Early Urban Transition: What Can It Teach Urbanizing Countries? London and New York: International Institute for Environment and Development and United Nations Population Fund, 2010. Available on: <<http://www.iied.org/pubs/display.php?o=%0A10585IIED>>. Accessed on: mar. 2020.

Martins, E. Gerenciamento Costeiro Integrado à Luz dos Sistemas e da Diversidade Ambiental: Aplicação em Jaguaruna, Santa Catarina. Porto Alegre, Tese (Doutorado em Geociências) – UFRGS, 2017. Available on: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/172146>>. Accessed on: dec. 2022.

McArthur, L. C.; Boland, J. W. The economic contribution of seagrass to secondary production in South Australia. *Ecological modelling*, 196(1-2), 163-172, 2003. doi: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.02.030>>.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. 2019. Indicadores Ambientais. Available on: <<http://www.mma.gov.br/informacoes-ambientais/indicadores-ambientais>>. Accessed on: oct. 2019.

Munns Jr, W. R.; Rea, A. W.; Suter, G. W.; Martin, L.; *et al.* Ecosystem services as assessment endpoints for ecological risk assessment. *Integrated environmental assessment and management*, 12 (3), 522-528, 2016. doi: <<https://doi.org/10.1002/ieam.1707>>.

Ninan, K. N.; Inoue, M. Valuing Forest Ecosystem Services: What We Know and What We Don't. *Ecological Economics*, 93, 137-149, 2013. doi: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.05.005>>.

Odum, E. P. *Fundamentals of Ecology*. 1st edition, Philadelphia: W. B. Saunders Co., 1953.

Odum, E. P.; Barret, G. W. *Fundamentos de Ecologia*, tradução da 5ª edição americana, São Paulo: Cengage Learning, 2015.

Pagiola, S.; Agostini, P.; Gobbi, J.; de Haan, C.; Ibrahim, M.; *et al.* Paying for Biodiversity Conservation Services. *Mountain Research and Development*, 25(3), 206-211, 2005. doi: <[https://doi.org/10.1659/0276-4741\(2005\)025\[0206:pfbcs\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1659/0276-4741(2005)025[0206:pfbcs]2.0.co;2)>.

Pearce, D. W. *Economic Values and the Natural World*. London: Earthscan Publications Limited, 1993.

PMP-SC – Projeto de Monitoramento da Atividade Pesqueira no estado de Santa Catarina. Relatório Técnico BR 04042038/19. Vol. 05, 2018. Available on: <<http://pmap-sc.acad.univali.br/sistema.html?id=597b7b77d8597d4a00e6f9c1>>. Accessed on: mar. 2020.

PMP-SC – Projeto de Monitoramento da Atividade Pesqueira no estado de Santa Catarina. Relatório Técnico BR 04042043/19. Vol. 06, 2019. Available on: <<http://pmap-sc.acad.univali.br/sistema.html?id=597b7b77d8597d4a00e6f9c1>>. Accessed on: mar. 2020.

Raffaelli D. G.; Frid C. L. J. The evolution of ecosystem ecology. In: Raffaelli D. G.; Frid C. L. J. (Eds). *Ecosystem Ecology, A New Synthesis*. Cambridge University Press, 2010, p. 1-18. doi: <<https://doi.org/10.1017/CBO9780511750458.002>>.

Sandhu, H. S.; Wratten, S. D.; Cullen, R.; Case, B. The future of farming: The value of ecosystem services in conventional and organic arable land. An experimental approach. *Ecological economics*, 64 (4), 835-848, 2008. doi: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.05.007>>.

Sangha, K. K.; Stoeckl, N.; Crossman, N.; Costanza, R. A state-wide economic assessment of coastal and marine ecosystem services to inform sustainable development policies in the Northern Territory, Australia. *Marine Policy*, 107, 103595, 2019. doi:<<https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.103595>>.

Scherer, M. E.; Asmus, M. L. Ecosystem-based knowledge and management as a tool for integrated coastal and ocean management: a Brazilian initiative. *Journal of Coastal Research*, 75, 690-694, 2016. doi: <<https://doi.org/10.2112/SI75-138.1>>. Accessed on: dec. 2022.

Shimizu, J. Y. (Org.). *Pinus na Silvicultura Brasileira*. Colombo-Brasil: Embrapa Florestas, 2008. Available on: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/179582/1/Pinus-na-silvicultura-brasileira.pdf>>. Accessed on: mar. 2020.

Siegle, E.; Asp, N. E. Wave Refraction and Longshore Transport Patterns Along the Southern Santa Catarina Coast. *Brazilian Journal of Oceanography*, 55(2), 109-120, 2007. doi: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1679-87592007000200004>>.

Silva, M. H. Modelo de procedimento para elaboração de metodologia de valoração econômica de Impactos ambientais em bacias hidrográficas estudo de caso Guarapiranga. São Paulo, Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – USP, 2008. Available on: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-28032008-180244/publico/Dissertacao_Maria_Hercilia_2007_rev.pdf>.

Silveira, V. M. M. Proposta de estrutura analítica de base sistêmica para suporte ao planejamento e gestão ambiental. Porto Alegre, Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – UFRGS, 2019.

SMI – Secretaria Municipal de Infraestrutura de Florianópolis. Recuperação da Faixa de Areia da Praia de Canasvieiras, 0457/SMI/2019, 2019. Available on: <<http://obrasgov.pmf.sc.gov.br/obras-gov-map/#/map>>. Accessed on: nov. 2020.

Spalding, M.; Ruffo, S.; Lacambra, C.; Meliane, I. *et al.* The role of ecosystems in coastal protection: Adapting to climate change and coastal hazards. *Ocean & Coastal Management*, 90, 50-57, 2014. doi: <<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.09.007>>.

Syvitski, J. P. M.; Vörösmarty, C. J.; Kettner, A. J.; Green, P. Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean. *Science*, 308, 376–380, 2005. doi: <10.1126/science.1109454>.

UNEP – United Nations Environment Programme. Guidance Manual for the Valuation of Regulating Services. Nairobi-Kenya: Publishing Services Section, 2010. Available on: <<https://www.iwlearn.net/resolveuid/d171a5fb-59da-4b33-8ec6-826f0238541b>>. Accessed on: feb. 2020.

Vieira, C. V.; Felix, A.; Baptista, E. M. de C.; Horn Filho, N. H. Paleogeografia da Planície Costeira das Folhas Jaguaruna e Lagoa Garopaba do Sul, Litoral Sul do Estado de Santa Catarina – Brasil. *Geosul*, 24(47), 91-112, 2009. doi: <<https://doi.org/10.5007/2177-5230.2009v24n47p91>>.

Villwock, J. A.; Tomazelli, L. J. 1995. Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. *Notas Técnicas*, 8, 1-45.

CAPÍTULO III

3. Avaliação da Vulnerabilidade Costeira Local com Base em um Modelo Global: Estudo de Caso em Jaguaruna, SC, Brasil

Assessment of Local Coastal Vulnerability Based on a Global Model: A Case Study in Jaguaruna, SC, Brazil

Abstract:

Coastal vulnerability is the trend of the coast to respond negatively to hazards. the vulnerability to which the coastal zone of the municipality of Jaguaruna is exposed is linked to the propensity to suffer damage or loss to the action of erosion, flooding, and storm waves. The Jaguaruna shorefront was chosen because it has shown, over the years, an unplanned urban sprawl. regarding the population aspect, the study area is predominantly occupied in summer periods, characterized as a space for the construction of second residences. This problem made the environment especially vulnerable. Furthermore, the research becomes important as this study area is part of the right whale environmental protection area. to assess the most exposed locations, a multicriteria coastal vulnerability index was generated using the geometric average of biogeophysical variables and socioeconomic data of the area of interest. The results of the biogeophysical exposure index combined with the mean population distribution index allowed us to assess the coastal sectors that are most vulnerable to coastal hazards. the maximum value of coastal vulnerability was observed in Torneiro and high values in Campo Bom and some regions of Camacho. The results are effective to be used with the government, since the recognition of the most vulnerable sectors can contribute to the identification of priority areas for coastal management and even indicate areas that need a priority mitigation plan against extreme events. Furthermore, we reinforce that the human presence on the coasts of the world modifies the natural environment and contributes decisively to increasing coastal vulnerability.

Keywords: Coastal Vulnerability; Biogeophysical Index of Coastal Exposure, Socioeconomic Vulnerability Exposure Index, Coastal hazards; Right Whale Environmental Protection Area; GIS.

3.1. Introduction

Coastal vulnerability is the tendency of the coast to respond adversely to hazards (Gornitz, 1991). The understanding that a specific coastal community is more likely to be affected or damaged by an event or hazard is linked to one or more coastal risks (Arthurton, 2009). Hazards may disturb or harm the structures and ecosystems of the communities. Coastal hazards are phenomena that expose the coastal zone to the risk of damage or other adverse effects (Gornitz, 1991). While, structures, as socioeconomic aspects, and ecosystems support the environment. Thus, vulnerability can be decomposed into the level of exposure of the environment to a hazard added to the inherent sensitivity of the system, counterbalanced by its responsiveness and adaptive capacity (BID, 2010).

The management of coastal vulnerability in Brazil is a challenge due to the multiplicity of situations existing in this territory (Nicolodi and Pettermann, 2011). The littoral is 8,698 kilometers long, involving 395 municipalities covering approximately 535,000 km² (Scherer *et al.*, 2010). The most common problems in the coastal zone that contribute to vulnerability are: reduction of biodiversity, decrease in primary productivity, fragmentation of ecosystems, coastal erosion, water contamination and chemical contamination (Scherer *et al.*, 2010). As a consequence, we observe the deterioration of the coastal historical-cultural heritage, the loss of public heritage, and the limitation in the use of ecosystem services provided by the beaches. In southern Brazil, the Municipality of Jaguaruna shows different characteristics among the beaches that compose it and its exposure to active coastal processes. This area presented, over the years, an urban expansion without planning. We consider that Jaguaruna has characteristics that reflect the general situation of the Brazilian coasts.

This study aims to evaluate coastal vulnerability, focusing on the Municipality of Jaguaruna, Santa Catarina. We have adapted global CVI indices to biogeophysical exposure to an area of smaller amplitude, with the possibility of being applied in other coasts of the world that are deprived of data. This approach allows replication to other coasts of Brazil and the world because it is based on data obtained indirectly and the index was calculated through multi-criteria analysis. To remain close to reality, qualitative and quantitative descriptors acting on the shoreline and long-term erosion trends were considered. In addition, the adoption of socioeconomic factors was proposed to complement the CVI index.

The results indicate the coast segment that presents higher coastal vulnerability is Balneário Torneiro, the southernmost sector, where is a convergence of a strong presence of biogeophysical factors and socioeconomic exposure. Therefore, the anthropic presence, responsible for modifying the environment, interferes in the final index of coastal vulnerability. The biogeophysical exposition, without the socioeconomic components, reveals only how the environment behaves in the face of the nature forces.

3.2. Methodology

3.2.1. Study Area

Coastal vulnerability in Brazil has been studied at different scales. For macroscale, the vulnerability study in its environmental, social, and technological aspects by Nicolodi and Pettermann (2011) are highlighted. And for the State of Santa Catarina, the work of Serafim *et al.* (2019) contributes to the understanding of this issue. The current study was developed on the shorefront zone of Jaguaruna, Region of South Central, State of Santa Catarina, southern Brazil (Fig. 3.1).

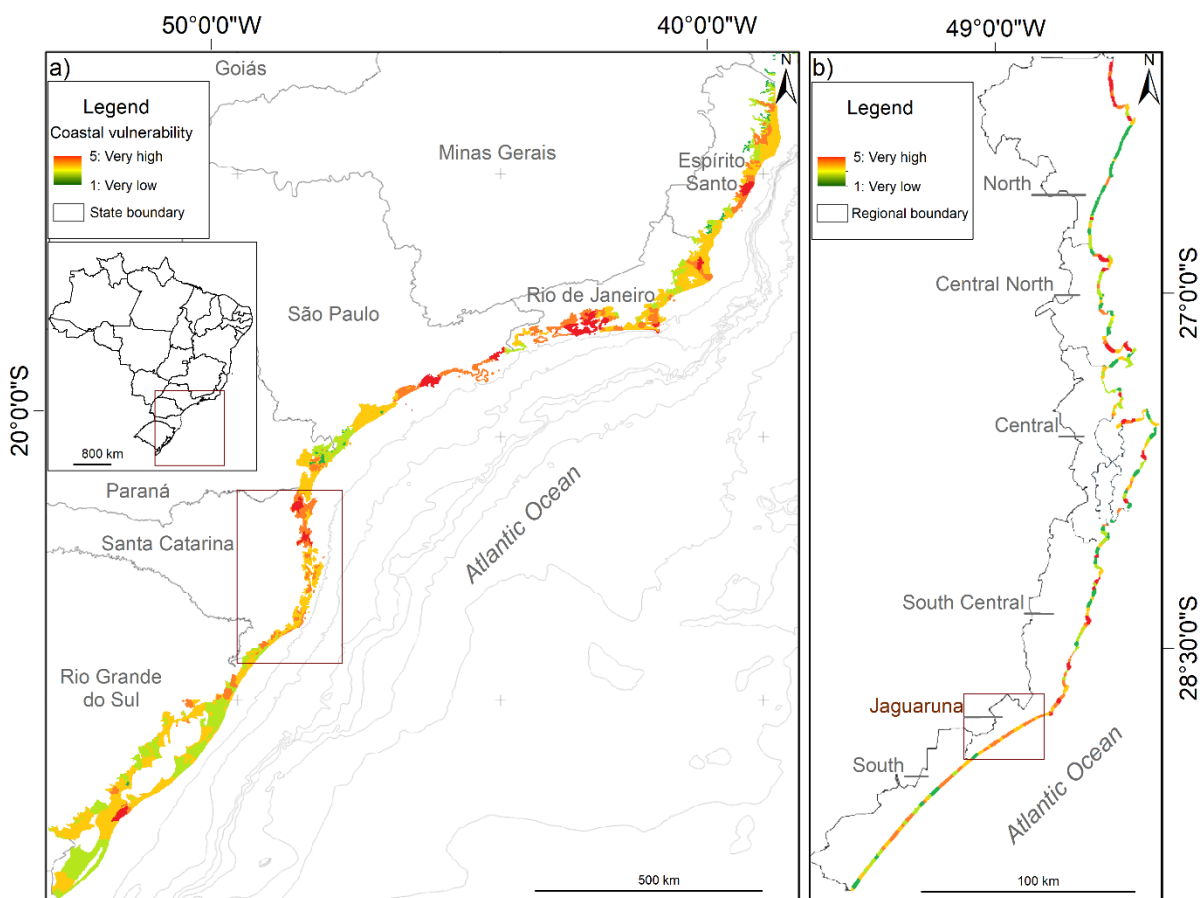


Figure 3.1. Graphical representation of the vulnerability along Brazil and State of Santa Catarina. Adapted from Nicolodi and Petermann (2011) and Serafim *et al.* (2019).

This municipality is located south of Cabo de Santa Marta (Santa Marta Cape). From this geographic feature, there is a change towards the coast. The orientation is now aligned to the northeast-southwest axis. The coastal segment covers about 38 km, divided into eight main beaches, and is part of the Área de Proteção Ambiental da Baleia Franca (Southern Right Whale Environmental Protection Area) (APABF) (Fig. 3.1).

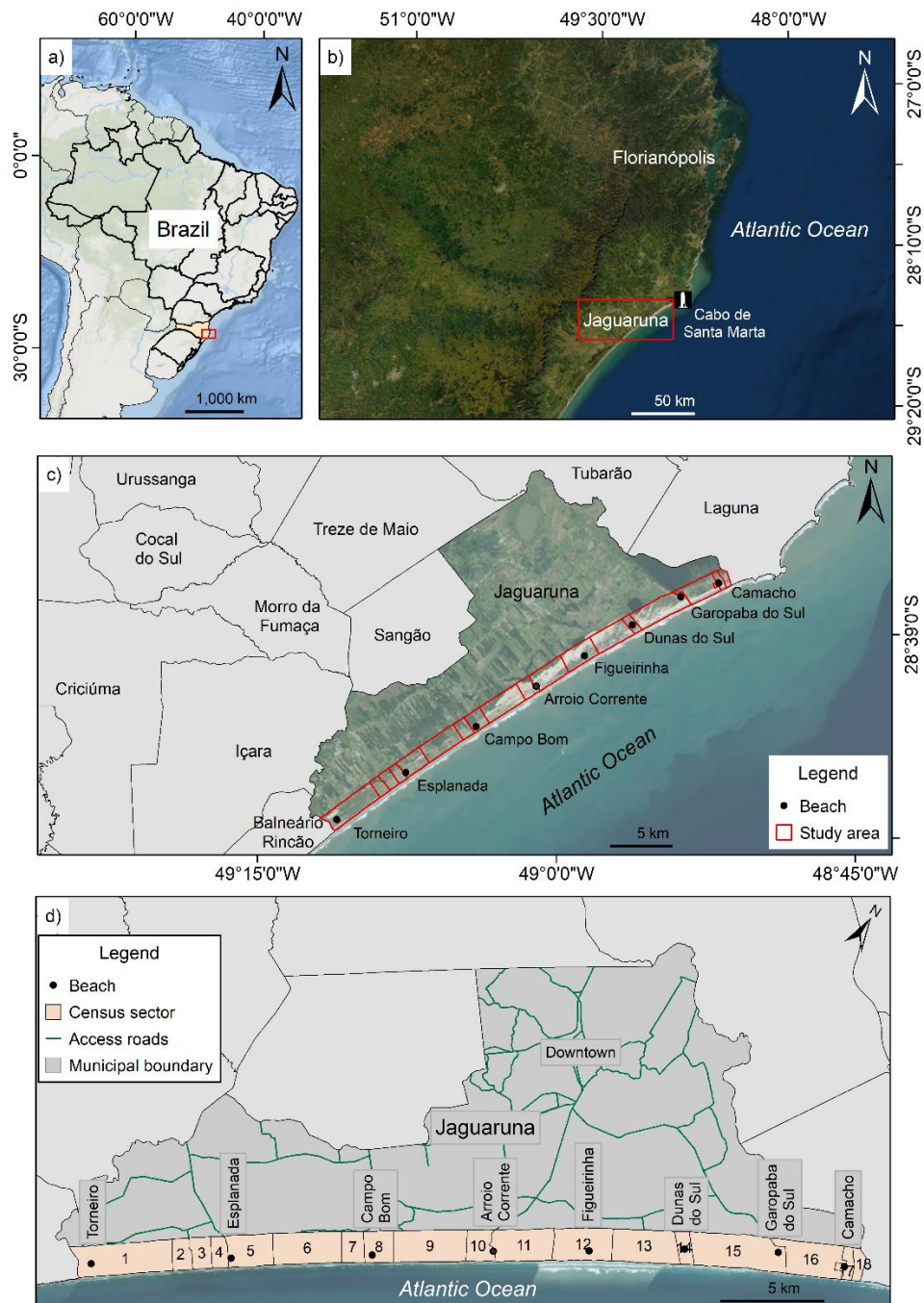


Figure 3.2. Location of the Municipality of Jaguaruna (c), Region of South Central, State of Santa Catarina (b), southern Brazil (a). The points indicate the main beaches the studied coastal segment. Background layer credits: Ersi, Maxar, GeoEye, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, 2022.

The climate is of the warm temperate type, without dry season (Alvares *et al.*, 2013). Rainfall is well distributed throughout the year, with average annual rainfall between 1,460 and 1,820 mm (SPG, 2010). The wind regime and wave dynamics vary throughout the year. From October to March, occur east and northeast winds and waves from the east quadrant. While from April to September, prevailing winds are from southwest to northeast. Dominant waves are from the southern quadrant (Nobre *et al.*, 1986; Nimer, 1989; Araujo *et al.*, 2003). The maximum northward coastal drift is observed in autumn. The drift in spring, in turn, is southward-directed. In total terms, predominates annual drift to the south (Siegle and Asp, 2007).

