



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

André de Souza de Lima

**Gestão costeira e mudanças climáticas: uma análise multiescalar da contribuição da
legislação e da comunidade científica no Brasil**

Florianópolis
2021

André de Souza de Lima

**Gestão costeira e mudanças climáticas: uma análise multiescalar da contribuição da
legislação e da comunidade científica no Brasil**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em
Geografia da Universidade Federal de Santa Catarina
para a obtenção do título de Doutor em Geografia.
Orientador: Profa. Marinez Eymael Garcia Scherer, Dra.
Coorientador: Prof. Jarbas Bonetti, Dr.

Florianópolis

2021

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

de Lima, André de Souza
Gestão costeira e mudanças climáticas : uma análise
multiescalar da contribuição da legislação e da comunidade
científica no Brasil / André de Souza de Lima ;
orientador, Marinez Eymael Garcia Scherer, coorientador,
Jarbas Bonetti, 2021.
129 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa
de Pós-Graduação em Geografia, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Geografia. 2. Políticas públicas. 3. Revisão de
literatura. 4. Modelagem numérica. 5. Eventos extremos. I.
Scherer, Marinez Eymael Garcia. II. Bonetti, Jarbas . III.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós
Graduação em Geografia. IV. Título.

André de Souza de Lima

Gestão costeira e mudanças climáticas: uma análise multiescalar da contribuição da legislação e da comunidade científica no Brasil

O presente trabalho em nível de doutorado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Milton Lafourcade Asmus, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina/ Universidade Federal do Rio Grande

Tatiana Silva da Silva, Dra.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Javier Garcia Onetti, Dr.

Universidad de Cádiz

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de doutor em Geografia.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Profa. Marinez Eymael Garcia Scherer, Dra.

Orientadora

Florianópolis, 2021.

Este trabalho é dedicado aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Muitas pessoas colaboraram com o desenvolvimento desta pesquisa e me deram força e motivação para continuar na pós-graduação durante esses quatro anos, muitas delas nem sabem disso. Sou eternamente grato aos meus pais José e Jane pela educação e apoio incondicional que recebi durante toda a minha jornada acadêmica. Onde quer que eu esteja e aconteça o que acontecer eu sei que posso contar com vocês e isso não tem preço. Amo vocês!

Na Universidade Federal de Santa Catarina, que me acolheu desde o mestrado em 2014, conheci uma segunda família. Agradeço o apoio dos amigos Chico, Fabrício, Zelão, Thales, Mari, Nat e Gandra e dos demais colegas que foram chegando no decorrer dos anos. Até a fila do RU fica boa com vocês. Agradeço também aos *roommates* Apoena e Oxana que tornaram os primeiros anos do doutorado inesquecíveis na Barra da Lagoa. Vou com certeza levar a amizade de todos para o resto da vida. Também agradeço aos colegas do LAGECI, onde os encontros semanais com certeza tornaram o doutorado mais leve, e do LOC onde conduzi minha pesquisa durante o segundo ano do doutorado e me aproximei da oceanografia.

Agradeço imensamente aos meus orientadores Marinez e Jarbas por todo o apoio, todas as revisões de texto de última hora, todos os conselhos e ensinamentos e, sobretudo, amizade. Também agradeço aos demais professores do Programa de Pós-graduação em Geografia da UFSC e as técnicas Helena e Renata por todo o suporte durante esses anos.

A pós-graduação também me proporcionou uma experiência bastante enriquecedora na George Mason University nos Estados Unidos, onde em pouco tempo consegui além de aprender muito, conhecer grandes amigos que também vou levar para a vida. Obrigado Andy, Tyler, Gustavo, Arslaan e Felicio pela parceria e pela paciência com o único "de humanas" em um laboratório cheio de engenheiros. Agradeço também ao professor Celso Ferreira que me acolheu no *Flood Hazards Research Lab*, onde me sinto parte do time até hoje.

Por fim, agradeço ao Ministério da Educação pela bolsa de estudos que tornou esse trabalho possível. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Computadores são inúteis. Eles só podem nos dar respostas (Picasso, 1964).

RESUMO

Os principais desafios relacionados às mudanças climáticas estão concentrados nos países em desenvolvimento, especialmente em áreas costeiras. Espera-se que os efeitos dessas mudanças resultem em aumentos expressivos na intensidade de eventos extremos devido a tempestades mais intensas e frequentes, que, em conjunto com a subida do nível do mar (SLR, do inglês *Sea-Level Rise*), tem o potencial de exacerbar o impacto das tempestades nas comunidades costeiras. É de suma importância reconhecer os efeitos das mudanças climáticas como uma ameaça relativa levando em conta as peculiaridades das áreas costeiras e as diferentes escalas de gestão, Nacional, Estadual e Municipal. As políticas públicas destinadas a gestão integrada da zona costeira (GIZC) brasileira estão disponíveis, em maioria, para escala nacional e estadual. Ao mesmo tempo, as principais ameaças ambientais a essa porção do território se concentram em escala local, sobretudo em relação aos efeitos das mudanças climáticas. Essa pesquisa foi estruturada em três capítulos e teve como objetivo geral compreender como as políticas públicas e os instrumentos de gestão da zona costeira brasileira estão alinhados com a produção científica relacionada aos efeitos das mudanças climáticas. Para isso, foram adotadas três metodologias distintas que avaliaram as políticas públicas e normativas brasileiras em relação às mudanças climáticas; foi também proposto um esquema metodológico para o resgate e a organização de dados e informações pré-existentes de interesse à GIZC em escala local (Praia dos Ingleses, Florianópolis, SC). Por fim, investigou-se a efetiva aplicabilidade de modelos preditivos em simular eventos extremos no Sul do Brasil, dadas as conhecidas limitações impostas pela falta de dados observacionais contínuos e densamente distribuídos no Brasil. A legislação que trata dos desafios climáticos no Brasil aborda explicitamente aspectos de mitigação, adaptação e redução de riscos de desastres. No entanto, considerando as políticas e normativas que fornecem diretrizes específicas para a zona costeira, estratégias de mitigação são explicitamente tratadas apenas na escala estadual enquanto a adaptação climática é explicitamente tratada apenas na escala nacional. Considerando o estudo de caso em escala local, predominam as pesquisas categorizadas pela comunidade científica como “literatura cinzenta”, sendo que dos 81 documentos selecionados, apenas 29 foram revisados por pares e publicados em periódicos. Com relação às investigações acerca dos efeitos das mudanças climáticas destacaram-se os estudos com foco na identificação de índices de vulnerabilidade costeira e análises de risco. Por fim, a abordagem numérica empregada para simulação de eventos de tempestade foi capaz de expandir as informações de nível do mar e altura significativa de onda, anteriormente disponíveis pontualmente, para uma escala espacialmente distribuída e temporalmente ilimitada.

Palavras-chave: Políticas públicas. Análise bibliométrica. Modelagem numérica

ABSTRACT

The main challenges in adapting to climate change are concentrated in developing countries, especially in coastal areas. Climate change is expected to result in significant increases in the intensity of extreme events due to more intense and frequent storms, which, combined with sea-level rise, have the potential to exacerbate the impact of storms on coastal communities. It is of paramount importance to recognize climate change as a relative threat taking into account coastal peculiarities on the National, State and Municipal scales. Public policies for integrated coastal zone management (ICZM) are mostly available for the national and state scales. At the same time, the main coastal hazards are concentrated on a local scale, especially in relation to the effects of climate change. This research was structured in three chapters and aimed to understand how Brazilian public policies and management instruments are aligned with scientific knowledge related to the effects of climate change. Three distinct methodologies were adopted to evaluate the Brazilian legislation in relation to climate change, compile and organize pre-existing data and information of interest to ICZM on a local scale, and investigate how accurately storm surge events can be simulated in the Southwest Atlantic Ocean using a numerical modeling approach. The legislation that addresses climate challenges in Brazil explicitly addresses aspects of mitigation, adaptation, and disaster risk reduction. However, considering the policies and regulations that provide specific guidelines for the coastal zone, mitigation strategies are explicitly addressed only on the state scale while climate adaptation is explicitly addressed only on the national scale. Considering the case study on a local scale (Praia dos Ingleses, Florianópolis), only 29 studies were peer reviewed and published in journals (out of 81), whereas "grey literature" is predominant. Regarding specific studies on the effects of climate change, documents focused on the identification of coastal vulnerability indexes and risk analyses stood out. Finally, despite the limitations imposed by the lack of continuous and densely distributed observational data, as well as updated topobathymetric datasets, the numerical approach employed was able to expand water level and significant wave height information, previously available for a handful of gauge stations, to a spatially distributed and temporally unlimited scale.

Keywords: Public policies. Bibliometric analysis. Numerical modeling

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Resumo do processo de seleção das políticas públicas.....	27
Figura 2: Políticas públicas e normativas relacionadas as mudanças climáticas no Brasil.....	28
Figura 3: Localização da área de estudo.....	49
Figura 4: Tipos de trabalho publicados através dos anos.	53
Figura 5: Quantitativos de trabalhos acadêmicos que foram publicados posteriormente na forma de artigo em periódico.....	55
Figura 6: Principais periódicos e idiomas dos artigos sobre a praia dos Ingleses publicados em periódicos.	55
Figura 7: Distribuição do gênero do primeiro autor por tipo de publicação.	56
Figura 8: Rede de coautoria dos trabalhos analisados.	57
Figura 9: Escopo geral dos trabalhos quanto aos assuntos preferencialmente abordados nas diferentes escalas espaciais.....	58
Figura 10: Coocorrência de palavras-chave utilizadas nos trabalhos.....	59
Figura 11: Categorias dos trabalhos analisados e sua menção às mudanças climáticas.....	62
Figura 12: Métodos utilizados nas pesquisas avaliadas.....	65
Figura 13: Descritores utilizados nas pesquisas avaliadas.	65
Figura 14: Trabalhos analisados em relação ao número de objetivos para atuação nas áreas litorais alcançado.	68
Figura 15: Relação dos objetivos mais alcançados pelos trabalhos analisados.....	70
Figura 16: Agrupamento estatístico entre os trabalhos analisados, considerando o atendimento aos objetivos para atuação nas áreas litorais.	72
Figura 17: Agrupamento estatístico entre os objetivos para atuação nas áreas litorais contemplados pelos trabalhos analisados.	73
Figura 18: A) Domínio de modelagem numérica; B) Plataforma continental sul-brasileira; e C) estações selecionadas das quais os dados foram utilizados para validação.....	82
Figura 19: Dados observacionais meteo-oceanográficos disponíveis na área de estudo. As estações selecionadas para validação do modelo são apresentadas em negrito e mostradas na Figura 18.....	84
Figura 20: A) Domínio de modelagem numérica; B) Áreas costeiras do Estado de Santa Catarina; C-G) Detalhe das diferentes resoluções utilizadas na malha numérica não estruturada.	86

Figura 21: A-C) Constituintes harmônicos para três estações diferentes nas áreas litorâneas do Estado de Santa Catarina (local de figura 1).	89
Figura 22: A) Modelagem de elevação da superfície da água a longo prazo para a estação SC2951, entre 01-Set a 31-Dez; B) Elevações modeladas e previstas da superfície da água durante um único ciclo de maré; C) dispersão linear entre elevações previstas da superfície da água entre 01-Set a 31-Dez.....	90
Figura 23: A-C) Características atmosféricas dos três eventos selecionados durante cada pico de tempestade.	91
Figura 24: Pressão de ar na média do nível do mar série de tempo em três boias diferentes...	92
Figura 25: Ventos a 10 m acima da série de tempo da superfície do mar em três boias diferentes.	93
Figura 26: Gráfico de dispersão de TWL máximo.	94
Figura 27: Série de tempo total de nível de água em três estações de gravação diferentes.	95
Figura 28: Scatter plot de Hs máximo	98
Figura 29: Série de tempo de ondas geradas pelo vento em quatro boias diferentes.	100
Figura 30: Avaliação em escala local das saídas máximas dos modelos durante a Tempestade 1 (porções cinzas representam terra).	103
Figura 31: A) TWL original e marés astronômicas durante a Tempestade 1. B) Análise de cenário considerando o mesmo evento em diferentes condições astronômicas.	104
Figura 32: Cenários de elevação do nível do mar na praia de Ingleses, Florianópolis (porções cinzas representam terra).	106
Figura 33: Captura de tela do sistema iFLOOD-Brasil.	107

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Dados quantitativos referentes ao processo de seleção bibliográfica.....	50
Quadro 2: Exemplos das características extraídas dos trabalhos analisados.....	51
Quadro 3: Objetivos para atuação nas áreas litorais.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Critérios de avaliação da pesquisa.....	30
Tabela 2: Matriz de análise dos resultados em ordem cronológica.....	32
Tabela 3: Análise de implementação dos instrumentos de gestão.....	39
Tabela 4: Métricas de erro para TWL (RMSE em m).....	96
Tabela 5: Métricas de erro para maré meteorológica (RMSE em m).....	96
Tabela 6: Altura e tempo máximos de onda significativa (valores em m).....	99
Tabela 7: Métricas de erro de ondas (RMSE em m).....	101

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	PERGUNTAS E HIPÓTESES DE PESQUISA.....	18
1.2	OBJETIVOS	18
1.2.1	Objetivo Geral.....	18
1.2.2	Objetivos Específicos	19
1.3	ESTRUTURA DA TESE	19
2	PRIMEIRO CAPÍTULO	21
2.1	RESUMO.....	21
2.2	ABSTRACT	21
2.3	INTRODUÇÃO	22
2.4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
2.4.1	Contexto geográfico do estudo de caso	25
2.4.2	Análise das políticas públicas	26
2.4.3	CrITÉrios de avaliação para políticas públicas, normativas e instrumentos ...	28
2.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
2.5.1	Mitigação das mudanças climáticas	30
2.5.2	Adaptação às mudanças climáticas.....	34
2.5.3	Redução de riscos de desastres	36
2.5.4	Instrumentos de gestão.....	37
2.6	CONSIDERAÇÕES	40
3	SEGUNDO CAPÍTULO	43
3.1	RESUMO.....	43
3.2	ABSTRACT	44
3.3	INTRODUÇÃO	45
3.4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	49
3.4.1	Revisão de literatura.....	49

3.4.2	Integração com a GIZC.....	51
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
3.5.1	Revisão de literatura.....	52
3.5.2	Integração com a GIZC.....	66
3.6	CONSIDERAÇÕES	74
4	TERCEIRO CAPÍTULO.....	76
4.1	RESUMO.....	76
4.2	ABSTRACT	77
4.3	INTRODUÇÃO.....	78
4.4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	81
4.4.1	Área de estudo.....	81
4.4.2	Disponibilidade de dados	83
4.4.3	Abordagem numérica.....	85
4.4.4	Parâmetros meteorológicos.....	87
4.4.5	Cenários de mudanças climáticas	88
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	88
4.5.1	Marés astronômicas.....	88
4.5.2	Campos de vento e pressão	91
4.5.3	Nível do mar	93
4.5.4	Ondas	97
4.5.5	Análise de escala local	101
4.5.5.1	<i>Aplicação em tempo real</i>	<i>107</i>
4.6	CONSIDERAÇÕES	107
5	CONCLUSÕES.....	109
	REFERÊNCIAS.....	112

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas são parte da resposta ambiental aos impactos ocasionados pela ação humana, sobretudo pela emissão de gases do efeito estufa. A subida do nível médio do mar (SLR, do inglês *Sea-Level Rise*) é parte dessas respostas, consequência da expansão térmica dos oceanos e da transferência de água armazenada em geleiras e calotas polares. Ainda, destacam-se alterações associadas a temperatura na superfície terrestre, aumento no número de grandes eventos de precipitação, eventos extremos e acidificação dos oceanos (IPCC, 2014). No Brasil, esse contexto pode ser ainda agravado, uma vez que o processo de gestão da zona costeira não é eficiente como deveria (DIEDERICHSEN et al., 2013; ANDRADE e SCHERER, 2014; SCHERER et al., 2018) e essas áreas são altamente suscetíveis a impactos decorrentes de eventos extremos, como marés de tempestade (PARISE et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2016; CORRAINI et al., 2018).

Eventos de grande energia que ocorrem em ambientes costeiros são ocasionados por tempestades e influenciados pelas interações entre marés, ondas e aspectos batimétricos locais. Esses eventos geralmente alteram o balanço sedimentar local e podem impactar rigorosamente feições costeiras e estruturas antrópicas. (CARTER, 1988; COWELL e THOM, 1994; SHORT, 1999; CALLIARI et al., 2003). Os impactos associados a esses eventos são sentidos com maior intensidade em áreas costeiras densamente ocupadas, sobretudo onde ecossistemas costeiros como manguezais e áreas de restinga foram previamente suprimidos (BONETTI e WOODROFFE, 2017). Considerando os potenciais efeitos das mudanças climática, sobretudo o fenômeno da SLR, isso tende a se intensificar gradativamente nos próximos anos (IPCC, 2014).

A gestão integrada da zona costeira (GIZC) consiste em um processo que se concentra na interface entre terra e mar e trata a relação entre o desenvolvimento e o uso dos recursos, os quais são únicos e, por isso, requerem um manejo diferenciado. Portanto, o tipo do problema e sua extensão geralmente requerem medidas de gestão específicas. Para isso, torna-se necessário utilizar uma série de critérios para chegar à natureza do problema e definir a abordagem correta a ser utilizada (BARRAGÁN, 2004). Esse modelo de gestão tem uma série de objetivos, dentre eles alcançar o desenvolvimento sustentável de áreas costeiras e marinhas, reduzir a vulnerabilidade dos habitantes dessas áreas a riscos e, manter os processos ecológicos essenciais (CICIN-SAIN e KNECHT, 1993; KAY e ALDER, 1999; BARRAGÁN, 2016). Para alcançar os objetivos da gestão costeira integrada e manter a

função ambiental das áreas costeiras, mesmo em situações de SLR, por vezes os gestores necessitam optar entre alternativas. Tais alternativas podem ser aquelas de alto custo para proteção da linha de costa, e com necessidade frequente de manutenção; de medidas de adaptação para acomodar e manter a ocupação; ou ainda optam por recuar as estruturas existentes em direção ao continente para garantir uma área de manutenção aos ecossistemas costeiros em relação aos fenômenos que ali ocorrem (KLEIN et al., 1999, 2001; WILLIAMS et al., 2018).

A GIZC, independentemente de escala, lida com um significativo número de usos e atividades humanas no espaço geográfico, as quais naturalmente acompanham problemas e conflitos. Dessa maneira, fazer a gestão do comportamento humano é uma questão fundamental (BARRAGÁN, 2016). A GIZC é dependente de políticas públicas, que por sua vez são concebidas para dirimir conflitos reconhecidos como tal. Portanto, as políticas públicas, normativas e os instrumentos de gestão são ferramentas primordiais para qualquer iniciativa que envolva a GIZC (BARRAGÁN, 2004), inclusive quando se trata dos efeitos das mudanças climáticas (TOBEY et al., 2010; THOMAS et al., 2019; HURLIMANN et al., 2021). No entanto, os instrumentos de gestão das áreas litorais são geralmente implementados com base na realidade jurídica e institucional existente (CULLINAN, 2006), a qual nem sempre oferece subsídios suficientes para elaboração de uma estratégia eficiente de adaptação, sobretudo em escala local. Nesse contexto, as contribuições da comunidade científica, representam uma fonte alternativa de informações aos gestores locais na ausência de políticas públicas específicas para os efeitos das mudanças climáticas.

Muitas vezes o conhecimento produzido pela academia não alcança os gestores públicos que atuam na zona costeira, sobretudo acerca dos efeitos das mudanças climáticas na zona costeira brasileira. Esse tipo de produção científica encontra-se em número reduzido, sobretudo por conta da escassez de dados de precisão no país, como por exemplo dados batimétricos, topográficos e oceanográficos (PBMC, 2014; GEX-CIM, 2015). É importante também compreender quais dados e informações são necessários para dar condição a respostas de gestão específicas e, questionar como o que é elaborado pode ser disponibilizado para os gestores públicos. Essa compreensão pode garantir segurança e autonomia para seleção de quais informações são necessárias para subsidiar estratégias de adaptação da gestão aos problemas atuais e futuros. Nesse contexto, conhecer e sistematizar quais trabalhos mencionam problemas associados a mudanças climáticas, processos físicos, sociais ou econômicos; e ainda os que avaliam risco e vulnerabilidade a perigos costeiros e impactos

ambientais pode facilitar e direcionar a busca e o entendimento dos mesmos. Uma vez compreendida a produção científica relativa às áreas litorais é possível também analisar se essa, tem relação com as demandas da gestão costeira integrada.

1.1 PERGUNTAS E HIPÓTESES DE PESQUISA

Foram consideradas perguntas norteadoras da pesquisa:

a) Como o Brasil aborda os efeitos das mudanças climáticas nas zonas costeiras em suas políticas públicas e instrumentos de gestão?

b) Os estudos científicos brasileiros que descrevem e avaliam processos físicos, sociais ou econômicos; risco e vulnerabilidade a perigos costeiros; e análise de impactos ambientais, fornecem subsídios para tomada de decisão em relação a possíveis efeitos das mudanças climáticas em escala local?

c) Considerando a atual situação brasileira de disponibilidade de dados é possível simular eventos extremos em diferentes cenários de mudanças climáticas?

Para responder às perguntas, foram testadas as seguintes hipóteses:

a) A partir de uma análise sobre a situação da implementação de instrumentos de gestão, será possível qualificar a aplicação das políticas públicas brasileiras sobre as mudanças do clima na zona costeira.

b) Ao conhecer e sistematizar pesquisas científicas em escala local, informações até então não incorporadas em políticas públicas e instrumentos de gestão poderão auxiliar o processo de planejamento e adaptação às mudanças climáticas na zona costeira.

c) A partir de um estudo aplicado a simulação de marés de tempestade, será possível também estabelecer cenários para identificar impactos em escala local da subida do nível do mar e conhecer o nível de incerteza associado aos modelos climáticos que fornecem informações meteorológicas para o Sul do Brasil.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Compreender como as políticas públicas e os instrumentos de gestão da zona costeira brasileira estão alinhados com a produção do conhecimento científico relacionado aos efeitos das mudanças climáticas em escala local.

1.2.2 Objetivos Específicos

a) Compreender como os efeitos das mudanças climáticas nas zonas costeiras têm sido abordados na legislação brasileira e avaliar as etapas de implementação dos instrumentos de gestão.

b) Verificar como a produção técnico científica pode auxiliar no processo de adaptação as mudanças climáticas nas zonas costeira, tendo como base um estudo de caso em escala local.

c) Avaliar a efetiva aplicabilidade de modelos preditivos de eventos extremos na costa brasileira, dada a conhecida escassez e fragmentação de dados.

1.3 ESTRUTURA DA TESE

A construção da tese de doutorado foi norteada pelas questões e hipóteses levantadas e, portanto, foi organizada em três capítulos. O embasamento teórico e metodológico da pesquisa foi apresentado separadamente em cada capítulo. A tese segue a estrutura apresentada abaixo:

PRIMEIRO CAPÍTULO: Uma abordagem metodológica foi proposta para localizar as políticas públicas e normativas relacionados aos efeitos das mudanças climáticas na zona costeira brasileira. Na sequência foram avaliadas as etapas de implementação dos instrumentos de gestão nomeados na legislação identificada. O estudo fornece uma avaliação abrangente dos documentos legais que apresentam explicitamente ou implicitamente diretrizes para mitigação e adaptação climática e redução de riscos de desastres em escala nacional, estadual e municipal. Este capítulo foi intitulado “Exploring the contribution of climate change legislation to integrated coastal zone management in Brazil” e foi submetido na íntegra (em inglês) na Marine Policy Journal, onde encontra-se “under review”.

SEGUNDO CAPÍTULO: Tem como proposta estabelecer um fluxo de trabalho destinado a gestão costeira integrada, visando avaliar estudos técnicos de maneira a identificar sua aptidão para uso pelo poder público, caso necessário. Os resultados foram gerados com o intuito de sistematizar os trabalhos existentes, representando suas principais características em uma base sintética e prática, assim como buscando relacioná-los com sua possível aplicação para a

gestão das mudanças climáticas em áreas litorais. Este capítulo foi intitulado “Análise bibliométrica como estratégia de suporte à gestão integrada da zona costeira em escala local” e foi submetido na íntegra (em português) na Revista *Costas*, onde encontra-se “aceito para publicação”.

TERCEIRO CAPÍTULO: Foi analisada a efetiva aplicabilidade de modelos numéricos para simulação de eventos de marés de tempestade no Sul do Brasil, dada a conhecida escassez de dados do país. Três eventos de tempestade foram selecionados para avaliar o desempenho da proposta metodológica. Finalmente, foi desenvolvido um estudo em escala local para investigar dois cenários de SLR. Este capítulo foi intitulado “Hydrodynamic and Waves Response during Storm Surges on the Southern Brazilian Coast: A Hindcast Study” e encontra-se publicado na íntegra (em inglês) na *Water Journal* (*doi:10.3390/w12123538*).

2 PRIMEIRO CAPÍTULO

2.1 RESUMO

Os principais relacionados às mudanças climáticas estão concentrados nos países em desenvolvimento, especialmente em áreas costeiras. É de suma importância reconhecer as mudanças climáticas como uma ameaça relativa, considerando as peculiaridades costeiras e as diferentes escalas administrativas, Nacional, Estadual e Municipal. O órgão legislativo desempenha um papel importante no desenvolvimento de políticas e normativas abrangentes que integrem aspectos de mitigação, adaptação e redução de riscos de desastres (DRR, do inglês *Disaster Risk Reduction*). A presente pesquisa tem como objetivo entender como os efeitos das mudanças climáticas nas áreas costeiras têm sido abordados nas políticas públicas e normativas brasileiras. Em primeiro lugar, foi realizada uma revisão minuciosa para identificar documentos disponíveis nas principais bases de legislação. Na sequência, as características de cada documento foram avaliadas com base em uma série de questões norteadoras. Por fim, foram avaliados todos os instrumentos de gestão propostos pelos documentos, bem como seu nível de implementação. As políticas que tratam dos desafios climáticos estão concentradas na escala nacional e abordam explicitamente aspectos de mitigação, adaptação e DRR. No entanto, considerando as políticas e normativas que fornecem diretrizes específicas para a zona costeira, a mitigação é explicitamente tratada apenas na escala estadual enquanto a adaptação é explicitamente abordada apenas em escala nacional. Em relação aos instrumentos de gestão identificados, apenas 13 (de um total de 37) estão atualmente implementados, dos quais apenas 10 abordam as mudanças climáticas explicitamente. O estudo possibilitou identificar oportunidades e destacar pontos importantes para a melhoria da legislação brasileira.

2.2 ABSTRACT

The main challenges in adapting to climate change are concentrated in developing countries, especially in coastal areas. It is of paramount importance to recognize climate change as a relative threat considering coastal peculiarities and the different administrative scales, National, State, and Municipal. The lawmaking body plays an important role in developing comprehensive policies and regulations that integrate aspects of mitigation, adaptation, and disaster risk reduction (DRR). The present research aims to understand how the effects of

climate change in coastal areas have been addressed in the Brazilian policies and regulations. First, a thorough review was carried out to identify the main documents available at the main databases of legislation. In sequence, the characteristics of each document were assessed based on a series of guiding topics regarding their conceptual foundation and objectives. Finally, all the management instruments proposed by the documents were evaluated, as well as their level of implementation. Policies addressing climate challenges are concentrated on the national scale and explicitly addresses aspects of mitigation, adaptation, and DRR. However, considering the policies and regulations that provide specific guidelines for the coastal zone, mitigation is explicitly addressed only at the state scale while adaptation is explicitly addressed only at the national scale. Regarding the management instruments identified, only 13 (out of 37) are currently implemented, of which only 10 address climate change. The study made it possible to identify opportunities and highlight key points for improvement concerning the Brazilian legislation.

2.3 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas impõem severas ameaças à sociedade e as políticas públicas não abordam adequadamente esses desafios sem precedentes do século XXI (CELLIERS et al., 2013; ROSENDO et al., 2018; WHITNEY e BAN, 2019). De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), a influência humana sobre o clima é evidente no aquecimento dos oceanos e da atmosfera, redução de calotas polares e interferência no ciclo da água (PACHAURI et al., 2014). Essas interferências estão levando a severos impactos nos sistemas físico, biológico e humano, tendo como consequência um aumento no número de eventos extremos, mudanças nos padrões de chuvas, secas, erosão costeira e inundações, e subida do nível do mar (SLR, do inglês *Sea-Level Rise*), impactando diretamente o bem-estar humano (HARLEY et al., 2006; PACHAURI et al., 2014). A localização geográfica e as características demográficas influenciam em grande parte a forma como os impactos atribuídos às mudanças climáticas podem afetar a sociedade (ADGER et al., 2009; SCHUERCH et al., 2018). Por exemplo, a população mundial próxima da costa (ou seja, localizada em até 100km de distância da costa) está concentrada em uma densidade três vezes maior do que a média global (SMALL e NICHOLLS, 2003; DE ANDRÉS et al., 2018) e, portanto, representa uma das áreas mais vulneráveis às mudanças climáticas (TOBEY et al., 2010; HANSON et al., 2011).

As mudanças climáticas podem agravar diferentes pressões existentes em áreas costeiras, como a salinização de reservatórios subterrâneos da água, e a erosão costeira induzida por tempestades, e inundações (SU e HOCK, 2016; LI et al., 2020b). Por exemplo, quando combinados com a SLR, que é estimada globalmente para atingir quase 1m em 2100, esses fenômenos recorrentes podem aumentar drasticamente a suscetibilidade costeira e impor vários riscos às comunidades costeiras e habitats naturais, especialmente aqueles localizados em áreas de baixa elevação (SCHUERCH et al., 2018; HSIAO et al., 2021). Além disso, os efeitos combinados dos perigos costeiros e da SLR afetarão a zona costeira de forma diferente, dependendo principalmente da densidade e localização dos centros urbanos, e das características sociais das comunidades costeiras (GRAHAM et al., 2013; NEUMANN et al., 2015; LIMA e BONETTI, 2020). Assim, os principais desafios relacionados às mudanças climáticas estão concentrados nos países em desenvolvimento (MIRZA, 2003; DASGUPTA et al., 2011). De acordo com o Banco Mundial (2010), estima-se que a adaptação às mudanças climáticas nos países em desenvolvimento custará entre 75 a 100 bilhões de dólares por ano no período entre 2010 e 2050. O Brasil é um exemplo de país em desenvolvimento com alta vulnerabilidade às mudanças climáticas em sua zona costeira (MUSSI et al., 2018). Apesar de ser um país com uma das maiores economias, ocupando a 12ª posição no ranking mundial (WORLD BANK, 2020), o Brasil apresenta uma disparidade significativa em termos de desenvolvimento humano, ocupando a 84ª posição no ranking do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) (UNDP, 2020).

É de suma importância que os governos e a sociedade reconheçam as mudanças climáticas como uma ameaça relativa, levando em conta as características específicas das áreas costeiras. Medidas inovadoras e de longo prazo contra os impactos previstos devem ser incentivadas, considerando diferentes peculiaridades ambientais nas escalas administrativas Nacional, Estadual e Municipal (ARCHER et al., 2014; BIRCHALL e BONNETT, 2021; HURLIMANN et al., 2021). Embora um fenômeno mundial, numerosos efeitos das mudanças climáticas, especialmente na zona costeira, são finalmente enfrentados na escala local (NGUYEN et al., 2016; FORINO et al., 2017; HURLIMANN et al., 2021). Além disso, vale ressaltar que, apesar de agravar os riscos existentes, a SLR é um processo gradual que, segundo projeções, ocorrerá progressivamente ao longo das próximas décadas (BUURMAN e BABOVIC, 2016). Os tomadores de decisão muitas vezes recorrem à políticas públicas para enfrentar os desafios relacionados às mudanças climáticas em sistemas sociais ou ecológicos, elaborar diretrizes específicas para reduzir a vulnerabilidade social ou implementar

instrumentos de gestão (THOMAS et al., 2019; BIRCHALL e BONNETT, 2021). No entanto, muitas normativas não são particularmente projetadas para abordar os efeitos a longo prazo das mudanças climáticas, mas uma série de riscos naturais apenas, transformando o processo de gestão caracterizado por incertezas (BUURMAN e BABOVIC, 2016). A fim de garantir subsídios adequados aos gestores, o órgão legislativo (nacional, estadual ou municipal) desempenha um papel importante no desenvolvimento de políticas e normativas abrangentes que enquadram e antecipam explicitamente os impactos das mudanças climáticas e integram aspectos de mitigação, adaptação e redução de riscos de desastres (DRR, do inglês *Disaster Risk Reduction*) (SERRAO-NEUMANN et al., 2015; BIRCHALL e BONNETT, 2021; BUSAYO e KALUMBA, 2021).

A mitigação é geralmente empregada como uma medida ampla que, por exemplo, visa limitar o aquecimento global, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa na atmosfera (CANADELL e RAUPACH, 2008; FAWZY et al., 2020). Por outro lado, a adaptação é um processo de ajuste que pretende controlar ou prevenir danos, enquanto ao mesmo tempo busca benefícios e oportunidades para diferentes ações (MCGINNIS e MCGINNIS, 2011; RAUB e COTTI-RAUSCH, 2019). Não obstante, a adaptação pode ser reativa ou proativa (BUURMAN e BABOVIC, 2016) e deve especificar sistematicamente como a adaptação ocorre, bem como a o que a adaptação se destina (SMIT et al., 2000). Tanto a adaptação quanto a DRR estão interrelacionadas. As duas abordagens acima mencionadas visam construir capacidade adaptativa e reduzir a vulnerabilidade (DE LEON e PITTOCK, 2016). Assim, para garantir que gestores e profissionais possam interpretar e aplicar as leis com sucesso, a legislação deve ser conceitualmente bem delimitada. É essencial conhecer a base jurídica que apoia o modelo regulatório existente para a gestão costeira em todas as escalas territoriais da administração pública (BARRAGÁN, 2016). Além disso, todos os instrumentos de gestão derivados de políticas públicas devem ser facilmente rastreados para identificar áreas-chave para melhorias e avaliar o nível de implementação dessas políticas.

Considerando esse contexto, a presente pesquisa tem como objetivo entender como os efeitos das mudanças climáticas nas zonas costeiras têm sido abordados nas políticas públicas brasileiras e investigar as etapas de implementação dos instrumentos de manejo existentes. O estudo fornece uma avaliação abrangente de políticas e estrutura normativa que apresentam de forma explícita ou implícita diretrizes em relação aos desafios climáticos em escala nacional (Brasil), estadual (Santa Catarina) e municipal (Florianópolis). Em primeiro lugar, foi realizada uma revisão minuciosa para identificar os principais documentos

disponíveis nas bases de dados consolidadas e compiladas de legislação. Em sequência, as principais características de cada documento foram avaliadas com base em uma série de questões norteadoras sobre sua base conceitual e objetivos. Por fim, também foram avaliados todos os instrumentos de gestão propostos pelas leis selecionadas, bem como o nível de implementação de cada um.

2.4 MATERIAIS E MÉTODOS

2.4.1 Contexto geográfico do estudo de caso

A zona costeira brasileira é definida pela legislação federal e abrange o território dos municípios sob influência do Oceano Atlântico em aproximadamente 8.000 km de litoral, ou seja, 442 municípios em 17 estados. A região concentra aproximadamente 20% da população brasileira, vivendo em menos de 1% do território do país (OLIVEIRA e NICOLODI, 2012). Neste país, a intensa ocupação ao longo do litoral é resultado principalmente da industrialização em grandes áreas metropolitanas e do turismo (NICOLODI e PETERMANN, 2010). Além disso, diferentes padrões climáticos e oceanográficos podem ser observados no litoral brasileiro, devido à sua grande extensão. Por exemplo, embora regida por um regime de micro marés (ou seja, <2m), a região Sul é suscetível a uma incidência de ondas de alta energia devido a ciclones extratropicais e anticiclones gerados no Oceano Atlântico Sudoeste (MULER e BONETTI, 2014; OHZ et al., 2020). Por outro lado, a região norte é regida por um regime de macro marés (ou seja, >4m), independentemente de uma reduzida incidência de ondas extremas (RODRÍGUEZ et al., 2016).

Para a análise multiescalar, foram selecionados o estado de Santa Catarina (25-29°S) e o município de Florianópolis (27°S), ambos localizados no litoral Sul do Brasil. Santa Catarina está localizada em uma região fortemente influenciada pela ocorrência de tempestades (RUDORFF et al., 2014), que ocorrem periodicamente, em uma frequência entre 6,5 e 11 dias (OHZ et al., 2020). Esses eventos impactam diretamente toda a zona litorânea do estado, que concentra aproximadamente 3,1 milhões de habitantes, ou seja, 42% da população estadual (IBGE, 2021) em apenas 10% de seu território. O litoral do estado apresenta diferentes ambientes, como manguezais, baías, estuários e campos de dunas (KLEIN et al., 2016c). Em relação às principais atividades econômicas, destacam-se indústrias e portos, recreação e turismo (SCHERER et al., 2006). Florianópolis é uma cidade altamente afetada por tempestades em Santa Catarina, que impactam diretamente várias comunidades ao longo

de seu litoral (RUDORFF et al., 2014; LEAL et al., 2020). Além disso, os possíveis efeitos das mudanças climáticas já foram estudados em ambas as escalas e documentados na literatura (KLEIN et al., 2016a; MUSSI et al., 2018; DE LIMA et al., 2020), entre outros, assim como a estrutura e eficiência do processo de gestão costeira (DIEDERICHSEN et al., 2013; ANDRADE e SCHERER, 2014).

2.4.2 Análise das políticas públicas

Uma revisão foi realizada a fim de compilar políticas públicas (apresentadas via legislação) e a estrutura normativa que abordam tanto a mitigação quanto a adaptação às mudanças climáticas, bem como as estratégias de DRR. O processo seletivo considerou toda a legislação nacional (Brasil), estadual (Santa Catarina) e municipal (Florianópolis), a fim de identificar como as mudanças climáticas são abordadas em três escalas administrativas diferentes no país. A revisão foi realizada com base nas palavras-chave clima, costa, mar e oceano (e suas variações); a expressão utilizada foi: Clima* OU Costa OU Costei* OU Mar* OU Oceano*. Como critério de inclusão, foi estabelecido que o documento deveria incorporar (mesmo que implicitamente) a zona costeira e reconhecer (mesmo que implicitamente) os impactos esperados das mudanças climáticas; ou fenômenos naturais a serem intensificados pela mudança climática; ou a gestão de áreas de interesse para adaptação climática. Como critérios de exclusão, foram desconsideradas leis revogadas, acordos internacionais, planos orçamentários, planos plurianuais, criação de comissões e comitês, bem como resoluções do Congresso Nacional. O processo seletivo consistiu em duas etapas, em primeiro lugar, a ementa de todos os documentos foi analisada e, em segundo lugar, foi realizada a leitura integral dos documentos previamente pré-selecionados. A Figura 1 apresenta um resumo do processo de seleção da legislação para as três esferas administrativas. Nesta pesquisa, 27 documentos atenderam aos critérios de inclusão e, portanto, foram selecionados.

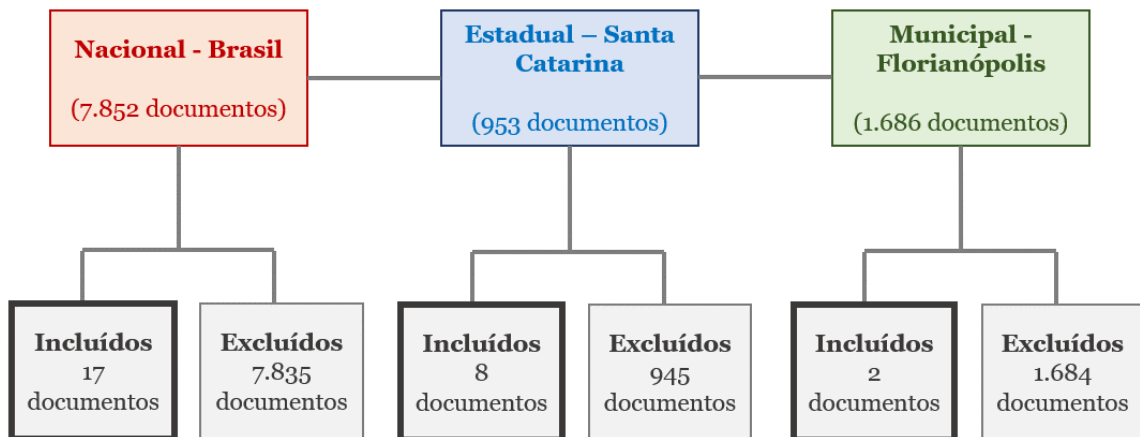


Figura 1: Resumo do processo de seleção das políticas públicas

A série temporal apresentada na Figura 2 representa, em vermelho escuro, o avanço da legislação nacional brasileira sobre manejo costeiro e mudanças climáticas desde 1988. Embora a crise climática tenha sido explicitamente tratada pela primeira vez nos anos 2000, a Constituição Federal e o Plano Nacional de Gestão Costeira foram selecionados como linha de base devido ao seu escopo abrangente que caracterizou um quadro inicial de manejo costeiro no período histórico adotado. A Constituição Federal representa o fim de uma transição para uma democracia representativa quando, pela primeira vez, a zona costeira é referida como “Patrimônio Nacional”. Foi também promulgado o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro no mesmo ano e teve como objetivo regulamentar os artigos constitucionais 20 e 225 que, respectivamente, delimitam "Bens da União" (por exemplo, os recursos naturais da plataforma continental e da zona econômica exclusiva) e garantem um ambiente ecologicamente equilibrado. Além disso, o avanço na legislação também é apresentado para as escalas Estadual (ou seja, Santa Catarina, retratada em verde) e Municipal (ou seja, Florianópolis, retratada em azul), a fim de examinar como os aspectos abordados na legislação federal são tratados em diferentes escalas de gestão.

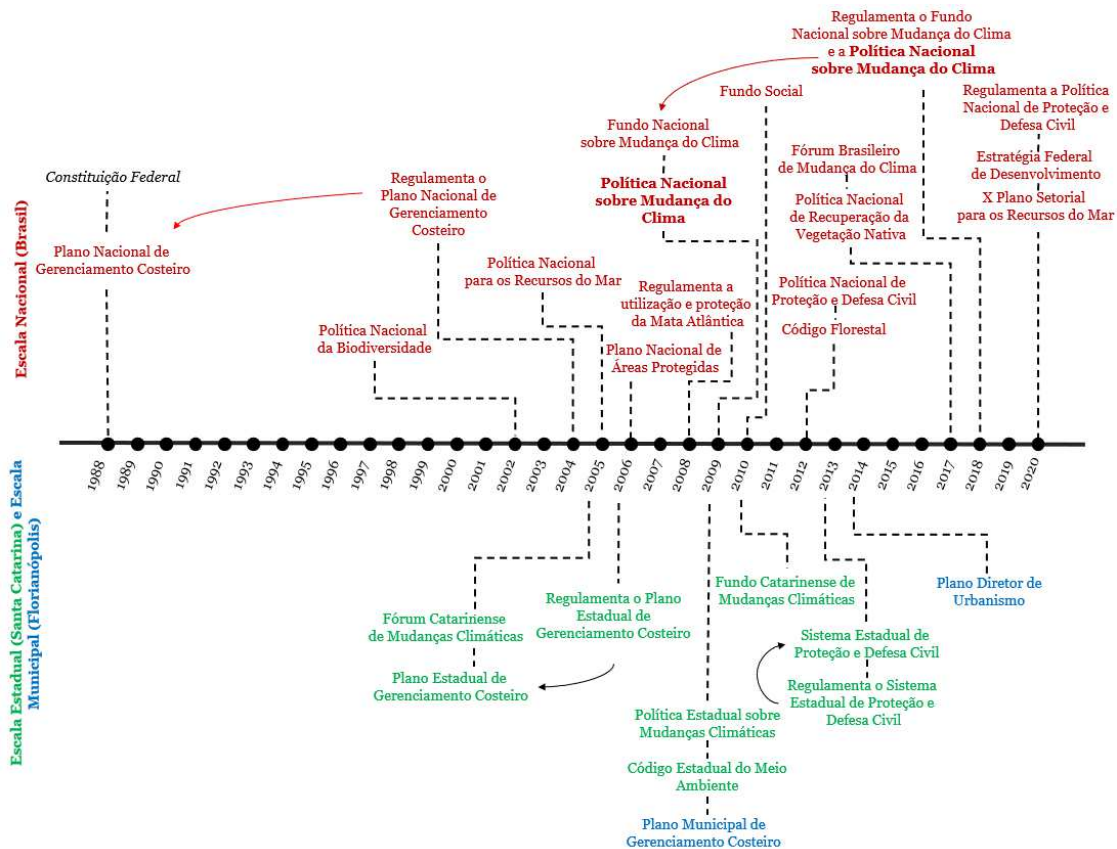


Figura 2: Políticas públicas e normativas relacionadas as mudanças climáticas no Brasil.

2.4.3 Critérios de avaliação para políticas públicas, normativas e instrumentos

Inúmeros estudos têm avaliado a integração e implementação de políticas e normativas que contemplam aspectos das mudanças climáticas nas áreas costeiras. Por exemplo, Celliers et al. (2013) exploraram a conexão entre as mudanças climáticas e a legislação em dois países em desenvolvimento costeiros africanos. Na Austrália, O'Donnel (2019) analisou a adaptação das mudanças climáticas costeiras sob uma perspectiva político-legal através de uma revisão da legislação nacional. Thomas et al. (2019) apresentaram uma avaliação dos documentos de planejamento que orientam a adaptação aos riscos climáticos no Caribe. Em níveis regionais e locais, Baills et al. (2020) avaliaram a eficácia das medidas de longo prazo sobre as mudanças climáticas no sudoeste da França, enquanto Hurlimann et al. (2021) apresentaram uma avaliação detalhada dos documentos de planejamento urbano sobre mitigação e adaptação das mudanças climáticas no sudeste da Austrália, respectivamente. No Brasil, Barbi et al. (2017) analisaram políticas específicas de mitigação e adaptação das mudanças climáticas para as escalas estadual e municipal. Por outro lado, embora vários estudos avaliem as etapas de implementação de políticas costeiras em diferentes escalas

administrativas (DIEDERICHSEN et al., 2013; ANDRADE e SCHERER, 2014; DE LIMA et al., 2018; SCHERER et al., 2018), nenhum aborda especificamente a legislação sobre mudanças climáticas.

A presente pesquisa considerou três dos elementos mais importantes de um sistema público de gestão costeira, que também compõe o Decálogo da Gestão Costeira (BARRAGÁN, 2004) ou seja, Políticas (representam um compromisso político relacionado à zona costeira), Normativas (documentos legais em geral, como leis e decretos) e Instrumentos (destinados a direcionar ações específicas relacionadas à gestão costeira) (BARRAGÁN, 2020; SCHERER e ASMUS, 2021). A avaliação dos documentos selecionados foi realizada de forma quantitativa e qualitativa. A Tabela 1 apresenta os critérios e valores empregados para a avaliação quantitativa, que foram adaptados de pesquisas anteriores que avaliaram políticas públicas para as mudanças climáticas (BAKER et al., 2012; STEVENS e SENBEL, 2017; HURLIMANN et al., 2021). Em primeiro lugar, foram avaliadas as políticas públicas e normativas para zona costeira de acordo com a forma como os aspectos da mitigação climática, adaptação, bem como DRR, foram considerados, ou seja, se foram apresentados implicitamente ou explicitamente no documento (Tabela 1a). Assim, todas as políticas e normativas foram agrupadas de acordo com os valores obtidos pela análise quantitativa e suas principais características e peculiaridades foram discutidas qualitativamente, especialmente no que diz respeito à forma como os aspectos das mudanças climáticas são apresentados. Por fim, os documentos que apresentam instrumentos de gestão foram analisados separadamente para avaliar tanto o seu status de implementação quanto as suas principais características (Tabela 1b).

Tabela 1: Critérios de avaliação da pesquisa

(a) Critérios de avaliação para políticas e normativas	
O documento fornece orientações específicas para a zona costeira ?	
O documento trata de mitigação das mudanças climáticas?	0 = Não
O documento trata de adaptação às mudanças climáticas?	1 = Sim, implicitamente
O documento fornece diretrizes de redução de risco de desastres ?	2 = Sim, explicitamente
O documento propõe instrumentos de gestão ?	
(b) Critérios de avaliação para instrumentos de gestão	
Status de Implementação	0 = Não implementado 1 = Em desenvolvimento 2 = Implementado
Quando foi implementado	YYYY
Quando foi a última atualização	YYYY
Aborda explicitamente a zona costeira ?	0 = Não / 2 = Sim
Aborda explicitamente as mudanças climáticas ?	0 = Não / 2 = Sim

2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A matriz de síntese utilizada para análise comparativa entre os documentos selecionados é apresentada na Tabela 2. Considerando o primeiro indicador de avaliação, menos da metade dos documentos apresentam diretrizes específicas para a zona costeira. No entanto, o escopo abrangente da legislação permite que as partes interessadas ajustem as ações de acordo com suas necessidades específicas. Comparativamente, apesar de apenas dez documentos terem sido especificamente projetados para a zona costeira, vários outros documentos permitem que os gestores costeiros incorporem instrumentos adaptativos em sua prática, como a Política Nacional sobre Mudança do Clima e a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas.

2.5.1 Mitigação das mudanças climáticas

Em relação a documentos que abordam explicitamente estratégias de mitigação das mudanças climáticas, destacam-se ações específicas de apoio financeiro. Por exemplo, o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima foi promulgado e consolidado em consonância com a Política Nacional sobre Mudança do Clima e o Fundo Social. Essas amplas normativas

garantem recursos financeiros da exploração de petróleo, entre outras fontes, para desenvolver tecnologias e formular políticas públicas para mitigar as emissões de gases de efeito estufa. Além disso, para alcançar as metas da Política Nacional sobre Mudança do Clima, o país adotou um compromisso nacional voluntário para mitigar as emissões de gases de efeito estufa até 2020. As metas de redução foram regulamentadas no ano seguinte e as estratégias para alcançá-las foram detalhadas em 2018 (em sua respectiva regulamentação). No entanto, segundo Albuquerque et al. (2020), um ano antes do prazo final, as emissões nacionais já eram 4% maiores do que o limite mais ambicioso e, no momento da referida publicação do estudo, ficou evidente que a meta não seria cumprida em 2020. Portanto, em 2020, o governo brasileiro submeteu sua nova pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (iNDC) à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC). Neste documento, o Brasil afirma seu compromisso de reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% até 2025 e em 43% até 2030 (com base no ano de referência de 2005). Também vale ressaltar os planos setoriais apresentados no ato regulatório da Política Nacional sobre Mudança do Clima, que são focados principalmente na mitigação e podem ser aplicados à zona costeira, ou seja, o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal – PPCDAm; Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado – PPCerrado; Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE; Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura - Plano ABC; e o Plano Setorial de Redução de Emissões da Siderurgia.

Tabela 2: Matriz de análise dos resultados em ordem cronológica.

	O documento fornece orientações específicas para a zona costeira?	O documento trata de mitigação das mudanças climáticas?	O documento trata de adaptação às mudanças climáticas?	O documento fornece diretrizes de redução de risco de desastres?	O documento propõe instrumentos de gestão?
Políticas e normativas					
Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (N)	2	0	0	0	0
Política Nacional da Biodiversidade (P)	2	0	2	0	0
Regulamenta o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (N)	2	0	0	0	2
Política Nacional para os Recursos do Mar (P)	2	1	1	0	0
Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro (N)	2	0	0	0	0
Fórum Catarinense de Mudanças Climáticas (N)	2	2	1	2	0
Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas (N)	1	0	2	0	0
Regulamenta o Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro (N)	2	0	1	0	2
Regulamenta a utilização e proteção da Mata Atlântica (N)	1	2	0	0	0
Código Estadual do Meio Ambiente (N)	1	1	0	0	2
Política Estadual sobre Mudanças Climáticas (P)	1	2	2	1	2
Plano Municipal de Gerenciamento Costeiro (N)	2	0	0	0	2
Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (N)	1	2	2	1	0
Política Nacional sobre Mudança do Clima (P)	1	2	2	1	2
Fundo Catarinense de Mudanças Climáticas (N)	1	2	1	0	0
Fundo Social (N)	1	2	2	1	0
Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (P)	1	0	1	2	0
Código Florestal (N)	1	2	0	1	0
Sistema Estadual de Proteção e Defesa Civil (N)	1	0	0	2	0
Regulamenta o Sistema Estadual de Proteção e Defesa Civil (N)	1	0	0	2	0
Plano Diretor de Urbanismo (N)	2	0	1	1	0
Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (P)	1	2	1	0	0
Fórum Brasileiro de Mudança do Clima (N)	1	2	2	1	0
Regulamenta o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima; Política Nacional sobre Mudança do Clima (N)	1	2	2	1	0
Estratégia Federal de Desenvolvimento (N)	1	2	2	1	0
X Plano Setorial para os Recursos do Mar (N)	2	1	2	2	0
Regulamenta a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (N)	1	0	1	2	0

(P) = Política; (N) = Normativas

Vermelho Escuro = Nacional; Verde = Estadual; Azul = Municipal

Em consonância com a atual política internacional sobre Mudanças Climáticas, tanto a Estratégia Federal de Desenvolvimento quanto o Código Florestal promovem o controle das emissões de carbono. Nesse contexto, o Brasil é um dos maiores emissores mundiais de gases de efeito estufa, e a falta de restrição de incêndios florestais e liberação de incêndios poderia impedir que o Brasil honrasse o Acordo de Paris (da Silva Junior et al., 2020). Além disso, o Fórum Brasileiro de Mudança do Clima visa garantir a interação permanente entre representantes do setor público, da sociedade civil e órgãos governamentais responsáveis pela implementação da Política Nacional sobre Mudança do Clima no Brasil. A normativa garante a presença de membros com notório conhecimento sobre a redução das emissões de gases de efeito estufa. Por fim, o Decreto que regulamenta a utilização e proteção da Mata Atlântica garante que projetos de recuperação do referido bioma sul brasileiro sejam elegíveis para incentivos econômicos, dado o seu potencial de mitigar os efeitos das mudanças climáticas. Da mesma forma, a Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa promove a mitigação das mudanças climáticas por meio de ações que induzem a proteção e recuperação de florestas e outras formas de vegetação nativa.

Em escala diferente, a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas institui o Programa de Mudanças Climáticas de Santa Catarina, que defende a mitigação de gases de efeito estufa por meio de benefícios financeiros e treinamento estratégico para as partes interessadas. Além disso, a política estabelece o Programa Estadual de Monitoramento Ambiental, por meio da implantação de um inventário de fontes de emissão de gases de efeito estufa no Estado. Complementarmente, o Fundo Catarinense de Mudanças Climáticas especifica as múltiplas fontes de recursos destinadas ao combate às mudanças climáticas no estado e as destina a estudos e pesquisas na área de mudanças climáticas; na concessão de empréstimos a pessoas físicas e jurídicas para a realização de atividades de projetos que visem estabilizar a concentração de gases de efeito estufa e a produção de energia renovável. O Fórum Catarinense de Mudanças Climáticas também se refere ao apoio e facilitação da realização de estudos, pesquisas e educação e ações de treinamento sobre questões relacionadas às Mudanças Climáticas. Além disso, o fórum também incentiva a incorporação da dimensão climática no processo de tomada de decisão relacionado à conservação da biodiversidade, gestão costeira, educação ambiental, recursos hídricos, emissão de poluentes atmosféricos, bem como integração social.

Em relação a políticas e normativas que tratam implicitamente da mitigação climática, foram identificados documentos que poderiam potencialmente ser utilizados para

estabelecer ou subsidiar políticas públicas envolvendo a mitigação das mudanças climáticas, desse modo, foram identificados dois documentos nacionais e dois estaduais. Tanto a Política Nacional para os Recursos do Mar quanto o X Plano Setorial para os Recursos do Mar promovem pesquisas em larga escala voltadas para o estudo das variações climáticas e seus impactos nacionais e mudanças globais para apoiar a formulação de políticas e medidas de gestão que promovam o desenvolvimento sustentável. Além disso, o plano setorial visa promover a pesquisa científica e o desenvolvimento tecnológico por meio de diversas ações, como a implementação de sistemas de monitoramento oceânico para avaliar o potencial mineral da plataforma continental, que hoje representa uma das principais fontes para o orçamento do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima. A legislação estadual é mais restrita em relação às aplicações potenciais de medidas que implicitamente se referem à mitigação das mudanças climáticas. O Código Estadual do Meio Ambiente inclui no processo de licenciamento ambiental a possibilidade de indicar medidas para mitigar os impactos ambientais, que também podem ser direcionadas para a crise climática.

2.5.2 Adaptação às mudanças climáticas

A adaptação às mudanças climáticas foi explicitamente mencionada em dez documentos diferentes, embora diretrizes específicas para a zona costeira sejam referidas em apenas dois (a Política Nacional da Biodiversidade e o X Plano Setorial para os Recursos do Mar). Por outro lado, o caráter amplo das outras normativas afeta implicitamente todo o território administrativo, incluindo áreas costeiras. Em geral, são abordados aspectos de conservação ambiental, bem como a promoção e financiamento de programas de adaptação, pesquisa científica e difusão tecnológica. A Política Nacional da Biodiversidade propõe, como um de seus objetivos específicos, conservar a capacidade natural dos componentes da biodiversidade que permitam a adaptação aos efeitos das mudanças climáticas. Na mesma linha, o Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas propõe avaliar tendências de conservação da diversidade biológica à luz dos impactos decorrentes das mudanças climáticas, principalmente para aumentar a resiliência dos ecossistemas. Em sua seção ambiental, a Estratégia Federal de Desenvolvimento orienta a implementação de políticas e medidas de adaptação às mudanças climáticas para construir resiliência e capacidade adaptativa de ecossistemas e populações. Medidas de adaptação são referidas como uma de suas diretrizes para reduzir os efeitos adversos das mudanças climáticas e a vulnerabilidade

dos sistemas ambientais, sociais e econômicos. Além disso, destacam-se os mecanismos financeiros e econômicos relacionados à adaptação climática que existem no âmbito da UNFCCC e a nível nacional. Na mesma linha, o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima propõe destinar até 10% de seus recursos para o desenvolvimento de atividades de adaptação e medidas para reduzir a vulnerabilidade dos sistemas naturais e humanos aos efeitos atuais e esperados das mudanças climáticas. Além disso, o Fundo Social é de natureza contábil e financeira para constituir uma fonte de recursos para a adaptação às mudanças climáticas.

O X Plano Setorial para os Recursos do Mar aponta que o processo de adaptação climática está intrinsecamente relacionado a sua meta de investimento financeiro em recursos humanos em Ciências Marinhas, bem como a iniciativas de monitoramento permanente dos oceanos. Além disso, destaca-se a necessidade de melhorar os sistemas de previsão, especialmente para fenômenos extremos. A longo prazo, compreender a dinâmica oceânica em diversas escalas temporais e espaciais para prever com precisão os cenários de SLR é essencial para os processos decisórios, uma vez que afetará diretamente as áreas urbanizadas costeiras, impactando as atividades marítimas e tendo impacto direto na economia brasileira. O Fórum Brasileiro de Mudança do Clima tem como objetivo conscientizar e mobilizar a sociedade para enfrentar as mudanças climáticas globais. O fórum cria um grupo temático específico relacionado à Adaptação, Gestão de Riscos e Resiliência. A Política Nacional sobre Mudança do Clima tem como uma de suas diretrizes a promoção e o desenvolvimento da pesquisa científico-tecnológica, e a difusão de tecnologias para identificar vulnerabilidades e adotar medidas adequadas de adaptação. Em nível estadual, a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas implementa o Programa Santa Catarina de Mudanças Climáticas, que visa desenvolver e compartilhar tecnologias para adaptação às mudanças climáticas. Por fim, o processo de adaptação às mudanças climáticas foi implicitamente abordado em oito documentos, dos quais apenas três apresentam diretrizes específicas para a zona costeira (ou seja, a Política Nacional para os Recursos do Mar, o Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro e o Plano Diretor de Urbanismo). Nesse sentido, a legislação selecionada abrange aspectos da promoção da ciência e da tecnologia, bem como da proteção dos ecossistemas que prestam serviços de proteção costeira.

2.5.3 Redução de riscos de desastres

Em alguns documentos, aspectos da adaptação se sobrepõem às diretrizes de DRR. A Política Nacional para os Recursos do Mar apresenta como diretriz estabelecer, implementar e manter um sistema nacional de monitoramento oceanográfico e climatológico, bem como promover estudos de variações climáticas e circulação oceânica. No âmbito estadual, o Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro define o Sistema de Monitoramento Ambiental da Zona Costeira, para sistematizar (quando pré-existente) ou criar programas específicos e contínuos para, por exemplo, monitorar as variações costeiras ao longo do ano ou após eventos de alta energia, como tempestades, a fim de avaliar a intensificação desses eventos. Complementarmente, o Fundo Catarinense de Mudanças Climáticas, tem como objetivo apoiar pesquisas; mapeamentos e inventários; sistemas de informação; e treinamento em recursos humanos (quando no contexto das mudanças climáticas). Por fim, o Fórum Catarinense de Mudanças Climáticas busca a integração interinstitucional para fornecer bases para a elaboração de planos de emergência e contingência para as Mudanças Climáticas em Santa Catarina, com foco em catástrofes naturais, especialmente de natureza meteorológica, bem como relacionadas a SLR. Não obstante, o documento acima mencionado também fornece diretrizes explícitas de DRR.

O Plano Diretor de Urbanismo reconhece tanto a capacidade de apoio dos ambientes naturais quanto os riscos decorrentes das mudanças climáticas como fator limitante ao crescimento urbano. Portanto, de acordo com seu zoneamento urbano, tanto os ecossistemas costeiros que mitigam inundações e estabilizam a linha de costa, bem como áreas de risco geológico, não podem ser ocupados. Na mesma linha, a Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa promove a adaptação às mudanças climáticas por meio da recuperação da vegetação nativa brasileira. Além disso, duas leis especificamente promulgadas para apresentar aspectos explícitos de DRR, também abordam implicitamente diretrizes que contribuem para a adaptação climática, especialmente no que diz respeito à ciência e à tecnologia. A Política Nacional de Proteção e Defesa Civil incentiva o monitoramento de eventos meteorológicos e hidrológicos para permitir alertas antecipados sobre a possibilidade de ocorrência de desastres naturais. Ainda, o objetivo normativo é priorizar ações preventivas relacionadas à minimização de desastres e incorporar ações de DRR e defesa civil.

A Política Nacional de Proteção e Defesa Civil define um desastre como resultado de um evento adverso resultante de uma ação natural ou antropogênica em um cenário vulnerável

que causa danos materiais ou ambientais e danos econômicos e sociais. Portanto, a inclusão de políticas relacionadas à DRR é relevante devido ao conhecido potencial das mudanças climáticas para exacerbar esses fenômenos. Foram identificados seis documentos que tratam explicitamente da DRR, dois dos quais apresentam diretrizes específicas para a zona costeira. No entanto, outros nove abordam o tema implicitamente. Apenas dois documentos combinam explicitamente os temas das mudanças climáticas e da DRR e, ao mesmo tempo, apresentam diretrizes específicas para a zona costeira brasileira (ou seja, Fórum Catarinense de Mudanças Climáticas e X Plano Setorial para os Recursos do Mar). Tanto o Sistema Estadual de Proteção e Defesa Civil quanto seu ato regulatório visam fundamentalmente reduzir os riscos de desastres, compreendendo ações de prevenção de desastres, ações de mitigação de desastres, ações de emergência e preparação de desastres, e ações de resposta a desastres. Além disso, o X Plano Setorial para os Recursos do Mar institui o Programa Ciência no Mar, que é um conjunto de iniciativas do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações para a gestão da ciência marinha, com duração estimada até 2030. Atualmente, compreende seis linhas temáticas: gestão de riscos e desastres; mar profundo; zona costeira e plataforma continental; circulação oceânica, interação oceano-atmosfera e variabilidade climática; tecnologia e infraestrutura para pesquisas oceanográficas; e biodiversidade marinha. Sete documentos que abordam explicitamente o processo de adaptação às mudanças climáticas foram associados às diretrizes de DRR devido ao seu amplo escopo e, portanto, já foram discutidos anteriormente. Além disso, o Código Florestal estabelece uma política nacional de prevenção e controle de incêndios florestais, enquanto o Plano Diretor de Urbanismo reconhece o potencial dos ecossistemas costeiros (por exemplo, manguezais, áreas úmidas e dunas costeiras) para mitigar diversos desastres naturais, como inundações e erosão.

2.5.4 Instrumentos de gestão

Por fim, foram selecionados os instrumentos de gestão criados pelas políticas e estrutura normativa acima analisadas para avaliar tanto o seu status de implementação quanto os aspectos relativos à zona costeira e às mudanças climáticas. A avaliação foi realizada cronologicamente. A Tabela 3 apresenta 37 instrumentos de interesse a GIZC que foram definidos pela legislação selecionada. Embora tenha sido identificado um grande número de instrumentos, apenas 13 são implementados, dez dos quais tratam explicitamente das mudanças climáticas (destacadas em verde). A lei que regulamenta o Plano Nacional de

Gerenciamento Costeiro define dez instrumentos, dos quais apenas três encontram-se implementados e abordam os impactos das mudanças climáticas na zona costeira. O Plano de Ação Federal da Zona Costeira (PAF) está em sua quarta versão e apresenta um resumo de 18 ações federais priorizadas para o planejamento e gestão das zonas costeiras. Por exemplo, em sua ação 5, o Plano promove o Programa Nacional para a Conservação da Linha de Costa (PROCOSTA), que também visa estabelecer cenários futuros e calcular riscos a fim de subsidiar estratégias de adaptação. O Macrodiagnóstico da zona costeira contribuiu para a articulação interinstitucional entre os órgãos federais no que diz respeito a planos e projetos que possam afetar áreas e recursos costeiros. O estudo enfatiza o risco potencial de inundações na grande maioria do território litorâneo brasileiro devido à predominância de áreas com baixas elevações. Por fim, o Projeto de Gestão Integrada da Orla Marítima (Projeto Orla) foi detalhado em cinco volumes de orientação (manuais) e tem como objetivo harmonizar as ações de gestão urbana e ambiental na escala municipal. Em um de seus volumes (subsídios para um projeto de gestão) a SLR é reconhecida como uma das principais ameaças à integridade da zona costeira brasileira. Além disso, um *buffer* (a partir do contato entre terra e mar) de 50m em áreas com urbanização e 200m em áreas não urbanizadas é sugerido como área de planejamento e gestão, a fim de organizar atividades e usos humanos e conservação de atributos naturais. A implantação do projeto está em desenvolvimento tanto nas escalas estadual quanto municipal (Santa Catarina e Florianópolis).

Em relação à Política Estadual sobre Mudanças Climáticas, três de seus instrumentos estão atualmente implementados. Contudo, tanto o Fórum Catarinense de Mudanças Climáticas quanto o Fundo Catarinense de Mudanças Climáticas foram implementados apenas por meio de legislação. Pelo contrário, o Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina foi desenvolvido durante quase uma década e apresenta dados sobre a diversidade vegetal, bem como o estado de conservação florestal no estado de Santa Catarina. Os resultados do inventário apoiaram uma série de pesquisas associadas ao projeto, como a realizada por Gasper et al. (2021) em que foram estimados os impactos esperados das mudanças climáticas na distribuição de espécies nativas da Mata Atlântica.

Tabela 3: Análise de implementação dos instrumentos de gestão.

Instrumento	Status de Implementação	Quanto foi implementado	Quanto foi a última atualização	Aborda explicitamente e a zona costeira?	Aborda explicitamente as mudanças climáticas?
1. Regulamenta o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (R)					
Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC	2	1990	1997	2	0
Plano de Ação Federal da Zona Costeira - PAF	2	1998	2017	2	2
Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro - PEGC*	1	2005	2006	2	0
Plano Municipal de Gerenciamento Costeiro - PMGC**	1	2007	-	2	0
Zoneamento Ecológico-Econômico Costeiro - ZEEC*	1	2006	-	-	-
Sistema de Informações do Gerenciamento Costeiro - SIGERCO	0	-	-	-	-
Sistema de Monitoramento Ambiental da Zona Costeira - SMA	0	-	-	-	-
Relatório de Qualidade Ambiental da Zona Costeira - RQA-ZC	0	-	-	-	-
Macrodiagnóstico da zona costeira	2	1996	2008	2	2
Projeto de Gestão Integrada da Orla Marítima - Projeto Orla	2	2001	2006	2	2
2. Regulamenta o Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro (R)					
Zoneamento Ecológico Econômico Costeiro - ZEEC	1	2006	-	2	2
Plano de Gestão da Zona Costeira - PGZC	1	2006	-	2	2
Sistema de Informações do Gerenciamento Costeiro - SIGERCO	0	-	-	-	-
Sistema de Monitoramento Ambiental - SMA	0	-	-	-	-
Relatório de Qualidade Ambiental - RQA-ZC	0	-	-	-	-
Projeto de Gestão Integrada da Orla Marítima - Projeto Orla	1	2005	2006	2	2
3. Código Estadual do Meio Ambiente (R)					
Zoneamento Ambiental e o Zoneamento Ecológico-Econômico	0	-	-	-	-
Sistemas Estaduais e Municipais de Informações sobre o Meio Ambiente	0	-	-	-	-
Monitoramento e Relatórios da Qualidade Ambiental	0	-	-	-	-
4. Política Estadual sobre Mudanças Climáticas (P)					
Fórum Catarinense de Mudanças Climáticas	2	2005	2009	0	2
Sistema Estadual de Ciência, Tecnologia e Inovação	2	2008	2009	0	0
Fundo Catarinense de Mudanças Climáticas	2	2010	-	0	2
Sistema Estadual de Unidades de Conservação	2	2001	2009	0	0
Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina	2	2007	2019	2	2
5. Plano Municipal de Gerenciamento Costeiro (R)					
Zoneamento Ecológico Econômico Costeiro - ZEEC	0	-	-	-	-
Plano de Gestão da Zona Costeira - PGZC	0	-	-	-	-
Plano de Ordenamento Náutico - PON	0	-	-	-	-
Sistema de Informações Municipais do Gerenciamento Costeiro - SIMGERC	0	-	-	-	-
Sistema de Monitoramento Costeiro - SMOC	0	-	-	-	-
Projeto de Gestão Integrada da Orla Marítima - Projeto Orla	1	2012	-	2	2
6. Política Nacional sobre Mudança do Clima (P)					
Plano Nacional sobre Mudança do Clima	2	2008	-	2	2
Fundo Nacional sobre Mudança do Clima	2	2009	2018	0	2
Planos de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento	2	2013	2018	0	2
Comunicação Nacional do Brasil à ONU	2	2004	2020	2	2
Resoluções da Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima	1	2019	-	0	2
Monitoramento Climático Nacional	1	2008	-	0	2
Indicadores de Sustentabilidade	0	-	-	-	-
Avaliação de Impactos Ambientais sobre o Microclima e o Macroclima	0	-	-	-	-

*Considerando Santa Catarina

**Considerando Florianópolis

A Política Nacional sobre Mudança do Clima apresenta 18 instrumentos, dos quais oito foram selecionados para esta pesquisa de acordo com seu escopo. Por exemplo, foram desconsiderados instrumentos relacionados a mecanismos financeiros que não estão diretamente relacionados a GIZC. Em primeiro lugar, o Plano Nacional sobre Mudança do Clima define ações e medidas como a identificação de impactos ambientais e a redução das vulnerabilidades populacionais. O plano também propõe estudos setoriais para estabelecer projeções climáticas nos próximos 100 anos e estimar os impactos da SLR, incluindo os custos associados às medidas de adaptação. Na mesma linha, o governo brasileiro também

publicou o Plano Nacional de Adaptação às Mudanças Climáticas, que apesar de não ser um instrumento oficial, foi motivado pelo inciso V, Art. 4º da Política Nacional sobre Mudança do Clima (à implementação de medidas para promover a adaptação à mudança do clima pelas três esferas da Federação). Este plano foi publicado em dois volumes e possui alto nível de detalhamento com estratégias e ações específicas de adaptação para agricultura, biodiversidade e conservação, redução do risco de desastres, zona costeira, entre outros. Além disso, o plano sugere índices de avaliação de vulnerabilidades e descreve potenciais impactos na infraestrutura urbana. O Fundo Nacional sobre Mudança do Clima foi implementado por meio de legislação e, por isso, suas principais características foram previamente discutidas. Os Planos de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento foram implementados considerando apenas dois biomas brasileiros específicos (ou seja, Cerrado e Amazônia). Embora ambos os biomas possuam áreas costeiras, não são apresentadas diretrizes específicas para a GIZC nesses instrumentos. Por fim, a Comunicação Nacional do Brasil à ONU representa o compromisso do país como membro da UNFCCC de elaborar e fornecer inventários nacionais de emissões de gases de efeito estufa, divulgar avanços científicos e o status atual das políticas climáticas brasileiras. Embora um documento denso (mais de 500 páginas) a quarta edição da comunicação nacional não apresenta diretrizes específicas para a GIZC. No entanto, as áreas costeiras são abordadas ao longo da contextualização do relatório e são implicitamente incorporadas em diversos estudos de escala nacional.

2.6 CONSIDERAÇÕES

As mudanças climáticas influenciarão significativamente as áreas costeiras nos próximos anos, e os impactos sem precedentes serão ainda mais severos nos países em desenvolvimento. Uma das muitas formas de lidar com esses novos desafios é através da implementação de políticas públicas que propõem estratégias de mitigação, adaptação e DRR. Esta pesquisa buscou analisar políticas e normativas que abordam as mudanças climáticas no Brasil em três escalas administrativas diferentes (Nacional, Estadual e Municipal), bem como o status de implementação dos instrumentos de gestão existentes. O estudo possibilitou identificar oportunidades e destacar pontos chave para a melhoria da legislação brasileira. Com base no estudo de caso, foi possível concluir que:

(1) As normativas sobre mudanças climáticas concentram-se em escala nacional e aborda explicitamente aspectos de mitigação, adaptação e DRR. No entanto, considerando as políticas e regulamentos que fornecem diretrizes específicas para a zona costeira, a mitigação é explicitamente mencionada apenas na escala estadual (no Fórum Catarinense de Mudanças Climáticas), enquanto a adaptação é explicitamente mencionada apenas em escala nacional (na Política Nacional da Biodiversidade e no X Plano Setorial para os Recursos do Mar). Em relação às diretrizes de DRR, apenas o Fórum Catarinense de Mudanças Climáticas e o X Plano Setorial para os Recursos do Mar apresentam diretrizes específicas para a zona costeira e tratam explicitamente do assunto. Nenhum dos documentos selecionados em escala municipal aborda explicitamente as mudanças climáticas. A situação em Florianópolis está de acordo com a realidade nacional no Brasil. Segundo Barbi et al. (2017), apenas seis municípios tratam das mudanças climáticas em sua legislação, dos quais apenas dois estão localizados na zona litorânea (Rio de Janeiro e Recife).

(2) Considerando os resultados da análise quantitativa, tanto a Política Nacional sobre Mudança do Clima quanto a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas destacam-se como as normas mais abrangentes disponíveis. Embora não sejam específicas para a zona costeira, apenas as políticas supracitadas tratam explicitamente da mitigação e adaptação das mudanças climáticas e propõem uma série de instrumentos de gestão.

(3) Apesar de os documentos selecionados demonstrarem um compromisso governamental com os desafios climáticos sem precedentes do século XXI, a implementação dos instrumentos de gestão correspondentes está defasada. Os instrumentos são criados por políticas públicas e regulamentos das três escalas administrativas e apenas 13 (de 37) são implementados atualmente, dos quais apenas 10 abordam as mudanças climáticas. Em relação ao Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro e ao Plano Municipal de Gerenciamento Costeiro (promulgado em 2005 e 2009, respectivamente), nenhum de seus instrumentos foi totalmente implementado até o momento.

(4) A necessidade de consolidação de políticas e regulamentos públicos para a GIZC (ou seja, o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro, o Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro e o Plano Municipal de Gerenciamento Costeiro), bem como a implementação completa de seus instrumentos, já foi apontada por diversos estudos no Brasil, incluindo o caso do estado de Santa Catarina e do município de Florianópolis (DIEDERICHSEN et al., 2013; ANDRADE e SCHERER, 2014). No entanto, é importante ressaltar que, além de sua implementação, há também a necessidade de incluir a lente

climática nesses documentos e seus respectivos instrumentos (a serem implementados), uma vez que nenhum deles aborda explicitamente a mitigação ou adaptação as mudanças climáticas.

3 SEGUNDO CAPÍTULO

3.1 RESUMO

As políticas públicas destinadas a gestão integrada da zona costeira (GIZC) brasileira estão disponíveis, em maioria, para escala nacional e estadual. Ao mesmo tempo, as principais ameaças ambientais a essa porção do território se concentram em escala local, sobretudo em relação aos efeitos das mudanças climáticas. Isso faz com que o processo de gestão dessas áreas exija abordagens específicas, orientadas ao local, e muitas vezes, multiescalares. Pesquisas científicas oferecem um diversificado leque de opções ao poder público, uma vez que as mudanças climáticas e seus efeitos têm despertado significativo interesse da comunidade científica. Desse modo, conhecer o que é produzido no Brasil, sobretudo em relação à escala local, pode facilitar a geração de respostas aos problemas a serem enfrentados no futuro. Para isso, este estudo tem como objetivo a proposição de um esquema metodológico para o resgate e a organização de dados e informações pré-existentes de interesse à GIZC em escala local, com base em um estudo de caso na praia dos Ingleses, Florianópolis, Brasil. Foram incluídos estudos que descrevessem ou avaliassem processos físicos, sociais ou econômicos; risco e vulnerabilidade a perigos costeiros, e análise e/ou descrição de impactos ambientais. Na sequência, foi avaliado se os mesmos reconheceram os efeitos das mudanças climáticas como ameaça ou como fator de intensificação de riscos. Por fim, foi realizada uma categorização dos resultados para identificar o potencial de utilização dos trabalhos para a GIZC. Para a área de estudos, predominam as pesquisas categorizadas pela comunidade científica como “literatura cinzenta”, sendo que dos 81 documentos selecionados, apenas 29 foram revisados por pares e publicados em periódicos. Com relação às investigações acerca dos efeitos das mudanças climáticas destacaram-se os estudos com foco na identificação de índices de vulnerabilidade costeira e análises de risco. Na análise da aptidão das pesquisas para o seu uso na GIZC, destacou-se a temática de proteção e recuperação da estrutura e funções dos ecossistemas costeiros marinhos. Por outro lado, poucos estudos abordaram a degradação das áreas litorais e de sua paisagem devido ao abandono de resíduos sólidos.

Palavras-chave: Revisão de literatura; literatura cinzenta; praia dos Ingleses; Gestão Integrada de Zonas Costeiras.

3.2 ABSTRACT

In Brazil, public policies that support the integrated coastal zone management (ICZM) are mostly available for national and state scales. At the same time, the main threats to this portion of the territory are concentrated on a local scale, especially concerning the effects of climate change. Therefore, ICZM might require location-oriented and often multi-scale approaches. Scientific research offers a wide range of options to the public authorities since climate change and its effects have aroused significant interest in the scientific community. Thus, knowing what is produced in Brazil, especially in relation to the local scale, might facilitate the adaptation process. Therefore, this study aims to propose a methodological scheme for retrieving and organizing pre-existing data and information of interest to ICZM at a local scale, based on a case study in Praia dos Ingleses, Brazil. Studies describing or evaluating physical, social, or economic processes were included; risk and vulnerability to coastal hazards, and analysis and/or description of environmental impacts. Afterward, it was evaluated whether they recognized the effects of climate change as a threat or as a risk intensifying factor. Finally, results were categorized to identify the main competencies established and potential use of the works for the integrated coastal zone management (ICZM). Pieces of research categorized by the scientific community as “grey literature” predominates, and out of the 81 selected documents, only 29 were peer-reviewed and published in scientific journals. With regard to investigations into the effects of climate change, studies focused on identifying coastal vulnerability indices and risk analysis were highlighted. Concerning the research suitability for its use in ICZM, the protection and recovery of coastal marine ecosystems' structures and functions was a highlighted topic. On the other hand, few studies have addressed the degradation of coastal areas due to beach littering.

Keywords: Literature review; gray literature; Ingleses beach; Integrated Coastal Zone Management.

3.3 INTRODUÇÃO

Embora a zona costeira brasileira seja administrativamente definida pelo limite territorial dos municípios costeiros (majoritariamente defrontantes com o mar), as políticas públicas destinadas a gestão dessas áreas são, em maioria, de escala nacional e estadual (SCHERER et al., 2018). Ao mesmo tempo, as principais ameaças ambientais a essa porção do território se concentram em escala local. Isso faz com que o processo de mitigação e adaptação aos riscos e os impactos à população que habita essas áreas exija abordagens específicas, orientadas ao local, e muitas vezes, multiescalares. Assim, é de grande importância que estudos aplicados a compreensão desses fenômenos sejam focados nas áreas diretamente afetadas, viabilizando assim o seu uso no processo de tomada de decisão (CROWELL et al., 2007). A gestão integrada das zonas costeiras (GIZC) é um processo dinâmico e, sobretudo, contínuo, no qual todas as decisões tomadas têm como fundamento o uso e o desenvolvimento sustentável para proteção e conservação de recursos naturais. Nesse contexto, o processo de gestão da zona costeira deve ter como uma de suas premissas conservar seu ambiente para a atual e as futuras gerações (CICIN-SAIN e KNECHT, 1993; BARRAGÁN, 2016). Nesse contexto, as mudanças climáticas são uma temática intrinsecamente ligada a esse modelo de gestão. Tal processo, deve abordar questões geográficas, temporais, setoriais e político/institucionais e requerem uma gestão diferenciada, levando em consideração tanto o tipo do problema quanto a sua extensão para que uma medida de gestão eficiente seja selecionada (CICIN-SAIN e KNECHT, 1993; CLARK, 1997; KAY e ALDER, 1999).

A subida do nível médio do mar é um exemplo de ameaça diretamente relacionada às mudanças climáticas, e que tende a impactar de maneira severa as áreas litorâneas do planeta (GRINSTED et al., 2010; PACHAURI et al., 2014). Os estudos que avaliam os impactos associados a esse fenômeno, todavia, não são eficientes ao fazer referência a zona costeira de maneira geral, pois os impactos serão sentidos apenas na franja próxima ao mar, principalmente nas áreas de baixas elevações. Além desse fenômeno, destacam-se ainda o aumento na frequência e intensidade de eventos extremos, como marés de tempestades (PHILLIPS e CRISP, 2010; RANGEL-BUITRAGO e ANFUSO, 2013), que podem ocasionar inundações costeiras (NICHOLLS, 2004; MCGRANAHAN et al., 2007) e diversos episódios de alteração no balanço sedimentar (ESTEVEZ e FINKL, 1998). Todos os fenômenos previamente citados exigem medidas específicas de gestão (WILLIAMS et al., 2018), uma

vez que alguns lugares são mais susceptíveis que outros a esses eventos (BIRKMANN, 2007; BONETTI e WOODROFFE, 2017).

Quando da inexistência de planos de gestão que atendam as demandas existentes, ou quando identificada a necessidade de aprofundamento em relação a especificidades de determinados fenômenos, é importante avaliar as opções estratégicas de acordo com a disponibilidade das soluções e da tecnologia disponível. Como uma alternativa para essa questão, pesquisas científicas oferecem um diversificado leque de opções ao poder público, uma vez que as mudanças climáticas e seus efeitos têm despertado significativo interesse da comunidade científica e, portanto, um crescente número produções científicas nessa temática têm sido gerado mundialmente (WANG et al., 2018b; LIMA e BONETTI, 2020). Deste modo, é importante conhecer o atual estado da arte dessa produção, assim como suas principais características e especificidades, tanto para identificar oportunidades de uso desses estudos na tomada de decisão, quanto para que não seja realizado um investimento financeiro e de recursos humanos redundante, uma vez que é comum que pesquisas científicas sejam financiadas pelo poder público. Também é importante conhecer quais as potencialidades dos estudos de caráter local, assim como as restrições existentes, principalmente em relação aos dados primários para realização das pesquisas (WILLIAMS et al., 2018).

O atual estado da arte da produção científica nacional que subsidie a GIZC no contexto das mudanças climáticas é desconhecido, apesar da densa literatura internacional disponível. Conhecer o que é produzido no Brasil, sobretudo em relação à escala local de gestão, pode facilitar a geração de respostas adequadas aos problemas a serem enfrentados em um futuro próximo. Portanto, conhecer e sistematizar a informação científica disponível é etapa essencial. Para isso, é importante estabelecer um procedimento metodológico que viabilize não só a identificação de estudos de interesse, mas também que identifique pesquisas pré-existentes que analisaram fenômenos que estão sendo, ou serão intensificados no futuro.

Dentre os tomadores de decisão, é comum a necessidade de se avaliar tanto qualitativamente quanto quantitativamente pesquisas realizadas em seu campo de atuação (ELLEGAARD e WALLIN, 2015). Nesse contexto, técnicas de bibliometria auxiliam a descrever e interpretar a literatura existente em um determinado domínio científico e conhecer como ela se desenvolveu ao longo dos anos. Além disso, possibilitam identificar as principais tendências, assim como entender como se dá o relacionamento entre os trabalhos identificados. É possível também analisar quantitativamente o conteúdo dos documentos, por exemplo através de suas palavras-chave, ou métodos analíticos escolhidos pelos autores.

Contudo, é importante estabelecer uma estrutura metodológica que garanta confiabilidade dos resultados obtidos (GLÄNZEL, 1996).

Nos últimos anos, técnicas de bibliometria foram usadas com frequência, sobretudo para temas relacionados às mudanças climáticas. Por exemplo, Li et al. (2011) propuseram uma análise de agrupamento para avaliar a contribuição acadêmica relacionada às alterações do clima em um período de cerca de 20 anos. Wei et al. (2015) avaliaram áreas de concentração de pesquisas relacionadas às políticas sobre o clima nas bases SCI-E (Science Citation Index Expanded) e SSCI (Social Sciences Citation Index). Wang et al. (2018b) indicaram que a temática de adaptação às mudanças do clima encontra-se em um estágio de rápido desenvolvimento com base em uma análise que identificou quase 15 mil documentos elaborados por pesquisadores de 152 países. Por fim, Lima e Bonetti (2020) analisaram a produção científica sobre a vulnerabilidade social das comunidades costeiras às mudanças climáticas e ao impacto de eventos extremos. As pesquisas bibliográficas de grande visibilidade geralmente têm caráter internacional e, devido à quantidade massiva de dados disponível concentram-se em bases bibliográficas de maior abrangência (e.g. Scopus e Web of Science). Entretanto, análises bibliométricas podem também considerar outras categorias de dados, como capítulos de livros, teses e relatórios técnicos, os quais habitualmente são classificados como “literatura cinzenta” (ELLEGAARD e WALLIN, 2015).

De acordo com Farace (1997), é considerado “literatura cinzenta” todo tipo de documento cuja publicação não é a atividade principal de quem o produziu. É o tipo de literatura que não está geralmente disponível nos canais usuais de distribuição e, portanto, são mais difíceis de serem identificados e obtidos. O rígido processo de revisão por pares, o qual é intermediado pelas revistas científicas antes da publicação de artigos, garante uma relevância científica superior a esse tipo de literatura. Contudo, em alguns campos do conhecimento, o volume de literatura cinzenta é superior ao de artigos revisados por pares, ou as vezes o único (MROSOVSKY e GODFREY, 2008). Não obstante, é importante salientar que, em muitos casos, apesar de apresentarem uma contribuição científica com grau de validação inferior, os dados coletados para essas pesquisas apresentam expressivo valor científico. Além disso, a literatura cinzenta quando encomendada pelo poder público, pode influenciar na elaboração de políticas públicas, assim como permite o registro de como o governo tem investido o dinheiro público (CORLETT, 2011). Dessa maneira, para refletir fielmente a base científica existente para determinada área, estudos de caráter bibliográfico são mais robustos ao incluir literatura cinzenta (CONN et al., 2003). Por exemplo, Cordes (2004) buscou artigos revisados

por pares que citassem ao menos um dos documentos elaborados pelo Grupo de Especialistas em Aspectos Científicos da Proteção do Ambiente Marinho (GESAMP). A busca na base Web of Science resultou em 1178 artigos científicos contendo 1436 citações referentes às produções do GESAMP, das quais 65% referem-se a literatura cinzenta. Ainda nesse contexto, Haddaway et al. (2015) apontaram, em um estudo de caso, que até 39% dos resultados resgatados pela base Google Scholar estiveram associados à literatura cinzenta.

Tendo-se em conta o exposto, este estudo tem como objetivo a proposição de um esquema metodológico para a organização de dados e informações pré-existentes de interesse à gestão costeira integrada em escala local. Complementarmente, se propõe a avaliar se os mesmos reconhecem os efeitos das mudanças climáticas como ameaça ou como fator de intensificação de fenômenos meteo-oceanográficos recorrentes. Para tanto, desenvolveu-se um estudo de caso na Praia dos Ingleses, localizada no Norte da Ilha de Santa Catarina, município de Florianópolis, Brasil (Figura 3). A referida praia apresenta alta vulnerabilidade aos efeitos das mudanças climáticas (MUSSI et al., 2018), assim como acumula registros de diversos eventos de alta energia com efeitos indesejáveis para a população e infraestrutura locais (SIMÓ e HORN FILHO, 2004; BONETTI et al., 2017), os quais tendem a se intensificar nos próximos anos, considerando os cenários previstos pelo IPCC (PACHAURI et al., 2014). Para se atingir o objetivo proposto, foi realizada uma revisão integrada (quali-quantitativa) da literatura disponível para a área, a qual foi adaptada com base em procedimentos consagrados pela bibliometria. Foi também efetuada a categorização da literatura identificada a partir de critérios pré-estabelecidos a fim de possibilitar a exploração das principais características dos estudos. Posteriormente, estes resultados foram sistematizados de acordo com os princípios e objetivos da GIZC propostos por Barragán (2016).

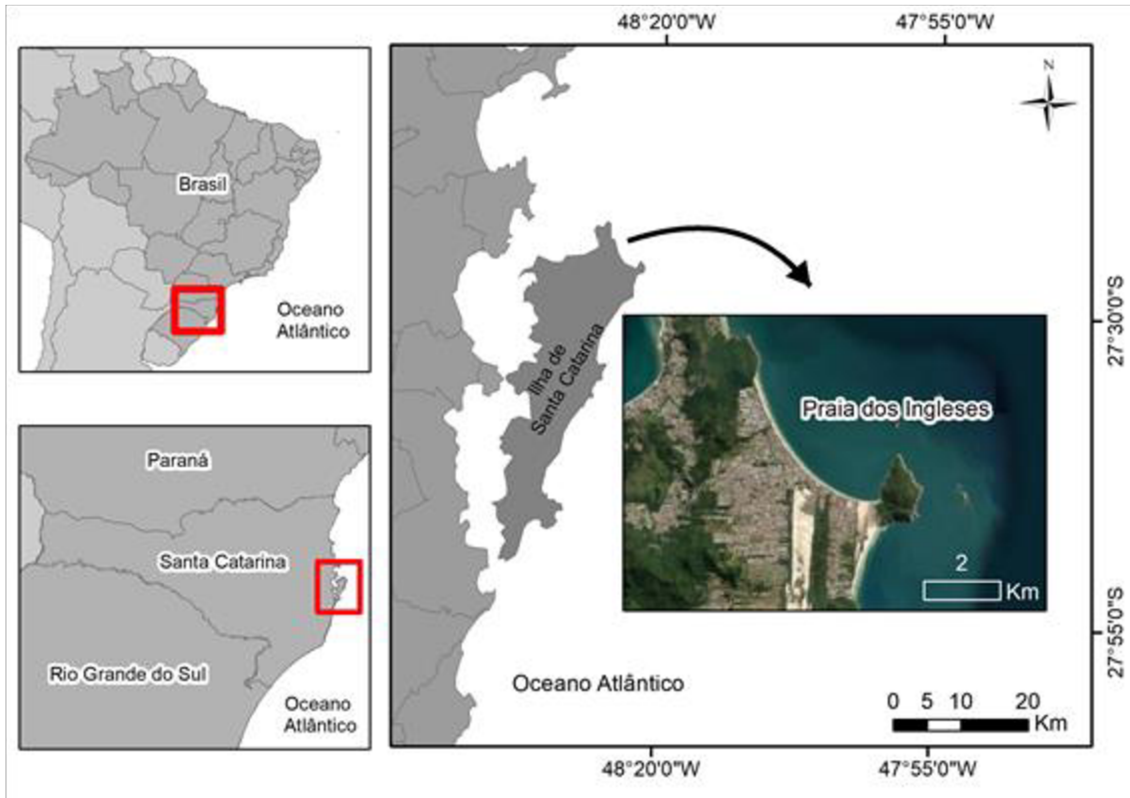


Figura 3: Localização da área de estudo.

3.4 MATERIAIS E MÉTODOS

3.4.1 Revisão de literatura

Para o processo de seleção das fontes bibliográficas foram considerados: artigos publicados em periódicos; teses; dissertações; trabalhos de conclusão de curso; livros; capítulos de livros; relatórios técnicos; e trabalhos publicados em anais de congressos científicos. Com relação às bases consultadas, foram acessados repositórios institucionais das principais universidades da região Sul do Brasil (Universidade Federal do Paraná, Universidade Federal de Santa Catarina e Universidade Federal do Rio Grande do Sul), as bases disponibilizadas pelo Portal de Periódicos da CAPES (e.g., Scopus, Web of Science, Scielo etc.) e o Google Acadêmico. Foram consideradas também indicações de trabalhos por especialistas na área (KRUEGER et al., 2012) sobretudo relatórios técnicos, os quais foram denominados “Fontes secundárias”. A estratégia de busca nas bases consistiu na utilização de operadores booleanos (AND e OR) considerando-se as palavras-chave “Ingleses”; “Praia”; “Florianópolis”. Os trabalhos foram selecionados com base no título e uma segunda filtragem

foi efetuada a partir da leitura de seus resumos. Após a seleção final dos trabalhos, procedeu-se sua leitura integral ou dirigida.

A revisão geral foi realizada com base em critérios para inclusão e exclusão de trabalhos identificados nas bases consultadas. Foram considerados todos os textos, publicados entre 1990 e 2018, que descrevessem ou avaliassem processos físicos, sociais ou econômicos; risco e vulnerabilidade a perigos costeiros; e análise e/ou descrição de impactos ambientais. Por outro lado, foram desconsiderados trabalhos publicados de forma repetida; inventários de fauna e flora; trabalhos exclusivamente da iniciativa privada (e.g., relatórios elaborados para fins de licenciamento ambiental). Os quantitativos referentes ao processo de revisão de literatura podem ser visualizados no Quadro 1. Cabe ressaltar, que os resultados obtidos via Portal de Periódicos CAPES se concentraram nas bases de dados OneFile (GALE), Directory of Open Access Journals, Scopus, Scielo e Web of Science.

Etapas da revisão	Portal CAPES	Google Scholar	Repositórios institucionais	Fontes secundárias
Quantitativo inicial	171	378	2251	24
Após leitura do título	22	49	39	23
Após leitura dirigida	29		33	19

Quadro 1: Dados quantitativos referentes ao processo de seleção bibliográfica.

Os atributos compilados para cada trabalho analisado estão descritos e exemplificados no Quadro 2. As categorias utilizadas foram definidas de acordo com a leitura dos textos e eventualmente inseridas novas quando necessário ou relevante em relação à bibliografia analisada. Muitas das categorias não são mencionadas explicitamente, fazendo com que fosse necessária uma interpretação e descrição dos trabalhos durante a análise. Em relação à lacuna da pesquisa e incertezas, foram considerados apenas quando mencionados pelos autores. Foi também adicionada uma coluna de “produto final”, tendo em vista que por vezes alguns títulos muito abrangentes não esclarecem a proposta e os objetivos da pesquisa associada. Ainda em relação às categorias, foram considerados quatro níveis de detalhamento: local, municipal, estadual, regional. No entanto, cabe esclarecer que, quanto à escala de análise, foram selecionados trabalhos em que a praia dos Ingleses representava um dos estudos de caso ou havia relevância e detalhamento cartográfico suficiente para que os dados pudessem ser extraídos especificamente para a área. Não foram considerados trabalhos em escala estadual que não mencionassem a área de estudo ou não a detalhavam suficientemente.

Categoria	Exemplo
Tipo de trabalho	Tese
Publicado em periódico?	Sim
Nome do periódico	<i>Journal of Coastal Research</i>
Universidade	UFSC
Data da publicação	2018
Idioma	Inglês
Gênero do(a) primeiro(a) autor(a)	Feminino
Escala	Local
Escopo geral do trabalho	Físico
Processo sob análise	Balanço sedimentar
Foco	Diagnóstico ambiental
Menciona mudanças climáticas?	Sim
Descritores (até 6)	Dados oceanográficos
Métodos (até 3)	Modelagem
Lacuna	Não considera permeabilidade do solo
Menciona incertezas?	Sim
Produto final	Soluções para conter erosão

Quadro 2: Exemplos das características extraídas dos trabalhos analisados.

Quanto à sistematização dos resultados, em alguns casos foi necessária uma generalização dos descritores e métodos utilizados pelos pesquisadores a fim de viabilizar uma análise exploratória dos resultados obtidos. Por exemplo, foi priorizado o agrupamento de trabalhos para torná-los comparáveis em um segundo momento (e.g. altura e período de onda = dados oceanográficos). Uma primeira análise exploratória foi realizada via Microsoft Excel com a utilização de tabelas e gráficos dinâmicos. O software VosViewer 1.6.9 (VAN ECK e WALTMAN, 2010) foi utilizado para a obtenção de agrupamentos levando em consideração a coocorrência de palavras-chave utilizadas e a tendência de coautoria entre a rede de autores das pesquisas. Isso permitiu avaliar os resultados quantitativos em relação a cada um dos aspectos extraídos das publicações, por vezes relacionando-as com o tipo de trabalho analisado e/ou ano de publicação, por exemplo. Por fim, foram discutidas as especificidades dos estudos que mencionam as mudanças climáticas, tanto no que se refere à sua contextualização quanto de forma aplicada no desenvolvimento da pesquisa (e.g., utilizando cenários futuros de SLR).

3.4.2 Integração com a GIZC

O relacionamento entre os trabalhos científicos e os objetivos para atuação sobre as áreas litorais (BARRAGÁN, 2016) foi estabelecido por meio da classificação binária

(Verdadeiro/Falso) (Quadro 3). Essa análise buscou agrupar os estudos considerando sua aplicabilidade na gestão costeira integrada. Como muitos dos documentos não mencionam diretamente sua conexão com os objetivos apresentados, sua relação com a análise proposta foi determinada através da interpretação acerca dos resultados descritos em cada trabalho. Num segundo momento foram realizadas análises estatísticas de agrupamento, visualizadas em grupos (clusters) obtidos utilizando-se o índice Jaccard de similaridade, associados a estratégias de agrupamento por média simples (UPGMA) no software R (R CORE TEAM, 2020). Foram também quantificados e agrupados os trabalhos compatíveis com o maior número dos objetivos de atuação em áreas litorais e, por outro lado, os objetivos mais alcançados pelos autores.

a) Melhorar os níveis de bem-estar humano, especialmente naquelas áreas nas quais seja mais urgente e necessário
b) Contribuir para um modelo de desenvolvimento racional através da utilização sustentável dos serviços dos ecossistemas costeiros marinhos.
c) Proteger e recuperar a estrutura e funções dos ecossistemas costeiros marinhos para conservar seus serviços
d) Evitar perdas de vidas humanas e bens materiais devido a riscos naturais ou tecnológicos
e) Assegurar o acesso livre as áreas ou recursos de natureza pública e comum.
f) Manter e melhorar a qualidade das águas litorais considerando as atividades que se realizam em terra e no meio marinho.
g) Impedir a degradação das áreas litorais e sua paisagem devido ao abandono de resíduos sólidos.
h) Considerar de forma especial as necessidades de Sustentabilidade do bem-estar humano das aglomerações urbanas costeiras.
i) Promover uma distribuição equitativa de custos e benefícios entre as atividades desenvolvidas no litoral e os usuários dos recursos.
j) Proteger e conservar o patrimônio paisagístico e cultural das áreas litorais.

Quadro 3: Objetivos para atuação nas áreas litorais.

Fonte: Adaptado de Barragán (2016)

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 Revisão de literatura

Foram localizados 81 estudos realizados na área de interesse, desenvolvidos tanto em escala de detalhe quanto de maior abrangência. Os trabalhos identificados, assim como uma tabela compilando suas principais características (Quadro 2), encontram-se disponíveis em <https://bit.ly/2DH7SS5>. Conforme pode ser observado na Figura 4, o ano de 2016 foi o mais

produtivo em relação à produção bibliográfica envolvendo a praia dos Ingleses, sendo que apenas uma das categorias analisadas (TCC) não foi identificada para o ano. No entanto, é possível perceber também que a categoria “Dissertação” é a que apresenta maior representatividade na linha do tempo de trabalhos analisados, em contraponto à categoria “Livros”, que apresentou apenas uma ocorrência em todo o universo da análise. Os artigos publicados em periódicos representam 35,8% dos trabalhos selecionados, já os trabalhos acadêmicos de TCC, dissertações e teses, representam 40,7%. Por seu turno, as pesquisas publicadas em anais de congresso, relatórios técnicos, livros e capítulos de livros somam 23,5%. Tendo em vista que os repositórios acadêmicos analisados apenas possuem registros de teses e dissertações, os trabalhos de conclusão de curso selecionados foram considerados fontes secundárias e foram localizados por meio da busca na base de dados Google Scholar e/ou indicados por especialistas que possuem contato com a área de estudo. Devido a existência de uma Universidade Federal em Florianópolis, e devido a uma série de pesquisas envolverem todo o município e mencionarem bairros e localidades, os resultados obtidos nos repositórios acadêmicos ultrapassaram em número os obtidos em bases de dados de artigos científicos.

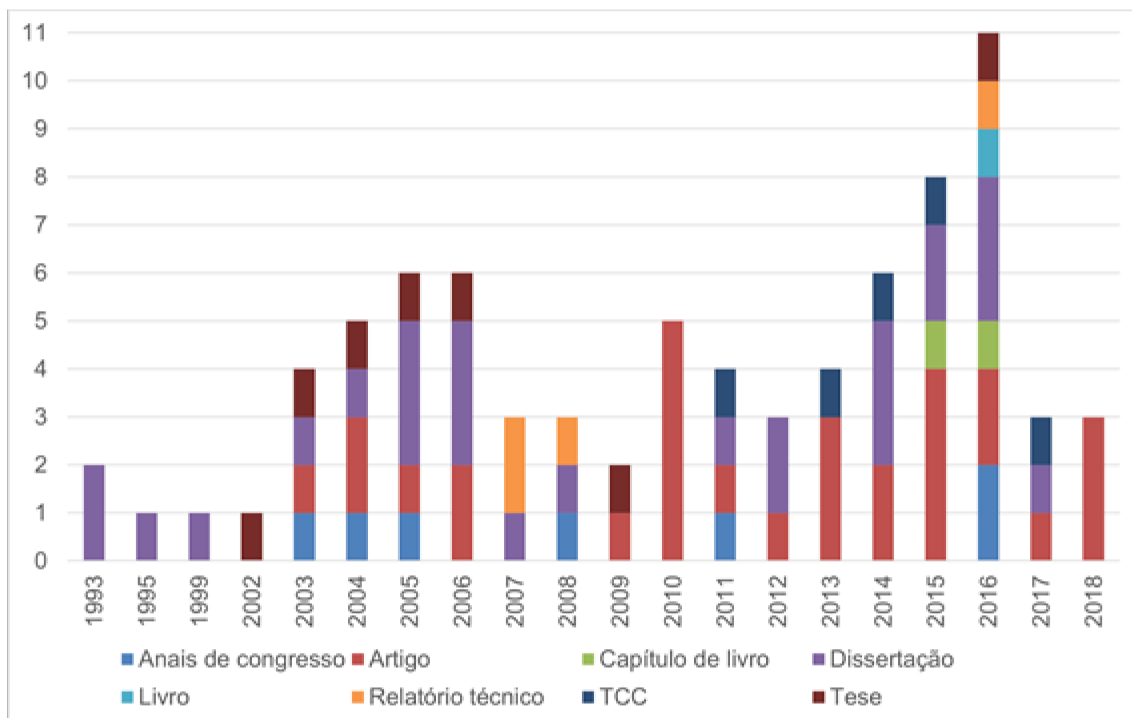


Figura 4: Tipos de trabalho publicados através dos anos.

Apesar da obrigatoriedade exigida por muitos programas de pós-graduação em publicar em revistas científicas os trabalhos acadêmicos de pós-graduação (i.e., teses e dissertações), observou-se que apenas cerca de um terço desses estudos foi publicado em periódicos revisados por pares (Figura 5). Dos 29 artigos científicos identificados, apenas 11 derivaram de pesquisas de pós-graduação, sendo que os demais são pesquisas individuais, conduzidas por pesquisadores interessados na área de estudos. Do total de estudos acadêmicos publicados, oito foram elaborados por alunos da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mesmo a área tendo sido objeto de desenvolvimento de pesquisas científicas desde 1993, apenas em 2003 a primeira dissertação gerou um artigo científico, publicado por Faraco et al. (2004). Os 29 artigos identificados foram citados 411 vezes (de acordo com a consulta realizada na base Google Scholar em julho de 2021). Destacaram-se as pesquisas publicadas por Klein et al. (2010) citado 68 vezes desde sua publicação, Corraini et al. (2018) e Rudorff e Bonetti (2010) citados 38 e 29 vezes, respectivamente. Já em relação aos veículos de publicação destacou-se o periódico “Journal of Coastal Research” (ISSN 0749-0208), no qual foram publicados seis artigos, seguido pela revista nacional “Desenvolvimento e Meio Ambiente” (ISSN 2176-9109) onde foram publicados três artigos, e as revistas “Coastal Engineering” (ISSN 0378-3839), “Gravel” (ISSN 1678-5975) e “Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology” (ISSN 1983-9057), com dois artigos publicados em cada (Figura 6). Também é relevante mencionar o idioma de publicação dos artigos, os quais foram mais da metade publicados em inglês, conforme pode ser visualizado também na Figura 6.

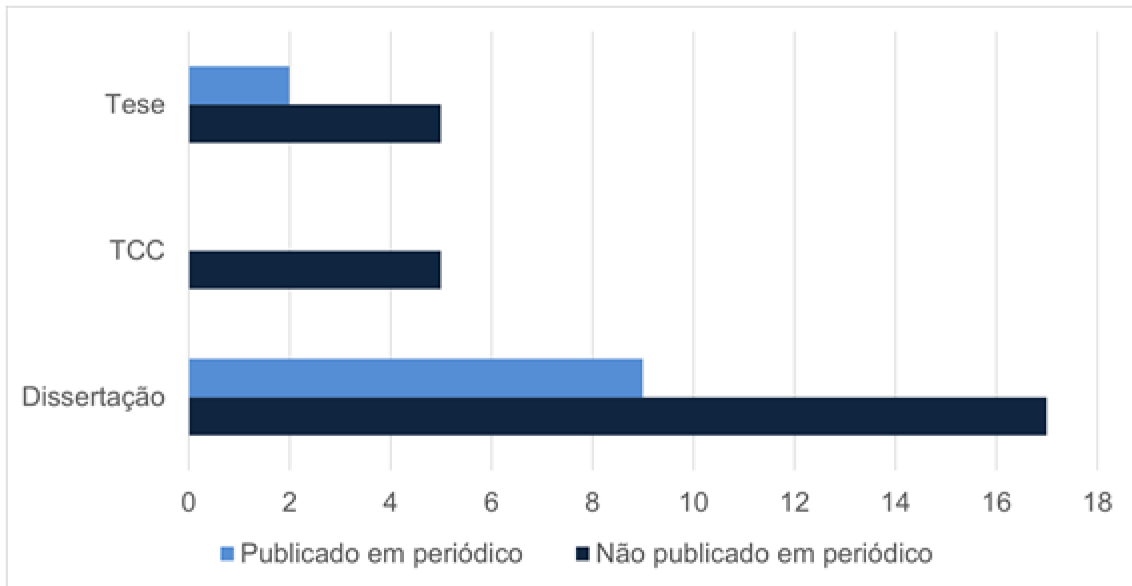


Figura 5: Quantitativos de trabalhos acadêmicos que foram publicados posteriormente na forma de artigo em periódico.

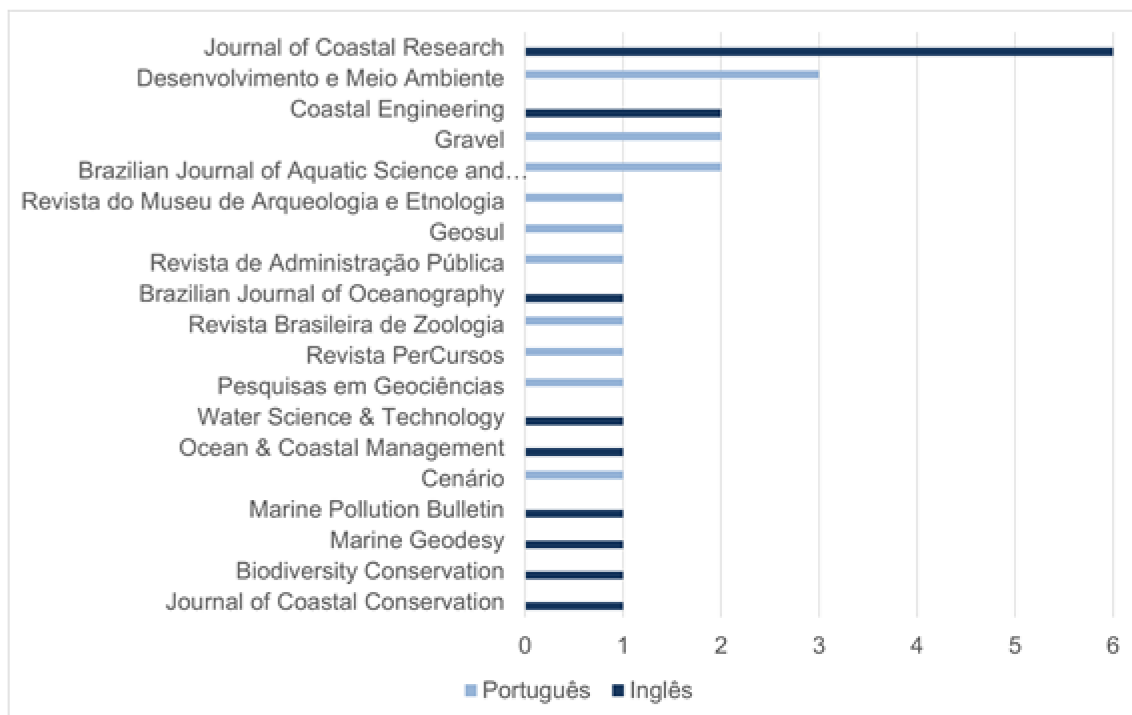


Figura 6: Principais periódicos e idiomas dos artigos sobre a praia dos Ingleses publicados em periódicos.

Foi também considerado na análise o gênero do primeiro autor (Figura 7), a fim de verificar se para a área de estudo persiste a lacuna identificada por Holman et al. (2018), os quais afirmaram que as mulheres representam a minoria, desde o campo acadêmico ao profissional, sobretudo na área de Geociências (VILA-CONCEJO et al., 2018). Os autores ainda afirmaram que é importante identificar os campos da ciência com maior desigualdade

de gênero, para que ações de incentivo ou intervenção sejam realizadas para diminuição desta desigualdade. Para a área de estudo, observou-se que, em relação a todos os trabalhos analisados, apenas 38% dos trabalhos foram produzidos por mulheres na condição de primeira autora, sendo elas maioria apenas na categoria dissertação. Quando considerados somente os artigos científicos, uma maior disparidade de gênero é observada, sendo que apenas 24% destes foram elaborados por mulheres encabeçando a lista de autores. Destaca-se, ainda, que 100% das categorias relatório técnico e livro foram desenvolvidas por homens, mas deve-se salientar que o número de registros relativos a ambas é muito pequeno, não sendo estatisticamente significativa a comparação.

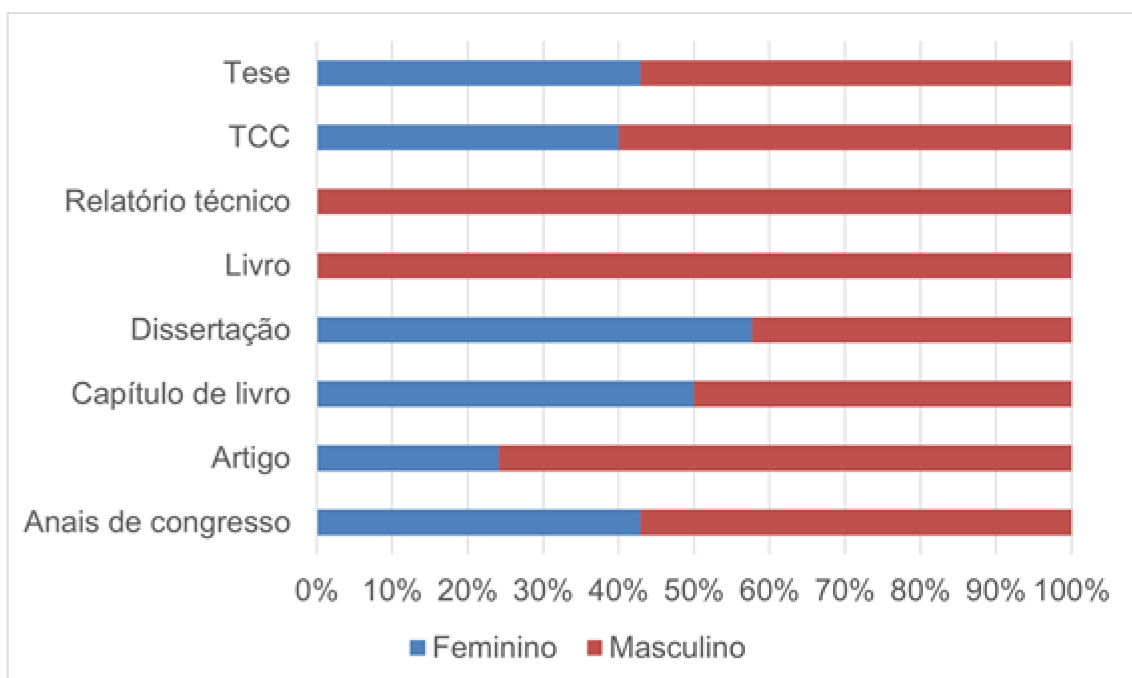


Figura 7: Distribuição do gênero do primeiro autor por tipo de publicação.

Com o objetivo de identificar padrões de coautoria e as principais redes de colaboração entre pesquisadores locais, uma análise de agrupamento foi realizada com base no número de publicações que os pesquisadores escreveram em conjunto. Primeiramente, foi possível observar que nem todos os 127 autores que já trabalharam na área, e participaram dos 81 estudos selecionados, estão conectados por meio de seus estudos. A partir da análise de agrupamento, obteve-se que um conjunto de 49 pesquisadores estabeleceram sete grupos (clusters) de coautoria (Figura 8). Destes, 29 autores participaram de ao menos duas publicações e 12 autores participaram de ao menos três publicações. Os autores que mais produziram localmente foram A. Klein e J. Bonetti com 14 e 9 publicações cada,

respectivamente. Devido às distintas áreas temáticas de atuação, os referidos autores convergem para si o maior número de conexões em dois grupos diferentes (clusters 2 e 5). Por exemplo, o grupo com o maior número de conexões (cluster 2 da Figura 6) concentra a rede de colaboração de A. Klein principalmente em pesquisas relacionadas aos aspectos morfológicos e hidrodinâmicos locais. Essa rede de colaboração deu origem aos Clusters 1, 3 e 4 os quais também concentram pesquisas similares geralmente relacionadas ao meio físico. Por outro lado, o cluster 5 evidencia a rede de colaboração de J. Bonetti que atua em pesquisas relacionadas a análises de caráter ambiental e social, abordando aspectos como susceptibilidade e vulnerabilidade costeira, assim como as análises de impactos costeiros diversos, também abordadas pelos autores dos clusters 6 e 7.

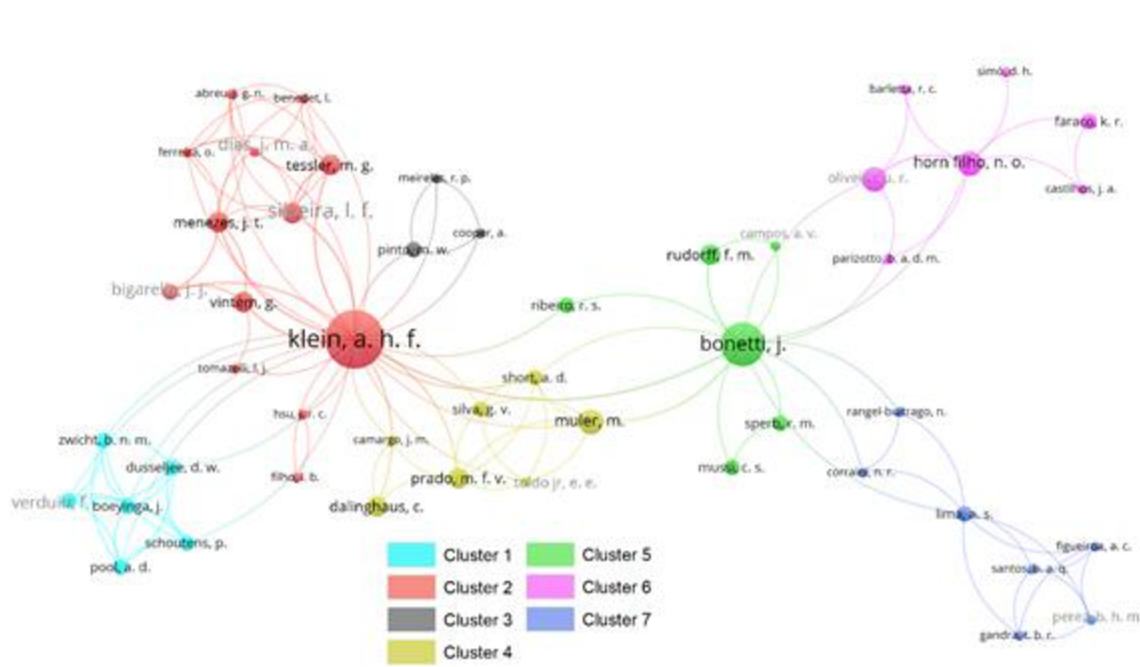


Figura 8: Rede de coautoria dos trabalhos analisados.

A pesquisa identificou trabalhos em quatro níveis de detalhamento em termos de abrangência espacial (Figura 9), sendo que os de nível local tem maior expressão e representam cerca de 50% do total. Neste nível de detalhamento, os estudos com caráter ambiental e socioambiental têm maior representação. Os trabalhos em escala municipal selecionados, que representaram 30% da amostra, de maneira geral analisaram os balneários ou os bairros da Ilha de Santa Catarina de modo setorizado, possibilitando com que os dados pudessem ser analisados individualmente para a praia dos Ingleses. O mesmo se aplica para os demais níveis de detalhamento, justificando assim a inserção das pesquisas na análise. Considerando individualmente os estudos com base em seu escopo geral, predominaram os

socioambientais/socioeconômicos e os que consideram isoladamente o meio físico (Figura 9). Esse tipo de análise é importante quando se trata de uma sistematização dos dados para gestão, tendo em vista que os que abordam o meio socioeconômico e socioambiental tendem a ser mais facilmente compreendidos pelo público em geral. Já os estudos mais técnicos (exclusivamente sociais, físicos ou bióticos), utilizam de linguagem técnica mais profunda e específica, dificultando a extração de informações das pesquisas por parte do público não especializado. Os processos sob análise e o foco dos trabalhos apresentaram 32 e 42 registros distintos para cada categoria, respectivamente. Nestas duas categorias, destacaram-se análises relacionadas com a dinâmica costeira, focando na interação entre ambiente marinho e terrestre; balanço sedimentar, que envolveram o estudo de magnitude e direção do aporte e perda de sedimentos pelo sistema; e vulnerabilidade costeira, ou seja, a propensão socioambiental da área em sofrer os efeitos dos perigos (ameaças) que atuam sobre a zona costeira (predominantemente erosão e inundação).

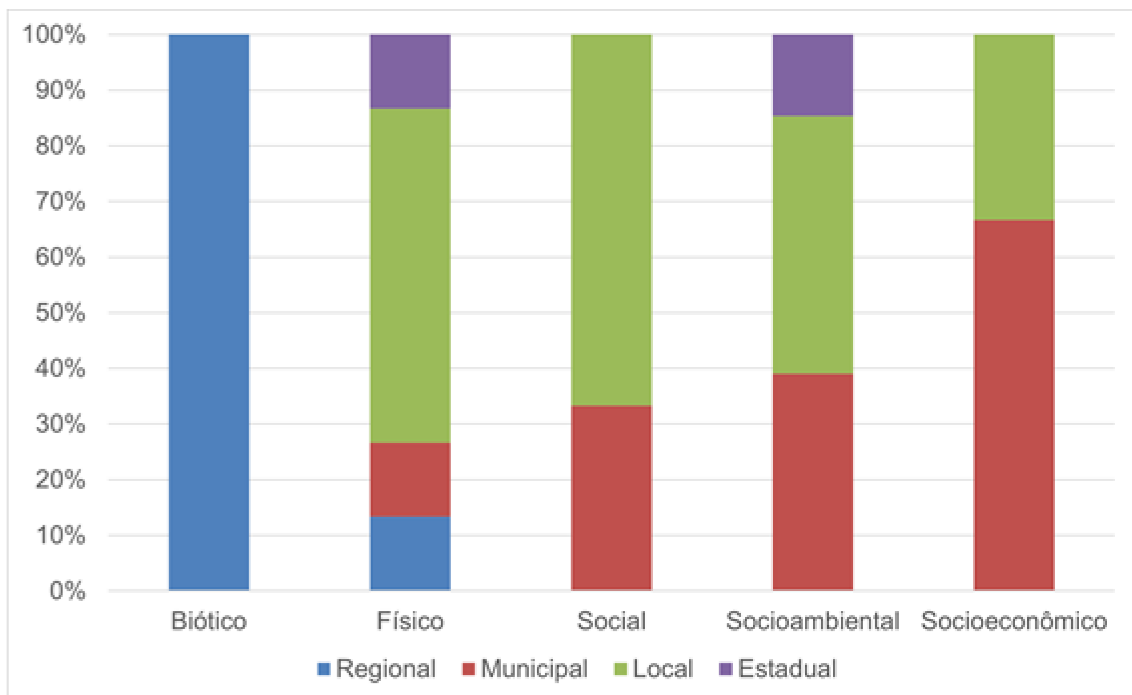


Figura 9: Escopo geral dos trabalhos quanto aos assuntos preferencialmente abordados nas diferentes escalas espaciais.

Uma análise de coocorrência de palavras-chave nos estudos selecionados foi também realizada. Mesmo que nem todos os documentos apresentassem esse componente, foi possível identificar 168 palavras-chaves, das quais 49 coocorreram pelo menos uma vez. A análise foi padronizada em inglês (Figura 10). Cada palavra-chave analisada é representada por um

círculo, sendo que seu tamanho aumenta de acordo com o número de relações que estabeleceu com as demais; já a proximidade entre eles indica o quão relacionadas as palavras estiveram nos estudos tendo-se, dessa maneira, estabelecido seis grupos. As palavras-chave “extreme events” e “coastal erosion” tiveram o maior número de ocorrências (quatro vezes) assim como o maior número de relações com outras palavras. Por exemplo, “extreme events” é citada por Bonetti et al. (2017) em um estudo que analisou a susceptibilidade de praias arenosas a processos erosivos. Em outro exemplo, “coastal erosion” foi citado por Simó e Horn Filho (2004) em um estudo que caracterizou 18 eventos de maré de tempestade que impactaram a Ilha de Santa Catarina. Em ambos os casos, apesar de os autores não mencionarem mudanças climáticas em seus estudos ou em suas palavras-chave, as pesquisas têm relevância nessa temática, haja vista que as mudanças climáticas tendem a intensificar processos como a erosão costeira e a aumentar a frequência de ocorrência de eventos extremos (PACHAURI et al., 2014). Já o termo “climate change” foi utilizado como palavra-chave apenas uma vez, por Montanari (2015), em um estudo que analisou os impactos econômicos em função do aumento do nível médio do mar no município de Florianópolis/SC para o ano de 2100, apresentado no cluster 4. É evidente a distância entre as palavras-chave “climate change”, apresentada no cluster 4 e “coastal zone management”, apresentada no cluster 1, as quais não apresentaram relação nessa análise. Por outro lado, se analisadas as palavras contidas nos resumos dos estudos selecionados, os termos “climate change” e “coastal zone management” coocorrem nos estudos apresentados por Mussi (2011) e Mussi et al. (2018), que avaliaram a sensibilidade costeira e a exposição da população local ao aumento do nível do mar.

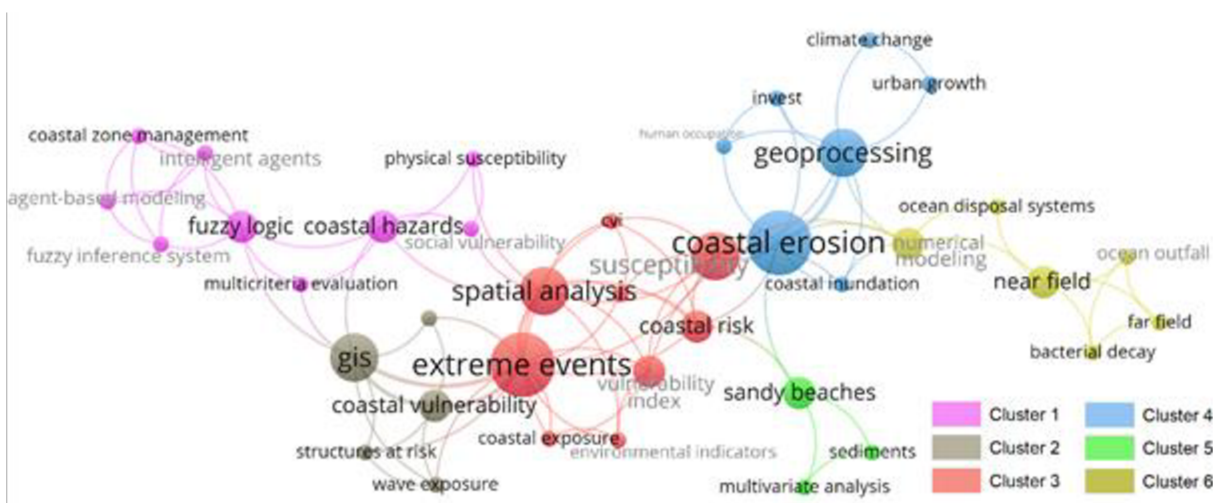


Figura 10: Coocorrência de palavras-chave utilizadas nos trabalhos.

Um dos aspectos que se buscou avaliar nos trabalhos, foi a menção às mudanças climáticas, mesmo que apenas na sua contextualização, ou se considerada como agravante de algum processo ou fenômeno em estudo. Isso objetivou identificar as pesquisas que pudessem colaborar com a mitigação ou adaptação a essas mudanças em escala local, e conhecer as pesquisas que as reconhecem como um problema a ser enfrentado. Dessa maneira, constatou-se que apenas 31% dos textos atingem esse critério, sendo que dissertações e artigos são os mais representativos, conforme pode ser observado na Figura 11. Dos 24 estudos selecionados no contexto dos desafios climáticos, 13 deles apenas contextualizam cenários de mudanças sem qualquer aplicação direta, e em alguns casos não investigam os aspectos a serem impactados por essas mudanças, como os trabalhos de Silva (2006) e Thibes (2014) os quais abordam conflitos socioambientais pontuais locais. Contudo, diversos trabalhos consideram fenômenos que tendem a se intensificar devido às mudanças no clima. Por exemplo, Bonetti et al. (2017) em um estudo financiado pelo MCT/FINEP/Ação Transversal Previsão de Clima e Tempo, investigaram a susceptibilidade de praias arenosas à erosão usando uma abordagem analítica baseada em inventários de geoindicadores obtidos prioritariamente em campo. Esse estudo identificou níveis muito altos de susceptibilidades sobretudo nas áreas ocupadas da praia dos Ingleses, e menor susceptibilidade nos trechos onde a duna frontal encontra-se preservada. Nesse mesmo contexto, Rudorff e Bonetti (2010) avaliaram a susceptibilidade à erosão costeira de praias da ilha de Santa Catarina e obtiveram resultados semelhantes para a praia dos Ingleses. Ainda, Oliveira (2009) e Oliveira (2010) classificou os tipos de orla da Ilha de Santa Catarina de acordo com seu nível de ocupação e apontou que os problemas ambientais relacionados à erosão costeira associam-se aos trechos de orla urbanizados ou em expansão urbana que não possuem recuo de ocupação em relação à linha de costa atual. Em outra linha, Breedijk et al. (2016) apontaram possíveis soluções para os processos erosivos recorrentes na praia dos Ingleses, como por exemplo a automatização do transporte de sedimentos com a utilização de caminhões nas áreas onde a conexão entre os campos de dunas foi barrado pela urbanização e o transporte eólico foi interrompido.

Ainda em relação aos estudos contextualizados pelo cenário de mudanças do clima, diversos apresentaram análises de vulnerabilidade, ou seja, avaliaram em que nível um grupo (seja ele social ou natural) está exposto a determinada ameaça (PACHAURI et al., 2014). Por exemplo, Serafim (2014) identificou espacialmente diferentes níveis de vulnerabilidade costeira frente a eventos extremos de ondas e marés para Santa Catarina. Mesmo reconhecendo a alta susceptibilidade local a eventos extremos, o estudo sugere que a praia dos

Ingleses apresenta baixos níveis de vulnerabilidade devido à alta capacidade adaptativa local. Em contraste, Muler e Bonetti (2014) apresentaram uma abordagem integrada para avaliar a exposição de praias da Ilha de Santa Catarina à ondas de tempestade. Naquele estudo, os autores afirmaram que devido ao seu alto nível de ocupação, o qual é distribuído por uma extensa faixa litorânea, a praia dos Ingleses apresenta alto índice de vulnerabilidade, mesmo estando submetida a uma condição de baixa suscetibilidade a ondas de alta energia. Nesse mesmo contexto, 11 estudos apresentaram pesquisas aplicadas, os quais incluíram aspectos climáticos tanto em sua contextualização quanto na metodologia adotada pelos autores. Foram identificados estudos de vulnerabilidade, susceptibilidade e sensibilidade costeira, dinâmica costeira e identificação de riscos e planejamento urbano.

Com relação à vulnerabilidade costeira, Muler (2012) avaliou o impacto potencial decorrente da ação de marés meteorológicas considerando principalmente as características de praias da Ilha de Santa Catarina. Naquele estudo, a autora concluiu que cerca de 96% da linha de costa da praia dos Ingleses pode ser associada às classes de vulnerabilidade alta e muito alta. Ainda, definiu a “área em perigo” na praia dos Ingleses com base em descritores como taxa de variação da linha de costa, valores calculados de run-up (a cota máxima que a ação das ondas pode alcançar na praia) e a projeção de elevação média do nível do mar, concluindo que a “área em perigo” na praia dos Ingleses pode se estender por até 67m desde a linha de costa. Além disso, a praia dos Ingleses destacou-se por apresentar a maior área construída calculada em “área de perigo” dentre as demais praias analisadas. Em uma escala de menor detalhamento, Baixo (2015) incorporou sete variáveis, dentre elas exposição a ondas e taxa de subida do nível do mar, para analisar a vulnerabilidade costeira para a costa do estado de Santa Catarina. Na análise o autor identificou vulnerabilidade relativa média nas áreas não ocupadas e alta nas áreas ocupadas da praia aqui investigada. Também em escala estadual, Serafim (2017) definiu, com base em um índice multicritério, a vulnerabilidade à ocorrência de ondas de maior frequência para o litoral de Santa Catarina. Nesse estudo foram consideradas tanto variáveis socioeconômicas (área ocupada, distância entre a urbanização e a linha de costa, número de residentes, renda por residente e número de domicílios de uso ocasional), quanto variáveis do meio físico (altura significativa de onda, gradiente de deriva litorânea potencial, largura de praia, elevação e declividade). Esse estudo incorporou a largura da “área em perigo” definida previamente por Muler (2012), e apontou o grau de vulnerabilidade médio para a praia dos Ingleses.

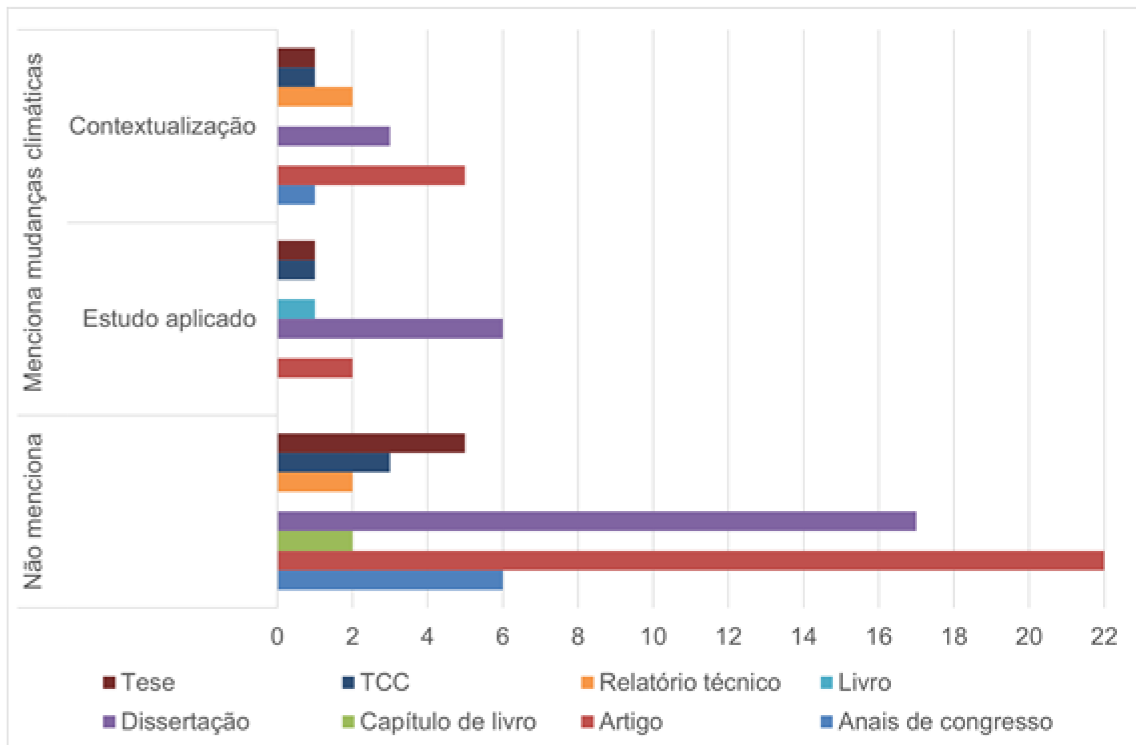


Figura 11: Categorias dos trabalhos analisados e sua menção às mudanças climáticas.

Mussi (2011) avaliou a sensibilidade ambiental costeira à elevação média dos oceanos e à incidência de ondas de tempestade com base em um Índice de Sensibilidade Ambiental (ISAC), incorporando tanto aspectos de susceptibilidade quanto de vulnerabilidade. A autora relacionou diversos descritores físicos como a declividade da face da praia, altura de onda e variação da maré com fatores de risco, como densidade populacional, elevação do nível do mar e a incidência de ondas de tempestade. O estudo concluiu que o ISAC varia predominantemente de acordo com a orientação da exposição das ondas de tempestade. Para ondas de leste o índice foi apresentado como “muito alto” e “alto” em toda extensão da praia. Já para ondas de sudeste o índice “alto” e “moderado” foi associado a toda a faixa litorânea. Em um estudo similar, ao qual foi incorporada uma nova abordagem, Mussi et al. (2018) adaptaram um índice para representar os setores com maior sensibilidade costeira e exposição da população ao aumento do nível do mar. Foram considerados aspectos de geomorfologia e dinâmica costeira para avaliar a sensibilidade natural, que foi combinada com dados do censo demográfico para representar a exposição da população a essa ameaça. O estudo concluiu que todo o trecho ocupado da praia dos Ingleses possui alta exposição da população à subida do nível do mar.

Uma série de estudos realizados na praia dos Ingleses recebeu aporte financeiro do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, um dos instrumentos da Política Nacional sobre

Mudança do Clima. Os estudos tiveram como principal objetivo fornecer subsídios para ações de adaptação das zonas costeiras. Klein et al. (2016a) propuseram uma metodologia para quantificação de perigos costeiros e projeção de linhas de costa futuras. Primeiramente foi verificada a precisão das bases cartográficas disponíveis para a área de estudo. No caso da base disponibilizada pela Secretaria do Patrimônio da União (SPU), o projeto concluiu que os dados apresentam um erro sistemático com imprecisão superior à exigida pela legislação federal. Já para a base cartográfica municipal (disponibilizada pelo Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Florianópolis - IPUF) o padrão de exatidão cartográfico é alcançado. Na sequência, a taxa de variação da linha de costa foi calculada para subsidiar a elaboração de cenários futuros. Neste caso, para a série temporal histórica analisada, retrações de até 100% da linha de costa atual foram identificadas para a praia dos Ingleses. Já para cenários futuros foi calculada uma taxa anual média de variação da linha de costa de -0,32 m. Foram também investigados possíveis impactos locais da subida do nível médio do mar. Para os cenários apresentados foram registrados diversos pontos de sobrelavagem (durante o evento o nível do mar excede a altura da duna frontal causando erosão) e inundação (durante o evento o nível do mar torna a duna frontal completamente submersa e toda a praia é diretamente impactada pelos processos gerados na zona de surf). Os perigos costeiros avaliados foram consolidados em cartas temáticas em escala de 1:10.000, apresentando de maneira integrada todas as análises realizadas (taxas de retração da linha de costa e áreas sujeitas a inundações).

Ainda no âmbito do mesmo projeto e financiado pelo Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, Silva (2014) investigou a exposição à inundação costeira em diversas praias da Ilha de Santa Catarina em diferentes cenários de subida do nível do mar por meio de técnicas de modelagem numérica. Para a praia dos Ingleses, o estudo constatou que quando somados aos efeitos das mudanças climáticas, eventos de maré meteorológica de alta energia podem resultar em cotas de inundação instantânea variando de 1,84m (período de retorno de cinco anos) no setor sul da praia, a 2,67m na área central da praia (período de retorno de 50 anos). Ainda nesse contexto, Prado (2016) investigou possíveis impactos gerados por tempestades sobre praias e dunas frontais de Florianópolis em quatro diferentes cenários (períodos de retorno de 5, 10, 25 e 50 anos). Quando somados aos efeitos das mudanças do clima, o autor observou que na praia dos Ingleses o regime de sobrelavagem foi identificado para os períodos de retorno de 5 e 10 anos, enquanto o regime de inundação foi identificado para os períodos de retorno de 25 e 50 anos, na área central da praia.

Montanari (2015) estimou impactos econômicos da subida do nível do mar no município de Florianópolis para o ano de 2100 por meio de técnicas de geoprocessamento e modelagem de expansão urbana. O estudo aponta que os impactos diretos no município poderão se aproximar de 13 bilhões de reais em 2100. Todavia, o estudo indica que o bairro Ingleses do Rio Vermelho (onde se localiza a praia dos Ingleses) será um dos menos atingidos (apenas 12% da população). Essa estimativa reflete danos relativos à totalidade população do bairro, haja vista suas grandes dimensões e a concentração da população em trechos mais distantes da linha de costa. No contexto de planejamento urbano, Rego Neto (2003) propôs a integração de geoindicadores no processo de gestão ambiental urbana no município de Florianópolis. O autor propõe uma série de critérios a serem analisados para o reparcelamento do solo na gestão urbana de forma antecipada, dentre eles a posição da linha de costa e a subida do nível do mar. Ainda, o autor propõe um engordamento da praia dos Ingleses e o remanejamento de edificações para a criação de uma faixa de recuo de 30 metros, viabilizando o estabelecimento de uma faixa de areia com cerca de 100 metros no trecho de praia. Por fim, Silva et al. (2013) investigaram os impactos decorrentes de alterações climáticas nos campos de dunas da Ilha de Santa Catarina durante a segunda metade do século XX. Os autores verificaram um aumento na cobertura vegetal que favoreceu a estabilização de diversos campos de dunas na área. Esse processo foi associado pelos autores a condições mais persistentes de El Niño e a fases positivas da Oscilação Decadal do Pacífico, os quais favoreceram uma diminuição no transporte eólico de sedimentos assim como um aumento nas taxas de precipitação regionais.

A etapa de maior complexidade da análise geral dos trabalhos envolveu a análise dos métodos e descritores utilizados pelos autores para a realização das pesquisas. Foram identificados até três métodos e até seis descritores distintos por estudo, os quais foram agrupados para facilitar sua visualização (Figura 12 e Figura 13). Com relação aos métodos, destacaram-se as técnicas de geoprocessamento, aplicadas em 18,8% dos estudos e levantamentos específicos em campo, descritos por 13%. Cerca de 27% das pesquisas utilizaram métodos específicos, muitas vezes desenvolvidos pelos autores ou que sua coocorrência não foi identificada. A descrição completa de cada método pode ser obtida no acervo digital online indicado no início da seção. Quanto aos descritores, destacou-se a categoria “características da praia”, a qual é resultado do agrupamento de diferentes variáveis como a declividade da face praial e linha de costa, por exemplo, que foram mencionados em 12,7% dos trabalhos. Fotos aéreas foram utilizadas na realização de 10,6% das pesquisas e

dados oceanográficos (e.g., características de onda), em 9,9% dos trabalhos. A heterogeneidade dos estudos dificultou a realização de uma análise mais aprofundada que contemplasse a relação entre método e descritores.

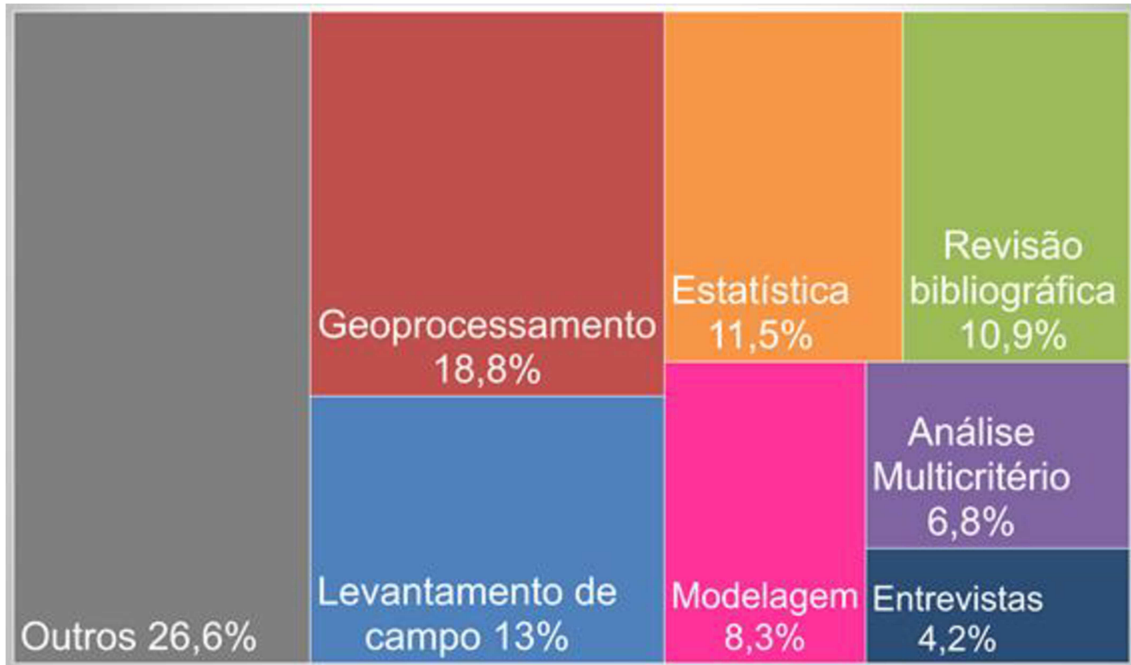


Figura 12: Métodos utilizados nas pesquisas avaliadas.

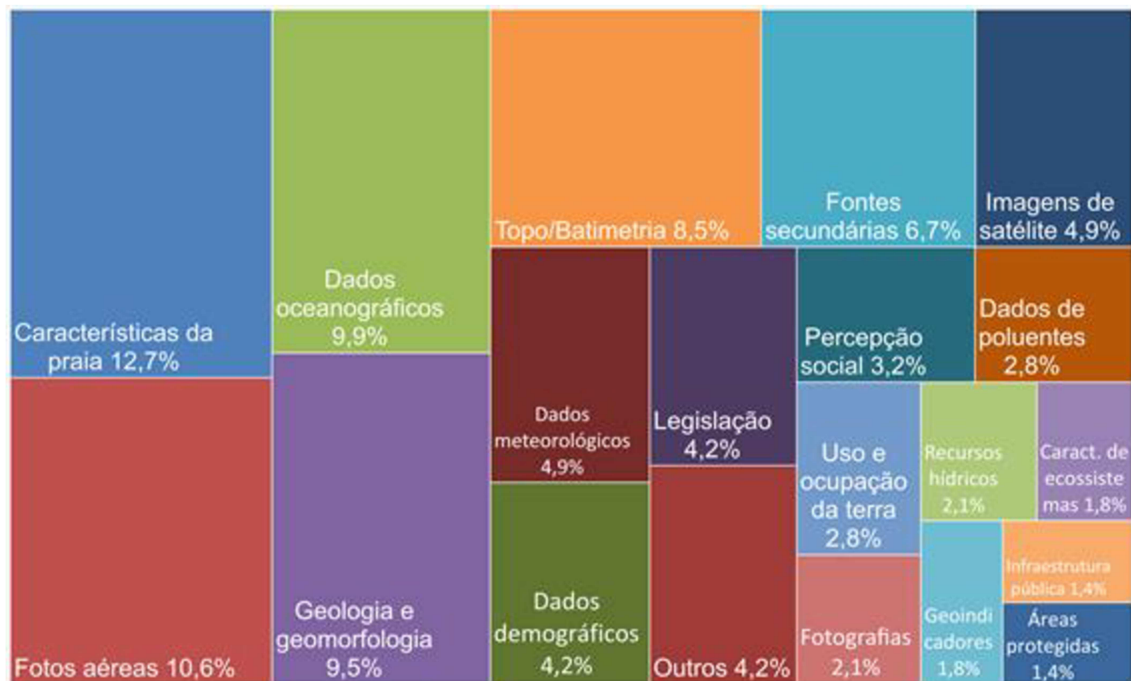


Figura 13: Descritores utilizados nas pesquisas avaliadas.

Por fim, diversos autores mencionaram incertezas em seus estudos, por exemplo Silva et al. (2016) e Dantas (2005), tanto quanto à metodologia utilizada quanto à qualidade dos descritores empregados. Porém, em um caso específico onde cenários de mudanças climáticas são apresentados por Klein et al. (2016a), e a importância da previsão de impactos na zona costeira é evidenciada, o uso dos resultados para gestão é explicitamente desencorajado devido ao caráter de teste conceitual e metodológico da pesquisa. Essa situação vai ao encontro do que é mencionado por Wolters et al. (2016), que afirmam que há supervalorização da credibilidade dos dados utilizados em alguns trabalhos em detrimento de seu potencial de utilização efetiva para a gestão costeira. Por outro lado, em alguns casos o uso dos resultados para a gestão é encorajado, entretanto não são apresentadas discussões a respeito, referencial teórico e/ou instruções de como os resultados obtidos poderiam ser utilizados na prática (MUSSI, 2011; BAIXO, 2015; MONTANARI, 2015; PRADO, 2016).

3.5.2 Integração com a GIZC

Os 81 estudos analisados foram confrontados com os objetivos para atuação nas áreas litorais descritos por Barragán (2016) e apresentados no Quadro 3. Tal análise teve como objetivo propor uma estrutura metodológica para auxiliar a busca por subsídios para ações que envolvam desde o planejamento até a conservação do ambiente costeiro. Essa proposta pode viabilizar uma segunda triagem de estudos, considerando a releitura dos textos para julgamento de sua adequação ao propósito desejado. Como se trata de um estudo de caso, é importante salientar que o método empregado tem como meta principal sua replicabilidade para outras praias e/ou municípios costeiros. Enquadrar os trabalhos com base em linhas distintas de atuação de certa forma auxilia tanto na sua interpretação quanto no direcionamento da busca para solucionar problemas distintos.

A análise realizada consistiu na classificação de todos os textos analisados por quantidade de objetivos associados. Conforme pode ser observado na Figura 14, nenhum deles atingiu a todos os objetivos; no entanto 7% deles atingiram oito dos objetivos. Apenas um trabalho atendeu a apenas um dos objetivos propostos. O maior número de estudos classificados atendeu a quatro objetivos, atingindo a 23% do total. Os estudos elaborados no contexto das mudanças climáticas e discutidos na seção anterior foram sinalizados em vermelho. Tendo em vista que a classificação em relação aos objetivos é resultado de leitura e interpretação dos textos, a subjetividade da análise deve ser considerada. Além disso, o baixo

nível de detalhamento de trabalhos publicados em anais de congressos, por exemplo, tende a agregar menos informação e, portanto, menor capacidade de atender a descrição dos objetivos. De modo contrário, teses e dissertações com grande nível de informação e descrição de seus resultados e conclusões tendem a ser classificados mais facilmente entre os objetivos. Complementarmente, a complexidade de pesquisas estritamente de área física tende a dificultar o enquadramento dos mesmos em relação aos objetivos.

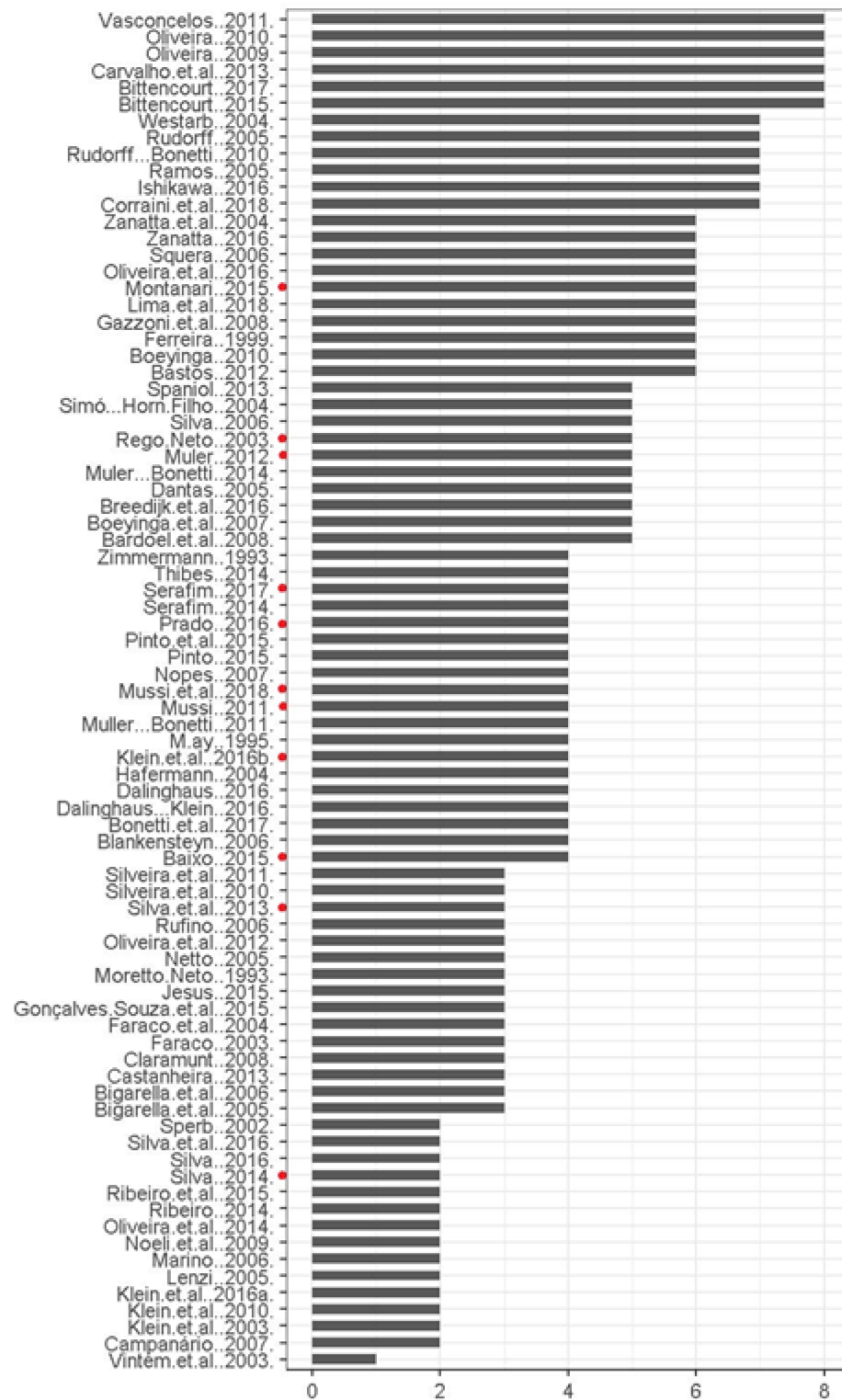


Figura 14: Trabalhos analisados em relação ao número de objetivos para atuação nas áreas litorais alcançado.

Os trabalhos foram também analisados em relação a quais objetivos que atingiram. Deve-se destacar que o agrupamento dos trabalhos por objetivos não significa que estes sejam similares, mas que essa estratégia indica ao interessado (gestor, poder público) que se

encontra disponível uma diversa gama de produções científicas para se analisar e adequar ao problema de interesse. A Figura 15 apresenta graficamente um ranking em relação aos objetivos mais atendidos. O mais atendido pelas pesquisas está relacionado com a proteção e recuperação de ecossistemas costeiros (objetivo c). Em contrapartida, o objetivo que envolve impedir a degradação das áreas costeiras e sua paisagem devido ao abandono de resíduos sólidos é atendido por apenas 7% dos trabalhos analisados. Este resultado apresenta uma forte ligação com a concentração de alguns tipos de pesquisa na área e indica a necessidade de desenvolvimento de outros. Deste modo, uma vez que o poder público tenha acesso a esses resultados poderá incentivar, caso considerar necessário, a diversificação das pesquisas locais por meio de projetos e parcerias para que áreas pouco atendidas tenham a oportunidade de ser fruto de investigação. Muitos trabalhos, apesar de representarem estudos de caso específicos na praia dos Ingleses, têm como foco principal testes conceituais e metodológicos devido a defasagem em bases cartográficas e/ou dados oceanográficos, por exemplo. Desse modo, uma vez identificado pelo gestor que esses trabalhos são de interesse público, justifica-se o investimento na obtenção de dados primários e atualização de bases cartográficas temáticas para que os métodos utilizados possam ser realmente aplicados.



Figura 15: Relação dos objetivos mais alcançados pelos trabalhos analisados.

A última etapa da análise dos resultados da pesquisa consistiu em uma abordagem estatística. Foram realizadas análises de agrupamento considerando os trabalhos selecionados e os objetivos de atuação nas áreas litorais. A Figura 16 foi elaborada com o objetivo de representar agrupamentos entre os trabalhos. Foram realizados diversos testes com o objetivo de reconhecer padrões e representar graficamente o resultado obtido na matriz binária elaborada. Observou-se que mesmo quando definido um número maior de grupos o agrupamento do primeiro conjunto de autores se mantém, revelando o alto grau de similaridade entre os trabalhos. Para o nível de corte definido na Figura 16 foi identificada a existência de quatro grupos e três trabalhos isolados. As distâncias entre os autores basicamente se relacionam ao fato de grande parte dos trabalhos atingirem os primeiros três objetivos, sendo que 83% destes atenderam o objetivo “a” e também o objetivo “b” e, deste grupo, 51% também atingiram ao objetivo “c”. Já os demais pequenos clusters foram definidos com base nos demais objetivos.

Foi também realizada uma análise relativa à similaridade dos objetivos e quantos destes foram atendidos pelos trabalhos analisados (Figura 17). Apesar de uma menor diferença nas distâncias obtidas entre os grupos, ao classificar o dendrograma, é possível

também verificar que o grupo dos objetivos “a”, “b”, e “c” possui maior similaridade em relação aos demais. Esse tipo de análise estatística se apresentou útil como análise intermediária para agrupamento dos trabalhos e objetivos utilizados na pesquisa. O método resume a similaridade dos trabalhos não em relação a suas características individuais, mas a sua utilidade em relação aos objetivos. Os resultados apresentaram grupos isolados de trabalhos e de objetivos, apontando assim possíveis deficiências em relação ao seu emprego específico para a gestão costeira integrada, os quais podem estar relacionados desde a seu caráter estritamente técnico ou a uma temática que não corresponda aos itens analisados. Por outro lado, podem ser também verificados os objetivos que demandam de maior atenção para fins práticos e que, portanto, apresentam potencial a ser explorado por pesquisas futuras.

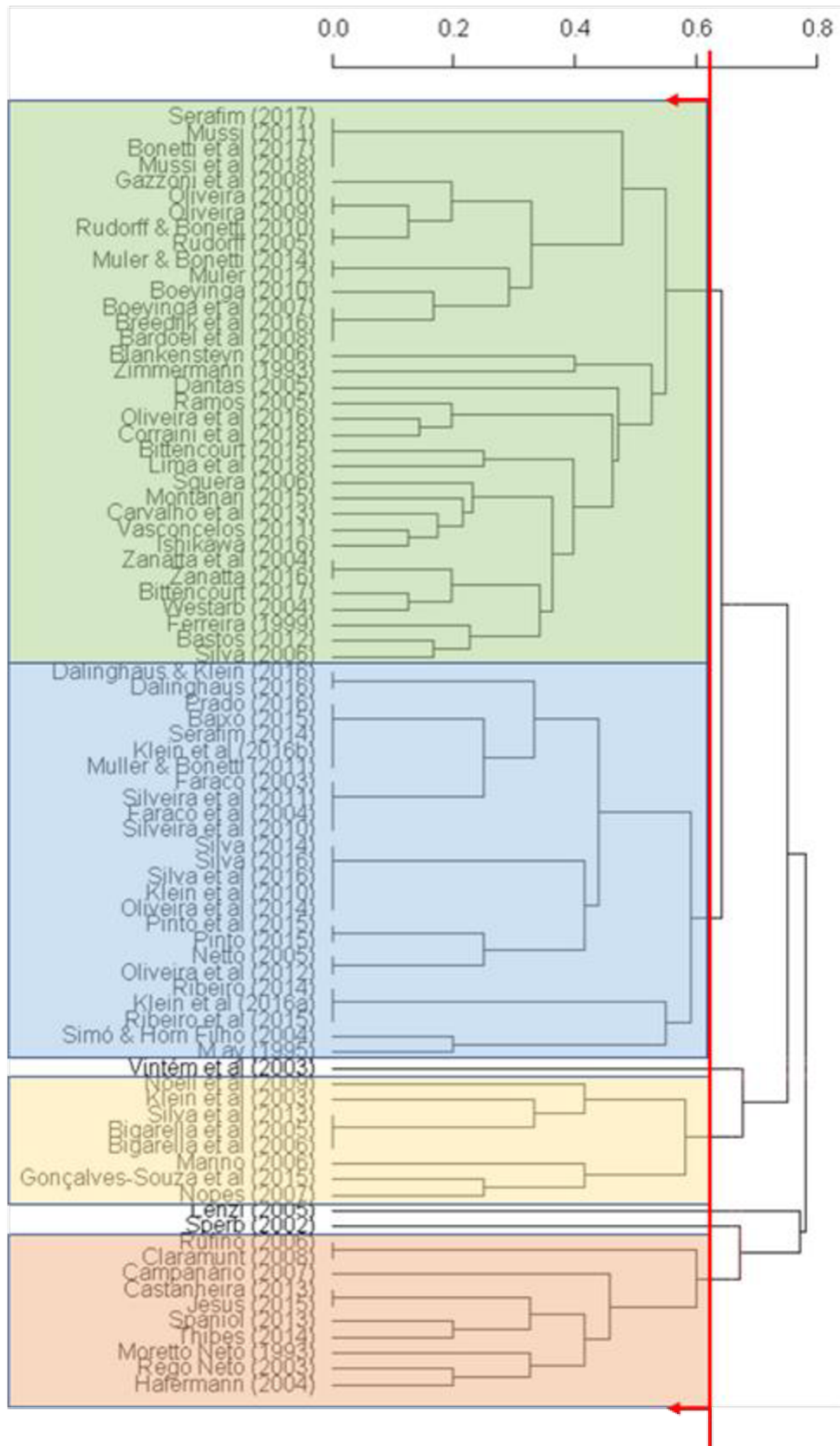


Figura 16: Agrupamento estatístico entre os trabalhos analisados, considerando o atendimento aos objetivos para atuação nas áreas litorais.

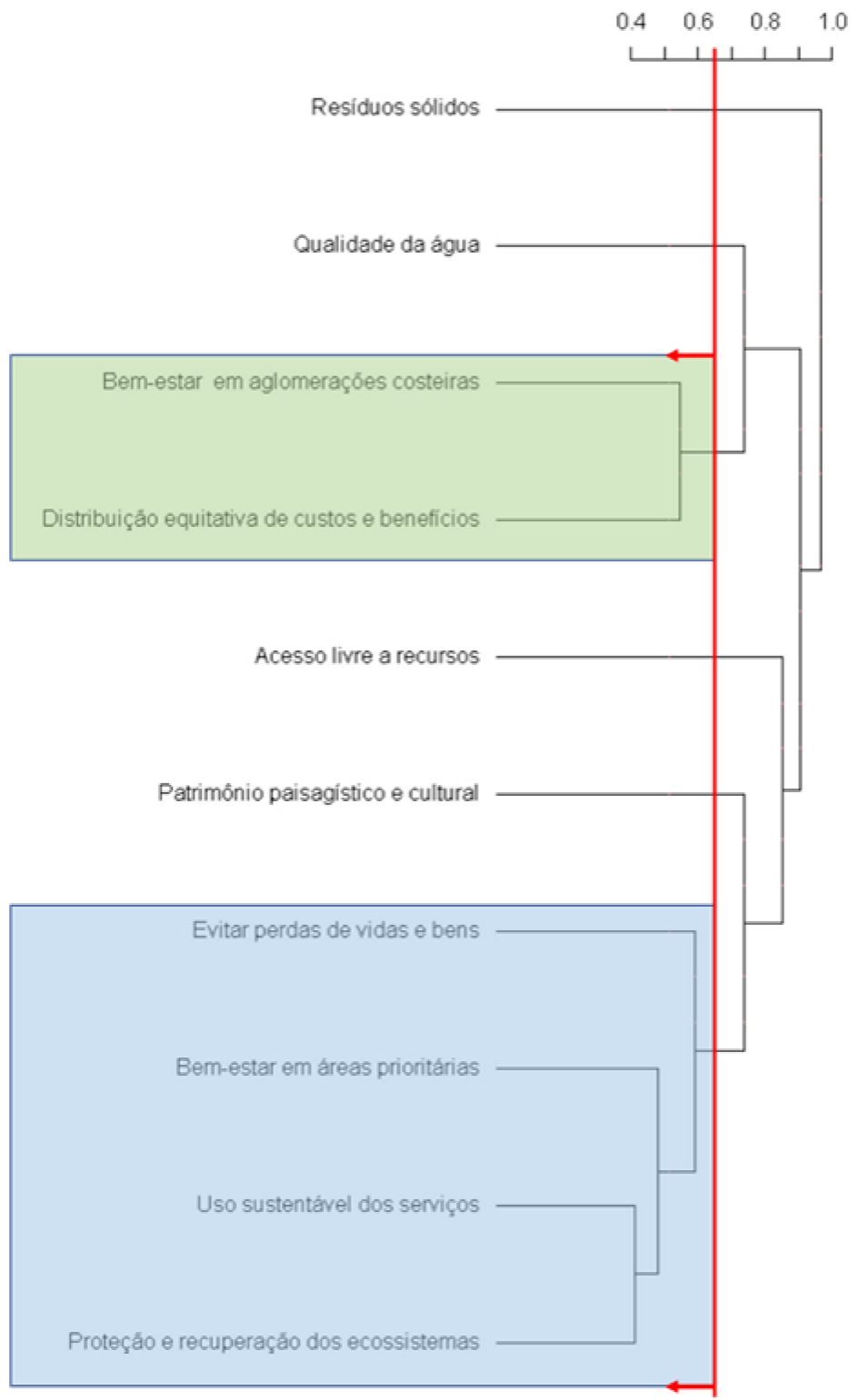


Figura 17: Agrupamento estatístico entre os objetivos para atuação nas áreas litorais contemplados pelos trabalhos analisados.

3.6 CONSIDERAÇÕES

A pesquisa realizada teve como objetivo propor uma estratégia de resgate e análise bibliográfica de interesse a GIZC em escala local, no contexto das mudanças climáticas. Primeiramente, foram analisadas as bases científicas disponibilizadas pelo portal de periódicos da CAPES, assim como o Google Scholar e repositórios institucionais de principais universidades federais do Sul do Brasil. Foram incluídos estudos que descrevessem ou avaliassem processos físicos, sociais ou econômicos; risco e vulnerabilidade a perigos costeiros, além da análise e/ou descrição de impactos ambientais. Em um segundo momento, foi também avaliado se os mesmos reconheceram os efeitos das mudanças climáticas como ameaça ou como fator de intensificação de rupturas recorrentes no equilíbrio dinâmico do ambiente local. Por fim, foi realizada uma categorização dos resultados para identificar as principais competências estabelecidas (em termos de conhecimento científico da área) e potencial de utilização dos trabalhos para a GIZC. A pesquisa possibilitou concluir que:

(1) Para a área de estudos selecionada, predominam as pesquisas categorizadas pela comunidade científica como “literatura cinzenta”, sendo que dos 81 documentos selecionados, apenas 29 foram revisados por pares e publicados em periódicos. A mesma realidade se repetiu em relação aos documentos que abordaram os efeitos dos desafios climáticos em escala local. Dos 24 estudos nesta categoria, incluindo os que abordaram, mesmo que apenas em sua contextualização, os efeitos das mudanças climáticas, apenas sete foram publicados em periódicos, sendo que somente dois destes apresentaram estudos aplicados sobre as mudanças do clima. Já em relação aos 14 documentos “cinzentos”, nove deles desenvolveram estudos aplicados, sendo que o primeiro foi conduzido no ano de 2003.

(2) Com relação às investigações acerca dos efeitos das mudanças climáticas destacaram-se os estudos com foco na identificação de índices de vulnerabilidade costeira (física e/ou social), assim como análises de risco. Apesar de grande parte dos pesquisadores ter optado pelo uso de técnicas de análise espacial baseadas em SIG para o cálculo de índices, os resultados de maior aplicabilidade para o planejamento foram observados em estudos que utilizaram procedimentos numéricos, como por exemplo de modelagem numérica, por estes apresentarem maior capacidade preditiva. Todavia, a baixa resolução e as incertezas associadas aos descritores utilizados nas pesquisas muitas vezes comprometeram uma resolução adequada, ou até mesmo a segurança por parte dos autores na apresentação dos resultados, sendo o uso para gestão explicitamente desencorajado em um dos estudos.

(3) A análise da aptidão das pesquisas para o seu uso na GIZC indicou a compatibilidade de 60 estudos com o tema “proteção e recuperação da estrutura e funções dos ecossistemas costeiros marinhos para conservar seus serviços”, sendo esse o objetivo para atuação sobre as áreas litorais mais atendido em escala local. Por outro lado, apenas seis estudos abordaram a “degradação das áreas litorais e de sua paisagem devido ao abandono de resíduos sólidos”. Já em relação aos 11 estudos aplicados envolvendo os efeitos das mudanças climáticas, nove deles se enquadraram ao objetivo “melhorar os níveis de bem-estar humano, especialmente naquelas áreas nas quais seja mais urgente e necessário”. Essa abordagem evidenciou a concentração de alguns tipos de pesquisas na área de estudo, assim como a demanda por outros. Espera-se que, de posse desse tipo de informação o poder público possa incentivar a diversificação das pesquisas locais por meio de projetos e parcerias para que áreas temáticas pouco atendidas sejam fomentadas.

4 TERCEIRO CAPÍTULO

4.1 RESUMO

A costa Sul do Brasil é altamente suscetível a tempestades que muitas vezes levam a inundações e processos erosivos, impactando significativamente as comunidades costeiras. Além disso, espera-se que as mudanças climáticas resultem em aumentos expressivos nas alturas das ondas devido a tempestades mais intensas e frequentes, que, em conjunto com a SLR, tem o potencial de exacerbar o impacto das tempestades nas comunidades costeiras. A capacidade de prever e simular tais eventos fornece uma poderosa ferramenta para redução e adaptação de riscos costeiros. Neste contexto, este estudo tem como objetivo avaliar a efetiva aplicabilidade de modelos preditivos de eventos extremos na costa brasileira, dada a conhecida escassez e fragmentação de dados. O nível do mar (TWL, do inglês *Total Water Level*) e altura significativa de onda (Hs, do inglês *Significant Wave Height*), forçados por diferentes fontes de dados meteorológicos, ou seja, a Quinta Geração de Reanálise Atmosférica do Centro Europeu de Previsões Meteorológicas de Médio Prazo (ECMWF-ERA 5), o Sistema de Previsão Climática Versão 2 (CFSv2) e o Sistema de Previsão Global (GFS), foram validados para três eventos recentes de tempestade que afetaram a costa (2016, 2017 e 2019). A fim de conhecer os impactos potencialmente crescentes das tempestades somados a SLR, um estudo de caso foi implementado para avaliar localmente a abordagem de modelagem para duas projeções de SLR para o ano de 2100 (RCP 4.5 e 8.5). Apesar da subestimação do TWL em todos os conjuntos de simulações, o modelo CFSv2 se destacou como a força meteorológica mais consistente para simulação de marés de tempestade, com um RMSE variando de 0,19 m a 0,37 m (para TWL), e uma RMSE de 0,56 m (para Hs) durante o evento mais significativo. ERA5 foi destacado como a segunda força meteorológica mais precisa, enquanto simulava adequadamente os horários de pico. O estudo de caso de SLR demonstrou um possível aumento de até 82% no TWL durante a tempestade 1. Apesar das limitações impostas pela falta de dados observacionais contínuos e densamente distribuídos, bem como conjuntos de dados topobatimétricos atualizados, o quadro proposto foi capaz de expandir as informações de TWL e Hs, anteriormente disponíveis para um número reduzido de estações, para uma escala espacialmente distribuída e temporalmente ilimitada. Essa compreensão mais abrangente desses eventos extremos representa um conhecimento valioso para a implementação de práticas de gestão costeira e engenharia mais adequadas para a zona costeira brasileira, especialmente em condições de mudança climática.

Palavras-chave: Modelagem numérica; ADCIRC+SWAN; oceano Atlântico Sudoeste; subida do nível do mar; mudanças climáticas.

4.2 ABSTRACT

The Southern Brazilian Coast is highly susceptible to storm surges that often lead to coastal flooding and erosive processes, significantly impacting coastal communities. In addition, climate change is expected to result in expressive increases in wave heights due to more intense and frequent storms, which, in conjunction with sea-level rise (SLR), has the potential to exacerbate the impact of storm surges on coastal communities. The ability to predict and simulate such events provides a powerful tool for coastal risk reduction and adaptation. In this context, this study aims to investigate how accurately storm surge events can be simulated in the Southwest Atlantic Ocean employing the coupled ADCIRC+SWAN hydrodynamic and phase-averaged wave numerical modeling framework given the significant data scarcity constraints of the region. The model's total water level (TWL) and significant wave height (Hs) outputs, driven by different sources of meteorological forcing, i.e., the Fifth Generation of ECMWF Atmospheric Reanalysis (ERA 5), the Climate Forecast System Version 2 (CFSv2), and the Global Forecast System (GFS), were validated for three recent storm events that affected the coast (2016, 2017, and 2019). In order to assess the potentially increasing storm surge impacts due to sea-level rise, a case study was implemented to locally evaluate the modeling approach using the most accurate model setup for two 2100 SLR projections (RCP 4.5 and 8.5). Despite a TWL underestimation in all sets of simulations, the CFSv2 model stood out as the most consistent meteorological forcing for the hindcasting of the storm surge and waves in the numerical model, with an RMSE range varying from 0.19 m to 0.37 m, and an RMSE of 0.56 m for Hs during the most significant event. ERA5 was highlighted as the second most accurate meteorological forcing, while adequately simulating the peak timings. The SLR study case demonstrated a possible increase of up to 82% in the TWL during the same event. Despite the limitations imposed by the lack of continuous and densely distributed observational data, as well as up to date topobathymetric datasets, the proposed framework was capable of expanding TWL and Hs information, previously available for a handful of gauge stations, to a spatially distributed and temporally unlimited scale. This more comprehensive understanding of such extreme events represents valuable knowledge for the

potential implementation of more adequate coastal management and engineering practices for the Brazilian coastal zone, especially under changing climate conditions.

Keywords: Numerical modeling; ADCIRC-SWAN; Southwest Atlantic; Sea-level rise; climate change.

4.3 INTRODUÇÃO

As marés de tempestade podem levar a inundações e erosão em ambientes costeiros e áreas urbanizadas (YIN et al., 2020), impactando significativamente a vida e a economia das comunidades costeiras (ALEXANDER et al., 2012). Esses fenômenos são impulsionados principalmente por componentes meteorológicos, como gradientes de pressão atmosférica e vento sobre a superfície dos oceanos (STANEVA et al., 2016), que podem gerar ondas de alta energia e empilhamento de água próximo a linha de costa, e por forças gravitacionais que geram marés astronômicas. Esses elementos são responsáveis pela composição do nível do mar (TWL, do inglês *Total Water Level*) durante um evento de tempestade (LOPES e DIAS, 2015; MARCOS et al., 2019). Embora as marés astronômicas e meteorológicas sejam impulsionadas por processos fundamentalmente diferentes, o TWL pode ser intensificado se uma maré de tempestade ocorrer durante as marés de sizígia. O *timing*, portanto, também é um importante fator de controle sobre as magnitudes e impactos das tempestades, que são particularmente relevantes nas regiões de micro maré (BATSTONE et al., 2013; LYDDON et al., 2018). Como um caso representativo, os 2.000 quilômetros mais ao sul da costa brasileira são regidos por um regime de micro marés, ou seja, com amplitude inferior a 2 m.

A costa sul do Brasil é altamente suscetível a tempestades geradas por ciclones e anticiclones extratropicais que muitas vezes empilham água perto da costa aumentando a ação de ondas e, conseqüentemente, processos erosivos (MULER e BONETTI, 2014; OHZ et al., 2020). De acordo com Rodríguez et al. (2016) as ondas geradas por tempestade no Sul do Brasil podem ser até 2 m mais altas do que as observadas no litoral norte brasileiro. De fato, o estado de Santa Catarina (27° S) no Brasil tem sido recorrentemente impactado por grandes eventos (ou seja, eventos que superam as magnitudes habituais na região) recentemente registrados no oceano Atlântico. O furacão Catarina (2004) foi o primeiro furacão documentado na América do Sul, e fez *landfall* como um furacão de categoria 1, sendo responsável por aproximadamente USD 163 milhões em danos (MCTAGGART-COWAN et

al., 2006; CEPED, 2016). Durante este evento extremo, pelo menos 45.000 casas foram afetadas e mais de 3.700 pessoas deslocadas, das quais 40 ficaram feridas (MARCELINO, 2005). A frequência desses eventos também desempenha um papel importante na determinação da vulnerabilidade costeira. Por exemplo, entre 1995 e 2014, uma média anual de 28 eventos meteorológicos, que também incluem tempestades, impactou o estado (CEPED, 2016). A magnitude e a frequência dos eventos, bem como seus impactos podem ser agravados dadas as mudanças climáticas projetadas (CHURCH et al., 2013).

Como afirmado na literatura, o nível médio global do mar pode subir de 0,52 para 0,98 m em 2100 (CHURCH et al., 2013). Além do caráter prejudicial intrínseco da SLR, que tem sido intensamente descrito por muitos estudos sobre mudanças climáticas (LIU, 1997; IRISH et al., 2010; MCLEOD et al., 2010; ABADIE et al., 2020; ESTEBAN et al., 2020), aumentos significativos na altura das ondas devido a tempestades mais intensas e frequentes são esperados no Hemisfério Sul. Da mesma forma, períodos e direções de ondas também podem ser afetados (WOTH et al., 2006; CHURCH et al., 2013; KONISKY et al., 2016). Neste contexto de mudanças, modelos numéricos se destacam como ferramentas poderosas para simular fenômenos naturais tão complexos, seja por meio de simulação de eventos já ocorridos (i.e. *hindcast*) ou simulação de cenários futuros (LI et al., 2013). Além disso, desempenha um papel importante na contribuição para ferramentas e estratégias de manejo costeiro (LIU et al., 2013), como o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima e o Programa Nacional para a Conservação da Linha de Costa (ProCosta).

No Brasil, vários modelos hidrodinâmicos e de ondas foram implementados desde a década de 1980 para simular a influência dos componentes astronômicos e meteorológicos do TWL (HARARI, 1985), investigar a circulação oceânica na plataforma continental (CIRANO e CAMPOS, 1996), investigar características das marés em escalas locais (HARARI e DE CAMARGO, 2003), avaliar intervenções costeiras e entender os processos litorâneos locais (QUETZALCÓATL et al., 2019), entre outros. No entanto, uma série de limitações devem ser destacadas, por exemplo, a falta de levantamentos batimétricos e topográficos precisos dificulta a representação das características da zona de surfe e da plataforma continental, bem como a avaliação das inundações costeiras devido às tempestades. Além disso, a rede pouco abrangente de observação oceânica e a constante descontinuidade na série temporal disponível comprometem seu uso para a validação de modelos e simulações, bem como a análise estatística para identificar padrões em eventos meteorológicos e sua influência na circulação oceânica (CANDELLA e SOUZA, 2013; PEZZI e SOUZA, 2016; OHZ et al., 2020). Essa

limitação na disponibilidade de dados oceanográficos é típica nos países em desenvolvimento e tem sido amplamente relatada na literatura (MIMURA, 1999; PARODI et al., 2019; VAN BERCHUM et al., 2020). Apesar dessa limitação para a implementação da modelagem numérica, o modelo hidrodinâmico e de ondas ADCIRC+SWAN (DIETRICH et al., 2011) foi recentemente empregado em diferentes áreas com situação semelhante para simular TWL e ondas durante eventos extremos para estudos de inundação costeira. Por exemplo, Deb e Ferreira (2018) mostraram uma boa concordância com os dados observados em uma simulação de tempestades induzidas por ciclone em Bangladesh com base em um conjunto de dados de batimetria de resolução de 900 m. Na Índia, Murty et al. (2016) realizou uma representação satisfatória de ondas extremas próximas à costa, o que contribuiu com aproximadamente 30% do TWL durante um evento extremo. Moradi et al. (2020) implementaram uma abordagem numérica no Irã para avaliar os impactos das tempestades nas comunidades costeiras. Além da escassez de dados, o componente de força meteorológica da simulação de tempestades também pode representar uma limitação do modelo, uma vez que se baseia em estimativas dos parâmetros de tempestade com base em modelos climáticos disponíveis (CYRIAC et al., 2018).

A forçante meteorológica (ou seja, campos de vento e pressão) representa um mecanismo dominante que controla a magnitude da tempestade. Portanto, a precisão do modelo está criticamente relacionada com a entrada dos campos de vento e pressão na configuração do modelo (DUBE et al., 2010). Assim, espera-se que a implementação adequada de um modelo numérico hidrodinâmico e de ondas seja altamente dependente de dados meteorológicos confiáveis. No entanto, tais dados são representados por uma estimativa de parâmetros meteorológicos provenientes de modelos climáticos. Assim, devem-se ter em conta as incertezas e especificidades inerentes a cada modelo, como por exemplo, a sua resolução (MAURITZEN et al., 2017). As habilidades preditivas dos modelos também foram amplamente testadas para simulação de tempestades, considerando a variedade diversificada de modelos climáticos disponíveis que fornecem as forçantes meteorológicas necessárias para a implementação de modelos numéricos (WEDAM et al., 2009; AFSHAR-KAVEH et al., 2016; GARZON et al., 2018). Não existem registros da aplicação do modelo ADCIRC+SWAN nas áreas costeiras do Brasil.

Neste contexto, este estudo tem como objetivo avaliar a efetiva aplicabilidade de modelos preditivos de eventos extremos na costa brasileira, dada a conhecida escassez e fragmentação de dados no Brasil. Em primeiro lugar, foi avaliada a disponibilidade de dados

em relação a ondas, TWL, marés astronômicas, vento e pressão no nível do mar para diferentes escalas temporais e distribuição espacial. Em seguida, três eventos de tempestade foram selecionados para implementar o modelo ADCIRC+SWAN usando três fontes meteorológicas diferentes para investigar incertezas nos campos de vento e pressão, bem como o TWL e Hs resultantes. As saídas do modelo foram validadas em relação aos dados disponíveis e as métricas de erro são apresentadas para avaliar o desempenho do modelo. Finalmente, foi desenvolvido um estudo em escala local para investigar dois cenários de SLR. Este capítulo é organizado da seguinte forma. A Seção 4.4 apresenta a disponibilidade de dados para modelos numéricos de marés de tempestade na área de estudo acima mencionada, a configuração do modelo e a especificação de força meteorológica. A seção 4.5 apresenta os resultados da pesquisa e a discussão para as: a) análises harmônicas realizadas para avaliar o desempenho do modelo para previsão das marés astronômicas; b) validação de forçantes meteorológicas para os eventos selecionados; c) Validação de TWL e métricas de erro; d) validação de ondas e métricas de erro; e) aplicação em escala local para diferentes cenários de marés astronômicas durante tempestades, e além disso, dois cenários de SLR. A seção 4.6 fornece as conclusões.

4.4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.4.1 Área de estudo

A área de estudo abrange toda a plataforma continental sul-brasileira, que se estende de 22° S a 34° S em aproximadamente 34% da costa brasileira, onde estão situadas as regiões administrativas Sul e Sudeste (Figura 18C). Essas regiões concentram as áreas mais densamente povoadas e fortemente industrializadas da zona costeira brasileira e têm uma influência significativa na economia do país. Além disso, a área converge para os cinco mais importantes portos brasileiros, incluindo o Porto de Santos, que é o porto de contêineres mais movimentado da América Latina (VIEIRA et al., 2015). A área é predominantemente caracterizada por um clima subtropical úmido e uma grande variedade de ecossistemas costeiros e marinhos, como praias arenosas, manguezais e lagoas costeiras (DIEGUES, 1999), que a transformou em um destino turístico popular. Em relação às características oceanográficas regionais, a circulação da plataforma continental é influenciada por oscilações da confluência das correntes do Brasil e Malvinas, localizadas perto de 33° S, bem como pelo transporte para o norte próximo ao litoral das águas de baixa salinidade do Rio da Prata e do

sistema Patos/Mirim (MATANO et al., 2010). Com base nos dados de ondas disponíveis, (CUCHIARA et al., 2009) indicaram que as direções de ondas predominantes na plataforma continental sul-brasileira são de 100° e 160° (E - SE), enquanto as alturas das ondas variam de 1 a 1,5 m. Em relação ao período de onda, observou-se variação entre 6 e 14 s. Embora o inverno seja a estação mais energética da costa sul brasileira, grandes ondas, ou seja, com altura significativa (H_s) superior a 4 m, ocorrem em todas as estações (ARAÚJO et al., 2003). Além disso, apesar de seu regime de micro marés, os valores máximos tanto de H_s quanto de TWL na costa brasileira são encontrados nesta região devido à sua alta exposição a tempestades extratropicais frequentes e intensas (RODRÍGUEZ et al., 2016; OHZ et al., 2020).

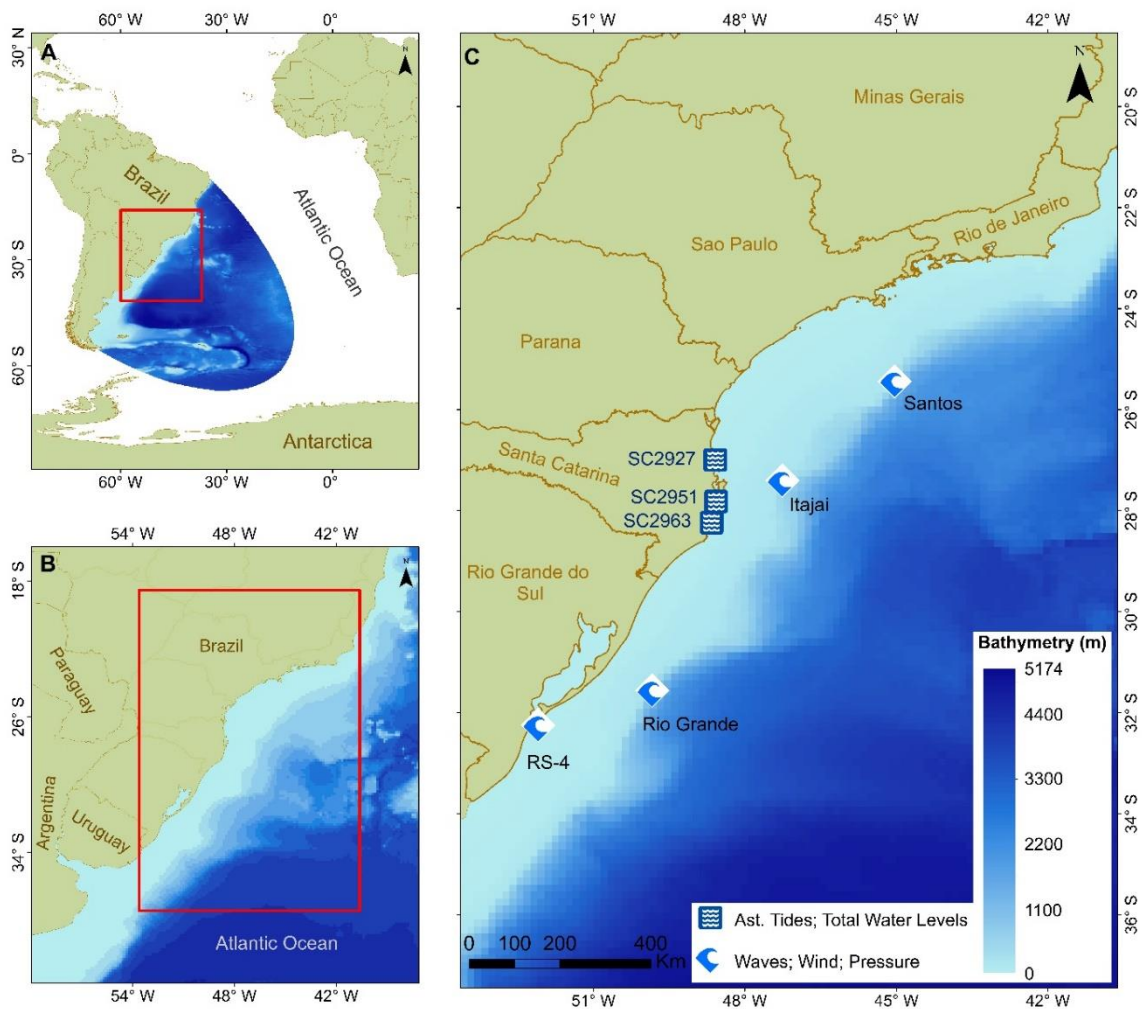


Figura 18: A) Domínio de modelagem numérica; B) Plataforma continental sul-brasileira; e C) estações selecionadas das quais os dados foram utilizados para validação.

De acordo com Gan e Rao (1991), o Oceano Atlântico Sudoeste apresenta dois centros de ciclo gênese ao longo da costa uruguaia (35° S) e do Golfo de San Matias, na Argentina (40° S), com maior frequência durante o inverno e aumento da instabilidade baroclínica durante os anos de El Niño. Em estudo mais recente, foram identificadas três regiões de ciclo gênese no Oceano Atlântico Sudoeste, localizado na costa sul brasileira (30° S), região de descarga do Rio da Prata, no Uruguai (35° S) e na costa Sul da Argentina (40° S - 55° S) (GRAMCIANINOV et al., 2019). Além disso, (SARAIVA et al., 2003) destacou que o litoral Sul do Brasil também é suscetível a campos de alta pressão conhecidos como regiões genéticas de anticiclones em torno de 30° S, que têm grande influência na circulação atmosférica regional. No entanto, segundo Machado e Calliari (2016), os ciclones são o principal sistema meteorológico, responsável por 87,1% dos ventos extremos ocorridos na costa sul brasileira. Apesar dos principais padrões atmosféricos regionais, a escala sub-sinótica e as características locais têm papel importante na intensificação dos eventos (SARAIVA et al., 2003). Assim, a alta suscetibilidade aos eventos de tempestades, juntamente com uma zona costeira densamente povoada, favorece um alto status de vulnerabilidade às comunidades costeiras da área de estudo (SERAFIM et al., 2019).

4.4.2 Disponibilidade de dados

A Figura 19 apresenta a disponibilidade de dados para o litoral sul brasileiro considerando seus cinco estados costeiros nos últimos dez anos. O Brasil também possui dados observacionais de marés em todo o litoral adquiridos por seus portos e projetos acadêmicos específicos que coletam dados oceânicos por curtos períodos (ou seja, semanas, meses). No entanto, os dados muitas vezes não estão disponíveis para terceiros e/ou não são interoperáveis. Embora alguns conjuntos de dados meteorológicos sejam disponibilizados por longos períodos (ou seja, quase um século), como a série temporal fornecida pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), as estações são frequentemente localizadas no continente, dificultando o uso para validação de modelagem hidrodinâmica.

A descontinuidade dos dados é evidente ao longo da série temporal. O período entre 2018 e 2019 apresenta o maior número de estações operacionais. No entanto, nenhuma das estações reuniu dados para o período de dez anos analisados. Além disso, as boias de onda apresentam várias lacunas e/ou ruídos de equipamentos. Neste momento, a área de estudo

abrange 18 estações operacionais, incluindo três boias oceanográficas e 15 medidores de nível do mar (Figura 2).

Station Information				Data Type				Timeseries												
Organization	State	Lat (S)	Long (W)	Tide Gauge	Meteorological	Waves	Currents	< 2010	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
SIMCOSTA	RJ	22.970	43.152																	**
SIMCOSTA	RJ	22.964	43.128																	
SIMCOSTA	RJ	22.931	43.150																	
SIMCOSTA	RJ	22.984	43.172																	
SIMCOSTA	RJ	22.883	43.134																	
PNBOIA	RJ	23.629	42.202																	
PNBOIA	RJ	22.980	42.100																	
PNBOIA	RJ	22.920	43.137																	
PNBOIA	RJ	22.886	43.132																	
PNBOIA	RJ	23.476	43.981																	
SIMCOSTA	SP	23.773	45.354																	**
SIMCOSTA	SP	23.830	45.421				*													
RedeOndas	SP	24.350	46.167																	
PNBOIA	SP	21.494	40.260																	
PNBOIA	SP	25.439	45.036																	**
SIMCOSTA	PR	25.856	48.567																	**
SIMCOSTA	PR	25.640	48.332																	
RedeOndas	PR	25.662	48.324																	
Epagri/CIRAM	SC	26.177	48.488																	**
Epagri/CIRAM	SC	26.187	48.605																	**
Epagri/CIRAM	SC	26.234	48.640																	**
Epagri/CIRAM	SC	26.295	48.782																	**
Epagri/CIRAM	SC	26.692	48.684																	**
Epagri/CIRAM	SC	26.928	48.628																	**
Epagri/CIRAM	SC	26.996	48.589																	**
Epagri/CIRAM	SC	27.815	48.563																	**
Epagri/CIRAM	SC	28.229	48.653																	**
Epagri/CIRAM	SC	28.485	48.784																	**
Epagri/CIRAM	SC	28.829	49.216																	**
SIMCOSTA	SC	28.228	48.650																	**
SIMCOSTA	SC	27.270	48.428				*													
RedeOndas	SC	27.632	48.195																	
PNBOIA	SC	27.404	47.260																	**
SIMCOSTA	RS	30.004	50.130																	**
SIMCOSTA	RS	32.135	52.098																	**
SIMCOSTA	RS	32.251	52.073																	**
SIMCOSTA	RS	32.015	52.101				*													
SIMCOSTA	RS	32.198	52.079																	
SIMCOSTA	RS	32.331	51.998																	
SIMCOSTA	RS	32.187	52.084																	
RedeOndas	RS	32.339	51.898																	
RedeOndas	RS	31.485	51.918																	
RedeOndas	RS	30.010	50.120																	
PNBOIA	RS	31.562	49.837																	**
PNBOIA	RS	32.881	50.851																	

Figura 19: Dados observacionais meteo-oceanográficos disponíveis na área de estudo. As estações selecionadas para validação do modelo são apresentadas em negrito e mostradas na Figura 18.

Dado o contexto de escassez de dados observacionais, apenas três eventos diferentes de tempestades foram selecionados entre 2016 e 2019 com base em suas características e disponibilidade de dados para validação do modelo. O primeiro evento ocorreu em outubro de 2016 (Tempestade 1) com duração de três dias, em condição de maré de sizígia. O segundo evento ocorreu em maio de 2017 (Tempestade 2) com duração de dois dias durante maré de quadratura. Finalmente, o terceiro evento ocorreu em julho de 2019 (Tempestade 3) com duração de 7 dias também durante a maré de sigízia. A Figura 18 mostra tanto o domínio da

modelagem numérica (Figura 18A) quanto as estações e boias selecionadas para validação dos resultados do modelo (Figura 18C).

4.4.3 Abordagem numérica

No presente estudo, o modelo hidrodinâmico ADCIRC+SWAN (DIETRICH et al., 2011) foi empregado para simular a evolução da maré de tempestade e a propagação de ondas geradas pelo vento, a fim de avaliar e validar o TWL durante três eventos meteorológicos diferentes. Para este estudo, o TWL resulta dos efeitos combinados das marés astronômicas, marés meteorológicas e a sobrelevação causada pela ação de ondas (DUBE et al., 2009). Apesar de essa abordagem de modelagem numérica ter sido aplicada a diversos estudos em diferentes partes do mundo (SEBASTIAN et al., 2014; LAWLER et al., 2016; DEB e FERREIRA, 2018; WANG et al., 2018a), não foi previamente aplicada no Brasil.

O modelo ADvanced CIRCulation (ADCIRC-2DDI) é um modelo hidrodinâmico bidimensional integrado, baseado na *generalized wave continuity equation* (GWCE) e equações de *momentum* (LUETTICH et al., 1992). O ADCIRC é um dos modelos hidrodinâmicos mais usados para simulações de inundações costeiras, bem como para marés astronômicas, e TWL em todo o mundo (FERREIRA et al., 2014; XIE et al., 2016; GARZON et al., 2018; WANG et al., 2018a). Já o Simulating WAVes Nearshore (SWAN), por outro lado, é um modelo de onda espectral de terceira geração (BOOIJ et al., 1999) que é aplicado para resolver a equação de equilíbrio de ação de onda para obter parâmetros de onda no domínio numérico. Além disso, diferentes coeficientes de Manning n foram selecionados de acordo com cada classe de uso e cobertura da terra (KALYANAPU et al., 2009; MUSSI, 2017) e convertidos em diferentes níveis de atrito no modelo (MADSEN et al., 1988).

Em um modo acoplado, o ADCIRC+SWAN pode compartilhar tanto a mesma malha numérica não estruturada quanto a infraestrutura paralela de computação, permitindo que os componentes do modelo sejam aplicados ao mesmo tempo. Nesta configuração de modelagem, o *timestep* do modelo ADCIRC é definido como 1 s, enquanto para SWAN o é definido em 3600 s a fim de manter estabilidade computacional. De acordo com (DIETRICH et al., 2011), o SWAN acessa a velocidade do vento, o nível do mar e as correntes fornecidas pelo ADCIRC para calcular gradientes de *radiation stress* que permitem ao ADCIRC recalculer o *setup* gerado pela ação das ondas e as correntes. Posteriormente, o SWAN usa essas informações para recalculer a profundidade da água e os parâmetros relacionados à onda

(ou seja, propagação, quebra, etc.) que atualizarão o ADCIRC novamente como uma função de força. Observe que o SWAN não calcula ondas de infragravidade e *run-up* de ondas.

O domínio do modelo foi projetado para incorporar todas as especificidades meteorológicas que possam influenciar a área de estudo, como distribuição espacial e frequência de ciclogênese no Oceano Atlântico Sudoeste (GAN e RAO, 1991; SARAIVA et al., 2003; GRAMCIANINOV et al., 2019). A Figura 20 apresenta o domínio da malha e suas diferentes faixas de resolução ao longo da costa sul brasileira.

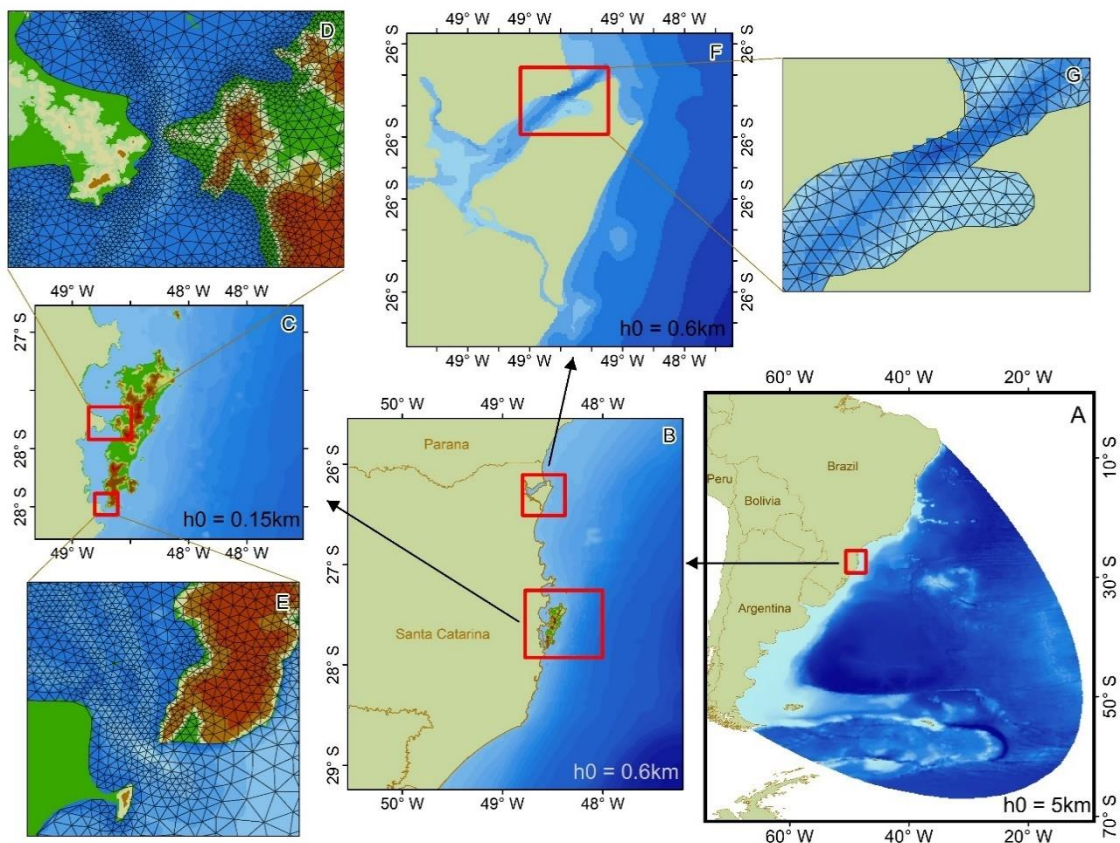


Figura 20: A) Domínio de modelagem numérica; B) Áreas costeiras do Estado de Santa Catarina; C-G) Detalhe das diferentes resoluções utilizadas na malha numérica não estruturada.

Com um total de 116.695 nós e 229.904 elementos triangulares, a resolução da malha varia de 25 km no limite oceânico (Figura 20A) a 30 m ao longo da Ilha de Santa Catarina, onde foi concebida a única área continental para permitir as análises de cenário em escala local (Figura 20C). O processo de criação da malha bidimensional não estruturada foi realizado via OceanMesh2D, uma estrutura orientada para objetos (ROBERTS et al., 2019). A resolução da malha foi distribuída, permitindo maiores resoluções próximo a linha de costa.

Diferentes tamanhos mínimos de malha (h_0) são mostrados na Figura 20, bem como na função *thalweg* (Figura 20B e D) que foi habilitada a melhorar a resolução em canais próximos da costa. Em relação ao banco de dados geográfico, foi empregado o *General Bathymetric Chart of the Oceans* (GEBCO) (GEBCO COMPILATION GROUP, 2019) com aproximadamente 450 m de resolução, além de cartas náuticas da Marinha do Brasil (QUETZALCÓATL et al., 2019), utilizados apenas para a parte central do Estado de Santa Catarina em profundidades inferiores a 50 m. Para caracterizar a topografia da Ilha de Santa Catarina, utilizada nas análises de cenário, foi empregado o Modelo Digital de Elevação da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico (SDS, 2010). Além disso, como forma de caracterizar a geometria da linha de costa, utilizou-se o *Global Self-consistent, Hierarchical, High-resolution Geography Database* (WESSEL e SMITH, 1996). Todos os dados topobatimétricos próximos à costa foram padronizados para o Nível Médio do Mar (MSL) do datum vertical local.

4.4.4 Parâmetros meteorológicos

Para cada evento de tempestade selecionado, foram utilizados dados de três diferentes fontes meteorológicas mundialmente conhecidas e amplamente utilizadas para avaliar a sensibilidade do modelo aos referidos dados de entrada. A quinta geração de reanálise atmosférica do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ERA5) (HERSBACH et al., 2020), que tem uma resolução espacial de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, o Global Forecast System (GFS) (YANG et al., 2006), com resolução espacial de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ e, por fim, o Climate Forecast System - Versão 2 (CFSv2) (SAHA et al., 2014), que é apresentado em uma grade de $0,2045^\circ \times 0,2045^\circ$, foram considerados como fontes de vento e pressão do modelo ADCIRC+SWAN. Ambos os dados de ventos (a 10 m acima da superfície do mar) e a pressão média do nível do mar foram extraídos dos modelos climáticos acima mencionados para realizar as simulações hidrodinâmicas e de ondas em intervalos de 6 horas.

Com relação as forçantes astronômicas, as simulações numéricas foram realizadas utilizando 12 constituintes harmônicas de maré (M2, S2, O1, K1, K2, N2, Q1, M4, P1, 2N2, MS4, MN4) derivados do TPXO 9.1 (EGBERT e EROFEEVA, 2002). No entanto, para representar com precisão as marés astronômicas em nosso domínio, uma simulação somente para marés com duração de 4 meses (a partir de 1 de setembro de 2019) foi realizada utilizando-se o modelo autônomo ADCIRC. A análise harmônica foi realizada nos últimos 90

dias da simulação (JOYCE et al., 2019) bem como o cálculo do *Form Number* para estimar o tipo de maré na área de estudo (DEFANT, 1961). As amplitudes dos constituintes foram validadas em relação às previsões da Epagri/CIRAM no mesmo período.

Compreender incertezas e erros associados à abordagem numérica também é um fator importante para as ações de planejamento e mitigação na zona costeira (LI et al., 2020a). Assim, analisou-se o desempenho do modelo comparando as saídas dos modelos (ou seja, campos de vento e pressão, TWL, marés astronômicas e Hs) com os dados observados obtidos. O desempenho foi quantificado usando o Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) (CHAI e DRAXLER, 2014) para TWL, marés astronômicas e Hs. Os campos de vento e pressão são qualitativamente discutidos na seção 4.5.2.

4.4.5 Cenários de mudanças climáticas

A análise dos três cenários é apresentada na última seção deste capítulo. Primeiramente, foi simulada a Tempestade 1, que ocorreu em outubro de 2016 durante um ciclo de marés de sigízia, sob uma condição diferente de maré (quadratura), para verificar a influência isolada do componente astronômico sob o TWL e, portanto, verificar a dependência entre os dois parâmetros principais de força da tempestade. Além disso, o mesmo evento meteorológico também foi simulado sob dois cenários diferentes de SLR apontados pelo Quinto Relatório de Avaliação (AR5) do IPCC em duas diferentes *Representative Concentration Pathway* (RCPs 4.5 e 8.5) como uma SLR média global em 2100, ou seja, o horizonte distante para os cenários globais de SLR (CHURCH et al., 2013). Os resultados foram discutidos dentro do domínio de modelagem, com foco em um recorte em escala local na Praia dos Ingleses, localizada no nordeste da Ilha de Santa Catarina, Florianópolis. A área selecionada é um destino turístico e apresenta tanto áreas preservadas quanto densamente urbanizados que tiveram problemas recentes com erosão severa devido às marés de tempestade (MULER e BONETTI, 2014).

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1 Marés astronômicas

A análise harmônica foi realizada por um período de quatro meses, e os resultados foram comparados com as previsões astronômicas das marés em três estações do Estado de

Santa Catarina. O setor analisado apresenta um tipo misto de micro maré semi-diurna, ou seja, dois ciclos desiguais de maré por dia, apresentando *Form Number* entre 0,25 e 1,5. Os resultados da análise harmônica quanto às amplitudes dos constituintes são apresentados na Figura 21. O modelo ADCIRC foi capaz de representar com precisão todos os principais constituintes harmônicos, além de M4 e MS4 na estação mais ao norte (Figura 21A). Além disso, o constituinte S2 foi responsável pela geração dos maiores erros residuais em todas as estações analisadas. Por exemplo, na estação de Florianópolis (SC2951), o S2 foi superestimado em 0,047 m, enquanto o M2 foi subestimado por 0,009 m.

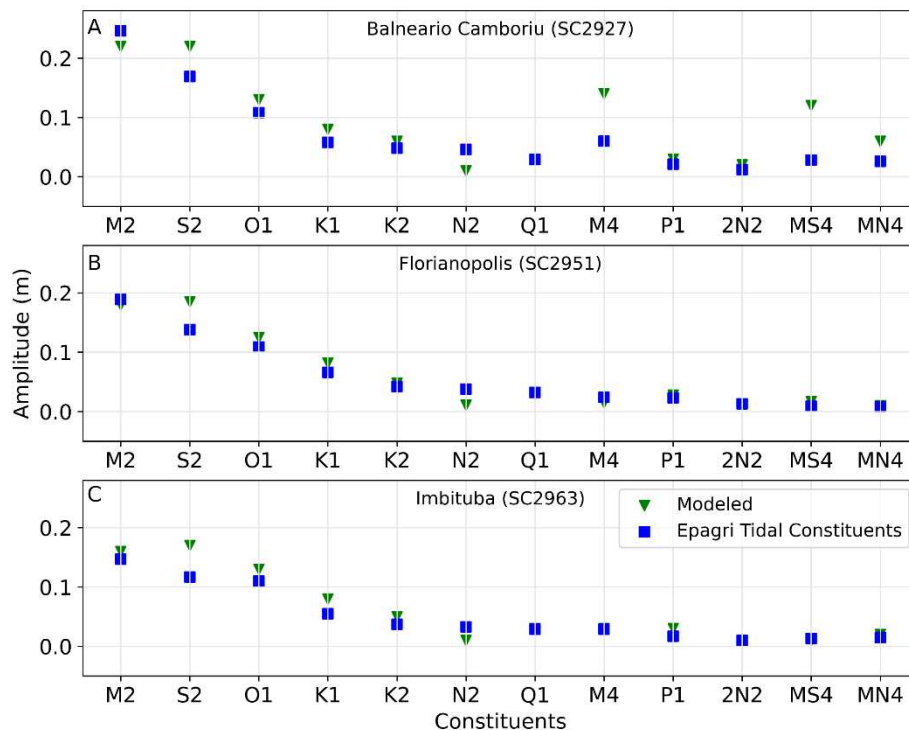


Figura 21: A-C) Constituintes harmônicos para três estações diferentes nas áreas litorâneas do Estado de Santa Catarina (local de figura 1).

A série temporal apresentada na Figura 22A refere-se a todo o período de simulação na estação de Florianópolis (SC2951), onde o RMSE calculado foi de 0,10 m. Já a Estação Balneário Camboriú (SC2927) e a estação Imbituba (SC2963) apresentam RMSE de 0,24 e 0,11 m, respectivamente. A Figura 22B destaca, em detalhes, as baixas amplitudes de um tipo de micro maré mista semi-diurna, bem como uma deturpação das transições entre as marés de sizígia e quadratura. No entanto, como descrito na Figura 22C, é evidente uma forte

dependência entre os valores observados e modelados, mostrando uma representação adequada das marés astronômicas na área de estudo.

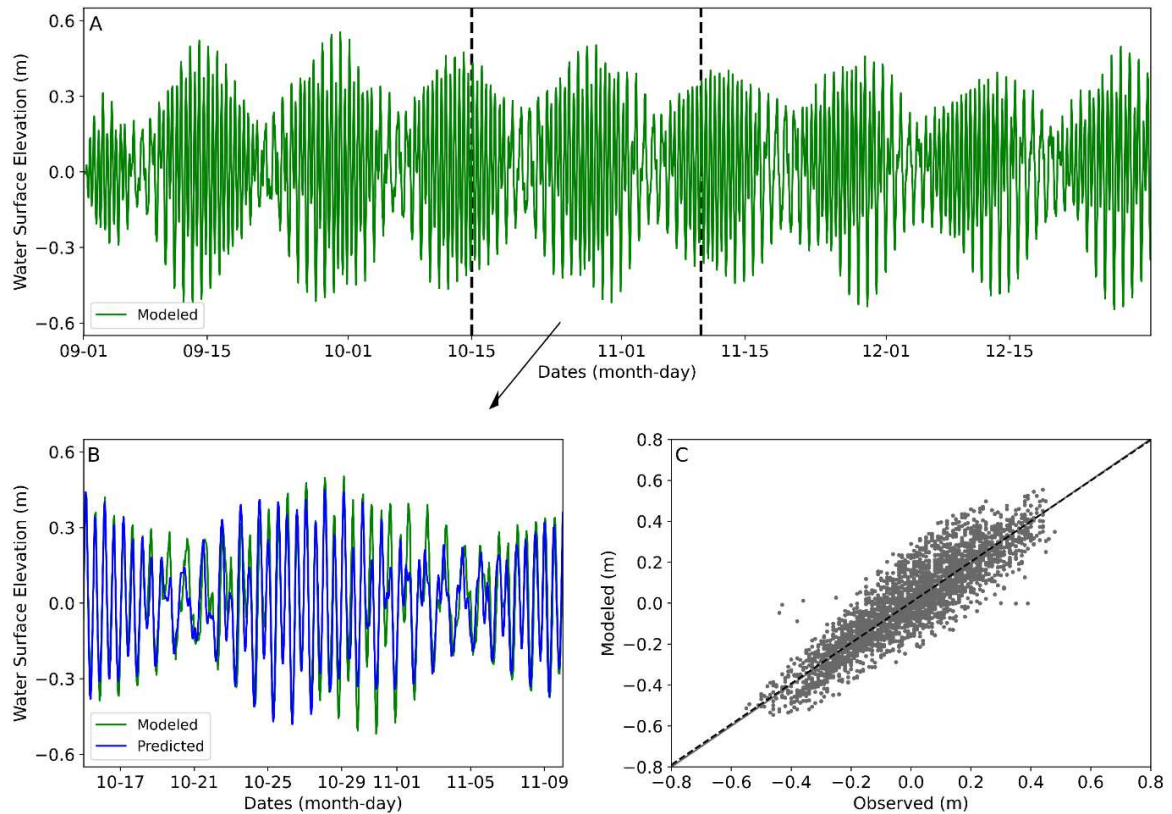


Figura 22: A) Modelagem de elevação da superfície da água a longo prazo para a estação SC2951, entre 01-Set a 31-Dez; B) Elevações modeladas e previstas da superfície da água durante um único ciclo de maré; C) dispersão linear entre elevações previstas da superfície da água entre 01-Set a 31-Dez.

De acordo com Franz et al. (2016), o terceiro principal constituinte lunar diurno (M3) tem uma amplitude significativa em nossa área de estudo e sua ressonância afeta diretamente o sinal das marés astronômicas. Por exemplo, embora as previsões apresentem amplitudes de até 0,038 m para o constituinte M3 na estação Balneário Camboriú, o banco de dados TPXO 9.1 (EGBERT e EROFEEVA, 2002) não tem dados de marés para o constituinte acima mencionado. Além disso, deve-se enfatizar a falta de uma batimetria precisa e atualizada e sua importância relativa para uma simulação hidrodinâmica adequada (DINÁPOLI et al., 2020).

4.5.2 Campos de vento e pressão

A Figura 23 retrata os campos de vento e pressão no domínio do modelo para três datas específicas representando as condições atmosféricas quando os picos de TWL foram registrados nos medidores de maré em Santa Catarina. Tanto a Tempestade 1, que ocorreu durante a primavera (Figura 23A), quanto a Tempestade 2, que ocorreu no outono (Figura 23B), foram geradas por ciclones extratropicais com condições espaciais e atmosféricas semelhantes. Pelo contrário, a Tempestade 3, que também ocorreu no outono, foi gerada por um campo de alta pressão adjacente à costa (Figura 23C). Devido a diferentes resoluções dos modelos climáticos e a falta de dados de observação, os campos de vento e pressão foram analisados qualitativamente em três boias diferentes (Figura 18).

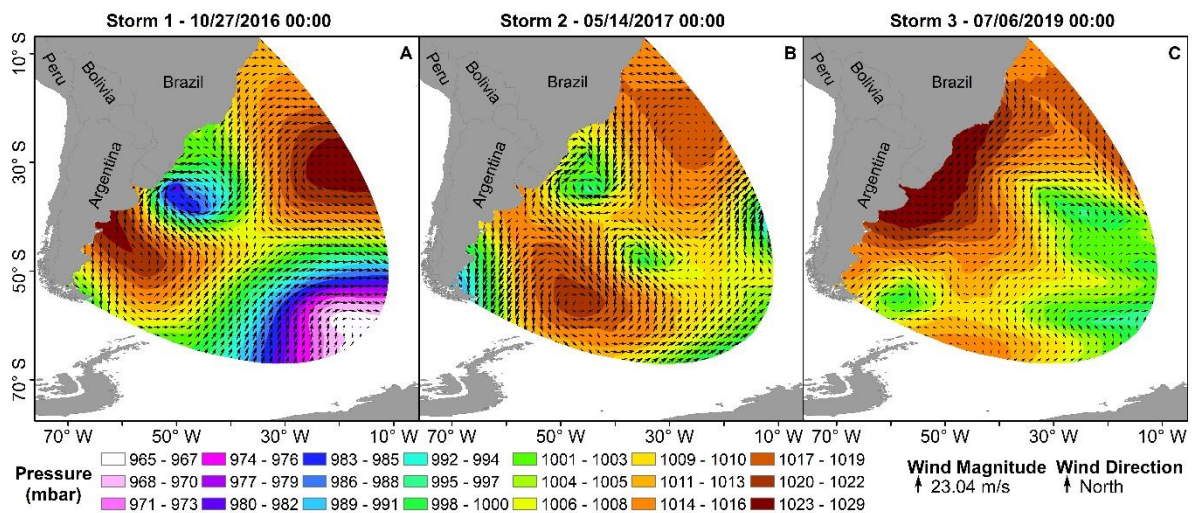


Figura 23: A-C) Características atmosféricas dos três eventos selecionados durante cada pico de tempestade.

Durante a Tempestade 1, todos os três modelos climáticos foram capazes de caracterizar a variação da série temporal em relação à pressão do ar no nível médio do mar (Figura 24A, B e C). No entanto, como consequência provável de sua resolução mais grosseira, o modelo GFS não foi capaz de representar o pico de baixa pressão (Figura 24A), bem como pequenas variações ao longo da série temporal. Em contraste, apesar de ter uma resolução melhor, o modelo CFSv2 deturpou completamente as variações de pressão durante a Tempestade 2 (Figura 24D, E e F). Nenhum dos modelos climáticos foi capaz de representar com precisão o pico de baixa pressão na boia mais próxima da zona costeira catarinense (Figura 24E). Finalmente, na Tempestade 3, todos os modelos climáticos apresentaram uma

representação adequada de amplitudes de pressão com uma ligeira mudança na fase se comparado com as observações (Figura 24H).

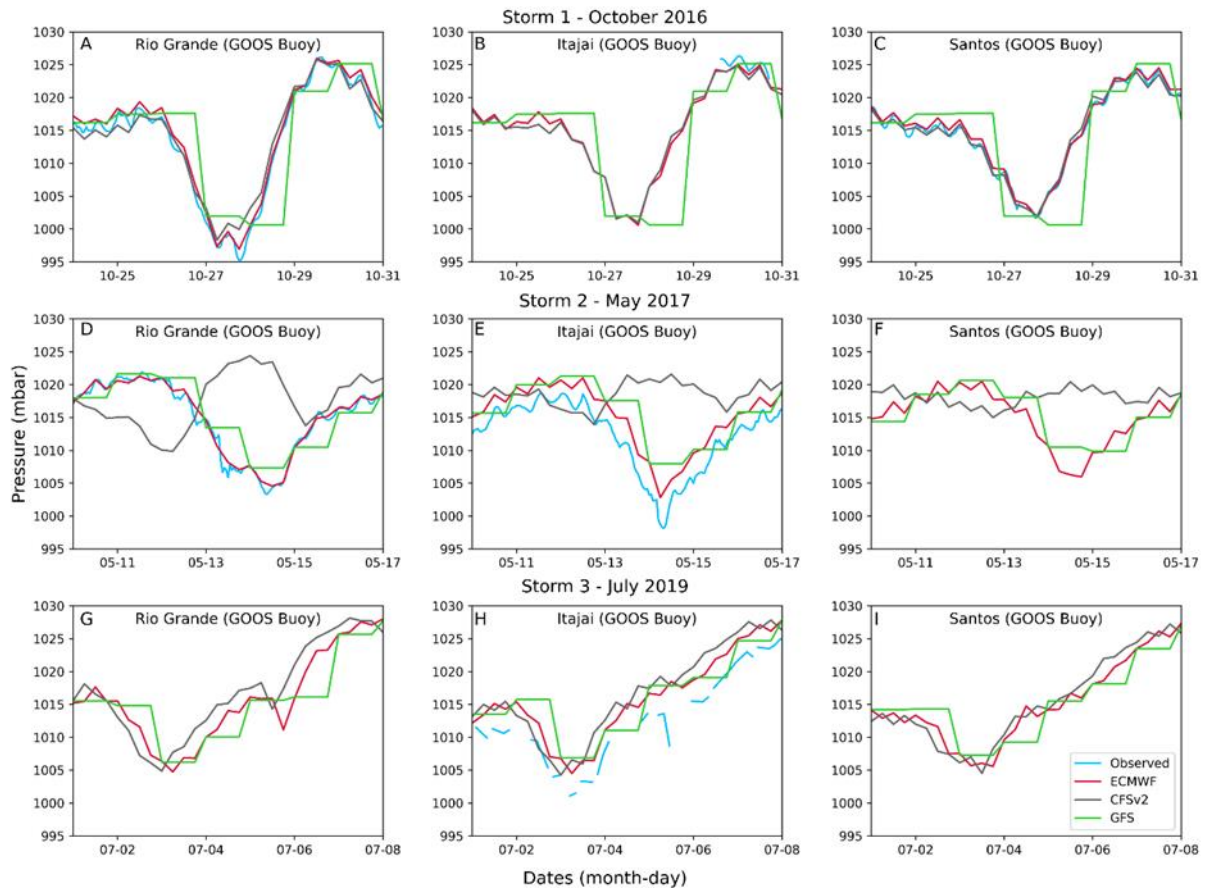


Figura 24: Pressão de ar na média do nível do mar série de tempo em três boias diferentes.

O vento é uma variável dominante de um evento meteorológico e sua ação sobre a superfície do mar pode representar até 90% da magnitude de uma tempestade (WMO, 2011). Em relação ao desempenho dos modelos climáticos, tanto o ECMWF quanto o CFSv2 foram capazes de representar amplitudes de magnitude do vento ao longo da série temporal. O modelo GFS, ao contrário, subestimou consistentemente as magnitudes dos ventos e não caracterizou com precisão os picos elevados observados na boia do Rio Grande (Figura 25A e D) e na boia de Itajaí (Figura 25E). Como nos dados de pressão, uma ligeira mudança na fase pode ser observada em um evento de alta pressão (Figura 25G).

Saraiva et al. (2003) obtiveram magnitudes máximas de vento de 24 m/s, e Machado e Calliari (2016) encontraram uma magnitude média de vento de 6,2 m/s e valores máximos de 26 m/s ao longo de 66 anos de análise de tempestades. Por meio de uma análise de distribuição, todas as magnitudes dos ventos superiores a 17 m/s foram classificadas como

ventos extremos, o que ocorreu apenas em 0,16% da série temporal observada (MACHADO e CALLIARI, 2016).

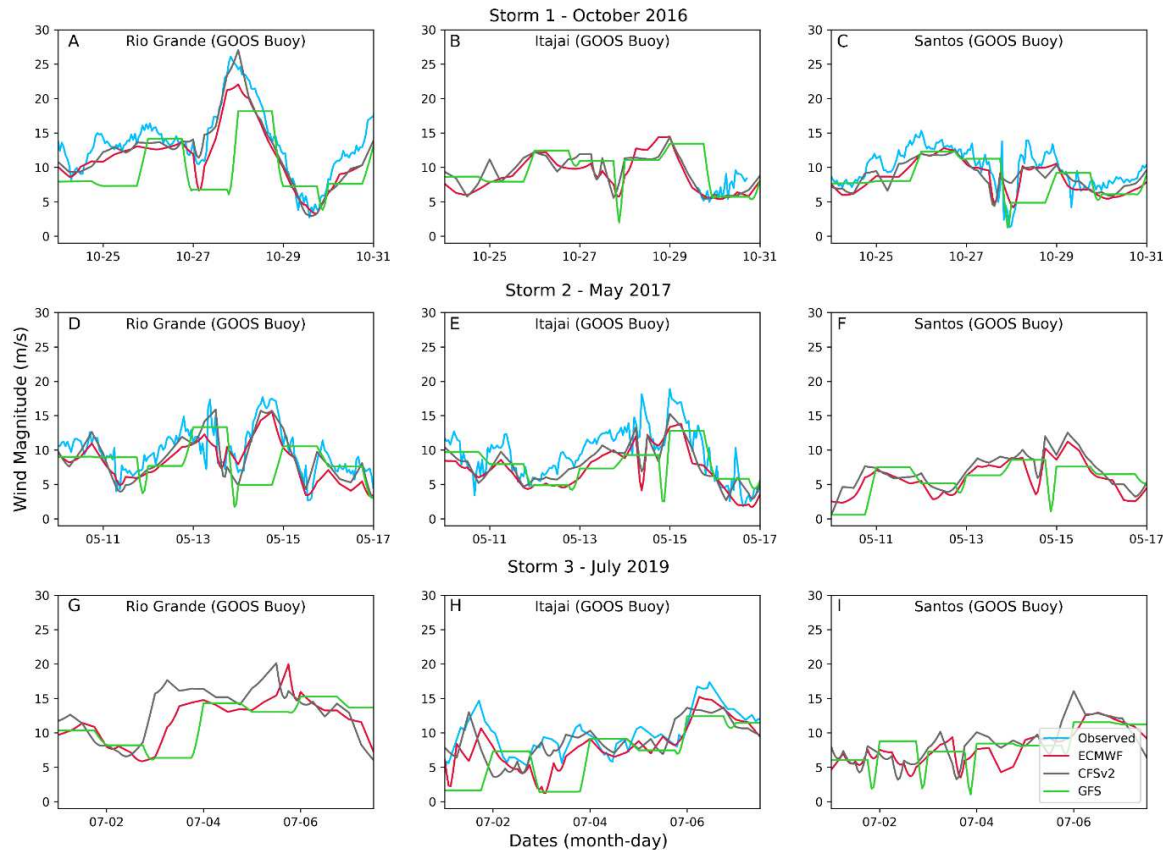


Figura 25: Ventos a 10 m acima da série de tempo da superfície do mar em três boias diferentes.

4.5.3 Nível do mar

As marés de tempestade podem combinar os efeitos de múltiplas interações não lineares dos processos oceânicos (por exemplo, marés astronômicas e ondas geradas pelo vento). Por outro lado, o TWL também pode ser derivado de processos intensos únicos e ainda causar sérios danos às áreas costeiras (LOPES e DIAS, 2015; MURTY et al., 2016; MARCOS et al., 2019). Nesta seção, são apresentados os resultados da abordagem numérica e sua comparação com observações obtidas em três medidores de maré situados na zona costeira catarinense (Figura 18).

Em relação aos picos de tempestade, o modelo não foi capaz de prever com precisão os valores máximos em todas as simulações. Os picos de TWL modelados foram consistentemente subestimados, como descrito na Figura 26. Na Tempestade 1, a simulação

forçada pelo modelo GFS apresentou os melhores resultados sendo capaz de reproduzir 84% dos valores máximos observados. Durante a Tempestade 2, mesmo os picos de nível de água mais baixo registrados durante uma maré de quadratura foram substancialmente subestimados por todos os conjuntos de simulações. Por exemplo, as simulações forçadas pelo CFSv2 e GFS apresentaram os melhores resultados na estação Balneário Camboriú (SC2927); no entanto, com um erro absoluto de 0,29 e 0,31 m, respectivamente, há uma subestimação de quase 40%. Finalmente, na Tempestade 3, a simulação forçada pelo modelo CFSv2 apresentou os melhores resultados nas três estações. Na estação de Imbituba (SC2963), a simulação foi capaz de representar 74% dos níveis máximos de TWL com erro absoluto de 0,28 m. Em contrapartida, uma pesquisa semelhante realizada no Mar do Sul da China por Li et al. (2020a) indicou bons resultados entre os valores máximos de TWL modelados e observados com um erro relativo de até 2,3%, utilizando a mesma abordagem de modelagem forçada pelo modelo CFSv2.

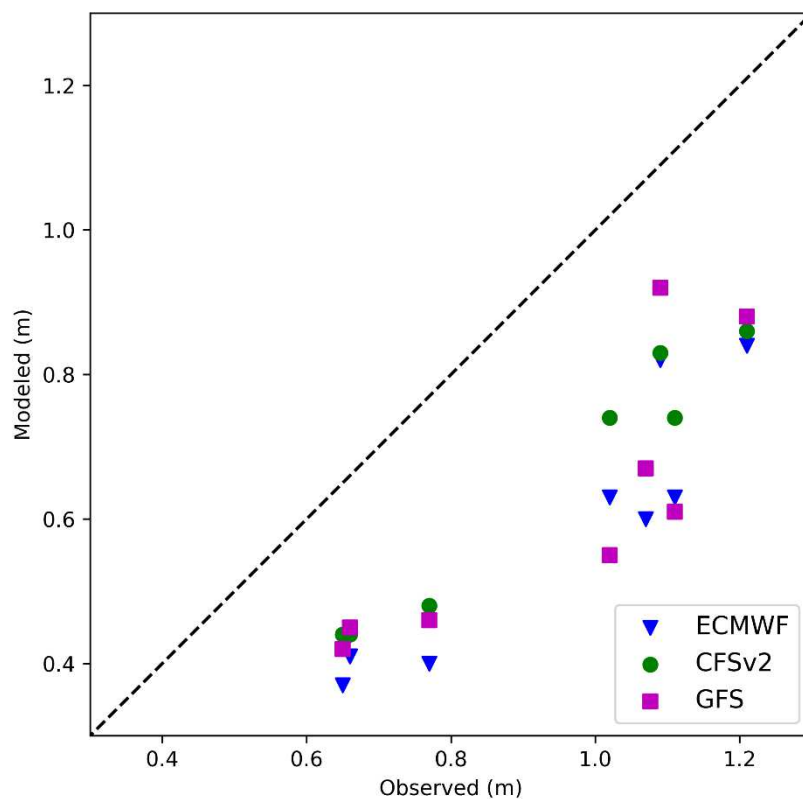


Figura 26: Gráfico de dispersão de TWL máximo.

A série temporal apresentada na Figura 27 demonstra que a subestimação substancial observada nos valores máximos, de fato, ocorre durante todos os eventos selecionados de tempestade. Na Tempestade 1, apesar de o modelo GFS ter proporcionado os melhores resultados para os valores máximos, uma superestimação é evidente nos dias subsequentes (Figura 27B e C). Além disso, o modelo apresentou comportamentos semelhantes nas Tempestades 2 e 3, ou seja, em condições meteorológicas normais o modelo foi capaz de representar com precisão o TWL em todas as estações, e durante as tempestades, observa-se um aumento insignificante na elevação da superfície da água. No geral, o modelo apresentou baixa sensibilidade a diferentes forças meteorológicas. Por exemplo, na Tempestade 2, embora o CFSv2 tenha deturpado completamente os campos de pressão locais e o modelo GFS exibiu uma falta de precisão nas magnitudes do vento, as saídas TWL resultantes foram relativamente semelhantes.

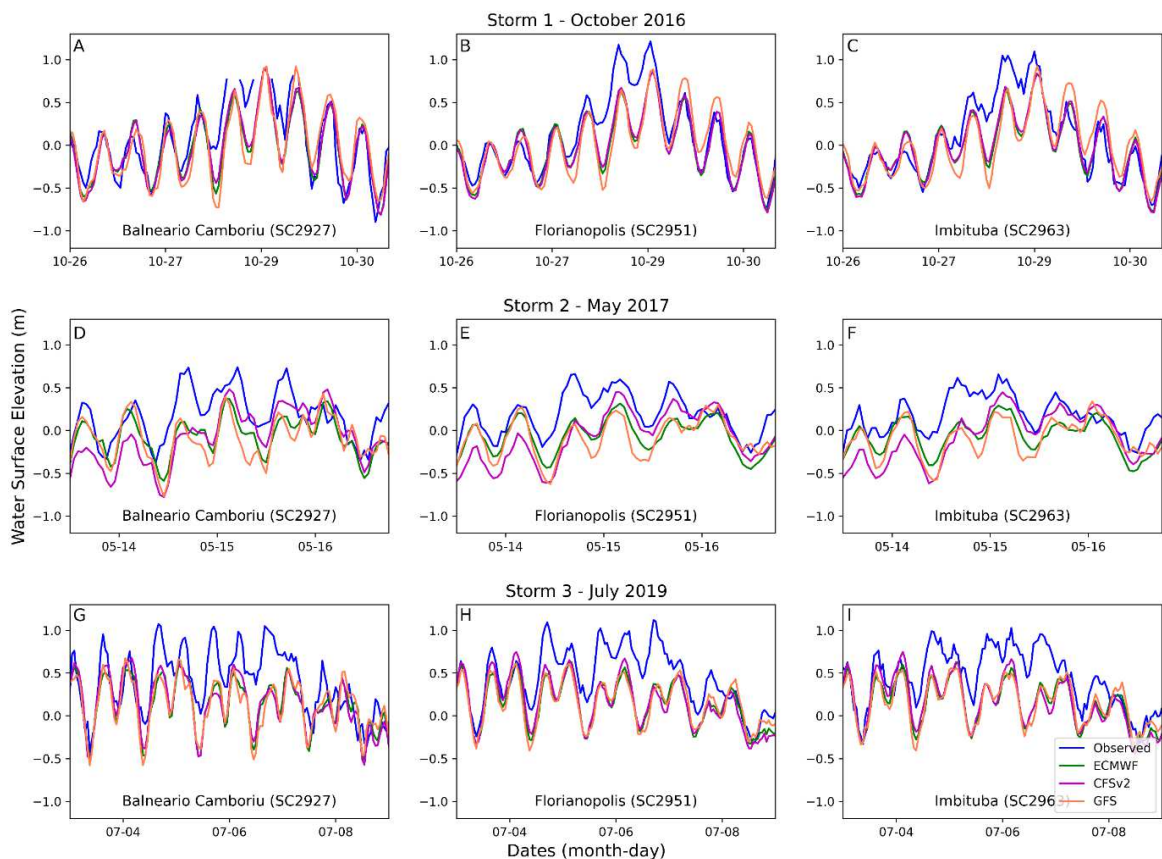


Figura 27: Série de tempo total de nível de água em três estações de gravação diferentes.

A Tabela 4 apresenta o RMSE para todas as simulações em termos de TWL e os valores em **negrito** representam os melhores resultados obtidos no conjunto de simulações.

Apesar de o modelo GFS ter apresentado um bom desempenho em termos de valores máximos, foi superado em todas as simulações pelos modelos ECMWF ou CFSv2 quando toda a série temporal é considerada. Além disso, é importante destacar que o modelo ECMWF apresentou os resultados mais consistentes de RMSE em todas as simulações. Por exemplo, enquanto uma diferença de 1 cm é observada entre o ECMWF e o CFSv2 na simulação das tempestades 1 e 3, um erro muito maior de magnitude é observado na Tempestade 2, onde o ECMWF é a melhor forçante meteorológica. Além disso, a Tabela 5 apresenta as métricas de erro apenas para a maré meteorológica isolada, ou seja, desconsiderando as marés astronômicas, o que indica que o erro está principalmente relacionado ao empilhamento de água causado pela ação da força meteorológica.

Tabela 4: Métricas de erro para TWL (RMSE em m).

Storm	Station	CFSv2	ERA 5	GFS
Storm 1	Balneario Camboriu	0.24	0.25	0.29
	Florianopolis	0.20	0.21	0.25
	Imbituba	0.19	0.21	0.25
Storm 2	Balneario Camboriu	0.34	0.26	0.30
	Florianopolis	0.32	0.22	0.26
	Imbituba	0.32	0.23	0.27
Storm 3	Balneario Camboriu	0.32	0.32	0.36
	Florianopolis	0.31	0.32	0.35
	Imbituba	0.37	0.38	0.41

Tabela 5: Métricas de erro para maré meteorológica (RMSE em m).

Storm	Station	CFSv2	ERA 5	GFS
Storm 1	Balneario Camboriu	0.17	0.18	0.22
	Florianopolis	0.18	0.20	0.23
	Imbituba	0.17	0.20	0.23
Storm 2	Balneario Camboriu	0.27	0.20	0.23
	Florianopolis	0.31	0.21	0.25
	Imbituba	0.32	0.22	0.26
Storm 3	Balneario Camboriu	0.28	0.28	0.31
	Florianopolis	0.31	0.31	0.33
	Imbituba	0.33	0.33	0.35

Os resultados de TWL apontados por esta pesquisa sugerem uma falta de precisão nas forçantes meteorológica. Garzon et al. (2018) afirmaram que simulações forçadas pelos mesmos modelos climáticos levaram a resultados precisos para a previsão de tempestades no Oceano Atlântico Noroeste, destacando a eficiência do modelo ECMWF. Além disso, Wedam

et al. (2009), também afirmaram que a ECMWF se manteve como um modelo climático altamente preciso, no entanto, com significativa dependência espacial na costa dos Estados Unidos. Por outro lado, no Golfo Pérsico, o modelo GFS produziu os melhores dados de campo de vento e, portanto, foi mais preciso para aplicações de modelagem numérica de tempestades (AFSHAR-KAVEH et al., 2016). Em relação ao Atlântico Sudoeste, nossos achados estão de acordo com Dinápoli et al. (2020), que demonstraram que mesmo os modelos climáticos mais utilizados no mundo podem levar a uma falha de até 50% no *hindcasting* de TWL em nossa área de estudo.

Por fim, deve-se mencionar que o presente estudo ainda não considera os efeitos de descarga de rios, das chuvas, das ondas de infragravidade, bem como dos processos dependentes de profundidade, como gradientes de velocidade devido à densidade, que podem variar de acordo com a temperatura e a salinidade dos oceanos. De acordo com Kirinus et al. (2018), a costa sul brasileira (que vai de 23° S a 28° S) é altamente influenciado pela Corrente Brasil. Além disso, a variabilidade espacial das correntes confluência (ou seja, Brasil-Malvinas) pode também influenciar a circulação na Plataforma Sul-Brasileira (PALMA et al., 2004). Em uma abordagem de modelagem numérica tridimensional, Pereira et al. (2007) apontou pela primeira vez que a Corrente Brasileira tem forte impacto baroclínico na porção setentrional da costa sul do Brasil.

4.5.4 Ondas

O *set-up* das ondas geradas pelo vento podem ser um componente significativo do TWL durante um evento de tempestade. Além disso, a configuração das ondas pode aumentar o risco de inundação costeira em regiões susceptíveis a marés de tempestade, como o Sul do Brasil (RUEDA et al., 2017). Conforme indicado por Araújo et al. (2003) e Rodríguez et al. (2016), ondas de períodos mais altos e longos são encontradas na região sul da zona costeira brasileira, juntamente com ondas extremas durante os meses de inverno. O *set-up* de ondas que também compõe o TWL tem um impacto considerável em simulações numéricas de tempestades, embora em eventos meteorológicos de menor magnitude seu efeito possa ser inferior a 10% (LI et al., 2020a).

O gráfico apresentado na Figura 28 mostra uma dependência muito mais forte entre valores máximos de H_s observada e modelada se comparado com os resultados do mesmo modelo para TWL. Durante o evento mais significativo (Tempestade 1), a simulação forçada

pelo modelo CFSv2 foi capaz de representar 98% do pico observado na Boia do Rio Grande (Figura 29B). No entanto, no mesmo ponto de validação, observa-se um atraso de tempo entre todos os modelos climáticos. Como mostrado na Tabela 6, apesar da precisão dos modelos, o valor máximo foi previsto 10 horas antes do pico observado, enquanto o GFS, que também apresentou um bom desempenho, foi capaz de forçar o pico de onda com uma mudança de tempo posterior de 6 horas. Por outro lado, apesar de ser superado pelos outros modelos climáticos, a simulação forçada pela Era-5 da ECMWF resultou em um pico de onda exatamente ao mesmo tempo observado na boia de Santos durante o mesmo evento. A mesma situação é ainda mais evidente durante a Tempestade 3 (Figura 29J) quando o mesmo atraso não foi observado para as forçantes de vento (Figura 25A e H).

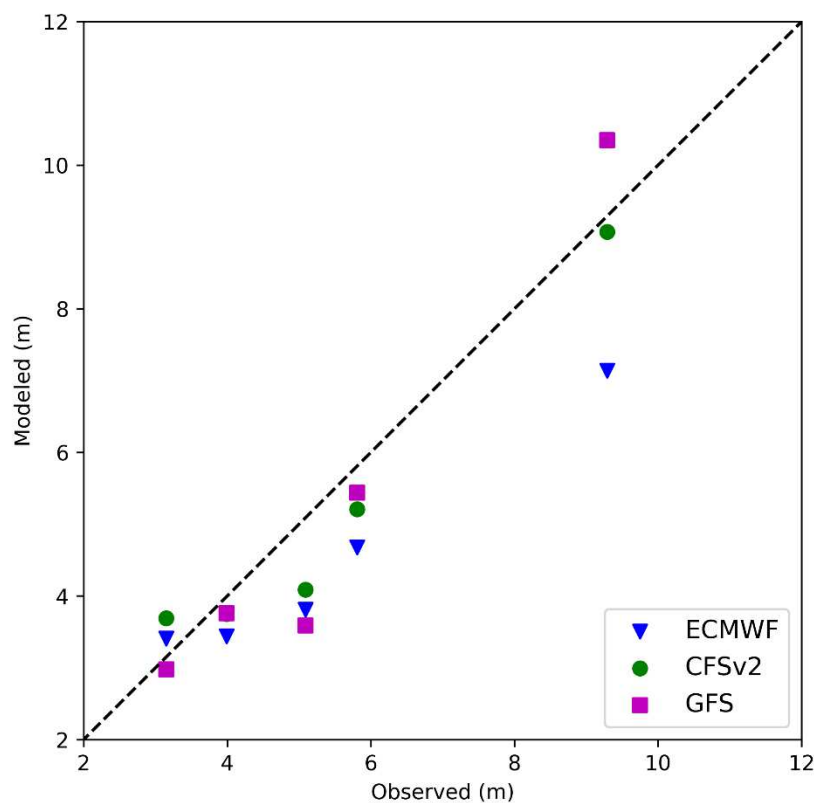


Figura 28: Scatter plot de Hs máximo

Devido à falta de dados de observação, a evolução da propagação de ondas na área de estudo não pode ser completamente compreendida durante os eventos meteorológicos selecionados. No entanto, como descrito nas Figura 29B e D, uma perda de magnitude de quase 40% nos valores máximos da onda é evidente após 15 horas em uma distância de 816

km. Em contraste, na Tempestade 2, a energia das ondas evolui de forma oposta, embora em uma ordem diferente de magnitude. Em uma distância de 521 km entre as boias Rio Grande e Santos (Figura 29F e G), os valores máximos da onda mostram um aumento de aproximadamente 20% após 9 horas. Os autores de Kirinus et al. (2018) afirmaram que a grande variabilidade meteorológica no Oceano Atlântico Sudoeste impede que simulações de curto prazo compreendam plenamente os padrões de comportamento das ondas oceânicas, sugerindo a necessidade de simulações de longo prazo (mais de 10 anos), que não podem ser completamente validadas como consequência de dados de ondas observados insuficientes. No entanto, um conjunto de dados baseado em reanálise está disponível como uma alternativa para descrever o clima de ondas ao longo da costa brasileira (SILVA et al., 2015; QUETZALCÓATL et al., 2019) bem como um banco de dados de ondas de longo prazo em escalas locais, por exemplo, (ALFREDINI et al., 2014).

Tabela 6: Altura e tempo máximos de onda significativa (valores em m).

Storm	Station	CFSv2	Delay	ERA 5	Delay	GFS	Delay	Observed	Date Time
Storm 1	Rio Grande	9.07	-10h	7.14	-7h	10.35	+6h	9.29	2016-10-28 12:00
	Santos	5.21	-2h	4.68	0h	5.44	+5h	5.81	2016-10-29 03:00
Storm 2	Rio Grande	3.75	+2h	3.44	+1h	3.76	+14h	3.99	2017-05-14 18:00
	Itajai	4.09	+2h	3.81	+3h	3.59	+15h	5.09	2017-05-15 03:00
Storm 3	RS-4	3.69	-3h	3.41	+3h	2.98	-4h	3.15	2019-07-05 18:00

No geral, a abordagem do modelo mostrou bom desempenho para a modelagem de H_s e é evidente uma representação adequada com observações. A Tabela 7 mostra que as métricas de erro de H_s e os valores em negrito representam os melhores resultados obtidos no conjunto de simulações. Na Tempestade 1, a simulação forçada pelo CFSv2 apresentou um RMSE melhor em ambas as boias com observações disponíveis para o mesmo período, apesar de que o GFS era uma opção melhor na segunda boia para valores máximos. O mesmo ocorre na Tempestade 2. A simulação realizada com base no modelo CFSv2 resultou em um RMSE melhor em todas as boias disponíveis. Embora o modelo GFS tenha levado a uma melhor representação dos valores máximos, a maior mudança de tempo de até 15 horas foi observada em ambas as boias. Finalmente, na Tempestade 3, os resultados do modelo foram validados em apenas uma boia devido à falta de dados recentes de ondas observacionais no Brasil. A RS-4 é a boia mais ao sul, assim como o mais próximo da costa (cerca de 8 km a 32° S). Neste caso, tanto os melhores valores máximos quanto a RMSE estão relacionados com a

força meteorológica ECMWF (ERA-5). Em investigação semelhante, Kirinus et al. (2018) validou as alturas das ondas no mesmo conjunto de boias oceânicas em um período mais longo de simulações, onde a RMSE não foi inferior a 0,46 m na Boia do Rio Grande e 0,57 m na boia de Itajai, embora tenha sido empregado um modelo oceânico híbrido, utilizando o modelo climático CFSR. Da mesma forma, Alfredini et al. (2014) apresentaram uma ordem de magnitude RMSE semelhante (valores máximos de 0,58 m para alturas de onda superiores a 1 m) em um conjunto local de simulações de longo prazo validadas a 24° S e forçadas por um modelo climático ECMWF. Por outro lado, no Oceano Atlântico Norte, uma abordagem de modelagem semelhante aplicada para previsão de ondas mostrou valores RMSE variando entre 0,26 e 0,84 m (KHALID e FERREIRA, 2020).

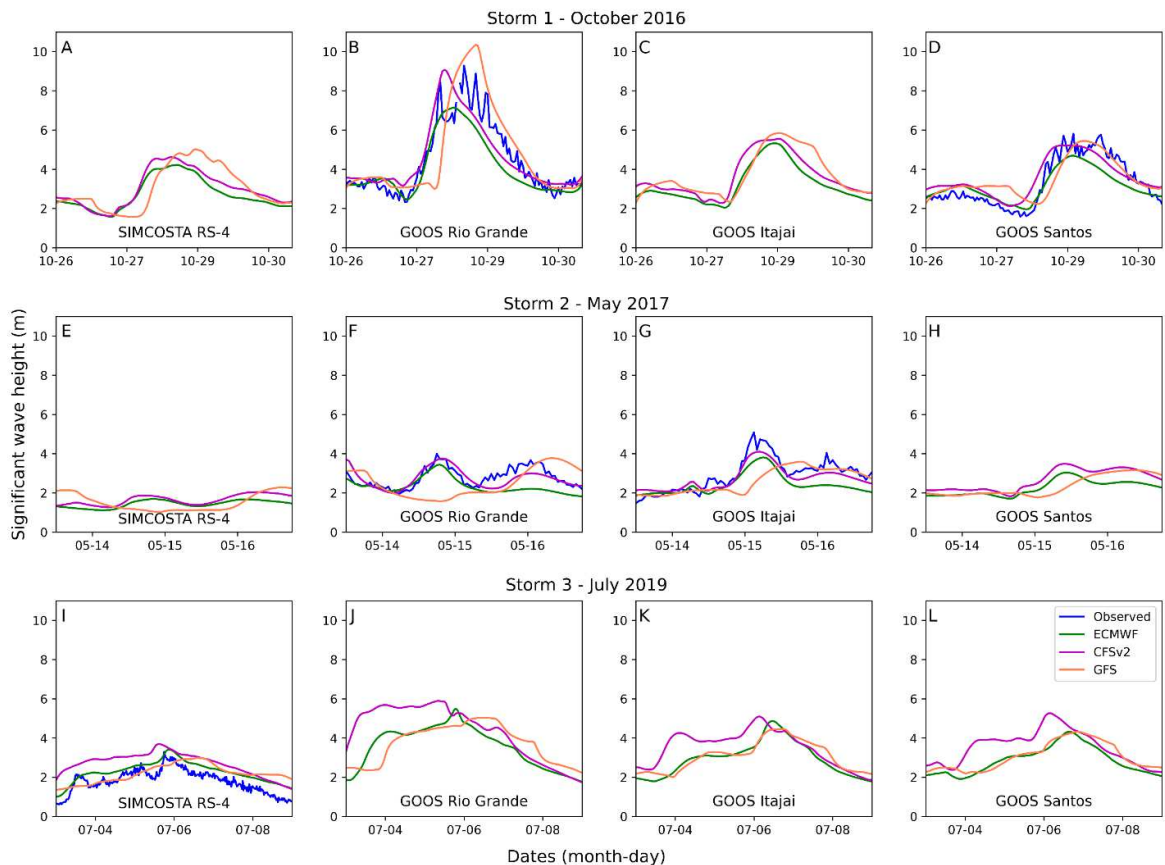


Figura 29: Série de tempo de ondas geradas pelo vento em quatro boias diferentes.

Tabela 7: Métricas de erro de ondas (RMSE em m).

Storm	Station	CFSv2	ERA 5	GFS
Storm 1	Rio Grande	0.71	0.732	0.951
	Santos	0.562	0.617	0.636
Storm 2	Rio Grande	0.424	0.488	0.706
	Itajai	0.38	0.53	0.7
Storm 3	RS-4	0.766	0.433	0.615

4.5.5 Análise de escala local

A Ilha de Santa Catarina (27,6° S e 48,4° W) está localizada na Região Sul do Brasil e compõe parcialmente o território de Florianópolis, que é a capital do estado e a segunda maior cidade do Estado de Santa Catarina (Figura 20C). A ilha abrange dois domínios marinhos diferentes devido ao fato de que está localizada a uma pequena distância do continente. O domínio do Oceano Atlântico incorpora setores Norte e Leste que apresentam praias refletivas e intermediárias de diferentes tamanhos, geralmente voltadas para leste-sudeste, delimitadas por costões rochosos (KLEIN et al., 2016b). Em contraste, o domínio oeste, voltado para um sistema de baía, é protegido da incidência direta de ondas e é composto por costões rochosos, praias de enseada de baixa energia e sistemas estuarinos com ocorrência de manguezais (MUSSI et al., 2018). Florianópolis é a cidade mais afetada por tempestades no estado, com um extenso registro de eventos de inundação e erosão, com repercussões importantes sobre segmentos costeiros densamente ocupados e suas comunidades (RUDORFF et al., 2014; MUSSI et al., 2018; LEAL et al., 2020). A praia dos Ingleses é um caso representativo de uma área altamente suscetível aos efeitos das tempestades (SIMÓ e HORN FILHO, 2004; BONETTI et al., 2017). A praia acima mencionada está localizada na costa norte da ilha (Figura 30A) e apresenta características distintas com uma tendência de recuo da linha de costa nos últimos anos (SILVA et al., 2016), onde as áreas abrigadas (setor sul) são densamente urbanizadas e altamente suscetíveis a impactos de tempestades, enquanto as áreas semi-expostas (setor norte) apresentam dunas frontais vegetadas que fornecem, entre um grande número de serviços ecossistêmicos locais, a proteção costeira que reduz localmente sua suscetibilidade (BONETTI et al., 2017; LIMA et al., 2018).

A Figura 30 ilustra três componentes diferentes da Tempestade 1 descritos nesta pesquisa em um corte específico e detalhado, localizadas na praia de Ingleses. Os valores de

TWL indicam uma variação entre 0,83 e 0,88 m ao longo da praia (Figura 30B). Devido à sua suave inclinação da face da praia (FARACO et al., 2004), os valores máximos do nível da água sob este evento de tempestade levaram a um regime de colisão mesmo no setor mais ao norte, onde um *backshore* mais amplo induz uma menor suscetibilidade à erosão (BONETTI et al., 2017). Além disso, a orla urbanizada do setor sul também registrou regime de colisão; no entanto, com impacto direto na área urbanizada, onde os danos foram registrados durante este evento.

O máximo de Hs, bem como a direção da onda, são apresentados na Figura 30C e retratam as ondas do sudeste sendo propagadas em direção à costa. Os valores máximos de Hs de 3,7 m atingiram a Ilha de Santa Catarina um dia após um registro de 5,3 m de Hs na boia de Itajaí em 28 de outubro de 2016 (Figura 29C). No entanto, em um evento extremo distinto, ondas com altura máxima de até 6,5 m foram registradas adjacentes à ilha catarinense (MELO et al., 2006). Embora o clima de ondas regionais seja dominado por ondas de quadrante Sul, Sudeste e Leste, devido à sua orientação, a praia de Ingleses é protegida das ondas do Sul, parcialmente protegida das ondas Sudeste, e principalmente exposta às ondas de Leste (FARACO et al., 2004; RUDORFF e BONETTI, 2010; MULER e BONETTI, 2014). De fato, durante este evento com ondas de Sudoeste, ondas de 1,3 m foram registradas no setor mais ao norte a uma profundidade de 2 metros, enquanto na parte central 0,9 m de altura foram obtidas e, finalmente, 0,6 m na área abrigada no setor de praia mais ao sul. Em análise semelhante, com base em um banco de dados global de reanálise de 60 anos, Ribeiro et al. (2015) apresentaram os valores de Hs de 0,75 m nos dois setores Norte e Central, enquanto Hs de 0,5 m na região Sul. O período de pico de onda (T_p) mostrou uma dependência significativa na direção da onda. Ondas de período de pico mais longas (14-17 s) foram modeladas juntamente com todas as áreas expostas à incidência de ondas sudeste, enquanto em áreas onde as ondas foram refratadas, como a praia de Ingleses, o T_p varia entre 6 e 8 s (Figura 30D). Isso sugere que, embora as ondas de longo período de sul-sudeste sejam as mais frequentes na área, o incremento do nível da água observado neste evento (também possivelmente verdadeiro para os demais) parece estar relacionado a ondas com períodos mais curtos.

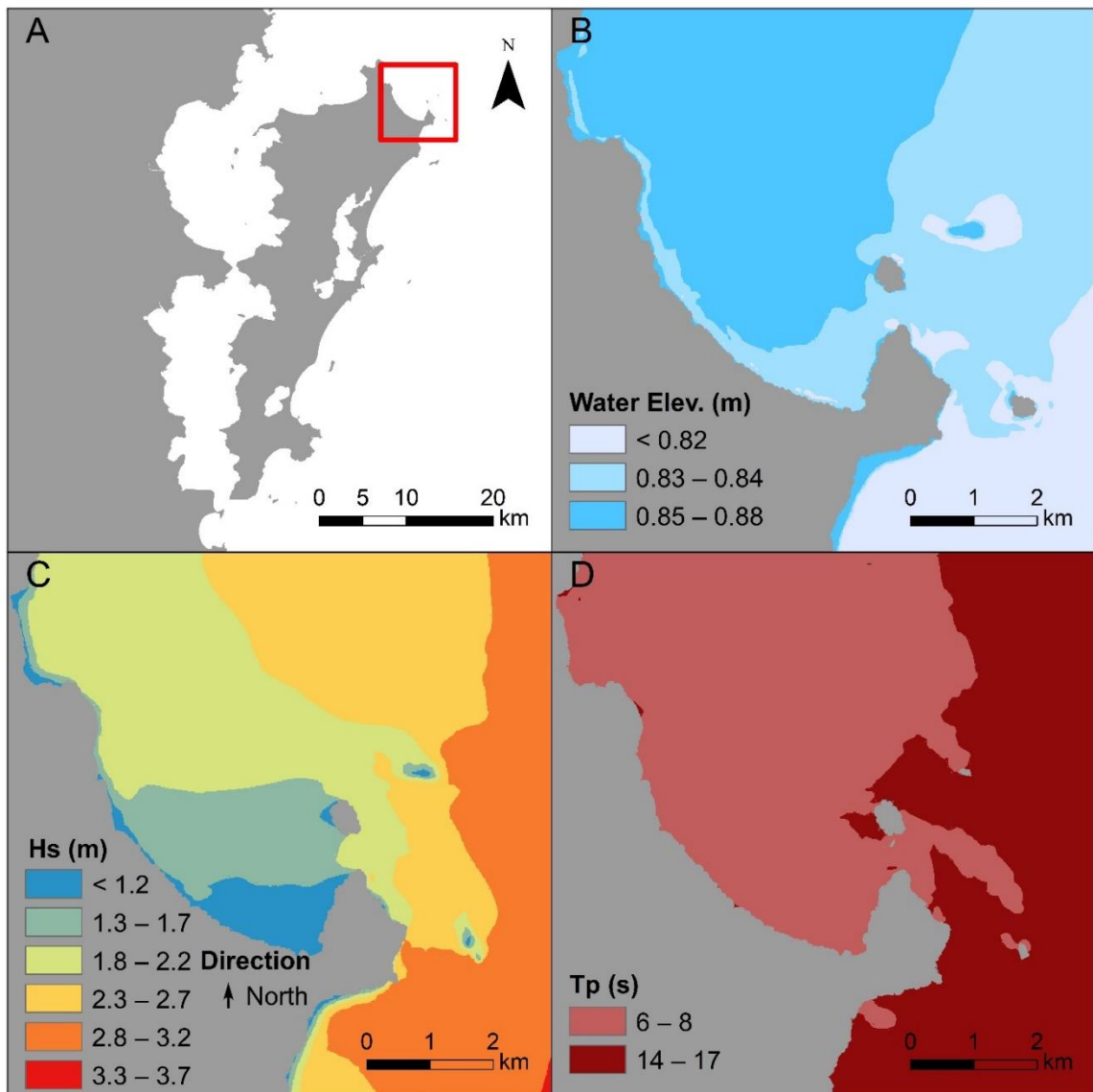


Figura 30: Avaliação em escala local das saídas máximas dos modelos durante a Tempestade 1 (porções cinzas representam terra).

A fim de investigar a dependência dos dois principais componentes das marés de tempestade, ou seja, forçantes meteorológica e astronômicas no TWL, uma análise de cenário foi realizada em nosso domínio considerando dois ciclos de marés diferentes. Os resultados também foram analisados no setor central da praia de Ingleses (Figura 31). As marés astronômicas ao longo do estado de Santa Catarina têm um regime de micro maré, com marés de sizígia variando de 0,46 m na área mais ao sul até 1,05 m no norte (KLEIN et al., 2016b), e segundo Mussi e Bonetti (2018), a praia dos Ingleses apresenta uma amplitude de maré moderada de 0,6 m. O primeiro cenário (Figura 31A) representa o evento real, ou seja, a maré

de tempestade ocorreu durante um ciclo de marés de sigízia, quando geralmente inundações costeiras e erosão são mais prováveis de acontecer devido a um TWL mais alto induzido por esses fatores simultaneamente. As marés astronômicas previstas na parte oposta da ilha indicaram um pico de 0,43 m, correspondendo a 36% do TWL observado no medidor de maré. Em contrapartida, enquanto um TWL de 1,21 m foi observado no medidor de marés de Florianópolis, um pico de 0,82 TWL foi simulado independentemente de diferentes forças meteorológicas. Finalmente, a Figura 14B mostra o segundo cenário, que demonstra o TWL para a mesma força meteorológica, porém sob um ciclo de marés de quadratura. Neste cenário, foi previsto um pico de maré astronômica de 0,23 m e um pico de 0,54 m de TWL, indicando que em diferentes condições astronômicas, a Tempestade 1 poderia ter atingido um pico de pelo menos 0,2 m mais baixo.

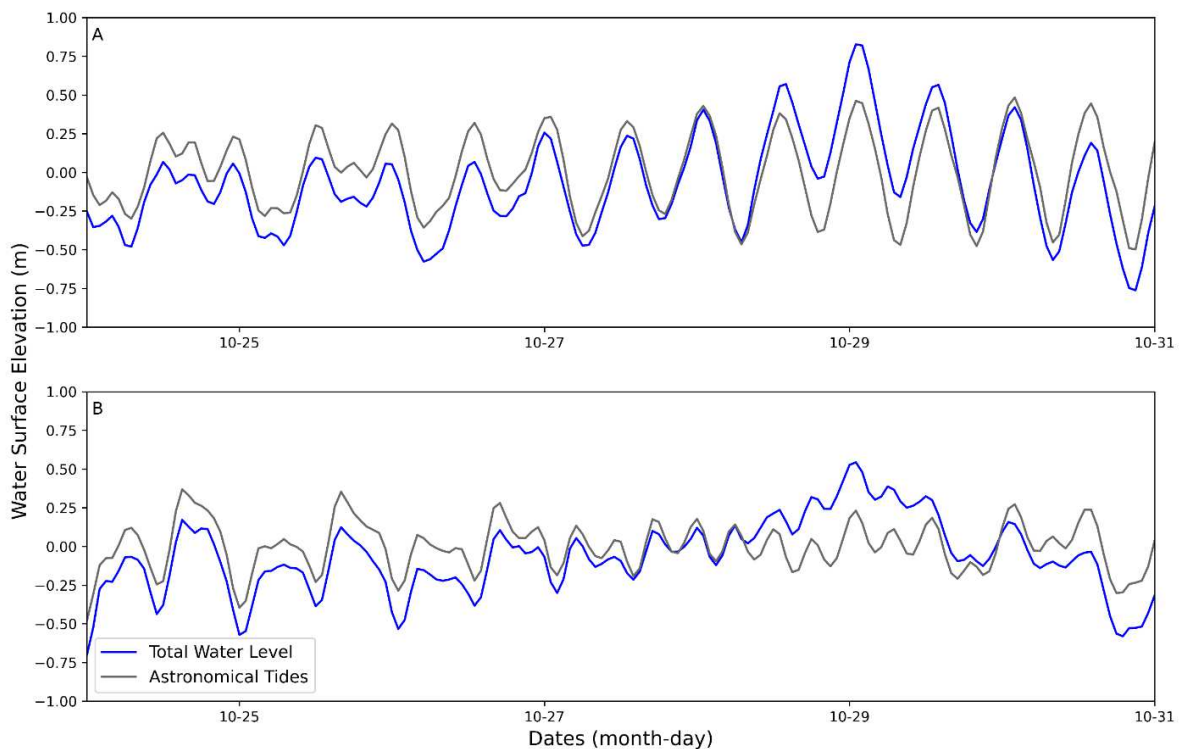


Figura 31: A) TWL original e marés astronômicas durante a Tempestade 1. B) Análise de cenário considerando o mesmo evento em diferentes condições astronômicas.

Como segunda análise, dois cenários diferentes de SLR para o ano de 2100 foram implementados, ou seja, 0,53 e 0,74 m, segundo os RCPs 4.5 e 8.5 do IPCC, respectivamente (CHURCH et al., 2013). Vários impactos físicos são esperados globalmente devido à SLR no

século XXI, como o aumento de eventos extremos e a inundação de zonas costeiras de baixa elevação. Além disso, efeitos de longo prazo relacionados ao ajuste costeiro a novas condições morfodinâmicas podem levar a erosão severa e ao comprometimento dos aquíferos costeiros devido à intrusão salina (NICHOLLS e CAZENAVE, 2010). Esses impactos, portanto, agravarão os danos socioeconômicos em comunidades costeiras mais vulneráveis. Por exemplo, na região sudeste brasileira, espera-se que a SLR produza um impacto significativo no sistema Estuarino de Santos em 2100, quando quase 50% de seus manguezais serão permanentemente inundados, bem como parte das praias adjacentes (ALFREDINI et al., 2008). Embora os efeitos da SLR tenham sido estudados globalmente, em escala local esses impactos não são amplamente estudados no Brasil, dificultando a sua consideração no processo de manejo costeiro, como no caso de Florianópolis. No entanto, uma sensibilidade costeira e exposição populacional à avaliação da SLR apresentada por Mussi et al. (2018) apontou que a praia de Ingleses apresenta uma alta exposição populacional à SLR no seu setor Sul, embora tenha uma característica protegida. Por outro lado, em áreas com baixa densidade populacional, como o setor norte, a exposição é, naturalmente, menor mesmo com alta suscetibilidade à erosão.

A Figura 32 mostra a análise do cenário de SLR realizada na praia de Ingleses considerando o mais significativo entre os eventos de tempestade analisados (Tempestade 1), dos quais a magnitude não sofreu alterações, bem como o ciclo original das marés. Portanto, a Figura 32B representa a amplitude original da maré de tempestade no pico TWL, enquanto as Figura 32C e D mostram as alterações previstas adicionados para simular os RCPs 4.5 e 8.5 do IPCC, respectivamente. No primeiro cenário, o valor máximo acumulado referente ao TWL original e a SLR representa um aumento de aproximadamente 60% na elevação da superfície da água. Além disso, o segundo cenário sugere uma mudança ainda mais significativa nos efeitos da tempestade, indicando um aumento de aproximadamente 82% em relação ao TWL original. Embora o modelo não apresente uma abordagem que quantifique a erosão costeira, vale ressaltar que uma mudança tão significativa no TWL pode potencialmente impactar toda a zona de surfe, levando a um reajuste morfodinâmico local e, portanto, alterando todo o perfil da praia.

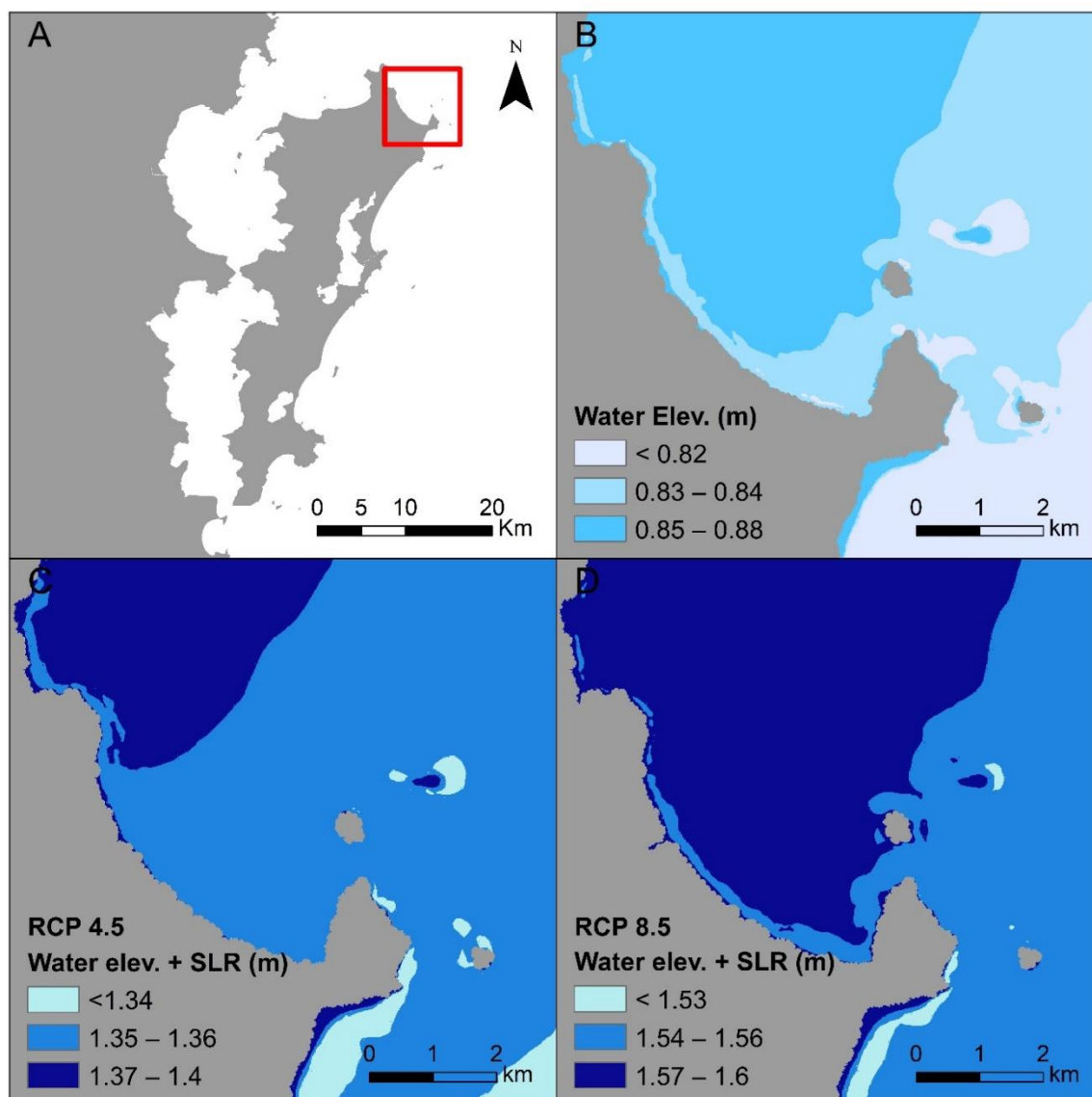


Figura 32: Cenários de elevação do nível do mar na praia de Ingleses, Florianópolis (porções cinzas representam terra).

Os efeitos da SLR também impactarão as condições oceanográficas regulares. No sul do Brasil, as marés de tempestade ocorrem a cada 6,5 a 11 dias (OHZ et al., 2020), e independentemente de sua magnitude, um regime de colisão na praia de Ingleses pode ocorrer durante as marés de sigízia. Nesse contexto, as dunas frontais do setor norte da praia têm potencial para serem ainda mais essenciais no fornecimento de proteção e estabilização costeira. Este ecossistema tem apenas um remanescente de dunas frontais, estendendo-se por apenas 20% da praia.

4.5.5.1 Aplicação em tempo real

A abordagem numérica empregada na presente pesquisa foi também implementada em tempo real e um estudo de caso para verificação da acurácia da metodologia foi apresentada por Khalid et al. (2020). Nesse estudo, o iFLOOD-Brasil (Figura 33), foi implementado operacionalmente (ou seja, duas vezes por dia) durante um período de quatro meses (abril a setembro de 2020) para validação de condições normais diárias, bem como durante um ciclone “bomba” recente que atingiu fortemente a costa sul do Brasil em junho de 2020. Atualmente o sistema encontra-se em operação e pode ser acessado em <https://iflood.vse.gmu.edu/map/>. Estão disponíveis previsões (para até três dias no futuro) de altura significativa de onda e nível do mar em mais de 30 estações e boias artificiais, onde a informação é disponibilizada duas vezes por dia.

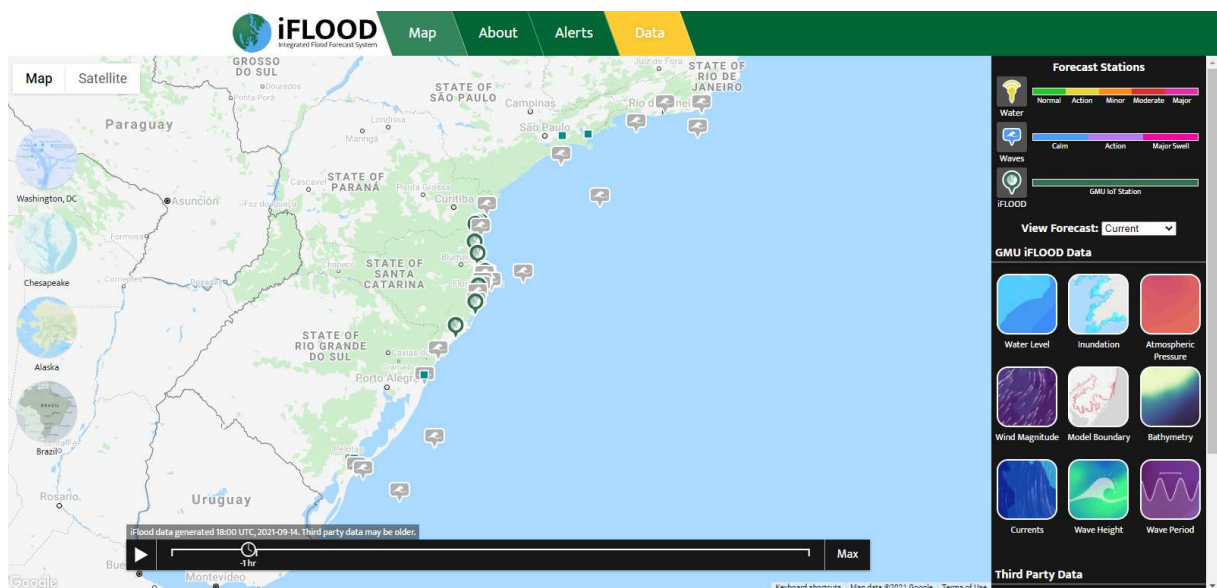


Figura 33: Captura de tela do sistema iFLOOD-Brasil.

4.6 CONSIDERAÇÕES

O modelo hidrodinâmico e de ondas ADCIRC+SWAN foi apresentado como alternativa para a simulação de tempestades e análise de cenários de SLR no litoral sul brasileiro, dadas as restrições significativas de escassez de dados da região. Além disso, a dependência dos modelos em diferentes forçantes meteorológicas foi investigada considerando três diferentes fontes de dados de vento e pressão, ou seja, a Fifth Generation of

ECMWF Atmospheric Reanalysis (ERA 5), o Climate Forecast System Versão 2 (CFSv2) e o Global Forecast System (GFS). Além disso, foram realizadas três análises de cenário para demonstrar diferentes aplicações de modelos em escala local. Primeiro, a influência astronômica de amplitudes da maré no TWL foi investigada durante um evento de tempestade. Em segundo lugar, dois cenários diferentes de SLR para o ano de 2100 foram implementados de acordo com os RCPs 4.5 e 8.5 do IPCC. Os resultados demonstram que:

(1) No que diz respeito às marés astronômicas, a abordagem apresentou uma boa concordância com as previsões oficiais utilizadas em termos de amplitudes. Em relação às simulações de eventos meteorológicos, embora constantemente subestimando os valores de TWL, os resultados de Hs apresentaram boa concordância com os dados observacionais, apesar da evidente imprecisão dos dados de magnitude do vento. Os resultados mostraram sensibilidade significativamente baixa a diferentes forças meteorológicas; no entanto, o modelo CFSv2 se destacou como a força meteorológica mais consistente para tempestades, e ERA5 foi destacado como a segunda força meteorológica mais precisa, enquanto simulava adequadamente os tempos de pico. A menor previsibilidade do modelo GFS pode ser atribuída à sua resolução mais grosseira.

(2) Foi demonstrado que, em um evento específico, a coocorrência da tempestade que surge durante uma maré de sizígia teve um impacto de 20% no TWL. Embora regidas por um regime de micro marés, as marés astronômicas se destacaram como um componente significativo de tempestade na área de estudo. Além disso, uma previsão correta das marés astronômicas representa uma importância primordial na implementação da abordagem de modelagem como um quadro para a previsão das condições hidrodinâmicas e de ondas.

(3) No primeiro cenário de SLR, um possível aumento de até 60% foi determinado no TWL durante a Tempestade 1, induzindo níveis mais altos de água ao longo da praia, enquanto no segundo cenário foi previsto um aumento de 82%. O quadro proposto é um ativo inestimável para apoiar o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima, pois considera-se que a SLR causará erosão costeira e inundações, intrusão salina e impactos sobre os recursos naturais e a biodiversidade.

(4) Os dados da presente pesquisa se mostraram aptos a serem também implementados em tempo real. Os produtos previstos em tempo real do iFLOOD são disponibilizados gratuitamente em um portal de dados baseado na web (<https://iflood.vse.gmu.edu/>) para uso público em geral e do poder público em particular.

5 CONCLUSÕES

O desenvolvimento da tese foi orientado pelas perguntas e hipóteses elaboradas, a fim de compreender como as políticas públicas e os instrumentos de gestão da zona costeira brasileira estão alinhados com a produção do conhecimento científico relacionado aos efeitos das mudanças climáticas no Brasil. Para isso, foram elaborados três capítulos, nos quais diferentes metodologias foram empregadas a fim de localizar e analisar as políticas públicas, normativas e instrumentos de gestão relacionados aos efeitos das mudanças climáticas na zona costeira brasileira; resgatar e sistematizar estudos científicos de maneira a identificar sua aptidão para uso aplicado a gestão costeira em escala local; e avaliar a efetiva aplicabilidade de dados existentes em modelos numéricos para simulação de eventos de marés de tempestade no Sul do Brasil, e elaboração de cenários para identificar impactos em escala local da SLR.

Com base nos resultados obtidos no primeiro capítulo foi possível comprovar a primeira hipótese desta tese qualificando a aplicação das políticas públicas para a zona costeira em relação as mudanças climáticas em três escalas administrativas. A análise evidenciou que as políticas e normativas para o tema abordado estão concentradas em escala nacional, e mesmo que não apresentem diretrizes específicas para a zona costeira explicitamente, abordam os aspectos de mitigação, adaptação e DRR e fornecem subsídios para elaboração de planos e estratégias de gestão, assim como nomeiam uma série de instrumentos em relação as mudanças climáticas. Contudo, ficou evidente que as lacunas em relação ao processo de gestão costeira no país estão associadas à falta de implementação dos instrumentos de gestão definidos. Por exemplo os Planos de Gerenciamento Costeiro de Santa Catarina e do município de Florianópolis, assim como o Código Estadual do Meio Ambiente não possuem nenhum instrumento completamente implementado desde a sua publicação. Não obstante, nenhuma das demais políticas e normativas analisadas foram implementadas em sua totalidade até o momento. Foi possível concluir também que apesar de abordar implicitamente alguns aspectos das mudanças climáticas, a legislação municipal encontra-se defasada nesse sentido.

Uma vez evidenciadas as lacunas em relação a legislação com enfoque na escala local, assumiu-se que informações até então não incorporadas em políticas públicas e instrumentos de gestão podem ser obtidas em estudos científicos que descrevem e avaliam processos físicos, sociais ou econômicos; risco e vulnerabilidade a perigos costeiros; e análise de impactos ambientais. Uma vez sistematizadas, essas informações poderão auxiliar o

processo de planejamento e adaptação às mudanças climáticas na zona costeira. Essa questão foi verificada em um estudo de caso, o qual possibilitou identificar dezenas de trabalhos acadêmicos que abordam tanto os efeitos das mudanças climáticas explicitamente, quanto fenômenos que irão se intensificar nos próximos anos e, portanto, fornecem uma série de subsídios tanto para a caracterização do ambiente costeiro em escala local como para o desenvolvimento de planos e estratégias para adaptação. Sendo assim, estes resultados comprovam a segunda hipótese de trabalho, de que pesquisas científicas em escala local tem o potencial de auxiliar o processo de planejamento e adaptação às mudanças climáticas na zona costeira.

A elaboração do capítulo final da tese foi motivada pelos resultados apresentados nas seções 2.6 e 3.6. Primeiramente, a análise conduzida no primeiro capítulo evidenciou que as políticas públicas e normativas relacionadas às mudanças do clima enfatizam a necessidade de fortalecer as redes de monitoramento oceanográfico, assim como dar condição para a elaboração e fortalecimento de sistemas de alertas de desastres. Assim, uma vez que o Brasil não possui uma rede de monitoramento densamente distribuída e os dados atualmente disponíveis são escassos e fragmentados, é de grande importância avaliar como a atual situação brasileira pode subsidiar estudos que visam simular eventos extremos, como marés de tempestade. Já no segundo capítulo, foi possível concluir que dentre os diversos métodos empregados pelos pesquisadores, os resultados de maior aplicabilidade para o planejamento foram observados em estudos baseados em modelagem numérica devido a sua maior capacidade preditiva, sobretudo de eventos extremos e efeitos das mudanças climáticas na zona costeira. Desse modo, o terceiro capítulo foi definido com o objetivo de avaliar a efetiva aplicabilidade de modelos preditivos de eventos extremos na costa brasileira. Ainda, uma vez definida a estrutura metodológica foram estabelecidos cenários para identificar impactos em escala local de SLR. O estudo também teve como objetivo conhecer o nível de incerteza associado aos principais modelos climáticos que fornecem informações meteorológicas para o Sul do Brasil. Apesar das limitações impostas pela falta de dados observacionais contínuos e densamente distribuídos, bem como conjuntos de dados topobatimétricos atualizados, o quadro proposto foi capaz de expandir as informações de TWL e Hs, antes disponíveis apenas para um restrito número de estações de medição, para uma escala espacialmente distribuída e temporalmente ilimitada. Essa compreensão mais abrangente dos eventos extremos representa um conhecimento valioso para a implementação de práticas de gestão costeira e engenharia mais adequadas para a zona costeira brasileira, especialmente em condições climáticas em

mudança, verificando efetivamente a terceira hipótese da pesquisa. A metodologia proposta pode contribuir muito para, por exemplo, o Programa Nacional para a Conservação da Linha de Costa (ProCosta), iniciativa de gestão costeira que agrega projetos que tratam da atualização de conjuntos de dados topobatimétricos; projeção de cenários futuros da linha de costa e identificação de riscos; e estratégias de risco e adaptação costeiras.

Com base nos aspectos mais relevantes da pesquisa, assim como principais aspectos dos procedimentos metodológicos adotados para a elaboração dos capítulos da tese, os seguintes tópicos são sugeridos para trabalhos futuros:

(1) Em relação a análise de políticas públicas e estrutura normativa para as mudanças climáticas, sugere-se a verificação dos demais itens apontados por Barragán (2004) no Decálogo para a Gestão Costeira, ou seja, Competências; Instituições públicas; Formação e Capacitação; Recursos Econômicos e Financeiros; Informação e Conhecimento; Educação para a Cidadania; e Participação cidadã nas tomadas de decisão.

(2) O segundo capítulo da tese apresenta uma análise de aptidão dos estudos identificados para a área de interesse em relação aos objetivos para atuação nas áreas litorais apontados por Barragán (2016). Sugere-se a aplicação de questionários para a verificação, junto a gestores costeiros municipais, do nível de relevância de cada um dos dez objetivos utilizados a fim de direcionar demandas e oportunidades em relação ao fomento de novas pesquisas em escala local.

(3) Com relação a abordagem numérica empregada no terceiro capítulo, sugere-se a investigação dos possíveis benefícios associados a utilização de um modelo hidrodinâmico, baroclínico, tridimensional, a fim de compreender os efeitos da circulação oceânica regional na propagação das marés de tempestade. Sugere-se também a continuação e aprimoramento do sistema de previsão proposto por Khalid et al. (2020) com relação a ampliação dos pontos para monitoramento da costa sul do Brasil e implementação de alertas de marés de tempestade com até três dias de antecedência.

REFERÊNCIAS

- ABADIE, L. M. et al. Comparing urban coastal flood risk in 136 cities under two alternative sea-level projections : RCP 8 . 5 and an expert opinion-based high-end scenario. **Ocean and Coastal Management**, v. 193, p. 105249, 2020.
- ADGER, W. N. et al. Are there social limits to adaptation to climate change? **Climatic Change**, v. 93, n. 3–4, p. 335–354, 2009.
- AFSHAR-KAVEH, N. et al. Evaluation of Different Wind Fields for Storm Surge Modeling in the Persian Gulf. **Journal of Coastal Research**, v. 33, n. 3, p. 596–606, 2016.
- ALBUQUERQUE, I. et al. **Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas de clima do Brasil (1970-2019)**. Brasília: [s.n.].
- ALEXANDER, K. S.; RYAN, A.; MEASHAM, T. G. Managed retreat of coastal communities: Understanding responses to projected sea level rise. **Journal of Environmental Planning and Management**, v. 55, n. 4, p. 409–433, 2012.
- ALFREDINI, P. et al. Exposure of Santos Harbor Metropolitan Area (Brazil) to Wave and Storm Surge Climate Changes. **Water Qual Expo Health**, v. 6, p. 73–88, 2014.
- ALFREDINI, P.; ARASAKI, E.; FERNANDO, R. Mean sea-level rise impacts on Santos Bay , Southeastern Brazil – physical modelling study. **Environ Monit Assess**, v. 144, p. 377–387, 2008.
- ANDRADE, J.; SCHERER, M. E. G. Decálogo da gestão costeira para Santa Catarina: avaliando a estrutura estadual para o desenvolvimento do Programa Estadual de Gerenciamento Costeiro. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 29, p. 139–154, 2014.
- ARAÚJO, C. E. S. et al. Wave regime characteristics of the Southern Brazilian Coast. **Sixth International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries**, v. XI, n. 097, p. 15, 2003.
- ARCHER, D. et al. Moving towards inclusive urban adaptation: approaches to integrating community-based adaptation to climate change at city and national scale. **Climate and Development**, v. 6, n. 4, p. 345–356, 2014.
- BAILLS, A.; GARCIN, M.; BULTEAU, T. Assessment of selected climate change adaptation measures for coastal areas. **Ocean and Coastal Management**, v. 185, n. November 2019, p. 105059, 2020.
- BAIXO, E. H. S. **Identificação da vulnerabilidade da linha de costa Catarinense a**

episódios de alta energia com base no modelo INVEST Florianópolis, 2015.

BAKER, I. et al. Local government response to the impacts of climate change: An evaluation of local climate adaptation plans. **Landscape and Urban Planning**, v. 107, n. 2, p. 127–136, 2012.

BARBI, F.; DA COSTA FERREIRA, L. Governing Climate Change Risks: Subnational Climate Policies in Brazil. **Chinese Political Science Review**, v. 2, n. 2, p. 237–252, 2017.

BARRAGÁN, J. Las áreas litorales de España: Del análisis geográfico a la gestión integrada. p. 215, 2004.

BARRAGÁN, J. M. **Política, Gestão e Litoral: Uma nova visão da gestão integrada de áreas litorais**. Madrid: Tébar Flores, 2016.

BARRAGÁN, J. M. Progress of coastal management in Latin America and the Caribbean. **Ocean and Coastal Management**, v. 184, n. July 2019, 2020.

BATSTONE, C. et al. A UK best-practice approach for extreme sea-level analysis along complex topographic coastlines. **Ocean Engineering**, v. 71, p. 28–39, 2013.

BIRCHALL, S. J.; BONNETT, N. Climate change adaptation policy and practice: The role of agents, institutions and systems. **Cities**, v. 108, n. October 2020, p. 103001, 2021.

BIRKMANN, J. Risk and vulnerability indicators at different scales: Applicability, usefulness and policy implications. **Environmental Hazards**, v. 7, n. 1, p. 20–31, 2007.

BONETTI, J.; RUDORFF, F. M.; CAMPOS, A. V. Geoindicator-based assessment of Santa Catarina (Brazil) sandy beaches susceptibility to erosion. **Ocean and Coastal Management**, p. 1–11, 2017.

BONETTI, J.; WOODROFFE, C. Spatial Analysis for Coastal Vulnerability Assessment. In: BARLETT, D.; CELLIERS, L. (Eds.). **GEOINFORMATICS for Marine and Coastal Management**. Boca Raton: [s.n.]. p. 367–396.

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

BREEDIJK, J. et al. **Analysis of solutions for problems caused by beach erosion and dune encroachment**. Florianópolis: [s.n.].

BUSAYO, E. T.; KALUMBA, A. M. Recommendations for linking climate change adaptation and disaster risk reduction in urban coastal zones: Lessons from East London, South Africa. **Ocean and Coastal Management**, v. 203, n. October 2020, p. 105454, 2021.

BUURMAN, J.; BABOVIC, V. Adaptation Pathways and Real Options Analysis: An approach to deep uncertainty in climate change adaptation policies. **Policy and Society**, v. 35,

n. 2, p. 137–150, 2016.

CALLIARI, L. J. et al. Morfodinâmica praial: uma breve revisão. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 51, n. unico, p. 63–78, 2003.

CANADELL, J. G.; RAUPACH, M. R. Managing forests for climate change mitigation. **Science**, v. 320, n. 5882, p. 1456–1457, 2008.

CANDELLA, R. N.; SOUZA, S. M. L. Ondas oceânicas extremas na costa sul-sudeste Brasileira geradas por ciclone com trajetória anormal em maio de 2011. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 4, p. 441–456, 2013.

CARTER, R. W. G. **Coastal Environments: An Introduction to physical, Ecological, and Cultural Systems of Coastlines**. London: Academic Press, 1988.

CELLIERS, L. et al. Pathways of integrated coastal management from national policy to local implementation: Enabling climate change adaptation. **Marine Policy**, v. 39, n. 1, p. 72–86, 2013.

CEPED. **Relatório dos danos materiais e prejuízos decorrentes de desastres naturais em Santa Catarina: 1995 - 2014**. Florianópolis: Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres, 2016.

CHAI, T.; DRAXLER, R. R. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – Arguments against avoiding RMSE in the literature. **Geosci. Model Dev**, v. 7, n. February, p. 1247–1250, 2014.

CHURCH, J. A. et al. Sea Level Change. In: STOCKER, T. F. et al. (Eds.). **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

CICIN-SAIN, B.; KNECHT, R. W. **Sustainable development and integrated coastal management**. [s.l: s.n.]. v. 21

CIRANO, M.; CAMPOS, E. J. D. Numerical diagnostic of the circulation in the Santos Bight with COROAS hydrographic data. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 44, n. 2, p. 105–121, 1996.

CLARK, J. R. Coastal zone management for the new century. **Ocean and Coastal Management**, v. 37, n. 2, p. 191–216, 1997.

CONN, V. S. et al. Grey literature in meta-analyses. - PubMed - NCBI. **Nursing Research**, v. 52, n. 4, p. 256–261, 2003.

CORDES, R. Is grey literature ever used? Using citation analysis to measure the impact of

- GESAMP, an international Marine scientific advisory body. **Canadian Journal of Information and Library Science**, v. 28, n. 1, p. 49–69, 2004.
- CORLETT, R. T. Trouble with the Gray Literature. **Biotropica**, v. 43, n. 1, p. 3–5, 2011.
- CORRAINI, N. R. et al. Troubles in the paradise : Litter and its scenic impact on the North Santa Catarina island beaches , Brazil. **Marine Pollution Bulletin journal**, v. 131, p. 572–579, 2018.
- COWELL, P. J.; THOM, B. G. Morphodynamics of coastal evolution. In: WOODROFFE, C. D.; CARTER, R. W. G. (Eds.). **Coastal Evolution: Late Quaternary Shoreline Morphodynamics**. Cambridge: Columbia University Press, 1994. p. 33–86.
- CROWELL, M. et al. How Many People Live in Coastal Areas? **Journal of Coastal Research**, v. 235, n. May 2007, p. iii–vi, 2007.
- CUCHIARA, D. C. et al. Determination of the wave climate for the southern Brazilian shelf. **Continental Shelf Research**, v. 29, n. 3, p. 545–555, 2009.
- CULLINAN, C. **Integrated coastal management law Establishing and strengthening national legal frameworks for integrated coastal management**. Legislativ ed. Roma: FAO, 2006.
- CYRIAC, R. et al. Variability in Coastal Flooding predictions due to forecast errors during Hurricane Arthur. **Coastal Engineering**, v. 137, n. February, p. 59–78, 2018.
- DA SILVA, G. V. et al. Shoreline Change Analysis and Insight into the Sediment Transport Path along Santa Catarina Island North Shore, Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 320, n. 1999, p. 863–874, 2016.
- DANTAS, A. L. F. L. **O uso de indicadores socioambientais para análise da atividade turística na Ilha de Santa Catarina, município de Florianópolis/SC**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.
- DASGUPTA, S. et al. Exposure of developing countries to sea-level rise and storm surges. **Climatic Change**, v. 106, n. 4, p. 567–579, 2011.
- DE ANDRÉS, M.; BARRAGÁN, J. M.; SCHERER, M. E. G. Urban centres and coastal zone definition: Which area should we manage? **Land Use Policy**, v. 71, p. 121–128, 2018.
- DE LEON, E. G.; PITTOCK, J. Integrating climate change adaptation and climate-related disaster risk-reduction policy in developing countries: A case study in the Philippines. **Climate and Development**, v. 9, n. 5, p. 471–478, 2016.
- DE LIMA, A. DE S. et al. Diagnóstico da gestão costeira e das políticas públicas do município de São Francisco do Sul, SC, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 63, n. 2,

p. 139–153, 2018.

DE LIMA, A. DE S. et al. Hydrodynamic and waves response during storm surges on the southern brazilian coast: A hindcast study. **Water (Switzerland)**, v. 12, n. 12, 2020.

DEB, M.; FERREIRA, C. M. Simulation of cyclone-induced storm surges in the low-lying delta of Bangladesh using coupled hydrodynamic and wave model (SWAN + ADCIRC). **Journal of Flood Risk Management**, v. 11, p. S750–S765, 2018.

DEFANT, A. **Physical Oceanography**. 2. ed. New York: Pergamon, 1961.

DIEDERICHSEN, S. D. et al. Gestão costeira no município de Florianópolis, SC, Brasil: Um diagnóstico. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 13, n. 4, p. 499–512, 2013.

DIEGUES, A. C. Human populations and coastal wetlands: Conservation and management in Brazil. **Ocean and Coastal Management**, v. 42, n. 2–4, p. 187–210, 1999.

DIETRICH, J. C. et al. Modeling hurricane waves and storm surge using integrally-coupled, scalable computations. **Coastal Engineering**, v. 58, n. 1, p. 45–65, 2011.

DINÁPOLI, M. G.; SIMIONATO, C. G.; MOREIRA, D. Nonlinear tide-surge interactions in the Río de la Plata Estuary. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 241, n. April, p. 106834, 2020.

DUBE, S. K. et al. Storm surge modelling for the Bay of Bengal and Arabian Sea. **Natural Hazards**, v. 51, n. 1, p. 3–27, 2009.

DUBE, S. K. et al. Storm Surge Modeling and Applications in Coastal Areas. In: CHAN, J. C. L.; KEPERT, J. D. (Eds.). **Global Perspectives on Tropical Cyclones**. [s.l.] World Scientific, 2010. p. 363–406.

EGBERT, G. D.; EROFEEVA, S. Y. Efficient Inverse Modeling of Barotropic Ocean Tides. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 19, n. 2, p. 183–204, 2002.

ELLEGAARD, O.; WALLIN, J. A. The bibliometric analysis of scholarly production: How great is the impact? **Scientometrics**, v. 105, n. 3, p. 1809–1831, 2015.

ESTEBAN, M. et al. Adaptation to sea level rise : Learning from present examples of land subsidence. **Ocean and Coastal Management**, v. 189, n. June 2019, p. 104852, 2020.

ESTEVEZ, L.; FINKL, C. The Problem of Critically Eroded Areas (CEA): An Evaluation of Florida Beaches. **Journal of Coastal Research**, v. 19, n. SI 26, p. 11–18, 1998.

FARACE, D. **Foreword**. In **Third International Conference on Grey Literature: Perspectives on the Design and Transfer of Scientific and technical Information**, GL. GL 2004 Conference Proceedings. **Anais...Luxembourg**: GrayNet/TransAtlantic, 1997.

FARACO, K. R.; CASTILHOS, J. A.; HORN FILHO, N. O. Morphodynamic Aspects and El

- Niño Oscillations in Ingleses Beach, Santa Catarina Island, Southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, n. 39, p. 656–659, 2004.
- FAWZY, S. et al. Strategies for mitigation of climate change: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 18, n. 6, p. 2069–2094, 2020.
- FERREIRA, C. M.; IRISH, J. L.; OLIVERA, F. Quantifying the potential impact of land cover changes due to sea-level rise on storm surge on lower Texas coast bays. **Coastal Engineering**, v. 94, p. 102–111, 2014.
- FORINO, G. et al. Climate Change Adaptation and Disaster Risk reduction integration: Strategies, Policies, and Plans in three Australian Local Governments. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 24, n. November, p. 100–108, 2017.
- FRANZ, G. A. S. et al. From regional to local scale modelling on the south-eastern Brazilian shelf: Case study of Paranaguá estuarine system. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 64, n. 3, p. 277–294, 2016.
- GAN, M. A.; RAO, V. B. Surface Cyclogenesis over South America. **American Meteorological Society**, p. 1293–1302, 1991.
- GARZON, J. L.; FERREIRA, C. M.; PADILLA-HERNANDEZ, R. Evaluation of weather forecast systems for storm surge modeling in the Chesapeake Bay. **Ocean Dynamics**, v. 68, n. 1, p. 91–107, 2018.
- GEBCO COMPILATION GROUP. **General Bathymetric Chart of the Oceans**, 2019. Disponível em: <https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/>
- GEX-CIM. **Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima**. Brasília: [s.n.].
- GLÄNZEL, W. The need for standards in bibliometric research and technology. **Scientometrics**, v. 35, n. 2, p. 167–176, 1996.
- GRAHAM, S. et al. The social values at risk from sea-level rise. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 41, p. 45–52, 2013.
- GRAMCIANINOV, C. B.; HODGES, K. I.; CAMARGO, R. The properties and genesis environments of South Atlantic cyclones. **Climate Dynamics**, v. 53, n. 7–8, p. 4115–4140, 2019.
- GRINSTED, A.; MOORE, J. C.; JEVREJEVA, S. Reconstructing sea level from paleo and projected temperatures 200 to 2100 AD. **Climate Dynamics**, v. 34, n. 4, p. 461–472, 2010.
- HADDAWAY, N. R. et al. The role of google scholar in evidence reviews and its applicability to grey literature searching. **PLoS ONE**, v. 10, n. 9, p. 1–17, 2015.
- HANSON, S. et al. A global ranking of port cities with high exposure to climate extremes.

Climatic Change, v. 104, n. 1, p. 89–111, 2011.

HARARI, J. Desenvolvimento de um modelo numérico hidrodinâmico tri-dimensaional linear, para a simulação e a previsão da circulação na plataforma brasileira entre 23 e 26S.

Bolm Inst. Oceanogr., v. 33, n. 2, p. 159–191, 1985.

HARARI, J.; DE CAMARGO, R. Numerical simulation of the tidal propagation in the coastal region of Santos (Brazil, 24°S 46°W). **Continental Shelf Research**, v. 23, n. 16, p. 1597–1613, 2003.

HARLEY, C. D. G. et al. The impacts of climate change in coastal marine systems. **Ecology Letters**, v. 9, n. 2, p. 228–241, 2006.

HERSBACH, H. et al. The ERA5 global reanalysis. n. September 2019, p. 1–51, 2020.

HOLMAN, L.; STUART-FOX, D.; HAUSER, C. E. The gender gap in science: How long until women are equally represented? **PLoS Biology**, v. 16, n. 4, p. 1–20, 2018.

HSIAO, S. C. et al. Flood risk influenced by the compound effect of storm surge and rainfall under climate change for low-lying coastal areas. **Science of the Total Environment**, v. 764, p. 144439, 2021.

HURLIMANN, A.; MOOSAVI, S.; BROWNE, G. R. Urban planning policy must do more to integrate climate change adaptation and mitigation actions. **Land Use Policy**, v. 101, n. October 2020, p. 105188, 2021.

IBGE. **Estimativas de população para 2021**. 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 10 set. 2021.

IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva: [s.n.].

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Changes 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

IRISH, J. L. et al. Potential implications of global warming and barrier island degradation on future hurricane inundation , property damages , and population impacted. **Ocean and Coastal Management**, v. 53, n. 10, p. 645–657, 2010.

JOYCE, B. R. et al. High resolution modeling of western Alaskan tides and storm surge under varying sea ice conditions. **Ocean Modelling**, v. 141, n. July, p. 101421, 2019.

KALYANAPU, A. J.; BURIAN, S. J.; MCPHERSON, T. N. Effect of land use-based surface roughness on hydrologic model output. **Journal of Spatial Hydrology**, v. 9, n. 2, 2009.

- KAY, R.; ALDER, J. **Coastal planning and management**. New York: Spon Press, 1999.
- KHALID, A. et al. Hydrodynamic and wave responses during storm surges on the southern brazilian coast: A real-time forecast system. **Water (Switzerland)**, v. 12, n. 12, p. 1–21, 2020.
- KHALID, A.; FERREIRA, C. Advancing real-time flood prediction in large estuaries: iFLOOD a fully coupled surge-wave automated web-based guidance system. **Environmental Modelling & Software**, v. 131, n. February, p. 104748, 2020.
- KIRINUS, E. DE P. et al. Long-term simulations for ocean energy off the Brazilian coast. **Energy**, v. 163, p. 364–382, 2018.
- KLEIN, A. et al. **Metodologia para quantificação de perigos costeiros e projeção de linhas de costa futuras como subsídio para estudo de adaptação das zonas costeiras: Litoral norte da Ilha de Santa Catarina e entorno**. [s.l.: s.n.]. v. 1
- KLEIN, A. H. DA F.; SHORT, A. D.; BONETTI, J. Santa Catarina Beach Systems. In: SHORT, A. D.; KLEIN, A. H. DA F. (Eds.). **Brazilian Beach Systems**. [s.l.] Springer International Publishing, 2016b. p. 465–506.
- KLEIN, A. H. F. et al. Morphodynamics of structurally controlled headland-bay beaches in southeastern Brazil: A review. **Coastal Engineering**, v. 57, n. 2, p. 98–111, 2010.
- KLEIN, A.; SHORT, A.; BONETTI, J. Santa Catarina Beach Systems. In: SHORT, A. D.; KLEIN, A. H. DA F. (Eds.). **Brazilian Beach Systems**. Sydney: Springer, 2016c.
- KLEIN, R. J. T. et al. Technological Options for Adaptation to Climate Change in Coastal Zones. **Journal of Coastal Research Journal of Coastal Research**, v. 17, n. 3, p. 531–543, 2001.
- KLEIN, R. J. T.; NICHOLLS, R. J.; MIMURA, N. Coastal adaptation to climate change: can the IPCC technical guidelines be applied? In: **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**. 4. ed. [s.l.] Kluwer Academic Publishers, 1999. p. 239–252.
- KONISKY, D. M.; HUGHES, L.; KAYLOR, C. H. Extreme weather events and climate change concern. **Climatic Change**, v. 134, n. 4, p. 533–547, 2016.
- KRUEGER, T. et al. The role of expert opinion in environmental modelling. **Environmental Modelling and Software**, v. 36, p. 4–18, 2012.
- LAWLER, S.; HADDAD, J.; FERREIRA, C. M. Sensitivity considerations and the impact of spatial scaling for storm surge modeling in wetlands of the Mid-Atlantic region. **Ocean and Coastal Management**, v. 134, p. 226–238, 2016.
- LEAL, K. B.; BONETTI, J.; PEREIRA, P. DE S. Influência da orientação de praia na retração

da linha de costa induzida por marés de tempestade: Armação e Canasvieiras, Ilha de Santa Catarina - SC. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 4, p. 1730–1753, 2020.

LI, A. et al. Modeling wave effects on storm surge from different typhoon intensities and sizes in the South China Sea. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 235, n. December 2019, p. 106551, 2020a.

LI, J.; WANG, M. H.; HO, Y. S. Trends in research on global climate change: A Science Citation Index Expanded-based analysis. **Global and Planetary Change**, v. 77, n. 1–2, p. 13–20, 2011.

LI, R. et al. On the sensitivity of hurricane storm surge simulation to domain size. **Ocean Modelling**, v. 67, p. 1–12, 2013.

LI, X.; LEONARDI, N.; PLATER, A. J. Impact of Barrier Breaching on Wetland Ecosystems under the Influence of Storm Surge, Sea-Level Rise and Freshwater Discharge. **Wetlands**, v. 40, n. 4, p. 771–785, 2020b.

LIMA, A. S. et al. Informação de base ecossistêmica como ferramenta de apoio à gestão costeira integrada da Ilha de Santa Catarina, Brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, 2018.

LIMA, C. O.; BONETTI, J. Bibliometric analysis of the scientific production on coastal communities' social vulnerability to climate change and to the impact of extreme events. **Natural Hazards**, v. 102, n. 3, p. 1589–1610, 2020.

LIU, H. et al. Numerical study of the sensitivity of mangroves in reducing storm surge and flooding to hurricane characteristics in southern Florida. **Continental Shelf Research**, v. 64, p. 51–65, 2013.

LIU, S. K. Using coastal models to estimate effects of sea level rise. **Ocean and Coastal Management**, v. 37, n. 1, p. 85–94, 1997.

LOPES, C. L.; DIAS, J. M. Assessment of flood hazard during extreme sea levels in a tidally dominated lagoon. **Natural Hazards**, v. 77, n. 2, p. 1345–1364, 2015.

LUETTICH, R. A.; WESTERINK, J. J.; SCHEFFNER, N. W. **ADCIRC: An Advanced Three-Dimensional Circulation Model for Shelves Coasts and Estuaries, Report 1: Theory and Methodology of ADCIRC-2DDI and ADCIRC-3DL, Dredging Research Program Technical Report DRP-92-6.** [s.l: s.n.].

LYDDON, C. et al. Flood Hazard Assessment for a Hyper-Tidal Estuary as a Function of Tide-Surge-Morphology Interaction. **Estuaries and Coasts**, v. 41, n. 6, p. 1565–1586, 2018.

MACHADO, A. A.; CALLIARI, L. J. Synoptic Systems Generators of Extreme Wind in

- Southern Brazil: Atmospheric Conditions and Consequences in the Coastal Zone. **Journal of Coastal Research**, v. 75, n. sp1, p. 1182–1186, 2016.
- MADSEN, O. S.; POON, Y.-K.; GRABER, H. C. **Spectral wave attenuation by bottom friction: Theory**. Proceedings of the 21st International Conference on Coastal Engineering. **Anais...Malaga: American Society of Civil Engineers**, 1988.
- MARCELINO, E. V. Impact of the Catarina cyclone on the southern region of Santa Catarina: field observations. **Revista de Defesa Civil**, v. 1, n. 1, p. 4–8, 2005.
- MARCOS, M. et al. Increased Extreme Coastal Water Levels Due to the Combined Action of Storm Surges and Wind Waves. **Geophysical Research Letters**, v. 46, n. 8, p. 4356–4364, 2019.
- MATANO, R. P.; PALMA, E. D.; PIOLA, A. R. The influence of the Brazil and Malvinas Currents on the Southwestern Atlantic Shelf circulation. **Ocean Science**, v. 6, n. 4, p. 983–995, 2010.
- MAURITZEN, C.; ZIVKOVIC, T.; VELDORE, V. On the relationship between climate sensitivity and modelling uncertainty. **Tellus, Series A: Dynamic Meteorology and Oceanography**, v. 69, n. 1, p. 1–12, 2017.
- MCGINNIS, M. V.; MCGINNIS, C. E. Adapting to climate impacts in California: The importance of civic science in local coastal planning. **Coastal Management**, v. 39, n. 3, p. 225–241, 2011.
- MCGRANAHAN, G.; BALK, D.; ANDERSON, B. The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. **Environment and Urbanization**, v. 19, n. 1, p. 17–37, 2007.
- MCLEOD, E. et al. Sea-level rise impact models and environmental conservation: A review of models and their applications. **Ocean and Coastal Management**, v. 53, n. 9, p. 507–517, 2010.
- MCTAGGART-COWAN, R. et al. Analysis of Hurricane Catarina (2004). **American Meteorological Society**, v. 134, n. 11, p. 3029–3053, 2006.
- MELO, E. et al. **Distribuição estatística de alturas de ondas individuais em Santa Catarina: resultados preliminares**. 2º Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica. **Anais...Rio Grande: FURG**, 2006.
- MIMURA, N. Vulnerability of island countries in the South Pacific to sea level rise and climate change. **Climate Research**, v. 12, n. 2-3 SPEC. ISS. 6, p. 137–143, 1999.
- MIRZA, M. M. Q. Climate change and extreme weather events: Can developing countries

adapt? **Climate Policy**, v. 3, n. 3, p. 233–248, 2003.

MONTANARI, F. **Estimativa dos impactos econômicos em função do aumento do nível médio do mar no município de Florianópolis/SC para o ano de 2100**. UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, 2015.

MORADI, M.; KAZEMINEZHAD, M. H.; KABIRI, K. Integration of Geographic Information System and system dynamics for assessment of the impacts of storm damage on coastal communities - Case study: Chabahar, Iran. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 49, n. June 2019, p. 101665, 2020.

MROSOVSKY, N.; GODFREY, M. H. The path from grey literature to Red Lists. **Endangered Species Research**, v. 6, n. 2, p. 185–191, 2008.

MULER, M. **Avaliação da vulnerabilidade de praias da Ilha de Santa Catarina a perigos costeiros através da aplicação de um índice multicritério**. 2012.

MULER, M.; BONETTI, J. An Integrated Approach to Assess Wave Exposure in Coastal Areas for Vulnerability Analysis. **Marine Geodesy**, n. 37, p. 220–237, 2014.

MURTY, P. L. N. et al. Numerical study of coastal hydrodynamics using a coupled model for Hudhud cyclone in the Bay of Bengal. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 183, p. 13–27, 2016.

MUSSI, C. S. **Avaliação da sensibilidade ambiental costeira e de risco à elevação média dos oceanos e incidência de ondas de tempestade: um estudo de caso para ilha de Santa Catarina, SC**. UNIVERSIDADE DO VALE DO ITAJAÍ, 2011.

MUSSI, C. S. **Mapeamento da geodiversidade e análise de bens e serviços ecossistêmicos prestados pela plataforma continental de Santa Catarina, Brasil. Dissertation (not published)**. Santa Catarina Federal University. Florianopolis, Brazil, 2017.

MUSSI, C. S.; BONETTI, J.; SPERB, R. M. Coastal sensitivity and population exposure to sea level rise: a case study on Santa Catarina Island , Brazil. **Journal of Coastal Conservation**, n. 2009, 2018.

NETO, C. B. R. **A integração de geoindicadores e reparcelamento do solo na gestão ambiental urbana**. 2003.

NEUMANN, B. et al. Future coastal population growth and exposure to sea-level rise and coastal flooding - A global assessment. **PLoS ONE**, v. 10, n. 3, 2015.

NGUYEN, T. T. X. et al. Indicator-based assessment of climate-change impacts on coasts: A review of concepts, methodological approaches and vulnerability indices. **Ocean and Coastal Management**, v. 123, p. 18–43, 2016.

- NICHOLLS, R. J. Coastal flooding and wetland loss in the 21st century: Changes under the SRES climate and socio-economic scenarios. **Global Environmental Change**, v. 14, n. 1, p. 69–86, 2004.
- NICHOLLS, R. J.; CAZENAVE, A. Sea-Level Rise and Its Impact on Coastal Zones. **Science**, v. 328, n. 5985, p. 1517–1520, 2010.
- NICOLODI, J. L.; PETERMANN, R. M. Mudanças Climáticas e a Vulnerabilidade da Zona Costeira do Brasil Aspectos ambientais, sociais e tecnológicos. **Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 10, n. 2, p. 151–177, 2010.
- O'DONNELL, T. Coastal management and the political-legal geographies of climate change adaptation in Australia. **Ocean and Coastal Management**, v. 175, n. April, p. 127–135, 2019.
- OHZ, A.; KLEIN, A. H. F.; FRANCO, D. A Multiple Linear Regression-Based Approach for Storm Surge Prediction Along South Brazil Arthur. In: **Climate Change, Hazards and Adaptation Options**. [s.l.] Springer International Publishing, 2020. p. 369–388.
- OLIVEIRA, M. R. L. DE; NICOLODI, J. L. A Gestão Costeira no Brasil e os dez anos do Projeto Orla. Uma análise sob a ótica do poder público. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 12, n. 1, p. 89–98, 2012.
- OLIVEIRA, T. C. R. DE et al. Classificação dos cenários costeiros de praias da Ilha de Santa Catarina, Florianópolis – Brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 39, n. December 2016, p. 217–229, 2016.
- OLIVEIRA, U. R. **Relações entre a morfodinâmica e a utilização em trechos da costa oceânica da Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.
- OLIVEIRA, U. R. Utilização e conservação de trechos da orla oceânica da ilha de Santa Catarina e problemas associados à erosão costeira. **Cadernos do Núcleo de Análises Urbanas**, n. Figura 1, 2010.
- PACHAURI, R. K. et al. **Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva, Switzerland: IPCC, 2014.
- PALMA, E. D.; MATANO, R. P.; PIOLA, A. R. A numerical study of the Southwestern Atlantic Shelf circulation: Barotropic response to tidal and wind forcing. **Journal of Geophysical Research C: Oceans**, v. 109, n. 8, p. 1–17, 2004.
- PARISE, C. K.; CALLIARI, L. J.; KRUSCHE, N. Extreme storm surges in the south of

- Brazil: Atmospheric conditions and shore erosion. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 57, n. 3, p. 175–188, 2009.
- PARODI, M. U. et al. Uncertainties in Coastal Flood Risk Assessments in Small Island Developing States. n. December, p. 1–29, 2019.
- PBMC. **Base científica das mudanças climáticas: Primeiro relatório de avaliação nacional**. Rio de Janeiro: [s.n.].
- PEREIRA, A. F. et al. Numerical simulation of M2 internal tides in the South Brazil Bight and their interaction with the Brazil Current. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 112, n. 4, 2007.
- PEZZI, L. P.; SOUZA, R. B. DE. A Review on the Ocean-Atmosphere Interaction Processes in Regions of Strong Sea Surface Temperature Gradients of The South Atlantic Ocean Based on Observational Data. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 4, p. 428–453, 2016.
- PHILLIPS, M. R.; CRISP, S. Sea level trends and NAO influences: The Bristol Channel/Severn Estuary. **Global and Planetary Change**, v. 73, n. 3–4, p. 211–218, 2010.
- PRADO, M. F. V. **Previsão dos regimes de impactos gerados por tempestades sobre o sistema praiial e a duna frontal**. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, 2016.
- QUETZALCÓATL, O. et al. SMC_c, a coastal modeling system for assessing beach processes and coastal interventions: Application to the Brazilian coast. **Environmental Modelling and Software**, v. 116, n. March, p. 131–152, 2019.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**R Foundation for Statistical Computing, , 2020. Disponível em: <<http://www.r-project.org/>>
- RANGEL-BUITRAGO, N.; ANFUSO, G. Winter wave climate, storms and regional cycles: The SW Spanish Atlantic coast. **International Journal of Climatology**, v. 33, n. 9, p. 2142–2156, 2013.
- RAUB, K. B.; COTTI-RAUSCH, B. E. Helping Communities Adapt and Plan for Coastal Hazards: Coastal Zone Management Program Recommendations for National Tool Developers. **Coastal Management**, v. 47, n. 3, p. 253–268, 2019.
- RIBEIRO, R. S.; BONETTI, J.; KLEIN, A. H. F. Caracterização Morfológica e Hidrodinâmica de Praias do Estado de Santa Catarina com Vistas à Avaliação de Perigo ao Banhista Introdução. **Geosul**, v. 30, n. 60, p. 49–69, 2015.
- ROBERTS, K. J.; PRINGLE, W. J.; WESTERINK, J. J. OceanMesh2D 1.0: MATLAB-based software for two-dimensional unstructured mesh generation in coastal ocean modeling. **Geoscientific Model Development**, v. 12, n. 5, p. 1847–1868, 2019.

- RODRÍGUEZ, M. G. et al. Brazilian Coastal Processes: Wind, Wave Climate and Sea Level. In: SHORT, A. D.; KLEIN, A. H. DA F. (Eds.). **Brazilian Beach Systems**. [s.l.] Springer International Publishing, 2016. p. 37–66.
- ROSENDO, S.; CELLIERS, L.; MECHISSO, M. Doing more with the same: A reality-check on the ability of local government to implement Integrated Coastal Management for climate change adaptation. **Marine Policy**, v. 87, n. October 2017, p. 29–39, 2018.
- RUDORFF, F. M. et al. Maré de Tempestade. In: HERRMANN, M. L. P. (Ed.). **Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina: período de 1980 a 2010**. 2. ed. Florianópolis: IHGSC/Cadernos Geográficos, 2014. p. 151–154.
- RUDORFF, F. M.; BONETTI, J. Avaliação da suscetibilidade à erosão costeira de praias da ilha de santa catarina. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 14, n. 1, p. 9–20, 2010.
- RUEDA, A. et al. A global classification of coastal flood hazard climates associated with large-scale oceanographic forcing. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, 2017.
- SAHA, S. et al. The NCEP climate forecast system version 2. **Journal of Climate**, v. 27, n. 6, p. 2185–2208, 2014.
- SARAIVA, J. M. B. et al. Monitoring of Storm Surges on Cassino Beach , RS , Brazil. **Journal of Coastal Research**, n. 35, p. 323–331, 2003.
- SCHERER, M. et al. Urbanização e Gestão do Litoral Centro-Sul do Estado de Santa Catarina. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 13, p. 31–50, 2006.
- SCHERER, M. E. G.; ASMUS, M. L. Modeling to evaluate coastal governance in Brazil. **Marine Policy**, v. 129, n. April, p. 104501, 2021.
- SCHERER, M. E. G.; ASMUS, M. L.; GANDRA, T. B. R. Evaluation of coastal management in brazil: Union, states and municipalities. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 44, p. 431–444, 2018.
- SCHUERCH, M. et al. Future response of global coastal wetlands to sea-level rise. **Nature**, v. 561, n. 7722, p. 231–234, 2018.
- SDS. **Levantamento Aerofotogramétrico 2010 - Modelo Digital de Terreno**Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS), , 2010.
- SEBASTIAN, A. et al. Characterizing hurricane storm surge behavior in Galveston Bay using the SWAN + ADCIRC model. **Coastal Engineering**, v. 88, p. 171–181, 2014.
- SERAFIM, M. B. **Aplicação de um índice multicritério de vulnerabilidade a eventos extremos para praias do Estado de Santa Catarina através de análise**

espacial Florianópolis, 2014.

SERAFIM, M. B. **Análise espacial da vulnerabilidade das praias do Estado de Santa Catarina a ondas por meio de um índice multicritério**. Universidade de São Paulo, 2017.

SERAFIM, M. B. et al. Coastal vulnerability to wave impacts using a multi-criteria index: Santa Catarina (Brazil). **Journal of Environmental Management**, v. 230, n. August 2018, p. 21–32, 2019.

SERRAO-NEUMANN, S. et al. Maximising synergies between disaster risk reduction and climate change adaptation: Potential enablers for improved planning outcomes. **Environmental Science and Policy**, v. 50, p. 46–61, 2015.

SHORT, A. D. **Handbook of beach and shoreface morphodynamics**. Brisbane: John Wiley & Sons, 1999.

SILVA, E. M. **Sistema de avaliação de desempenho ambiental para empreendimentos hoteleiros: estudo de casos na praia dos Ingleses**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

SILVA, G. M. et al. Changes in dunefield geomorphology and vegetation cover as a response to local and regional climate variations Changes in dunefield geomorphology and vegetation cover as a response to local and regional climate variations. **Journal of Coastal Conservation**, v. 65, p. 1307–1312, 2013.

SILVA, P. G. **Exposição à inundação costeira nas praias dos Ingleses, Moçambique e Barra da Lagoa, Florianópolis, SC**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

SILVA, P. G. et al. Performance assessment of the database downscaled ocean waves (DOW) on Santa Catarina coast, South Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 87, n. 2, p. 623–634, 2015.

SILVA, G. V. et al. Shoreline Change Analysis and Insight into the Sediment Transport Path along Santa Catarina Island North Shore , Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 32, n. 4, p. 863–874, 2016.

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

SMALL, C.; NICHOLLS, R. J. A global analysis of human settlement in coastal zones. **Journal of Coastal Research**, v. 19, n. 3, p. 584–599, 2003.

SMIT, B. et al. **An Anatomy of Adaptation to Climate Change and Variability** **Societal Adaptation to Climate Variability and Change**, 2000.

STANEVA, J. et al. Coastal flooding: Impact of waves on storm surge during extremes

– A case study for the German Bight. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 16, n. 11, p. 2373–2389, 2016.

STEVENS, M. R.; SENBEL, M. Are municipal land use plans keeping pace with global climate change? **Land Use Policy**, v. 68, n. July, p. 1–14, 2017.

SU, Y. T.; HOCK, L. K. Climate change and soil salinization: impact on agriculture, water and food security. **International Journal of Agriculture, Forestry and Plantation**, v. 2, n. February, p. 1–9, 2016.

THIBES, M. M. **Conflitos socioambientais e áreas de preservação permanente em meio urbano: o caso da Vila do Arvoredo, município de Florianópolis**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

THOMAS, A. et al. Climate change adaptation planning in practice: insights from the Caribbean. **Regional Environmental Change**, v. 19, n. 7, p. 2013–2025, 2019.

TOBEY, J. et al. Practicing coastal adaptation to climate change: Lessons from integrated coastal management. **Coastal Management**, v. 38, n. 3, p. 317–335, 2010.

UNDP. **Latest Human Development Index Ranking**. 2020. Disponível em: <<http://hdr.undp.org/en/content/latest-human-development-index-ranking>>. Acesso em: 7 maio. 2021.

VAN BERCHUM, E. et al. Rapid flood risk screening model for compound flood events in Beira, Mozambique. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, n. March, p. 1–18, 2020.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **scientometrics**, v. 84, n. 2, p. 523–538, 2010.

VIEIRA, G. B. B.; NETO, F. J. K.; RIBEIRO, J. L. D. The Rationalization of Port Logistics Activities: A Study at Port of Santos (Brazil). **International Journal of e-Navigation and Maritime Economy**, v. 2, p. 73–86, 2015.

VILA-CONCEJO, A. et al. Steps to improve gender diversity in coastal geoscience and engineering. **Palgrave Communications**, v. 4, n. 1, 2018.

WANG, Y.; MAO, X.; JIANG, W. Long-term hazard analysis of destructive storm surges using the ADCIRC- SWAN model: A case study of Bohai Sea, China. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 73, n. September 2017, p. 52–62, 2018a.

WANG, Z.; ZHAO, Y.; WANG, B. A bibliometric analysis of climate change adaptation based on massive research literature data. **Journal of Cleaner Production**, v. 199, p. 1072–1082, 2018b.

- WEDAM, G. B.; MCMURDIE, L. A.; MASS, C. F. Comparison of model forecast skill of sea level pressure along the east and west coasts of the United States. **Weather and Forecasting**, v. 24, n. 3, p. 843–854, 2009.
- WEI, Y. M.; MI, Z. F.; HUANG, Z. Climate policy modeling: An online SCI-E and SSCI based literature review. **Omega (United Kingdom)**, v. 57, p. 70–84, 2015.
- WESSEL, P.; SMITH, W. H. F. A global, self-consistent, hierarchical, high-resolution shoreline database. **Journal of Geophysical Research: Solid Earth**, v. 101, n. B4, p. 8741–8743, 1996.
- WHITNEY, C. K.; BAN, N. C. Barriers and opportunities for social-ecological adaptation to climate change in coastal British Columbia. **Ocean and Coastal Management**, v. 179, n. May, p. 104808, 2019.
- WILLIAMS, A. T. et al. The management of coastal erosion. **Ocean and Coastal Management**, v. 156, n. April, p. 4–20, 2018.
- WMO. **Guide to storm surge forecasting**. Geneva: World Meteorological Organization, 2011.
- WOLTERS, E. A. et al. What is the best available science? A comparison of marine scientists, managers, and interest groups in the United States. **Ocean and Coastal Management**, v. 122, p. 95–102, 2016.
- WORLD BANK. **The cost to developing countries of adapting to climate change: New methods and estimates**. Washington D.C: [s.n.].
- WORLD BANK. **Gross domestic product 2020**. 2020. Disponível em: <<https://datacatalog.worldbank.org/dataset/gdp-ranking>>. Acesso em: 5 jul. 2021.
- WOTH, K.; WEISSE, R.; VON STORCH, H. Climate change and North Sea storm surge extremes: An ensemble study of storm surge extremes expected in a changed climate projected by four different regional climate models. **Ocean Dynamics**, v. 56, n. 1, p. 3–15, 2006.
- XIE, D. MEI; ZOU, Q. PING; CANNON, J. W. Application of SWAN+ADCIRC to tide-surge and wave simulation in Gulf of Maine during Patriot’s Day storm. **Water Science and Engineering**, v. 9, n. 1, p. 33–41, 2016.
- YANG, F. et al. Evaluation of the NCEP global forecast system at the ARM SGP site. **Monthly Weather Review**, v. 134, n. 12, p. 3668–3690, 2006.
- YIN, K. et al. Effects of land cover change on atmospheric and storm surge modeling during typhoon event. **Ocean Engineering**, v. 199, 2020.