

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**

SOFIA LUISA TRAMONTINA DE BRITO

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE UM CANAL LAGUNAR LIVRE DURANTE
EVENTO EXTREMO**

Porto Alegre

2023

SOFIA LUISA TRAMONTINA DE BRITO

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE UM CANAL LAGUNAR LIVRE DURANTE
EVENTO EXTREMO**

Trabalho de conclusão de curso de
graduação apresentado como
requisito para obtenção do grau de
Bacharel em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Eliseu Aquino

Coorientadora: Dra. Venisse Schossler

Porto Alegre

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

SOFIA LUISA TRAMONTINA DE BRITO

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE UM CANAL LAGUNAR LIVRE DURANTE
EVENTO EXTREMO**

Monografia aprovada em 11 / 09 / 2023 para obtenção do título de bacharel em Geografia.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Francisco Eliseu Aquino – Orientador

Dra. Venisse Schossler – Coorientadora

Profa. Dra. Nina Simone Vilaverde Moura

Prof. Dr. Ulisses Franz Bremer

Porto Alegre, 11 de setembro de 2023.

CIP - Catalogação na Publicação

TRAMONTINA DE BRITO, SOFIA LUISA
ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE UM CANAL LAGUNAR LIVRE
DURANTE EVENTO EXTREMO / SOFIA LUISA TRAMONTINA DE
BRITO. -- 2023.

51 f.

Orientador: FRANCISCO ELISEU AQUINO.

Coorientadora: VENISSE SCHOSSLER.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Geociências, Bacharelado em Geografia, Porto
Alegre, BR-RS, 2023.

1. MODO ANULAR DO HEMISFÉRIO SUL. 2. MORFOLOGIA DE
CANAIS COSTEIROS. 3. MARÉS METEOROLÓGICAS. 4.
CLIMATOLOGIA. 5. LAGOA DO PEIXE. I. ELISEU AQUINO,
FRANCISCO, orient. II. SCHOSSLER, VENISSE, coorient.
III. Título.

AGRADECIMENTOS

Desde pequena sempre fui muito criativa e tinha um desejo incansável de conhecer e descobrir o mundo, devo dizer que acertei em cheio ao escolher o curso de Geo (terra) Grafia (descrição). Encontrei aqui muitas das ferramentas que tornaram possível descobrir, conhecer, e estudar sobre o mundo em que vivo.

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todas as pessoas e instituições que tornaram possível a realização deste Trabalho de Conclusão de Curso no Bacharelado em Geografia. Foram quase 7 anos de dedicação e trabalho árduo, e sem o apoio e contribuições de muitos, este trabalho de conclusão de curso não teria sido bem-sucedido.

Primeiramente, desejo agradecer à minha família pelo apoio inabalável. Suas palavras de encorajamento nos momentos desafiadores foram um pilar de força para mim. Meus pais, e principalmente minha mãe, sempre me incentivaram a fazer o que eu gostava, e sempre incentivaram a minha criatividade desde pequena, suportaram minhas crises e me ajudaram em tudo que precisei; devo tudo a vocês. Aos meus sogros, que me deixaram passar todas as férias escrevendo na sacada da casa da praia com muita paz. E ao meu namorado, que insuportavelmente nunca me deixou desistir e abandonar esse trabalho, me viu chorar, me abraçou e me ajudou quando precisei; eu te amo.

Agradeço muito à minha coorientadora, Venisse Schossler, por sua orientação, *insights* valiosos e muita paciência ao longo deste processo que parecia interminável. Seu comprometimento em compartilhar conhecimento e orientação foi fundamental para o desenvolvimento desta pesquisa. Você me ajudou muito nos momentos difíceis que passei quando estava longe da minha família. Nunca vou esquecer dos seus ótimos conselhos, da sua gaveta cheia de coisas boas para comer e de como as suas críticas construtivas que me tornaram uma pesquisadora, estudante e pessoa melhor.

Agradeço também aos meus colegas de pesquisa, cujas discussões enriquecedoras e colaboração foram inestimáveis para o progresso deste trabalho. O compartilhamento de ideias e perspectivas contribuiu significativamente para a qualidade deste estudo. Agradeço ao Professor Francisco Aquino por ter me aceito como orientanda, e por me ajudar com toda a parte burocrática quando tive dúvidas.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Centro Polar e Climático, meu agradecimento por proporcionar um ambiente propício para o desenvolvimento acadêmico e por disponibilizar os recursos necessários para a realização desta

pesquisa. Não posso deixar de reconhecer o apoio financeiro provido pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) e pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia da Criosfera (INCT da Criosfera), pelo apoio técnico e financeiro que tornou possível dedicar-me integralmente a este projeto no tempo que estive fazendo minha iniciação científica. Agradeço também à equipe do escritório D'Contábil Assessoria LTDA, que esteve presente em todos os meus passos, ouvindo as fofocas e conquistas.

Por fim, quero estender minha gratidão a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para esta jornada. Cada interação, conversa e orientação foram importantes para a construção deste trabalho. Embora seja impossível nomear todos as pessoas que impactaram minha trajetória até aqui, espero que todos saibam o quanto sua influência foi valorizada e fundamental para este resultado. Obrigado de coração a todos por fazerem parte desta conquista.

RESUMO

Em outubro de 2016, o desenvolvimento de um ciclone extratropical explosivo no Oceano Atlântico Sul causou intensa precipitação e ressacas na costa sul do Brasil. Alguns autores atribuem a intensidade do evento às teleconexões climáticas entre os trópicos e a Antártica na primavera de 2016, marcada pelo Modo Anular Sul negativo. O objetivo desse estudo é identificar os processos de erosão costeira gerados por este evento. Para tanto, foi escolhido um geoindicador climático costeiro em área ecológica suscetível, o canal lagunar da Lagoa do Peixe, dentro do Parque Nacional da Lagoa do Peixe. Este canal abre apenas em casos de precipitação intensa e/ou maré tempestade. Foi comparada a feição em imagens de satélite, uma cena anterior (LandSat8, R5G4B3) e outra logo após o evento (CBERS4, R16G15B14). Foram calculadas anomalias de precipitação utilizando os dados de satélite do *Tropical Rainfall Measurment Mission* para a área de estudo e aplicada análise multivariada de dados e teste *t* de *Student* para relacionar estatisticamente com o índice do Modo Anular Sul de Marshal e ao MEI *index* no período de 1998 - 2018. Foi identificado, através da estatística, que há uma relação entre o Modo Anular Sul negativo e a anomalia de precipitação na área de estudo com nível de significância $\alpha \leq 0,05$ e que o El Niño Oscilação Sul não possui correlação significativa. Foi identificada a abertura excepcional da enseada do canal durante o evento. A maré de tempestade que atingiu a costa do Rio Grande do Sul provavelmente foi gerada pelo ciclone extratropical explosivo, aumentando a altura médias das ondas provocando o transbordamento da praia e a precipitação anômala que aumentou a pressão interna do corpo lagunar, rompendo a barreira arenosa, através do processo de sobrelavagem (*whashover*). Assim, compreender a importância da análise de anomalias atmosféricas no Hemisfério Sul e das teleconexões climáticas permite avaliar a vulnerabilidade das regiões costeiras a eventos climáticos extremos, além de contribuir para o desenvolvimento de estratégias de adaptação e mitigação de desastres naturais.

Palavras-chave: El Niño Oscilação Sul, Eventos Extremos, Maré Meteorológica, Modo Anular Sul, Sobrelavagem.

ABSTRACT

In October 2016, the development of an explosive extratropical cyclone in the South Atlantic Ocean caused intense precipitation and coastal erosion on the southern coast of Brazil. Some authors attribute the intensity of the event to climatic teleconnections between the tropics and Antarctica in the spring of 2016, characterized by a negative Southern Annular Mode. The objective of this study is to identify the coastal erosion processes generated by this event. For such, a coastal climatic geoinicator was chosen in a susceptible ecological area, the lagoon channel of Lagoa do Peixe, within the Lagoa do Peixe National Park. This channel only opens in cases of intense precipitation and/or meteorological tides. The feature was compared in satellite images, one before (LandSat8, R5G4B3) and another shortly after the event (CBERS4, R16G15B14). Precipitation anomalies were calculated using satellite data from the Tropical Rainfall Measurement Mission for the study area, and multivariate data analysis and Student's t-test were applied to statistically relate it to the Southern Annular Mode index and the MEI index for the period from 1998 to 2018. It was identified through statistics that there is a relationship between the negative Southern Annular Mode and precipitation anomalies in the study area with a significance level $\alpha \leq 0.05$, and that the El Niño Southern Oscillation does not have a significant correlation. The exceptional opening of the lagoon channel during the event was identified. The meteorological tide that hit the coast of Rio Grande do Sul was likely generated by the explosive extratropical cyclone, increasing the average wave height and causing beach overflow. The anomalous precipitation increased the internal pressure of the lagoon body, breaking the sandy barrier through the process of overwash. Therefore, understanding the importance of atmospheric anomalies analysis in the Southern Hemisphere and climatic teleconnections allows for the assessment of the vulnerability of coastal regions to extreme weather events, as well as contributing to the development of adaptation and disaster mitigation strategies.

Keywords: El Niño Southern Oscillation, Extreme Events, Meteorological Tide, Overwash, Southern Annular Mode.

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1.....	36
EQUAÇÃO 2.....	37
EQUAÇÃO 3.....	37

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - IMAGEM DO DIA 27 DE OUTUBRO DE 2016 DO SATÉLITE GOES – 13.....	16
FIGURA 2 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO PARQUE NACIONAL DA LAGOA DO PEIXE	17
FIGURA 3 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO E MAPA GEOLÓGICO SIMPLIFICADO DA PCRGS.	21
FIGURA 4 - GRÁFICO DO ÍNDICE SAM PARA OS ANOS DE 1955 – 2022, ANUAL E SAZONAL. 27	
FIGURA 5 - CONDIÇÕES DE EL NIÑO	28
FIGURA 6 - CONDIÇÕES DE LA NIÑA	29
FIGURA 7 - CONDIÇÕES NORMAIS	30
FIGURA 8 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E PONTOS EM GRADE DA PP POR ESTIMATIVA DE SATÉLITE.....	36
FIGURA 9 – IMAGEM DO DIA 9 DE OUTUBRO DE 2016 DO SATÉLITE LANDSAT 8	38
FIGURA 10 – IMAGEM DO DIA 10 DE OUTUBRO DE 2016 DO SATÉLITE CBERS 4.....	39
FIGURA 11 – IMAGEM DO DIA 30 DE OUTUBRO DE 2016 DO SATÉLITE CBERS 4.....	39
FIGURA 12 - CARTAS SINÓTICAS DA AMÉRICA DO SUL NO DIA 28/10/2016 ÀS 00 UTC	42

LISTA DE TABELAS

TABELA 1.....	40
TABELA 2.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CE	Ciclone Extratropical Explosivo
ENOS	El Niño Oscilação Sul
GNSS	Sistemas Globais de Navegação por Satélite
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças do Clima
LP	Lagoa do Peixe
MEI	Multivariate ENSO Index
PCRGS	Planície Costeira do Rio Grande do Sul
PNPL	Parque Nacional da Lagoa do Peixe
PP	Precipitação
RS	Rio Grande do Sul
SAM	Modo Anular do Hemisfério Sul
SIRGAS 2000	Sistema de Referencia Geocêntrico para as Américas
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission

Sumário

1. Introdução	14
1.1. Apresentação	14
1.2. Localização da Área de Estudo.....	16
1.3. Objetivos	18
1.3.1. Objetivo geral.....	18
1.3.2. Objetivos específicos.....	18
1.4. Justificativa.....	18
2. Referencial Teórico	20
2.1. Abordagem Morfológica e Geológica	20
2.1.1. Geologia da Planície Costeira do Rio Grande do Sul	20
2.1.2. Sobrelavagem.....	22
2.1.3. Marés de Tempestade e Seus Efeitos Morfodinâmicos.....	23
2.2. Abordagem Climática	24
2.2.1. Ciclones Extratropicais	24
2.2.2. Modos de Variabilidade Climática.....	25
2.3. Abordagem Parque	30
2.3.1. Parque Nacional da Lagoa do Peixe	30
2.3.2. Geoindicadores.....	32
2.3.3. Geomorfologia do Canal da Lagunar.....	33
3. Metodologia	34
3.1. Geoprocessamento De Imagens.....	34
3.2. Análise De Dados Meteorológicos	35
3.3. Correlação Estatística	36
4. Resultados	38
4.1. Imagens de Satélite.....	38
4.2. Correlações Estatística e Dados Meteorológicos.....	40
5. Conclusão	43
6. Referências	44

1. Introdução

1.1. Apresentação

Uma das maiores preocupações da gestão pública atual é os impactos que as mudanças ambientais globais podem trazer às regiões costeiras (VILES E GOUDIE, 2003). De acordo com o Painel Intergovernamental de Mudanças do Clima (IPCC), não há dúvida de que a atividade humana provocou o aquecimento da atmosfera, dos oceanos e da superfície terrestre. Observaram-se transformações significativas e velozes nos sistemas atmosférico, oceânico, glacial e biológico (IPCC, 2023).

Para Marengo (2009), a questão fundamental para os próximos séculos é se a ocorrência de eventos extremos de curto prazo está diminuindo ou aumentando com as mudanças climáticas. Sob a perspectiva das mudanças climáticas, há a possibilidade de intensificação de eventos extremos. Diante do aumento desses eventos e da elevação da temperatura média global, cientistas, políticos e governantes estão buscando compreender essas mudanças e seus impactos nas populações humanas, nos ecossistemas e nos sistemas socioeconômicos.

Apesar de algumas mudanças ambientais serem de difícil identificação, existem ferramentas que auxiliam nesse processo. Em 1992, a *Union of Geological Sciences*, por meio da *Commission on Geological Sciences for Environmental Planning*, desenvolveu listas de indicadores geológicos conhecidos como geoindicadores (BERGER E IAMS, 1996). Berger (1997) descreve os geoindicadores como medições de alta resolução das mudanças na superfície e subsuperfície terrestre.

As mudanças observadas nos geoindicadores estão associadas a parâmetros hidrológicos, meteorológicos e biológicos, o que permite rastrear tendências e até mesmo prever o comportamento do ambiente no futuro (BERGER E IAMS, 1996; BERGER, 1997). Os geoindicadores podem fornecer indícios de diversas mudanças ambientais e compor diferentes feições geológicas/geomorfológicas.

Um exemplo de geoindicador climático são as lagunas. Na região do litoral médio do Rio Grande do Sul (RS), encontra-se a Lagoa do Peixe (LP). Essa laguna possui um canal intermitente que se abre somente em casos de maré de tempestade/meteorológica e/ou chuvas excepcionais (SCHOSSLER *et al.* 2017b). De acordo com Schossler *et al.* (2018), modos de variabilidade climática, como o Modo Anular do Hemisfério Sul (SAM) e o El Niño-Oscilação Sul (ENOS), influenciam as anomalias de precipitação (PP) na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCGRS).

Os modos de variabilidade climática são padrões climáticos que apresentam características e comportamentos específicos em diferentes escalas temporais. O ENOS é um modo de variabilidade interanual caracterizado por anomalias na temperatura da superfície do mar. Já o SAM é um modo de variabilidade anular que se manifesta por anomalias de pressão entre 40° e 65° Sul. Quando o índice SAM é negativo (positivo), há tendência maior (menor) a ciclogênese (SILVESTRI E VERA, 2003; SCHOSSLER *et al.* 2018).

Os ciclones podem ser classificados de acordo com sua intensidade e gênese. A nomenclatura extratropical distingue os ciclones formados nos extratropicos dos formados nos trópicos, cuja gênese é diferente, mas podendo evoluir de uma categoria para outra (HART, 2003; REBOITA *et al.* 2017). Os ciclones podem ser considerados explosivos ou bombas quando apresentam um rápido aumento na vortacidade e uma queda significativa da pressão central de 24 hPa em 24 horas (SANDERS E GYAKUN, 1980).

O objetivo deste estudo é examinar a abertura do canal lagunar da LP, fazendo uso de imagens de satélite, durante a passagem de um ciclone extratropical explosivo (CE) ao longo do litoral do RS (Figura 1). O evento ocorreu entre os dias 25 e 30 de outubro de 2016. Nessa análise, busca-se estabelecer relações estatísticas com os modos de variabilidade climática ENOS e SAM. A passagem do ciclone extratropical provocou um aumento do nível do mar e (PP) intensa, resultando em inundações ao longo da costa e causando prejuízos socioeconômicos.

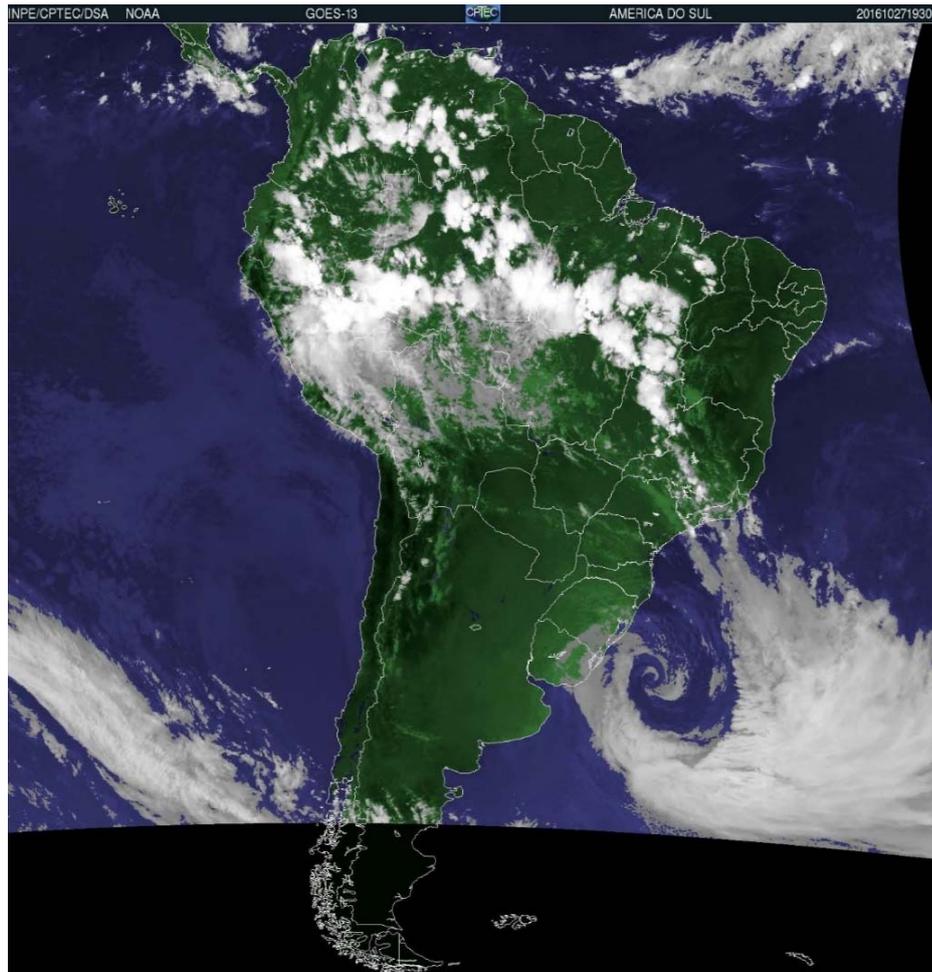


Figura 1 - Imagem do dia 27 de outubro de 2016 do satélite GOES – 13
Observa-se a vírgula invertida que o ciclone extratropical forma apontando o seu momento
de intensidade máxima sobre o Atlântico Sul.

Fonte: CPTEC – INPE.

1.2. Localização da Área de Estudo

A LP, área de estudo (Figura 2), está localizada no litoral médio do estado do RS, Brasil, dentro do Parque Nacional da Lagoa do Peixe (PNLP). O PNLN abrange uma extensão de 34.400 hectares englobando dois municípios: Tavares e Mostardas, conforme descrito no Plano de Manejo do Parque Nacional da Lagoa do Peixe (1999).

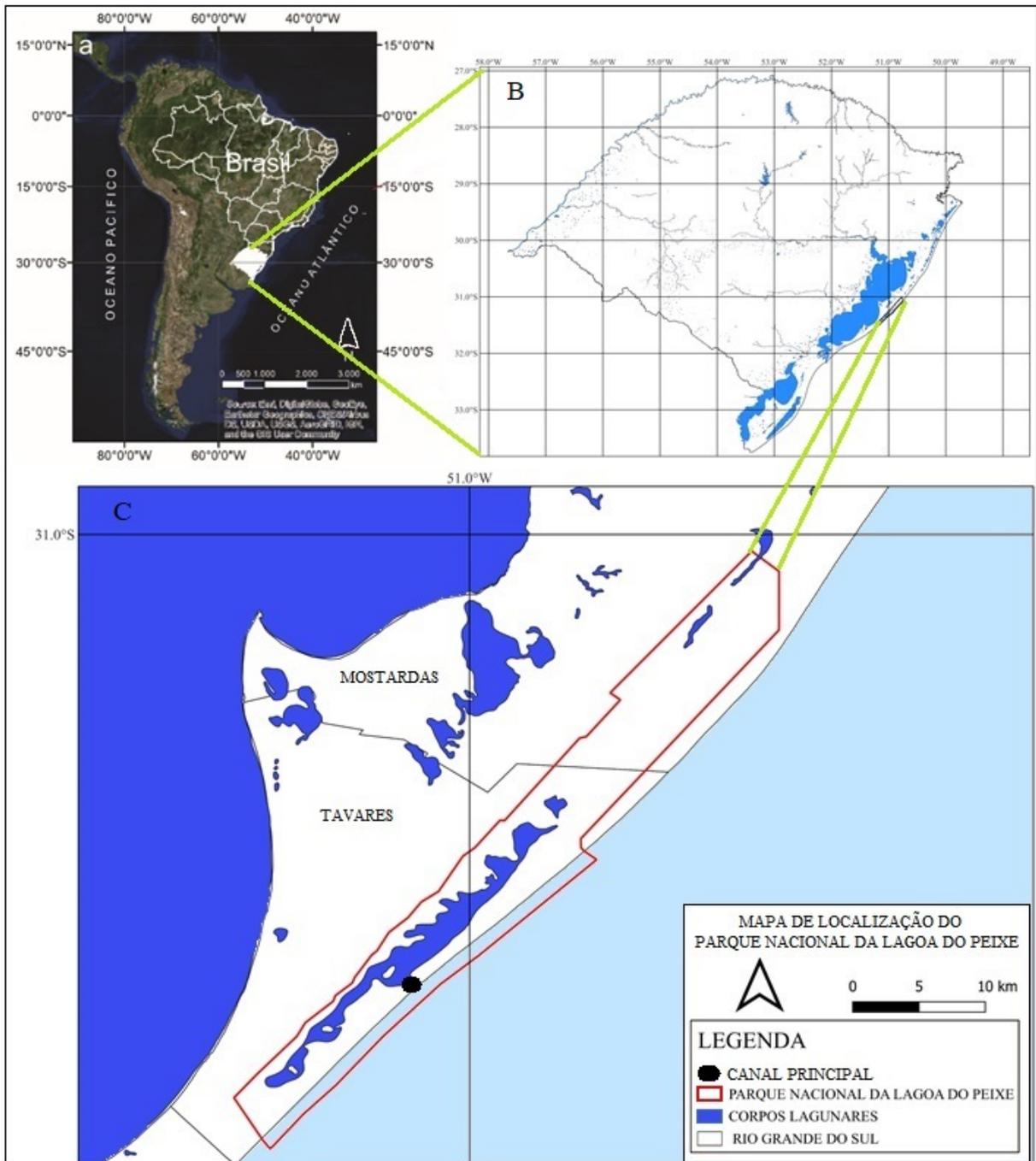


Figura 2 - Mapa de localização do Parque Nacional da Lagoa do Peixe

Em a) localização do Estado do Rio Grande do Sul no Brasil, em b) localização do Parque Nacional da Lagoa do Peixe no litoral médio do Rio Grande do Sul, e em c) localização da Lagoa do Peixe e do Canal Principal dentro do Parque Nacional da Lagoa do Peixe.

Fonte: Dados da Pesquisa (2023).

Na ficha técnica do Plano de Manejo do Parque Nacional da Lagoa do Peixe (1999), encontramos que o bioma principal é a vegetação de restinga, cobrindo ecossistemas marinhos e costeiros. Segundo a classificação climática de Köppen, a

área é categorizada como Cfa, indicando clima temperado, chuvoso e moderadamente quente, sem estação seca, com verões quentes (BARRY E CHORLEY, 2012), com temperatura média do mês mais quente ultrapassando 22°C.

Assim como no restante do estado do RS, a região do parque possui uma costa tipicamente dominada por ondas e com baixa influência da maré astronômica. O transporte de sedimentos nessa região é principalmente influenciado pelos ventos, devido à ausência de marés significativas. As praias são diretamente impactadas pela ação das ondas, especialmente durante a passagem de eventos sinóticos, como os ciclones extratropicais. Isso ocorre porque, no RS, atua o regime de micromarés.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo geral

Analisar a abertura do canal lagunar da LP, utilizando imagens de satélite, durante a passagem de um ciclone extratropical explosivo (CE) pelo litoral do RS.

1.3.2. Objetivos específicos

- Obter a climatologia da anomalia de PP para o período de 1998 – 2018, utilizando o satélite TRMM, para verificar se existe correlação entre a PP os índices SAM e MEI na área de estudo.
- Analisar e verificar se resultados estatísticos obtidos são relevantes ou não para a abertura do canal da LP;
- Interpretar dados sobre vento (velocidade, rajadas e direção), pressão (hPa) e ondas (altura e período), para verificar se esses dados podem ter relação com o CE e a abertura do canal da LP.
- Descrever e comparar imagens de satélite da área da LP, de forma visual, antes e depois da passagem do ciclone extratropical de outubro de 2016.

1.4. Justificativa

O processo de urbanização acelerado e o crescimento populacional, levou a expansão das cidades muitas vezes para áreas impróprias à ocupação (KUROKI et al. 2022). Isso leva a um aumento do número de pessoas afetadas por eventos extremos de curto prazo, como o CE, cresce cada vez mais, tornando pessoas e territórios mais vulneráveis à ocorrência destes eventos (KUROKI et al. 2022). Feições costeiras não influenciados por estruturas tecnogênicas são importantes

geoindicadores de mudanças ambientais de curto prazo (< 100 anos) (BERGER E IAMS, 1996; BERGER, 1997), facilitando o entendimento da população em geral sobre a significâncias desses estudos.

A PCRGS é caracterizada por sua grande sucessão de corpos lagunares intercomunicados e a alta disponibilidade de sedimentos no tamanho areia. Entre os corpos lagunares no RS encontramos a LP, uma laguna conectada ao Oceano Atlântico por um canal de maré intermitente livre, que abre naturalmente somente em casos de chuvas excepcionais ou/e por marés de tempestade/meteorológica (SCHOSSLER *et al.* 2017a). Durante os dias 26 a 28 de outubro de 2016, um ciclone extratropical explosivo se formou a partir de uma área de instabilidade localizada na Bacia do Prata, especialmente entre o Uruguai e o estado do RS, movendo-se em direção ao sudoeste do Atlântico Sul.

Esse CE desencadeou ventos intensos que atingiram a costa sul do Brasil, resultando em uma maré de tempestade e PP intensa, conseqüentemente, causando inundações ao longo da PCRGS. Como resultado dessas condições climáticas extremas, casas foram destruídas e cerca de 145 mil pessoas ficaram sem energia elétrica (SCHOSSLER, *et al.*, 2019). As maiores causas de impactos socioeconômicos estão relacionadas aos extremos hidrológicos (QUINTÃO *et al.* 2017; VALVERDE, 2017; CARPENEDO, 2018; DALAGNOL, 2021), o que vem de acordo com o relatório do IPCC (2023), onde aponta que as mudanças climáticas reduziram a segurança alimentar e afetaram a segurança hídrica devido ao aquecimento, mudanças nos padrões de PP, redução e perda de elementos criosféricos e maior frequência e intensidade de extremos climáticos.

Nesse contexto, a análise da morfodinâmica antes e depois desse evento climático, por meio do sensoriamento remoto, desempenha um papel crucial para ampliar a compreensão dos impactos causados por eventos extremos de curta duração em regiões subtropicais. Ao examinar as mudanças na configuração do terreno, nos padrões de erosão e deposição, bem como nas características geográficas da área afetada, é possível obter *insights* sobre a dinâmica costeira e os efeitos das tempestades.

2.Referencial Teórico

A construção desse referencial teórico foi dividida em três partes diferentes a fim de agrupar assuntos relevantes que conversam entre si: abordagem morfológica e geológica, abordagem climática e abordagem do parque. A pesquisa bibliográfica desempenha um papel crucial na realização de pesquisas exploratórias, na definição do tema de um trabalho ou pesquisa, no desenvolvimento do assunto, na incorporação de citações, e na apresentação das conclusões (ANDRADE, 2010).

2.1.Abordagem Morfológica e Geológica

A Plataforma Continental do Rio Grande do Sul (PCRG) é uma região costeira caracterizada principalmente pela influência das ondas (AREJANO, 2006), sendo vulnerável a eventos climáticos extremos, como tempestades, que podem desencadear processos de sobrelavagem e erosão costeira (DONNELLY *et al.* 2004). Além disso, a presença de sedimentos predominantemente de tamanho areia favorece a formação de extensas barreiras arenosas e campos de dunas, desempenhando um papel essencial na configuração da paisagem costeira (Villwock *et al.*1989). A compreensão dos processos geológicos e morfodinâmicos que atuam nessa região é de suma importância para a gestão costeira e análise do comportamento da região da LP.

2.1.1. Geologia da Planície Costeira do Rio Grande do Sul

A PCRGS possui uma extensão de, aproximadamente, 630 quilômetros, (desde Torres ao Norte, até o Arroio Chuí, ao Sul) e uma área de 33.000 quilômetros quadrados e alcançando, em alguns setores, mais de 100 quilômetros de largura (TOMAZELLI E VILLWOCK, 2000). O RS apresenta uma costa tipicamente dominada por ondas com baixa influência da maré astronômica (AREJANO, 2006), tempestades providas do quadrante Sul induzem marés meteorológicas que elevam a altura média das ondas amplificando a ação da erosão (CALLIARI *et al.* 1996).

As praias são diretamente influenciadas à ação das ondas, somado a isso, a alta disponibilidade de sedimentos no tamanho areia (areias finas bem selecionadas, tamanho médio de 0.2 mm) (Nicolodi *et al.* 2002, Gruber 2002), favorece a formação de barreiras arenosas contínuas ao longo da costa com orientação geral nordeste – sudoeste. Em muitos pontos, as barreiras arenosas, são recobertas por extensos campos de dunas os quais progradam sobre banhados e conjuntos de lagoas e lagoas costeiras (Ministério do Meio Ambiente, 2006). Essa morfologia de praia

arenosa baixa é modificada apenas junto a cidade de Torres, onde afloram arenitos eólicos da Formação Botucatu e rochas vulcânicas da Formação Serra Geral (TOMAZELLI E VILLWOCK, 2000).

Segundo Tomazelli e Villwock (2000), a PCRGS se desenvolveu durante o quaternário através do retrabalhamento de depósitos de leques aluviais acumulados na parte interna das planícies. Esses depósitos foram modificados durante os ciclos transgressivos-regressivos do oceano durante o Quaternário, gerando quatro sistemas deposicionais laguna-barreira, chamados de I, II, III e IV, do mais antigo ao mais novo, respectivamente (Figura 3).

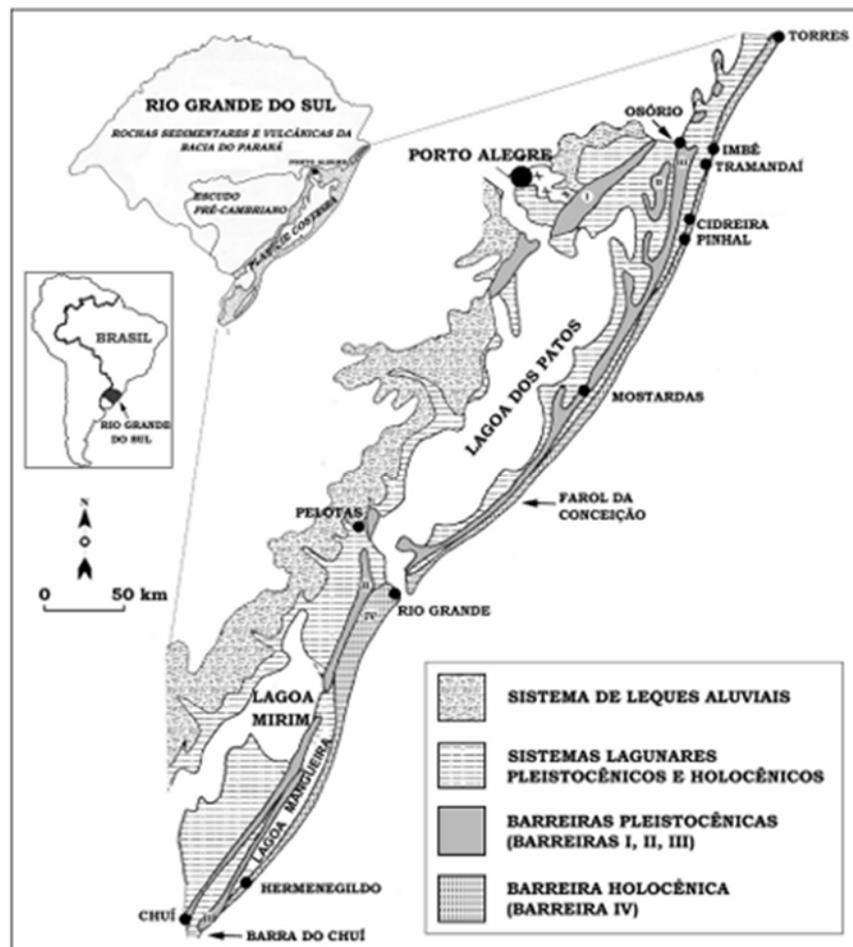


Figura 3 - Mapa de localização e mapa geológico simplificado da PCRGS.

Fonte: Tomazelli E Villwock, 2000.

Cada barreira se instalou, provavelmente, nos máximos transgressivos alcançados durante os últimos maiores ciclos glacioeustáticos do Quaternário. Atualmente não há recarga desses sedimentos continentais, pois a descarga de areia

produzida pela bacia de drenagem de sudeste do Estado é retida nos sistemas lagunares e estuarinos (TOLDO *et al.* 1996).

As sucessivas formações de barreiras foram responsáveis pela gênese dos grandes corpos lagunares que caracterizam a paisagem desta região costeira (TOMAZELLI E VILLWOCK, 2000). Arejano (2006), afirma que a origem e o desenvolvimento da LP estão associados aos processos geológicos associados ao evento transgressivo-regressivo holocênico, responsável pelo desenvolvimento do sistema deposicional Laguna-Barreira IV.

Os processos de retração e progradação marinha são processos naturais que ocorrem na zona costeira em resposta a mudanças no nível do mar, bem como a outros fatores ambientais. A retração e progradação de zonas costeiras arenosas submetidas ao regime de micromarés resultam principalmente da dinâmica entre a quantidade e o tipo de suprimento sedimentar, energia física das ondas e mudanças relativas do nível do mar (Ministério do Meio Ambiente, 2006).

A progradação marinha refere-se ao avanço da linha de costa para o interior da terra, causado principalmente pelo aumento do nível do mar. Já a retração é o contrário, ocorre um recuo da linha de costa, causado principalmente pela redução do nível do mar, ou redução da disponibilidade de sedimentos. Atualmente o litoral médio da PCRGS está passando por um processo majoritariamente de retração sendo que 442 km da linha de praia caracteriza-se pela retração, 173 km pela progradação e 6 km não apresentam variações significativas (TOLDO *et al.* 2007).

2.1.2. Sobrelavagem

A sobrelavagem (*overwash*) ocorre quando a superfície livre do oceano atinge uma elevação máxima que ultrapassa a altura da crista da duna praial ou outro obstáculo (DONNELLY *et al.* 2004), ocorrendo a passagem de água por cima da duna ou obstáculo. Isso acontece em caso de eventos extremos, como passagem de furacões e tempestades, que causam elevação no nível médio da água devido à combinação de maré astronômica, meteorológica e altura de onda (STEIN, 2018).

Segundo DONNELLY *et al.* (2004), o processo de sobrelavagem pode erodir os sedimentos da praia, os depositando atrás da barrreira ou dentro de uma laguna/lagoa costeira. Dessa forma, compreender o funcionamento desses eventos é importante para a gestão costeira, pois permite a avaliação dos riscos e a capacidade

de antecipar tanto o processo de sobrelavagem quanto a subsequente inundação da área litorânea.

2.1.3. Marés de Tempestade e Seus Efeitos Morfodinâmicos

A maré astronômica no Brasil é predominantemente semi-diurna com duas marés altas e duas baixas por dia (VELLOSO E ALVES, 2006). No RS atua o regime de micromarés (altura < 50 centímetros), as direções de onda predominantes na plataforma sul do Brasil são Nordeste e Sudoeste, com alturas de onda variando entre 1 – 1,40 metros (Almeida e Toldo, 1997). Essas ondas possuem período entre 6 e 14 segundos, com média de 8 segundos para vagas (sea) e 12 segundos para ondulação (swell) (ROMEU *et al.* 2015; CECÍLIO E DILLENBURG, 2019). Por isso, a ação das ondas e das correntes associadas exerce um fraco domínio sobre o transporte e a deposição de sedimentos (CALLIARI *et al.* 1996).

Desde que as primeiras medições do nível do mar começaram a ser feitas na porção Sul do Brasil, verificou-se que o comportamento de maré na costa tinha algo de diferente do resto do país (FRANCO, 1988). Segundo Melo (2017), as variações regulares com duas subidas e duas descidas do nível ao longo do dia, tipicamente associadas à maré astronômica, apresentavam uma flutuação de período mais longo e de caráter irregular, dessa forma, as previsões da tábua de marés causam problemas, principalmente na navegação, pois não trazem a informação correta. Posteriormente foi verificado que as variações de caráter irregular são advindas das marés de tempestade/meteorológica.

Pugh (1987) define como maré tempestade/meteorológica como sendo a diferença entre a maré realmente observada e a maré astronômica. Geralmente ela é desenvolvida devido a variações da pressão atmosférica e a troca de *momentum* entre a atmosfera e o mar (MARONE E CAMARGO, 1994). Um dos fatores mais relevantes para a geração da maré meteorológica é a pista de vento (área onde ocorre o *momentum*) que formam as ondulações. Essas ondulações (ondas) são as responsáveis pelo aumento ou diminuição do nível do mar em relação às marés astronômicas durante a maré meteorológica.

As ondas exercem um importante papel na formação das feições costeiras (CALLIARI *et al.* 1996; CALLIARI *et al.* 2006). A costa do RS é formada por barreiras costeiras, feições geomorfológicas deposicionais de baixo gradiente e dominada por ondas (DILLENBURG E HESP, 2009). A passagem de sistemas sinóticos, como

ciclones extratropicais, induz variações no nível do mar junto a costa, dessa forma, são geradas ondas com alta energia que influenciam diretamente o sistema de transporte de sedimentos e modificando visivelmente feições em sistema de barreiras arenosas, como é o caso do canal da LP (DILLENBURG E HESP, 2009).

2.2. Abordagem Climática

A climatologia desempenha um papel fundamental na compreensão dos fenômenos climáticos globais. Para esse estudo, é relevante entender melhor sobre ciclones extratropicais e modos de variabilidade climática, pois ambos possuem relações diretas com o Sul da América do Sul.

2.2.1. Ciclones Extratropicais

O processo de ciclogênese (formação dos ciclones) se dá partir de gradientes horizontais de temperatura em superfície e que intensificam quando uma frente fria rota até encontrar a frente quente (REBOITA *et al.* 2017). Os ciclones extratropicais podem ser chamados de ciclones de latitudes médias ou de ciclones frontais, a nomenclatura extratropical distingue os ciclones formados nos extratropicos dos formados nos trópicos, cuja gênese é diferente, mas podendo evoluir de uma categoria para outra (HART, 2003; REBOITA *et al.*, 2017).

Os ciclones extratropicais são os sistemas responsáveis por mudanças no tempo e clima das regiões onde atuam (MARRAFON *et al.* 2021), dessa forma, possuem uma relação direta com o clima do Sul do Brasil. A climatologia de ciclones extratropicais no Sul da América do Sul é diretamente influenciada pela presença da Cordilheira dos Andes e pela proximidade com o Oceano Atlântico e Austral (CAVALCANTI *et al.*, 2009).

Segundo Cavalcanti *et al.* (2009), a presença de locais montanhosos perturba o escoamento zonal de Oeste, o que contribui para a formação de uma crista a barlavento e um cavado a sotavento da cadeia de montanha. Bigg (2003), afirma que descontinuidades térmicas na superfície oceânica (como a Corrente Circumpolar) causam distúrbios que podem tanto gerar um ciclone extratropical, quanto o fortalecer. Além disso, essas zonas podem aquecer o ar sobre o ciclone, permitindo que ele contenha mais umidade e, através disso, aumentar a condensação deixando o ciclone mais vigoroso. Portanto, os ciclones extratropicais que sofreram influência da Corrente Circumpolar são mais intensos e duradouros.

Esses fenômenos ocorrem regularmente no sudeste da América do Sul causando impactos como marés de tempestade, elevadas taxas de PP em curto período e ventos de forte intensidade (JANTSCH E AQUINO, 2020). Isso acaba resultando em inundações, enchentes e deslizamentos de terra, podendo deixar pessoas desabrigadas e cidades sem abastecimento de energia ou água.

2.2.1.1. Ciclones Extratropicais Explosivos

As ciclogêneses podem ser classificadas de acordo com sua intensidade, e a intensidade é determinada pelo incremento da vortacidade ciclônica associada ao ciclone (CAVALCANTI *et al.* 2009). Os CE (ou ciclones bomba), são ciclones extratropicais em que no centro do ciclone ocorre uma queda de pressão de pelo menos 24 hPa em 24 horas, ou seja, decai 1 hPa por hora nas latitudes de 60° (SANDERS E GYAKUM, 1980), para outras latitudes é aplicado uma variável de normalização.

A ocorrência desse tipo de ciclone é mais frequente no inverno, pois a baroclinia (variação da temperatura ao longo do perfil vertical) é maior (CAVALCANTI *et al.* 2009), principalmente no litoral, pois há um contraste acentuado de temperatura entre o ar frio antártico e o ar quente das regiões subtropicais, sendo um dos fatores críticos para o desenvolvimento desse tipo de sistema. A rápida queda de pressão durante a ciclogênese cria um gradiente de pressão acentuado, mudando a direção dos ventos e intensificando suas velocidades (SCHOSSLER, 2016) causando impactos como marés de tempestade e elevadas taxas de PP em curto período, sendo esses impactos mais intensos que de um ciclone extratropical normal.

2.2.2. Modos de Variabilidade Climática

Segundo Viles e Goudie (2003), foram identificados até hoje muitos modos de variabilidade climática essenciais para o entendimento do comportamento do sistema climático atual. Modos de variabilidade climática são padrões de variação natural do clima que ocorrem em diferentes escalas de tempo, desde algumas semanas até década (CAVALCANTI, 2009). Esses modos descrevem flutuações recorrentes e persistentes nas condições climáticas em escala global, influenciando os padrões de temperatura, PP e outros elementos climáticos.

Variabilidade climática e mudanças climáticas não são a mesma coisa. É considerado variabilidade climática quando comparamos flutuações em um mesmo período tempo, é considerado mudanças climáticas quando é comparado dois

períodos diferentes (WALLACE E HOBBS, 2006). Foi descrito abaixo os dois modos de variabilidade climática de maior influência na América do Sul: o SAM e o ENOS.

2.2.2.1. Modo Anular do Hemisfério Sul

Segundo Schossler (2016), modos anulares são padrões de variabilidade climática de escala hemisférica. O SAM, também conhecido como Oscilação Antártica é o principal modo de variabilidade da circulação atmosférica do Hemisfério Sul (MARSHALL, 2003). O SAM é uma estrutura anular simétrica caracterizada pelas anomalias de pressão na superfície. A distribuição dos continentes do Hemisfério Sul corrobora para uma melhor estruturação do modo de variabilidade climática, diferente do que ocorre no Modo Anular do Hemisfério Norte.

O índice SAM é definido pela diferença de pressão zonal entre 40° - 65° Sul (NAN E LI, 2003), e pode assumir três diferentes fases: negativo, neutro e positivo. Quando negativo ocorrem pressões mais altas que o usual nas latitudes circumpolares, e pressões mais baixas que o habitual nas latitudes subtropicais, na fase positiva ocorre o oposto, (VILES E GOUDIE, 2003).

O SAM é responsável por aproximadamente 35% da variabilidade climática da Hemisfério Sul (JUSTINO E PELTIER, 2008). A partir da análise da Figura 4, é possível observar que há uma tendência positiva do índice. Marshall (2003) e Gillet et al. (2006) relacionam essa tendência ao aumento da concentração dos gases efeito de efeito estufa na atmosfera, segundo o IPCC (2021) as concentrações atmosféricas de CO₂ nos últimos anos foram as maiores em pelo menos 2 milhões de anos. Nos trabalhos de Silvestri e Vera (2003) e Schossler *et al.* (2019), os autores afirmam que há uma correlação negativa entre a anomalias de PP e o índice SAM, e verificaram ainda que há relação entre a ciclogênese e o índice pois quando ele se encontra positivo (negativo), há uma menor (maior) ocorrência de ciclogênese.

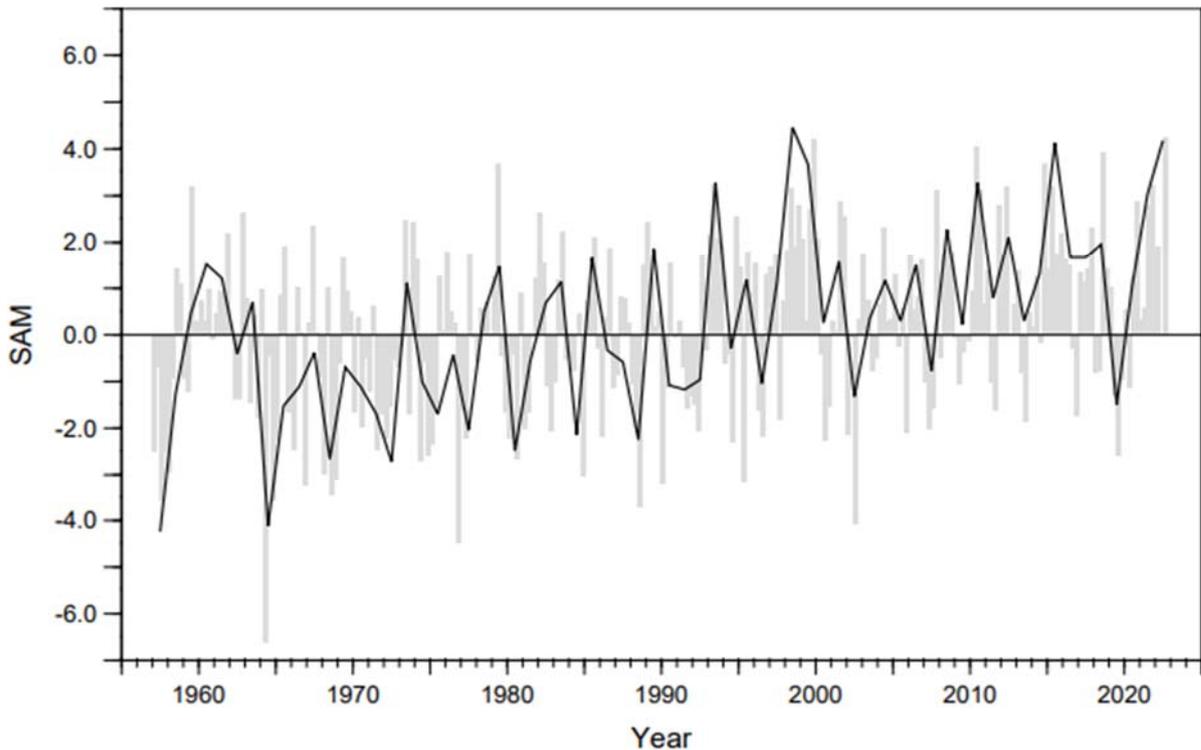


Figura 4 - Gráfico do índice SAM para os anos de 1955 – 2022, anual e sazonal.

Fonte: Marshal, 2003.

2.2.2.2. El Niño Oscilação Sul

O modo de variabilidade ENOS foi proposto pela primeira vez por Bjerknes (1969) como o acoplamento entre eventos El Niño (La Niña) e as variações baroclínicas associadas a Oscilação Sul, que considera tanto a componente atmosférica quanto a oceânica (TRENBERTH, 1997). Para Viles e Goudie (2003), ele é uma oscilação interanual na pressão ao nível do mar entre o norte da Austrália (Dawin) e o centro do oceano Pacífico (Tahiti).

Barry e Chorley (2013), conceituam ENOS como uma variação irregular, uma “gangorra” atmosférica ou onda estacionária de massa e pressão atmosféricas, envolvendo trocas de ar entre a célula subtropical oriental e uma região de baixa pressão centrada no Pacífico ocidental e Indonésia, associada as fases de circulação da célula de Walker (positiva, neutra e negativa). De acordo com Grimm *et al.* (1998), para o sudeste da América do Sul, existe uma forte associação entre anomalias de PP e eventos de El Niño e La Niña.

Durante a fase negativa (El Niño), exemplificado na Figura 5, há um enfraquecimento dos ventos Alísios pela expansão da área de água quente superficial

na costa oeste da América do Sul. Esse processo rebaixa a termoclina diminuindo a ressurgência de água fria na costa oeste da América do Sul. Muitas vezes a ressurgência de águas frias na porção Oriental do Pacífico cessa, aumentando a evaporação que acaba por causar instabilidade na porção central do oceano Pacífico.

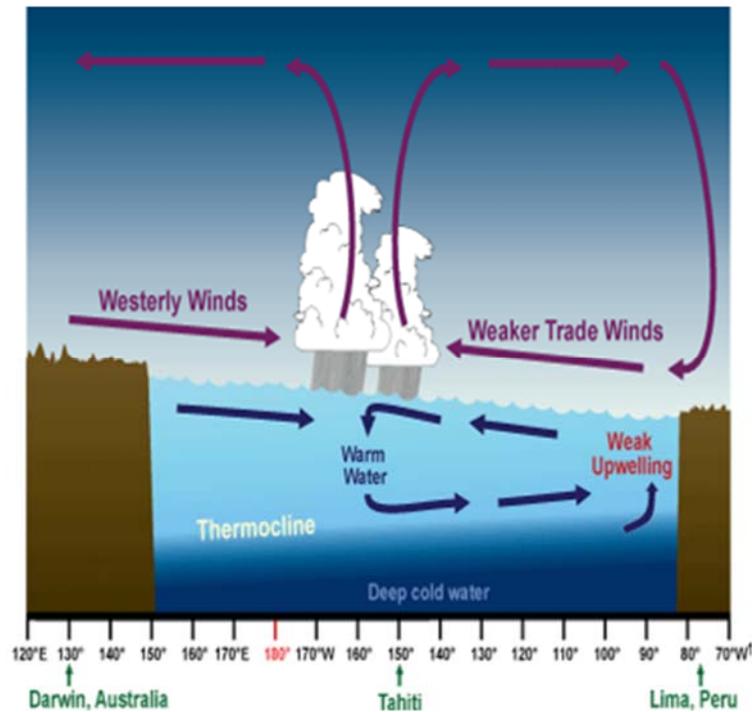


Figura 5 - Condições de El Niño

Enfraquecimento dos ventos alísios, redução da ressurgência de águas frias no oceano Pacífico Oriental e instabilidade na porção central do oceano Pacífico.

Fonte: Barry e Chorley, 2013.

Durante a fase positiva (La Niña), exemplificado na Figura 6, os ventos Alísios se intensificam sobre o Pacífico Tropical, que produz anômala ressurgência ao longo da costa oeste da América do Sul (costa do Peru), resultando em uma corrente fria no sentido Norte (corrente de Humboldt). A baixa temperatura da superfície oceânica intensifica os ventos alísios, que empurram a água quente superficial da porção oriental (costa do Peru) para a porção ocidental produzindo uma área de instabilidade e convecção.

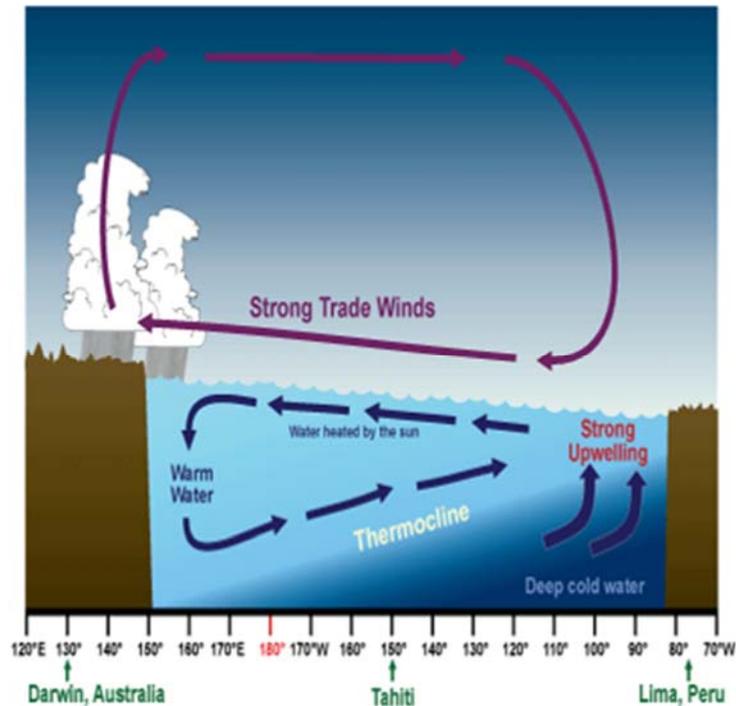


Figura 6 - Condições de La Niña

Intensificação dos ventos alísios, aumento da ressurgência de águas frias no oceano Pacífico Oriental e instabilidade na porção ocidental do oceano Pacífico.

Fonte: Barry e Chorley, 2013.

Durante a fase neutra, exemplificado na Figura 7, ocorre normalmente a organização da Célula de Walker Durante. A água quente do Oceano Pacífico Oeste evapora e forma nuvens carregadas de chuva, essas nuvens produzem chuvas intensas nas áreas da Indonésia e do nordeste da Austrália. O ar quente e úmido sobe nessas regiões criando uma área de baixa pressão. Conforme o ar sobe, ele se desloca em direção ao leste, em altitudes mais elevadas, chegando ao Oceano Pacífico Oriental, nessa região, ocorre “uma descida do ar”, formando uma área de alta pressão. Esse ar desce e se move em direção ao Oeste, na superfície, fechando o ciclo da célula de Walker.

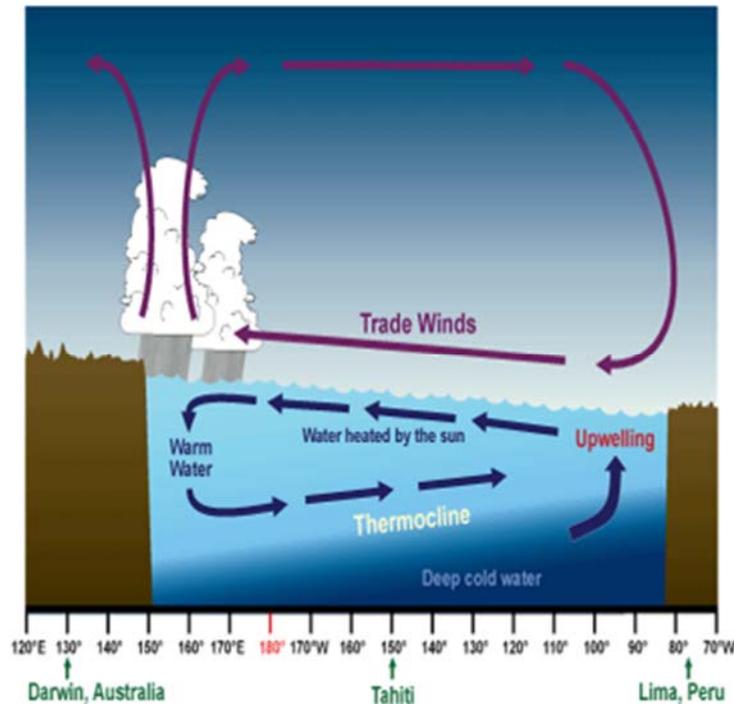


Figura 7 - Condições Normais

Desenvolvimento completo da célula de Walker.

Fonte: Barry e Chorley, 2013.

2.3. Abordagem Parque

Geoindicadores são ferramentas fundamentais para monitorar e avaliar mudanças no meio ambiente ao longo do tempo (BERGER E IAMS, 1996). O canal da Lagoa do Peixe, localizado no litoral do Rio Grande do Sul, é uma parte do ecossistema da Lagoa do Peixe, conectando-a ao oceano Atlântico e desempenhando um papel na circulação de água e na manutenção do equilíbrio ecológico da região (Plano de Manejo do Parque Nacional da Lagoa do Peixe, 1999). Dessa forma, o canal da LP pode servir como um geoindicador para acompanhar as condições ambientais e mudanças ao longo do tempo.

2.3.1. Parque Nacional da Lagoa do Peixe

O PNLP possui uma área de 34.400 hectares e um perímetro de 138,84 quilômetros (Plano de Manejo do Parque Nacional da Lagoa do Peixe, 1999), abrangendo dois municípios na sua área total: Mostardas (16,6%) e Tavares (33,3%). O bioma predominante é a restinga que abrange os ecossistemas marinho e costeiro.

De acordo com a classificação climática genérica de Wladimir Köppen, que leva em consideração a temperatura e a aridez (BARRY E CHORLEY, 2012), a área da LP

pode ser categorizada como Cfa. O “C” indica clima temperado, chuvoso e moderadamente quente, a letra “f” indica ausência de estação seca e “a” indica a ocorrência de verões quentes, com temperatura média do mês mais quente ultrapassando 22°C. O Plano de Manejo do Parque (1999) aponta que os principais conflitos na área do parque ocorrem devido à atividade humana, como: pesca, caça, agricultura e pecuária.

O PNLP foi criado pelo decreto 93.546, no ano de 1986, com o intuito de proteger as amostras de ecossistemas litorâneos da região da LP e, particularmente, das aves migratórias que dela dependem para seu ciclo (PLANO DE MANEJO DO PARQUE NACIONAL DA LAGOA DO PEIXE, 1999). As aves que migram de um polo ao outro e sazonalmente, encontram no parque um local de descanso e alimentação. Devido a isso, o PNLP foi reconhecido internacionalmente como um sítio da Rede Hemisférica de Aves Limícolas Migratórias (INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE, 2019), também segundo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (2019) a população de aves migratórias limícolas está apresentando uma grande queda, ressaltando a importância da existência do parque para a proteção de um local de descanso dessas aves migratórias.

Segundo Loebmann e Vieira (2006), a pesca artesanal no RS constitui a base socioeconômica dos pescadores da região costeira a mais de um século. Essa atividade é favorecida pela presença de lagoas, lagunas e estuários presentes ao longo da PCRGS, como a LP. Para a pesca do camarão é permitido somente o uso da pesca passiva como o aviãozinho (Portaria da Superintendência do Desenvolvimento da Pesca n° 04, 14/01/1986).

Entretanto, redes de pesca ativas são utilizadas ilegalmente contribuindo para um alto impacto dessa atividade do ponto de vista econômico e biológico (LOEBMANN E VIEIRA, 2006). Para consumo próprio e comercialização do camarão existem uma série de parâmetros como: definição do tamanho mínimo de captura (porcentagem de tolerância), quantidade de pescadores e os locais de desembarque.

A criação do PNLP em 1986 gerou um conflito expressivo entre os pescadores residentes e o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Renováveis (IBAMA), devido a proibição pela legislação de pesca em Parques Nacionais (Lei dos crimes ambientais 9.605 e pelo Decreto-Lei 4340-9.985). Quem já pescava na LP e tinha um histórico familiar ligado à atividade pesqueira desde antes da criação do parque,

recebeu autorização provisória de pesca passiva. De acordo com notícia do Jornal Zero Hora (2018), acessado em 19/01/2023, ainda há aproximadamente 125 pescadores artesanais realizando sua atividade na LP.

2.3.2. Geoindicadores

Nenhum lugar na costa é realmente seguro, tempestades, enchentes, ventos, ondas e erosão podem afetar qualquer comunidade. Além disso, a atividade humana geralmente torna o ambiente natural menos estável. Estruturas tecnogênicas são rígidas e fixas e, quando construídas em um ambiente em constante mudança, podem desequilibrar o sistema natural. Essas estruturas acabam também em risco de desabamento, pela própria natureza desses ambientes.

Em 1992, a *Union of Geological Sciences*, por meio da COGEOENVIRONMENT desenvolveu listas de indicadores geológicos, conhecidos como geoindicadores, (BERGER E IAMS,1996). Berger (1997) descreve os geoindicadores como medidores de alta resolução das mudanças na superfície e sub superfície terrestre. As mudanças observadas em geoindicadores estão associadas a parâmetros hidrológicos, meteorológicos e biológicos possibilitando assim rastrear tendências e, inclusive, prever o comportamento do ambiente no futuro em um período máximo de 100 anos, dentro da expectativa de vida humana (BERGER E IAMS,1996), provendo informações significativas para a avaliação do ambiente. Os geoindicadores podem apontar indícios das mais variadas mudanças ambientais, bem como podem compor as mais diversas feições geológicas/geomorfológicas.

Os geoindicadores costeiros são feições geomorfológicas dos processos costeiros e provêm ferramentas para o manejo e avaliação da vulnerabilidade e risco ambiental (BERGER, 1997). As morfologias de canais costeiros, como os canais lagunares, podem ser importantes geoindicadores de mudanças ambientais em áreas costeiras, principalmente quando não possuem estruturas tecnogênicas associadas a eles. A estabilidade de um canal costeiro sofre grande influência do prisma de maré, energia de ondas incidentes e da disponibilidade de sedimentos (*COASTAL ENGINEERING MANUAL*, 2002).

A morfologia de canais é resultado do ambiente em que se encontram (SCHOSSLER *et al.* 2017b). Assim, o canal da LP pode ser considerado um geoindicador, pois é um canal de maré com os mecanismos de assoreamento morfodinâmico influenciado pelo regime de PP, ele é intermitente e instável. Ele pode

fornecer informações sobre as condições ambientais da área e as mudanças ao longo do tempo.

2.3.3. Geomorfologia do Canal da Lagunar

Em sua pesquisa Schlossler *et al.* (2017b), verificaram que o rompimento natural da barreira arenosa existente sobre a desembocadura da LP foi registrado em um único momento (julho de 1997). Geralmente, esse canal é aberto mecanicamente pela comunidade de pescadores, que necessita da troca de nutrientes entre o mar e a água da LP para aumentar a produtividade de camarões (SCHOSSLER *et al.* 2017b).

Os deltas da LP são caracterizados por serem pequenos e poucos desenvolvidos. Segundo a classificação de Hayes (1975), isso se deve a predominância das ondas e do regime de micromarés, característica da PCRGS. Haines (2008), afirma que lagunas intermitentes passam por um ciclo de três estágios hidrodinâmicos relacionados a morfodinâmica do canal: o canal aberto, o canal assoreando e o canal fechado. O ciclo inicia com a disponibilidade de sedimentos no sistema praial, transportados pelas correntes marinhas e o vento. Nesse processo, parte desses sedimentos são depositados na desembocadura.

No canal da LP esse ciclo está relacionado ao desenvolvimento dos pontais que se desenvolvem no mesmo sentido da corrente litorânea preponderante. O desenvolvimento dos pontais são parte fundamental no processo de assoreamento do canal. Quando o pontal inicia o crescimento a partir da margem Sul (Norte), há erosão no pontal Norte (Sul) devido a predominância da corrente litorânea de Sudoeste (Nordeste) durante o inverno e primavera (verão e outono). Quando os pontais se encontram, geralmente durante o verão, ocorre a completa oclusão do canal (SCHOSSLER *et al.* 2017b). Dessa forma, a deriva litorânea que condiciona a dinâmica sedimentar (crescimento dos pontais), torna a desembocadura instável (LIMA *et al.* 2001).

3. Metodologia

As morfologias de canais costeiros, como o canal da LP, podem ser importantes geoindicadores de mudanças ambientais em áreas costeiras, principalmente quando não possuem estruturas tecnogênicas associadas a eles. Como o litoral do RS é dominado por ondas, e a passagem de sistemas sinóticos influencia diretamente as feições costeiras, o uso dos geoindicadores para a análise desses sistemas sinóticos se torna essencial.

3.1. Geoprocessamento De Imagens

Dessa forma, para a interpretação visual do geoindicador (canal da LP) foram utilizadas duas imagens do satélite CBERS 04 do site da Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2018), uma imagem anteriores e uma posterior ao evento, dos dias 10 e 30 de outubro de 2016, respectivamente, e mais vinte e cinco imagens do satélite Landsat 8, obtidas do site do *United States Geological Service* (USGS, 2019), com o objetivo de obter uma relação do comportamental mensal do canal da LP para o período de abril de 2015 até março de 2017.

As imagens do satélite CBERS 4 foram capturadas em órbitas diferentes, portanto com ângulos de visada distintos. As imagens foram processadas e georreferenciadas em relação a um mesmo mapa base digitalmente, no ArcGis 10.3.1. Para melhor interpretar e diferenciar os alvos foram criadas imagens, em composição colorida RGB, bandas 16 (0,77 - 0,89 μm), 15 (0,63 - 0,69 μm), e 14 (0,52 - 0,59 μm), respectivamente nessa ordem, a resolução das imagens é de 60 metros.

As imagens do satélite Landsat 8 foram capturadas em orbitas idênticas a do CBERS 4 e georreferenciadas em um mesmo mapa base digitalmente no ArcGis 10.3.1, para não haver incoerências na interpretação das imagens as bandas selecionadas para o processamento das imagens desse satélite são muito semelhantes à do CBERS 4, sendo elas: RGB 5 (0,851 – 0,879 μm), 4 (0,636 – 0,673 μm), e 3 (0,533 – 0,590 μm), respectivamente nessa ordem, a resolução das imagens é de 30 metros. As bandas foram assim designadas porque destacam o relevo e a vegetação, além de diferenciar a areia seca da molhada.

A utilização de dois satélites para a elaboração desse trabalho deve-se ao fato de que a disponibilidade de imagens durante o evento meteorológico extremo ocorrido em outubro de 2016 foi escassa em consequência dá grande cobertura de nuvens do

período. Assim as imagens do CBERS 4, mesmo com a resolução baixa, foram utilizadas por serem as únicas encontradas nas quais era possível verificar as mudanças ocorridas no canal, e as do LandSat 8 como um complemento para melhorar a interpretação em virtude da melhor resolução de suas imagens.

Para o mapa de localização da área de estudo foi utilizado os seguintes dados espaciais:

- Limites da América do Sul; (Catálogo de metadados da Agência Nacional de Águas, 2010)
- Hidrografia do Rio Grande do Sul; (PROCERGS)
- Limites municipais do Rio Grande do Sul; (PROCERGS)
- Limites das Unidade de Conservação Federais; (ICMBio)
- Limites estaduais do Brasil. (Malha municipal IBGE)

Os arquivos foram padronizados em um mesmo Sistema de Referência de Coordenadas (SRC) no software livre QGIS que com código-fonte aberto, multiplataforma de sistema de informação geográfica que permite a visualização, edição e análise de dados georreferenciados. O datum selecionado foi o SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), ele foi oficializado como referencial geodésico para o Sistema Geodésico Brasileiro em 2005.

De acordo com a resolução divulgada pelo IBGE no mesmo ano, o site do IBGE afirma que a adoção do sistema SIRGAS 2000 viabiliza a utilização direta da tecnologia GNSS (Sistemas Globais de Navegação por Satélite) como uma ferramenta essencial para a atualização cartográfica, tanto em projetos de infraestrutura no país quanto no controle de frotas de empresas de transporte.

3.2. Análise De Dados Meteorológicos

Com o objetivo de aferir o volume precipitado estimado durante o evento e desenvolver uma climatologia para o cálculo das anomalias e a correlação, na área da LP foram analisados dados em grade (Figura 8) de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRRM), entre os dias 22 e 31 de outubro de 2016 e do período de 1998 até 2018 para climatologia, obtidos do site da *National Aeronautic and Space Administration* (NASA, 2018).

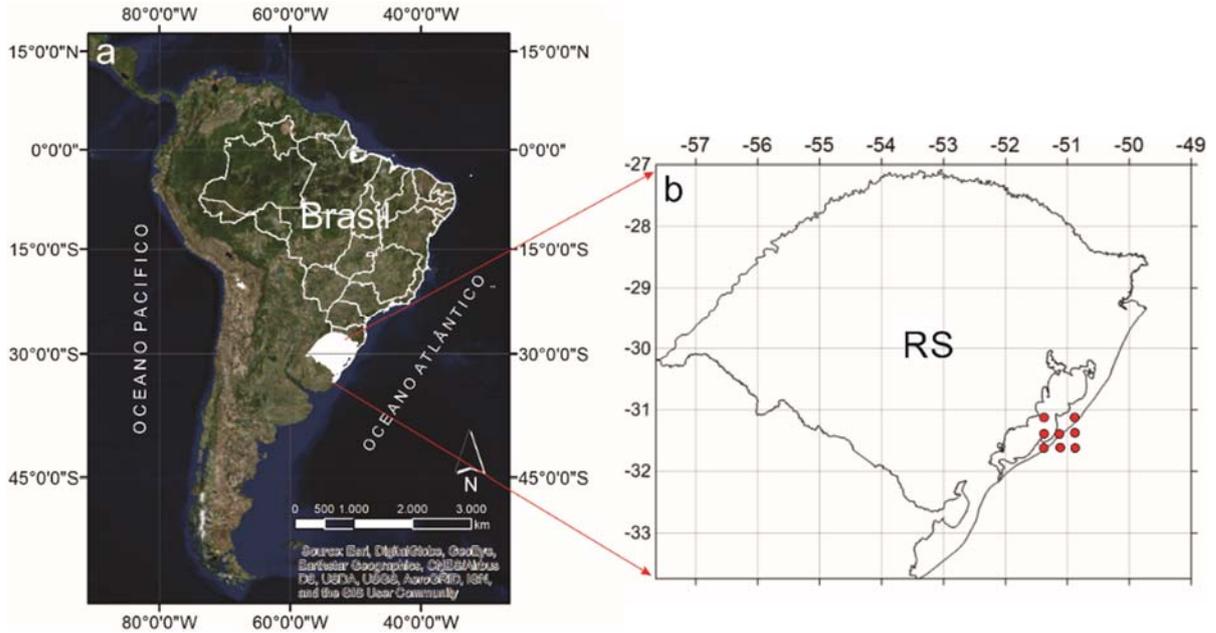


Figura 8 – Localização da área de estudo e pontos em grade da PP por estimativa de satélite

Em a) localização do Estado do Rio Grande do Sul no Brasil e, em b) distribuição dos oito pontos da grade do satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* utilizados.

Fonte: Dados da Pesquisa (2023).

Para melhor compreensão da atividade e intensidade dos ventos e ondas sobre a PCRGS nos dias do evento, foram observados e interpretados dados sobre vento (velocidade, rajadas e direção), pressão (hPa) e ondas (altura e período). Os dados foram baixados do flutuador ARGOS 69150 do programa GOOS-Brasil que é a componente GOOS brasileira da Aliança Regional para a Oceanografia no Atlântico Sudoeste Superior e Tropical (OCEATLAN).

3.3. Correlação Estatística

Com a finalidade de relacionar as variações no geoindicador e os fatores climáticos foram calculadas as anomalias (Equação 1) de PP mensais de 1998 até 2017 e correlacionadas estatisticamente ao índice *Multivariate ENSO Index* (MEI) e o índice SAM utilizado foi de Marshall (2003).

$$A = PP - \mu/\sigma \quad (\text{Equação 1})$$

A= anomalia

PP= precipitação

μ = média mensal

σ = desvio padrão

Para realizar a análise multivariada de dados foi necessário construir as tabelas de contingência que permitem visualizar correlações entre duas variáveis independentes. Para tal foi preciso classificar as variáveis em tercis: abaixo da média (-1) na média (0) e acima da média (+1) assim todas as variáveis foram ordenadas mantendo-as associadas aos seus respectivos meses. Entre as anomalias de PP e o ENOS, a hipótese é de correlação positiva, por isso utilizamos a diagonal principal para cálculo do valor percentual corretamente classificado. Já sobre a correlação entre as anomalias de PP e o SAM, a hipótese é negativa, assim utilizamos a diagonal secundária para o cálculo do valor percentual corretamente classificado (Equação 2).

O nível de significância foi calculado aplicando o teste *t* de *Student* (Equação 3). Esse teste é utilizado para avaliar a significância estatística da diferença entre duas médias de amostras independentes, para uma única variável dependente. Como os tamanhos de amostra dos grupos eram iguais, a determinação da classificação por chances foi feita dividindo 1 por 3, resultando em 0,33. Para que exista correlação, *t* deve ser superior a 1,96, em virtude de que, assim, o nível de significância será menor que 0,05.

$$P = n/N \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

$$t = (P - 0,33) / \sqrt{0,33 \times (1 - 0,33)} \times N \quad (\text{Equação 3})$$

P = Percentual corretamente classificado

N = Tamanho da amostra

t = Teste *t* de *Student*

n = Número corretamente classificado

4. Resultados

4.1. Imagens de Satélite

Antes de ocorrer a tempestade, no dia 22 de outubro, o canal estava quase fechado pelo pontal em assoreamento (Figuras 8 e 9), posteriormente, na Figura 10, do dia 30 de outubro, ele se apresenta completamente aberto. Em todas as Figuras (8, 9 e 10) os tons de vermelho representam a vegetação e os tons de amarelo a areia (dunas e linha de praia) e a água é representada por tons de azul. Nas Figuras 8 e 9 é possível identificar o canal principal (linhas mais escuras dentro do corpo lagunar) em consequência da pequena espessura da lâmina d'água.

Em cada uma das imagens, o brilho das areias varia conforme a umidade nela retida, quanto mais clara e brilhante, mais seca está a areia, quanto mais escura e menos brilhante, maior a umidade. Na Figura 10, pós-evento, podemos observar o afogamento dos pontais e bancos de areia dentro da LP (portanto com uma lâmina de água maior que o comum). Nessa imagem não é possível visualizar o canal principal da LP porque, ainda que o canal estivesse aberto, a lâmina d'água estava espessa e turbulenta, fazendo com que a feição se encontrasse emersa, diferentemente das imagens anteriores.

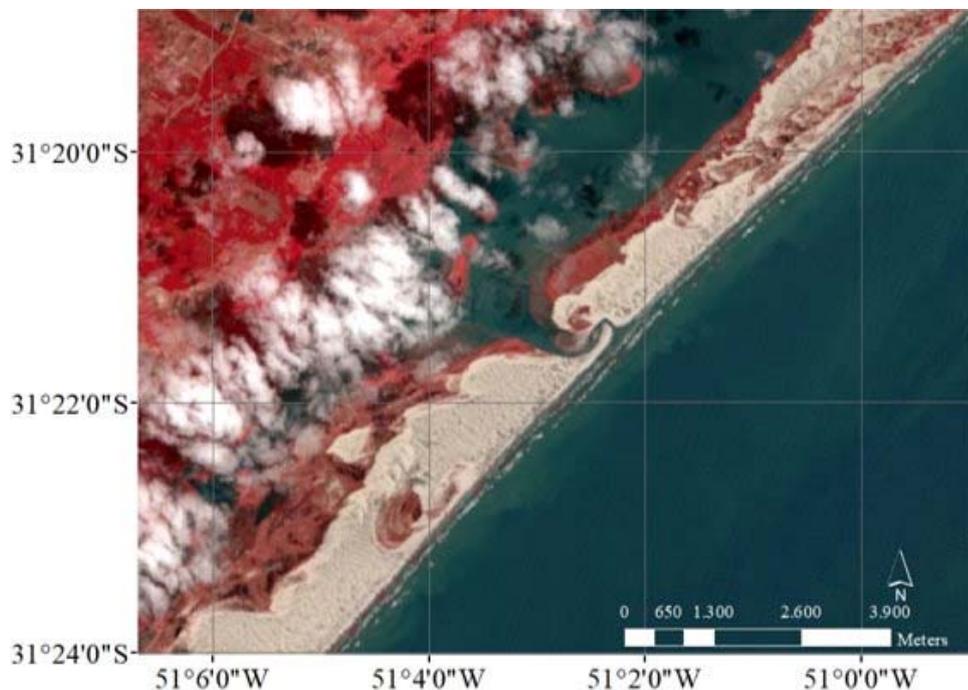


Figura 9 – Imagem do dia 9 de outubro de 2016 do satélite LandSat 8 Destaca-se a laguna relativamente vazia deixando evidente os bancos de areia e os pontais.

Existe certa umidade no campo de dunas.

Fonte: Dados da Pesquisa (2023).

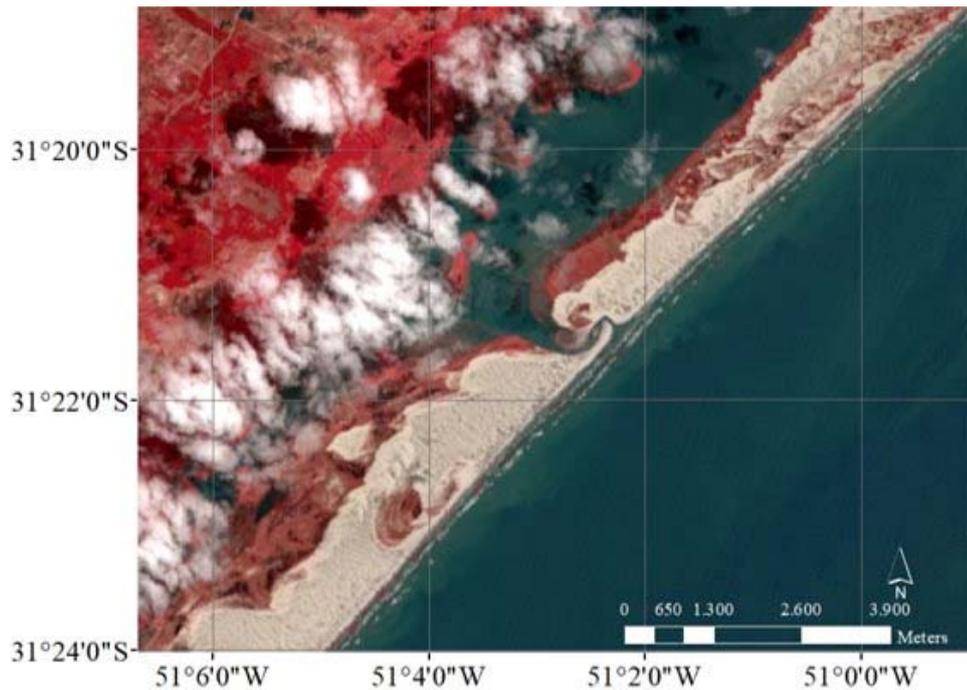


Figura 10 – Imagem do dia 10 de outubro de 2016 do satélite CBERS 4
Destaca-se a laguna relativamente vazia deixando evidente os bancos de areia e os pontais.
Observa-se o canal principal.

Fonte: Dados da Pesquisa (2023).

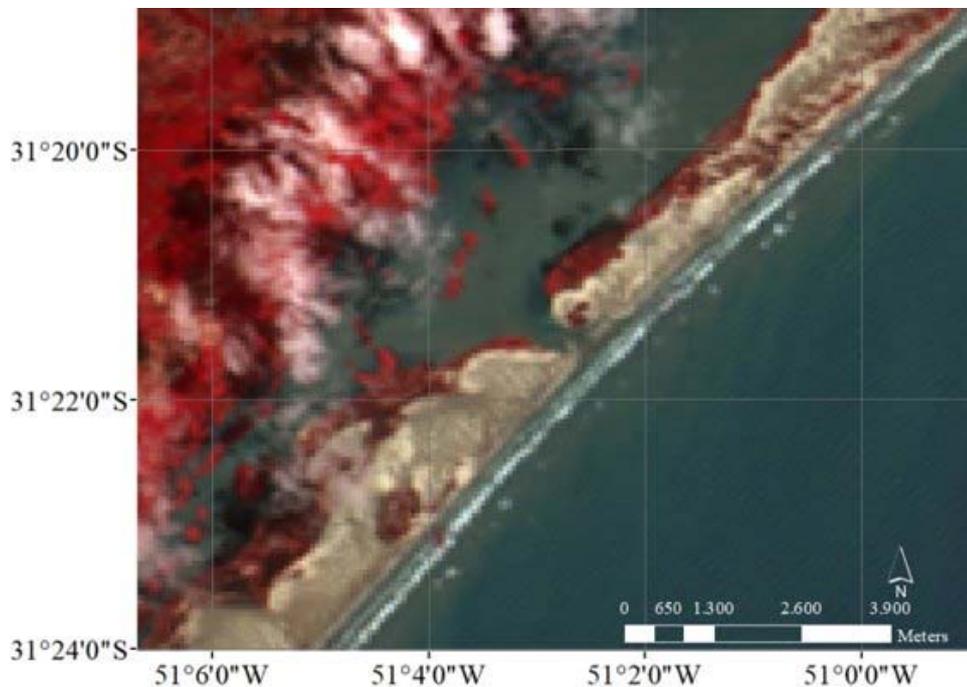


Figura 11 – Imagem do dia 30 de outubro de 2016 do satélite CBERS 4
Destaca-se a grande umidade nas dunas, e o afogamento dos pontais e bancos de areia
dentro da laguna, bem como um visível avanço do mar sobre a praia.

Fonte: Dados da Pesquisa (2023).

4.2. Correlações Estatística e Dados Meteorológicos

Com a finalidade de relacionar as variações no geoindicador e os fatores climáticos foi calculado as anomalias de PP mensais de 1998 até 2017 e correlacionadas estatisticamente ao MEI e ao índice SAM de Marshall (2003). Estudos anteriores (SCHOSSLER *et al.* 2016; SCHOSSLER *et al.* 2017a, VERA E OSMAN, 2019) indicam correlação estatística entre a fase negativa do SAM e as anomalias de PP positivas, dessa forma foi utilizado a diagonal secundária para o cálculo do valor percentualmente classificado.

A Tabela 1 apresenta o resultado da relação das anomalias de PP e o índice MEI. O percentual corretamente classificado encontrado para essa relação de dados foi $P=1,090$, sendo considerado estatisticamente não relevante com $\alpha \geq 0,05$. Isso significa que o ENOS não tem influência sobre as anomalias de PP da área de estudo.

TABELA 1				
ÍNDICE MEI X ANOMALIAS DE PP				
PP/MEI	-1	0	1	TOTAIS
-1	27	27	30	84
0	22	28	34	84
1	35	29	20	84
TOTAIS	84	84	84	75

Tabela 1 – Resultado da relação entre as anomalias de PP e o índice MEI, utilizando a diagonal principal.

A Tabela 2 apresenta o resultado da relação dos dados de anomalias de PP e o índice SAM. O percentual corretamente classificado encontrado para essa relação de dados foi $P=3,403$, sendo considerado estatisticamente relevante com $\alpha \leq 0,05$. Isso significa que há relação estatística entre o índice SAM e a anomalias de PP sobre a área da LP.

TABELA 2				
ÍNDICE SAM X ANOMALIAS DE PP				
PP/SAM	-1	0	1	TOTAIS
-1	22	27	35	84
0	27	31	26	84
1	35	26	23	84
101	84	84	84	TOTAIS

Tabela 2 – Resultado da relação entre as anomalias de PP e o índice SAM, utilizando a diagonal invertida, devido a correlação negativa.

Entre os dias 26 e 28 de outubro de 2016, o índice SAM registrado foi de -0,89. Em estudos anteriores (SILVESTRI E VERA, 2003; SCHOSSLER *et al.* 2018) afirmam que quando o SAM se encontra negativo há maior ciclogênese. A ciclogênese do ciclone extratropical (Figura 11) foi analisada por Schossler *et al.* (2019) que verificou uma queda da pressão central do ciclone extratropical de 0,83 hPa/hora, aproximadamente.

Segundo, Sanders e Gyakun (1980), quando o CE ocorre fora da latitude de 60°S, é aplicado a variável de normalização para verificar se ele é um CE. Registrou-se em seu centro 1006 hPa as 18 UTC do dia 26, diminuindo para 986 hPa as 18 UTC do dia 27, podendo assim ser classificado como CE, Schossler *et al.* (2019), a partir da aplicação da variável de normalização, afirmam que nessa latitude é considerado um CE.

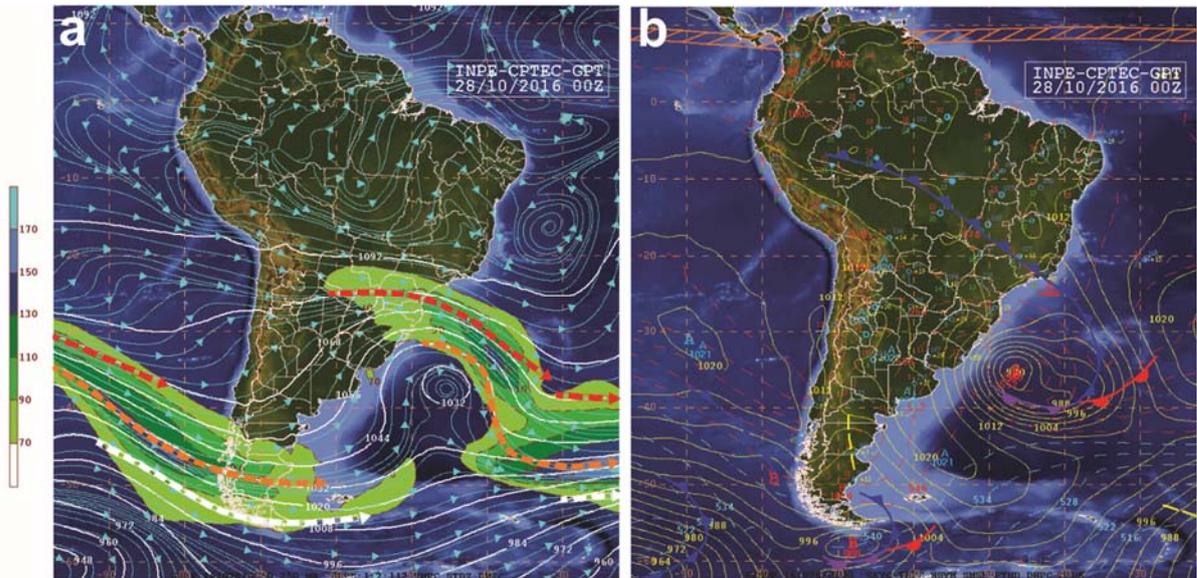


Figura 12 - Cartas sinóticas da América do Sul no dia 28/10/2016 às 00 UTC

Fica evidente a atuação de um ciclone extratropical explosivo no Atlântico Sul, próximo à PCRG. Em a) carta de altitude e, em b) carta de superfície.

Associado a passagem do ciclone extratropical, o total de PP sobre a área lagunar em 8 dias (entre 22 e 30 de outubro) foi 42,7% (40,6 milímetros) da média do mês de outubro (95,3 milímetros). O segundo fator foi a velocidade do vento (velocidade de até 13 metros por segundo e rajadas de 28 metros por segundo), que gerou ondas do quadrante Sul-Sudoeste com quase 6 metros de altura, 4 vezes a altura média das ondas na PCRGS (1,5 metros). Nesse período, diversas cidades da costa sul do Brasil tiveram suas ruas alagadas, permitindo deduzir a ocorrência de sobrelevagem (*washover*) sobre a embocadura do canal, e dunas frontais, colaborando para o seu rompimento.

5. Conclusão

Berger (1997, 1998) elaborou uma tabela e uma lista de geoindicadores que apontam características e fatores indicativos de variações climáticas e outras mudanças ambientais. Através da interpretação visual do geoindicador em imagens de satélite, combinados com dados meteorológicos, PP, correlação estatística com índices climáticos, foi possível inferir que a passagem do ciclone extratropical teve um papel significativo, se não determinante, na abertura do canal da LP, conforme observado na imagem pós-evento (Figura 5).

Além disso, foi constatado que esse ciclone extratropical apresentou características explosivas (SCHOSSLER *et. al*, 2019) e provavelmente gerou a maré de tempestade registrada no litoral do RS, assim como os intensos ventos e ondas provenientes do quadrante Sul-Sudoeste. O uso do sensoriamento remoto demonstrou ser uma ferramenta eficiente na interpretação através da aparência de geoindicadores, permitindo a interpretação das mudanças morfológicas do canal antes e após a passagem do ciclone extratropical.

A partir da análise visual das imagens, foi permitido inferir o avanço da linha da praia e a alta concentração de umidade na areia após o evento, devido à elevada e concentrada PP pluviométrica. Compreender e documentar os efeitos desses eventos é essencial para orientar políticas públicas e ações de prevenção, visando à proteção da população e do meio ambiente em face das adversidades climáticas.

6.Referências

ALMEIDA, L.E.S.B., TOLDO Jr. E.E. Relatório Técnico – Projeto Estudos Ambientais em Áreas Costeiras e Oceânicas na Região Sul do País – Região de Osório, RS. IPH, UFRGS, Porto Alegre, 1997.

ANDRADE, M. M. Introdução à metodologia do trabalho científico: elaboração de trabalhos na graduação. São Paulo, SP: Atlas, 2010.

AREJANO, T. B. Geologia e evolução holocênica do sistema lagunas da “Lagoa do Peixe”, litoral médio do Rio Grande do Sul, Brasil. Tese de Doutorado, Porto Alegre 2006.

BERGER, A.R. Assessing rapid environmental change using geoindicators. *Environmental Geology*, V 32, p. 36-44, 1997.

BARRY, ROGGER G. E CHORLEY, RICHARD J. Atmosfera Tempo e Clima. 9ª edição, Porto Alegre: Bookman, 2013.

BERGER, A.R. Environmental change, geoindicators, and the autonomy of nature. *GSA Today*. Geological Society of America, v. 8, n. 1, p. 3-8, 1998.

BERGER, A.R.; IAMS, W. J. (Eds.). *Geoindicators-assessing rapid environmental changes in earth systems*. Rotterdam: Balkema, 1996.

CALLIARI, L.J.; TOZZI, H. M.; KLEIN, A. H. Erosão associada a marés meteorológicas na costa sul-rio-grandense. *Anais*, 34º Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador, SBG, 1996.

CALLIARI, L.J.; TOLDO, E.E. Ocean Beaches of Rio Grande do Sul. In SHORT, A.D.; KLEIN, A.H.F. (org.) *Brazilian Beach Systems*. Springer, Coastal Research Library 17, 2016.

CARPENEDO, C. B. Atividade convectiva associada às anomalias de temperatura da superfície do mar no Atlântico Tropical e impactos climáticos no estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Climatologia*, v.1, 2018.

Catálogo de Metadados da ANA, Países. 2010. Disponível em: <<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/7cfd53c4-b4e1-4aba-a79b-857a19649df6>>. Acesso em: 19 de julho de 2023.

CAVALCANTI, A. Tempo e clima no Brasil. [s.l.] Oficina de Textos, 2009

CECÍLIO, R.O.; DILLENBURG, S.R. An ocean wind-wave climatology for the Southern Brazilian Shelf. Part II: Variability in space and time. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, v. 88, 101103, 2019.

CHRISTOPHERSON, R. W. Geossistemas: Uma Introdução a Geografia Física. 7ª edição – Porto Alegre: Bookman Companhia Ed, 2012.

Costal Engineering Manual. Wasington, D.C., Army Corps of Engineers United States of America, 2002.

Dados geoespaciais de referência da Cartografia Nacional e dados temáticos produzidos no ICMBio. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/dados_geoespaciais/mapa-tematico-e-dados-geoestatisticos-das-unidades-de-conservacao-federais>. Acesso em 19 de julho de 2023.

DALAGNOL, R. *et al.* Extreme rainfall and its impacts in the Brazilian Minas Gerais state in January 2020: Can we blame climate change? *Climate Resilience and Sustainability*, v. 1, n. 1, 14 ago. 2021.

DILLENBURG S.R., HESP P.A. Coastal Barriers – An Introduction. In: *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*. Lecture Notes in Earth Sciences, vol 107. Springer, Berlin, Heidelberg, 2009.

DONNELLY, C., N. C. KRAUS, AND M. LARSON. Coastal overwash: Part 1, Overview of processes. Coastal and Hydraulics Engineering Technical Note ERDC/CHL CHETN-XIV-13. Vicksburg, MS: US Army Engineer Research and Development Center, Coastal and Hydraulics Laboratory, 2004

FRANCO, A. S. Tides: Fundamentals, Analysis and Prediction. Fundação Centro-Tecnológico de Hidráulica: São Paulo, 1988.

GRUBER, N.L.S. A antepraia na região de Tramandaí, RS. Tese de Doutorado. Curso de Pós-Graduação em Geociências. UFRGS. 2002

GILLET, N. P.; KELL, T. D.; JONES, P. D. Regional climate impacts of Southern Annular Mode. Geophysical Research Letters, v. 33, L23704, 2006.

HART, R. E. A cyclone phase space derived from thermal wind and thermal asymmetry. Monthly Weather Review, v. 131, 2003

HAYES, M.O. Morphology of sand accumulations in estuaries. In: Cronin, L.E. (Ed.), Estuarine Research. New York, Academic Press, v. 2, 1975

ICMBIO, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Bio. Diversa. 9ª edição – Revista Eletrônica do ICMBIO, 2019.

<https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/comunicacao/Biodiversa/Biodiversa_009.pdf>. Acesso em 07/09/2021

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Divisão de Geração de Imagens| OBT| INPE. <<http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>>. Acesso em: 10 de dezembro de 2017.

IPCC. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. 2021.

IPCC. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate

Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, 2023.

Flutuador ARGO, OCEATLAN. <<http://www.oceanlan.org/argo/dados/>>. Acesso em: 26 de abril de 2018.

JANTSCH, M., AQUINO, F. E. Ocorrência e distribuição espacial de ciclones extratropicais na região Sul do Brasil em 2018. *ParaOnde!?*, Porto Alegre, vol. 13, n.2, p.236-251, 2020.

JUSTINO, F.B.; PELTIER, R. Climate anomalies induced by the Arctic and Antarctic Oscillations: Glacial Maximum and present-day perspectives. *Journal of Climate*, v. 21, n. 3 p. 459-475, 2008.

NASA, National Aeronautic and Space Administration, Atmospheric Composition, Water & Energy Cycles and Climate Variability. <<https://mirador.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/mirador/presentNavigation.pl?tree=project&dataset=3B43:%20Monthly%200.25%20x%200.25%20degree%20merged%20TRMM%20and%20other%20sources%20estimates&project=TRMM&dataGroup=Gridded&version=007&CGISESSID=b41177594e552cee2839386b295f159d>>. Acesso em: 24 de janeiro de 2018.

KUROKI, L. Y. *et al.* A vulnerabilidade social da região sudeste do Brasil frente à variabilidade climática. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 31, p. 671–695, 24 nov. 2022.

LIMA, S.F., TOLDO JR., E.E. E ALMEIDA, L.E.S.B. Estimativa da capacidade do transporte longitudinal de sedimentos a partir de dados de ondas para a costa do Rio Grande do Sul. *Pesquisas*, 28(2): 99-107, 2001.

LUCCHESI, A. E VILANI, T. Os últimos Pescadores da Lagoa do Peixe. *Gaúcha Zero Hora* 29/03/2018. Disponível em <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/ambiente/noticia/2018/03/os-ultimos-pescadores-da-lagoa-do-peixe-cjfb9qzrp01wo01ph63yjoopl.html>>. Acesso em 19 de janeiro de 2023

LOEBMANN, D. E VIEIRA, J. O Impacto da pesca do camarão-rosa *Farfantepenaeus paulensis* (Perez-Farfante) (Decapoda, Penaeidae) nas assembleias de peixes e siris no Parque Nacional da Lagoa do Peixe, Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Zoologia*, v. 23, n. 4, p. 1016-1028, 2006.

MARENGO, J. A. Mudanças Climáticas, Condições Meteorológicas Extremas e Eventos Climáticos no Brasil. In: *Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil*. FDDBS E LLOYD'S, 2009.

MARRAFON, V. H., *et al.* Extratropical cyclones in the Southern hemisphere: comparison among different reanalysis. *Revista Brasileira de Climatologia* Vol. 28, 2021

MARSHALL, G. J. Trends in the Southern Annular Mode from observation and reanalysis. *Journal of Climate*, v.16, p.4134-4143, 2003.

NICOLODI, J.L.; SIEGLE, E.; RECHDEN FO., R. e CORRÊA, I.C.S. Análise sedimentológica do pós-praia no Rio Grande do Sul. In: Martins, L.R., Toldo Jr., E.E., Dillenburg, S.R (eds). *Erosão Costeira: Causas, análise de risco e sua relação com a gênese de depósitos minerais* Porto Alegre, 2002.

NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration, Global Climate Report – Annual 2016. <<https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201613>>. Acesso em: 30 de abril de 2018.

Projeto Mudança do Referencial Geodésico | IBGE. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/sirgas/16691-projeto-mudanca-do-referencial-geodesico-pmrg.html?=&t=perguntas-frequentes>>. Acesso em: 18 de agosto de 2023.

PUGH, D.T. *Tides, Surges and Mean Sea Level*. John Wiley & Sons. Chichester, U.K, 1987

Malha Municipal | IBGE. Disponível em:
 <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>>. Acesso em 19 de julho de 2023.

MELO F. O. E. Maré Meteorológica na Costa Brasileira, Tese Professor Titular, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Rio Grande, 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro. Dieter Muehe, organizador. – Brasília: MMA. 2006.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Dados geoespaciais de referência da Cartografia Nacional e dados temáticos produzidos no ICMBio. 2020. <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/dados_geoespaciais/mapa-tematico-e-dados-geoestatisticos-das-unidades-de-conservacao-federais>. Acesso em 20 de julho de 2023

PROCERGS, Portal GeoLivre Disponível em:
 <<http://www.geolivres.gov.br/menu.htm?menu=4>>. Acesso em: 19 de julho de 2023

Projeto Plano de Manejo Parque Nacional da Lagoa do Peixe Fase 2. 1999

PORTARIA SUDEPE N° 04 – 14/01/1986. ICMBIO
 <<https://www.icmbio.gov.br/cepsul/legislacao/portaria/258-1986.html>>. Acesso em 19 de janeiro de 2023

QUINTÃO, A. F. *et al.* Social, Environmental, and Health Vulnerability to Climate Change: The Case of the Municipalities of Minas Gerais, Brazil. *Journal of Environmental and Public Health*, v. 2017, 2017.

REBOITA, M.S., *et al.* Ciclones em Superfícies nas Latitudes Austrais: Parte I – Revisão Bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n. 2 pag. 171 – 186. 2017.

ROMEU, M.A.R.; FONTOURA, J.A.; MELO, E. Typical Scenarios of Wave Regimes off Rio Grande do Sul, Southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, v. 299, n. 1, p. 61-68, 2015.

SANDERS, F.; GYAKUM, J.R. Synoptic-dynamic climatology of the “bomb”. *Monthly Wether Review*, v. 108, 1980.

SCHOSSLER, V. Influência das mudanças climáticas em geoindicadores na costa sul do Brasil. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - 2016.

SCHOSSLER V., *et al.* Coastal geoindicators and anomalous precipitation patterns associated with variations in the SAM and the ENSO. *Revista Brasileira de Geografia Física* v.10, n.05, p.1419-1434, 2017a.

SCHOSSLER, V.; TOLDO Jr., E.E.; DANI, N. Morfodinâmica da desembocadura da Lagoa do Peixe, litoral sul do Brasil. *Pesquisas em Geociências (UFRGS)*, v. 44, p. 25-39, 2017b.

SCHOSSLER, V., *et al.* Anomalias da circulação atmosférica antártica na primavera de 2016 como indutoras de uma ciclogênese explosiva no rio grande do sul. *Revista de Geografia - PPGeo - UFJF*, v. 8, n. 2, p. 54–64, 2019.

STEIN, L. P. Morfodinâmica e Eventos de Sobrelavagem: Praias da Baía de Santos, SP. Dissertação (Mestrado em Programa de pós-graduação em Oceanografia). Universidade de São Paulo, 2018

TOMAZELLI, L.J., VILLWOCK, J.A. Processos Erosivos na Costa do Rio Grande do Sul, Brasil: Evidências de uma Provável Tendência Contemporânea de Elevação do Nível Relativo do Mar. Resumos, 2 Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Rio de Janeiro, ABEQUA, 1989.

TOMAZELLI, L. J., VILLWOCK, J. A. O cenozoico do Rio Grande do Sul: Geologia da Planície Costeira. Holz, M & Deros, L.F., Geologia do Rio Grande do Sul. Edição CIGO/UFRGS, 2000.

TOLDO, JR, E.E; ALMEIDA, L.E.S.B; CORRÊA, I.C.S. Produção de sedimentos no sistema lagunar da Lagoa dos Patos, RS. In: II Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, Rio de Janeiro, 1996.

TOLDO JR. E.e., *et al.* Hidrodinâmica E Sedimentologia Das Praias Oceânicas Do Rio Grande Do Sul Em: 50 Anos De Geologia Do Instituto De Geociências. Ed. Porto Alegre: Editora Comunicação e Identidade, 2007.

VALVERDE, M. C. A Interdependência entre Vulnerabilidade Climática e Socioeconômica na Região do ABC Paulista. *Ambiente & Sociedade*, v. 20, 2017.

VELLOZO, T.G.; ALVES, A.R. - Características gerais do fenômeno da maré no Brasil. *Anais Hidrográficos da Diretoria de Hidrografia e Navegação*, Tomo LXI, 2006.

VILES, H.A.; GOUDIE A.S. Interannual, Decadal and Multidecadal Scale Climatic Variability and Geomorphology. *Earth-Science Reviews*, v.61 (1-2), 2003.100