Regarding astronomical tides, the observed regime is a mixed semidiurnal microtide with approximately 0.6 m (Araujo *et al.*, 2003). In addition, the most expressive tides are meteorological, with an amplitude of about 1 m (Giannini, 1993). The geological context is represented by the coastal sector that emerged from the Pelotas Basin (Dillenburg and Barboza, 2014). This sector is morphologically characterized by sandy coastal barriers and lagoons behind it (Fernandez *et al.*, 2019).

Concerning the population aspect, it has a total estimated population of 20,547 inhabitants (IBGE, 2022). When considering only the census sectors of the study area, this number decreases to 7161 inhabitants, approximately 35% of the total. Thus, it is representative when compared to the 28% of the population of Santa Catarina that inhabits the municipalities considered coastal by the legislation (IBGEa, 2011).

3.2.2. Data Structure and Information Sources

Territorial limits: The file with the territorial limits of the area of interest was created based on the polygonal vector of municipalities in Brazil from the Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Brazilian Institute of Geography and Statistics) (IBGE, 2022). From it, a file of points with spacing of 30 meters in between them was created along the entire coastline of the study area.

Wave, wind and surge: The global dataset developed by National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) and National Centers for Environmental Predictions (NCEP) was used to calculate the wave, wind, and potential of storm events. These data were generated worldwide by collecting over 8 years (Tolman, 2009).

For the relief analysis, the bathymetry raster file was created by the authors by interpolation based on information obtained from General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO) and Department of Hydrography and Navigation (DHN), nautical

chart number 21080, scale 1:1 000 000 (GEBCO, 2020; DHN, 2021). In addition, altimetry data obtained from the SRTM digital elevation model was used. Its spatial resolution is 30 m, published on 09/23/2014, and obtained from the United States Geological Survey (USGS) (Farr and Kobrick, 2000).

Long-term erosion trend: Long-term erosion trend information was classified manually. The classification scale adopted was based on Leal and Barboza (2017) for Torneiro; Becker *et al.* (2021) for Esplanada; Oliveira (2016) for Campo Bom; Soccol (2015) for Arroio Corrente; Oliveira (2019) for Figueirinha and Garopaba do Sul; Martinho (2006) for Dunas do Sul and Martins (2014) for Camacho.

Land cover and habitats mapping: The land cover and habitats mapping was generated for seven classes for the year of 2020. Training data were obtained through the interpretation of satellite images in the Google Earth Engine and field verifications. In total, 1500 points were collected in Landsat 8 satellite images, with cloud cover less than 10%. After that, the Kappa Coefficient was generated for validation of the model. Mapping of land use and habitats should have good accuracy (Winkler *et al.*, 2021) and the Kappa Coefficient (KC) is one of the methods used to compare results from different classifications. The KC uses confusion matrices for error and accuracy analysis. The KC result is considered acceptable when it is above 0.7 (Congalton and Green, 2020). Based on the mapped classes, it was considered that the habitats provided by the dune fields and native vegetation offered coastal protection values of 100 and 150 m, respectively.

Socioeconomic variables: The socioeconomic variables were obtained from the “Relatório Base de Informações do Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo por Setor Censitário” (Information Base Report of 2010 Demographic Census: Universe results by census sector) published by IBGE, concerning to the 2010 census collection, which had as reference the date of July 31, 2010 (IBGE, 2011b). The lowest sectoral level of data made available by the IBGE refers to the unit called “census sector”, which is the area covered by a single census employer for data collection (IBGE, 2011b). The following indicators were considered representative for the preparation of the socioeconomic exposure index:

Resident population: A resident person is one who has his domicile as his habitual place of residence and who, on the reference date, was present or absent for a period not exceeding 12 months in relation to that date, for one of the following reasons: travel, accommodation in another domicile for the purpose of attending school

or university, detention without a definitive sentence declared, temporary admission to a hospital or similar establishment or embarkation on service (IBGE, 2011b).

Per capita income less than 1 minimum wage: Residents in permanent private households with monthly per capita income less than 1 minimum wage.

Most vulnerable part of the population: People over 60 years old and children under 14 years old.

Open sewer: Households that are located on streets where there is a ditch, stream, or body of water where domestic sewage is usually released; or ditch, through which open-air domestic sewage flowed on the surface (IBGE, 2011b).

3.2.3. Biogeophysical Index of Coastal Exposure (BICE)

Based on the aforementioned variables, an exposure index was created to assess the importance of biogeophysical variables in the composition of coastal vulnerability using the InVEST package for coastal vulnerability analyses. This index evaluated the response of the shoreline when exposed to coastal hazards. These descriptors were individually classified in degrees of vulnerability from (1) very low to (5) very high and were inserted into an attribute table within the geographic information system (GIS).

The model calculated the exposure index for each point on the coast as the geometric mean of all variable classifications, which can be described as the equation (3.1). Where, BICE is the Biogeophysical Index of Exposure Index, n is the Number of variables, and R_i is representing the biogeophysical variable.

$$BICE = \left(\prod_{i=1}^n R_i \right)^{1/n} \quad (3.1)$$

From this information, the model provided output files in vector format that overlapped the analyzed coastline with a spacing of 30 m. The output files contain numerical indices and classifications of the input variables that were used to create the result maps.

3.2.4. Socioeconomic Exposure Index (SEI)

The indicators of (a) resident population, (b) per capita income less than 1 minimum wage, (c) vulnerable part of the population, (d) open sewer and (e) total

number of residences were used as input data for the Socioeconomic Exposure Index (SEI).

Considering that the IBGE data collection areas, called census sectors, present differences in terms of spatial coverage and the number of total residences, the direct comparison between the sectors increases the degree of uncertainty. Therefore, indicators (a), (b), (c) and (d) were divided by parameter (e) to make them comparable to each other.

Each indicator was weighted from 1 to 5, with 1 referring to very high adaptive capacity, 2 to high, 3 to medium, 4 to high and 5 to very low adaptive capacity. The ranking of indicators was determined by dividing the values into four equal parts (Gornitz *et al.* 1991).

Finally, to calculate the SEI, different weights were assigned to the indicators, according to weighted geometric mean, equation (3.2).

$$SEI = \left(\prod_{i=1}^n S_i^{W_i} \right)^{1/\sum_{i=1}^n W_i} \quad (3.2)$$

Where S is socioeconomic variables and W_i weights, that were determined according to the expert opinion methodology as: $W_{a/e}$ equal 3.5, $W_{b/e}$ equal 2.0, $W_{c/e}$ equal 1.0 and $W_{d/e}$ equal 3.5.

The processed data were transferred to the grid of the census sectors provided by the IBGE (IBGE, 2010), considering only the sectors facing the sea.

3.2.5. Coastal Vulnerability Index (CVI)

We rely on the same methodology used in the global index InVEST (Sharp *et al.*, 2020) to determine the Biogeophysical Index of Coastal Exposure (BICE) for our study area. For the analysis of the Socioeconomic Exposure Index (SEI), we used social indicators collected by the IBGE (2010) for the municipal census sectors. The coastal vulnerability index is the result of the arithmetic mean between the BICE and SEI, according to equation (3.3). Where, CVI is the Coastal Vulnerability Index, BICE is the Biogeophysical Index of Coastal Exposure, and SEI is Socioeconomic Exposure Index.

$$CVI = \frac{BICE + SEI}{2} \quad (3.3)$$

3.2.6. Simplifications and Limitations

The main simplification refers to the calculation performed by the model, since it considers the processes through the geometric mean of six variables obtained indirectly for the biogeophysical exposure index. The calculation of exposure to wind and waves has been simplified and may not represent the impacts of extreme events in their entirety (Sharp *et al.*, 2020).

Another important restriction is that the model does not consider the specific coastal processes of small coastal segments. Thus, its use is recommended for coastal strips of greater proportions. However, this was not a problem for Jaguaruna as it is a municipality with a large shoreline. Therefore, it is not recommended that the model results be used as the only tool to quantify exposure to erosion and flooding for a beach with a few kilometers in length.

3.3. Results and Discussions

3.3.1. Biogeophysical Index of Coastal Exposure (BICE)

This index assigns the biogeophysical exposure of the environment to be affected by critical phenomena due to natural conditions. The average of values obtained for the Biogeophysical Index of Coastal Exposure Index (BICE) was 3.15 and the standard deviation was 0.65, which confers an intermediate exposure if the data are analyzed for the entire study area. The indicator that presented the most variation among those analyzed was the relief. The highest of BICE values were observed in the stretches between the south of Garopaba do Sul and Figueirinha, as well as from the central region of Esplanada to the municipal boundary with Balneário Rincão (Figure 3.3a).

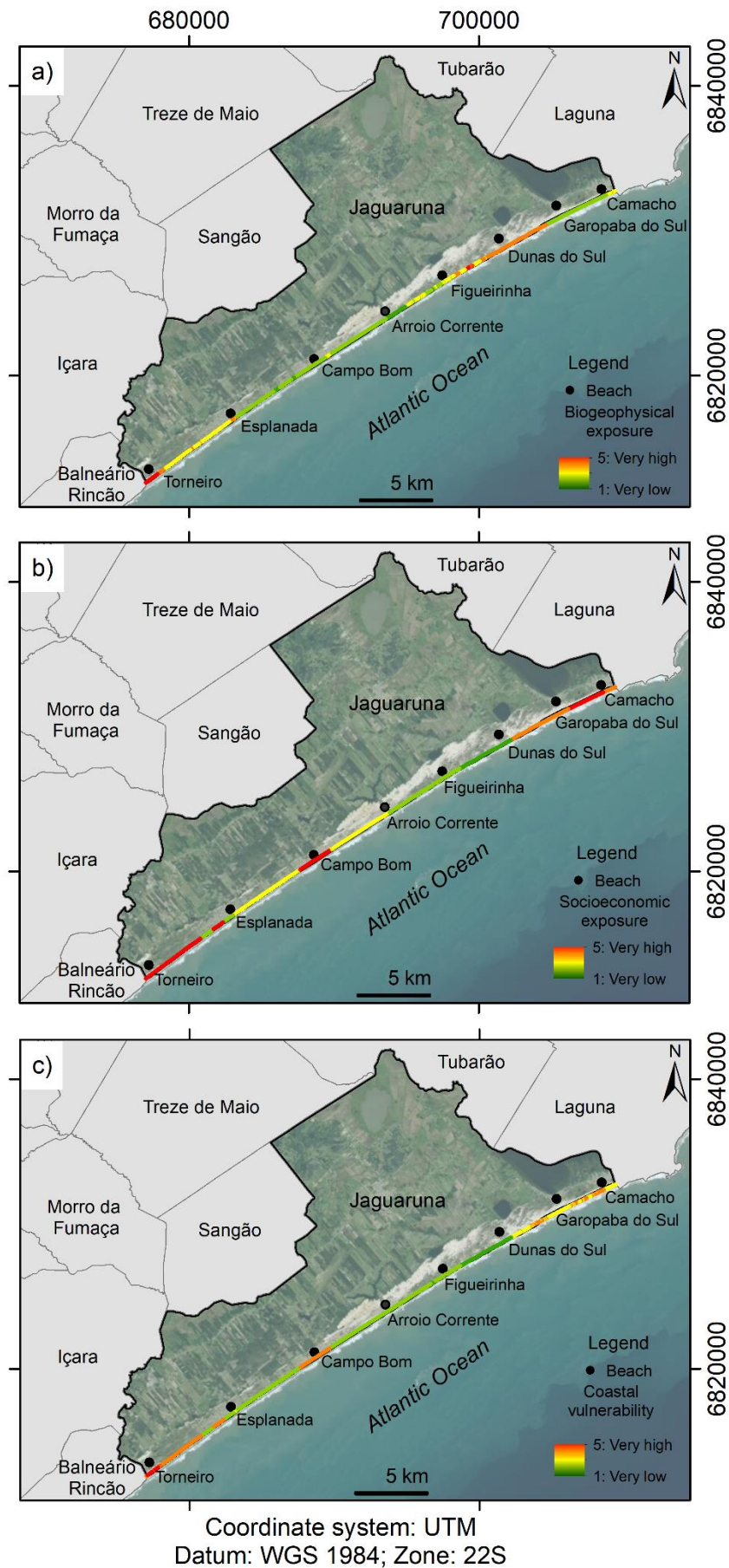


Figure 3.3 Models of a) biogeophysical exposure, b) socioeconomic exposure and c) coastal vulnerability along the beaches of Jaguaruna/SC.

The relief analysis combined with the land cover and habitats mapping showed the presence of a well-developed dune field, between the north of Esplanada and the south of Figueirinha, very close to the waterline. These depositional features are responsible for reducing the vulnerability values behind the dune fields, since the dunes provide protection against the impacts of extreme events, if analyzed without the presence of the population. In the opposite, it was observed lands that have lower altimetry, or where the dune field is less developed, correspond to the most vulnerable areas. In this case, are the localities 1 and 2 (Torneiro) and 13 to 18 (Dunas do Sul, Garopaba do Sul and Camacho).

In sequence, the variable that caused other important variation in exposure was surge. Storm surge is caused by wind speed and direction and the amount of time wind blows over relatively shallow areas (Sharp *et al.*, 2020). Usually, the longer is the distance between the coastline and the edge of the continental shelf during a storm, the higher the storm comes. The sectors most exposed to surge action are 1 (Torneiro) with exposure levels 5 and the sectors 2 - 9 (region between the south of Esplanada and Campo Bom) with level 4. This occurs due to wave energy focus as they approach the coast and find the “Lage de Campo Bom” (Oliveira, 2019), a rocky feature still little studied, which is submerged in front of the cost of Campo Bom and distances itself about 8 km from the beach.

Another indicator with considerable variation concerns the long-term erosion trend. A literature review demonstrates different behaviors of the Holocene barrier between the sectors studied and the value of its exposure index. For Torneiro, Esplanada and Campo Bom the barrier is regressive (Leal and Barboza, 2017; Becker *et al.*, 2021; Oliveira, 2016), having minimum exposure value. In opposition, the segments of Arroio Corrente, Dunas do Sul, Figueirinha, Garopaba do Sul and Camacho showed transgressive behavior of the coastline (Soccol, 2015; Martinho, 2006; Oliveira, 2019; Martins, 2014), and then the maximum exposure value was assigned.

Regarding the indicators with less variability, we detected natural habitats, wave, and wind. The relative role of natural habitats in reducing exposure was analyzed from the results of a thematic map of land cover and habitats was generated for 2020 being categorized into 7 classes: water bodies; urban areas; sand beach; dune fields; agriculture and animal husbandry; native vegetation; and exotic vegetation.

The obtained Kappa Coefficient for the mapping was 0.9453, which is considered acceptable. The results showed that the habitats provided by the dunes and natural vegetation contributed to decrease the average exposure of the coast by 0.26, on a scale of 1 to 5. The protection provided by the dune habitat is related to the relief, prevailing in the higher altitude regions (Esplanada - Figueirinha). The natural vegetation in this area is formed predominantly by herbaceous and shrub formations (Klein, 1978), which means that the degree of protection offered by this habitat is lower than that offered by the dunes.

Finally, the wave and wind indicators showed that the coast of Jaguaruna is exposed to high energy dynamics (Gruber *et al.*, 2017a), with its exposure classified between 4 and 5 for all coastal sectors. Thus, wave and wind are not responsible for altering the index, as they remain practically constant throughout the entire segment.

3.3.2. Socioeconomic Exposure Index (SEI)

The Socioeconomic Exposure Index (SEI) reflects the adaptive capacity of a region. The adaptive capacity is the reflection of social and economic conditions that allow the population to adapt and develop to overcome the impacts caused by a hazard (UNISDR, 2009). Thus, a high index of socioeconomic exposure means a low adaptive capacity. The values for the SEI were the average of 3.31 and the standard deviation of 0.59, which means that if analyzed together, the coastline have an intermediate adaptive capacity. The open sewer indicator was the one that most contributed to the increase in the standard deviation, since its variation range per household was very high. The sectors that show less adaptive capacity, and thus leave the population more exposed to an extreme event, are sector 8, which belongs to Campo Bom and 1 that forms part of Torneiro. Otherwise, the sectors that are more resilient in the face of coastal risk are 13 and 14. These sectors are part of a region between the beaches of Figueirinha and Dunas do Sul (Figure 3.3b).

To better understand these differences between sectors, the values of socioeconomic variables of the Information Base Report of 2010 Demographic Census, as well as the division between these variables by the number of domiciles are presented in the Table 3.1. Figure 3.4 shows the distribution of these variables along the study area.

The analysis of socioeconomic indicators makes it possible to obtain knowledge of the adaptive capacity of these populations in the face of extreme events, as they indicate the number of residents per household, the most vulnerable population, the

services available and per capita income. In this way, it is also possible to measure the social well-being of this population.

Table 3.1. Socioeconomic variables by Information Base Report of 2010 Demographic Census and Socioeconomic variables by total number of residences. The indicators are (a) resident population, (b) per capita income of up to 1 minimum wage, (c) vulnerable part of the population, (d) open sewage and (e) total number of residences.

Census Sector	Socioeconomic variables by Information Base Report of 2010's Demographic Census				Socioeconomic variables by total number of households				
	a	b	c	d	e	a/e	b/e	c/e	d/e
0	69	134	0	337	112	0.62	1.20	0.00	3.01
1	41	83	0	210	89	0.46	0.93	0.00	2.36
2	21	63	0	116	40	0.53	1.58	0.00	2.90
3	25	58	0	140	59	0.42	0.98	0.00	2.37
4	30	72	0	200	71	0.42	1.01	0.00	2.82
5	40	75	12	217	88	0.45	0.85	0.14	2.47
6	34	65	5	182	64	0.53	1.02	0.08	2.84
7	60	116	16	335	113	0.53	1.03	0.14	2.96
8	39	81	3	222	89	0.44	0.91	0.03	2.49
9	16	50	0	143	47	0.34	1.06	0.00	3.04
10	22	47	0	136	52	0.42	0.90	0.00	2.62
11	14	23	0	70	30	0.47	0.77	0.00	2.33
12	55	87	0	231	86	0.64	1.01	0.00	2.69
13	94	208	7	515	180	0.52	1.16	0.04	2.86
14	69	123	0	351	125	0.55	0.98	0.00	2.81
15	86	163	0	477	164	0.52	0.99	0.00	2.91

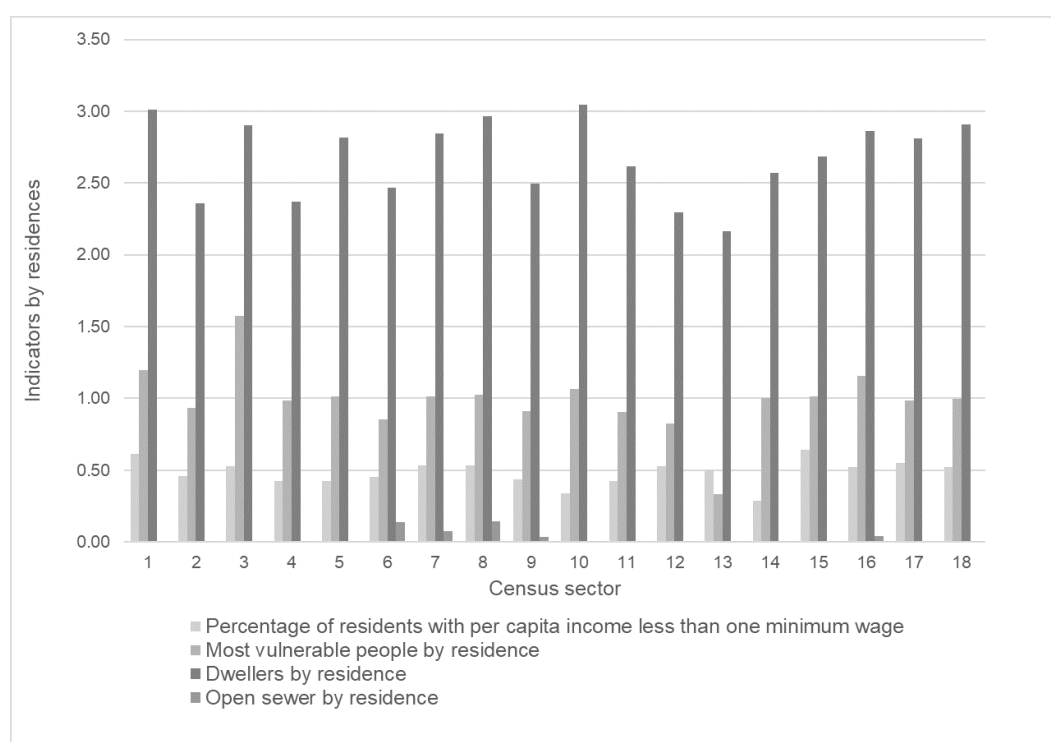


Figure 3.4. Graphical representation of socioeconomic variables by Information Base Report of 2010 Demographic Census and Socioeconomic variables by total number of residences.

The participation of the resident population in the adaptive capacity of a system is analyzed from the point of view of numerous residents results in a great potential for exposure of this population in the event of erosive events or flooding (McLaughlin *et al.*, 2002). In this sense, it is observed that the population is heterogeneously distributed along the census sectors (Fig. 3.5), predominantly concentrated in sectors 16, 17 and 18, which are part of Camacho; 7 and 8, which belong to Campo Bom, in the central region; 2 and 4, that compose Esplanade region. These regions coincide with the main access roads to the beach, departing from the downtown of the municipality of Jaguaruna. The population density in these sectors exceeds 100 inhabitants/km², which is above the state average of 65.29 inhabitants/km² (IBGE, 2011).

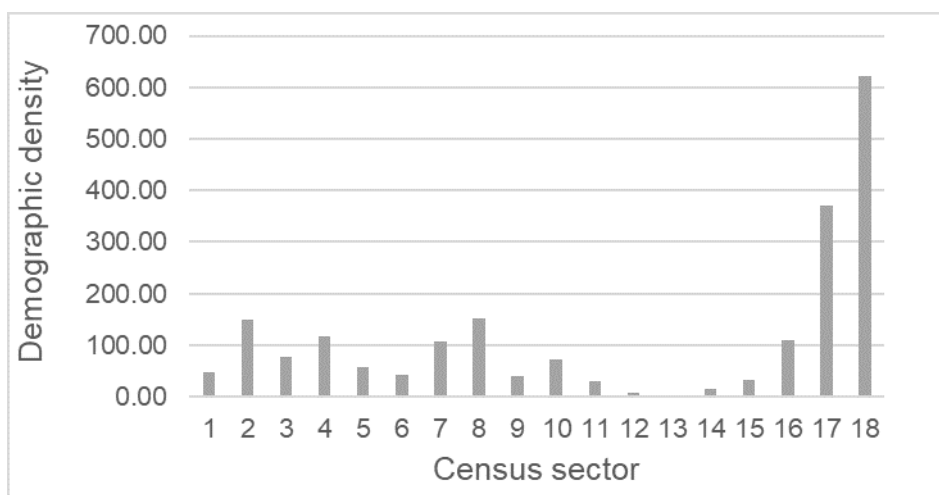


Figure 3.5. Demographic density by census sector in Jaguaruna/SC (IBGE, 2010).

Furthermore, the number of households along the census sector is not uniform, with an average of 78.28 and a standard deviation of 48.77, while the distribution of residents per household is quite homogeneous along the coastal beaches of Jaguaruna, with an average of 2.68 residents and standard deviation of 0.27 (Table 1). According to IBGE (2010), each domicile in the state of Santa Catarina has an average of 3.0 residents. In 2005, this number was 3.2 residents per household in the state, which shows that the number has been decreasing since then.

Regarding income, it is related to the economic aspect in terms of the construction standard and to the eventual need for renovation, reconstruction of houses or the insertion of new protective structures against erosion and flooding impacts. The lower the per capita income of residents, the less capacity they have for building restructuring. About this indicator, sectors 1 (Torreio) and 15 (Garopaba do Sul) have the lowest income. In sector 1, 62% of the residents answered that they

receive less than 1 minimum wage, and in sector 15, 64%. In contrast, sector 10 (Arroio Corrente) and 14 (Dunas do Sul) have respectively 34% and 29% of residents earning less than 1 minimum wage.

The indicator of most vulnerable part of the population counted the total number of residents aged 60 or over and children under 14 years of age, as this population is considered to be more predisposed to dangers resulting from an extreme event for having more difficulty reacting. On this point, census sector 3, next to Esplanada, has 54% of the residents of the household at a vulnerable age, while sector 13 (region between Figueirinha and Dunas do Sul) has only 15% of its residents in the highest risk range.

The last indicator considered the number of residences with open sewers, since the problems resulting from the lack of basic sanitation affect the health, economy, productivity of residents, in addition to being a risk factor in the event of floods. Of the 18 census sectors, 5 had households with open sewage, which contributed negatively to the adaptive capacity. The most expressive numbers were found in sectors 8 (Campo Bom) and 6 (surroundings of Campo Bom), both corresponding to 14% of households with open sewage.

3.3.3. Coastal Vulnerability

The sectors north of Esplanada, Campo Bom, Arroio Corrente, Garopaba do Sul and south of Camacho regarding the biogeophysical exposure were not vulnerable. The presence of the population and their socioeconomic aspects, however, had a great influence on raising the levels of coastal vulnerability, as observed in Torneiro, Campo Bom, and Camacho. The joint analysis of the indices results in maximum coastal vulnerability (CV) in Torneiro, where is a convergence of a strong presence of biogeophysical factors and socioeconomic exposure. Torneiro is one of the few areas in Jaguaruna that is still in an early stage of human occupation. According to Leal (2016), despite this incipient occupation, the few existing human settlements occur in inappropriate places, which increases the level of socioeconomic exposure and contributes decisively to the high rate of coastal vulnerability observed.

High CV occurs in Campo Bom and some regions of Camacho (Figure 3.3c). In the case of Campo Bom, Gruber *et al.* (2017b) describe that urbanized region are in direct contact and get in the way of the natural migration path of local dune fields. Thus, the migration of dunes towards some urbanization areas occurs. In addition, the authors point out there are constructions on the foredunes, and in some cases where

there are no foredunes, the tide reaches the anthropogenic structures (Gruber *et al.*, 2017a). Buildings at the rear of the beach are quite vulnerable to the action of storm waves (Gruber *et al.*, 2017b). Concerning Camacho, Gruber *et al.*, (2017c) and Martins (2014) had already pointed out the risks of coastal erosion and potential loss of human infrastructure, as well as risks of burial, marine flooding and waterlogging, due to the biogeophysical conditions of the region.

Other studies developed for other sectors of the Brazilian coastline in the last 10 years support the need to consider socioeconomic factors when investigating the coastal vulnerability of a region, such as by Nicolodi and Pettermann (2011), Pavan (2012), Lins-de-Barros and Muehe (2013), Scolaro (2013), Serafim and Bonetti (2017), Mussi *et al.* (2018), and Serafim *et al.* (2019). The renowned global indices, although, focus on basing coastal vulnerability solely on biogeophysical variables, such as Gornitz (1991), Cooper and McLaughlin (1998), Teller and Hammar-Klose (1999), Hammar-Klose and Thieler (2001). In this case, the main advantages are the ease of obtaining the variables needed for the calculation, which makes it possible to apply it in most regions of the world.

3.4. Final Considerations

In this study the analysis of the Biogeophysical Index of Coastal Exposure (BICE) combined with the Socioeconomic Exposure Index (SEI) showed the importance of joint indexes to determine coastal vulnerability (CV). For Brazilian coast, the results of many authors corroborate the importance of considering social components in the analysis of coastal vulnerability. This occurs that, the human presence is responsible for modifying the natural environment and contributes decisively to increasing CV. Thus, when population and economic resources are not located in potentially hazardous zones, no loss of life and infrastructure, despite the environment being exposed biogeophysically.

Likewise, the use of a global index, with biogeophysical data obtained indirectly and that does not consider socioeconomic variables is useful for local regions lacking data. This application is important because it allows those locations to have their exposure calculated. In addition, the application of a global biogeophysical index proved to be satisfactory for a regional study. Hence, it is possible to plan urban occupation so that it does not coincide with places that are likely to be affected by extreme events.

These results are effective to be used with the municipality government, since the recognition of the most vulnerable sectors in Jaguaruna can contribute to the identification of priority areas for coastal management and even indicate sectors that need a priority mitigation plan against extreme events. The comprehension of what have happened so far regarding coastal vulnerability, gives us elements not only to plan in accordance with the current vulnerability of the coast, but to recognize and include new features and drivers, like socioeconomic aspects in the modeling process.

Acknowledgments

Giuliana Andréia Sfreddo thanks CNPq for funding this research. Special thanks to Léo Hartmann for the knowledge, patient and motivation provided in the elaboration of this article.

Funding

This research was funded by Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) of Brazil, grant number 141344/2017-2 to Giuliana Andréia Sfreddo.

References

Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., De Moraes-Gonçalves, J.L., Sparovek, G., 2013. Köppen's Climate Classification Map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*. 22 (6), 711-728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

Araujo, C.E.S., Franco, D., Melo, E., Pimenta, F., 2003. Wave Regime Characteristics of the Southern Brazilian Coast. *Proceedings of the Sixth International Conference Coastal and Port Engineering in Developing Countries*, 97, 1-15.

Arthurton, R., 2009. Hazard awareness and risk mitigation in integrated coastal management. *Intergovernmental Oceanographic Commission, Manuals and Guides*, 50, ICAM Dossier, 5, 1-143. <https://doi.org/10.25607/OBP-1441>.

Becker, C., Barboza, E.G., Martins, E.M., 2021. Uma visão política-administrativa e morfológica dos balneários Esplanada e Campo Bom do Município de Jaguaruna, SC. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 22 (4). <https://doi.org/10.20502/rbg.v22i4.1806>.

BID, 2010. Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático, Diagnóstico inicial, avances, vacíos y potenciales líneas de acción en Mesoamérica. Unidad de Energía Sostenible y Cambio Climático, Departamento de Infraestructura y Medio Ambiente. *Notas técnicas #IDB-TN-144*. Banco Interamericano de Desarrollo, Washington. [https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Vulnerabilidad-y-adaptación-al-cambio-climatico-Diagnóstico-inicial-avances-vacíos-y-potenciales-líneas-de-acción-en-Mesoamérica-\(Anexos\).pdf](https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Vulnerabilidad-y-adaptación-al-cambio-climatico-Diagnóstico-inicial-avances-vacíos-y-potenciales-líneas-de-acción-en-Mesoamérica-(Anexos).pdf)

Cardona, O.D., Van Aalst, M.K., Birkmann, J., Fordham, M., McGregor, G., Perez, R., Pulwarty, R.S., Schipper, E.L.F., Sinh, B.T., 2012. Determinants of risk: exposure and vulnerability, in: Field, C.B., Barros, V., Stocker, T.F., Dahe, Q., Dokken, D.J., Ebi, K.L., Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Plattner, G-K., Allen, S.K., Tignor, M., Midgley, P.M. (Eds.), *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: special report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press. Cambridge and New York, pp. 65-108. <https://www.ipcc.ch/report/managing-the-risks-of-extreme-events-and-disasters-to-advance-climate-change-adaptation/>.

Congalton, R.G., Green, K., 2020. *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data Principles and Practices*, 3rd ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 53, ISBN 9788578110796.

Cooper, J.A.G., McLaughlin, S., 1998. Contemporary multidisciplinary approaches to coastal classification and environmental risk analysis. *Journal of Coastal Research*, 14 (2), 512-524. <http://www.jstor.org/stable/4298806>.

Dillenburg, S.R., Barboza, E.G., 2014. The Strike-Fed Sandy Coast of Southern Brazil, in: Martini, I. P., Wanless, H.R. (Eds.), *Sedimentary Coastal Zones from High to Low Latitudes: Similarities and Differences*. Geological Society of London, Special Publications, 388, pp. 333-352. <https://doi.org/10.1144/SP388.16>.

Farr, T.G., Kobrick, M., 2000. Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 81 (48), 583-585. <https://doi.org/10.1029/EO081i048p00583>.

Fernandez, G.B., Rocha, T.B., Barboza, E.G., Dillenburg, S.R., Rosa, M.L.C.C., Angulo, R.J., Souza, M.C., Oliveira, L.H.S., Dominguez, J.M.L., 2019. Natural Landscapes Along Brazilian Coastline, in: Salgado, A.A.R., Santos, L.J.C., Paisani, J.C. (Eds.), *The Physical Geography of Brazil. Geography of the Physical Environment*. Springer, Cham, pp. 199-218. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04333-9_10.

Giannini, P.C.F., 1993. *Sistemas deposicionais no quaternário costeiro entre Jaguaruna e Imbituba, SC*. Doctoral thesis, Universidade de São Paulo, São Paulo. <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44136/tde-11032013-133424/pt-br.php>

Gornitz V., 1991. Global coastal hazards from future sea level rise. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 89 (4), 379-398. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(91\)90173-O](https://doi.org/10.1016/0031-0182(91)90173-O).

Gruber, N.L.S., Barboza, E.G., Martins, M.E., Prestes, L.D., Cristiano, S.C., *et al.*, 2017c. *Diagnóstico e Plano de Manejo das Dunas Frontais do Município de Jaguaruna: Balneário Camacho – Dunas Interiores*. 1ª Ed. V. 2. Porto Alegre: UFRGS, Technical Report.

Gruber, N.L.S., Barboza, E.G., Portz, L.C., Strohaecker, T.M., *et al.*, 2017b. *Diagnóstico e Plano de Manejo das Dunas Frontais do Município de Jaguaruna: Índice de Criticidade Legal – Ambiental*. 1ª Ed. V. 3. Porto Alegre: UFRGS, Technical Report.

Gruber, N.L.S.; Barboza, E.G., Portz, L.C., Strohaecker, T.M., *et al.*, 2017a *Diagnóstico e Plano de Manejo das Dunas Frontais do Município de Jaguaruna: Orla Marítima: morfodinâmica e aspectos ecológicos do sistema eólico-praial*. 2ª Ed. V. 2. Porto Alegre: UFRGS, Technical Report.

www.bibliotecadigital.ufrgs.br/da.php?nrb=001065735&loc=2018&arq=2&l=ff43bb3e-dead8309.

Hammar-Klose, E.S. and Thieler, E.R., 2001. 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 DDS-68. <https://doi.org/10.3133/ds68>.

IBGE, 2010. Malha de Setores Censitários do Censo 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria de Geociências, Rio de Janeiro. <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/26565-malhas-de-setores-censitarios-divisoes-intramunicipais.html?=&t=downloads>.

IBGE, 2011a. Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria de Geociências, Rio de Janeiro. <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv55263.pdf>.

IBGE, 2011b. Base de informações do Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo por setor censitário. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Centro de Documentação e Disseminação de Informações, Rio de Janeiro. <https://censo2010.ibge.gov.br/resultados.html>.

IBGE, 2022. IBGE Cidades e Estados, Jaguaruna, Santa Catarina. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/jaguaruna>.

Leal, R.A., Barboza, E.G., 2017. Caracterização geológica, geomorfológica e evolutiva holocênica do litoral sul de Jaguaruna, SC, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 44 (3), 417–430. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.83265>.

Lins-de-Barros, F.M., Muehe, D., 2013. The smartline approach to coastal vulnerability and social risk assessment applied to a segment of the east coast of Rio de Janeiro State, Brazil. *Journal of coastal conservation*, 17(2), 211-223. <https://doi.org/10.1007/s11852-011-0175-y>.

Martinho, C.T., Giannini, P.C.F., Sawakuchi, A.O., Hesp, P.A., 2006. Morphological and Depositional Facies of Transgressive Dunefields in the Imbituba - Jaguaruna Region, Santa Catarina State, Southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI 39, 673-677. <https://www.jstor.org/stable/25741662>.

Martins, E.M., Oliveira, J.F.D., Bitencourt, V., Scarelli, F.M., Biancini-Da Silva, A., Gruber, N.L.S., Rosa, M.L.C.C., Barboza, E.G., 2014. Comportamento Evolutivo da Barreira Costeira junto ao Balneário do Camacho, Jaguaruna/SC. *Gravel*, 12 (1), 109-118. https://www.researchgate.net/profile/Eduardo-Barboza-2/publication/299389350_Comportamento_Evolutivo_da_Barreira_Costeira_junto_ao_Balneario_do_Camacho_JaguarunaSC/links/56f41e6708ae7c1fda2d7208/Comportamento-Evolutivo-da-Barreira-Costeira-junto-ao-Balneario-do-Camacho-Jaguaruna-SC.pdf.

McLaughlin S., Mckenna J., Cooper J.A.G., 2002. Socio-economic data in coastal vulnerability indices: constraints and opportunities. *Journal of Coastal Research*, SI 36, 487-497. <https://doi.org/10.2112/1551-5036-36.sp1.487>.

Mussi, C.S., Bonetti, J., Sperb, R.M., 2018. Coastal sensitivity and population exposure to sea level rise: a case study on Santa Catarina Island, Brazil. *Journal of Coastal Conservation*, 22 (6), 1117-1128. <https://doi.org/10.1007/s11852-018-0619-8>.

Nicolodi, J.L., Pettermann, R.M. 2011. Vulnerability of the Brazilian Coastal Zone in its Environmental, Social, and Technological Aspects. *Journal of Coastal Research*, SI 64, 1372-1379. <http://www.jstor.org/stable/26482400>.

Nimer E., 1989. Climatologia da Região Sul. *Revista Brasileira de Geografia*, 34, 1, 142-154.

Nobre C.A., Cavalcanti I.F.A., Gan M.A., Nobre P.A., Kayano M.T., Rao V.B., Bonatti J.P., Satyamurti P., Uvo C.B., Cohen J.C., 1986. Aspectos da climatologia dinâmica do Brasil. *Climanálise*, SI, 65.

Oliveira, J.F.D., Barboza, E.G., Benavente, J., 2016. Nearshore dynamics and Holocene evolution of the coastal barrier south of the Santa Marta cape, southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, (75 (10075)), 437-441. <https://doi.org/10.2112/SI75-088.1>.

Oliveira, J.F.D., Barboza, E.G., Martins, E.M., Scarelli, F.M., 2019. Geomorphological and stratigraphic analysis applied to coastal management. *Journal of South American Earth Sciences*, 96, 102358. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2019.102358>.

Pavan R.A., 2012. Avaliação da sensibilidade ambiental costeira e de risco sócio ambiental do litoral centro-sul catarinense a eventos naturais extremos e à elevação do nível médio dos oceanos. Master dissertation, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, Brazil. <http://siaibib01.univali.br/pdf/Roberto%20Angelo%20Pavan.pdf>.

Scherer, M., Sanches, M., Negreiros, D.H.D., 2010. Gestão das zonas costeiras e as políticas públicas no Brasil: um diagnóstico, in: Barragán-Muñoz, J.M. (Coord.), *Manejo Costero Integrado y Política Pública en Iberoamérica: Un diagnóstico. Necesidad de Cambio*. Red IBERMAR (CYTED), Cádiz, pp. 291-336, 2010. <http://ibermar.org/wp-content/uploads/documentos/publicaciones/FASE%20I.pdf>.

Scolaro, T.L., 2013. Avaliação da sensibilidade ambiental costeira e análise de risco socioambiental do litoral centro-norte catarinense, com base na vulnerabilidade do ambiente às mudanças climáticas. Master dissertation, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. <http://www.bibliotecadigital.ufrgs.br/da.php?nrb=000893094&loc=2013&l=60eb4110b5749734>.

Serafim, M.B., Bonetti, J., 2017. Vulnerabilidade das praias do Estado de Santa Catarina a eventos de erosão e inundação costeira: proposta metodológica baseada em um índice multicritério. *Quaternary and Environmental Geosciences*, 8 (2), 36-54. <http://dx.doi.org/10.5380/abequa.v8i2.47281>.

Serafim, M.B., Siegle, E., Corsi, A.C., Bonetti, J., 2019. Coastal vulnerability to wave impacts using a multi-criteria index: Santa Catarina (Brazil). *Journal of environmental management*, 230, 21-32. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.09.052>.

Sharp, R., Douglass, J., Wolny, S., Arkema, K., Bernhardt, J., Bierbower, W., Chaumont, N., Denu, D., Fisher, D., Glowinski, K., Griffin, R., Guannel, G., Guerry, A., Johnson, J., Hamel, P., Kennedy, C., Kim, C.K., Lacayo, M., Lonsdorf, E., Mandle, L., Rogers, L., Silver, J., Toft, J., Verutes, G., Vogl, A.L., Wood, S., and Wyatt, K., 2020. *InVEST 3.11.0 User's Guide*. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.

<https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/index.html#>.

Siegle, E., Asp, N.E., 2007. Wave refraction and longshore transport patterns along the southern Santa Catarina coast. *Brazilian Journal of Oceanography*, (55) 2, 109-120.

<https://www.scielo.br/j/bjoce/a/ZYZxWK3P5BqGQ3MC6NNzdRh/?lang=en#>.

Soccol, G., 2015. Evolução costeira junto ao balneário arroio corrente, Jaguaruna/SC. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil. <http://hdl.handle.net/10183/132055>.

SPG, 2010. Implantação do Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro. Fase I. 1. Diagnóstico Sócio Ambiental do Setor Centro-Sul. Secretaria de Estado do Planejamento, Florianópolis, SC, Technical report. <https://www.sde.sc.gov.br/index.php/biblioteca/gerco/1887-diagnostico-socio-ambiental-gerco-setor-4-site/file>.

Tolman, H.L., 2009. User manual and system documentation of Wavewatch-III version 3.14. Camp Springs: U. S. Department of Commerce/ National Oceanic and Atmospheric Administration/ National Weather Service. https://polar.ncep.noaa.gov/mmab/papers/tn276/MMAB_276.pdf.

UNDRR, 2022. Terminology of Hazard. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. <https://www.undrr.org/terminology/hazard>.

UNISDR, 2009. Terminology on Disaster Risk Reduction. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva. https://www.preventionweb.net/files/7817_UNISDRTerminologyEnglish.pdf.

Winkler, K., Fuchs, R., Rounsevell, M., Herold, M., 2021. Global Land Use Changes Are Four Times Greater than Previously Estimated. *Nature Communication*, 12 (2501). <http://doi.org/10.1038/s41467-021-22702-2>.

CAPÍTULO IV

4. Texto de Integração e Encerramento

*Jaguaruna é um lugar singular
Onde a natureza é rica sem par
Com sítios arqueológicos para admirar
E áreas de preservação para cuidar*

*Entre os campos e as matas
As restingas e as dunas
Há grande riqueza de vida
Que nos deslumbra*

*Os seus serviços ecossistêmicos são tantos
Que nem conseguimos contar
Eles nos proporcionam ar, água e alimentos
E são fundamentais para nosso bem-estar*

*Mas a vulnerabilidade costeira é uma ameaça
Que pode afetar a região
E por isso precisamos agir com precisão
Para evitar a degradação dos ecossistemas em questão*

*É preciso à população conscientizar
Sobre a importância da preservação
E agir de forma responsável
Para evitar a destruição*

*A gestão com base ecossistêmica é o caminho
Para lidar com esses desafios
Com monitoramento, restauração e zoneamento
Podemos garantir um futuro mais equilibrado,
Para as futuras gerações será um legado admirável.*

*(Singularidade e riqueza dos ecossistemas
Giuliana A. Sfreddo, 2023)*

4.1. Análise integrada dos resultados dos artigos

Partimos do entendimento de que a vulnerabilidade costeira, conforme propôs Gornitz (1991), representa a tendência da costa em responder adversamente aos perigos costeiros, e dessa forma, tem relação direta com a estrutura socioeconômica e física das comunidades costeiras, além da exposição biogeofísica à que a costa está submetida. Também consideramos a problemática histórica da ocupação da costa do município de Jaguaruna apontada por Delfino (2008), Cristiano *et al.* (2014), Gruber *et al.* (2017a,b,c,d,e,f), Martins (2017) e Oliveira (2019).

Assim, a análise integrada do histórico de ocupação já mencionado e dos artigos desenvolvidos no doutorado permite-nos conceber que parte da população, da infraestrutura, dos ecossistemas e dos respectivos serviços ecossistêmicos estão ameaçados por perigos costeiros no município de Jaguaruna. Isso ocorre pelo uso dos ecossistemas e dos seus serviços de forma insustentável, como, por exemplo, pela retirada de areia das dunas, pela expansão da urbanização sobre as áreas de preservação permanente e pela deposição de lixo e esgotos a céu aberto, conforme exemplifica a Figura 4.1.

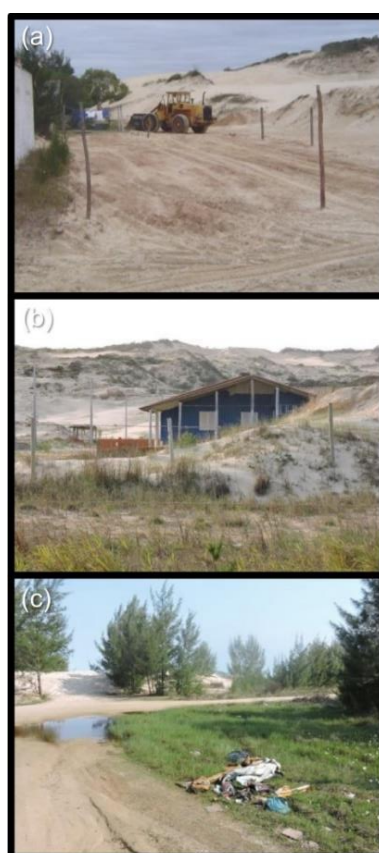


Figura 0.1. Uso indevido dos ecossistemas no município de Jaguaruna. (a) Avanço da urbanização sobre Área de Preservação Permanente próximo ao Sambaqui Elefante Branco; (b) Deposição de lixo próximo às dunas no Balneário Camacho; (c) Retirada ilegal de areia. Fonte: (a) e (b) fotos da autora em outubro de 2020; (c) Delfino (2008).

Os perigos costeiros, por sua vez, correspondem aos fenômenos que expõem a zona costeira ao risco de danos ou outros efeitos adversos, tais como erosão, inundação e subida do nível relativo do mar. Esses perigos fazem parte da natureza, porém, observamos que eles impactam de modo especial nas estruturas físicas e nas comunidades que foram se desenvolvendo próximas ao mar. Nesse sentido, os principais ecossistemas afetados correspondem às dunas e às restingas, que atuam naturalmente como uma barreira, fornecendo proteção costeira frente a eventos climáticos extremos. A Figura 4.2 mostra a utilização da área que corresponderia às restingas e às dunas para a construção de infraestrutura urbana no Balneário Campo Bom. Ao fundo da imagem, pode-se notar que as dunas estão na retaguarda da expansão urbana.



Figura 0.2. A expansão urbana em alguns balneários do município de Jaguaruna se desenvolveu em frente às dunas frontais. Dessa forma, perdeu-se a proteção conferida pelas dunas frente aos eventos extremos, como as marés meteorológicas. Fonte: Balneário do Campo Bom, 2019.

Como exemplificado na Figura 4.2, o ecossistema composto de Dunas, de Praias e de Restingas não foi respeitado na área de estudo, bem como se observa em outros locais do Brasil e do mundo. Fatores que contribuem para uma trajetória negativa contínua para os ecossistemas litorâneos e seus serviços em todo o mundo são: a extensa degradação causada pelo desenvolvimento costeiro, a redução na entrega de sedimentos pelos principais rios, o aumento da erosão costeira e o aumento do nível relativo do mar (MA, 2003; Syvitski *et al.*, 2005). A partir da observação de que o problema de perda de ecossistemas de praias, de dunas e de restingas ocorre no município de Jaguaruna, entendeu-se a importância de efetuar uma valoração desse e de outros ecossistemas afetados pelo uso antrópico, atrelando-a ao seu serviço ecossistêmico chave (SEc).

Consideramos que os ecossistemas e os seus serviços foram historicamente subvalorizados no processo de tomada de decisão a respeito da expansão urbana na

área de estudo, o que levou à sua constante modificação, exploração e degradação em favor de outras opções mais produtivas para o uso da terra e dos recursos, que geraram lucros mais altos e imediatos, como o parcelamento do solo e a sua venda para turistas. Por essa razão, valorar os ecossistemas é uma maneira de tornar os seus serviços comparáveis a outros setores econômicos. Dessa forma, possibilitamos um maior entendimento de sua importância aos atores envolvidos em processos de decisão, os quais, na maioria das vezes, não possuem formação ambiental.

O cálculo para a valoração de Praias, de Dunas e de Restingas foi então baseado na quantidade de areia que teria que ser substituída em uma seção da praia. Isso resultou em 75,46 m² de areia. Considerando que cada metro cúbico de areia custa US\$ 9,68, o valor total do suprimento para um metro de extensão da praia é de US\$ 730,45. Portanto, o valor médio por hectare de superfície resultou em US\$ 62.420,95 por hectare.

Embora seja o ecossistema com a maior área de cobertura e com um alto valor total atribuído ao sistema, é necessário entender que esse valor não está relacionado ao custo em apenas um ano. A durabilidade do processo de engordamento de praia é uma questão que deve ser considerada, e os planos em geral estimam uma proteção de cerca de 10 a 20 anos (Finkl & Walker, 2002). Assim, o valor estimado deste ecossistema com seus serviços pode variar de US\$ 3121,05 a 6242,1 ha⁻¹ ano⁻¹. O valor em questão está em consonância com a literatura internacional. Sathirathai & Barbier (2001) estimaram o valor de US\$ 3679 ha⁻¹ ano⁻¹ para a reposição de areia usando barreiras artificiais para o controle de erosão na Tailândia, que, em valores corrigidos para inflação, em 2023, corresponderiam a um total de cerca de US\$ 5.100 ha⁻¹ ano⁻¹.

Ao observar o alto custo para a manutenção dos ecossistemas e dos seus serviços, como no caso das Dunas, das Praias e das Restingas, tornou-se importante calcular um índice com a finalidade de detectar se a costa do município de Jaguaruna apresenta tendência à vulnerabilidade causada por fatores naturais, que poderiam impactar outros ecossistemas costeiros. A esse índice chamamos Índice Biogeofísico de Exposição Costeira (BICE).

O índice BICE foi atrelado ao relevo, à ressaca, à tendência de erosão de longo prazo, à presença de habitats naturais de proteção, às ondas e ao vento, em consonância com índices consolidados em nível mundial, propostos por Gornitz (1991) e Hammar-Klose & Thieler (2001). Os resultados para a área analisada tiveram

seu valor médio de 3.15, variando de 1 a 5. Em vista disso, podemos classificar a costa, de modo geral, como apresentando exposição intermediária.

Além disso, os indicadores do BICE que apresentaram maior variabilidade ao longo da costa foram a presença do relevo e a tendência às ressacas (ondas de tempestade). A análise relativa do relevo combinada com o mapeamento da cobertura do solo e habitats mostrou que a presença de campos de dunas bem desenvolvidos próximos à linha d'água conseguiria reduzir os valores de exposição, fornecendo proteção contra eventos extremos (Fig. 4.3).

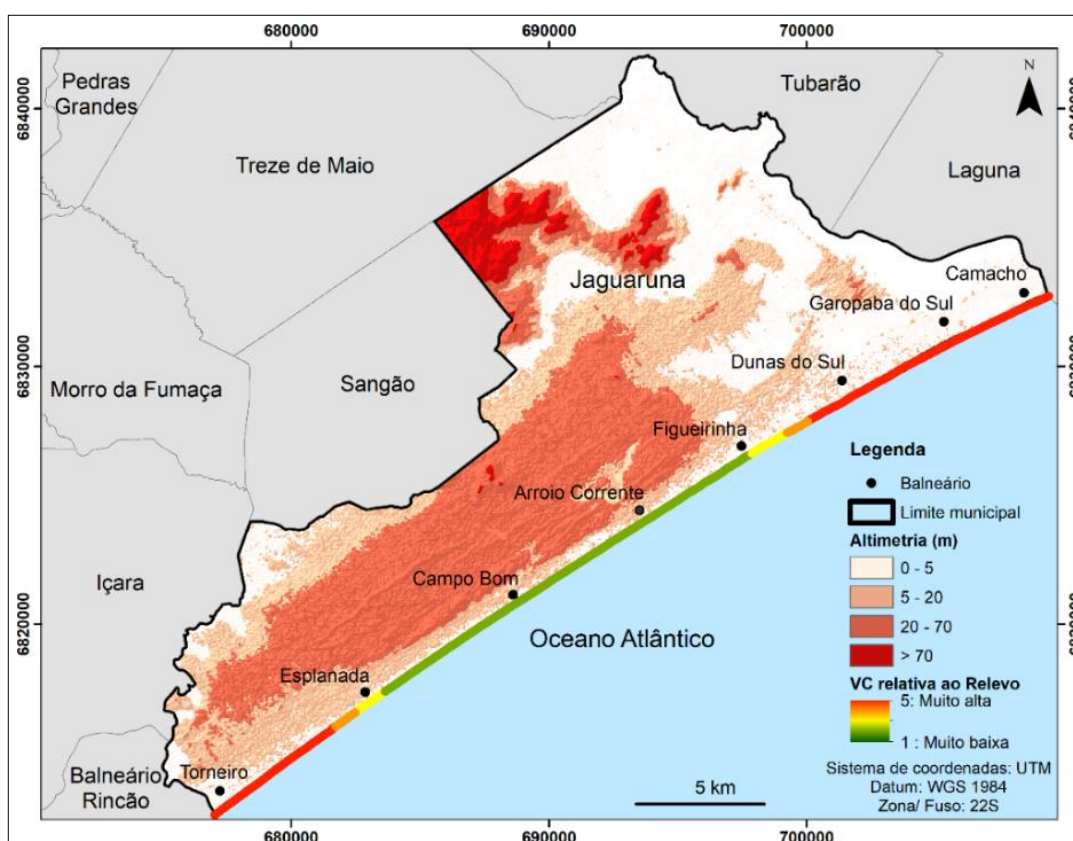


Figura 0.3. Mapa de vulnerabilidade costeira relativa ao relevo. Foi observado que a existência de campos de dunas bem desenvolvidos próximos à costa é capaz de diminuir os níveis de exposição, oferecendo proteção contra eventos climáticos extremos. Fonte: Base de mapas do tipo shapefile obtidos de IBGE (2020).

O segundo indicador que mais contribuiu para a exposição costeira da área analisada foi a ressaca, que é causada pela velocidade e pela direção do vento e pela quantidade de tempo em que ele sopra sobre áreas relativamente rasas. Nesse sentido, os balneários mais expostos à ação da ressaca foram Balneário Torneiro, a região entre o sul do Balneário Esplanada e do Balneário Campo Bom, devido ao foco de energia das ondas à medida que se aproximam da costa e encontram a “Lage de Campo Bom”, uma feição rochosa submersa que existe em mar aberto na direção do Balneário Campo Bom (Fig. 4.4).

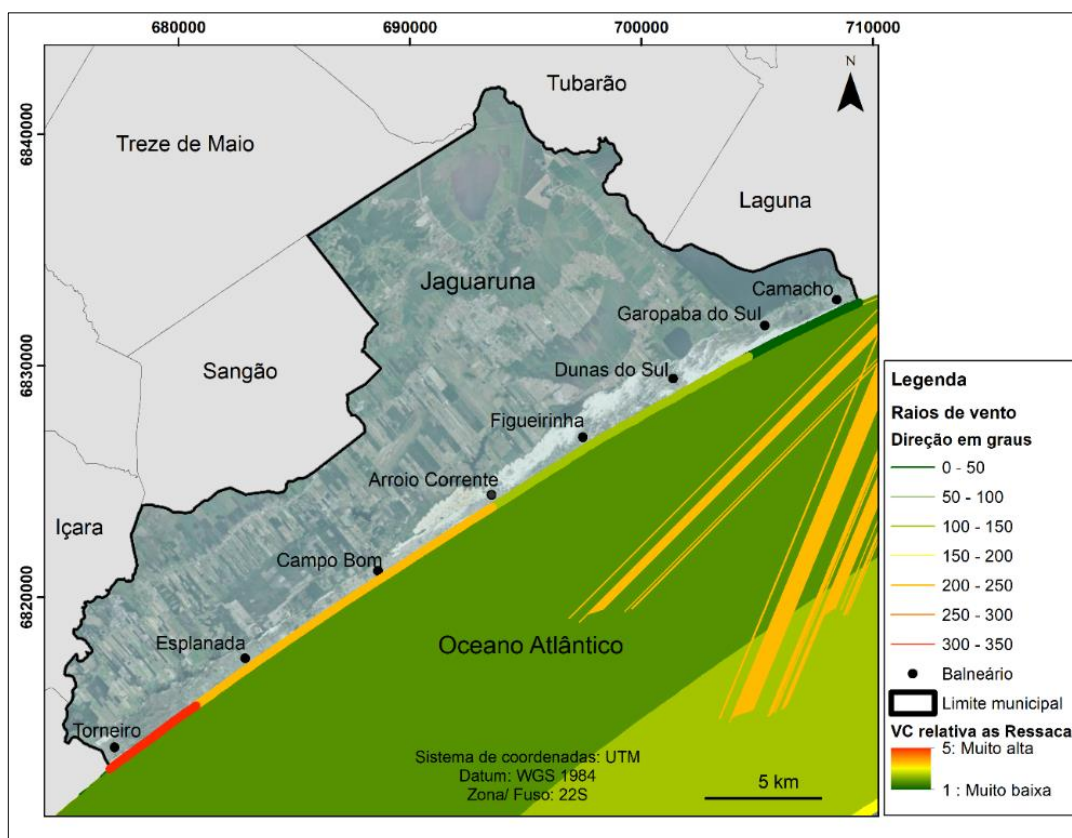


Figura 0.4. Mapa de vulnerabilidade costeira relativa às ressacas. Foi observado que os ventos predominantes são provenientes de nordeste na maior parte do ano. Fonte: Direção dos ventos obtidas de Tolman (2009); Base de mapas do tipo *shapefile* obtidos de IBGE (2020).

A tendência de erosão de longo prazo foi outro indicador importante, com comportamentos diferentes da barreira holocênica entre os setores estudados. Os segmentos do Balneário Arroio Corrente, do Balneário Dunas do Sul, do Balneário Figueirinha, do Balneário Garopaba do Sul e do Balneário Camacho mostraram comportamento transgressivo da linha de costa, portanto, foi atribuído a eles o valor máximo de exposição. Os indicadores de habitats naturais, de ondas e de ventos mostraram menos variabilidade e indicaram que toda a costa de Jaguaruna está exposta a uma dinâmica de alta energia. Já os habitats naturais, fornecidos pelas dunas e pela vegetação natural, contribuíram para diminuir a exposição média da costa em 0,26, em uma escala de 1 a 5.

A partir desses dados, as áreas com os maiores valores de BICE foram observadas nos trechos entre o sul do Balneário Garopaba do Sul e do Balneário Figueirinha, bem como da região central do Balneário Esplanada até o limite municipal com o Balneário Rincão (Fig. 3.3a). Em geral, o BICE mostrou-se uma ferramenta útil para avaliar a exposição costeira e pode influenciar nas decisões sobre o Gerenciamento Costeiro. Isso porque indica as áreas com mais risco, onde deve-se proibir construções próximas ao mar e atuar para minimizar os impactos em áreas

urbanas já consolidadas, aumentando assim a resiliência dessas comunidades expostas biogeofisicamente.

Com o amparo dos resultados do BICE, que mostram que todo o setor costeiro da área de estudo está propenso a ser afetado, em maior ou menor grau, a eventos extremos, decidiu-se proceder com metodologias de valoração ambiental para os maiores ecossistemas em área. Por meio da vetorização manual com base em fotointerpretação, oito classes de ecossistemas foram mapeadas a partir dos seus serviços ecossistêmicos chave (SEc), sendo que as maiores classes tiveram sua valoração calculadas (ANEXO C). Nosso recorte amostral foi o trecho costeiro que compreende toda a área da APABF no município de Jaguaruna, além de um pequeno trecho costeiro que não faz parte da referida APA, mas que está submetido à exposição costeira, por se localizar à beira-mar.

Os resultados de dunas, de praias e de restingas já foram discutidos, portanto, a partir de agora serão apresentados os resultados das valorações de agricultura e de pecuária. No que diz respeito a esses sistemas, apesar de serem antropizados e terem potencial de degradar o meio ambiente, são responsáveis pela alimentação da população, que na atualidade supera as 8 bilhões de pessoas em todo o mundo. Embora os ecossistemas naturais sejam fontes de numerosos alimentos e animais silvestres, as necessidades da crescente população não são atendidas sem a agricultura e a pecuária. Diante disso, a agricultura e a pecuária desempenham um papel importante na formação do meio ambiente, bem como da economia, e na atualidade são indispensáveis para a sobrevivência humana.

Dentre ambas atividades econômicas mapeadas em conjunto, a mais praticada na área costeira selecionada é a pecuária, e entendemos que em caso de eventos extremos, os animais seriam diretamente afetados, considerando que poderiam ficar presos em áreas alagadiças. Deste modo, a valoração para esta classe baseou-se apenas no valor de mercado da arroba do gado adulto, e o seu valor foi utilizado para determinar a valoração ambiental de mercado.

O cálculo de valoração resultou em uma produção bruta de US\$ 1.088,69 ha⁻¹ ano⁻¹. Considerando que a área mapeada correspondeu a 1600 ha, o valor resultante para Jaguaruna foi de aproximadamente 1.741,902 milhões de dólares por ano. Em um estudo sobre a produção agrícola em campos convencionais em Canterbury, Nova Zelândia, Sandhu *et al.* (2008) estimaram o valor médio do serviço ecossistêmico comercializável “alimento” em US\$ 3.220 ha⁻¹ ano⁻¹. Esse valor está bem acima do que encontramos para o município de Jaguaruna, devido a uma série de fatores, como

custos e métodos de produção, que diferem entre os países. Mesmo assim, os valores de mercado representam o valor daqueles ES que auxiliam na sua produção (Heal & Small, 2002).

Antes de proceder com a valoração para os demais ecossistemas e seus serviços, é importante que retornemos à análise sobre a vulnerabilidade costeira no município de Jaguaruna. Ao longo do estudo, entendemos que o BICE sozinho não mostrou a vulnerabilidade costeira verdadeira, pois não considerou a peça fundamental na modificação do ambiente – o ser humano. Dessa forma, propomos a integração do BICE com um índice que considera as características socioeconômicas da população residente no segmento costeiro, o qual chamamos de Índice de Exposição Socioeconômica (SEI). Esse índice fornece uma maneira útil para os gestores entenderem a capacidade adaptativa de uma região diante de eventos extremos. Um SEI mais alto significa uma capacidade adaptativa mais baixa, e o estudo mostrou que a costa do município de Jaguaruna apresenta uma capacidade adaptativa intermediária (Fig. 3.3b).

Nesse sentido, o indicador que chama a atenção é o de esgoto a céu aberto, pois foi a variável que mais contribuiu para o aumento do desvio padrão do SEI, destacando a importância do saneamento básico para a capacidade adaptativa de uma região. Mediante dados do IBGE (2011), os mais recentes disponibilizados até então pelo instituto em nível municipal, observamos a existência de muitos locais que ainda apresentavam falta de saneamento básico. Entende-se que a presença de esgotos a céu aberto em uma região pode afetar negativamente a saúde, a economia e a produtividade dos residentes, além de ser um fator de risco em caso de enchentes. Os setores 8 (Campo Bom) e 6 (Limite entre Esplanada-Campo Bom) têm a maior porcentagem de domicílios com esgotos a céu aberto. Delfino (2008) já havia apontado a problemática:

“Em algumas áreas, os loteamentos apareceram em lugares de difícil acesso e desconectados entre si, com uma meia dezena de quadras e ruas. Outras áreas da orla jaguarunense foram invadidas e apropriadas por moradores da região, pescadores amadores ou turistas, principalmente em áreas de marinha ou enquadrada como área de preservação permanente – APP, seguindo o Código Florestal Brasileiro, como dunas, restinga e lagoas, ambientes muito comuns em Jaguaruna. Em tais as áreas, as ruas são mal delimitadas, a captação de água é feita direta no lençol freático por ponteira, **os esgotos são lançados em córregos, rios e tratados em fossas sépticas**, as quais muitas vezes estão ao lado da ponteira que capta água para abastecer essa mesma casa” (Delfino, 2008, grifos nossos).

Esse indicador afeta diretamente a qualidade da água das lagoas e do lençol freático, prejudicando outra atividade econômica importante para a população: a pesca e a aquicultura. Destarte, a determinação do valor dos ecossistemas de águas continentais e águas marinhas para o município foi baseada no total de espécies capturadas na área de estudo, conforme dados do Projeto de Monitoramento de Áreas de Pesca em Santa Catarina (PMAP-SC, 2019). As atividades relacionadas ao setor pesqueiro fornecem uma contribuição significativa para a segurança alimentar e nutricional e sustenta a subsistência de centenas de milhões de pessoas em todo o mundo (FAO, 2021) e constituem uma importante atividade econômica para Jaguaruna.

Os resultados apontaram que o setor movimenta um valor bruto total de 2.864,668 milhões de dólares por ano. Outros estudos avaliaram a produção de pescado por hectare/ano ou metro/ano, o que dificulta o paralelismo entre eles. Mesmo assim, podemos comparar nossos resultados aos estudos de McArthur & Boland (2006) no sul da Austrália, que valoraram a produção de peixes, camarões e caranguejos naquele local em US\$ 1436 ha⁻¹ ano⁻¹ e mais recentemente Sangha *et al.* (2019) que avaliaram o status dos serviços ecossistêmicos por meio da pesca comercial e aquicultura no Território do Norte da Austrália em \$ 179,6 m⁻¹ ano⁻¹.

Além disso, outra atividade que ocorre nas adjacências das lagoas costeiras e movimenta a economia em Jaguaruna é o florestamento. Esse ambiente chama nossa atenção, uma vez que é ainda maior que a agricultura e a pecuária na área estudada, compreendendo 25% da área costeira total. Embora muitos estudos tenham mostrado que, devido à sua alta capacidade adaptativa e ao rápido crescimento, as espécies de *Pinus* são um dos principais invasores exóticos do globo, e os impactos do florestamento são muitos em todo o mundo, essa atividade desempenha um grande papel econômico nas áreas costeiras do Brasil (Bechara, 2003; Shimizu, 2008; Camargo & Matos, 2016).

Isso posto, o cálculo considerou o valor líquido do *Pinus* de US\$ 1.032,83 ha⁻¹ ano⁻¹, bem como a área de 2800 hectares. Assim, o valor desse ambiente é de 2.891.924 milhões de dólares. Ninan & Inoue (2013) compilaram em seu estudo a avaliação de sistemas florestais em diferentes partes do mundo, que mostrou ampla variação entre locais florestais, regiões e países, divergindo de US\$ 8/ha (Irã) a US \$ 4.080/ha (Japão). Além disso, Fiorini *et al.* (2020) avaliaram o pagamento dos serviços ecossistêmicos em uma cobertura florestal no Rio de Janeiro, e os resultados apontaram para um valor de restauração para o ecossistema que varia de US\$ 150-

1405/ha. No entanto, o valor do hectare encontrado para Jaguaruna está próximo do estimado por Fiorini *et al.* (2020) e por Costanza *et al.* (1997), que estimaram o valor dos serviços ecossistêmicos avaliados para florestas globais inteiras a uma média de US\$ 1430/ha.

Com relação aos resultados do SEI, o estudo identificou os setores censitários (menor nível de informação divulgada pelo IBGE, ver Fig. 3.2) com menor capacidade adaptativa e, por conseguinte, mais expostos a eventos extremos, como correspondendo ao setor 8 em Campo Bom e o setor 1 em Torneiro. Em contrapartida, os setores 13 e 14, localizados entre as praias da Figueirinha e Dunas do Sul, mostram maior resiliência à exposição socioeconômica.

A análise de outras variáveis socioeconômicas, como número de residentes por domicílio, população mais vulnerável, serviços disponíveis e renda per capita, forneceram informações importantes para o estudo. Os resultados mostraram que a densidade populacional é heterogeneamente distribuída ao longo dos setores censitários. A maior densidade está concentrada predominantemente nos setores 16, 17 e 18, que fazem parte do Balneário Camacho; 7 e 8, que pertencem ao Balneário Campo Bom; e 2 e 4, que compõe a região do Balneário Esplanada. Essas regiões coincidem com as principais estradas de acesso à praia, partindo do centro do município de Jaguaruna. A densidade populacional nesses setores excede 100 habitantes/km², que está acima da média estadual de 65,29 habitantes/km² (IBGE, 2011).

Por outro lado, a distribuição de residentes por domicílio é bastante homogênea ao longo dos balneários do município de Jaguaruna, com uma média de 2,68 residentes e residentes e desvio padrão de 0,27. Conforme o IBGE (2010), cada domicílio no estado de Santa Catarina tem uma média de 3,0 residentes. Em 2005, esse número foi de 3,2 residentes por família no estado, o que mostra que o número está diminuindo desde então.

A renda é outro fator importante nos resultados da capacidade adaptativa de uma região, pois afeta a capacidade dos residentes de construir ou reconstruir casas e estruturas de proteção contra impactos de erosão e inundação. No setor 1, 62% dos moradores responderam que recebiam menos de 1 salário mínimo, e, no setor 15, 64%. Por outro lado, o setor 10 (Arroio Corrente) e 14 (Dunas do Sul) têm menos porcentagem de moradores que ganham menos de 1 salário mínimo, sendo respectivamente 34% e 29% dos residentes.

O estudo também considerou a vulnerabilidade de certas populações, como os maiores de 60 anos e as crianças com menos de 14 anos, que podem ter mais dificuldade em reagir a eventos extremos, como sair de casa e procurar um abrigo seguro. Os setores 3 (sul do Balneário Esplanada) e 13 (entre o Balneário Figueirinha e o Balneário Dunas do Sul) têm a maior e a menor porcentagem de populações vulneráveis nesse quesito, respectivamente.

Vulnerabilidade Costeira

A análise integrada do BICE com o SEI revelou que os setores ao norte do Balneário Esplanada, o Balneário Campo Bom, o Balneário Arroio Corrente, o Balneário Garopaba do Sul e ao sul do Balneário Camacho não se mostraram vulneráveis em relação à exposição biogeofísica. A presença da população e seus aspectos socioeconômicos, no entanto, foram fatores que tiveram grande influência no aumento dos níveis de vulnerabilidade costeira, como observado no Balneário Torneiro, no Balneário Campo Bom e no Balneário Camacho.

A análise conjunta dos índices resultou em vulnerabilidade costeira máxima (CV) no Balneário Torneiro, onde ocorre a convergência de uma forte presença de fatores biogeofísicos e de exposição socioeconômica. Balneário Torneiro é uma das poucas áreas de Jaguaruna ainda em um estágio inicial da ocupação humana. Segundo Leal (2016), apesar dessa ocupação incipiente, os poucos assentamentos humanos existentes ocorrem em locais inadequados. Isso aumenta o nível de exposição socioeconômica e contribui decisivamente para a alta taxa de vulnerabilidade costeira observada.

VC alta ocorreu no Balneário Campo Bom e em algumas regiões do Balneário Camacho (Figura 3.3c). No caso do Balneário Campo Bom, Gruber *et al.* (2017b) descrevem que a região urbanizada está em contato direto com a beira-mar, atrapalhando o caminho da migração natural dos campos de dunas locais. Assim, algumas áreas de urbanização são afetadas pela migração das dunas. Além disso, os autores apontam que há construções nas dunas frontais e, em alguns casos em que não há dunas frontais, a maré atinge as estruturas antropogênicas (Gruber *et al.*, 2017a) e que essas estruturas são bastante vulneráveis à ação das ondas de tempestades (Gruber *et al.*, 2017b). Em relação ao Balneário Camacho, Gruber *et al.*, (2017c) e Martins (2014) já haviam apontado os riscos de erosão costeira e perda potencial de infraestrutura humana, bem como riscos de deslizamento, inundações marinhas e alagamentos, devido às condições biogeofísicas da região.

Em suma, os resultados apresentaram a vulnerabilidade costeira dos balneários do município de Jaguaruna, Brasil, e os fatores que contribuem para ela. O estudo constatou que, embora certos fatores biogeofísicos, como localização e condições naturais, tenham desempenhado um papel importante na vulnerabilidade costeira, fatores socioeconômicos, como densidade populacional e renda, tiveram uma influência maior. O maior nível de vulnerabilidade foi encontrado no Balneário Torneiro, que ainda está em uma fase inicial de ocupação humana, e onde os assentamentos existentes ocorrem em lugares inadequados.

Outros resultados importantes destacam os desafios específicos enfrentados pelo Balneário Campo Bom e pelo Balneário Camacho. No Balneário Campo Bom, a urbanização interrompeu o caminho natural de migração das dunas, fazendo com que elas migrem em direção às áreas urbanas, tornando as infraestruturas vulneráveis à ação de ondas de tempestade. Já no Balneário Camacho, as condições biogeofísicas da região criam riscos de erosão costeira, perda de infraestrutura humana, soterramento, inundação marinha e alagamento. Por fim, os resultados apresentados mostram que embora os índices globais tendam a se concentrar exclusivamente em variáveis biogeofísicas, existe uma necessidade crescente em considerar fatores socioeconômicos. Apesar de serem dados mais difíceis de se obter e sensíveis de trabalhar, são cruciais para uma compreensão realista da vulnerabilidade costeira em uma região.

4.2. Conclusão

A partir da metodologia aplicada e dos resultados obtidos, conclui-se que a hipótese levantada, preliminarmente nesta pesquisa, de que os modelos espaciais de vulnerabilidade costeira podem e devem ser integrados aos serviços ecossistêmicos como uma forma de integração e suporte a gestão costeira em nível municipal, na medida em que trazem novos elementos relevantes para o manejo e para a tomada de decisão em áreas propensas a riscos costeiros, é pertinente, como demonstram os artigos apresentados nos capítulos II e III e a discussão integrada apresentada nesse capítulo. Além disso, a metodologia tem baixo custo, evita deslocamentos, e é possível de ser replicada em outras áreas mais distantes, o que é uma necessidade crescente em um mundo cada vez mais globalizado.

O artigo apresentado no capítulo II avaliou o estado dos ecossistemas costeiros selecionados com base nos principais serviços-chave de abastecimento e de regulação na área de estudo. Através de métodos de valoração ambiental indiretos, foi possível valorar monetariamente os principais ecossistemas presentes na zona costeira do município de Jaguaruna. Os resultados de valoração obtidos se mostraram compatíveis com a literatura internacional, e são relevantes para que os atores sociais do município de Jaguaruna adquiram uma compreensão acerca do valor e da importância da existência dos ecossistemas e de seus serviços. Dessa forma, os resultados são úteis para a gestão das áreas que apresentam risco costeiro.

Já o artigo exposto no capítulo III analisou a vulnerabilidade costeira (VC) em Jaguaruna sob a ótica da integração de um Índice Biogeofísico de Exposição Costeira, consolidado ao nível global, e um Índice de Exposição Socioeconômica, proposto com base em indicadores locais. Os resultados demonstraram a importância de índices conjuntos para determinar a VC, principalmente no que tange a considerar aspectos socioeconômicos. Isso se deve a presença humana na costa, que é responsável por modificar o ambiente natural e que contribui decisivamente para o aumento da VC. Assim, quando a população e os recursos econômicos não estão localizados em zonas potencialmente perigosas do ponto de vista da ocorrência de eventos extremos, não há perda de vidas e de infraestrutura, apesar de o ambiente estar exposto biogeofisicamente.

De forma geral, a aplicação de metodologias de valoração ambiental aliadas às técnicas de geoprocessamento, considerando os aspectos biogeofísicos e

socioeconômicos em ambas as análises, contemplou o propósito de trazer índices efetivos para a avaliação dos ecossistemas e para o diagnóstico da vulnerabilidade costeira em escala local, utilizando o município de Jaguaruna como estudo de caso.

A compreensão do que se verificou até o momento em relação à vulnerabilidade costeira e ao valor desses ecossistemas nos proporciona elementos, não apenas para planejar segundo os índices atuais de VC da costa, mas para reconhecer e para incluir novos indicadores e forças motrizes ao processo de modelagem de diagnóstico da vulnerabilidade costeira local, como o conjunto de aspectos socioeconômicos aplicados nesta pesquisa.

As metodologias servem, ainda, de base para a replicação em outras áreas com contextos semelhantes e sujeitas a forte pressão antrópica. Nessa perspectiva, a valoração dos ecossistemas e de seus SEc, bem como a aplicação de índices de VC, possibilitam ao poder público mapear áreas de riscos costeiros, e priorizar, do ponto de vista financeiro, as regiões que mais necessitam de estratégias de manejo.

Dessa forma, os resultados são úteis para serem usados como base para orientação de políticas públicas pelo poder municipal, uma vez que o reconhecimento dos setores mais vulneráveis do município de Jaguaruna pode contribuir para a identificação de áreas prioritárias para a gestão costeira e de setores que precisam de um plano de mitigação prioritário contra eventos extremos.

Cabe, por fim, ressaltar que o monitoramento contínuo no município de Jaguaruna é de grande importância para o manejo sustentável dos ecossistemas costeiros e de seus usos e atividades, dada a presença da Área de Proteção Ambiental da Baleia Franca nesse município. Além disso, é necessário considerar a importância da atividade turística desta zona costeira, que depende diretamente do seu bom estado de conservação e de gestão.

Fontes de Financiamento

Esta pesquisa teve como principal órgão de fomento o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), bolsa número 141344/ 2017-2. Além disso, teve participação da “*Asociación Universitaria Iberoamericana de Postgrado (AUIP), Programa de Movilidad Académica entre Universidades Andaluzas e Iberoamericanas asociadas a la AUIP, Julio de 2019*” e do programa “*Erasmus+*”.

Referências

Cristiano, S.C., Martins, E.M., Gruber, N.L.S. & Barboza, E.G. 2015. Avaliação do processo de ocupação irregular na zona costeira: caso da “invasão Maria Terezinha”, município de Jaguaruna/SC. *Gravel*, 13(1), 1-14. <<https://www.ufrgs.br/gravel/>>.

Delfino, D.D.S. 2008. *Desenvolvimento e planejamento urbano na cidade de Jaguaruna/SC: representação e atuação dos atores locais*. Florianópolis, Dissertação (Mestrado em Geografia) – UFSC. <<http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/90847>>.

FAO – Food and Agriculture Organization, 2021. FAO yearbook. Fishery and Aquaculture Statistics 2019/FAO annuaire. Statistiques des pêches et de l’aquaculture 2019/FAO anuario. Estadísticas de pesca y acuicultura 2019. Rome/Roma. <https://www.fao.org/fishery/static/Yearbook/YB2019_USBcard/index.htm>.

Finkl, C.W. & Walker, H.J. 2002. Beach Nourishment. *In*: Chen, J., Eisma, D., Hotta, K., Walker, H. J. (Eds.) Engineered Coasts. Coastal Systems and Continental Margins, vol 6. Springer, Dordrecht, p. 1-23. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-0099-3_1>.

Fiorini, A.C.O., Mullally, C., Swisher, M. & Putz, F.E. 2020. Forest cover effects of payments for ecosystem services: Evidence from an impact evaluation in Brazil. *Ecological Economics*, 169, 106522. <<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106522>>.

Gruber, N.L.S., Barboza, E.G., Martins, E.M, Prestes, L.D., Cristiano, S.C. *et al.* 2017d. *Diagnóstico e Plano de Manejo das Dunas Frontais do Município de Jaguaruna/SC - 2ª etapa - Balneário Camacho: Relatório Técnico/ Fundamentação Metodológica*. Instituto de Geociências (IGEO). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). v. 1, 1ªed, 107p.

Gruber, N.L.S., Barboza, E.G., Martins, E.M, Prestes, L.D., Cristiano, S.C. *et al.* 2017e. *Diagnóstico e Plano de Manejo das Dunas Frontais do Município de Jaguaruna/SC - 2ª etapa - Balneário Camacho: Avaliação e Cenários de Manejo das Dunas Interiores*. Instituto de Geociências (IGEO). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). v. 2, 1ªed, 224p.

Gruber, N.L.S., Barboza, E.G., Martins, E.M, Prestes, L.D., Cristiano, S.C. *et al.* 2017f. *Diagnóstico e Plano de Manejo das Dunas Frontais do Município de Jaguaruna/SC - 2ª etapa - Balneário Camacho: Avaliação e Cenários de Manejo da Orla Marítima*. Instituto de Geociências (IGEO). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). v. 3, 1ªed, 110p.

Gruber, N.L.S., Barboza, E.G., Portz, L.C., Strohaecker, T.M. *et al.* 2017a. *Diagnóstico e Plano de Manejo das Dunas Frontais do Município de Jaguaruna: Arcabouço teórico-conceitual*. Instituto de Geociências (IGEO). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). v. 1, 2ªed, 86p.

Gruber, N.L.S., Barboza, E.G., Portz, L.C., Strohaecker, T.M. *et al.* 2017b. *Diagnóstico e Plano de Manejo das Dunas Frontais do Município de Jaguaruna: Orla Marítima: Morfodinâmica e Aspectos Ecológicos do Sistema Eólico-Praial*. Instituto de

Geociências (IGEO). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). v. 2, 2ªed, 85p.

Gruber, N.L.S., Barboza, E.G., Portz, L.C., Strohaecker, T.M. *et al.* 2017c. *Diagnóstico e Plano de Manejo das Dunas Frontais do Município de Jaguaruna: Índice de Criticidade Legal – Ambiental*. Instituto de Geociências (IGEO). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). v. 3, 2ªed, 68p.

Hammar-Klose, E.S. & Thieler, E.R. 2001. *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 DDS-68. <<https://doi.org/10.3133/ds68>>.

Heal, G.M. & Small, A.A. 2002. Agriculture and ecosystem services. *Handbook of Agricultural Economics*, 2, 1341–1369. doi: <[https://doi.org/10.1016/S1574-0072\(02\)10007-7](https://doi.org/10.1016/S1574-0072(02)10007-7)>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2011. *Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil*. IBGE, Diretoria de Geociências & Comissão Interministerial para Recursos do Mar. Rio de Janeiro, 176p. <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=283741>>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2020. *Malha municipal*. IBGE, Diretoria de Geociências. <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads>>.

Martins, E. 2017. *Gerenciamento Costeiro Integrado à Luz dos Sistemas e da Diversidade Ambiental: Aplicação em Jaguaruna, Santa Catarina*. Porto Alegre, Tese (Doutorado em Geociências) – UFRGS. <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/172146>>.

McArthur, L.C. & Boland, J.W. 2006. The economic contribution of seagrass to secondary production in South Australia. *Ecological modelling*, 196(1-2), 163-172. <<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.02.030>>.

Ninan, K.N., & Inoue, M. 2014. Valuing forest ecosystem services: What we know and what we don't. *Valuing Ecosystem Services*, 189-226. <<https://doi.org/10.4337/9781781955161.00021>>.

Oliveira, J.F.D. 2019. *A dinâmica e a evolução costeira do litoral ao sul do cabo de Santa Marta, estado de Santa Catarina*. Porto Alegre, Tese (Doutorado em Geociências) – UFRGS. <<http://hdl.handle.net/10183/195791>>.

PMAP-SC – Projeto de Monitoramento da Atividade Pesqueira no estado de Santa Catarina. Relatório Técnico BR 04042043/19. Vol. 06, 2019. <<http://pmap-sc.acad.univali.br/sistema.html?id=597b7b77d8597d4a00e6f9c1>>.

Portal Balneário do Campo Bom. 2019. Bosque sentido norte. <<http://balneariodocampobom.blogspot.com/2019/>>.

Sandhu, H.S., Wratten, S.D., Cullen, R. & Case, B. 2008. The future of farming: The value of ecosystem services in conventional and organic arable land. An experimental approach. *Ecological economics*, 64 (4), 835-848. <<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.05.007>>.

Sangha, K.K., Stoeckl, N., Crossman, N., Costanza, R. 2019. A state-wide economic assessment of coastal and marine ecosystem services to inform sustainable development policies in the Northern Territory, Australia. *Marine Policy*, 107, 103595. <<https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.103595>>.

Sathirathai, S. & Barbier, E. B. 2001. Valuing mangrove conservation in southern Thailand. *Contemporary economic policy*, 19(2), 109-122. <<https://doi.org/10.1111/j.1465-7287.2001.tb00054.x>>.

Syvitski, J.P.M., Vörösmarty, C. J., Kettner, A.J. & Green, P. 2005. Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean. *Science*, 308, 376–380. doi: <10.1126/science.1109454>.

Tolman, H.L. 2009. User manual and system documentation of Wavewatch-III version 3.14. Camp Springs: U. S. Department of Commerce/ National Oceanic and Atmospheric Administration/ National Weather Service. <https://polar.ncep.noaa.gov/mmab/papers/tn276/MMAB_276.pdf>.

ANEXO A: Carta de aceite

Carta de aceite do artigo “*Economic valuation of selected coastal ecosystems based on key provisioning and regulation services of Jaguaruna (Brazil)*”.



DECLARAÇÃO

Declaro, para os devidos fins, que Giuliana Andréia Sfreddo é autora, juntamente com Juan Adolfo Chica Ruiz, Tatiana da Silva e Eduardo Guimarães Barboza, do artigo “*Economic valuation of selected coastal ecosystems based on key provisioning and regulation services of Jaguaruna (Brazil)*” aceito na revista *Desenvolvimento e Meio Ambiente* (ISSN 1518-952X, eISSN: 2176-9109) para publicação em 2023.

Curitiba, 03 de fevereiro de 2023.

Prof. Dr. José Milton Andriguetto Filho
Editor-chefe
Revista *Desenvolvimento e Meio Ambiente*
Universidade Federal do Paraná – UFPR

ANEXO B: Folha de rosto de publicação

Folha de rosto do artigo publicado “Assessment of local coastal vulnerability based on a global model: a case study in Jaguaruna, SC, Brazil”.

Regional Studies in Marine Science 61 (2023) 102824



Contents lists available at ScienceDirect

Regional Studies in Marine Science

journal homepage: www.elsevier.com/locate/rsma



Assessment of local coastal vulnerability based on a global model: A case study in Jaguaruna, southern Brazil



Giuliana Andréia Sfredo^{a,*}, Tatiana Silva da Silva^b, Eduardo Guimarães Barboza^c

^a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Avenida Bento Gonçalves, 9500, Prédio 43113, Porto Alegre/RS, 91501-970, Brazil

^b Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Laboratório de Modelagem Ricardo Ayup Zouain, Avenida Bento Gonçalves, 9500, Prédio 43130, Porto Alegre/RS, 91501-970, Brazil

^c Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, Avenida Bento Gonçalves, 9500, Prédio 43113, Porto Alegre/RS, 91501-970, Brazil

ARTICLE INFO

Article history:

Received 28 July 2022

Accepted 12 January 2023

Available online 25 January 2023

Keywords:

Coastal vulnerability

Biogeophysical Index of Coastal Exposure

Socioeconomic vulnerability exposure

index

Coastal hazards

Right Whale Environmental Protection Area

GIS

ABSTRACT

Coastal vulnerability is the trend of the coast to respond negatively to hazards. The vulnerability to which the coastal zone of the Municipality of Jaguaruna is exposed is linked to the propensity to suffer damage or loss to erosion, flooding, and storm waves. The Jaguaruna shorefront was chosen because it has shown, over the years, an unplanned urban sprawl. Regarding the populational aspect, the study area is predominantly occupied in summer periods, characterized as a space for the construction of second residences. This problem made the environment especially vulnerable. Furthermore, the research becomes important as this study area is part of the Right Whale Environmental Protection Area. To assess the most exposed locations, a multicriteria coastal vulnerability index was generated using the geometric average of biogeophysical variables and socioeconomic data of the area of interest. The results of the biogeophysical exposure index combined with the mean population distribution index allowed us to assess the coastal sectors that are most vulnerable to coastal hazards. The maximum value of coastal vulnerability was observed in Torneiro and high values in Campo Bom and some regions of Camacho. The results are effective to be used with Government, because the recognition of the most vulnerable sectors can contribute to the identification of priority areas for coastal management and even indicate areas that need a priority mitigation plan against extreme events. Furthermore, we reinforce that the human presence on the coasts of the world modifies the natural environment and contributes decisively in increasing coastal vulnerability.

© 2023 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Coastal vulnerability is the tendency of the coast to respond adversely to hazards (Gornitz, 1991). The understanding that a specific coastal community is more likely to be affected or damaged by an event or hazard is linked to one or more coastal risks (Arthurton, 2009). Hazards may disturb or harm the structures and ecosystems of the communities. Coastal hazards are phenomena that expose the coastal zone to the risk of damage or other adverse effects (Gornitz, 1991). On the other hand, structures such as socioeconomic aspects and ecosystems support the environment. Thus, vulnerability can be decomposed into the level of exposure of the environment to a hazard added to the inherent sensitivity of the system, counterbalanced by responsiveness and adaptive capacity of the system (BID, 2010).

* Corresponding author.

E-mail addresses: giuliana.sfredo@ufrgs.br (G.A. Sfredo), tatiana.silva@ufrgs.br (T.S.d. Silva), eduardo.barboza@ufrgs.br (E.G. Barboza).

<https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.102824>

2352-4855/© 2023 Elsevier B.V. All rights reserved.

The management of coastal vulnerability in Brazil is a challenge due to the multiplicity of situations existing in this territory (Nicolodi and Pettermann, 2011). The littoral is 8698 km long, involving 395 municipalities covering approximately 535,000 km² (Scherer et al., 2010). The most common problems in the coastal zone that contribute to vulnerability are: reduction of biodiversity, decrease in primary productivity, fragmentation of ecosystems, coastal erosion, water contamination and chemical contamination (Scherer et al., 2010). As a consequence, we observe the deterioration of the coastal historical-cultural heritage, the loss of public heritage, and the limitation in the use of ecosystem services provided by the beaches. In southern Brazil, the Municipality of Jaguaruna shows different characteristics among the beaches and their exposure to active coastal processes. This area presented, over the years, an urban expansion without planning. We consider that Jaguaruna has characteristics that reflect the general situation of the Brazilian coasts.

This study aims to evaluate coastal vulnerability, focusing on the Municipality of Jaguaruna, Santa Catarina. We have adapted

ANEXO C: Ecossistemas Seleccionados em Jaguaruna

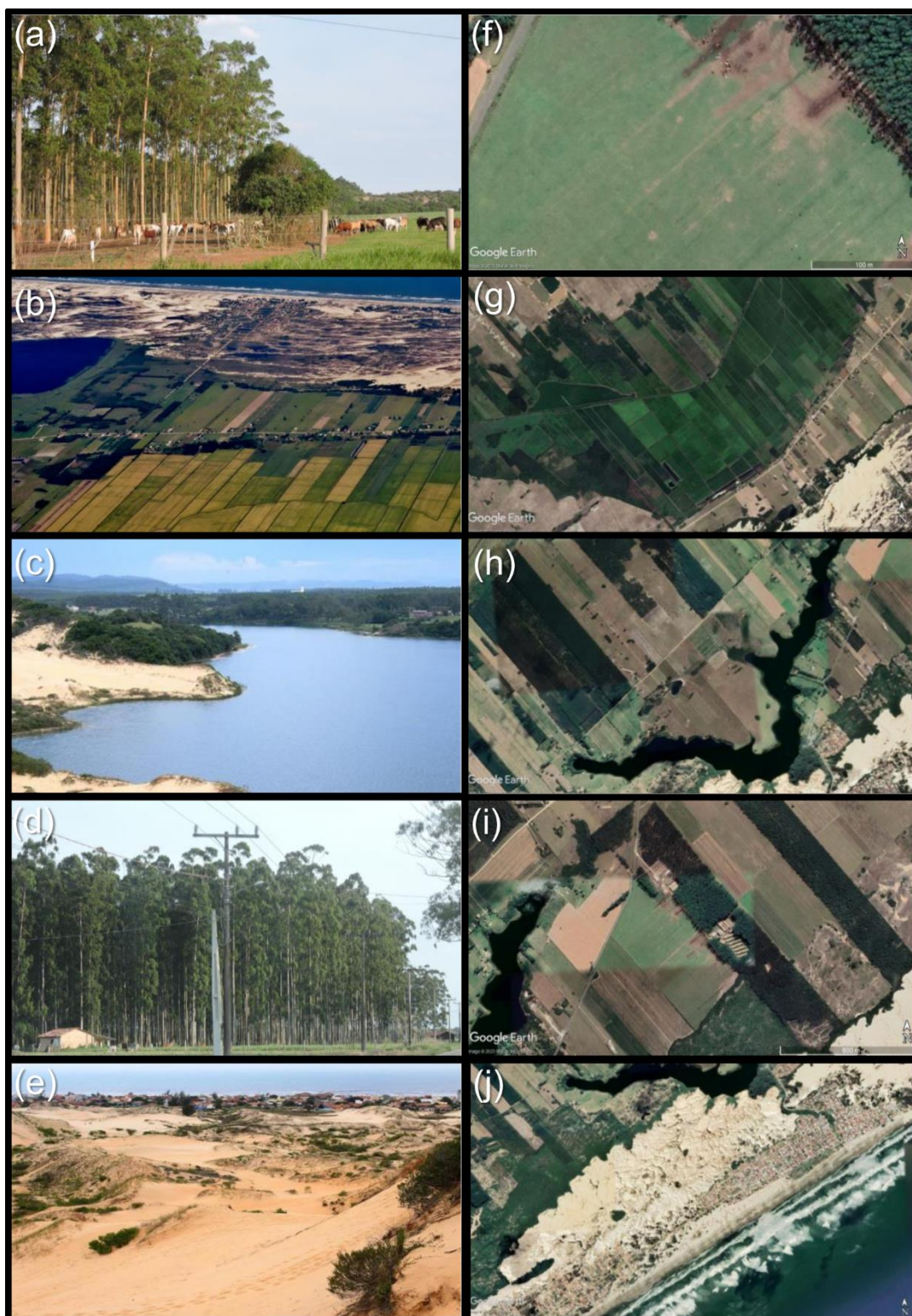


Figura A.1. (a) Atividade de Pecuária na SC-442 ao lado de área de Florestamento, na saída do Balneário Arroio Corrente em direção ao centro do município; (b) Área de Agricultura confrontante com a classe de Dunas no Balneário Figueirinha; (c) Lagoa do Arroio Corrente, exemplificando a classe de Águas Continentais e Marinhas; (d) Área da classe Florestamento, ao lado da atividade de Pecuária, na SC-442, saída do Balneário Arroio Corrente em direção ao centro do município; (e) Área da classe de Dunas, no entorno da Lagoa do Arroio Corrente; (f), (g), (h), (i) e (j) correspondem as imagens de satélites das áreas respectivas às fotos da esquerda. Fontes: (a), (d) fotos da autora em outubro de 2020; (b) Bonacin (201_); (c) e (e) Saviano (2013); (f), (g), (h), (i) e (j) Google Earth Pro (2023) correspondente a imagens de janeiro de 2023.

ANEXO D: Resumo em Evento – 2022

Resumo publicado nos anais da *Royal Geographical Society - Institute of British Geographers - Annual International Conference*.

970**Ecosystem-based spatial models in assessing coastal vulnerability: a few lessons learned in Southern Brazil**

Tatiana Silva^{1,2}, Laura Prestes¹, Giuliana Sfreddo^{3,1}, José Aquino^{2,1}, José Müller Neto^{2,1}, André Filgueras^{3,1}, Bruna Kappes^{2,1}, Daniela Silva^{2,1}, Kahuam Gianuca^{2,1}, Juliane Lenhard^{2,1}

¹Ricardo-Ayup Zouain Modeling Laboratory, Geodesy Department, Institute of Geosciences, Federal University of Rio Grande do Sul, Brazil. ²Remote Sensing Post Graduation Program, Federal University of Rio Grande do Sul, Brazil. ³Geosciences Post Graduation Program, Federal University of Rio Grande do Sul, Brazil

Abstract

Reaching true integration in assessing coastal vulnerability is not an easy task. It involves not only detecting vulnerable areas in terms of the physical variables, but also assessing current and potential social, economic, and environmental losses, which could be translated into ecosystem services losses. Ecosystem-based approaches emerge as an alternative to concatenate data of different scales and fields. Thus, the goal of this work is to present and discuss some initiatives and applications of spatial models with potential to support coastal adaptation. This includes combining existing InVEST models and new spatial metrics. The later aim to depict some social aspects using broad classes of beneficiaries as a proxy. Study cases vary in scale, from local to regional. In general, the ecosystem-based part of the analysis does not change in structure due to scale, but it does require adjustments in defining ecosystem and beneficiaries, that means, a quali-quantitative and spatial adjustment. The natural vulnerability component, on the other hand, requires that the input spatial data match the final cartographic scale. Despite the difficulties to obtain suitable datasets, in all cases we see advantages and advances in making the best use of the information available and in communicating results.

ANEXO E: Resumo Expandido em Evento – 2021

Resumo expandido publicado nos anais do X Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa.



X CONGRESSO SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DAS ZONAS COSTEIRAS DOS PAÍSES DE EXPRESSÃO PORTUGUESA

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE COSTEIRA EM JAGUARUNA, SC, BRASIL, UTILIZANDO UM ÍNDICE MULTICRITÉRIO

Giuliana Andréia Sfredo¹, Tatiana Silva da Silva², Eduardo Guimarães Barboza¹

¹ Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Avenida Bento Gonçalves, 9500, Prédio 43113, Porto Alegre/RS, 91509-900, Brasil, giulianasfredo@gmail.com, eduardo.barboza@ufrgs.br

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Geodésia, LABMODEL, Avenida Bento Gonçalves, 9500, Prédio 43130, Porto Alegre/RS, 91509-900, Brasil, tatiana.silva@ufrgs.br

Palavras-chave: Índice de Vulnerabilidade Costeira, Gestão com Base Ecológica, Índice de Exposição, População Costeira

INTRODUÇÃO

A vulnerabilidade de um ambiente é definida de acordo com o seu nível de exposição a determinada ameaça, bem como pela sua sensibilidade intrínseca, contrabalanceada pela sua capacidade de resposta e/ou adaptativa (BID, 2010). Dessa forma, a zona costeira do Município de Jaguaruna está vulnerável a sofrer danos ou perdas por ação de erosão e inundação. Com o objetivo de avaliar os locais mais expostos a perdas e danos, gerou-se um modelo de vulnerabilidade costeira para toda a região costeira do Município de Jaguaruna, Santa Catarina. Almejou-se que fosse de fácil aplicação, capaz de diferenciar níveis relativos de exposição e indicar locais que demandem um esforço mais intenso de gestão.

ÁREA DE ESTUDO

O Município de Jaguaruna localiza-se na região centro-sul do litoral do estado de Santa Catarina (SC). Seu contexto geológico é representado pelo setor costeiro emerso da Bacia de Pelotas (Dillenburg & Barboza, 2014), que, de acordo com Fernandez *et al.* (2019), é caracterizado morfologicamente por barreiras costeiras arenosas e lagoas na sua retaguarda, desenvolvidas durante o Quaternário em condições de clima temperado. Com relação ao aspecto demográfico, possui uma população estimada de 20 228 habitantes (IBGE, 2021). As condições meteorológicas da região são influenciadas pelo Anticiclone Tropical do Atlântico Sul de outubro a março e pelo Anticiclone Móvel Polar de abril a setembro (Araújo *et al.*, 2003), o que resulta em mudanças significativas nas condições climáticas ao longo do ano, o que predispõem os balneários a sofrerem eventos de inundação e de erosão costeira. A área de estudo está inserida dentro da Área de Proteção Ambiental da Baleia Franca (APABF), que em sua porção continental é ocupada por vegetação litorânea, predominantemente por formações herbáceas e arbustivas (Klein, 1978).

METODOLOGIA

Um índice de exposição costeira multicritério utilizando a média geométrica de variáveis biogeofísicas, conforme proposto por Gornitz (1991) e Sharp *et al.* (2020), e combinando dados demográficos na zona de interesse, foi calculado para o segmento costeiro do Município de Jaguaruna. As variáveis utilizadas foram velocidade do vento de tempestade e energia de onda; modelo digital de elevação topográfica; batimetria; linha batimétrica da borda da plataforma continental; geomorfologia local; localização de habitats naturais; e



distribuição da população. As informações sobre as 3 primeiras variáveis foram obtidas, respectivamente, do NOAA/ NCEP; USGS; GEBCO/DHN, e as demais convertidas para uso em SIG com base em dados de cartas náuticas do DHN, cobertura e uso do solo do Mapbiomas (MAPBIOMAS, 2019) e informações demográficas do IBGE (IBGE, 2011).

Dados sobre geomorfologia local e habitats naturais foram classificados em uma escala que varia de 1 a 5, de acordo com seu grau de exposição, sendo 1 atribuído à exposição muito baixa e 5 à exposição muito alta. Foram gerados mapas de saída com resolução de 30 m, que representam a vulnerabilidade costeira. Os resultados do índice de exposição biogeofísico (IExpBGF) combinados à distribuição da população permitiram avaliar os setores costeiros que estão mais vulneráveis frente a perigos costeiros, como ação de ondas de tempestade, inundação e erosão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sobre os resultados do IExpBGF, não foram encontrados para a área de estudo valores que indicam exposição muito baixa (1), baixa (2) e muito alta (5). A média dos valores obtidos foi 3.15 e o desvio padrão 0.65. Os maiores valores foram observados nos trechos compreendidos entre o sul de Garopaba do Sul e Figueirinha, bem como da região central de Esplanada até o limite municipal com Balneário Rincão (Figura 1). Valores de exposição média também foram encontrados ao sul do balneário Figueirinha até o limite municipal com o Balneário Rincão por Serafim & Bonetti (2017) em um modelo que considerou a influência regional de fatores físicos, que os autores chamaram de modelo de suscetibilidade. Os autores também indicam a maior relevância dos fatores físicos do que socioeconômicos sobre os locais da região centro-sul de SC.

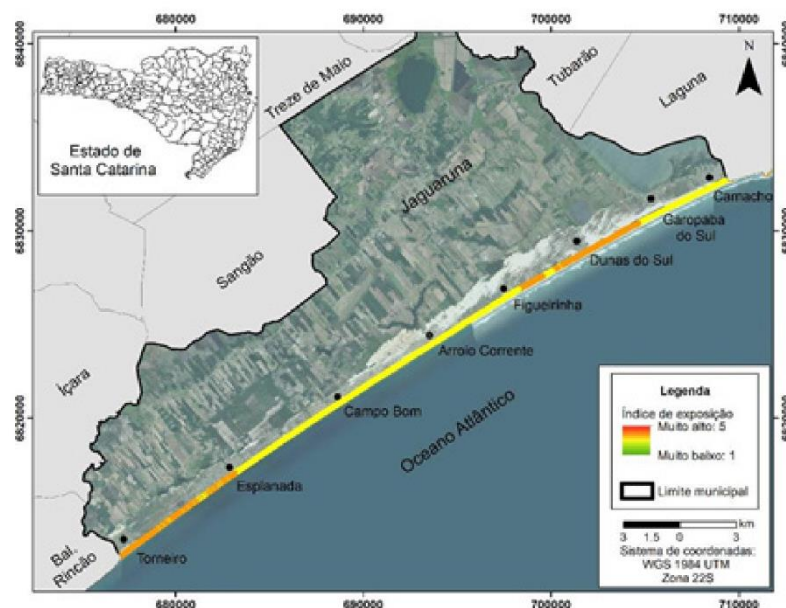


Figura 1. Índice de exposição costeira multicritério para o Município de Jaguaruna. Zonas com maior exposição em vermelho e menor exposição em verde.

Com relação ao aspecto populacional, a área de estudo é predominantemente ocupada em períodos de verão, caracterizando-se como um espaço de construção de segundas



residências. A população residente ao longo do ano foi estimada em 7161 habitantes, o que corresponde a aproximadamente 35% da população total. De acordo com IBGE (2011), os setores censitários com maior densidade demográfica são os balneários Camacho, Garopaba do Sul e Torneiro. Pela sua importância, dados demográficos e socioeconômicos têm sido utilizados por diferentes autores na avaliação da vulnerabilidade costeira, sendo, inclusive, incorporados em modelos consolidados a nível global, como o InVEST (Sharp *et al.*, 2020). Em contrapartida, ainda se encontram dificuldades em sua inclusão, devido à carência de dados censitários e grande espaço temporal entre os censos, fazendo com que seja necessário adequar os dados existentes aos modelos utilizados. Essa falta de padronização dificulta a comparação entre modelos de vulnerabilidade em áreas distintas e entre diferentes autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo avaliou a vulnerabilidade à erosão e inundações a que está submetida a zona costeira do Município de Jaguaruna. Até o presente momento não havia sido realizada uma análise semelhante em escala local para esse município. Considera-se que uma das causas para essa lacuna seja a falta de disponibilidade e padronização de dados locais e regionais necessários para a confecção de modelos. O índice calculado apresenta limitações inerentes a utilizações de modelos algébricos, que incluem a supressão de algumas variáveis. Nesse caso, não foi considerada a deriva litorânea, sendo essa considerada uma consequência da dinâmica de ondas e ventos. Apesar disso, os índices se mostram efetivos para serem utilizado junto ao poder público, já que a identificação de setores mais vulneráveis pode contribuir na identificação de áreas prioritárias para a gestão costeira e, inclusive, indicar áreas que necessitam de um plano prioritário de mitigação contra eventos extremos.

REFERÊNCIAS

- Araújo, C. E. S.; Franco, D., Melo, E.; Pimenta, F. 2003. Wave Regime Characteristics of the Southern Brazilian coast. International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries, 97, 1-15.
- BID – Banco Interamericano de Desarrollo. 2010. Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático, Diagnóstico inicial, avances y potenciales líneas de acción en Mesoamérica. Unidad de Energía Sostenible y Cambio Climático, Departamento de Infraestructura y Medio Ambiente.
- Dillenburg, S. R.; Barboza, E. G. 2014. The Strike-Fed Sandy Coast of Southern Brazil. In: MARTINI, I.P.; WANLESS, H.R. (Eds.). Sedimentary Coastal Zones from High to Low Latitudes: Similarities and Differences. Geological Society of London, Special Publications v. 388, p. 333-352. DOI: 10.1144/SP388.16
- Fernandez, G. B.; Rocha, T. B.; Barboza, E. G.; Dillenburg, S. R.; Rosa, M. L. C. C.; Angulo, R. J.; Souza, M. C.; Oliveira, L. H. S.; Dominguez, J. M. L. 2019. Natural landscapes along Brazilian coastline. In SALGADO, A.A.R.; SANTOS, L.J.C.; PAISANI, J.C. (org.) The Physical Geography of Brazil - Environment, Vegetation and Landscape. Springer, Cham, p. 199-218. DOI: 10.1007/978-3-030-04333-9_10
- Gornitz V. 1991. Global coastal hazards from future sea level rise. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 89, 379-398.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2011. Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil. Rio de Janeiro. 176p.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2021. IBGE Cidades e Estados, Jaguaruna, Santa Catarina. Acessado em: 26 jun. 2021.
- Klein, R.M. 1978. Mapa fitogeográfico do estado de Santa Catarina. Flora Ilustrada Catarinense, parte V: Mapa fitogeográfico. Itajaí: Herbário "Barbosa Rodrigues". 24 p.
- MAPBIOMAS. 2019. Projeto MapBiomias - Coleção 4 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso do Solo do Brasil cobrindo o período de 1985 - 2018. Disponível em: <<http://mapbiomas.org/>> Acesso em 24 de set. 2019.
- Serafim, M. B.; Bonetti, J. 2017. Vulnerabilidade das praias do Estado de Santa Catarina a eventos de erosão e inundação costeira: proposta metodológica baseada em um índice multicritério. Quaternary and Environmental Geosciences, 8, 36-54.
- Sharp, R. *et al.* 2020. InVEST 3.9.0. User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.

9º Congresso Nacional de Geomorfologia
Que Futuro para a Geomorfologia...?
11-12 de novembro 2019 » Universidade do Minho (Guimarães)

Verificação de áreas com variação e estabilidade de linha de costa no modelo de vulnerabilidade costeira do InVEST através do DSAS: Estudo de caso da Baía da Babitonga – SC

Verification of areas with shoreline variation and stability in the InVEST's coastal vulnerability model through DSAS: Case Study of Babitonga Bay - SC

Giuliana Andréia Sfredo^{1,2*}, Northon Amaral Sambaqui Gruber², José Nunes de Aquino², Paulo Fiuza Lamarão³, Samuel Gameiro⁴, Tatiana Silva da Silva², Eduardo Guimarães Barboza¹

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, CECO, Avenida Bento Gonçalves, 9500, Prédio 43130, Porto Alegre/RS, 91509-900

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Geodésia, LABMODEL, Avenida Bento Gonçalves, 9500, Prédio 43130, Porto Alegre/RS, 91509-900

³Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Mecânica, GMAP, Rua Sarmento Leite, 425, Prédio 11107, Porto Alegre/RS, 90046-902

⁴Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, LAGAM, Avenida Bento Gonçalves, 9500, Prédio 44202, Porto Alegre/RS, 91501-970

*giulianasfredo@gmail.com

Palavras-chave: Modelagem espacial; gestão costeira; erosão; São Francisco do Sul; Itapoá.

Key-words: Spatial modeling; coastal management; erosion; São Francisco do Sul; Itapoá.

INTRODUÇÃO

A vulnerabilidade costeira se refere à predisposição aos danos que uma comunidade está submetida devido a um ou mais riscos costeiros (IOC, 2009). Esses riscos estão relacionados a eventos meteorológicos extremos e as mudanças climáticas, podendo gerar enormes perdas econômicas.

Com a necessidade de avaliar quais áreas costeiras apresentam maior vulnerabilidade, este estudo utilizou os modelos *Coastal Vulnerability (CV)* do InVEST e *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)*. O primeiro propõe a produção de uma estimativa qualitativa da exposição à erosão induzida por tempestades e inundações através de um Índice de Vulnerabilidade, que diferencia áreas com exposição relativamente alta ou baixa à erosão e inundação durante tempestades (NATCAP, 2018).

Para analisar a robustez do modelo CV, os resultados obtidos para a área de estudo da Baía da Babitonga, SC, foram comparados aos resultados de variação e estabilidade de linha de costa alcançados através do DSAS.

9º Congresso Nacional de Geomorfologia
Que Futuro para a Geomorfologia...?
11-12 de novembro 2019 » Universidade do Minho (Guimarães)

Nessa perspectiva, pretende-se alcançar uma metodologia de fácil aplicação e que forneça elementos relevantes para a tomada de decisão em relação às áreas com maior vulnerabilidade costeira.

ÁREA DE ESTUDO

A Baía da Babitonga se localiza no litoral norte do estado de Santa Catarina (SC) (Fig. 1). Essa região constitui um significativo complexo industrial, do tipo eletro-metal-mecânico, têxtil, plástico e alimentício. Em relação à socioeconomia, sua importância está atrelada a vocação portuária, pesqueira e turística (KNIE, 2002). Já no que diz respeito à parte ambiental, constitui a maior área de manguezal e o maior complexo estuarino do estado, com uma superfície hídrica de aproximadamente 160 km².

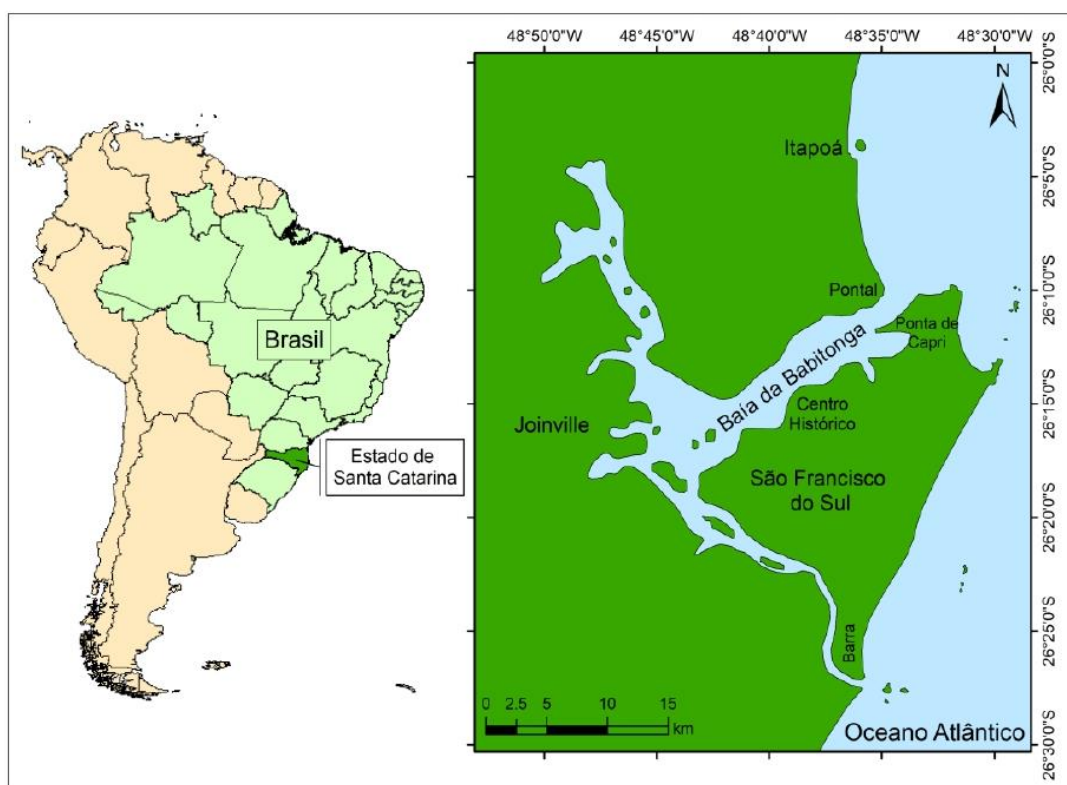


Figura 1. Localização da Baía da Babitonga, no estado de Santa Catarina, Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

Foi realizada, como primeira etapa, a construção do modelo de vulnerabilidade costeira do InVEST. Este modelo é auto-alimentado por um banco de dados de onda e vento. Posteriormente, foram inseridos dados de linha de costa, modelo digital de elevação do terreno SRTM de 90 m de resolução, batimetria, densidade demográfica, estruturas antropogênicas e sistemas ambientais naturais.

De posse da imagem de saída deste modelo, que contém classificações da exposição de diferentes segmentos da linha de costa relativas à erosão e à inundação, foram

9º Congresso Nacional de Geomorfologia
Que Futuro para a Geomorfologia...?
11-12 de novembro 2019 » Universidade do Minho (Guimarães)

selecionadas três áreas para serem analisadas pelo DSAS: Pontal do Itapoá, Centro Histórico e Praia da Barra.

Para tornar possível a análise foram utilizadas imagens de alta resolução do Google Earth Pro. Por meio do método DSAS foi definida a linha de base através de um *buffer* das linhas mapeadas para os anos de 2011, 2014 e 2018. A partir de então foram gerados transectos ortogonais a linha de base, e foram calculadas as taxas de mudanças através do método estatístico LRR (*Linear Regression Rate*). O indicador utilizado foi o limite entre areia úmida e areia seca, por se tratar de uma feição facilmente identificável.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo CV tem como resultado de saída uma imagem que varia de 1 até 5 e indica as regiões mais propensas a sofrerem efeitos de eventos extremos e erosão. O modelo apresenta resolução espacial de 30 m, sendo, dessa forma, mais apto para analisar grandes regiões, com menor nível de detalhamento (Fig. 2).

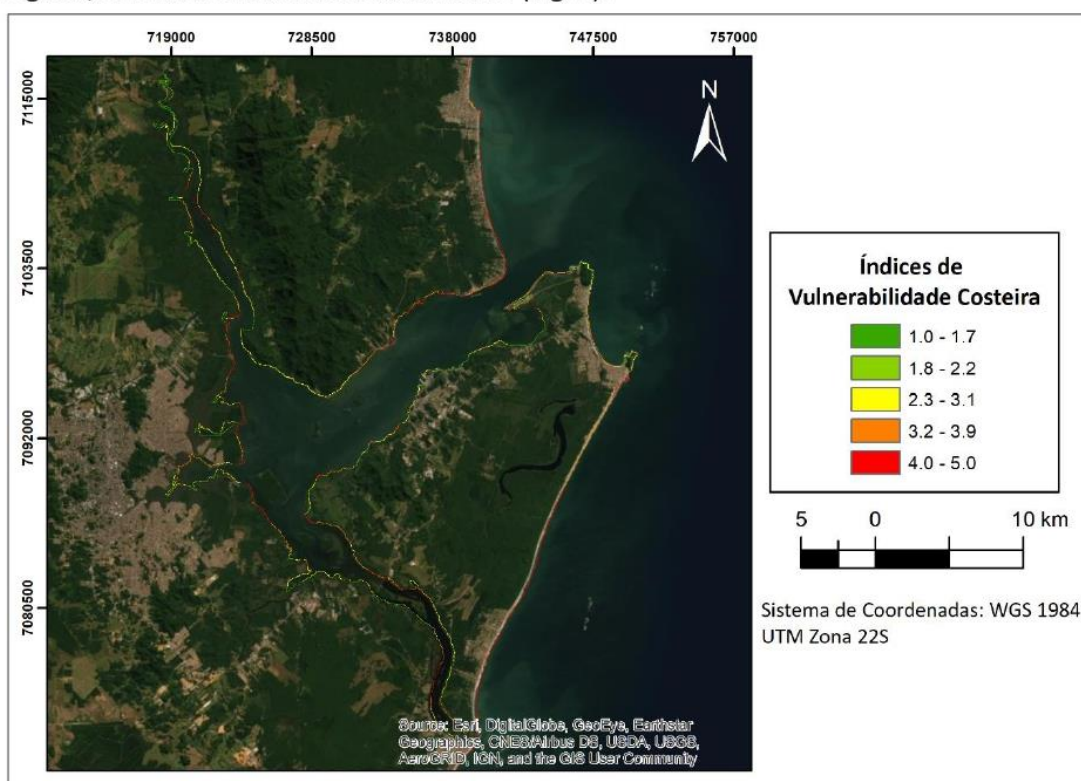


Figura 2. Identificação da vulnerabilidade costeira nas margens da Baía da Babitonga e praias oceânicas adjacentes.

Os resultados mostram que a vulnerabilidade costeira para essa região é máxima onde existe a intersecção entre urbanização e litoral exposto à energia de ondas, como no Pontal do Itapoá, analisado a seguir. Também é possível observar que nas reentrâncias da Baía da Babitonga, onde a dinâmica costeira é menor, as margens apresentam menor vulnerabilidade, ou seja, menor pré-disposição à riscos causados por eventos meteorológicos extremos.

9º Congresso Nacional de Geomorfologia
 Que Futuro para a Geomorfologia...?
 11-12 de novembro 2019 » Universidade do Minho (Guimarães)

A análise, em maior detalhamento no Pontal de Itapoá, mostra que a região está submetida a vulnerabilidade máxima de 5 em praticamente toda sua extensão (Fig. 3). Como o modelo CV tem uma resolução espacial menor optou-se em analisar a região com auxílio do método DSAS, que possui bons resultados para análise de áreas de estudo locais.

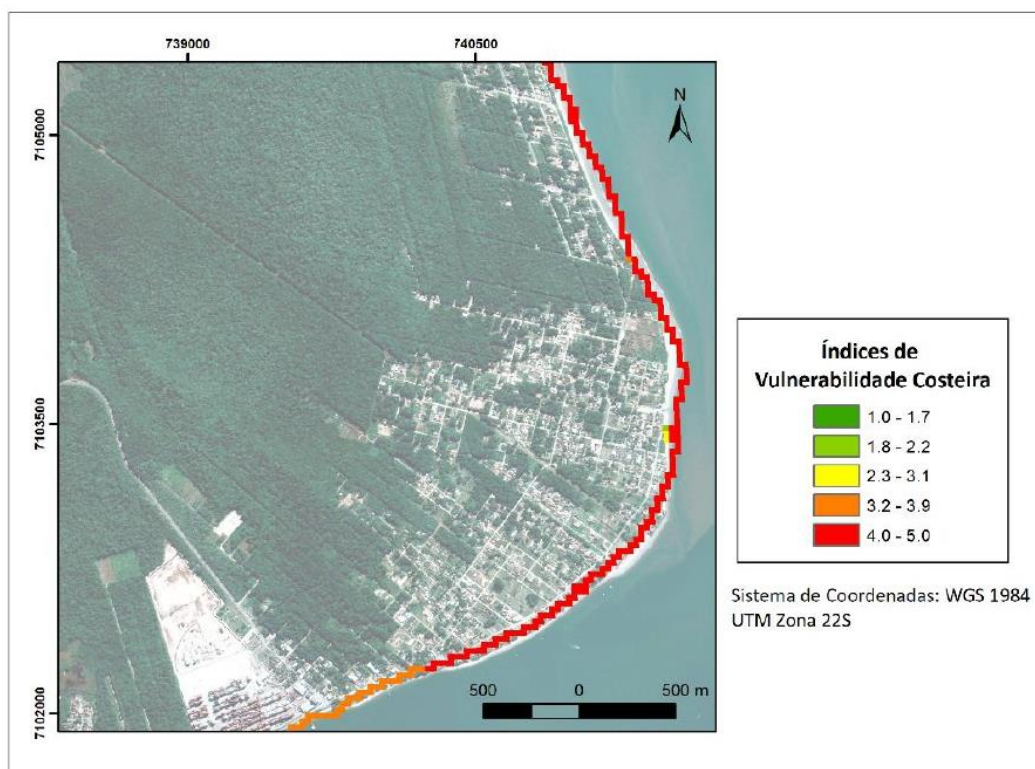


Figura 3. Identificação da vulnerabilidade costeira para o Pontal do Itapoá. Imagem de base do Google Earth Pro, de 13.07.2018.

Ao comparar os modelos, mesmo tendo em consideração que as resoluções espaciais são diferentes, se observa que existe consistência entre ambos, já que o DSAS aponta que a área está sofrendo nos últimos anos com erosão da linha de costa, principalmente na porção nordeste, com valores que chegam à 6,9 m por ano (Fig 4).

O mesmo é observado para a região da Barra, onde o modelo CV indica alta vulnerabilidade costeira e o modelo DSAS indica taxas de erosão em uma análise detalhada.

9º Congresso Nacional de Geomorfologia
Que Futuro para a Geomorfologia...?
11-12 de novembro 2019 » Universidade do Minho (Guimarães)

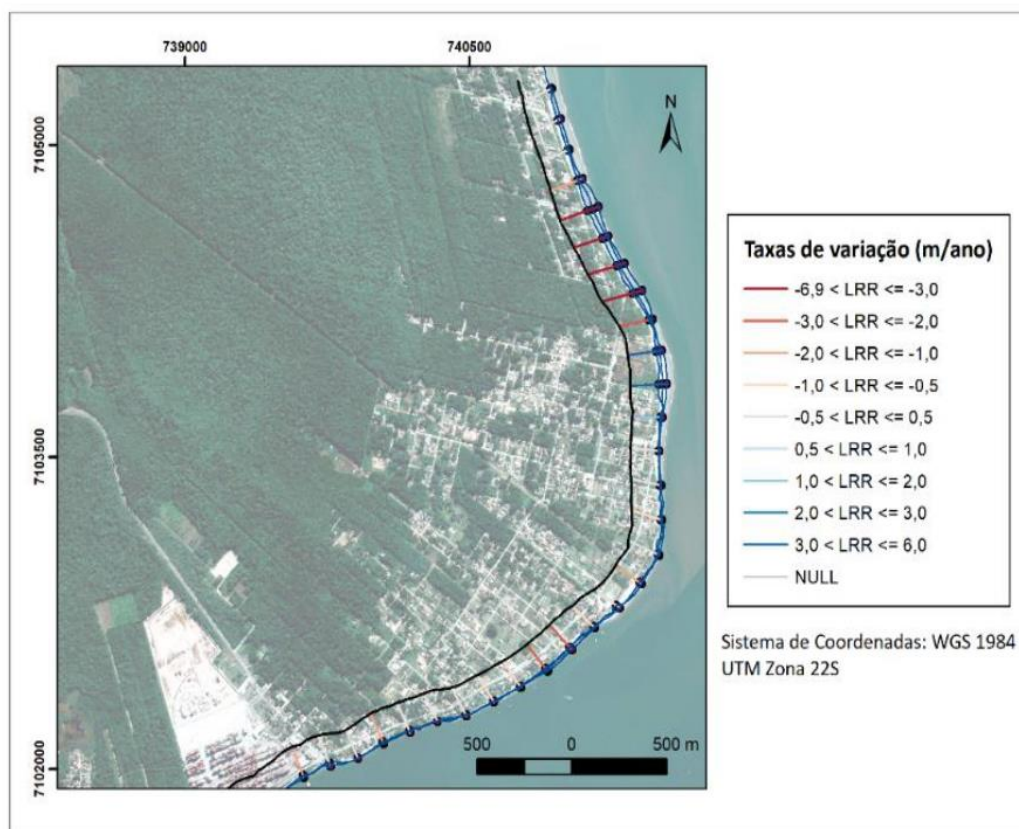


Figura 4. Identificação da taxa de variação da linha de costa para o Pontal do Itapoá através do DSAS. Imagem de base do Google Earth Pro, de 13.07.2018.

Para as áreas do Porto de São Francisco do Sul e adjacências do Centro Histórico, a classificação do CV é de média vulnerabilidade, sinalizando que as comunidades tendem a não estarem totalmente expostas à erosão e inundação decorrente de eventos extremos. O modelo, porém, desconsidera precipitação intensa. Para o Centro Histórico, o DSAS retorna resultados de pouca ou nenhuma variação na linha de costa, já que a orla é construída em rocha.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Isto posto, o modelo CV cumpre seu objetivo de identificar as regiões que estão mais propensas aos riscos, sendo aplicável para grandes áreas costeiras. Apresenta resultados consistentes, como foi possível observar ao comparar seus resultados com os obtidos através do DSAS.

Dessa forma, sugere-se a aplicação do CV em áreas que estão submetidas a intersecção de alta dinâmica costeira e urbanização, como a Baía da Babitonga. Suas vantagens consistem em apresentar fácil visualização aos gestores públicos, possibilitando que estes criem estratégias de desenvolvimento para cada setor dos municípios, elegendo áreas prioritárias para intervenção, baixo custo e fácil aplicação.

9º Congresso Nacional de Geomorfologia
Que Futuro para a Geomorfologia...?
11-12 de novembro 2019 » Universidade do Minho (Guimarães)

REFERÊNCIAS

IOC - Intergovernmental Oceanographic Commission. 2009. Hazard awareness and risk mitigation in integrated coastal area management. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), Manuals and Guides nº 50, ICAM Dossier Nº 5, 141p., Paris, França. Disponível em:

<http://iocunesco.org/index.php?option=com_oe&task=viewDocumentRecord&docID=394>
. Acesso em: 07 de set. 2019.

KNIE, J. L. W. (Org.) (2002). Atlas Ambiental da Região de Joinville: Complexo Hídrico da Baía da Babitonga. FATMA/GTZ, Florianópolis, 187 p.

NATCAP - NATURAL CAPITAL PROJECT. Disponível em:
<<http://data.naturalcapitalproject.org/>>. Acesso em: 01 de set. 2019.

SEDES - SECRETARIA DO ESTADO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SUSTENTÁVEL. Panorama do Estado de Santa Catarina. Florianópolis: SEDES, 2009. [Apresentação de Power Point].

ANEXO G: Resumo em Evento – 2019

Resumo publicado no livro de resumos do *XVIII Congresso Latinoamericano de Ciências del Mar*.

XVIII Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar-COLACMAR 2019
Asociación Latinoamericana de Investigadores en Ciencias del Mar-ALICMAR
4-8 Noviembre, Mar del Plata, Argentina

ENFOQUE DE BASE ECOSISTÉMICA EN LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD COSTERA EN LA BAHÍA DE BABITONGA – SC

GIULIANA A. SFREDO^{1,2}, JOSÉ N. DE AQUINO², MARCO A. DE OLIVEIRA², ANDRÉ S. FILGUERAS^{1,2}, LUCIANO HERMANN³, TATIANA S. DA SILVA², EDUARDO G. BARBOZA¹

¹Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica (CECO/UFRGS), Porto Alegre, Brasil

²Laboratório de Modelagem Ricardo Ayup-Zouain (LABMODEL/UFRGS), Porto Alegre, Brasil

³Acquaplan Tecnologia e Consultoria Ambiental (ACQUAPLAN), Santa Catarina, Brasil

giulianasfredo@ufrgs.br

La vulnerabilidad costera se refiere a la predisposición a los daños a los que se somete una comunidad debido a uno o más riesgos costeros. Dichos riesgos, a la vez, están relacionados con eventos extremos de cambio climático y se encuentran íntimamente asociados a la vulnerabilidad social a la que comunidades costeras enfrentan y que pueden generar grandes pérdidas económicas. Con el propósito de evaluar las cuestiones planteadas para el área de estudio de la Bahía de Babitonga, el objetivo de este trabajo es aportar elementos relevantes para la toma de decisión respecto a las áreas con mayor vulnerabilidad costera, a fin de tomar la planeación y la gestión más eficientes. Con esta perspectiva, se aplicaron técnicas de modelación espacial para indicar las áreas en las que hay más propensión a erosión y exposición de la población a inundación, índices que combinados generan una imagen de salida que indica la vulnerabilidad de las poblaciones humanas a eventos extremos. La elección del área de estudio ocurrió en función del hecho de que la Bahía de Babitonga constituye la mayor área de humedal y el mayor complejo estuarino del estado de Santa Catarina, como también por su relevancia socioeconómica. El modelo fue alimentado por una base de datos de oleaje y viento, que han sido interpolados de acuerdo con la latitud y la longitud del área de estudio. Además, se incluyeron datos de línea de costa, modelación digital de elevación del terreno, batimetría, densidad demográfica, estructuras antropogénicas y sistemas ambientales naturales. Los resultados son consistentes con lo que se observa en imágenes de series históricas para la región de Pontal de Itapoá, que sufre desde hace años con erosión de la línea de costa. Eso también se observa en la región del muelle existente en la Playa de Ervino. Por otra parte, el modelo clasifica las áreas del Puerto de São Francisco do Sul, adyacencias del Centro Histórico y del Capri late Clube como siendo de vulnerabilidad mínima a la erosión, señalando que, aun a la orilla de un cuerpo hídrico, la tendencia es que las comunidades no estén expuestas a la erosión y a la inundación derivada de eventos considerados en el modelo (el que desconsidera la precipitación intensa). Considerando lo expuesto, el modelo cumple su objetivo de identificar las regiones que están más propensas a los riesgos, además de ser de fácil visualización a los gestores públicos, posibilitando la creación de estrategias de desarrollo para cada sector de los municipios, eligiendo áreas prioritarias para intervención.

Palabras clave: *Eventos extremos, Cambio climático, Modelación espacial.*

ANEXO I
Título da Tese:
“ESTRUTURAS ANALÍTICAS EM SIG APLICADAS À AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE COSTEIRA E SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS RELACIONADOS: ESTUDO DE CASO DE JAGUARUNA - SC”
Área de Concentração: Geologia Marinha
Autora: Giuliana Andréia Sfreddo
Orientador: Prof. Dr. Eduardo Guimarães Barboza Coorientadora: Profa. Dra. Tatiana Silva da Silva
Examinador: Prof. Dr. Nelson Luiz Sambaqui Gruber
Data: 26/03/2023
Conceito: A
PARECER:
<p>O tema da presente tese é relevante sobre valoração e análise de serviços ecossistêmicos, tratando de riscos costeiros em uma abordagem inovadora, aliando técnica, expertise em síntese de dados, diagramas e cenários, num arcabouço passível de entendimento a gestores e servindo de subsídios a políticas públicas.</p> <p>Trata de questões para prevenção, adaptação a setores vulneráveis da costa sujeitos a danos ou prejuízos pela ação da erosão, inundações e ondas de eventos onde a sua valoração (VC) torna-se relevante como suporte a ações de planejamento e gestão.</p> <p>O Projeto da Tese é bem estruturado, posto em forma de artigos, apresentando texto Introdutório, que problematiza bem e discute o referencial teórico-metodológico e o contexto do recorte da área estudada, e ao final traz um texto integrador, o que no conjunto, com os artigos, atinge com sucesso seu propósito</p> <p>A zona costeira do município de Jaguaruna, em Santa Catarina, em conjunto com a APA da Baleia Franca já forneceu bons estudos prévios, e possibilitou base sobre problemas relacionados à VC e abordagens aplicadas a subsidiar a gestão propostas nesta tese.</p> <p>Os objetivos são claros e a metodologia traz o mapeamento dos os ecossistemas da área, os SEc e as as metodologias aplicadas em de valoração ambiental, permitiram a geração dos índices de multicritério de vulnerabilidade costeira, adaptados pela média geométrica de variáveis biogeofísicas e socioeconômicas. Uma metodologia de baixo custo, sem deslocamentos, e passível de ser replicada em outras áreas, e que se mostrou muito eficiente e elucidativa.</p> <p>O artigo do Capítulo II Avaliação econômica de ecossistemas costeiros selecionados baseada nos serviços ecossistêmicos-chave de abastecimento e regulação de Jaguaruna (Brasil) traz a pressão socioeconômica como vetor e</p>

quantifica os valores associados aos serviços ecossistêmicos.

Questões também abordadas no artigo do Capítulo III Avaliação da Vulnerabilidade Costeira Local com Base em um Modelo Global: Estudo de Caso em Jaguaruna, SC, Brasil, numa discussão integrada para o manejo e tomada de decisão em áreas propensas a riscos costeiros.

A Tese apresenta com clareza em seus vários Resultados da valoração ambiental, dando paradigmas para definição de estratégias de gestão onde o Poder Público e a comunidade não têm idéia do alto custo da degradação ambiental.

Este é um ponto alto do trabalho. Critérios bem definidos e elucidativos, espacializados/mapeados e quantificados de forma clara a fim de fornecer cenários para a gestão.

Dados da autora, *“de agricultura e a pecuária; as águas continentais e o ambiente marinho; e, florestamento foram respectivamente 1,74; 2,86; 2,89 milhões de dólares ao ano, enquanto para as dunas, as praias e as restingas variou entre a faixa de US\$ 3120 – 6240 ha-1 ano-1”*, são valores alarmantes do passivo ambiental.

Já para o índice de VC, os resultados mostram valores máximos no Balneário Torneiro e altos no Balneário Campo Bom e algumas regiões do Balneário Camacho.

A autora comenta com propriedade que, *“os resultados obtidos reforçam que a presença humana na região costeira modifica o ambiente natural e contribui decisivamente para aumentar a VC, bem como, que os SEc disponibilizados pelos ambientes valem milhões de dólares por ano”*.

E tais resultados acessíveis e passíveis de serem utilizados junto ao poder público, reconhecendo setores mais vulneráveis e a valoração dos ecossistemas, contribuem fortemente, para a identificação de áreas prioritárias para a Gestão Costeira. Bem como indicam áreas que necessitam de um plano prioritário de mitigação contra eventos extremos. Assim, este é um trabalho aplicado, inédito e de grande potencial de uso para gestão.

Consideramos uma excelente Tese, com estrutura, desenvolvimento, metodologia e resultados claros e aplicados, dando nossa aprovação ao requisito parcial para a obtenção de Título de Doutorado.

Aprovado.

Assinatura:

Data:

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

ANEXO I

Título da Tese:

“ESTRUTURAS ANALÍTICAS EM SIG APLICADAS À AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE COSTEIRA E SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS RELACIONADOS: ESTUDO DE CASO DE JAGUARUNA - SC”

Área de Concentração: Geologia Marinha

Autora: **Giuliana Andréia Sfreddo**

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Guimarães Barboza
Coorientadora: Profa. Dra. Tatiana Silva da Silva

Examinador: Prof. Dr. Jair Weschenfelder

Data: 30/03/2023

Conceito: A (Excelente)

A Tese de Doutorado da discente do Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGGEO) da UFRGS, **Giuliana Andréia Sfreddo**, trata da aplicação de ferramentas de SIG na avaliação da vulnerabilidade costeira e serviços ecossistêmicos do município de Jaguaruna, Santa Catarina, BR.

A estrutura geral da Tese de Doutorado é satisfatória e atende aos requisitos de ‘tese por artigo’ das normativas do Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGGEO) do Instituto de Geociências da UFRGS, com corpo principal da tese constituído de um artigo publicado ou aceite e mais um artigo submetido em temas relacionados diretamente ao tema central da tese. O texto é em geral bem escrito, com pouco erros gramaticais e de concordância e de formatação.

Em termos dos procedimentos metodológicos considero que o trabalho (texto da Tese) poderia explicitar melhor, de forma mais detalhada e aprofundada, como foi feita a coleta dos dados de campo, da forma de coleta, apresentar tabelas detalhadas dos dados coletados, mapas/*shapes* etc – esses dados poderiam ser apresentados na forma de anexo no trabalho. Isso pois nos artigos a metodologia fica muito reduzida, por conta e dificulta o entendimento dos desses procedimentos ao leitor menos atuante nessa área específica do conhecimento.

A análise e discussão poderia ainda considerar de forma mais aprofundada os resultados e cenários recentes sobre a subida do nível do mar, e eventos associados,

divulgados pelo último relatório do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change – ONU*), com tendências e cenários para até o final deste século. Esse relatório indica mudanças climáticas sem precedentes na história recente, com impactos vastos e severos sobre os ecossistemas costeiros, exigindo medidas urgentes de adaptação e resiliência. Talvez seja necessário que para o setor analisado (por prefeitura e órgãos gestores municipais) se considere quais formas de adaptação e resiliência já podem ser adotadas no gerenciamento desse ambiente costeiro.


A apresentação da tese, feita de forma remota pelo Mconf UFRGS, foi satisfatória e esclareceu alguns pontos levantados pela banca. Os questionamentos foram respondidos de forma segura.

Assinatura:

Data: 30/03/2023

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

ANEXO I	
Título da Tese:	
“ESTRUTURAS ANALÍTICAS EM SIG APLICADAS À AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE COSTEIRA E SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS RELACIONADOS: ESTUDO DE CASO DE JAGUARUNA - SC”	
Área de Concentração: Geologia Marinha	
Autora: Giuliana Andréia Sfreddo	
Orientador: Prof. Dr. Eduardo Guimarães Barboza Coorientadora: Profa. Dra. Tatiana Silva da Silva	
Examinador: Prof. Dr. Milton Lafourcade Asmus	
Conceito: B	
<p style="text-align: center;">PARECER:</p> <p>Considero o trabalho de tese de Giuliana Andréia Sfreddo como portador de indiscutível valor. Ele demonstra um considerável esforço para a geração de uma destacada quantidade de informações científicas interessantes. Da mesma forma, a candidata demonstra ter desempenhado uma boa produtividade de artigos e apresentações em encontros científicos. O fato de que uma parte significativa dos resultados já ter passado pelo processo de avaliação por pares, quando da submissão de artigos, já apresenta um resultado concreto e positivamente avaliado do projeto de tese. Visto como contribuições científicas, esses segmentos da tese já garantiriam, a meu juízo, o patamar mínimo necessário para a sua aprovação.</p> <p>Há pontos passíveis de críticas e aprimoramentos. A proposta da tese, como um todo, não está adequadamente estruturada e logicamente organizada. Uma melhor clarificação da problemática do tema seria bem-vinda, já que, a meu juízo, ela aparece mais como uma problemática do caso de estudo utilizado. Essa relativa indefinição da proposta geral, prejudica uma melhor avaliação das conclusões. Nota-se, da mesma forma, uma dificuldade em integrar, no âmbito de uma proposta, os resultados parciais obtidos (e publicados), sem demérito à qualidade destes resultados.</p> <p>No corpo do texto, incluí alguns comentários específicos, que serão repassados à candidata.</p>	
Assinatura: 	Data: 30 de março de 2023

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno: