

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

**CARACTERIZAÇÃO DA EVOLUÇÃO MORFOLÓGICA DO  
PONTAL ARENOSO NO ESTUÁRIO DO RIO ARARANGUÁ A  
PARTIR DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL**

**EDVAN CASAGRANDE DOS SANTOS**

ORIENTADOR – Prof. Dr. Jair Weschenfelder

Porto Alegre, 2021

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

**CARACTERIZAÇÃO DA EVOLUÇÃO MORFOLÓGICA DO  
PONTAL ARENOSO NO ESTUÁRIO DO RIO ARARANGUÁ A  
PARTIR DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL**

**EDVAN CASAGRANDE DOS SANTOS**

ORIENTADOR – Prof. Dr. Jair Weschenfelder

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Iran Carlos Stalliviere Corrêa (PPGGEO/UFRGS)

Profa. Dra. Carla de Abreu D'Aquino (PPGES/UFSC)

Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig (PPGCA/UNESC)

Dissertação de Mestrado apresentada  
como requisito parcial para a obtenção  
do Título de Mestre em Geociências.

Porto Alegre, 2021

#### CIP - Catalogação na Publicação

Casagrande dos Santos, Edvan  
CARACTERIZAÇÃO DA EVOLUÇÃO MORFOLÓGICA DO PONTAL  
ARENOSO NO ESTUÁRIO DO RIO ARARANGUÁ A PARTIR DE DADOS  
DE SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL / Edvan Casagrande  
dos Santos. -- 2021.  
76 f.  
Orientador: Jair Weschenfelder.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa  
de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, BR-RS,  
2021.

1. pontal arenoso. 2. estuário. 3. ambiente  
deposicional. 4. sensoriamento remoto. I.  
Weschenfelder, Jair, orient. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os  
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), ao Instituto de Geociências (IGEO) e ao Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGGEO) pela oportunidade e apoio durante o período do mestrado e ao Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica (CECO). Também gostaria de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de mestrado que me foi proporcionada.

Ao meu orientador, o professor Jair Weschenfelder pela orientação, apoio e confiança durante o meu período no mestrado. Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Geociências, em especial ao professor Eduardo Guimarães Barboza e Maria Luiza Correa da Câmara Rosa, fica o meu agradecimento pelo suporte durante as atividades de campo e pelo apoio durante esse período. Aos meus colegas e amigos que fiz durante esse período na Geologia Marinha, aos professores e funcionários da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Enfim, agradeço a minha família por sempre me apoiar nas minhas decisões, me fornecendo suporte na minha formação acadêmica.

## RESUMO

O sensoriamento remoto possibilita a caracterização dos sistemas deposicionais costeiros através do uso e interpretação dos dados multiespectrais obtidos da superfície terrestre. As imagens de satélite fornecem meios para estudos tanto em superfície quanto na subsuperfície das zonas costeiras. No contexto das mudanças ambientais globais, os ambientes deposicionais costeiros configuram-se como um dos ecossistemas mais vulneráveis à elevação do nível do mar ao longo do século XXI. O objetivo desta dissertação de mestrado é caracterizar a evolução morfológica do pontal arenoso do rio Araranguá em Santa Catarina, com a finalidade de compreender a relação entre a progradação e retrogradação do pontal arenoso e a ocorrência de processos de sobrelavagem sobre a barreira holocênica. Para tanto, foi utilizado um intervalo de 37 anos de imagens de satélite, cujo dados foram obtidas no banco de dados “Earth Explorer”, do Serviço Geológico dos Estados Unidos. O processamento digital das imagens foi realizado no software ENVI, versão 5.3. As feições deposicionais foram identificadas, vetorizadas e os mapas temáticos foram gerados no software ArcGIS, versão 10.3. Os dados morfométricos gerados foram tabulados, analisados e comparados em planilhas eletrônicas. O pontal apresenta tendência de acreção sedimentar, em relação a sua área e comprimento, e está em processo de progradação em direção nordeste. O pontal progradou aproximadamente 3550 m no período analisado, e sua área cresceu 670 m<sup>2</sup>. A taxa média de progradação calculada foi de 98,5 m por ano. Através do uso de imagens de sensoriamento remoto orbital foi possível caracterizar adequadamente a evolução morfológica do pontal arenoso do rio Araranguá, entre 1984 e 2021. Assim como, identificar os principais fatores que influenciam a morfodinâmica desse ambiente deposicional, principalmente as condições meteorológicas e oceanográficas, tais como os eventos de lavagem e sobrelavagem costeira, a inundação da planície na bacia hidrográfica do rio Araranguá e as intervenções humanas no pontal arenoso, decorrentes dos episódios de inundação no continente.

**Palavras-chave:** pontal arenoso, estuário, ambiente deposicional, sensoriamento remoto.

## ABSTRACT

Remote sensing enables the characterization of coastal depositional systems through the use and interpretation of multispectral data obtained from the earth's surface. Satellite imagery provides the means for both surface and subsurface studies of coastal zones. In the context of global environmental changes, coastal depositional environments are one of the most vulnerable ecosystems to sea level rise throughout the 21st century. The objective of this master's dissertation was to characterize the morphological evolution of the Araranguá River's sandspit in Santa Catarina, in order to understand the relationship between the progradation and retrogradation of the sandy point and the occurrence of overwash processes on the Holocene barrier. For this purpose, a 37-year interval of satellite images was used, whose data were obtained from the "Earth Explorer" database of the United States Geological Survey. Digital image processing was performed using ENVI software, version 5.3. The depositional features were identified, vectored and the thematic maps were generated using ArcGIS software, version 10.3. The morphometric data generated were tabulated, analyzed and compared in electronic spreadsheets. The spit presents a tendency of sedimentary accretion in relation to its area and length, and is in the process of progradation towards northeast. The point prograded approximately 3550 m in the analyzed period, and its area increased by 670 m<sup>2</sup>. The average rate of progradation calculated was 98.5 m per year. Through the use of orbital remote sensing images, it was possible to adequately characterize the morphological evolution of the Araranguá River's sandspit, between 1984 and 2021. As well as identify the main factors influencing the morphodynamics of this depositional environment, especially meteorological and oceanographic conditions, such as washing and coastal overwas events, flooding of the plain in the Araranguá river basin and human interventions in the sandspit, resulting from flooding episodes on the continent.

**Keywords:** sandspit, estuary, depositional environment, remote sensing.

## Lista de Figuras

Figura 1. Mapa de localização do pontal arenoso do rio Araranguá, Santa Catarina - Brasil. Fontes da imagem de satélite: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, USDA FSA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo e Comunidade de Usuários GIS. ....	16
Figura 2. Províncias Geológicas do Estado de Santa Catarina (Horn Filho & Diehl, 1994, 2001; Horn Filho, 2003). ....	24
Figura 3. Planície Costeira da Bacia de Pelotas. Fonte do mapa: Barboza et al. (2021). Modificado de Dillenburg & Barboza (2014), Rosa et al. (2017), Bittencourt et al. (2020) e Barboza et al. 2021.....	26
Figura 4. Mapa das unidades deposicionais da área de estudo. Fonte dos dados: CPRM. ....	28
Figura 5. Feições deposicionais de leques de sobrelavagem no pontal arenoso do rio Araranguá. Fonte: Google Earth Pro. Data da imagem: 01/06/2011. ....	29
Figura 6. Fluxograma com resumo das etapas metodológicas do trabalho.....	32

## Lista de Tabelas

Tabela 1. Data de aquisição das imagens de satélite.....	33
Tabela 2. Descrição dos dados utilizados no estudo.....	34

## Sumário

<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>11</b>
1. Introdução .....	12
1.1 Justificativa .....	13
1.2 Objetivos de pesquisa.....	15
1.2.1 Objetivos Específicos.....	15
2. Área de Estudo .....	16
2.1 Plataforma Continental .....	17
2.2 Aspectos Oceanográficos .....	19
2.2.1 Deriva Litorânea.....	19
2.2.2 Circulação Oceânica Superficial .....	20
2.2.3 Marés e Ondas .....	21
2.3 Aspectos Climáticos.....	23
2.4 Caracterização Geológica-Geomorfológica .....	23
2.4.1 Planície Costeira de Santa Catarina .....	25
2.4.2 Barreira Costeira Holocênica .....	27
3. Estado da Arte .....	30
3.1 Pontal Arenoso - Sandspit .....	30
4. Materiais e Métodos.....	32
4.1 Aquisição dos dados.....	32
4.2 Procedimentos Metodológicos.....	35
5. Referências Bibliográficas .....	37
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>46</b>
6. Variabilidade morfológica do pontal arenoso do estuário do rio Araranguá, Santa Catarina, entre 1984 e 2021 .....	47
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>74</b>
7. Considerações Finais .....	75

## **Estrutura da Dissertação**

Essa dissertação de mestrado está organizada em três capítulos. No Capítulo I é apresentado o Texto Integrador, composto pelos seguintes subcapítulos: a) Introdução, Justificativa e Objetivos de Pesquisa; b) Caracterização da área de estudo e contextualização geológica e geomorfológica; c) Estado da arte do tema pesquisado; d) Os materiais e a metodologia aplicada; e) Referências Bibliográficas utilizadas. No Capítulo II, é apresentado o artigo submetido a *Revista Brasileira de Geografia Física* (Qualis A3), atendendo as normas do Programa de Pós-Graduação em Geociências. Por fim, no Capítulo III, são apresentadas as considerações finais sobre o tema pesquisado.

## **CAPÍTULO I**

## 1. Introdução

As zonas costeiras são ambientes extremamente complexos resultantes da interação entre a hidrosfera, a geosfera, a atmosfera, a biosfera e a atividade humana (Dias, 2005; Alesheikh *et al.*, 2007; Souza *et al.*, 2005). As regiões litorâneas constituem-se em zonas de contatos tríplices: entre a terra, o mar e a dinâmica climática (Ab' Sáber, 2000). São ambientes de fronteira entre o mar e o continente, que estão sujeitos as constantes alterações morfodinâmicas ambientais, devido aos processos geológicos marinhos e continentais.

Essa dinâmica morfológica das zonas costeiras está também estritamente relacionada à dinâmica dos oceanos, conseqüentemente as variações do nível do mar, a circulação oceânica e ao regime de ondas e marés (Cunha & Guerra, 1998; Neto *et al.*, 2004, Souza *et al.*, 2016). A configuração atual das zonas costeiras é a representação do resultado de uma longa interação entre os processos tectônicos, geomorfológicos, climáticos e oceanográficos (Muehe, 2009).

Na fisiografia dos ambientes deposicionais costeiros ocorrem frequentes mudanças espaciais e temporais como resultado da interação dos processos deposicionais e erosivos relacionados, principalmente com a ação das ondas, das correntes de maré, das correntes litorâneas e influências humanas. Nessa dinâmica, o ambiente costeiro pode também sofrer influência do sistema fluvial, de modo que essa interação resulta em uma grande diversidade de ambientes deposicionais, ou seja, de multiplicidade de feições geológicas e geomorfológicas (Rossetti, 2008).

Nas regiões costeiras, os processos morfodinâmicos atuantes desempenham uma grande influência na disposição das linhas de costa, tanto por ação erosiva (destrutiva) ou por dinâmica deposicional (construtiva). Esses processos podem ser classificados como: ações naturais-físicas, biológicas e químicas (Neto *et al.*, 2004). De acordo com Souza *et al.* (2005) a compreensão dos processos costeiros e da morfodinâmica da linha de costa são fundamentais para o planejamento do uso e ocupação e a conservação desses ambientes costeiros. Os sistemas deposicionais costeiros holocênicos envolvem a interação de complexos processos sedimentares, que atuam em diferentes escalas de tempo e espaço (Sawakuchi & Giannini, 2006).

A caracterização dos sistemas deposicionais através do uso de informações obtidas por sensoriamento remoto orbital, viabiliza estudos tanto em superfície quanto na subsuperfície dos ambientes costeiros. Os dados gerados pelo sensoriamento remoto possibilitam não só a distinção entre os diferentes sistemas deposicionais, mas também o

reconhecimento das alterações dentro de um mesmo sistema. Como por exemplo, a resposta a sua dinâmica de sedimentação e erosão, ou seja, possibilita a quantificação de variações das taxas de deposição e erosão costeira.

Dessa forma, essa ferramenta torna-se importante para o monitoramento dos processos e dinâmica costeira, uma vez que permite o acompanhamento da evolução morfodinâmica dos sistemas deposicionais, por meio da análise de imagens multiespectrais em séries temporais (Ekercin, 2007; Rossetti, 2008). A interpretação de imagens de sensoriamento remoto e a aplicação de técnicas de processamento de imagens fornecem uma solução possível para alguns dos problemas de geração e atualização dos mapas dos ambientes deposicionais costeiros (Winarso *et al.*, 2001; Alesheikh *et al.*, 2007).

Os mapeamentos dos ambientes deposicionais costeiros podem ser aplicados para diversas finalidades, sendo possível a identificação de variáveis morfométricas (altura, perfil topográfico da barreira, declividade e outros), feições e estruturas geológicas-geomorfológicas. Além disso, a caracterização da morfologia do ambiente costeiro através de modelos digitais de terreno, gerados por aerolevantamentos ou sensores remotos orbitais do tipo radar, permitem a visualização do ambiente deposicional costeiro em três dimensões (Rossetti, 2008). Assim como, para a delimitação de linhas de costa, áreas de dunas, fundo dos oceanos, ondas, nível médio dos mares e o transporte de sedimentos (Queiroz & Gonçalves, 2016). O monitoramento da zona costeira através do uso de dados de sensoriamento é importante no auxílio do desenvolvimento sustentável e na proteção ambiental desses ambientes (Alesheikh *et al.*, 2007).

## 1.1 Justificativa

Os eventos de lavagem costeira e/ou sobrelavagem, ou seja, *overwash* estão geralmente associados a elevação do nível do mar sob efeito de eventos meteorológicos que concentram alta energia, como as tempestades e os furacões (Pierce, 1970; Donnelly *et al.*, 2006). Ao atingirem a linha de costa, esse fluxo de água e sedimentos pode romper a barreira costeira e inundar as regiões litorâneas. Esse fluxo de sobrelavagem, pode depositar em direção ao interior da barreira costeira sedimentos que são denominados de *overwash*, ou deposição de *washover* (Carruthers *et al.*, 2013).

Os leques de sobrelavagem – *washover fans* podem se formar durante a progradação de pontais – *spits* (Reison, 1979; Hudock *et al.*, 2014). Os leques são o principal mecanismo pelo qual as barreiras aumentam em largura e migram em direção ao

continente (Matias et al., 2007; Hudock *et al.*, 2014). A lavagem costeira pode impactar significativamente a geomorfologia costeira dos sistemas deposicionais de praias e estuários, erodindo a zona próxima à costa, como as praias, as dunas, os pontais e esporões arenosos e a barreira holocênica como um todo, gerando os depósitos de sobrelavagem.

A morfologia e evolução temporal dos pontais arenosos podem ser identificados por meio de imagens de sensores orbitais, levantamentos aerofotogramétricos e levantamentos topográficos de radar. Cujas variabilidade espacial e temporal pode ser caracterizada por meio de mapeamentos temáticos. Em um cenário de mudanças climáticas globais, conseqüente aumento de eventos meteorológicos extremos e aumento do nível do mar podem intensificar os processos de erosão costeira no litoral brasileiro localizado na porção do Atlântico Sul (Muehe, 2018; IPCC, 2021).

No Estado de Santa Catarina, conforme observado por Horn Filho *et al.* (2018), a zona costeira apresenta alterações morfológicas na sua paisagem em diferentes escalas espaço-temporais. Os principais processos de alterações no litoral catarinense são observados na erosão da linha de costa, nos campos de dunas e nos muros de contenção. Essas alterações, são ocasionadas por variações morfodinâmicas de origens naturais ou por intervenções humanas na zona costeira. Dessa forma, os processos erosivos ao longo do litoral, têm origem na variabilidade natural do sistema deposicional, entretanto podem ser intensificados pela influência das atividades humanas. No contexto local, o setor sul do litoral de Santa Catarina apresenta os menores índices de erosão costeira do litoral catarinense, conseqüentemente, são condicionados principalmente pela variabilidade da morfodinâmica natural do sistema deposicional costeiro.

A caracterização e compreensão dos processos morfodinâmicos dos ambientes costeiros são de extrema importância para a preservação da barreira holocênica, assim como para a gestão costeira e organização territorial. Nessa perspectiva, os eventos de lavagem podem ocorrer com maior frequência, ocasionando alterações morfodinâmicas-morfológicas nos sistemas deposicionais costeiros holocênicos, tal qual, prejuízos econômicos e sociais para a população que reside nessas áreas. Portanto, o entendimento de como a dinâmica dos processos de lavagem costeira influenciam a morfologia das feições deposicionais torna-se importante para a compreensão do funcionamento dos ambientes deposicionais costeiros holocênicos, assim como, servem de indicadores ambientais de mudanças na morfologia das zonas costeiras mundiais.

## **1.2 Objetivos de pesquisa**

O estudo tem como objetivo caracterizar a evolução morfológica do pontal arenoso do rio Araranguá em Santa Catarina, com a finalidade de compreender a relação entre a progradação e retrogradação do pontal arenoso e a ocorrência de processos de sobrelavagem sobre a barreira holocênica.

### **1.2.1 Objetivos Específicos**

- 1) Caracterizar a dinâmica morfológica do pontal arenoso a partir de dados multiespectrais de sensoriamento remoto orbital.
- 2) Calcular e relacionar os parâmetros morfológicos do pontal arenoso.
- 3) Identificar os fatores ambientais que condicionam a evolução costeira do pontal arenoso.

## 2. Área de Estudo

A área de estudo compreende a região do estuário do rio Araranguá, localizada no extremo sul do Estado de Santa Catarina e integra a Área de Proteção Ambiental Municipal (APA) da Costa de Araranguá (Decreto municipal número 7828/2016), Monumento Natural (MONA) do Morro dos Conventos (Decreto municipal número 7829/2016) e Reserva Extrativista (RESEX) (Decreto municipal número 7830/2016) do Rio Araranguá (Figura 1).



FIGURA 1. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO PONTAL ARENOSO DO RIO ARARANGUÁ, SANTA CATARINA - BRASIL. FONTES DA IMAGEM DE SATÉLITE: ESRI, DIGITALGLOBE, GEOEYE, I-CUBED, USDA FSA, USGS, AEX, GETMAPPING, AEROGRID, IGN, IGP, SWISSTOPO E COMUNIDADE DE USUÁRIOS GIS.

A bacia hidrográfica do rio Araranguá possui uma área total de aproximadamente 3.089 km<sup>2</sup>. O rio Araranguá constitui-se pela junção de dois afluentes, o rio Mãe Luzia e rio Itoupava, com extensão de 35 km e profundidade média ao longo do seu curso de 7,2 m e de 4 m na desembocadura (D' Aquino et al., 2010; Couceiro, 2015). Na região próxima a sua foz, mantém ligação com um subafluente, o rio dos Porcos e com a lagoa Caverá. A orientação do rio Araranguá é de leste-oeste, com característica morfológica meandrante. Ao mesmo tempo, na foz desloca-se para nordeste paralelamente à linha de costa, em que

se forma um pontal arenoso por cerca de nove quilômetros, antes de desaguar no mar (Barreto & Schettini, 2014).

A qualidade da água do rio Araranguá está comprometida em alguns trechos do seu curso devido aos usos inadequados por diversos setores econômicos e sociais dos municípios que integram essa bacia hidrográfica. Diferente do que ocorre na maioria dos canais fluviais que desaguam no mar na Bacia de Pelotas, sua desembocadura não está estabilizada por molhes de fixação. As águas do rio Araranguá recebem aporte de drenagem ácida com baixo pH de seus afluentes decorrente da mineração e processamento de carvão a montante, o que ocasiona uma aceleração da decantação dos sedimentos transportados em suspensão pelo canal (Barreto & Schettini, 2014; Silvestrini & D'Aquino, 2020).

O estuário do rio Araranguá forma-se devido a variação no regime de marés e de suas águas (Araújo *et al.*, 1989). O padrão de distribuição vertical de salinidade e circulação estuarino é altamente estratificado, assim, em relação ao indicador do balanço de materiais no sistema estuarino, pode ser classificado como um estuário do tipo exportador e de frente deltaica (Couceiro *et al.*, 2021). Os sedimentos de fundo são arenosos próximos a sua desembocadura (Couceiro & Schettini, 2010; Barreto & Schettini, 2014).

As micromarés (amplitudes de marés inferiores a 2 metros) são predominantes na região do estuário do rio Araranguá (Tessler & Goya, 2005; D'Aquino *et al.*, 2010; Loitzenbauer & Mendes, 2016). Esse regime de micromarés no local tem um efeito secundário como condicionante da hidrodinâmica do estuário do rio, evidenciando que a descarga fluvial representa o fator mais relevante no sistema desse ambiente (Couceiro & Schettini, 2010; Barreto & Schettini, 2014; Silvestrini & D'Aquino, 2020). As marés no estuário do rio Araranguá são caracterizadas como mistas e semidiurnas. As correntes de maré atingem 0,4 m/s durante as marés de sizígia e 0,2 m/s nas marés de quadratura (Valle-Levinson *et al.*, 2019).

## **2.1 Plataforma Continental**

O estuário do rio Araranguá está inserido dentro dos limites da Plataforma Continental Sul Brasileira, que se estende desde o Cabo de Santa Marta em Laguna até o Chuí no Rio Grande do Sul. A orientação do litoral catarinense no trecho sul do estado é de Nordeste/Sudoeste (Abreu *et al.*, 2019). A porção sul da Plataforma Continental de Santa Catarina está localizada dentro da Bacia de Pelotas (Gré, 1989).

Mahiques *et al.* (2010) e Abreu *et al.* (2019) subdividiram a da Plataforma Continental Sul Brasileira, a partir de critérios geomorfológicos propostos por Zembruscki (1979). Desse modo, a área de estudo do estuário do rio Araranguá compreende os limites do setor entre Florianópolis e Mostardas. Muehe (2009) classifica a Plataforma Continental Sul Brasileira em dois macrocompartimentos, a área de estudo está inserida no Macrocompartimento Litoral Retificado do Norte, que se estende por 117 km, do Cabo de Santa Marta, em Laguna até a foz do rio Mampituba em Torres.

As principais características da plataforma continental nesse setor são: largura da plataforma que varia entre 100 e 160 km, com declividades de 1:600 a 1:1000 e quebra da plataforma entre 100 e 160 m. A quebra da plataforma nesse trecho é geralmente transitória, não apresentando planaltos e terraços marginais, assim como não é cortada por nenhum canyon submarino relevante, com exceção dos vales do Rio Grande (Martins & Coutinho, 1981). A declividade da plataforma interna na região de Araranguá é considerada alta, em torno de 0,1° (Crippa, 2015).

O padrão batimétrico é paralelo e de certo modo concordante com a curvatura costeira até profundidades entre 10 e 15 m, adotando orientação geral da costa Sul-Brasileira (NE/SW) a partir de 20 m de profundidade (Zembruscki, 1979; Abreu *et al.*, 2019). A plataforma continental interna na isóbata de 50 m se alarga de 6 km no Cabo de Santa Marta em Laguna para 40 km em direção a Torres no Rio Grande do Sul (Siegle & Asp, 2007; Muehe, 2009).

Esse setor é considerado o mais homogêneo da Plataforma Continental Sul Brasileira, não apresentando canais bem demarcados e com apenas uma escarpa proeminente sem depósitos sedimentares associados (Mahiques *et al.*, 2010; Abreu *et al.*, 2019). Ao longo das suas margens existem vestígios de canais pertencentes a uma rede de drenagem em uma planície costeira submersa (Martins & Coutinho, 1981).

A Plataforma Continental do Sul de Santa Catarina é recoberta por sedimentos de origem terrígenos, alóctones e de composição inorgânica (Cunha & Guerra, 1998; Abreu *et al.*, 2019). Os sedimentos terrígenos são predominantes nas plataformas internas e médias e os sedimentos carbonáticos na plataforma externa (Kowsmann & Costa, 1979). Gré (1989) identificou a presença de quatro fácies sedimentares: areia, areia lamosa, areia-silte-argila e lama. Nesse setor predominam fácies arenosas, composta por areias quartzosas médias e finas. A areia é encontrada tanto na porção interna quanto externa da plataforma continental (Gré, 1989; Abreu *et al.*, 2019).

## 2.2 Aspectos Oceanográficos

### 2.2.1 Deriva Litorânea

A deriva litorânea no Sul de Santa Catarina e no Rio Grande do Sul se processa em ambos os sentidos da linha de costa, mas com predominância geral no sentido NE (Tomazelli & Villwock, 1992; Zasso, 2012).

Tomazelli & Villwock (1992) observam que ao longo das desembocaduras dos rios, lagunas e arroios da costa sul brasileira a deriva litorânea tem sentido predominante em direção a NE. Uma vez que, as desembocaduras da Lagoa do Peixe, na região de Mostardas e do rio Mampituba migram constantemente em direção NE. Machado (2005) também constatou esse padrão da deriva litorânea em direção NE, entre a praia do Morro dos Conventos, em Araranguá e o Balneário da Gaivota.

O Macrocompartimento Litoral Retificado do Norte de Santa Catarina apresenta variados padrões de deriva litorânea e transporte de sedimentos ao longo da linha de costa. A deriva litorânea é predominante unidirecional na porção sul desse setor, entre a foz do rio Mampituba e o estuário do rio Araranguá, apresentando um maior potencial de transporte de sedimentos nessa região. Conforme se desloca para norte em direção ao Cabo de Santa Marta a deriva diminui de intensidade, assim como altera sua direção em determinados períodos ano (Siegle & Asp, 2007). Desse modo, a principal direção da deriva litorânea ao longo do ano nesse setor ocorre de sul para norte, sendo controlada pelas ondas do quadrante sul, mais intensas, porém menos frequentes (Leal & Barboza, 2017). A deriva litorânea é mais intensa nos meses do outono e inverno e menos nos meses de verão e primavera (Siegle & Asp, 2007), atingindo seu máximo no outono.

A zona costeira do sul de Santa Catarina é caracterizada como um ambiente onde a ação das ondas e da deriva litorânea produzem feições deposicionais arenosas ao longo da linha de costa (Zasso *et al.*, 2013). A deriva litorânea está associada a ação das ondas exercendo papel fundamental na construção de feições sedimentares costeiras (Dominguez *et al.*, 1983). Na região da desembocadura de rios em ambientes dominados por ondas pode ocorrer a formação de ilhas arenosas, esporões e pontais arenosos. Essas feições deposicionais holocênicas são indicadores do sentido predominante da deriva (Komar, 1998). Siegle & Asp (2007) observam que o pontal arenoso do rio Araranguá se configura como um indicador geomorfológico da direção predominante da deriva litorânea nesse setor (Sudoeste para Nordeste).

## 2.2.2 Circulação Oceânica Superficial

A Plataforma Continental do Sul de Santa Catarina está sob influência da circulação oceânica superficial da Corrente do Brasil (CB) (Patchineelam, 2004; Castro Filho *et al.*, 2006; Mendonça *et al.*, 2018; Abreu *et al.*, 2019). Essas correntes de contorno oeste são caracterizadas por apresentar fluxos intensos, estreitos e bem delineados fluindo ao longo das margens continentais (Castro Filho *et al.*, 2006).

A CB está associada ao giro subtropical do Atlântico Sul, originando-se a 10°S e que flui em direção sul através da margem continental até aproximadamente 33°-38° S (Castro Filho *et al.*, 2006; Cirano *et al.*, 2006). Nessa região do Atlântico Sul, a CB encontra-se com a CM, que flui para norte através da costa Argentina e está associada a corrente Circumpolar Antártica. A confluência dessas correntes de massas de águas com características distintas forma a região denominada de Confluência Brasil-Malvinas (CBM), a leste da costa da plataforma da América do Sul (Cirano *et al.*, 2006; Matano *et al.*, 2010; Mafra *et al.*, 2020). Nos primeiros três mil metros de coluna d'água da CB encontram-se a Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA), Água Circumpolar Superior (ACS) e Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) (Silveira *et al.*, 2000; Castro Filho *et al.*, 2006).

Castro Filho (1990) e Abreu *et al.* (2019) destacam que a plataforma continental interna do estado de Santa Catarina é ocupada principalmente por águas costeiras verticalmente homogêneas, tanto em relação à temperatura quanto da salinidade.

Sazonalmente, a plataforma continental média e externa de Santa Catarina recebe maior influência de determinada massa de água transportadas pelas correntes oceânicas. Desse modo, a região de convergência entre as correntes de contorno varia ao longo das estações do ano (Castro Filho *et al.*, 2006). Durante a primavera e o verão atuam sobre a plataforma continental as massas de água AT e ACAS, mais quentes e trazidas pela Corrente do Brasil. Nos meses do outono e inverno, a Água Subantártica de Plataforma (ASAP), mais fria e menos salina exerce maior influência sobre a plataforma continental dessa região (Patchineelam, 2004; Castro Filho *et al.*, 2006; Mendonça *et al.*, 2018; Dalbosco, 2019).

### 2.2.3 Marés e Ondas

O litoral sul de Santa Catarina tem como característica o predomínio do regime de micromarés com pequena amplitude <100 cm (Horn Filho *et al.*, 2004). As micromarés dessa região são descritas como marés astronômicas semidiurnas mistas, que apresentam variações entre a maré baixa (quadratura) e a maré alta (sizígia) em aproximadamente de 6 em 6 horas, com ciclos a 12 horas (Araujo, 2020). No litoral catarinense, as marés astronômicas são menores no setor sul e se elevam em direção ao norte do estado, variando de 1,05 m ao norte para 0,46 m ao sul (Klein *et al.*, 2016). Araujo (2020) identificou que as alterações no nível do mar registradas pela rede de marégrafos no litoral de Santa Catarina, ocorrem principalmente por fatores astronômicos e meteorológicos.

A zona costeira de Santa Catarina tem como característica a predominância de ondas oceânicas sobre os regimes de micromarés locais (Abreu *et al.*, 2019). A dinâmica das ondas nessa região está relacionada e reflete o regime de ventos que incidem sobre o Atlântico Sul (Araujo *et al.*, 2003). A zona costeira de Santa Catarina é afetada basicamente por ondas do tipo sea (vagas) e swell (ondulações).

Araujo *et al.* (2003) observaram a partir da implantação de um ondógrafo a uma profundidade de 80 m e a 35 km da Ilha de Santa Catarina, em Florianópolis que a altura de média das ondas registrada foi de 1,25 m para o verão e primavera, 1,5 m para o outono e 1,25 a 2,5 m no inverno. Os autores também verificaram que o inverno se configura como a estação onde as ondas oceânicas são mais energéticas. Em relação as ondulações superiores a 4 m, elas podem ser registradas em todas as estações do ano ao longo da costa de Santa Catarina (Oliveira *et al.*, 2019).

O comportamento das ondas de swell no litoral de Santa Catarina são geradas pelo movimento dos ciclones, associados a frente frias e anticiclones provenientes da zona polar, possuem períodos mais longos e são responsáveis por um maior volume de sedimentos transportados em regiões rasas da plataforma continental (Oliveira *et al.*, 2019). Neste contexto, conforme observado por (Araujo *et al.*, 2003) o clima de ondas no litoral de Santa Catarina apresenta um swell de sul, dominante, 170° (S), com período de 12 segundos e altura média entre 1 e 1,5 m, aumentando para 2 m no inverno (Hesp *et al.*, 2009; Klein *et al.*, 2016; Abreu *et al.*, 2019). Esse regime de ondas está associado as frentes frias e anticiclones que atuam no Atlântico Sul (Oliveira, 2017). Ao longo da costa de Santa Catarina às ondas oceânicas com direção sul, sudeste e leste são predominantes. As vagas observadas ao longo do litoral de Santa Catarina são geradas próximas a linha de costa,

por ventos locais. São predominantes de direção leste, 70° (ENE), com períodos que variam de 7 a 9 segundos e altura média de 1 a 1,25 m (Hesp *et al.*, 2009; Abreu *et al.*, 2019).

O aumento do nível do mar ocasionado pela elevação da maré astronômica ou da maré meteorológica, acompanhado de ondulações com maior altura significativa são popularmente denominadas de “ressacas” (Bittencourt *et al.*, 2002). O aumento na altura das ondas no litoral sul brasileiro geralmente está associado a atuação de sistemas meteorológicos de baixa pressão (ciclones extratropicais) e frentes frias polares, que atuam sobre o Atlântico Sul (Bittencourt *et al.*, 2002; Machado *et al.*, 2019). As ressacas na zona costeira de Santa Catarina são menos frequentes e estão associadas a passagem de eventos de tempestades costeiras (Abreu *et al.*, 2019; Oliveira *et al.*, 2019).

A média dos registros de marés de tempestades que causaram danos significativos entre 1997 e 2010 foi de 3,28 por ano. Com um total de 46 registros de eventos de ressaca que causaram algum dano na zona costeira do estado. Entre o Cabo de Santa Marta e o rio Mampituba, a média ocorrência de ressacas é classificada como de baixa a média intensidade. A ocorrência de ressacas é mais comum no outono e inverno, entre os meses de maio a julho, e na primeira no mês de setembro. Mas, podendo ocorrer ao longo de todo o ano e com predominância de ondulações de direção Sul (Melo *et al.*, 2006; Rudorff *et al.*, 2016).

Serafim & Bonetti (2017) destacam que a passagem de frentes frias e a atuação de ciclones extratropicais no litoral de Santa Catarina acontece regularmente ao longo do ano. Segundo os autores, esses sistemas meteorológicos influenciam a ocorrência de marés meteorológicas e ondas de tempestade, podendo ocasionar danos materiais nas zonas costeiras, principalmente quando associados as marés astronômicas de sizígia.

Melo *et al.* (2006) verificaram durante um evento de agitação marítima no litoral de Santa Catarina em agosto de 2005, altura significativa de ondas de 7,2 m. Simó & Horn Filho (2004) caracterizaram 18 episódios de ressaca na Ilha de Santa Catarina, entre 1991 e 2001. Constataram que 72% das ocorrências de ressaca se concentram no período entre os meses de março a junho, relacionados à presença ou a proximidade das fases de Lua cheia e/ou nova. Além, dos fatores meteorológicos e oceanográficos, como sistemas de baixa pressão, frente frias, ventos dos quadrantes sul, leste e sudeste e das marés de sizígia.

## 2.3 Aspectos Climáticos

O estuário do rio Araranguá está inserido dentro do sistema climático subtropical úmido (Cfa), de acordo com a classificação de Köppen (1948). As massas de ar tropicais marítimas predominam no verão, enquanto, no inverno ocorre frequente entrada de massas de ar polares (Monteiro & Silva, 2016). A precipitação anual total varia entre 1300 e 1600 mm, sem apresentar estação seca e a temperatura média anual permanece entre 18 e 20° C (Alvares *et al.*, 2013).

O clima do litoral de Santa Catarina é dominado pelo sistema de alta pressão subtropical do Atlântico Sul, que está centrado entre 18 e 35° S, mantendo um fluxo de ar úmido de direção leste para a costa (Klein *et al.*, 2016). A entrada de frentes frias ocorre entre 3 a 3,5 vezes por ano no litoral de Santa Catarina (Rodrigues *et al.*, 2004).

Em relação ao microclima do estuário do rio Araranguá, Machado (2005) a partir de dados da estação meteorológica a montante da foz do rio Araranguá, caracterizou as condições climáticas dessa região entre o período de 1998 a 2002. A temperatura média verificada foi de 19,1°C, com temperaturas médias máximas e mínimas de 24,6°C e 14°C, velocidade dos ventos de 6,6 m/s, precipitação mensal média de 121,3 mm e umidade relativa do ar de 82,1%. Monteiro (2007) utilizou uma série de dados mais extensa da estação meteorológica de Araranguá, identificou valores de umidade relativa do ar de 81%, média anual de precipitação de 101 mm e ventos com predominância de SE e SW. Silveira *et al.* (2014) verificaram a predominância de ventos do quadrante SE (70,5%) ao longo do ano na região sul de Santa Catarina.

## 2.4 Caracterização Geológica-Geomorfológica

A configuração geológica de Santa Catarina é resultado dos inúmeros eventos de superposição geotectônicos, dos quais os mais antigos datam do éon Arqueano, entre 2,7 e 2,0 bilhões de anos e os mais recentes do período atual (Scheibe, 1986). A multiplicidade dos eventos da evolução crustal, como colisões e fragmentações continentais, soerguimentos, extravasamento de lava, deposição nas bacias sedimentares, deposição tecnogênica e inúmeros outros processos geológicos resultam na paisagem atual do estado (Marimon *et al.*, 2016).

A geologia catarinense é formada por sedimentos recentes do litoral (cenozóicos), rochas magmáticas e metamórficas (arqueanas), rochas sedimentares gondwânicas e os

derrames de lavas básicas, intermediárias e ácidas da Formação Serra Geral (Scheibe, 1986).

A área de estudo está inserida dentro da Província Costeira de Santa Catarina-PCSC (Horn Filho, 2003) (Figura 2). A PCSC é uma unidade tridimensional, em relação aos seus aspectos geológicos, estratigráficos e estruturais (Villwock, 1972; Horn Filho, 2003). O setor sul da PCSC é formado, assim como a Província Costeira do Rio Grande do Sul, por duas grandes unidades geológicas: o Embasamento e a Bacia de Pelotas (Villwock *et al.*, 1986; Horn Filho & Diehl, 1994; Horn Filho *et al.*, 2020). Se estendendo por 123 km, com orientação predominante de NE-SW, entre o Cabo de Santa Marta e a foz do rio Mampituba (Horn Filho *et al.*, 2020).

A compartimentação geológica de Horn Filho & Diehl (1994), Horn Filho & Diehl (2001) e Horn Filho (2003) subdivide a geologia de Santa Catarina em cinco grandes províncias, de acordo com suas características estruturais, petrográficas, sedimentares e evolutivas. São elas: Escudo Catarinense; Bacia do Paraná; Planalto da Serra Geral; Complexo Alcalino e Província Costeira.

O setor da Planície Costeira (PC) e o sistema praial, localizados no litoral sul de Santa Catarina são equivalentes a porção emersa da PCSC (Horn Filho *et al.*, 2020). A litologia desse trecho da zona costeira é formada pelo afloramento de rochas sedimentares e vulcânicas da Bacia do Paraná e depósitos quaternários emersos da Bacia de Pelotas (Hesp *et al.*, 2009).

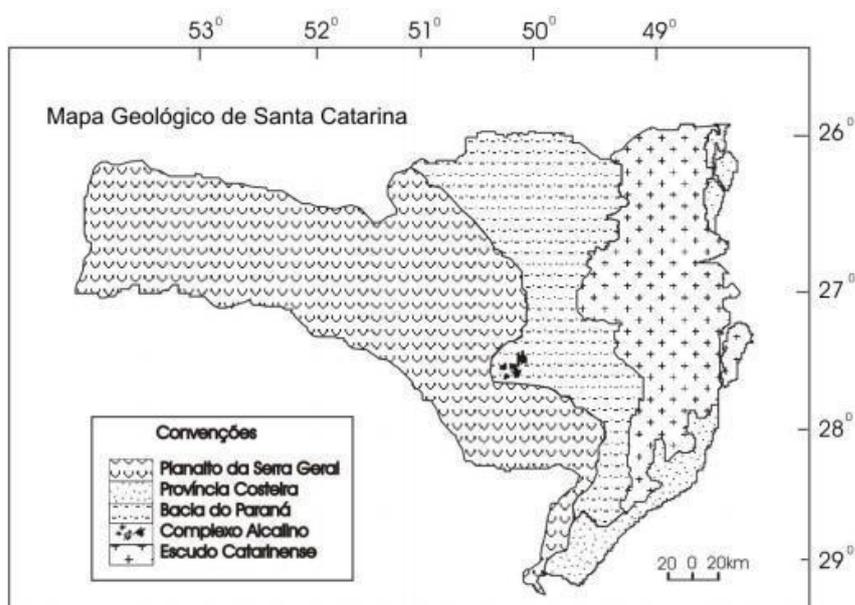


FIGURA 2. PROVÍNCIAS GEOLÓGICAS DO ESTADO DE SANTA CATARINA (HORN FILHO & DIEHL, 1994, 2001; HORN FILHO, 2003).

Segundo Horn Filho *et al.* (2014), os embasamentos que afloram em algumas regiões do litoral catarinense representam as topografias mais elevadas observadas ao longo da PC. Tal como maciços rochosos, elevações, promontórios, pontais e ilhas continentais. A falésia (elevação) do Morro dos Conventos é um exemplo de afloramento rochoso que apresenta a intercalação de arenitos e folhelhos da formação Rio do Rastro (Bacia do Paraná) (Diehl & Horn Filho, 1996; Horn Filho *et al.*, 2020).

#### 2.4.1 Planície Costeira de Santa Catarina

A evolução da Planície Costeira do Sul de Santa Catarina segue o mesmo modelo de Villwock *et al.* (1986) para a Planície Costeira do Rio Grande do Sul (Horn Filho *et al.*, 2014; Barboza *et al.*, 2021). Faz parte do setor emerso mais ao norte da Planície Costeira da Bacia de Pelotas (Figura 3).

Conforme Horn Filho *et al.* (2014) o Quaternário é caracterizado pela alternância de períodos glaciais e interglaciais. A planície costeira catarinense se desenvolveu ao longo do período Quaternário, aproximadamente 1,6 Ma AP, dentro de um cenário das variações climáticas e das flutuações glácio-eustáticas do nível médio relativo do mar. Durante a formação da planície costeira da Bacia de Pelotas foram acumulados sedimentos em dois tipos de sistemas deposicionais: o sistema de leques aluvias e os quatro sistemas deposicionais transgressivos-regressivos do tipo laguna-barreira (Barboza *et al.*, 2021).

O setor sul da planície costeira de Santa Catarina é caracterizado pela presença marcante de depósitos quaternários dos ambientes sedimentares praias e eólico, típicos do sistema deposicional laguna-barreira (Horn Filho *et al.*, 2020). Dos quais, segundo os autores, se assemelham aos encontrados ao longo da planície costeira do Rio Grande do Sul.

O estuário do rio Araranguá apresenta preservados dois sistemas deposicionais transgressivos-regressivos do tipo laguna-barreira (Tomazelli & Villwock, 2005; Leal & Barboza, 2017). A Barreira Pleistocênica III (1,6 Ma AP - 11 ka AP) e Barreira Holocênica IV (11,7 ka até o presente).

A formação da Barreira III data do Pleistoceno Superior a 125 ka AP, associada ao terceiro evento de transgressão e regressão do nível do mar (Villwock *et al.*, 1986; Tomazelli & Dillenburg, 2007; Silva *et al.*, 2010; Barboza *et al.*, 2021). Os depósitos sedimentares pleistocênicos datam entre 125 e 18 ka AP (Horn Filho *et al.*, 2014; Horn Filho *et al.*, 2017). A Barreira III é constituída por fácies arenosas do sistema praias e de ambientes marinhos

rasos, cobertos por sedimentos eólicos de idades Pleistocênicas e Holocênicas (Villwock *et al.*, 1986; Horn Filho *et al.*, 1994). As feições geomorfológicas da Barreira III de Santa Catarina são constituídas por terraços marinhos, cordões de praia regressivas (*beach ridges*) e pontais arenosos, com altitudes que variam de 8 a 15 m acima do nível médio do mar atual (Horn Filho *et al.*, 1994; Diehl & Horn Filho, 1996; Horn Filho, 2003; Barboza *et al.*, 2021).

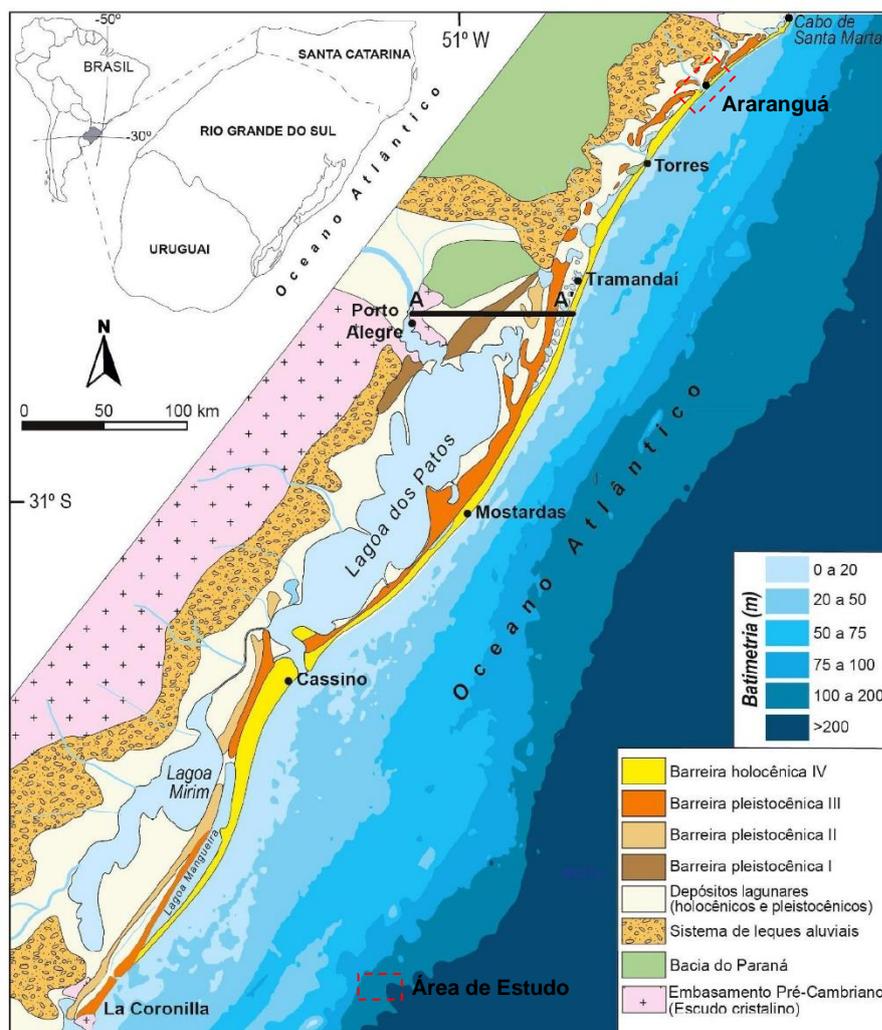


FIGURA 3. PLANÍCIE COSTEIRA DA BACIA DE PELOTAS. FONTE DO MAPA: BARBOZA ET AL. (2021). MODIFICADO DE DILLENBURG & BARBOZA (2014), ROSA ET AL. (2017), BITTENCOURT ET AL. (2020) E BARBOZA ET AL. 2021.

Na área de estudo, de acordo com Horn Filho *et al.* (2020) em relação aos depósitos sedimentares com idades anteriores ao período do Holoceno ocorrem unidades do Quaternário Indiferenciado, com depósitos coluvial e de leque aluvial, que se restringem às encostas do Embasamento. Enquanto, o depósito aluvial ocorre ao longo da planície de inundação do rio Araranguá. Os depósitos sedimentares de idade Pleistocena (Barreira III),

são representadas pelos depósitos eólico e lagunar do Pleistoceno superior, localizados no setor central e norte do município de Araranguá. O depósito lagunar encontra-se situado a norte, à retaguarda do depósito eólico (Horn Filho *et al.*, 2020).

#### 2.4.2 Barreira Costeira Holocênica

A Barreira IV se formou durante os estágios finais da última transgressão pós-glacial do Holoceno, aproximadamente 5,4 ka AP (Tomazelli & Villwock, 2005; Leal & Barboza, 2017; Barboza *et al.*, 2021). A barreira holocênica do sul de Santa Catarina compreende campos de dunas transgressivos que progradaram ao longo dos últimos 7.000 mil anos e tem comportamento típico de barreira-costeira regressiva (progradacional) (Hesp *et al.*, 2009; Oliveira, 2019). Constituída por areias presentes na faixa de praia e por campos de dunas eólicos adjacentes (Villwock *et al.*, 1986). São encontrados também depósitos marinho intermarés, eólicos, lagunares, paludiais e aluviais (Diehl & Horn Filho, 1996). A linha de costa tem um perfil predominantemente côncavo com uma direção ENE (Hesp *et al.*, 2009). Horn Filho (2003) observa que os depósitos holocênicos da Província Costeira Sul incluem depósitos eólicos, lagunares, praias marinho e sambaquis.

A área de estudo está inserida dentro das seguintes unidades de formações litológicas: depósitos eólicos atuais, depósitos praias atuais, depósitos de planície lagunar atual, depósitos aluvionares, depósitos de planície lagunar associadas a barreira III, depósitos flúvio-lagunares e Formação Rio do Rastro (Figura 4).

Na área de estudo com relação aos depósitos do Holoceno, são encontrados os depósitos marinhos-praias, eólico e lagunar, os quais foram sendo erodidos desde o início do Holoceno até o presente pela ação fluvial resultante do deslocamento do canal e dos meandros do rio Araranguá, durante períodos de maior pluviosidade e enchentes (Horn Filho *et al.*, 2020). Os depósitos lagunares originados dos processos regressivos estão associados às lagoas Mãe Luzia, Caverá e do Bicho. O depósito flúvio-lagunar encontra-se encaixado nas drenagens dos rios Sanga do Meio e da Toca, localizados a noroeste do município (Horn Filho *et al.*, 2020).

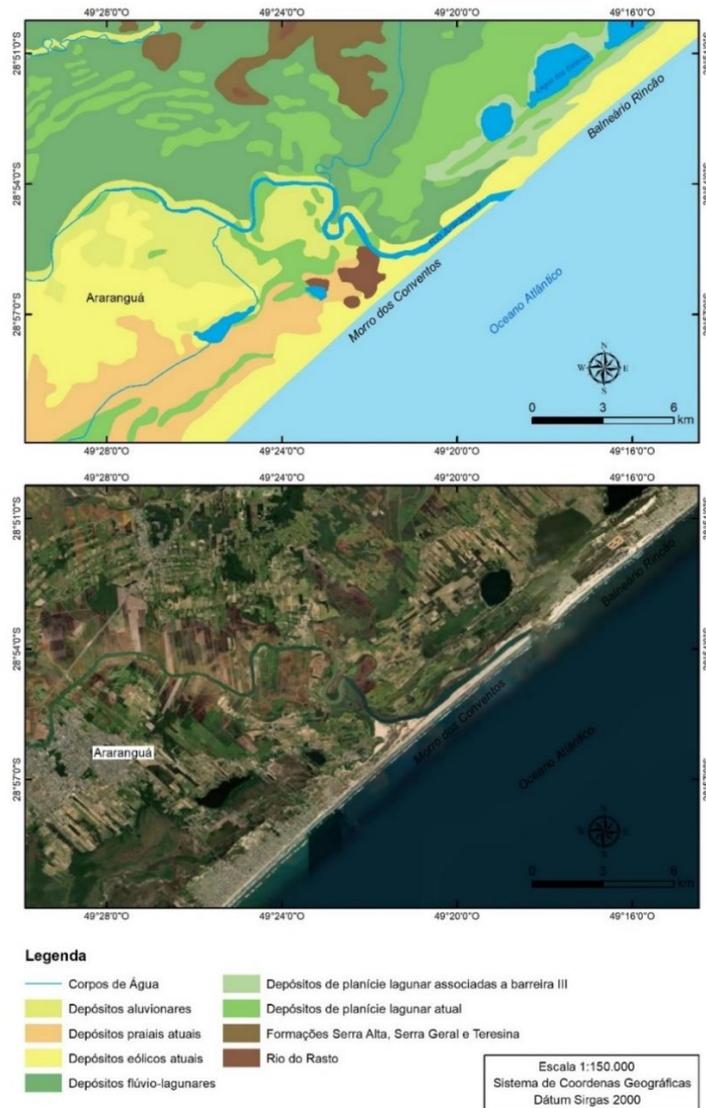


FIGURA 4. MAPA DAS UNIDADES DEPOSICIONAIS DA ÁREA DE ESTUDO. FONTE DOS DADOS: CPRM.

Horn Filho *et al.* (2004) e Machado (2005) identificaram através de mapeamento geológico dois depósitos holocênicos na área de estudo. Um depósito marinho praiial/eólico e um depósito lagunar/flúvio-lagunar. Também é possível a identificação de depósitos holocênicos recentes, de lavagem costeira, ou seja, deposição que forma leques de sobrelavagem sobre o pontal arenoso do rio Araranguá (Figura 5). O rio Araranguá desenvolve junto a sua foz, paleocanais fluviais de idade holocênica, que infletem para nordeste, seguindo a direção preferencial da deriva litorânea (Horn Filho *et al.*, 2020).



FIGURA 5. FEIÇÕES DEPOSICIONAIS DE LEQUES DE SOBRELAVAGEM NO PONTAL ARENOSO DO RIO ARARANGUÁ. FONTE: GOOGLE EARTH PRO. DATA DA IMAGEM: 01/06/2011.

### 3. Estado da Arte

O estado da arte da dissertação está concentrado na revisão de um conceito diretamente relacionado a pesquisa.

#### 3.1 Pontal Arenoso - Sandspit

Um pontal – *spit* é uma feição deposicional costeira, geralmente associada a uma barreira, composto pelo acúmulo de sedimentos arenosos na foz de ambientes estuarinos, canais de marés (*tidal inlets*) e ilhas barreiras. Os pontais são predominantemente constituídos por grãos de tamanhos areia, associados a outros sedimentos provenientes de diversas fontes continentais e marinhas (Evans, 1942; Kumar *et al.*, 2010; Hoan *et al.*, 2011; Pradhan *et al.*, 2015; Alcántara-Carrió *et al.*, 2018; Escudero *et al.*, 2019; Saengsupavanich, 2021).

De acordo com Allard *et al.* (2008), a energia de ondas e o suprimento de sedimentos disponível na costa são os fatores que induzem o desenvolvimento dos pontais. Essa feição deposicional desenvolve-se geralmente em ambientes costeiros dominadas pela ação ondas, em que predominam uma pequena amplitude de marés. Essa conjunção, fornece condições ideais para o desenvolvimento dos pontais ao longo da linha de costa (Kennish, 2016).

Os pontais crescem na direção predominante da deriva litorânea, gerada pela ação das ondas que chegam obliquamente à região costeira (Bird, 2008). O pontal evolui morfologicamente com uma das extremidades conectadas a costa (extremidade proximal), que servem como fonte de abastecimento de sedimentos e a outra extremidade (extremidade distal), projetando-se em direção ao mar, ao longo da desembocadura do canal fluvial (Evans, 1942; Tribe & Kennedy, 2010; Teodoro *et al.*, 2011; Azevedo *et al.*, 2016).

Na região da foz de estuários, os pontais arenosos apresentam duas porções, uma plataforma subaérea e outra subaquática (Ollerhead & Davidson-Arnott, 1995; Bastos *et al.*, 2012). Sua porção emersa é constituída de depósitos de praias, dunas, pântanos e entre outros (Ollerhead & Davidson-Arnott, 1995; Avinash *et al.*, 2013). A morfologia do pontal é influenciada principalmente pela estrutura geológica, aumento do nível do mar, disponibilidade de sedimentos, ventos, marés, lavagem costeira, descarga fluvial e intervenções humanas (Allard *et al.*, 2008; Pradhan *et al.*, 2015).

O crescimento de um pontal arenoso, resulta na progradação costeira e na proteção da linha de costa (Bird, 2008). Os pontais arenosos protegem a linha de costa das ações de ondas, principalmente durante os eventos de tempestades e inundações costeiras (Allard *et al.*, 2008; Pradhan *et al.*, 2015). Na extensão do lado interno do pontal arenoso, uma zona protegida passa a captar os sedimentos finos transportados pelo rio (Dominguez *et al.*, 1983).

Héquete & Ruz (1991) ressaltam que os processos de lavagem costeira contribuem para a migração dos pontais arenosos, com a transferência de sedimentos de praia e de backshore em direção ao interior do continente. Essa migração, de acordo com Bastos *et al.* (2012), ocorre em resposta às flutuações eustáticas, uma vez que os pontais arenosos apresentam rápidas mudanças na sua morfologia (posição e forma) em um curto período, cuja dinâmica está diretamente relacionada a eventos meteorológicos.

No Brasil, estudos mais recentes sobre a dinâmica de pontais arenosos a partir de análise de imagens espectrais de sensoriamento remoto foram realizados por Santos & Souza (2016) na desembocadura do rio Sergipe, em Aracaju-Sergipe; Azevedo *et al.* (2016) na foz dos rios Jucuruçu, Itanhém, Caravelas, Peruípe e Mucuri no setor sul do litoral da Bahia; Costa *et al.* (2020a) no rio Paraíba do Sul, no Rio de Janeiro; Costa *et al.* (2020b) avaliou a dinâmica evolutiva do pontal na Praia do Porto no estado do Ceará.

Dominguez *et al.* (1983) estudaram através de método indireto de observação, o papel da deriva litorânea de sedimentos na construção das feições geomorfológicas (pontais e esporões) nas desembocaduras dos rios São Francisco (SE-AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ).

Em Santa Catarina, Nass & Vieira (2017) caracterizaram a evolução morfológica do *sandspit* na foz do rio Itapocú, no município de Barra Velha. A análise quantitativa abrangeu um período de mais de 70 anos (1938-2011), que demonstrou que o *sandspit* possui uma grande dinâmica geomorfológica, com constantes processos de deposição e erosão ao longo do período analisado pelos autores. Diehl *et al.* (1998) caracterizaram a evolução costeira do *spit* Daniela, na Ilha de Santa Catarina por um período de 56 anos.

## 4. Materiais e Métodos

A pesquisa está organizada nas seguintes etapas metodológicas:

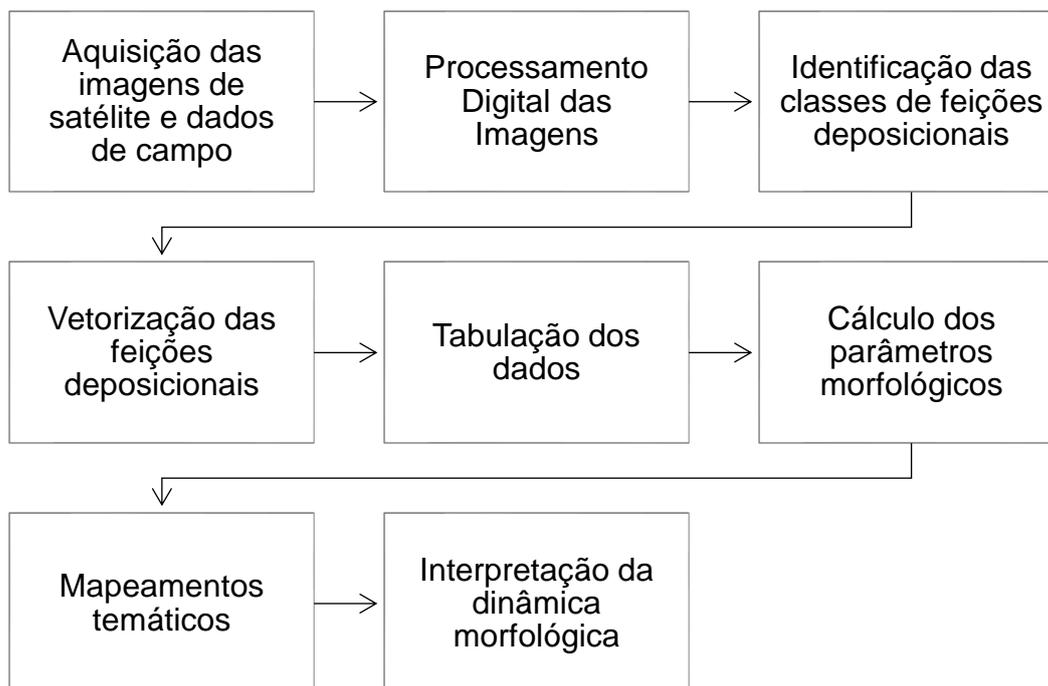


FIGURA 6. FLUXOGRAMA COM RESUMO DAS ETAPAS METODOLÓGICAS DO TRABALHO.

### 4.1 Aquisição dos dados

Foram utilizadas 37 imagens de reflectância em superfície da série Landsat 5,7 e 8, obtidas sobre a área de estudo entre 1984 e 2021, com exceção do ano de 2012, visto que não foi possível a obtenção de uma imagem sem cobertura de nuvens (Tabela 1).

A utilização de um intervalo decadal de imagens de sensoriamento remoto orbital possibilita compreender através de análise multitemporal morfométrica, o comportamento da dinâmica morfológica na região da desembocadura do rio Araranguá. Assim como, inferir a direção da deriva litorânea de sedimentos, a progradação e retrogradação do pontal arenoso e o papel que os processos de lavagem costeira desempenham na formação e desenvolvimento dessa feição deposicional costeira.

As imagens obtidas são predominantes da estação do inverno, ao longo dos meses de agosto e setembro, uma vez que a deriva litorânea é mais intensa nesses meses e devido a disponibilidade de imagens sem a presença de nuvens. Quando não foi possível utilizar imagem correspondente para esses meses buscou-se uma imagem de satélite para uma data mais próxima.

Data	Satélite/Sensor
08/09/1984	Landsat 5/TM
11/09/1985	Landsat 5/TM
14/09/1986	Landsat 5/TM
01/09/1987	Landsat 5/TM
18/08/1988	Landsat 5/TM
05/08/1989	Landsat 5/TM
20/05/1990	Landsat 5/TM
12/09/1991	Landsat 5/TM
29/08/1992	Landsat 5/TM
28/05/1993	Landsat 5/TM
18/07/1994	Landsat 5/TM
07/09/1995	Landsat 5/TM
24/08/1996	Landsat 5/TM
27/08/1997	Landsat 5/TM
30/08/1998	Landsat 5/TM
01/08/1999	Landsat 5/TM
04/09/2000	Landsat 5/TM
14/08/2001	Landsat 7/ETM+
02/09/2002	Landsat 7/ETM+
12/08/2003	Landsat 5/TM
14/08/2004	Landsat 5/TM
02/09/2005	Landsat 5/TM
20/08/2006	Landsat 5/TM
23/08/2007	Landsat 5/TM
03/04/2008	Landsat 5/TM
12/08/2009	Landsat 5/TM
31/08/2010	Landsat 5/TM
02/08/2011	Landsat 5/TM
27/11/2013	Landsat8/OLI
26/08/2014	Landsat8/OLI
29/08/2015	Landsat8/OLI
21/09/2016	Landsat8/OLI
18/08/2017	Landsat8/OLI
06/09/2018	Landsat8/OLI
08/08/2019	Landsat8/OLI
26/08/2020	Landsat8/OLI
27/08/2021	Landsat8/OLI

TABELA 1. DATA DE AQUISIÇÃO DAS IMAGENS DE SATÉLITE.

Ao todo foram utilizadas 6 bandas do espectro óptico dos sensores orbitais TM, ETM+ e OLI. As 3 bandas dos comprimentos de onda do visível (VIS), 1 banda do infravermelho próximo (NIR), 2 bandas do infravermelho de ondas curtas (SWIR 1 e 2)

Tabela 2.

	<b>Landsat 5</b>	<b>Landsat 7</b>	<b>Landsat 8</b>
<b>Sistema Sensor</b>	Thematic Mapper (TM)	Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)	Operational Land Imager (OLI)
<b>Resolução Espacial</b>	30 metros	30 metros	30 metros
<b>Resolução Espectral</b>	Bandas 1,2,3,4,5 e 7	Bandas 1,2,3,4,5 e 7	Bandas 2,3,4,5,6, e 7
<b>Resolução Temporal</b>	16 dias	16 dias	16 dias
<b>Resolução Radiométrica</b>	8 bits	8 bits	16 bits
<b>Órbita/Ponto</b>	220/80	220/80	220/80

TABELA 2. DESCRIÇÃO DOS DADOS UTILIZADOS NO ESTUDO.

As bandas do VIS 1, 2 e 3 dos sensores TM e ETM+/Landsat 5 e 7 correspondem ao intervalo 0,45 – 0,52  $\mu\text{m}$  (Banda 1 – Azul), 0,52 – 0,60  $\mu\text{m}$  (Banda 2 – Verde), 0,63 – 0,69  $\mu\text{m}$  (Banda 3 – Vermelho). A banda 4 do NIR, ao intervalo 0,77 – 0,90  $\mu\text{m}$  e as bandas 5 e 7, ao intervalo 1,55 – 1,75  $\mu\text{m}$  (SWIR 1) e 2,08 – 2,35  $\mu\text{m}$  (SWIR 2). Para o sensor OLI/Landsat 8, as bandas 2, 3, 4, 5 e 6 correspondem as bandas 1 a 5 dos sensores TM e ETM+, enquanto a banda 7 não foi alterada.

As imagens da série Landsat utilizadas nesse estudo estão disponíveis de forma gratuita para download através do banco de dados Earth Explorer, do Serviço Geológico dos Estados Unidos, endereço eletrônico: <http://earthexplorer.usgs.gov>. As imagens obtidas já apresentavam um pré-processamento digital, como projeção cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM), WGS-1984, Zona 22 Norte e os valores de reflectância calculados para todas as bandas do espectro óptico.

O trabalho de campo foi realizado na área de estudo no dia 25/11/2019. Foi efetuado um registro fotográfico em diversas áreas ao longo da extensão do pontal arenoso, assim como o ajuste no mapeamento temático realizado previamente para identificação desse ambiente deposicional. O trabalho de campo é uma etapa essencial para o estudo de ambientes deposicionais costeiros que utilizam como fonte, dados gerados por sensoriamento remoto orbital. Logo, a coleta de dados in loco é uma parte que integra a interpretação visual das imagens de satélite, visto que ela possibilita um resultado final mais acurado (Florenzano, 2013).

## 4.2 Procedimentos Metodológicos

Com a definição das bandas utilizadas, no software Environment for Visualizing Images (ENVI), versão 5.3 foi realizado o processamento digital das imagens.

As bandas foram agrupadas em um mesmo arquivo utilizando o processo de Layer Stacking - Empilhamento de Camadas, ou seja, o agrupamento das bandas em um único arquivo. Esse processo de empilhamento de camadas é frequentemente utilizado para a classificação de características únicas ou múltiplas da cobertura da superfície terrestre a partir de imagens de satélite (Lee *et al.*, 2018). Durante esse processamento, o sistema de projeção cartográfica das imagens foi mantido como Universal Transversa de Mercator e WGS 1984, o fuso foi alterado para Zona Sul 22 e o arquivo foi exportado no formato Geotiff.

No ENVI, as imagens foram georreferenciadas com base na imagem de 1984, a partir da ferramenta de Registro de Imagem por Imagem. Onde os vértices dos pixels da imagem base foram utilizados como pontos de controle no solo (*ground control points-GCPs*) para as demais imagens de satélite. Foram demarcados oito pontos de controle, a distorção foi realizada usando o método de reamostragem do Vizinho Mais Próximo (*Nearst Neighbor*), o Erro Médio Quadrático (RMS Error) foi de 0 para todas as imagens utilizadas.

Em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), no software ArcGis View/ESRI, versão 10.3 foi realizada a interpretação visual das imagens de reflectância em superfície.

Foram utilizadas para identificação das feições deposicionais do pontal arenoso a composição colorida RGB-752 (TM e ETM+) e RBG-763 (OLI). Essa composição colorida, realça as áreas em superfície com solos com predominância de areia seca (umidade menor que 4%) das áreas com areia molhada (umidade maior que 5%), assim como as diferenciam dos corpos hídricos. Uma vez que, nos comprimentos de onda do SWIR, solos arenosos apresentam elevada reflectância nessa faixa do espectro, com o aumento do teor de umidade nos solos arenosos ocorre uma maior absorção na região do VIS e SWIR, devido à presença das bandas de absorção da água (Jensen & Epiphanio, 2009).

Para identificação das classes de feições deposicionais foram utilizados aspectos na imagem de satélite como a textura, rugosidade, cobertura do solo, comportamento espectral dos alvos, forma, tamanho, sombreamento, altura, altitude, tonalidade, cor, estrutura, densidade, localização (sítio) e associação (Florenzano, 2013).

As feições deposicionais foram vetorizadas (formato shapefile) no ArcGis View a partir de polígonos, com referência espacial na projeção UTM, Dátum WGS 1984 e Zona 22 Sul. Com o polígono do pontal arenoso gerado foi calculado através da Calculadora de

Geometria a área (km<sup>2</sup>), o perímetro (km), comprimento (km) e a largura proximal e distal (m) do pontal arenoso. A largura proximal foi delimitada utilizando um transecto entre uma das margens do rio e o oceano enquanto o outro transecto da largura distal entre a margem continental do pontal e o oceano, na desembocadura do rio Araranguá.

Os dados gerados foram tabulados em planilhas no Microsoft Excel 2019 para geração de gráficos e tabelas, com a finalidade de gerar dados estatísticos para avaliação do comportamento morfológico desse ambiente. Em uma coluna foi gerada uma relação entre a área do pontal em relação ao ano anterior, assim, é possível identificar a taxa de erosão e/ou acreção anual. Em outra coluna, o comprimento foi utilizado para identificar a progradação, retrogradação e/ou equilíbrio do pontal e sua taxa de evolução ao longo do período analisado.

A última etapa foi a elaboração de mapeamentos temáticos, com o objetivo espacializar e representar a informação gerada, assim como comparar o comportamento evolutivo do pontal arenoso ao longo do período analisado.

## 5. Referências Bibliográficas

Ab' Sáber, A.N. 2000. Fundamentos da Geomorfologia Costeira do Brasil Inter e SubTropical. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 1(1): 27-43.

Abreu, J.G.N., Horn Filho, N.O., Menezes, J.T., Santos, M.I.F., Araujo, R.S., Bonetti, C.V.D.H.C. & Filho, J.B. 2019. Plataforma Continental de Santa Catarina. *In: Dias, M.S., Bastos, A.C. & Vital, H. (Orgs) Plataforma Continental Brasileira. SÉRIE I - Estados do Rio de Janeiro, Santa Catarina e Rio Grande do Sul*. Rio de Janeiro, Programa de Geologia e Geofísica Marinha (PGGM), p. 53-72.

Alcántara-Carrió, J., Dinkel, T.M., Portz, L. & Mahiques, M.M. 2018. Two new conceptual models for the formation and degradation of baymouth spits by longshore drift and fluvial discharge (Iguape, SE Brazil). *Earth Surface Processes and Landforms*, 43(3): 695-709.

Allard, J., Bertin, X., Chaumillon, E. & Pouget, F. 2008. Sand spit rhythmic development: A potential record of wave climate variations? Arçay Spit, western coast of France. *Marine Geology*, 253(3-4): 107-131.

Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Moares Gonçalves, J.L. & Sparovek, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6): 711-728.

Araújo, N.B., Mosimann, R.M.S. & Fernandes, L.F. 1989. Contribuição ao estudo das diatomáceas (Bacillariophyceae) da foz do rio Araranguá, Santa Catarina, Brasil. *Ínsula*, 19(supl.): 305-334.

Araujo, C.E.S., Franco, D., Melo, E. & Pimenta, E. 2003. Wave Regime Characteristics of the Southern Brazilian Coast. *In: Proceedings of the Sixth International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries, COPEDEC VI, 2003, Colombo, Sri Lanka. Anais...* Colombo, Paper No. 097, p. 15.

Araujo, C.E.S. 2020. Análise das flutuações do nível do mar no litoral De Santa Catarina. *Agropecuária Catarinense*, 33(1): 61-67.

Alesheikh, A.A., Ghorbanali, A. & Nouri, N. 2007. Coastline change detection using remote sensing. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 4(1): 61-66.

Avinash, K., Deepika, B. & Jayappa, K.S. 2013. Evolution of spit morphology: a case study using a remote sensing and statistical based approach. *Journal of coastal conservation*, 17(3): 327-337.

Azevedo, I.F., Carvalho, B.C. & Guerra, J.V. 2016. Utilização de imagens de satélite Landsat para análise da variabilidade morfológica de pontais arenosos na planície costeira de Caravelas (NE do Brasil). *Revista Brasileira de Geomorfologia* 17(4): 695-709.

Bastos, L., Bio, A., Pinho, J.L.S., Granja, H. & da Silva, A.J. 2012. Dynamics of the Douro estuary sand spit before and after breakwater construction. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 109: 53-69.

Barboza, E.G., Dillenburg, S.R., Rosa, M.L.C.C., Caron, F., Lopes, R.P., Watanabe, D.S.Z. & Tomazelli, L.J. 2021. Sistemas deposicionais e evolução geológica da planície costeira entre La Coronilla e Cabo de Santa Marta (Bacia de Pelotas): uma revisão. *In: Jelinek, A.R. & Sommer, C.A. (Eds.). Contribuições à Geologia do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*. 1. ed. Porto Alegre, Compasso Lugar-Cultura, p. 455-468.

- Barreto, G.A.M. & Schettini, C.F.A. 2014. Papel da Maré e da Descarga Fluvial na Circulação do Estuário do Rio Araranguá. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 19(3): 7-17.
- Bird, E.C.F. 2008. *Coastal geomorphology: an introduction*. Chichester, England, John Wiley, 411p.
- Bitencourt, D.P., Quadro, M.F.L. & Calbete, N.O. 2002. Análise de Dois Casos de Ressaca no Litoral da Região Sul no Verão de 2002. *In: Congresso Brasileiro de Meteorologia*, XII., 2002, Foz de Iguaçu. *Anais...Foz do Iguaçu*, CBMET, p. 3910-3917.
- Bitencourt, V.J.B, Dillenburg, S.R, Barboza, E.G, Rosa, M.L.C.C. & Manzolli, R.P. 2020. Padrões de empilhamento estratigráfico e seus reflexos na morfologia da barreira costeira holocênica no litoral médio do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 21(3): 529-548.
- Carruthers, E.A., Lane, D.P., Evans, R.L., Donnelly, J.P. & Ashton, A.D. 2013. Quantifying overwash flux in barrier systems: An example from Martha's Vineyard, Massachusetts, USA. *Marine Geology*, 343: 15-28.
- Castro Filho, B.M. 1990. Estado atual do conhecimento dos processos físicos das águas da plataforma continental sudeste do Brasil. *In: SIMPÓSIO DE ECOSISTEMAS DA COSTA SUL E LESTE BRASILEIRA: ESTRUTURA FUNÇÃO E MANEJO*, 2., 1990, São Paulo. *Anais... São Paulo: Academia de Ciências de São Paulo*, v. 1, p. 1-19.
- Castro Filho, B.M., Lorenzetti, J.A., Silveira, I.C.A. & Miranda, L.B. 2006. Estrutura Termohalina e Circulação na Região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). *In: Rossi-Wongtschowski, C.L.D.B. & Madureira, L. S.P. (ed.). O Ambiente Oceanográfico da Plataforma Continental e do Talude na Região Sudeste-Sul do Brasil*. São Paulo, Edusp, p. 11-120.
- Cirano, M., Mata, M.M., Campos, E.J.D. & Deiró, N.F.R. 2006. A circulação oceânica de larga-escala na região oeste do Atlântico Sul com base no modelo de circulação Global OCCAM. *Revista Brasileira de Geofísica*, 24(2): 209-230.
- Costa, A.P.F., Rocha, T.B. & Fernandez, G.B. 2020a. Dinâmica dos Pontais Arenosos no Flanco Norte do Delta do Rio Paraíba do Sul (RJ) entre 1984 e 2017. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 21(4): 893-909.
- Costa, A.B., Pinheiro, A.F.C., Barra, O.A.D.O.L. & Vasconcelos, F.P. 2020b. Dinâmica Costeira e Formação de Spit na Praia do Porto, Município de Itarema, Estado do Ceará. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(04): 1610-1628.
- Couceiro, M.A.A. & Schettini, C.A.F. 2010. Estudo da Dinâmica dos Sedimentos em Suspensão do Estário do Rio Araranguá (SC): Possíveis Efeitos da Drenagem Ácida da Atividade de Mineração de Carvão, *Geociências*, 29(2): 251-266.
- Couceiro, M.A.A. 2015. *Dinâmica de sedimentos coesivos em um estuário altamente estratificado: rio Araranguá, SC*. São Paulo, 170p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo.
- Couceiro, M.A.A. Schettini, C.A.F. & Siegle, E. 2021. Modeling an arrested salt-wedge estuary subjected to variable river flow. *Regional Studies in Marine Science*, 47: 101993.

- Crippa, L.M. 2015. *Fatores que influenciam na evolução da barreira holocênica das regiões de Rio Grande, Torres/RS E Araranguá/SC*. Porto Alegre, 64p. Monografia de Conclusão de Curso, Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Cunha, S.B. & Guerra, A.J.T. 1998. *Geomorfologia do Brasil*. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 392p.
- Dalbosco, A.L.P. 2019. *Circulação na Plataforma Continental Interna de Santa Catarina*. Florianópolis, 117p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Dias, J.M.A. 2005. Evolução da zona costeira portuguesa: forçamentos antrópicos e naturais. *Revista Encontros Científicos – Turismo, Gestão, Fiscalidade*, 1: 7-27.
- Diehl, F.L., Klein, A.H.F., Calliari, L.J. & Horn Filho, N.O. 1998. Coastal evolution of the Daniela spit, Santa Catarina island, southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, 26(1): 3-8.
- Diehl, F.L. & Horn Filho, N.O. 1996. Compartimentação geológico-geomorfológica da zona litorânea e planície costeira do estado de Santa Catarina. *Notas Técnicas*, 9: 39-50.
- Dillenburg, S.R. & Barboza, E.G. 2014. The strike-fed sandy coast of Southern Brazil. *Geological Society, London, Special Publications*, 388(1): 333-352.
- D' Aquino, C.A., Pereira Filho, J. & Schettini, C.A.F. 2010. Fluvial modulation of hydrodynamics and salt transport in a highly stratified estuary. *Brazilian Journal of Oceanography*, 58(2): 165-175.
- Dominguez, J.M.L.; Bittencourt, A.C.S.P. & Martin, L. 1983. O papel da deriva litorânea de sedimentos arenosos na construção das planícies costeiras associadas às desembocaduras dos rios São Francisco (SE, AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ). *Revista Brasileira de Geociências*, 13(2): 98-105.
- Donnelly, C., Kraus, N. & Larson, M. 2006. State of Knowledge on Measurement and Modeling of Coastal Overwash. *Journal of Coastal Research*, 22(4): 965-991.
- Ekercin, S. 2007. Coastline Change Assessment at the Aegean Sea Coasts in Turkey Using Multitemporal Landsat Imagery. *Journal of Coastal Research*, 233: 691-698.
- Escudero, M., Silva, R., Hesp, P.A. & Mendoza, E. 2019. Morphological evolution of the sandspit at Tortugueros Beach, Mexico. *Marine Geology*, 407: 16-31.
- Evans, O.F. 1942. The origin of spits, bars, and related structures. *The Journal of Geology*, 50(7): 846-865.
- Florenzano, T.G. 2013, *Iniciação em sensoriamento remoto*. 3ª edição. São Paulo, Editora Oficina de Textos, 128p.
- Gré, J. C. R. 1989. Aspectos Sedimentares da Plataforma Continental de Santa Catarina – Brasil. *Revista Geosul*, 8: 92-100.
- Héquette, A., & Ruz, M.H. 1991. Spit and barrier island migration in the southeastern Canadian Beaufort Sea. *Journal of Coastal Research*, 677-698.

- Hesp, P.A., Giannini, P.C.F., Martinho, C.T., Silva, G.M. & Asp Neto, N.E. 2009. The Holocene Barrier Systems of the Santa Catarina Coast, Southern Brazil. *In: Dillenburg, S.R. & Hesp, P.A. (Eds.). Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil.* Berlin, Heidelberg: Springer, p. 93-133.
- Hoan, L.X., Hanson, H., Larson, M. & Kato, S. 2011. A mathematical model of spit growth and barrier elongation: Application to Fire Island Inlet (USA) and Badreveln Spit (Sweden). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 93(4): 468-477.
- Horn Filho, N.O. & Diehl, F.L. 1994. Geologia da planície costeira de Santa Catarina. *Alcance*, 1: 95-102.
- Horn Filho, N.O., Abreu de Castilhos, J.A., Gré, J.C. & Diehl, F.L. 1994. The coastal Pleistocene of the state of Santa Catarina, southern Brazil. *In: Rabassa, J. (Ed.) Quaternary of South America and Antarctic Peninsula.* Rotterdam, Balkema, p.45-54.
- Horn Filho, N.O. & Diehl, F.L. 2001. Geologia da planície costeira de Santa Catarina, Brasil. *In: CONGRESSO DO QUATERNÁRIO DE PAÍSES DE LÍNGUAS IBÉRICAS, 1., Lisboa, 2001. Anais...* Lisboa: GTPEQ, AEQUA, SGP, p. 203-206.
- Horn Filho, N.O. 2003. Setorização da Província Costeira de Santa Catarina em base aos aspectos geológicos, geomorfológicos e geográficos. *Geosul*, 18(35): 71-98.
- Horn Filho, N.O., Filho, É.P. & Ferreira, E. 2004. Diagnóstico geológico-geomorfológico da planície costeira adjacente à enseada dos Currais, Santa Catarina, Brasil. *Gravel*, 2: 25-39.
- Horn Filho, N.O., Machado, C., Floriani, D.C., Peixoto, J.R.V. & Oliveira, U.R. 2004. Geologia da planície costeira adjacente ao sistema praiado Araranguá – Sombrio, SC, Brasil. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 2004, Itajaí – SC. Anais do Congresso Brasileiro de Oceanografia, 2004. v.1. p. 207-207.*
- Horn Filho, N.O., Schmidt, A.D., Benedet, C., Neves, J., Pimenta, L.H.F., Paquete, M-L., Alencar, R., Silva, W.B., Vilela, E., Genovez, R. & Santos, C.G. 2014. Estudo geológico dos depósitos clásticos quaternários superficiais da planície costeira de Santa Catarina. *Gravel*, 12: 41-107.
- Horn Filho, N.O. *et al.* 2017. *Roteiro geológico da planície costeira do estado de Santa Catarina, Brasil.* Florianópolis, Edições do Bosque, 146p.
- Horn Filho, N.O., Schmidt, A.D., Abreu, J.G.N., Estevam, C.N., & Araujo, R.S. 2018. Santa Catarina. *In: Muehe, D. (Org). Panorama da erosão costeira no Brasil.* Brasília, MMA, p. 641-688.
- Horn Filho, N.O., Felix, A. & Camargo, J.M. 2020. *Atlas geológico da planície costeira do estado de Santa Catarina em base ao estudo dos depósitos quaternários (AGPCSC).* Florianópolis, Edições do Bosque, 331p.
- Hudock, J.W., Flaig, P.P. & Wood, L.J. 2014. Washover Fans: A modern geomorphologic analysis and proposed classification scheme to improve reservoir models. *Journal of Sedimentary Research*, 84: 854-865.
- IPCC. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. 2021. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis.* Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai,

A. Pirani, S.L.Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R.Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.]. Cambridge University Press. In Press.

Jensen, J.R. & Epiphanyo, J.C.N. 2009. *Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. São José dos Campos, Parêntese Editora, 598p.

Kennish, M.J. 2016. *Encyclopedia of estuaries*. Netherlands, Springer, 760p.

Klein, A.H.F., Short, A.D. & Bonetti, J. 2016. Santa Catarina Beach Systems. *In: Short, A.D. & Klein, A.H.F. (Eds.). Brazilian Beach Systems*. Sidney, Springer, p. 465-506.

Komar, P.D. 1998. *Beach processes and sedimentation*. New Jersey, Prentice Hall Inc, 544p.

Köppen, W. 1948. *Climatología: con un estudio de los climas de la tierra*. México, Fondo de Cultura Económica, 478p.

Kowsmann, R.O. & Costa, M.A. 1979. *A sedimentação quaternária na margem continental brasileira e das áreas oceânicas adjacentes*. *In: Projeto REMAC - Reconhecimento Global da Margem Continental Brasileira*. Petrobras, CENPES, (8): 7-51.

Kumar, A., Narayana, A.C. & Jayappa, K.S. 2010. Shoreline changes and morphology of spits along southern Karnataka, west coast of India: A remote sensing and statistics-based approach. *Geomorphology*, 120(3-4): 133-152.

Leal, R.A. & Barboza, E.G. 2017. Caracterização geológica, geomorfológica e evolutiva holocênica do litoral sul de Jaguaruna, SC, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 44(3): 417-430.

Lee, J.K., Acharya, T.D. & Lee, D.H. 2018. Exploring land cover classification accuracy of Landsat 8 image using spectral index layer stacking in hilly region of South Korea. *Sensors and Materials*, 30(12): 2927-2941.

Loitzenbauer, E. & Mendes, C.A.B. 2016. Integração da gestão de recursos hídricos e da zona costeira em Santa Catarina: a zona de influência costeira nas bacias dos rios Mampituba, Araranguá, Tubarão e Tijucas, SC. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 21(2): 466-477.

Machado, C. 2005. *Morfodinâmica do Trecho Praial entre Morro dos Conventos - Balneário Gaivota, SC*. Florianópolis, 117p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina.

Machado, J.P., Miranda, G.S.B., Gozzo, L.F. & Custódio, M.S. 2019. Condições Atmosféricas Associadas a Eventos de Ressaca no Litoral Sul e do Sudeste do Brasil durante o El Niño 2015/2016. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 34(4): 529-544.

Mafra, E.O., Oliveira, R. & Quadro, M.F.L. 2020. The influence of the zonal variation of the Brazil-Malvinas confluence in the harvest of the mullet in the state of Santa Catarina between 2006 and 2016. *Ciência e Natura*, 42: e13.

Mahiques, M.M., Souza, S.H.M., Furtado, V.V., Tessler, M.G., Toledo, F.A.L., Burone, L., Figueira, R.C.L., Klein, D.A., Martins, C.C. & Alves, D.P.V. 2010. The Southern Brazilian

- shelf: general characteristics, quaternary evolution and sediment distribution. *Brazilian Journal of Oceanography*, 58: 25-34.
- Marimon, M.P.C., Wildner, W. & Ayala, L. 2016. Geologia. In: Rocha, I.O. (Ed.). *Atlas Geográfico de Santa Catarina - Fascículo 2 - Diversidade da Natureza*. Florianópolis, Editora da UDESC, p. 45-68.
- Martins, L.R. & Coutinho, P.N. 1981. The Brazilian continental margin. *Earth-Science Reviews*, 17(1/2): 87-107.
- Matano, R.P., Palma, E.D. & Piola, A.R. 2010. The influence of the Brazil and Malvinas Currents on the Southwestern Atlantic Shelf circulation. *Ocean Science*, 6(4): 983-995.
- Matias, A., Vila-Concejo, A., Ferreira, Ó., Morris, B., & Dias, J.A. 2007. Sediment transport patterns during overwash. *Proceedings of Coastal Sediments*, 7: 2049-2060.
- Melo, E., Hammes, G.R. & Franco, D. 2006. Estudo de Caso: A Ressaca de Agosto de 2005 em Santa Catarina. In: Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica, 2., 2006, Rio Grande. *Anais...* Rio Grande, FURG, p. 19.
- Mendonça, L.F., Souza, R.B., Reis, R.N. & Alves, R.C.M. 2018. Análise da Variabilidade Superficial de Temperatura e Altimetria no Oceano Atlântico Sudoeste durante o Ano de 2012. *Revista Brasileira de Cartografia*, 70(3): 1158-1176.
- Monteiro, M.A. 2007. *Dinâmica atmosférica e a caracterização dos tipos de tempo na Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá*. 223p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Monteiro, M.A. & Silva, P.V. 2016. Clima. In: Rocha, I.O. (Ed.). *Atlas Geográfico de Santa Catarina - Fascículo 2 - Diversidade da Natureza*. Florianópolis, Editora da UDESC, p. 69-90.
- Muehe, D. 2009. A zona costeira e sua vulnerabilidade frente à ocupação e às mudanças climáticas. In: Conferência ANPEGE. Disponível em <<https://www.researchgate.net/publication/276069385>>. Acesso em: 07 out. 2021.
- Muehe, D. 2018. *Panorama da erosão costeira no Brasil*. Brasília, MMA, 759p.
- Nass, D. & Vieira, C.V. 2017. Evolução morfológica do esporão arenoso na foz do rio Itapocú, município de Barra Velha/SC. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10(03): 674-689.
- Neto, J.A.B., Ponzi, V.R.A. & Sichel, S.E. 2004. *Introdução à Geologia Marinha*. Rio de Janeiro, Interciência, 279p.
- Oliveira, B.A. 2017. *Variabilidade do Clima de Ondas de Santa Catarina-Brasil Utilizando o Modelo Wavewatch III*. Florianópolis, 105p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Oliveira, J.F. 2019. *A dinâmica e a evolução costeira do litoral ao sul do Cabo de Santa Marta, estado de Santa Catarina*. Porto Alegre, 154p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- Oliveira, B.A., Sobral, F., Fetter, A. & Mendez, F.J. 2019. A high-resolution wave hindcast off Santa Catarina (Brazil) for identifying wave climate variability. *Regional Studies in Marine Science*, 32: 100834.
- Ollerhead, J. & Davidson-Arnott, R.G. 1995. The evolution of Buctouche Spit, New Brunswick, Canada. *Marine Geology*, 124(1-4): 215-236.
- Patchineelam, S.M. 2004. Circulação Oceânica. In: Baptista Neto, J.A., Ponzi, V.R.A. & Sichel, S.E. (Ed.). *Introdução a geologia marinha*. Rio de Janeiro, Editora Interciência Ltda, p. 152-173.
- Pierce, J.W. 1970. Tidal Inlets and Washover Fans. *The Journal of Geology*, 78(2): 230-234.
- Pradhan, U., Mishra, P., Mohanty, P.K. & Behera, B. 2015. Formation, growth and variability of sand spit at Rushikulya river mouth, south Odisha coast, India. *Procedia Engineering*, 116: 963-970.
- Queiroz, H.A.A. & Gonçalves, R.M. 2016. Geotecnologias aplicadas à cartografia costeira e suas estimativas de custos e benefícios para projetos de pesquisa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, VI., 2016, Recife. *Anais...Recife, DECart*, v.1, p.7.
- Reinson, G.E. 1979. Facies Models 14. Barrier Island Systems. *Geoscience Canada*, 6: 51-68.
- Rodrigues, M.L.G., Franco, D. & Sugahara, S. 2004. Climatologia de frentes frias no litoral de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Geofísica*, 22(2): 135-151.
- Rosa, M.L.C.D.C., Barboza, E.G., Abreu, V.D.S., Tomazelli, L.J. & Dillenburg, S.R. 2017. High-Frequency Sequences in the Quaternary of Pelotas Basin (coastal plain): a record of degradational stacking as a function of longer-term base-level fall. *Brazilian Journal of Geology*, 47: 183-207.
- Rossetti, D.F. 2008. Ambientes Costeiros. In: Florenzano, T.G (Org.). *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo, Oficina de Textos, p. 247-283.
- Rudorff, F.M., Bonetti Filho, J., Moreno, D.A., Oliveira., C.A.F. & Murara, P.G. 2014. 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, p. 151-154.
- Saengsupavanich, C. 2021. Morphological Evolution of Sand Spits in Thailand. *Marine Geodesy*, 44: 1-22.
- Santos, G.C. & Souza, R.M.E. 2016. Morfodinâmica do Pontal Arenoso e Interferências na Evolução da Planície de Maré na Desembocadura do Rio Aracaju/SE. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 17(4): 679-693.
- Sawakuchi, A.O. & Giannini, P.C.F. 2006. Complexidade em Sistemas Depositionais. *Revista Brasileira de Geociências*, 36(2): 347-358.
- Scheibe, L.F.A. 1986. A Geologia de Santa Catarina: Sinopse Provisória. *Geosul*, 1(1): 7-38.

- Serafim, M.B. & Bonetti, J. 2017. Vulnerabilidade das praias do Estado de Santa Catarina a eventos de erosão e inundação costeira: proposta metodológica baseada em um índice multicritério. *Quaternary and Environmental Geosciences*, 8(2): 36-54.
- Siegle, E. & Asp, N.E. 2007. Wave refraction and longshore transport patterns along the southern Santa Catarina coast. *Brazilian Journal of Oceanography*, 55(2): 109-120.
- Silva, A.B., Barboza, E.G., Rosa, M.L.C.C. & Fracalossi, F.G. 2010. Caracterização dos depósitos sedimentares em subsuperfície no setor meridional da planície costeira sul de Santa Catarina. *Gravel*, 8(1): 1-7.
- Silveira, I.C.A. Schmidt, A.C.K., Campos, E.J.D., Godoi, S.S. & Ikeda, Y. 2000. A corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. *Revista Brasileira de Oceanografia*, 48(2): 171-183.
- Silveira, R.B., Alves, M.P.A. & Murara, P. 2014. Estudo de Caracterização da Direção Predominante dos Ventos no Litoral de Santa Catarina. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, X., 2014, Curitiba. *Anais...* Curitiba, p. 380-392.
- Silvestrini, T.A.M. & D' Aquino, C.A. 2020. Dinâmica dos parâmetros oceanográficos em um estuário impactado por atividades de mineração de carvão. *Pesquisas em Geociências*, 47(3): e103404.
- Simó, D.H. Horn Filho, N.O. 2004. Caracterização e distribuição espacial das “ressacas” e áreas de risco na ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. *Gravel*, 2: 93-103.
- Souza, C.R.G., Suguio, K., Oliveira, A.M.S. & Oliveira, P.E. 2005. *Quaternário do Brasil*. Ribeirão Preto, Holos, 382p.
- Souza, C.D., Silva, R.M.N., Rodrigues, L.I.C., Mororó, E.A.A., Duarte, C.R., Souto, M.V.S. & Sabadia, J.A.B. 2016. Emprego de imagens Landsat na análise temporal da linha de costa da porção oeste do estado do Ceará. *Revista de Geologia*, 29 (2): 181-194.
- Teodoro, A.C., Pais-Barbosa, J., Gonçalves, H., Veloso-Gomes, F. & Taveira-Pinto, F. 2011. Extraction of Cabedelo sand spit area (Douro estuary) from satellite images through image processing techniques. *Journal of Coastal Research*, 1740-1744.
- Tessler, M.G. & Goya, S.C. 2005. Processos Costeiros Condicionantes do Litoral Brasileiro. *Revista do Departamento de Geografia*, 17: 11-23.
- Tomazelli, L.J. & Dillenburg, S.R. 2007. Sedimentary facies and stratigraphy of a last interglacial coastal barrier in south Brazil. *Marine Geology*, 244(1-4): 33-45.
- Tomazelli, L.J. & Villwock, J.A. 2005. Mapeamento Geológico de Planícies Costeiras: o Exemplo da Costa do Rio Grande do Sul. *Gravel*, 3: 109-115.
- Tomazelli, L.J. & Villwock, J. 1992. Considerações Sobre o Ambiente Praial e a Deriva Litorânea de Sedimentos ao Longo do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 19(1): 3-12.
- Tribe, H.M. & Kennedy, D.M. 2010. The geomorphology and evolution of a large barrier spit: Farewell Spit, New Zealand. *Earth Surface Processes and Landforms*, 35(15): 1751-1762.

Valle-Levinson, A., Schettini, C.A.F. & Truccolo, E.C. 2019. Subtidal variability of exchange flows produced by river pulses, wind stress and fortnightly tides in a subtropical stratified estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 221: 72-82.

Villwock, J.A. 1972. *Contribuição a Geologia do Holoceno da Província Costeira do Rio Grande do Sul – Brasil*. Porto Alegre. 133p. Dissertação de Mestrado de Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Villwock, J.A., Tomazelli, L.J., Loss E.L., Dehnhardt, E.A., Horn Filho, N.O., Bachi, F.A. & Dehnhardt, B.A. 1986. Geology of The Rio Grande do Sul Coastal Province. *In: Rabassa, J. (Ed.) Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*. Rotterdam, Balkema, p. 79-97.

Winarso, G., Judijanto, . & Budhiman, S. 2001. The Potential Application Remote Sensing Data for Coastal Study. *In: ASIAN CONFERENCE ON REMOTE SENSING, 22., 2001, Singapura. Anais... Centre for Remote Imaging, Sensing, and Processing (CRISP), National University of Singapore; Singapore Institute of Surveyors and Valuers (SISV); Asian Association on Remote Sensing (AARS), v.1, p. 5-9.*

Zasso, L.A. 2012. *Alterações na deriva litorânea e no balanço de sedimentos: molhes do rio Mampituba e praias adjacente, divisa entre os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina*. 52p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Zasso, L.A., Barboza, E.G. & Gruber, N.L.S 2013. Alterações na Deriva Litorânea e no Balanço Sedimentar nas Adjacências dos Molhes do Rio Mampituba/RS-SC. *Gravel*, 11(1): 1-17.

Zembruscki, S.G. 1979. Geomorfologia da margem continental sul-brasileira e das bacias oceânicas adjacentes. *In: Chaves, H.A.F. (Ed.). Geomorfologia da margem continental brasileira e áreas oceânicas adjacentes*. Rio de Janeiro, PETROBRAS, Série Projeto REMAC, 7, p.129-177.

## CAPÍTULO II

### [RBGF] Agradecimento pela submissão Caixa de entrada x

**Prof. Dr. Josiclêda Domiciano Galvêncio** <rbgf@ufpe.br>

para mim ▼

Edvan Casagrande dos Santos,

Agradecemos a submissão do trabalho "Variabilidade morfológica do pontal arenoso do estuário do rio Araranguá, Santa Catarina, entre 1984 e 2021" para a revista Revista Brasileira de Geografia Física.

Acompanhe o progresso da sua submissão por meio da interface de administração do sistema, disponível em:

URL da submissão:

<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/author/submission/252744>

Login: edvancasagrande

Em caso de dúvidas, entre em contato via e-mail.

Agradecemos mais uma vez considerar nossa revista como meio de compartilhar seu trabalho.

Prof. Dr. Josiclêda Domiciano Galvêncio

Revista Brasileira de Geografia Física

Josiclêda Domiciano Galvêncio

Editora Chefe da Revista Brasileira de Geografia Física - RBGF

Editor-in-Chief of Revista Brasileira de Geografia Física - RBGF

<http://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

## **6. Variabilidade morfológica do pontal arenoso do estuário do rio Araranguá, Santa Catarina, entre 1984 e 2021**

Edvan Casagrande dos Santos<sup>1</sup>, Jair Weschenfelder<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mestrando no Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9.500, CEP 91.540-000, Porto Alegre, RS, Brasil. Endereço eletrônico: edvancasagrande@gmail.com.

<sup>2</sup>Pesquisador e professor no Centro de Estudos de Geologia Costeira da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Departamento de Geodesia. Av. Bento Gonçalves, 9500 - Instituto de Geociências Agronomia 91501-970 - Porto Alegre, RS - Brasil - Caixa-postal: 15001. Endereço eletrônico: jair.weschenfelder@ufrgs.br.

### **RESUMO**

A caracterização dos sistemas deposicionais costeiros através do uso e interpretação dos dados de sensoriamento remoto, viabiliza estudos tanto em superfície quanto na subsuperfície desse ambiente. Em um cenário de mudanças ambientais globais, os ambientes deposicionais costeiros configuram-se como um dos ecossistemas mais vulneráveis a elevação do nível do mar. O objetivo desse trabalho foi caracterizar a dinâmica morfológica do pontal arenoso do rio Araranguá, em Santa Catarina, entre os anos de 1984 e 2021, a partir de imagens de satélite multiespectrais em superfície dos sensores ópticos orbitais Thematic Mapper (TM)/Landsat 5, Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)/Landsat 7 e Operational Terra Imager (OLI)/Landsat 8. Para isso, foi utilizado um intervalo de 37 anos de imagens de satélite, cujo dados foram obtidas no banco de dados "Earth Explorer", do Serviço Geológico dos Estados Unidos. O processamento digital das imagens foi realizado no software ENVI, versão 5.3. As feições deposicionais foram identificadas, vetorizadas e os mapas temáticos foram gerados no software ArcGIS, versão 10.3. Os dados morfométricos gerados foram tabulados, analisados e comparados em planilhas eletrônicas. O pontal apresenta tendência de acreção sedimentar em relação a sua área e comprimento, e está em processo de progradação em direção nordeste. O pontal progradou aproximadamente 3550 metros no período analisado, e sua área acresceu 670 metros quadrados. A taxa média de progradação calculada foi de 98,5 metros por ano. A morfodinâmica do pontal arenoso do rio Araranguá está condicionada aos eventos de lavagem costeira, inundação e as intervenções humanas.

Palavras-chave: pontal arenoso, estuário, ambiente deposicional, sensoriamento remoto.

## **Morphological variability of the sandspit of the Araranguá river estuary, Santa Catarina, between 1984 and 2021**

### **ABSTRACT**

Characterization of coastal depositional systems through the use and interpretation of remote sensing data enables studies both on the surface and on the subsurface of this environment. In a scenario of global environmental changes, coastal depositional environments are one of the most vulnerable ecosystems to rising sea levels. The objective of this work was to characterize the morphological dynamics of the sandspit of the Araranguá River, in Santa Catarina, between 1984 and 2021, using multispectral satellite images on the surface of orbital optical sensors Thematic Mapper (TM)/Landsat 5, Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)/Landsat 7 and Operational Terra Imager (OLI)/Landsat 8. For this, an interval of 37 years of satellite images was used, whose data were obtained from the “Earth Explorer” database of the United States Geological Survey. Digital image processing was performed using ENVI software, version 5.3. The depositional features were identified, vectored and the thematic maps were generated using ArcGIS software, version 10.3. The morphometric data generated were tabulated, analyzed, and compared in electronic spreadsheets. The spit presents a tendency of sedimentary accretion in relation to its area and length and is in the process of progradation towards the northeast. The spit prograded approximately 3550 meters in the analyzed period, and its area increased by 670 square meters. The average rate of progradation calculated was 98.5 meters per year. The morphodynamics of the Araranguá River's sandspit is conditioned by coastal washover events, flooding, and human interventions.

Keywords: sandspit, estuary, depositional environment, remote sensing.

### **Introdução**

Os estuários são ambientes deposicionais de transição localizados na interface entre o continente e o oceano (Nascimento et al., 2020). A geomorfologia costeira dos ambientes estuarinos está condicionada as frequentes alterações dinâmicas nas escalas espaciais e temporais dos processos marinhos (ondas e marés) e dos processos fluviais (Vieira et al., 2020).

A caracterização ambiental através do uso de informações obtidas por sensoriamento remoto viabiliza estudos tanto em superfície quanto na subsuperfície dos sistemas deposicionais costeiros (Yasir, et al., 2020; Rodríguez-Santalla et al., 2021). A interpretação de imagens de satélite multiespectrais e a aplicação de técnicas de

geoprocessamento podem fornecer uma solução possível para alguns dos problemas de geração e atualização dos mapas temáticos dos ambientes deposicionais costeiros (Alesheik et al., 2007; Silva Neto et al., 2020).

Um pontal arenoso (*sandspit*) é uma feição deposicional, geralmente associada a uma barreira costeira, composto pelo acúmulo de sedimentos arenosos na foz de ambientes estuarinos, canais de marés (*tidal inlets*) e ilhas barreiras. Os pontais são predominantemente constituídos por grãos de tamanhos areia, associados a outros sedimentos provenientes de diversas fontes continentais e marinhas (Kumar et al., 2010; Hoan et al., 2011; Padrahn et al., 2015; Alcántara-Carrió et al., 2018; Escudero et al., 2019; Anh et al., 2020; Saengsupavanich, 2021).

Essa feição deposicional desenvolve-se geralmente em ambientes costeiros dominadas pela ação ondas, em que predominam uma pequena amplitude de marés. A porção subárea (emersa) dos pontais arenosos é constituída predominantemente por depósitos praias, eólicos (dunas), pântanos, lagunares e tecnogênicos (Avinash et al., 2013; Nass e Viera, 2017; Mahanty et al., 2019).

A morfologia do pontal é influenciada principalmente pela estrutura geológica, aumento do nível do mar, disponibilidade de sedimentos, ventos, marés, ondas, lavagem costeira, descarga fluvial e intervenções humanas. Os pontais arenosos protegem a linha de costa das ações de ondas, principalmente durante os eventos de tempestades e inundações costeiras (Allard et al., 2008; Pradhan et al., 2015; Thomas et al., 2016; Qi et al., 2021).

A morfologia e evolução temporal dos pontais arenosos pode ser identificada por meio de imagens de sensores orbitais, levantamentos aerofotogramétricos e levantamentos topográficos de radar. Cujas variabilidade espacial e temporal pode ser caracterizada por meio de mapeamentos temáticos. Em um cenário de mudanças climáticas globais, consequente aumento de eventos meteorológicos extremos e aumento do nível do mar podem intensificar os processos de erosão costeira no litoral brasileiro localizado na porção do Atlântico Sul (Muehe, 2018; IPCC, 2021).

A zona costeira do sul de Santa Catarina é caracterizada como um ambiente onde a ação das ondas e da deriva litorânea produzem feições deposicionais arenosas ao longo da linha de costa (Zasso et al., 2013). Segundo Siegle e Asp (2007), o pontal arenoso do rio Araranguá configura-se como um indicador geomorfológico da direção predominante da deriva litorânea nesse setor do litoral catarinense.

No Estado de Santa Catarina, como observado por Horn Filho et al. (2018), a zona costeira apresenta alterações morfológicas na sua paisagem em diferentes escalas espaço-temporais. Os principais processos de alterações no litoral catarinense são observados na erosão da linha de costa, nos campos de dunas e nos muros de contenção. Essas alterações, são ocasionadas por variações morfodinâmicas de origens naturais ou por intervenções humanas na zona costeira.

Dessa forma, os processos erosivos ao longo do litoral de Santa Catarina, têm origem na variabilidade natural do sistema deposicional, entretanto podem ser intensificados pela influência das atividades humanas. No cenário local, o setor sul do litoral de Santa Catarina apresenta os menores índices de erosão costeira do litoral catarinense, conseqüentemente, são condicionados sobretudo pela variabilidade da morfodinâmica natural do sistema deposicional costeiro, como eventos de inundação e erosão praial ocasionados por marés e ondas de tempestades (Serafim e Bonetti, 2017; Horn Filho et al., 2018).

Nesse contexto, esse estudo tem como objetivo caracterizar a dinâmica morfológica do pontal arenoso, localizado na desembocadura do rio Araranguá, em Santa Catarina, entre os anos de 1984 e 2021, a partir de imagens de satélite multiespectrais em superfície dos sensores ópticos orbitais Thematic Mapper (TM), Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM)+ e Operational Terra Imager (OLI).

## **Área de estudo**

A área de estudo compreende a região da foz do rio Araranguá, localizada no extremo sul do Estado de Santa Catarina, delimitada entre latitudes e longitudes de 28°55'57,62"S 49°21'17,59"O e 28°53'45,31"S 49°18'24,68"O. A área de estudo integra a Área de Proteção Ambiental Municipal (APA) da Costa de Araranguá (Decreto Municipal número 7828/2016), Monumento Natural (MONA) do Morro dos Conventos (Decreto Municipal número 7829/2016) e Reserva Extrativista (RESEX) (Decreto Municipal número 7830/2016) do rio Araranguá (Figura 1).



Figura 1. Localização da área de estudo.

A bacia hidrográfica do Rio Araranguá possui uma área total de aproximadamente 3.089 km<sup>2</sup>. O rio Araranguá forma-se pela junção de dois afluentes, o rio Mãe Luzia e rio Itoupava, com extensão de 35 quilômetros e profundidade estuarina média de 7,2 metros (D'Aquino et al., 2010; Couceiro et al., 2021).

Diferente do que ocorre na maioria dos canais fluviais que desaguam no mar na Bacia de Pelotas, sua desembocadura não está estabilizada por molhes de fixação. As águas do rio Araranguá recebem aporte de drenagem ácida com baixo pH de seus afluentes, decorrente da mineração e processamento de carvão a montante, o que ocasiona uma aceleração da decantação dos sedimentos transportados em suspensão pelo canal (Barreto e Schettini, 2014; Silvestrini e D'Aquino, 2020).

Apresenta um padrão de distribuição vertical de salinidade e circulação estuarino altamente estratificado, assim, em relação ao indicador do balanço de materiais no sistema estuarino, pode ser classificado como um estuário do tipo exportador e de frente deltaica (Couceiro et al., 2021). Os sedimentos de fundo são arenosos próximos a sua desembocadura (Couceiro e Schettini, 2010; Barreto e Schettini, 2014).

As micromarés (amplitudes de marés inferiores a 2 metros) são predominantes na região do estuário do rio Araranguá (Loitzenbauer e Mendes, 2016). O regime de micromarés no local tem um efeito secundário como condicionante da hidrodinâmica do estuário do rio, evidenciando que a descarga fluvial representa o fator mais relevante no

sistema desse ambiente (Couceiro e Schettini, 2010; Barreto e Schettini, 2014). As marés no estuário do rio Araranguá são caracterizadas como mistas e semidiurnas. As correntes de maré atingem 0,4 m/s durante as marés de sizígia e 0,2 m/s nas marés de quadratura (Valle-Levinson et al., 2019).

Silvestrini e D'Aquino (2020) destacam que a descarga fluvial é responsável pelo controle da hidrodinâmica e o transporte de propriedades no ambiente do estuário do rio Araranguá. A dinâmica climática desse ambiente estuarino encontra-se influenciada pela entrada de frentes frias que se formam no extremo sul do continente sul americano, próximo a Antártica (Silvestrini e D'Aquino, 2020). O estuário do rio Araranguá está inserido dentro do sistema climático subtropical úmido (Cfa) de acordo com a classificação de Köppen.

Na área de estudo, em relação aos sedimentos do Holoceno, são encontrados os depósitos marinhos-praial, eólico e lagunar. Esses depósitos foram erodidos desde o início do Holoceno até o presente pela ação fluvial resultante do deslocamento do canal e dos meandros do rio Araranguá, durante períodos de maior pluviosidade e enchentes (Horn Filho et al., 2020).

A deriva litorânea é predominante unidirecional na porção sul desse setor, entre a foz do rio Mampituba em Torres-RS e o estuário do rio Araranguá, apresentando um maior potencial de transporte de sedimentos nessa região. Conforme se desloca para norte em direção ao Cabo de Santa Marta em Laguna, Santa Catarina a deriva diminui de intensidade, assim como altera sua direção em determinados períodos do ano (Siegle e Asp, 2007).

Desse modo, a principal direção da deriva litorânea ao longo do ano nesse setor ocorre de sul para norte, sendo controlada pelas ondas do quadrante sul, mais intensas, porém menos frequentes (Leal e Barboza, 2017). A deriva litorânea é mais intensa nos meses do outono e inverno e menos nos meses de verão e primavera (Siegle e Asp, 2007), atingindo seu máximo no outono.

## **Materiais e Métodos**

Foram utilizadas 37 imagens de reflectância em superfície da série Landsat 5,7 e 8, obtidas sobre a área de estudo entre 1984 e 2021, com exceção do ano de 2012 onde não foi possível a obtenção de uma imagem sem a presença de nuvens (Quadro 1). A utilização de um intervalo decadal de imagens de sensoriamento remoto orbital possibilita compreender através de análise multitemporal morfométrica o comportamento da dinâmica morfológica na região da desembocadura do rio Araranguá. Assim como, inferir a direção

da deriva litorânea de sedimentos, a progradação e retrogradação do pontal arenoso e o papel que os processos de lavagem costeira desempenham na formação e desenvolvimento dessa feição deposicional costeira.

Landsat 5 (TM)	Landsat 7 (ETM+)	Landsat 8 (OLI)
1984 a 2000 e 2003 a 2011	2001 e 2002	2011 a 2021

Quadro 1. Anos de aquisição das imagens de satélite da série Landsat 5,7 e 8.

As imagens obtidas são predominantes da estação do inverno, ao longo dos meses de agosto e setembro, uma vez que a deriva litorânea é mais intensa nesses meses e devido a disponibilidade de imagens sem a presença de nuvens. Quando não foi possível utilizar imagem correspondente para esses meses, buscou-se uma imagem de satélite para uma data mais próxima. Ao todo foram utilizadas 6 bandas do espectro óptico dos sensores orbitais TM, ETM+ e OLI. As 3 bandas dos comprimentos de onda do visível (VIS), 1 banda do infravermelho próximo (NIR), 2 bandas do infravermelho de ondas curtas (SWIR 1 e 2) Quadro 2.

As bandas do VIS 1, 2 e 3 dos sensores TM e ETM+/Landsat 5 e 7 correspondem ao intervalo 0,45 – 0,52  $\mu\text{m}$  (Banda 1 – Azul), 0,52 – 0,60  $\mu\text{m}$  (Banda 2 – Verde), 0,63 – 0,69  $\mu\text{m}$  (Banda 3 – Vermelho). A banda 4 do NIR, ao intervalo 0,77 – 0,90  $\mu\text{m}$  e as bandas 5 e 7, ao intervalo 1,55 – 1,75  $\mu\text{m}$  (SWIR 1) e 2,08 – 2,35  $\mu\text{m}$  (SWIR 2). Para o sensor OLI/Landsat 8, as bandas 2, 3, 4, 5 e 6 correspondem as bandas 1 a 5 dos sensores TM e ETM+, enquanto a banda 7 não foi alterada.

As imagens da série Landsat utilizadas nesse estudo estão disponíveis de forma gratuita para download através do banco de dados Earth Explorer, do Serviço Geológico dos Estados Unidos, endereço eletrônico: <http://earthexplorer.usgs.gov>. As imagens obtidas já apresentavam um pré-processamento digital, como projeção cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM), WGS-1984, Zona 22 Norte e os valores de reflectância calculados para todas as bandas do espectro óptico.

	<b>Landsat 5</b>	<b>Landsat 7</b>	<b>Landsat 8</b>
<b>Sistema Sensor</b>	Thematic Mapper (TM)	Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)	Operational Land Imager (OLI)
<b>Resolução Espacial</b>	30 metros	30 metros	30 metros
<b>Resolução Espectral</b>	Bandas 1,2,3,4,5 e 7	Bandas 1,2,3,4,5 e 7	Bandas 2,3,4,5,6, e 7
<b>Resolução Temporal</b>	16 dias	16 dias	16 dias
<b>Resolução Radiométrica</b>	8 bits	8 bits	16 bits
<b>Órbita/Ponto</b>	220/80	220/80	220/80

Quadro 2. Descrição dos dados utilizados no estudo.

Com a definição das bandas utilizadas, no software Environment for Visualizing Images (ENVI), versão 5.3 foi realizado processamento digital das imagens. As bandas foram agrupadas em um mesmo arquivo utilizando o processo de Layer Stacking - Empilhamento de Camadas, ou seja, o agrupamento das bandas em um único arquivo. Esse processo de empilhamento de camadas é frequentemente utilizado para a classificação de características únicas ou múltiplas da cobertura da superfície terrestre a partir de imagens de satélite (Lee et al., 2018). Durante esse processamento, o sistema de projeção cartográfica das imagens foi mantido como Universal Transversa de Mercator e Dátum WGS 1984, o fuso foi alterado para Zona Sul 22 e o arquivo foi exportado no formato Geotiff.

No ENVI, as imagens foram georreferenciadas com base na imagem de 1984, a partir da ferramenta de Registro de Imagem por Imagem. Onde os vértices dos pixels da imagem base foram utilizados como pontos de controle no solo (*ground control points-GCPs*) para as demais imagens de satélite. Foram demarcados oito pontos de controle, a distorção foi realizada usando o método de reamostragem do Vizinho Mais Próximo (*Nearst Neighbor*), o Erro Médio Quadrático (RMS Error) foi de 0 para todas as imagens utilizadas.

Em ambiente Sistemas de Informações Geográficas (SIG), no software ArcGIS View/ESRI, versão 10.3 foi realizada a interpretação visual das imagens de reflectância em

superfície. Foram utilizadas para identificação das feições deposicionais do pontal arenoso a composição colorida RGB-752 (TM e ETM+) e RBG-763 (OLI). Essa composição colorida, realça as áreas em superfície com solos com predominância de areia seca (umidade menor que 4%) das áreas com areia molhada (umidade maior que 5%), assim como as diferenciam dos corpos hídricos. Uma vez que, nos comprimentos de onda do SWIR, solos arenosos apresentam elevada reflectância nessa faixa do espectro, com o aumento do teor de umidade nos solos arenosos ocorre uma maior absorção na região do VIS e SWIR, devido à presença as bandas de absorção da água (Jensen e Epiphanyo, 2009).

Para identificação das classes de feições deposicionais foram utilizados aspectos na imagem de satélite como a textura, rugosidade, cobertura do solo, comportamento espectral dos alvos, forma, tamanho, sombreamento, altura, altitude, tonalidade, cor, estrutura, densidade, localização (sítio) e associação (Florenzano, 2013).

As feições deposicionais foram vetorizadas (shapefile) no ArcGis View a partir de polígonos, com referência espacial na projeção UTM, Dátum WGS 1984 e Zona 22 Sul. Com o polígono do pontal arenoso gerado foi calculado através da Calculadora de Geometria a área, em quilômetros quadrados, o perímetro (quilômetros-km), comprimento (km) e a largura proximal e distal (metros) do pontal arenoso. A largura proximal foi delimitada utilizando um transecto entre uma das margens do rio e o oceano enquanto o outro transecto da largura distal entre a margem continental do pontal e o oceano, na desembocadura do rio Araranguá.

Os dados gerados foram tabulados em planilhas no Microsoft Excel 2019 para geração de gráficos e tabelas, com a finalidade de gerar dados estatísticos para avaliação do comportamento morfológico desse ambiente. Em uma coluna foi gerada uma relação entre a área do pontal em relação ao ano anterior, assim, é foi possível identificar a taxa de erosão e/ou acreção anual. Em outra coluna, o comprimento foi utilizado para identificar a progradação, retrogradação e/ou equilíbrio do pontal e sua taxa de evolução ao longo do período analisado.

O trabalho de campo foi realizado na área de estudo no dia 25/11/2019. Foi efetuado um registro fotográfico em diversas áreas ao longo da extensão do pontal arenoso, assim como o ajuste no mapeamento temático realizado previamente para identificação desse ambiente deposicional.

## Resultados e Discussões

Com a finalidade de simplificar e comparar a série de dados quantitativos gerados, os mapeamentos do pontal foram agrupados por décadas, com a integração do ano de 2021 na década de 2010. Ao todo foram gerados 4 mapas temáticos síntese, relativos à evolução costeira do pontal arenoso, (1984 a 1989), (1990 a 1999), (2000 a 2009) e (2010 a 2021). Outros mapas foram gerados a partir da interpretação visual das imagens e análise dos dados quantitativos (estatísticos), através do cálculo da área, comprimento e largura proximal e distal do pontal arenoso. O objetivo foi evidenciar os principais eventos de erosão e acreção observados no ambiente do pontal, que condicionam os processos de progradação e retrogradação barreira holocênica e influenciam na evolução morfológica desse ambiente deposicional.

### *Evolução do pontal arenoso entre 1984-2021*

No período de 1984 a 1989 predominam os processos de acreção e equilíbrio sedimentar no ambiente do pontal, com variação positiva de 280 m<sup>2</sup> em relação a área e tendência progradação do comprimento do pontal em aproximadamente 557 m. As larguras proximal e distal da barreira nesse período se mantiveram em relativo equilíbrio morfodinâmico (Figura 2a).

Na década de 1990, o pontal apresentou variabilidade morfodinâmica, com acréscimo de 340 m<sup>2</sup> na sua área e alongamento do pontal de 1259 m, o que evidencia a ocorrência de anos erosivos (Figura 2b). Essa grande dinâmica é verificada na largura distal, que estreitou conforme o pontal progradou para nordeste.

Entre 2000-2009 (Figura 2c) foi verificado que a área do pontal se manteve em equilíbrio dinâmico, com acreção de 80 m<sup>2</sup>. Enquanto, o comprimento do pontal foi de 970 m, o que evidencia que ocorreu progradação do pontal, mas que sem que o tamanho aumentasse. Também foi observado o estreitamento do pontal na sua extremidade distal ao longo do período.

No período entre 2010 e 2021 é possível observar a progradação do pontal arenoso em direção nordeste, assim como o estreitamento da barreira holocênica. O aumento da área nesse período foi calculada em 260 m<sup>2</sup>, com aumento de 1598 m no comprimento do pontal (Figura 2d).

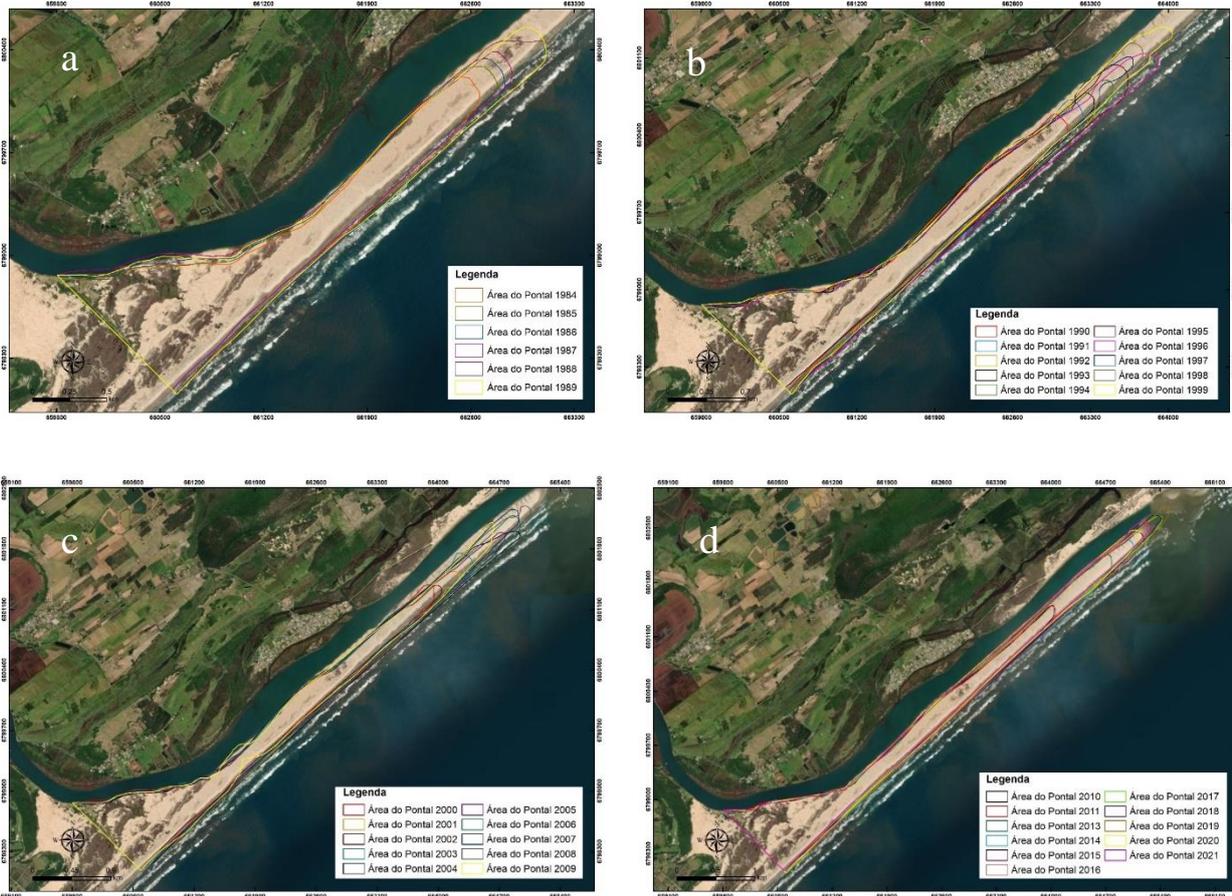


Figura 2. Mapas temáticos da evolução morfológica do pontal arenoso do rio Araranguá, a. (1984-1989); b. (1990 -1999); c. (2000-2009) e d. (2010-2021).

### *Fatores que condicionam morfodinâmica do pontal arenoso*

Através da interpretação visual das imagens foram identificadas duas aberturas resultantes da ação humana no pontal arenoso do rio Araranguá. No ano de 1988, na região proximal do pontal (Figura 3) e no ano de 2009 no mesmo local, mais a sul da desembocadura do rio (Figura 5).

Essas aberturas manuais no setor sul da foz do Rio Araranguá ocorrem desde 1950 (Cristiano et al. 2019), em razão da demanda da comunidade local e de projetos do poder público pela fixação da barra na foz do rio Araranguá. A finalidade dessas intervenções são amenizar os eventos de cheias à montante do rio, assim como fomentar a atividade pesqueira, possibilitando o tráfego de embarcações da comunidade local. As enchentes que ocorrem na planície de inundação do rio Araranguá ocasionam prejuízos socioeconômicos para a população e agricultura local (Cristiano et al., 2019; Debortoli et al., 2020).

Na imagem de satélite obtida sobre a área de estudo em 1989 (Figura 3), o canal aberto manualmente no ano anterior foi totalmente assoreado, em função da ação das ondas da deriva litorânea de sedimentos e pelo transporte e deposição eólica.

A intensa dinâmica que ocorre na porção distal do pontal arenoso foi observada com maior intensidade durante alguns os anos do período analisado. Em 1990 e 1993 (Figura 3), 1996 e 1997 (Figura 4), 2007 (Figura 4) e 2010 (Figura 5).

Nestes anos foi observado a presença de areia úmida na região distal do pontal arenoso, devido a tonalidade mais escura presente na composição colorida empregada para a análise. Esse padrão morfodinâmico observado na desembocadura do rio Araranguá também foi registrado durante o trabalho de campo em novembro de 2019 (Figura 6). Foi constatado a presença de restos de vegetação (troncos, galhos e raízes de árvores) e carapaças de moluscos marinhos. Bem como, o aspecto predominante dos sedimentos arenoso encontrava-se lavados pela ação da descarga fluvial, ondas e marés. Essa lavagem costeira ocorre devido à baixa topografia e aos sedimentos serem menos consolidado nessa área do que em outras do pontal arenoso. Essa porção proximal a abertura do canal de maré é a mais suscetível as mais rápidas mudanças observadas na morfologia do pontal arenoso, assim como aos eventos erosivos ocasionados pela dinâmica fluvial (Lopes et al., 2021).

Em 2002 (Figura 4) foi observado a presença de leques de sobrelavagem através da interpretação da imagem de satélite. Essa deposição é ocasionada pela ação das marés de tempestades que ocorrem em média 3,28 vezes por ano no litoral de Santa Catarina (Rudorff et al., 2014).

No ano de 2010 (Figura 5) a abertura manual realizada em 2009 para abrandar o evento de inundação, já estava completamente sedimentada. Entretanto, o pontal erodiu e retrogradou em relação ao ano anterior. Em contrapartida em 2019 (Figura 5) foi observado que o pontal estava em equilíbrio, não apresentando lavagem em sua porção emersa.

Em 2020 (Figura 5) o canal de maré retrogradou em direção ao sul, sendo possível verificar a presença de uma porção do pontal que foi erodida. Assim demonstra a intensa dinâmica que ocorre nessa porção do pontal arenoso do rio Araranguá.

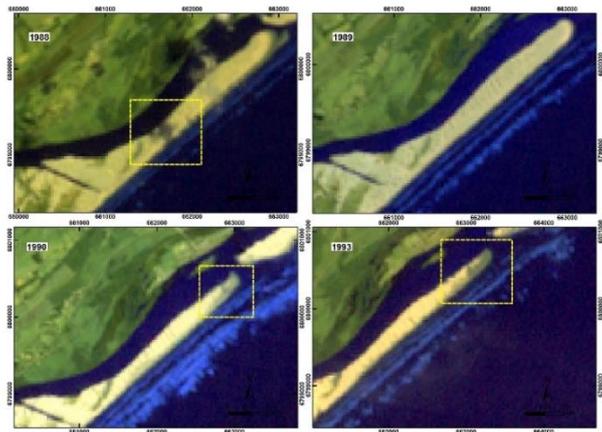


Figura 3. Imagens de satélite da área de estudo, 1988, 1989,1990 e 1993.

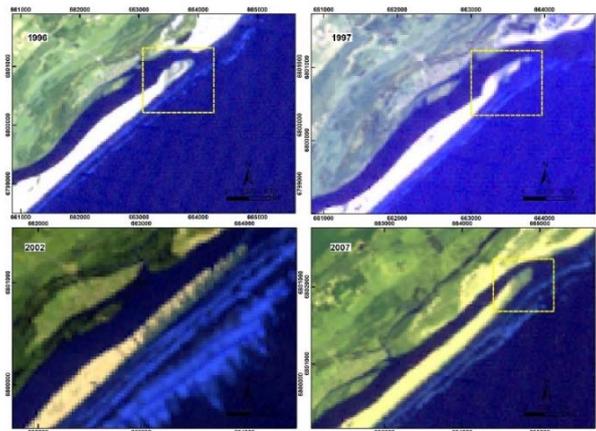


Figura 4. Imagens de satélite da área de estudo, 1996, 1997, 2002 e 2007.

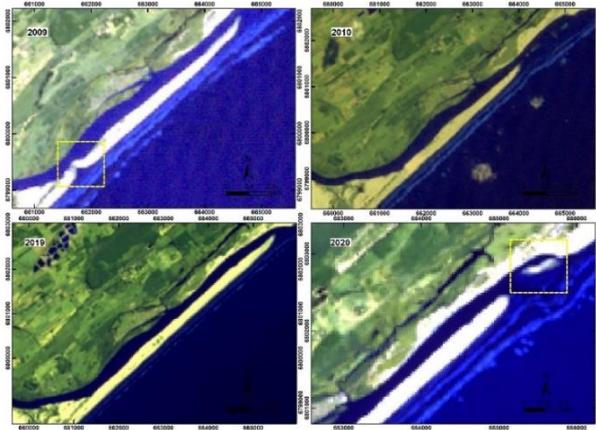


Figura 5. Imagens de satélite da área de estudo, 2009, 2010, 2019 e 2020.



Figura 6. Registro fotográfico na região distal do pontal arenoso do rio Araranguá em 25/11/2019. Fonte: Autor.

### *Variações morfométricas*

A evolução costeira da área, comprimento, largura proximal e distal do pontal arenoso pode ser verificada nas Figuras 7, 8 e 9. O pontal arenoso do rio Araranguá apresenta tendência de acreção sedimentar em relação a sua área, caracterizando-se como uma feição deposicional costeira em processo de progradação, em direção a nordeste da sua foz.

Entre 1984 e 2021 na área do pontal ocorreu acréscimo de 670 m<sup>2</sup>. A menor área observada foi no ano de 1984 (1207 m<sup>2</sup>), enquanto maior no ano de 2008 (2107 m<sup>2</sup>). Entretanto, esse padrão de acreção não ocorreu de forma linear durante o período de análise. O que determina o aspecto de intensa variabilidade morfodinâmica do pontal, cuja relação entre as variáveis da área e do comprimento são estritamente correlacionáveis (Figura 7).

Foi possível a identificação de períodos em que o pontal arenoso sofreu erosão, consequentemente sua área retraiu em relação ao ano anterior. Os anos identificadas com a maiores erosões foram 2002 (360 m<sup>2</sup>) e 2009 (330 m<sup>2</sup>). A erosão do pontal arenoso nesses dois períodos ocorreu por eventos meteorológicos, fluviais e oceanográficos distintos.

Em 2002, através de indicador geomorfológico na imagem de satélite em superfície, é possível verificar a presença de leques de sobrelavagem sobre o pontal arenoso (Figura 4). Os leques de sobrelavagem se formam durante a progradação de pontais e são mais comuns em barreiras costeiras arenosas (Donnelly et al., 2006; Hudock et al., 2014). A

sobrelavagem ocorre quando uma onda de tempestade, nível acima da maré máxima prevista ou quando o nível da elevação das ondas (*wave runup*) excedem a altura da crista da praia e/ou duna (Donnelly et al., 2006; Carruthers et al., 2013). Esse fluxo de água carregada de sedimentos em direção à crista da duna é conhecido como *overwash* (Donnelly et al., 2006; Donnelly e Sallenger, 2007; Carruthers et al., 2013).

Conforme Héquete e Ruz (1991) ressaltam, os processos de lavagem costeira contribuem para a migração dos pontais arenosos, com a transferência de sedimentos de praia e de backshore em direção ao interior do continente. Essa migração, de acordo com Bastos et al. (2012) ocorre em resposta às flutuações eustáticas, uma vez que os pontais arenosos apresentam rápidas mudanças na sua morfologia (posição e forma) em um curto período, cuja dinâmica está diretamente relacionada a eventos meteorológicos.

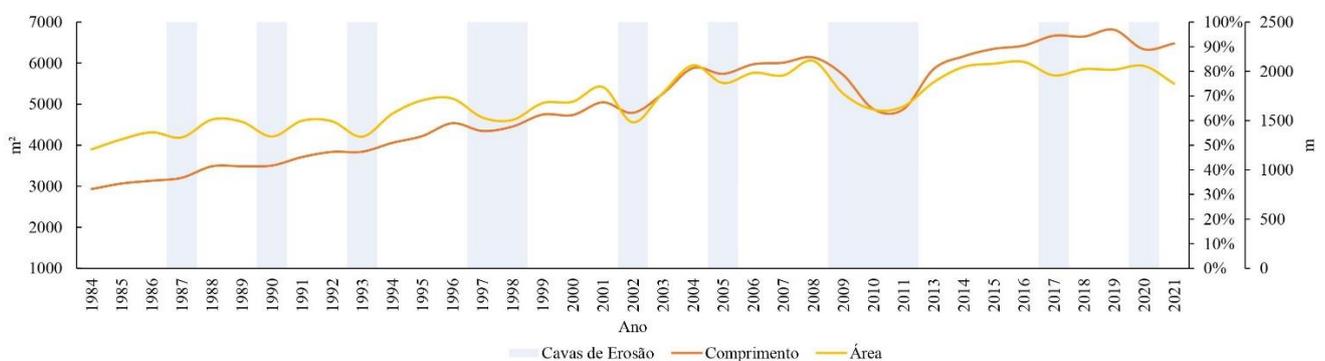


Figura 7. Correlação entre o comprimento e a área do pontal, com destaque para as cavas de erosão

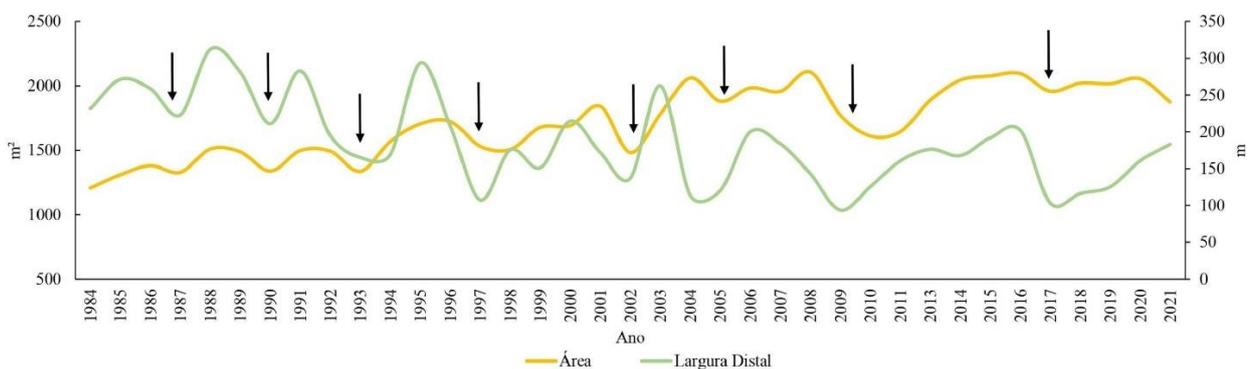


Figura 8. Relação entre a área e a largura distal, as setas indicam os anos correlatos de erosão.

Entre 05 e 08 maio de 2001 a entrada de um ciclone extratropical em Santa Catarina relacionado a maré de sizígia ocasionou eventos de ondas/marés de tempestades ao longo

do litoral de Santa Catarina (Rudorff et al., 2014). Nesse contexto, a erosão da área do pontal de 2001 para 2002 está relacionada aos eventos meteoro-oceanográficos de elevação do nível do oceano.

Em 2009, foi registrada na primeira quinzena de janeiro de 2009 um evento extremo de precipitação na bacia hidrográfica do rio Araranguá (Debortoli et al., 2017). O que ocasionou a cheia dos afluentes e a inundação nas regiões da planície da bacia hidrográfica. Cujos efeitos acarretaram na abertura de um canal no pontal para dar vazão ao escoamento das águas do rio Araranguá. Dessa forma, a associação entre a inundação fluvial no continente e a intervenção humana ocasionaram a erosão na área do pontal arenoso. Outro parâmetro morfométrico reforça a intensa erosão observada no pontal nesse ano, a largura distal da barreira em 2009 foi de 94 m, sendo a menor distância entre a retrobarreira e o oceano verificada no período analisado (Figura 10).

O pontal arenoso do rio Araranguá progradiu aproximadamente 3550 m entre 1984 e 2021. A direção de alongamento do pontal é predominante nordeste da sua foz. A taxa média de progradação anual é de 98,5 m por ano.

Foram observados 6 períodos de retrogradação da barreira costeira, relacionados aos eventos de inundação fluvial, lavagem costeira e intervenção humana. Essa feição é predominante deposicional, apresentando caráter erosivo nos anos de 1997 (189 m), 2002 (254m), 2005 (141 m), 2009 (430 m), 2010 (828 m) e 2020 (476 m). Esse padrão pode ser observado pela presença de cavas de erosão no comprimento do pontal arenoso (Figura 7).

A erosão identificada nesses anos, está relacionada aos mesmos eventos que condicionam a erosão/acreção da área do pontal. A associação entre a inundação fluvial, a intervenção humana e ondas de tempestades, ocasionaram uma retrogradação de 20,5% no comprimento do pontal, entre 2009 e 2011. Essa intensa erosão ocorreu no setor distal, uma vez que os sedimentos arenosos se encontram menos consolidados nessa área e estão sujeitos a ação direta da dinâmica flúvio-marinho.

Entre 2009 e 2011, a retrogradação do pontal foi calculada em 1260 m, entretanto entre 2013 e 2014 foi observado um acréscimo de 1280 m no comprimento do pontal. Essa dinâmica, evidencia que os eventos que fazem a barreira retrogradar erodem principalmente a porção subárea do pontal arenoso na sua região distal. Além disso, a porção submersa possivelmente não seja em tal grau exposta aos eventos que condicionam os processos erosivos nesse ambiente. Por exemplo, entre 2019 e 2020 o pontal arenoso retrogradou 476 m, através das imagens é possível verificar a presença de

uma ilha arenosa a norte da desembocadura (Figura 5). Essa feição integrava a área do pontal arenoso, mas devido aos condicionantes hidrodinâmicos naturalmente ocorreu uma nova abertura do canal de maré no pontal arenoso do rio Araranguá. Visto que, essa feição não foi observada na imagem de satélite de 2021.

A migração e progradação em sentido nordeste do pontal arenoso do rio Araranguá evidencia a predominância da deriva litorânea observada no Sul de Santa Catarina e no Rio Grande do Sul, que se processa em ambos os sentidos da linha de costa, mas com predominância geral no sentido NE (Tomazelli e Villwock, 1992; Zasso et al., 2013). Conforme Tomazelli e Villwock (1992) observam que ao longo das desembocaduras dos rios, lagunas e arroios da costa sul brasileira à deriva litorânea tem sentido predominante em direção a Nordeste (NE). Uma vez que, as desembocaduras da Lagoa do Peixe, na região de Mostardas-RS e do rio Mampituba migram constantemente em direção NE.

A evolução costeira do pontal arenoso observada através da interpretação das imagens de satélite Landsat reforça o padrão observado por Machado (2005) da deriva litorânea em direção NE, entre a praia do Morro dos Conventos, em Araranguá e o Balneário da Gaivota, Santa Catarina e de Horn Filho et al. (2020) que ressaltam que o rio Araranguá desenvolve junto a sua foz, paleocanais fluviais de idade holocênica, que infletem para nordeste, seguindo a direção preferencial da deriva litorânea.

A largura proximal do pontal é relativamente estável durante o período analisado (Figura 9), demonstrando que essa porção não está influenciada intensamente pelos eventos meteorológicos que atingem esse ambiente.

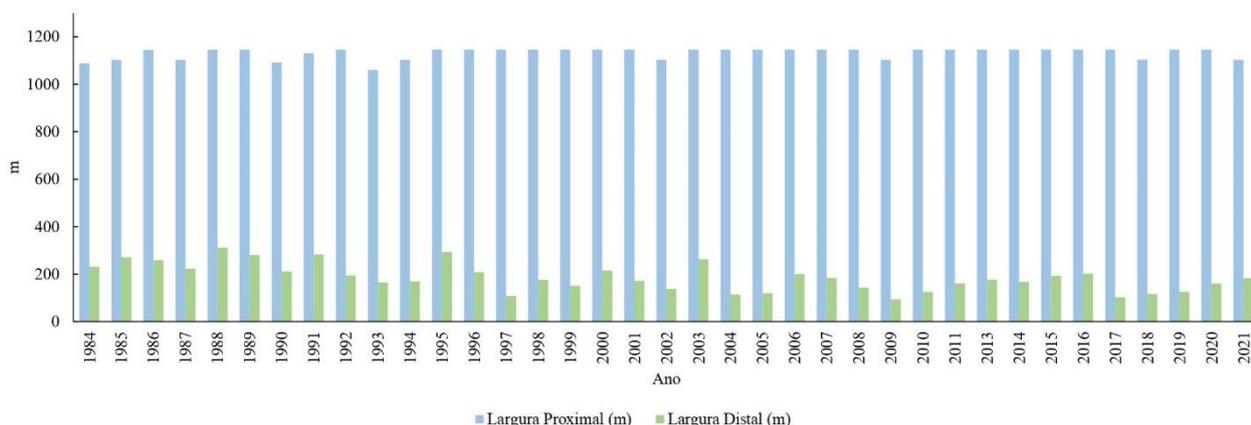


Figura 9. Comparação da largura proximal e da largura distal do pontal.

A estabilidade morfodinâmica observada da interpretação visual das imagens de satélite na porção proximal do pontal arenoso também foi observada *in situ*.

Essa porção proximal do pontal arenoso faz parte da barreira costeira holocênica (Barreira IV) e corresponde às áreas com predominância de ambientes sedimentares arenosos como dunas, lençóis de areia e praias (Figura 10). Os limites dessa feição deposicional estão condicionados a formação de lagunas barreiras e ao limite das regiões com dunas vegetadas e na outra direção são limitadas pelo ambiente marinho. Sua topografia também é um fator limitante a ação dos eventos meteorológicos extremos, uma vez que apenas nos anos que ocorreram inundações a montante foram observados valores relativamente menores da largura proximal do pontal.

A falésia (elevação) do Morro dos Conventos, está localizada ao sul do pontal arenoso e é um exemplo de afloramento rochoso que apresenta a intercalação de arenitos e folhelhos da formação Rio do Rastro, Bacia do Paraná (Diehl e Horn Filho, 1996; Horn Filho et al., 2020). O embasamento rochoso ao sul do pontal (Morro dos Conventos) opera como uma barreira para o acúmulo e suprimento de sedimentos eólicos, e possivelmente influencie o desenvolvimento do pontal arenoso do rio Araranguá. Essa falésia se comporta como uma barreira fisiográfica para os sedimentos eólicos, formando assim um largo campo de dunas adjacente a essa elevação.

A porção distal do pontal apresenta grande variabilidade morfológica entre 1984-2021. Conforme se alonga para em direção a NE essa feição diminui sua largura se tornando uma barreira estreita (Figura 10).



Figura 10. Porção proximal, com a presença de dunas e vegetação e a porção distal, com visão para a estuário e retrobarreira.

Em um trabalho no pontal arenoso de Arçay na costa oeste francesa Allard et al. (2008) concluíram que em escalas de tempo interanuais, o pontal arenoso apresentou

variabilidade de ganho de área, que são resultantes das variações no transporte litorâneo, principalmente pela altura das ondas que chegam na linha de costa. Essas variações do clima das ondas são o principal fator que controlam a evolução morfológicas do pontal. Essa tendência de acreção deposicional na área do pontal arenoso de Arçay também foi observado através da análise morfológica na área do estuário do rio Araranguá. Durante os anos com ocorrências de eventos de inundação na sua bacia hidrográfica, as cheias ocasionaram a erosão da área do pontal, tanto pela ação da descarga fluvial na hidrodinâmica do rio, quanto das intervenções humanas. Enquanto, em períodos em que a deriva litorânea foi o processo morfodinâmico mais importante nesse sistema, o transporte sedimentar acarretou na deposição e conseqüente acréscimo de área do pontal arenoso.

O transporte eólico de sedimentos arenosos desempenha função construtiva na evolução morfológica do pontal arenoso do rio Araranguá. Tribe e Kennedy (2010) ressaltam que eventos meteorológicos de tempestades, como os ciclones causaram erosão da área do Pontal Farewell, na Ilha Sul da Nova Zelândia, mas isso é contrabalançado por meio da deposição ocasionada através do transporte eólico de sedimentos. A influência desse processo foi observada na área de estudo, por meio do assoreamento no ano posterior a abertura dos canais pela interferência humana nos anos de 1988 e 2009 e em 2002 dos leques de sobrelavagem, gerados por transporte de overwash. Através da observação da imagem de satélite é possível verificar que o sedimento depositado nesses locais são areias secas, devido a sua coloração, aspecto e comportamento espectral. Portanto, acredita-se com base na observação dos indicadores geomorfológicos, que os ventos também influenciam na morfodinâmica desse ambiente, dado que a composição sedimentológica do pontal arenoso do Rio Araranguá é de areias finas e muito finas (Klein et al., 2016).

Massuanganhe e Arnberg (2008) analisaram a evolução do pontal Pomene no Sul de Moçambique através classificação automática de imagens de satélite Landsat TM/ETM+. Concluíram que embora tenham uma resolução espacial baixa, essas imagens espectrais são essenciais para monitorar as rápidas mudanças que ocorrem na geomorfologia dos pontais. Já que, os resultados identificaram o sentido do crescimento do pontal e sua morfologia que está se estreitando, o que poderá ocasionar o rompimento do pontal. Essa tendência também foi observada na área de estudo, em virtude do crescimento do pontal arenoso do rio Araranguá ocorrer em direção NE e sua forma apresentar padrão de estreitamento e conseqüente rompimento para abertura de novos canais de maré.

No litoral de Santa Catarina durante a estação de inverno as ondas oceânicas tem características mais energéticas (Araújo et al, 2003). De acordo com Allard et al. (2008) ondas energéticas podem causar um grande acúmulo de areia e o alongamento dos pontais, enquanto as ondas com menor energia são responsáveis pelo pequeno acúmulo de areia e pela curvatura dos pontais. Foi observado que a morfologia do pontal arenoso do rio Araranguá não apresenta curvaturas, o que demonstra que as ondas oriundas do quadrante sul com elevada energia e que possuem períodos mais longos e são responsáveis por um maior volume de sedimentos transportados em regiões rasas da plataforma continental exercem influência maior na evolução morfológica do pontal arenoso (Oliveira et al., 2019).

O relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas-IPCC (2021) destaca que o risco relacionado a elevação do nível do mar e suas implicações para as áreas costeiras globais inclui o aumento significativo da erosão, inundações e a salinização das zonas costeiras de baixa altitude até o final do século XXI. Os eventos extremos de elevação do nível do mar se tornaram mais comuns até 2100, em todas os cenários apresentados no relatório, o que ocasionará severas inundações costeiras em escalas interanuais cada vez menores.

Nesse contexto global, o pontal arenoso do rio Araranguá que sofre impacto de eventos erosivos, ocasionados principalmente pelas inundações costeiras em um intervalo de 2 a 4 anos, está propenso ao aumento da ocorrência de leques de sobrelavagem, abertura de novos canais de maré ou total lavagem de parte da sua área. Rodrigues et al., (2018) consideram que à medida que o barreira costeira se estreita e diminui em altitude, torna-se mais vulneráveis as inundações durante as tempestades costeiras. Portanto, é possível que o aumento na taxa da elevação do nível do mar previstas nas próximas décadas e séculos pelo IPCC (2021), conjuntamente ao aumento das marés e ondas de tempestades poderá acarretar em um acréscimo na lavagem costeira e formação de leques de sobrelavagem sobre o pontal arenoso do rio Araranguá, e consequente inundação costeira e prejuízos socioeconômicos para as comunidades litorâneas.

## **Conclusão**

Através do uso de imagens de sensoriamento remoto orbital foi possível representar e caracterizar adequadamente a evolução morfológica do pontal arenoso do rio Araranguá, entre 1984 e 2021.

1. Foi possível identificar os principais fatores que influenciam a morfodinâmica desse ambiente deposicional. Relacionados principalmente as condições meteorológicas e oceanográficas, tais como os eventos de lavagem e sobrelavagem costeira, a inundação da planície na bacia hidrográfica do rio Araranguá e as intervenções humanas (aberturas) no pontal arenoso decorrentes dos episódios de inundação no continente.

2. O pontal arenoso é um indicador geomorfológico do sentido do transporte de sedimentos lateralmente nesse setor do litoral de Santa Catarina. A predominância da deriva litorânea em direção a nordeste é o principal fator que contribui para acreção, ou seja, para a evolução e alongamento do pontal.

3. A erosão na área e comprimento do pontal arenoso está relacionada a elevação do nível do mar e as aberturas de canais de escoamento antrópicos.

4. O setor distal está mais suscetível aos eventos naturais que controlam a morfologia do pontal, enquanto o setor proximal está mais vulnerável as intervenções humanas.

5. O pontal arenoso tem característica deposicional de acreção tanto na sua área quanto no seu comprimento, que são interrompidos por eventos erosivos em um intervalo de 3 a 4 anos.

6. A identificação de ambientes deposicionais costeiros utilizando dados de sensoriamento remoto é uma importante fonte de informação para estudos de caracterização e quantificação das mudanças ambientais globais nas zonas costeiras. A interpretação visual de imagens de satélite possibilita a repetição dessa análise em outras áreas costeiras ou na mesma área tanto para fins de comparação multitemporal, com a utilização de imagens de mesma ou maior resolução espectral.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), ao Programa de Pós-graduação em Geociências (PPGGEO), ao Instituto de Geociências (IGEO) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro.

## Referências

- Alcántara-Carrió, J., Dinkel, T.M., Portz, L., Mahiques, M.M., 2018. Two new conceptual models for the formation and degradation of baymouth spits by longshore drift and fluvial discharge (Iguape, SE Brazil). *Earth Surface Processes and Landforms*, 43(3), 695-709. DOI: <https://doi.org/10.1002/esp.4279>.
- Allard, J., Bertin, X., Chaumillon, E., Pouget, F. 2008. Sand spit rhythmic development: A potential record of wave climate variations? Arçay Spit, western coast of France. *Marine Geology*, 253(3-4), 107-131. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2008.05.009>.
- Alesheikh, A.A., Ghorbanali, A., Nouri, N., 2007. Coastline change detection using remote sensing. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 4(1), 61-66. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF03325962>.
- Allard, J., Bertin, X., Chaumillon, E., Pouget, F. 2008. Sand spit rhythmic development: A potential record of wave climate variations? Arçay Spit, western coast of France. *Marine Geology*, 253(3-4), 107-131. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2008.05.009>.
- Anh, N.Q.D., Tanaka, H., Tinh, N.X., Viet, N.T., 2020. Sand spit morphological evolution at tidal inlets by using satellite images analysis: Two case studies in Vietnam. *J. Sci. Technol. Civ. Eng. (STCE) NUCE*, 14, 17-27. DOI: [https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14\(2\)-02](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14(2)-02)
- Araújo, C.E., Franco, D., Melo, E., Pimenta, F. 2003. Wave regime characteristics of the southern Brazilian coast. *In: Proceedings of the sixth international conference on coastal and port engineering in developing countries, COPEDEC VI, Colombo, Sri Lanka, Paper (No. 097, p. 15).*
- Avinash, K., Deepika, B., Jayappa, K.S., 2013. Evolution of spit morphology: a case study using a remote sensing and statistical based approach. *Journal of coastal conservation*, 17(3), 327-337. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11852-013-0259-y>.
- Barreto, G.A.M., Schettini, C.A.F., 2010. Papel da Maré e da Descarga Fluvial na Circulação do Estuário do Rio Araranguá. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 19(3), 7-17. DOI: 10.21168/rbrh.v19n3.p7-17.

- Couceiro, M.A.A., Schettini, C.A.F., Siegle, E., 2021. Modeling an arrested salt-wedge estuary subjected to variable river flow. *Regional Studies in Marine Science*, 47, 101993. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101993>.
- Couceiro, M.A.A., Schettini, C.A.F., 2010. Estudo da dinâmica dos sedimentos em suspensão do estuário do rio Araranguá (SC): possíveis efeitos da drenagem ácida da atividade de mineração de carvão. *Geociências (São Paulo)*, 29(2), 251-266.
- Cristiano, S.C., Portz, L.C., Lin, S.L., Ceza, J., Barboza, E.G., 2019. Gestión Costera Desintegrada - propuesta para un cambio de paradigma en el municipio de Araranguá (Santa Catarina, Brasil). En (Ed.). p. 257-201.
- D'Aquino, C.D.A., Pereira Filho, J., Schettini, C. A. F., 2010. Fluvial modulation of hydrodynamics and salt transport in a highly stratified estuary. *Brazilian Journal of Oceanography*, 58, 165-175. DOI: 10.1590/S1679-87592010000200007.
- Debortoli, N.S., Sung, C.L., Hirota, M.A.R.I.N.A., 2020. Assessing farmers' vulnerability to extreme weather events in the Araranguá river watershed-southern Brazil. *Vulnerability Studies in the Americas: Extrem Wea Clim Chang*, 125.
- Escudero, M., Silva, R., Hesp, P.A., Mendoza, E., 2019. Morphological evolution of the sandspit at Tortugeros Beach, Mexico. *Marine Geology*, 407, 16-31. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2018.10.002>.
- Florenzano, T.G., 2013, Iniciação em sensoriamento remoto. 3a edição. São Paulo, Editora Oficina de Textos, 128p.
- Hoan, L.X., Hanson, H., Larson, M., Kato, S., 2011. A mathematical model of spit growth and barrier elongation: Application to Fire Island Inlet (USA) and Badreveln Spit (Sweden). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 93(4), 468-477. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2011.05.033>.
- Horn Filho, N.O., Felix, A., Camargo, J.M., 2020. Atlas geológico da planície costeira do estado de Santa Catarina em base ao estudo dos depósitos quaternários (AGPCSC). Florianópolis, Edições do Bosque, 331p.

- Horn Filho, N.O., Schmidt, A.D., Abreu, J.G.N., Estevam, C.N., Araujo, R.S., 2018. Santa Catarina. In: Muehe, D. (Org). Panorama da erosão costeira no Brasil. Brasília, MMA, p. 641-688.
- IPCC. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L.Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R.Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- Jensen, J.R., Epiphany, J.C.N., 2009. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos, Parêntese Editora, 598p.
- Klein, A.H.D.F., Short, A.D., Bonetti, J. 2016. Santa Catarina beach systems. Brazilian beach systems, 465-506. DOI: 10.1007/978-3-319-30394-9\_17.
- Kumar, A., Narayana, A.C., Jayappa, K. S., 2010. Shoreline changes and morphology of spits along southern Karnataka, west coast of India: A remote sensing and statistics-based approach. *Geomorphology*, 120(3-4), 133-152. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.02.023>.
- Leal, R.A., Barboza, E.G. 2017. Caracterização geológica, geomorfológica e evolutiva holocênica do litoral sul de Jaguaruna, SC, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 44(3): 417-430. DOI: <https://doi.org/10.22456/1807-9806.83265>.
- Lee, J.K., Acharya, T.D., Lee, D.H., 2018. Exploring land cover classification accuracy of Landsat 8 image using spectral index layer stacking in hilly region of South Korea. *Sensors and Materials*, 30(12), 2927-2941. DOI: <https://doi.org/10.18494/SAM.2018.1934>.
- Loitzenbauer, E., Mendes, C.A.B., 2016. Integração da gestão de recursos hídricos e da zona costeira em Santa Catarina: a zona de influência costeira nas bacias dos rios Mampituba, Araranguá, Tubarão e Tijucas, SC. *RBRH*, 21, 466-477. DOI: <https://doi.org/10.21168/rbrh.v21n2.p466-477>.

- Lopes, D.N., Duarte, C.R., Silva, M.T., Grigio, A.M., Freires, E.V., Santos, L.S.A., 2021. Evolução da linha de costa no município de São Gonçalo do Amarante-CE no período de 1984 a 2020. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(05), 3067-3077. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.5.p3067-3077>.
- Mahanty, M.M., Mohanty, P.K., Pradhan, S., Samal, R.N., Ranga Rao, V., 2019. Spit and inlet morphodynamics of a tropical coastal lagoon. *Marine Geodesy*, 42(2), 130-165. DOI: <https://doi.org/10.1080/01490419.2018.1527798>.
- Massuanganhe, E.A., Arnberg, W. 2008. Monitoring spit development in Pomene, southern Mozambique, using Landsat data. *WIT Transactions on The Built Environment*, 100, 119-127. DOI: 10.2495/GEO080121.
- Muehe, D. 2018. *Panorama da erosão costeira no Brasil*. Brasília, MMA, 759p.
- Nascimento, R.C.M., Costa, C.R., Magarotto, M.G., Silva-Cavalcanti, J.S., Costa, M.F., 2020. Qualidade da água de três estuários tropicais expostos a diferentes níveis de urbanização. *Journal of Integrated Coastal Zone Management/Revista de Gestão Costeira Integrada* 20(3), 169-178. DOI:10.5894/rgci-n284.
- Nass, D., Vieira, C.V., 2017. Evolução morfológica do esporão arenoso na foz do rio Itapocú, município de Barra Velha/SC. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10(03), 674-689. DOI: <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20170044>.
- Oliveira, B.A., Sobral, F., Fetter, A., Mendez, F.J., 2019. A high-resolution wave hindcast off Santa Catarina (Brazil) for identifying wave climate variability. *Regional Studies in Marine Science*, 32, 100834. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2019.100834>.
- Pradhan, U., Mishra, P., Mohanty, P.K., Behera, B., 2015. Formation, growth and variability of sand spit at Rushikulya river mouth, south Odisha coast, India. *Procedia Engineering*, 116, 963-970. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.387>.
- Qi, Y., Yu, Q., Gao, S., Li, Z., Fang, X., Guo, Y. 2021. Morphological evolution of river mouth spits: Wave effects and self-organization patterns. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 262, 107567. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2021.107567>.
- Rodriguez, A.B., Yu, W., Theuerkauf, E.J., 2018. Abrupt increase in washover deposition along a transgressive barrier island during the late nineteenth century acceleration in

sea-level rise. *In: Barrier dynamics and response to changing climate*. Springer, Cham, p. 121-145. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-68086-6\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-68086-6_4).

Rodríguez-Santalla, I., Gomez-Ortiz, D., Martín-Crespo, T., Sánchez-García, M.J., Montoya-Montes, I., Martín-Velázquez, S., Barrio, F., Serra, J., Ramírez-Cuesta, J.M., Gracia, F.J., 2021. Study and Evolution of the Dune Field of La Banya Spit in Ebro Delta (Spain) Using LiDAR Data and GPR. *Remote Sensing*, 13(4), 802. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs13040802>.

Rudorff, F.M., Bonetti Filho, J., Moreno, D.A., Oliveira., C.A.F., Murara, P.G. 2014. 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*, p. 151-154.

Saengsupavanich, C., 2021. Morphological Evolution of Sand Spits in Thailand. *Marine Geodesy*, 1-22. DOI: <https://doi.org/10.1080/01490419.2021.1893873>.

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

Siegle, E., Asp, N.E., 2007. Wave refraction and longshore transport patterns along the southern Santa Catarina coast. *Brazilian Journal of Oceanography*, 55, 109-120. DOI: 10.1590/S1679-87592007000200004.

Silva Neto, C.Â., Duarte, C.R., Souto, M.V.S., Freires, E.V., Sousa, W.R.N., Silva, M.T., 2020. Caracterização dos setores erosivos e deposicionais da linha de costa de Icapuí (CE) com base em produtos de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(01), 143-155. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.1.p143-155>.

Silvestrini, T.A., D' Aquino, C.A., 2020. Dinâmica dos parâmetros oceanográficos em um estuário impactado por atividades de mineração de carvão. *Pesquisas em Geociências*, 47(3), 103404. DOI: <https://doi.org/10.22456/1807-9806.109992>.

- Thomas, C.W., Murray, A.B., Ashton, A.D., Hurst, M.D., Barkwith, A.K., Ellis, M.A. 2016. Complex coastlines responding to climate change: do shoreline shapes reflect present forcing or “remember” the distant past?. *Earth Surface Dynamics*, 4(4), 871-884. DOI: <https://doi.org/10.5194/esurf-4-871-2016>.
- Tribe, H.M., Kennedy, D.M., 2010. The geomorphology and evolution of a large barrier spit: Farewell Spit, New Zealand. *Earth Surface Processes and Landforms*, 35(15), 1751-1762. DOI: <https://doi.org/10.1002/esp.2009>.
- Valle-Levinson, A., Schettini, C.A., Truccolo, E.C., 2019. Subtidal variability of exchange flows produced by river pulses, wind stress and fortnightly tides in a subtropical stratified estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 221, 72-82. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.03.022>.
- Vieira, J.S.S., Reis, L.H.R., Silva, O.G., 2020. Análise morfodinâmica de ambientes costeiro e estuarino do município de Goiana, Litoral norte do estado de Pernambuco. *Cerrados*, 18(1), 83-106. DOI: <https://doi.org/10.22238/rc244826922020180183106>.
- Yasir, M., Sheng, H., Fan, H., Nazir, S., Niang, A. J., Salauddin, M., Khan, S., 2020. Automatic coastline extraction and changes analysis using remote sensing and GIS technology. *IEEE Access*, 8, 180156-180170. DOI:10.1109/ACCESS.2020.3027881.
- Zasso, L. A., Barboza, E. G., & Gruber, N. L. S. (2013). Alterações na deriva litorânea e no balanço sedimentar nas adjacências dos molhes do rio Mampituba/RS-SC. *Gravel*, 11, 1-17.

## **CAPÍTULO III**

## 7. Considerações Finais

Este trabalho analisou uma série multitemporal de 37 anos de dados de sensoriamento remoto orbital, com a finalidade de caracterizar a evolução morfológica do pontal arenoso do rio Araranguá em Santa Catarina. Através do uso de imagens de sensoriamento remoto orbital foi possível representar e caracterizar adequadamente a evolução morfológica dessa feição deposicional costeira.

Foi possível identificar os principais fatores que influenciam a morfodinâmica do pontal arenoso. Relacionados principalmente as condições meteorológicas e oceanográficas, tais como os eventos de lavagem e sobrelavagem, a inundação da planície na bacia hidrográfica do rio Araranguá e as intervenções humanas na área do pontal arenoso.

O pontal arenoso é um indicador geológico e geomorfológico do sentido do transporte de sedimentos lateralmente no setor sul do litoral de Santa Catarina. A predominância da deriva litorânea em direção a nordeste é o principal fator que contribui para acreção, ou seja, para a evolução e alongamento do pontal. Enquanto, a lavagem e a inundação costeira, associadas as intervenções humanas e inundações da planície do rio Araranguá são responsáveis pela erosão na área e comprimento do pontal arenoso.

A identificação de ambientes deposicionais costeiros utilizando dados de sensoriamento remoto é uma importante fonte de informação para estudos de caracterização e quantificação das mudanças ambientais globais nas zonas costeiras. A interpretação visual de imagens de satélite possibilita a repetição dessa análise em outras áreas costeiras ou na mesma área tanto para fins de comparação multitemporal, com a utilização de imagens de mesma ou maior resolução espectral.

O pontal arenoso do rio Araranguá que sofre impacto de eventos erosivos, ocasionados principalmente pelas inundações costeiras em um intervalo de 2 a 4 anos, está propenso ao aumento da ocorrência de leques de sobrelavagem, abertura de novos canais de maré ou total lavagem de parte da sua área.

É possível que o aumento na taxa da elevação do nível do mar previstas nas próximas décadas e séculos pelo IPCC (2021), conjuntamente ao aumento das marés e ondas de tempestades poderá acarretar em um acréscimo na lavagem costeira e formação de leques de sobrelavagem sobre o pontal arenoso do rio Araranguá, e consequente inundação costeira e prejuízos socioeconômicos para as comunidades litorâneas.

Em outro cenário, a fixação da foz do rio Araranguá possivelmente ocasionará o acúmulo de sedimentos arenosos a sul. O pontal arenoso nesse contexto será totalmente erodido, assim sua função de proteção da zona costeira contra os eventos de sobrelavagem e inundação costeira vão deixar de existir. O que poderá gerar uma maior vulnerabilidade da zona costeira, em um cenário de mudanças ambientais, aos eventos de elevação do nível médio do oceano.

<b>ANEXO I</b>
Título da Dissertação/Tese:
<b>CARACTERIZAÇÃO DA EVOLUÇÃO MORFOLÓGICA DO PONTAL ARENOSO NO ESTUÁRIO DO RIO ARARANGUÁ A PARTIR DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL</b>
Área de Concentração: Geologia Marinha
Autor: <b>Edvan Casagrande Dos Santos</b>
Orientador: Prof. Dr. Jair Weschenfelder
Examinador: Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig
Data: 17/01/2022
Conceito: B
<b>PARECER:</b>
<p>A pesquisa de dissertação discute a aplicabilidade de imagens orbitais na investigação morfológica que é relevante, pois precisamos cada vez mais fazer uso de dados de sensoriamento remoto em estudos que tem como objetivo analisar dinâmicas espaciais.</p> <p>A preocupação é com relação ao rigor cartográfico e o erro de precisão tanto em área como na dimensão linear quando se está trabalhando com um pixel de 30 metros de resolução espacial. Um pixel representa uma área de 900 m<sup>2</sup> e é mencionado no texto uma área de acréscimo de 670 m<sup>2</sup> pouco mais de meio pixel. A sugestão é que seja definida uma escala de trabalho que represente os mapas temáticos mensuráveis e a partir desta definição um erro gráfico aceitável. A literatura descreve que com imagens de 30 metros de resolução espacial podemos trabalhar com escala 1/70000 em se tratando de mapeamento temático mensurável, assim um erro aceitável de 35 metros.</p> <p>No texto: "As águas do rio Araranguá recebem aporte de drenagem ácida com baixo pH de seus afluentes, decorrente da mineração e processamento de carvão a montante, o que ocasiona uma aceleração da decantação dos sedimentos transportados em suspensão pelo canal (Barreto e Schettini, 2014; Silvestrini e D'Aquino, 2020)."</p> <p>O aporte da drenagem ácida ocorre apenas na UG Rio Mãe Luzia. Sugiro que mencione que a bacia hidrográfica do Rio Araranguá é formada por 4 unidades de gestão do Rio Mãe Luzia, Rio Araranguá, Rio Itoupava e Manoel Alves. Ver dissertação: COBERTURA E USO DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARARANGUÁ, SANTA CATARINA, BRASIL - JOSÉ GUSTAVO SANTOS DA SILVA/PPGCA/UNESC – 2021.</p> <p>No texto: "Massuanganhe e Arnberg (2008) analisaram a evolução do pontal Pomene no Sul de Moçambique através classificação automática de imagens de satélite Landsat TM/ETM+. Concluíram que embora tenham uma resolução espacial baixa, essas imagens espectrais são essenciais para monitorar as rápidas mudanças que ocorrem na geomorfologia dos pontais. "</p> <p>Sugiro que para justificar o uso das imagens orbitais na mensuração com resolução</p>

especial de 30 metros busque mais trabalhos publicados que sejam mais recentes e que possam dar maior consistência na sua argumentação. Considero a dissertação aprovada os apontamentos podem melhorar a sua redação e tornar os resultados mais consistentes.

Os apontamentos são todos discutíveis entre orientador e orientando, coloco-me a disposição para eventuais dúvidas ou esclarecimentos.

Assinatura:



Data: 17/01/2022

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

**ANEXO I**

Título da Dissertação/Tese:

**CARACTERIZAÇÃO DA EVOLUÇÃO MORFOLÓGICA DO PONTAL ARENOSO  
NO ESTUÁRIO DO RIO ARARANGUÁ A PARTIR DE DADOS DE  
SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL**

Área de Concentração: Geologia Marinha

Autor: **Edvan Casagrande Dos Santos**

Orientador: Prof. Dr. Jair Weschenfelder

Examinador: Prof. Dr. Iran Carlos Stalliviere Corrêa

Data: 08 de janeiro de 2022

Conceito: A (Excelente)

**PARECER:**

O trabalho encontra-se bem apresentado e elaborado. O proponente mostra desenvoltura e conhecimento do assunto abordado.

O estudo da evolução morfológica de um pontal é de fundamental importância para se conhecer a evolução do mesmo, tanto na parte construtiva como na parte erosional.

O artigo apresentado apresenta-se bem elaborado apenas se sugere que as figuras fossem ampliadas para uma melhor compreensão da legenda e das linhas de evolução do pontal.

Pequenas correções foram efetuadas diretamente sobre o texto, para que o autor, se as achar conveniente, as faça.

A bibliografia consultada é condizente e atual ao assunto abordado.

Sou de Parecer Favorável a aprovação da Dissertação de Mestrado com conceito "A" (Excelente).



Assinatura:

Data: 08/01/2022

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno:

<b>ANEXO I</b>
Título da Dissertação/Tese:
<b>CARACTERIZAÇÃO DA EVOLUÇÃO MORFOLÓGICA DO PONTAL ARENOSO NO ESTUÁRIO DO RIO ARARANGUÁ A PARTIR DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL</b>
Área de Concentração: Geologia Marinha
Autor: <b>Edvan Casagrande Dos Santos</b>
Orientador: Prof. Dr. Jair Weschenfelder
Examinadora: Profa. Dra. Carla de Abreu D'Aquino
Data: 31/01/2022
Conceito: BOM
<b>PARECER:</b>
<p>A dissertação de mestrado apresenta coerência entre o título, o objetivo geral, a metodologia e os resultados obtidos, representando um trabalho de grande relevância e contribuindo cientificamente para o conhecimento da região de estudo e a aplicação da metodologia empregada.</p> <p>A dissertação se encontra muito bem escrita, e foi fácil leitura e atende os critérios de um trabalho acadêmico de pós-graduação.</p> <p>Deixo em meu parecer apenas uma que considero construtiva e pode contribuir durante a fase de revisão do artigo submetido. E depois pequenas observações gerais sobre o texto da dissertação.</p> <p>Quanto ao capítulo 2: Faltou durante a análise de dados buscar os dados de vazão histórica do rio Araranguá e identificar anos, períodos ou eventos de vazões extremas e verificar se haveriam correlações com os períodos de erosão do pontal ou de menos acreção anual. Essa análise irá complementar e sustentar as afirmações já realizadas ao longo do texto do capítulo, a exemplo na página 65 "<i>Durante os anos com ocorrências de eventos de inundação na sua bacia hidrográfica, as cheias ocasionaram a erosão da área do pontal, tanto pela ação da descarga fluvial na hidrodinâmica do rio...</i>". Da mesma forma, essa afirmação poderia ser então incluída na conclusão 3.</p> <p>Quanto a dissertação: A final da introdução deveria ter sido mencionado o objetivo do trabalho, ou pelo menos uma menção do que foi realizado na dissertação. Na pagina 14, terceiro parágrafo, está escrito, "<i>ambientes costeiras</i>", corrigir para ambientes costeiros. Página 30, o tópico de estado da arte apresenta apenas um tema, não havendo</p>

necessidade de subitem.

Assinatura:

Data:

Ciente do Orientador:

Ciente do Aluno: