



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

José Mauricio de Camargo

Litoral do estado de Santa Catarina, Brasil: Promontórios rochosos, comportamento da linha de costa e processo de transposição sedimentar.

Florianópolis  
2020

José Mauricio de Camargo

Litoral do estado de Santa Catarina, Brasil: Promontórios rochosos, comportamento da linha de costa e processo de transposição sedimentar.

Tese submetida ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Doutor em Geografia.

Orientador: Prof. Antonio Henrique da Fontoura Klein, Dr.

Florianópolis

2020

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

de Camargo, José Mauricio  
Litoral do estado de Santa Catarina, Brasil:  
Promontórios rochosos, comportamento da linha de costa e  
processo de transposição sedimentar. / José Mauricio de  
Camargo ; orientador, Antonio Henrique da Fontoura Klein,  
2020.  
152 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa  
de Pós-Graduação em Geografia, Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Geografia. 2. Geomorfologia costeira. 3. Pontais  
arenosos. 4. Oceanografia costeira. 5. Processos  
costeiros. I. Klein, Antonio Henrique da Fontoura . II.  
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós  
Graduação em Geografia. III. Título.

José Mauricio de Camargo

Litoral do estado de Santa Catarina, Brasil: Promontórios rochosos, comportamento da linha de costa e processo de transposição sedimentar.

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

Janete Josina de Abreu, Dra.

Universidade Federal de Santa Catarina

Guilherme Vieira da Silva, Dr.

Griffith Centre for Coastal Management, Griffith University, Gold Coast, QLD, Australia

Elírio Ernestino Toldo Junior, Dr.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

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

---

Prof. Clécio Azevedo da Silva, Dr.

Coordenador do Programa de Pós-graduação em Geografia

---

Prof. Antonio Henrique da Fontoura Klein, Dr.

Orientador

Florianópolis, 2020.

Este trabalho é dedicado a você.

## AGRADECIMENTOS

Ao Professor Domingos de Camargo, Pai, que sempre me incentivou a buscar a ciência, a técnica, a reflexão crítica e a justiça social. A Professora Inêz Machado Camargo, Mãe, que desde sempre mostrou o poder da representação gráfica, de que uma imagem vale mais que mil palavras e que um mapa vale mais que mil imagens. A Professora Sandra Maria de Camargo, irmã, que sempre mostrou a importância da força de vontade e determinação para se alcançar os objetivos. A Professora Mara Regina Camargo, irmã, que sempre incentivou a buscar o debate com o contraditório de forma harmoniosa e sem rancor. A Manuela Camargo de Andrade, sobrinha, e Luís Otávio Camargo de Andrade, sobrinho, que renovaram a energia familiar e demonstraram que a vida segue em frente. Aos cunhados Paulo Andrade e Marcos Vinicius pela amizade e companherismo.

A Universidade Federal de Santa Catarina que me acolheu por duas vezes: graduação em Geografia (2004-2010) e doutorado em Geografia (2014-2020).

Ao Professor Antonio Henrique da Fontoura Klein, orientador, pelos ensinamentos e pelas oportunidades de desenvolvimento pessoal, acadêmico e profissional.

A banca examinadora: professora Janete Josina de Abreu por todo apoio e atenção desde a graduação, ao professor Elírio Ernestino Toldo Júnior por todas as contribuições e pela presença também na qualificação e ao pesquisador Guilherme Vieira da Silva pelo suporte e atenção no decorrer do período de pesquisa.

A Professora Marinez Eymael Garcia Scherer por sempre me mandar “para fora da caixa” na trajetória profissional e acadêmica.

Ao Professor Jarbas Bonetti e a Professora Carla Bonetti, pelos aprendizados e conselhos durante a pesquisa.

Ao Professor Pedro de Souza Pereira por me atualizar das novas tecnologias nos estudos sobre praias.

Ao professor Norberto Olmiro Horn Filho por toda atenção e incentivo na trajetória acadêmica.

Aos companheiros e companheiras de Laboratório de Oceanografia Costeira, LOC-UFSC, que me receberam de braços abertos: Charline, Franco, Maiara, Arthur OhZ, Diego, Rafael, Mario, Raphael, Paula, Danae, Yasmin, Arnaldo, Matheus Venturoli, Mateus Martins, Wagner, Ana Paula, Bruna, Arhtur Machado, Pi, Inaie, Wilson, Ricardo e em especial a Faynna pelo companheirismo.

A todos os professores e professoras do curso de Graduação e do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Catarina que sempre foram solícitos durante a minha formação acadêmica.

As técnicas Helena e Renata do Programa de Pós-Graduação em Geografia que sempre prestaram total suporte no decorrer do curso de doutorado.

Ao Professor Clécio Azevedo da Silva e a Professora Rosemy Nascimento pela compreensão dos desafios existentes na jornada acadêmica.

Aos amigos do Programa de Pós-graduação em Geografia: Alexandre Felix, Francisco V. Lima, Fabrício Almeida, João Victor Ramos, Tiago Gandra, Sereno, Jasiel Neves, Érico P. Filho, André Lima e todos e todas que estiveram lado a lado na jornada do doutoramento.

Ao Professor Andrew D. Short que me demonstrou que as praias são “organismos vivos” e ao Professor Colin Woodroffe pelo suporte durante o PDSE.

A todos os colegas do Laboratório de Gestão Costeira Integrada (LAGECI-UFSC) e dos cursos de graduação em Oceanografia e Geologia da UFSC.

Ao Programa de Formação de Recursos Humanos da Petrobrás (PFRH-240) e ao CNPq pelo aporte financeiro durante o curso de doutorado e a CAPES pelo financiamento do PDSE.

Aos colegas de profissão da APROGEO-SC e da ACG por lutarem pelos direitos e deveres do profissional Geógrafo para com a sociedade, em especial os Geógrafos Arhur Wippel de Carvalho e Felipe Pillegi.

A todos colegas da Secretaria de Defesa Civil do Estado de Santa Catarina.

Aos amigos dos Engenheiros Sem Fronteiras – Núcleo Florianópolis pelos aprendizados e discussões construtivas.

Aos professores e servidores do curso Técnico em Agrimensura do Instituto Federal de Santa Catarina pelos conhecimentos práticos transmitidos e que foram cruciais durante o doutorado.

A turma da “Colina” pelas duas chamadas. A turma do “Cubo69” pela amizade de longa data. Aos “Geobrothers” pela amizade geográfica. A todos os “Mandíbulas” de Bertioga/SP que desde a infância posso contar com total apoio. A turma debochada do grupo “SWU” por proporcionarem momentos de lazer e descontração da rotina diária.

A musa do verão que me mostrou os benefícios da companhia e da dedicação para com quem a temos afeto, amor e respeito.

E a todas as pessoas e instituições que de alguma forma estão e estiveram comigo no dia-a-dia e participaram do desenvolvimento desta tese.

“PAZ EM MEIO AO CAOS”  
RZO, 2017.

## RESUMO

O presente trabalho apresenta a análise da linha de costa do estado de Santa Catarina a partir da identificação e classificação dos promontórios rochosos, do comportamento da linha de costa em larga escala e do processo de transposição sedimentar juntamente com o monitoramento dos pontais arenosos situados na praia de Ponta das Canas, Florianópolis/SC, e na praia do Forte e praia da Enseada, São Francisco do Sul/SC. Foram utilizadas fotografias aéreas (1938, 1957, 1978, 1994, 2005, 2006 e 2010) e imagens de satélite (2003, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016 e 2017), estruturadas em um Sistema de Informações Geográficas, para o mapeamento das feições, como também o monitoramento topográfico mensal dos pontais arenosos (junho de 2016 a agosto de 2017). Como resultados, foram identificados e classificados, a partir de características morfológicas e influências na circulação e transposição sedimentar, 107 promontórios rochosos em três classes: A) Pequenos; B) Médios; e C) Grandes. A linha de costa foi segmentada em cinco setores, de acordo com suas características geomorfológicas, classificadas em duas diferentes topologias (praias arenosas e costões rochosos), e no período de 36 anos (1978 a 2014) sua taxa de deslocamento apresentou característica média de estabilidade. Embora a estabilidade seja dominante em todo o período, o comportamento da linha de costa é variável entre os setores e dentro de cada um deles. Nos setores que possuem maior intervenção antrópica (1, 2, 3 e 4), a retração é mais representativa e no setor 5 ocorre progradação e a presença de uma feição sedimentar denominada *travelling foreland* migrando no sentido da deriva litorânea (sul – norte). Em relação aos pontais arenosos, notou-se que os mesmos são regidos por um processo cíclico de deposição e erosão, acompanhado pela formação e remoção de laguna sazonal interna. Em ambos os pontais, mesmo que sob distintas condições e escalas, os processos sedimentares são similares, apresentando uma ciclicidade topográfica e morfológica. Assim, conclui-se que a linha de costa do estado de Santa Catarina possui diferentes comportamentos de deslocamento condicionados pelas características morfológicas, que também possibilita a ocorrência do processo de transposição sedimentar.

**Palavras-chave:** Pontais arenosos, *Sediment bypass*, *Travelling Forelands*

## ABSTRACT

The present work analyzes the coastline of the state of Santa Catarina from the identification and classification of headlands, the behavior of the coastline on a large scale and the headland bypass together with the monitoring of sandy spits located on the Ponta das Canas beach, Florianópolis/SC SC, and Praia do Forte and Enseada Beaches, São Francisco do Sul / SC. Aerial photographs (1938, 1957, 1978, 1994, 2005, 2006 and 2010) and satellite images (2003, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016 and 2017) were used, structured in a Geographic Information, for the mapping of features, as well as the monthly topographic monitoring of sandy spits (June 2016 to August 2017). As a result, 107 headlands in three classes were identified and classified, based on morphological characteristics and influences on sedimentary circulation and transposition: A) Small; B) Medium; and C) Large. The coastline was segmented into five sectors, according to its geomorphological characteristics, classified in two different topologies (sandy beaches and rocky shores), and in the 36-year period (1978 to 2014) its displacement rate showed an average stability characteristic. Although stability is dominant throughout the period, the behavior of the coastline varies between sectors and within each sector. In the sectors with the greatest anthropic intervention (1, 2, 3 and 4), the retraction is more representative and in sector 5 there is progradation and the presence of a sedimentary feature called traveling foreland migrating in the direction of the coastal drift (south - north). In relation to sandy spits, it was noted that they are governed by a cyclical process of deposition and erosion, accompanied by the formation and removal of an internal seasonal lagoon. At both ends, even under different conditions and scales, the sedimentary processes are similar, presenting topographic and morphological cyclicity. Thus, it is concluded that the coast line of the state of Santa Catarina has different displacement behaviors conditioned by the morphological characteristics, which also allows the occurrence of the sediment by-pass.

**Keywords:** Sandspits, *Sediment bypass*, *Travelling Forelands*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Zoneamento morfológico e hidrodinâmico do sistema praial.....	20
Figura 2 - Escalas temporais em relação a extensão espacial atuantes nos processos costeiros ...	21
Figura 3 - Modelo conceitual de um promontório.....	22
Figura 4 - Vista panorâmica de promontórios rochosos (Balneário Camboriú/SC).....	22
Figura 5 - Modelo conceitual proposto por Evans (1943).....	24
Figura 6 - Mecanismo de transposição sedimentar por fluxo contínuo (submerso).....	26
Figura 7 - Modelo de mecanismo de transposição sedimentar com a formação de bancos .....	27
Figura 8 - Modelo esquemático de transposição sedimentar para uma costa rochosa onde as praias estão situadas em desembocaduras de rios .....	28
Figura 9 - Vista panorâmica da porção Leste do pontal arenoso da Daniela, ilha de Santa Catarina.....	30
Figura 10 - Indicadores da posição da linha de costa.....	32
Figura 11 - Localização do estado de Santa Catarina na região Sul do Brasil e a delimitação geográfica de seu litoral.....	35
Figura 12 – Litoral do estado de Santa Catarina .....	36
Figura 13 - Bacias hidrográficas da vertente atlântica do estado de Santa Catarina.....	37
Figura 14 - Localização do Pontal do Capri e praia do Forte, ilha de São Francisco do Sul/SC. .	38
Figura 15 - A) Vista panorâmica para Noroeste do setor Norte da Ilha de São Francisco do Sul; B) Vista panorâmica no para nordeste da saliência Ponta do Sumidouro e praia do Forte; C) Vista panorâmica para oeste da praia do Forte; e D) Vista panorâmica para nordeste do Pontal do Capri. ....	39
Figura 16 - Localização da Praia da Enseada, Ilha de São Francisco do Sul/SC.....	40
Figura 17 - A) Vista panorâmica para sudoeste da praia da Enseada e o molhe da PETROBRAS ; B) Vista panorâmica para nordeste da praia da Enseada e o molhe da PETROBRAS; C) Tubulação do sistema de dragagem; e D) Vista para sul da praia da Enseada.....	41
Figura 18 - Localização da praia de Ponta das Canas na ilha de Santa Catarina/SC. ....	42
Figura 19 – Valores previstos do transporte sedimentar (m <sup>3</sup> /ano) e direção das correntes na porção norte da ilha de Santa Catarina. ....	15
Figura 20 – Materiais e métodos aplicados nesta tese.....	17
Figura 21 - Parâmetros utilizados para a análise dos promontórios rochosos.....	22

Figura 22 - Exemplo de delimitação da linha de costa a partir do indicador linha seca-molhada. .....	24
Figura 23 – Delimitação do limite topográfico do pontal arenoso com a utilização do receptor GNSS. Vista para oeste do pontal arenoso da praia do Forte, ilha de São Francisco do Sul. ....	26
Figura 24 - Base do Receptor GNSS instalado no marco topográfico na Ponta das Canas .....	27
Figura 25 – Localização do marco topográfico na Ponta das Canas .....	27
Figura 26 - Localização do marco topográfico instalado na praia do Forte .....	28
Figura 27 - Marco topográfico instalado na praia do Forte. ....	28
Figura 28 - Base do Receptor GNSS instalado no marco topográfico. ....	29
Figura 29 - Levantamentos topográficos realizados em Ponta das Canas. Na cor amarela o limite do pontal arenoso e na cor lilás os caminhamentos aproximados dos perfis transversais e longitudinal.....	30
Figura 30 - Localização das linhas dos levantamentos topográficos realizados na Praia do Forte. Na cor vermelha o limite do pontal arenoso e na cor lilás os traçados aproximados dos perfis transversais e longitudinal .....	30
Figura 31 - Localização dos setores .....	32
Figura 32 - Segmentos utilizados na mensuração da largura (cor verde) e comprimento da feição(amarelo).....	33
Figura 33 - Segmentos utilizados na mensuração da largura (cor verde) e comprimento da feição(amarelo).....	34
Figura 34 - Pontal arenoso em 3D a partir do processo de interpolação - Ponta das Canas .....	35
Figura 35 - Pontal arenoso em 3D a partir do processo de interpolação – Praia do Forte .....	35
Figura 36 - Gráfico da dispersão dos parâmetros .....	36
Figura 37 – Boxplot dos parâmetros.....	37
Figura 38 - Gráfico dos parâmetros dos promontórios no setor 1 .....	38
Figura 39- A) Promontório n° 4, Morro do Forte; B) Promontórios n° 6, bloco rochoso indicado pela seta vermelha, e n° 7, Morro da Enseada.....	38
Figura 40 - Classificação dos promontórios - setor 1 .....	39
Figura 41 - Gráfico dos parâmetros dos promontórios no setor 2 .....	40
Figura 42 - Classificação dos promontórios - setor 2.....	41
Figura 43 - Gráfico dos parâmetros dos promontórios no setor 3 .....	42
Figura 44 - Classificação dos promontórios - setor 3 .....	43
Figura 45 - Gráfico dos parâmetros dos promontórios no setor .....	44
Figura 46 - Classificação dos promontórios - setor 4.....	45

Figura 47 - Classificação dos promontórios - setor 5.....	47
Figura 48 - Comportamento da linha de costa referente ao setor 1 .....	49
Figura 49 - Comportamento da Linha de Costa referente ao setor 2.....	51
Figura 50 - Comportamento da Linha de Costa no setor 3.....	54
Figura 51 - Comportamento da Linha de Costa no setor 4.....	56
Figura 52 - Comportamento da Linha de Costa no setor 5.....	57
Figura 53 - <i>Travellings Forelands</i> evidenciados no setor 5 .....	58
Figura 54 - Escarpa das dunas frontais pretéritas localizada no <i>Foreland 2</i> .....	59
Figura 55 – Visão geral do comportamento de toda a extensão da linha de costa do estado de Santa Catarina.....	60
Figura 56 – Análise da linha de costa Praia do Forte-Pontal do Capri.....	61
Figura 57 - Gráfico dos valores de perímetro (m) do pontal arenoso da Praia do Forte .....	63
Figura 58 - Gráfico dos valores de área (m <sup>2</sup> ) do pontal arenoso da Praia do Forte.....	63
Figura 59 – Pontal arenoso – Praia do Forte (1938 à 2010).....	64
Figura 60– Pontal arenoso – Praia do Forte (2011 à 2016).....	65
Figura 61 - Pontal do Forte no sentido leste-oeste. Nota-se a presença da laguna interna (a esquerda) e a formação de dunas frontais.....	66
Figura 62 – Evolução do pontal da praia do Forte – Monitoramento topográfico .....	67
Figura 63 - Evolução do pontal da praia do Forte – Monitoramento topográfico.....	68
Figura 64 - Gráfico das medidas de área (m <sup>2</sup> ) do monitoramento topográfico, Praia do Forte.....	69
Figura 65 - Gráfico das medidas de perímetro do monitoramento topográfico, Praia do Forte....	69
Figura 66 - Gráfico das medidas de volume (m <sup>3</sup> ) do monitoramento topográfico-Praia do Forte	70
Figura 67- Gráfico dos valores de largura(m), em azul, e comprimento(m), em vermelho, referentes aos pontais arenosos das fotografias aéreas e imagens de satélite – Praia do Forte .....	71
Figura 68 - Gráfico dos valores de largura(m), em azul, e comprimento(m), em vermelho, referentes aos pontais arenosos do monitoramento topográfico – Praia do Forte.....	72
Figura 69 – Evolução do pontal arenoso na praia da Enseada, ilha de São Francisco do Sul.....	73
Figura 70 – Evolução do pontal arenoso da praia de Ponta das Canas, ilha de Santa Catarina ....	76
Figura 71 – Gráfico dos valores de perímetro (m) do pontal arenoso de Ponta das Canas .....	80
Figura 72 – Gráfico dos valores de área (m <sup>2</sup> ) do pontal arenoso de Ponta das Canas.....	80
Figura 73 – Evolução do pontal arenoso de Ponta das Canas – Monitoramento topográfico.....	81
Figura 74 – Área (m <sup>2</sup> ) do pontal arenoso de Ponta das Canas.....	83
Figura 75 – Perímetro (m) do pontal arenoso de Ponta das Canas.....	83

Figura 76 – Gráfico da variação de volume (m <sup>3</sup> ) do pontal arenoso, Ponta das Canas.....	84
Figura 77 - Gráfico dos valores de largura(m), em azul, e comprimento(m), em vermelho, referentes aos pontais arenosos das fotografias aéreas e imagens de satélite – Ponta das Canas .	85
Figura 78 - Gráfico dos valores de largura(m), em azul, e comprimento(m), em vermelho, referentes aos pontais arenosos do monitoramento topográfico – Ponta das Canas .....	87
Figura 79 – Modelo I, promontório saliente.....	91
Figura 80 – Modelo II, promontório com maior perímetro.....	92
Figura 81 – Modelo III, promontórios pequenos.....	93
Figura 82 – Balanço sedimentar anual na praia da Enseada-Ubatuba, ilha de São Francisco do Sul.....	96
Figura 83 – Vista panorâmica no sentido sul-norte da praia do Forte e a presença de bancos arenosos contíguos ao promontório.....	96
Figura 84- Evolução do pontal arenoso .....	99

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais trabalhos sobre o comportamento da linha de costa no estado de Santa Catarina.....	15
Tabela 2 - Fotografias aéreas e imagens de satélites utilizadas para toda a extensão da linha de costa do estado de Santa Catarina .....	18
Tabela 3 - Fotografias aéreas e imagens de satélite utilizadas para a área de estudo de Ponta das Canas, ilha de Santa Catarina/SC. ....	19
Tabela 4 - Fotografias aéreas e imagens de satélite utilizadas para a área de estudo de praia do Forte, ilha de São Francisco do Sul/SC .....	20
Tabela 5 - Fotografias aéreas e imagens de Satélites utilizadas para a área de estudo de Praia da Enseada, Ilha de São Francisco do Sul/SC .....	20
Tabela 6- Classificação dos promontórios rochosos .....	23
Tabela 7 - Datas das campanhas do monitoramento topográfico na Ponta das Canas.....	25
Tabela 8 - Datas das campanhas do monitoramento topográfico na praia do Forte.....	25
Tabela 9 - Comportamento da linha de costa no setor 1 .....	50
Tabela 10 - Comportamento da linha de costa no setor 2 .....	52
Tabela 11 - Comportamento da linha de costa no setor 3 .....	53
Tabela 12 - Comportamento da linha de costa no setor 4 .....	55
Tabela 13 - Comportamento da linha de costa no setor 5 .....	57
Tabela 14 - Valores de perímetro (m) e área (m <sup>2</sup> ) do pontal arenoso da Praia do Forte. ....	62
Tabela 15- Valores de perímetro e área do monitoramento topográfico do pontal arenoso - Praia do Forte.....	66
Tabela 16 - Valores do volume do monitoramento topográfico do pontal arenoso - Praia do Forte .....	70
Tabela 17 - Valores de largura (m) e comprimento (m) dos pontal arenoso referentes as fotografias aéreas e imagens de satélite – Praia do Forte .....	71
Tabela 18 - Valores de largura (m) e comprimento (m) dos pontal arenoso referentes ao monitoramento topográfico, Praia do Forte.....	72
Tabela 19 – Valores de perímetro(m) e área (m <sup>2</sup> ) do pontal arenoso de Ponta das Canas. ....	75
Tabela 20 – Valores de área(m <sup>2</sup> ) e perímetro (m) do monitoramento topográfico, Ponta das Canas .....	82
Tabela 21 – Valores do volume (m <sup>3</sup> ) do pontal arenoso de Ponta das Canas. ....	84

Tabela 22- Valores de largura (m) e comprimento (m) do pontal arenoso referentes as fotografias aéreas e imagens de satélite - Ponta das Canas .....	85
Tabela 23 - Valores de largura (m) e comprimento (m) dos pontal arenoso referentes ao monitoramento topográfico, Ponta das Canas .....	86

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>15</b>
1.1	INTRODUÇÃO .....	15
<b>1.1.1</b>	<b>MOTIVAÇÃO</b> .....	<b>15</b>
1.2	Perguntas e hipóteses da pesquisa .....	16
1.3	OBJETIVOS .....	17
<b>1.3.1</b>	<b>Geral</b> .....	<b>17</b>
<b>1.3.2</b>	<b>Específicos</b> .....	<b>17</b>
1.4	Estrutura da tese.....	17
<b>2</b>	<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>19</b>
2.1	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
<b>2.1.1</b>	<b>SISTEMA PRAIAL</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1.2</b>	<b>EVOLUÇÃO COSTEIRA</b> .....	<b>20</b>
<b>2.1.3</b>	<b>PROMONTÓRIOS ROCHOSOS</b> .....	<b>22</b>
<b>2.1.4</b>	<b>TRANSPOSIÇÃO SEDIMENTAR</b> .....	<b>24</b>
<b>2.1.5</b>	<b>PONTAIS ARENOSOS</b> .....	<b>29</b>
<b>2.1.6</b>	<b>CUSPATE FORELAND</b> .....	<b>31</b>
<b>2.1.7</b>	<b>LINHA DE COSTA</b> .....	<b>31</b>
<b>2.1.8</b>	<b>INDICADORES DA LINHA DE COSTA</b> .....	<b>32</b>
<b>2.1.9</b>	<b>SUMÁRIO</b> .....	<b>33</b>
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>35</b>
3.1	LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA .....	35
<b>3.1.1</b>	<b>SUBÁREA 1 - ILHA DE SÃO FRANCISCO DO SUL</b> .....	<b>37</b>
<i>3.1.1.1</i>	<i>Praia do Forte e Pontal do Capri</i> .....	<i>38</i>
<i>3.1.1.2</i>	<i>Praia da Enseada</i> .....	<i>39</i>
<b>3.1.2</b>	<b>SUBÁREA 2 – ILHA DE SANTA CATARINA</b> .....	<b>41</b>

3.1.2.1	<i>Praia de Ponta das Canas</i> .....	41
3.2	ASPECTOS FÍSICO-NATURAIS .....	42
3.2.1	<b>Geologia- Geomorfologia</b> .....	42
3.2.2	<b>Oceanografia</b> .....	44
3.2.3	<b>Comportamento da linha de costa do estado de Santa Catarina</b> .....	46
3.2.4	<b>A transposição sedimentar no estado de Santa Catarina</b> .....	15
3.3	SUMÁRIO .....	16
4	<b>CAPÍTULO 4</b> .....	17
4.1	MATERIAIS E MÉTODOS .....	17
4.2	BASE DE DADOS GEOGRÁFICOS .....	17
4.3	FOTOGRAFIAS AÉREAS E IMAGENS DE SATÉLITE .....	18
4.4	DELIMITAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS PROMONTÓRIOS ROCHOSOS	21
4.5	IDENTIFICAÇÃO E DELIMITAÇÃO DA LINHA DE COSTA DO ESTADO DE SANTA CATARINA .....	23
4.6	DELIMITAÇÃO DOS PONTAIS ARENOSOS .....	25
4.7	ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DA LINHA DE COSTA .....	31
4.8	ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DOS PONTAIS ARENOSOS.....	33
5	<b>RESULTADOS</b> .....	36
5.1	PROMONTÓRIOS ROCHOSOS DO ESTADO DE ESTADO DE SANTA CATARINA .....	36
5.1.1	<b>Setor 1 – Da barra do rio Saí-Guaçú a ponta de Cabeçudas</b> .....	37
5.1.2	<b>Setor 2 – Da ponta de Cabeçudas à Baía dos Golfinhos</b> .....	40
5.1.3	<b>Setor 3 – Ilha de Santa Catarina</b> .....	42
5.1.4	<b>Setor 4 – Da Ponta do Papagaio ao Cabo de Santa Marta Grande</b> .....	44
5.1.5	<b>Setor 5 – Do Cabo de Santa Marta a desembocadura do Rio Mampituba</b> ....	46
5.1.6	<b>Sumário – Classificação dos promontórios rochosos</b> .....	48
5.2	COMPORTAMENTO DA LINHA DE COSTA DO ESTADO DE SANTA CATARINA .....	48

5.2.1	<b>Setor 1 – Da barra do rio Saí-guaçú a ponta de Cabeçudas .....</b>	<b>49</b>
5.2.2	<b>Setor 2 – Da ponta de Cabeçudas à baía dos Golfinhos .....</b>	<b>51</b>
5.2.3	<b>Setor 3 – Ilha de Santa Catarina .....</b>	<b>53</b>
5.2.4	<b>Setor 4 – Da Ponta do Papagaio ao Cabo de Santa Marta Grande .....</b>	<b>55</b>
5.2.5	<b>Setor 5 – Do Cabo de Santa Marta a desembocadura do Rio Mampituba ....</b>	<b>56</b>
5.2.6	<b>Sumário – Comportamento da linha de costa no estado de Santa Catarina..</b>	<b>59</b>
5.3	<b>EVOLUÇÃO GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICA DOS PONTAIS ARENOSOS</b>	<b>61</b>
5.3.1	<b>SUBÁREA 1 – ILHA DE SÃO FRANCISCO DO SUL.....</b>	<b>61</b>
5.3.1.1	<i>Praia do Forte e Pontal do Capri.....</i>	<i>61</i>
5.3.1.2	<i>Análise do pontal arenoso a partir das imagens de satélite e fotografias aéreas.</i>	<i>62</i>
5.3.1.3	<i>Análise do pontal arenoso a partir do monitoramento topográfico – praia do Forte</i>	<i>66</i>
5.3.2	<b>Praia da Enseada .....</b>	<b>73</b>
5.3.2.1	<i>Análise do pontal arenoso a partir das imagens de satélite e fotografias aéreas.</i>	<i>73</i>
5.3.3	<b>Ponta das Canas.....</b>	<b>75</b>
5.3.3.1	<i>Análise do pontal arenoso a partir das imagens de satélite e fotografias aéreas.</i>	<i>75</i>
5.3.3.2	<i>Análise do pontal arenoso a partir do monitoramento topográfico.....</i>	<i>80</i>
5.3.4	<b>Sumário – Evolução geológico-geomorfológico dos pontais arenosos .....</b>	<b>87</b>
6	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>89</b>
6.1	<b>Promontórios rochosos do Estado de Santa Catarina .....</b>	<b>89</b>
6.1.1	<b>Classificação dos promontórios rochosos e a transposição sedimentar.....</b>	<b>90</b>
6.1.1.1	<i>Modelos conceituais .....</i>	<i>90</i>
6.1.1.1.1	<i>Modelo 1 .....</i>	<i>90</i>
6.1.1.1.2	<i>Modelo II.....</i>	<i>91</i>
6.1.1.1.3	<i>Modelo III.....</i>	<i>92</i>

6.2	COMPORTAMENTO DA LINHA DE COSTA DO ESTADO DE SANTA CATARINA .....	94
6.3	Evolução GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICA dos Pontais Arenosos.....	95
<b>6.3.1</b>	<b>Sub-área 1 – Ilha de São Francisco do Sul .....</b>	<b>95</b>
6.3.1.1	<i>Praia do Forte e Pontal do Capri.....</i>	95
6.3.1.2	<i>Praia da Enseada .....</i>	97
<b>6.3.2</b>	<b>Ilha de Santa Catarina .....</b>	<b>98</b>
6.3.2.1	<i>Ponta das Canas.....</i>	98
<b>6.3.3</b>	<b>A transposição sedimentar e formação de pontais arenosos .....</b>	<b>98</b>
<b>6.3.4</b>	<b>Sumário.....</b>	<b>100</b>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>101</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>103</b>
	<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>111</b>

# 1 CAPÍTULO 1

## 1.1 INTRODUÇÃO

Esta tese analisa a linha de costa do estado de Santa Catarina para contribuir com a compreensão do mecanismo natural de transposição sedimentar entre praias limitadas por promontórios rochosos. Para tal, foi realizada a identificação e compreensão da morfologia dos promontórios, do comportamento da linha de costa e do ciclo de formação dos pontais arenosos localizados na praia de Ponta das Canas, Ilha de Santa Catarina, na praia do Forte e praia da Enseada, Ilha de São Francisco do Sul.

### 1.1.1 MOTIVAÇÃO

O transporte de sedimentos pelas correntes de deriva litorânea sofre influência de promontórios rochosos, desembocaduras e estruturas artificiais, que atuam como obstáculos, uma vez que o fluxo sedimentar e de água são interrompidos ou reduzidos acarretando na deposição à sotamar dessas feições.

Evans (1943), Short & Masselink (1999) e Smith (2001) estabeleceram modelos conceituais do mecanismo de transposição sedimentar que demonstram a atuação dos agentes oceanográficos e a morfologia da linha de costa na ocorrência do transpasse do sedimento ao redor do obstáculo existente. Por outro lado, Silvester (1985), FitzGerald *et al.*(2000), FitzGerald & Pendleton (2002), Cheung *et al.*(2007), Mariani *et al.* (2010) e Eslami *et al.* (2010), descreveram o mesmo mecanismo relacionado a estruturas artificiais ou desembocadura de rios em virtude da necessidade de compreensão dos impactos resultantes da implantação de molhes, da erosão consequente de dragagem e por questões de segurança de navegação que foram afetadas pela interrupção da circulação e do desequilíbrio sedimentar.

Além disso, as pesquisas relacionadas as praias limitadas por promontórios rochosos (praias de enseada) são geralmente focadas na estabilidade e rotação praial, uma vez que algumas destas praias são consideradas sistemas fechados (SILVESTER & HO, 1972; HSU *et al.*,1989; KLEIN *et al.*, 2002; BOWMAN *et al.*, 2009; THOMAS *et al.*, 2010; OLIVEIRA & BARREIRO, 2010; HARLEY *et al.*, 2011; SHORT *et al.*, 2014; DALY *et al.*, 2015). Contudo, de acordo com Klein *et al.* (2010) e Silveira *et al.* (2010), a transposição sedimentar

é um dos fatores que atua também na estabilidade dessas praias, sendo que mais recentemente pesquisas a partir de dados medidos em campo e modelos numéricos foram realizadas para buscar compreender a transposição e a sua relação com o balanço sedimentar nessas praias: Goodwin *et al.* (2013) com variações batimétricas e clima de ondas; Duarte *et al.* (2014) com marcadores nos sedimentos; George *et al.* (2015) com classificação dos promontórios relacionadas as células costeiras; Ab Razak (2015), Vieira da Silva *et al.* (2016), com modelos numéricos; e Ribeiro (2017) com uso de imagens de satélite, fotografias aéreas, topografia em campo e marcadores nos sedimentos.

Não obstante ao desenvolvimento dos trabalhos supracitados, pesquisas relacionadas as mudanças morfológicas e as feições sedimentares decorrentes da transposição são escassas. Sendo assim, a partir do modelo conceitual de Short & Masselink (1999), que apresenta como evidência da transposição sedimentar a formação de um pontal arenoso que tende a se unir a praia e se dissipar no sentido da corrente longitudinal, esta tese tem o intuito de compreender a relação entre a transposição e o ciclo de formação das feições sedimentares contíguas aos promontórios e o comportamento da linha de costa em larga escala temporal e espacial do litoral do estado de Santa Catarina.

## 1.2 PERGUNTAS E HIPÓTESES DA PESQUISA

As perguntas que guiaram esta pesquisa foram:

- I. A morfologia dos promontórios rochosos influencia no processo de transposição sedimentar e conseqüentemente na formação dos pontais arenosos?
- II. A linha de costa do estado de Santa Catarina possui diferentes comportamentos sedimentares (escalas temporal e espacial) em virtude da sua heterogeneidade geomorfológica?
- III. Quais as escalas temporal e espacial de ocorrência da transposição sedimentar?
- IV. A formação do pontal arenoso na praia de Ponta das Canas, na Ilha de Santa Catarina, e do pontal arenoso na praia do Forte e praia da Enseada, na Ilha de São Francisco do Sul, estão relacionadas com os ciclos de transposição sedimentar?

Para responder tais perguntas foram testadas as seguintes hipóteses:

1ª) A ciclicidade morfológica dos pontais arenosos contíguos aos promontórios está relacionada aos ciclos de transporte sedimentar longitudinal em larga escala temporal e espacial.

2ª) Os pontais arenosos se formam e migram associados a processos costeiros e são influenciados pela morfologia local, como o tamanho e a orientação do promontório rochoso.

### 1.3 OBJETIVOS

Abaixo estão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos desta tese.

#### 1.3.1 Geral

Analisar o processo de transposição sedimentar entre praias limitadas por promontórios rochosos no litoral do estado de Santa Catarina através da avaliação da variação da linha de costa e do comportamento morfológico dos pontais arenosos da Praia de Ponta das Canas, Ilha de Santa Catarina, e Praia do Forte, Ilha de São Francisco do Sul, com a utilização de imagens aéreas e levantamento topográfico.

#### 1.3.2 Específicos

1. Identificar e analisar a morfologia dos promontórios rochosos do litoral catarinense e a sua influência no processo de transposição sedimentar das praias adjacentes.
2. Analisar o comportamento da linha de costa de toda a extensão do litoral catarinense para avaliação indireta em larga escala dos padrões de deriva e migração sedimentar;
3. Analisar a evolução dos pontais arenosos contíguos aos promontórios de forma indireta e direta com a utilização de levantamento topográfico.

### 1.4 ESTRUTURA DA TESE

Para atingir os objetivos propostos, esta tese foi estruturada em oito capítulos:

CAPÍTULO 1: Apresenta uma introdução geral que aborda a motivação da pesquisa, os objetivos e a estrutura da tese.

CAPÍTULO 2: Fundamentação teórica sobre a transposição sedimentar entre praias limitadas por promontórios rochosos.

CAPÍTULO 3: Descreve a área de estudo e suas características físico-naturais relevantes para a pesquisa

CAPÍTULO 4: Apresenta os materiais e métodos utilizados na pesquisa, como a identificação de possíveis erros detectados durante o processamento e análise dos dados.

CAPÍTULO 5: Demonstra os resultados da tese, sendo divididos em três itens:

5.1 Identificação e classificação dos promontórios rochosos de Santa Catarina.

5.2 Comportamento da linha de costa do estado de Santa Catarina.

5.3 Evolução geológico-geomorfológica dos pontais arenosos.

CAPÍTULO 6: Apresenta a discussão dos resultados

CAPÍTULO 7: Apresenta as considerações finais.

## **2 CAPÍTULO 2**

### **2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Neste capítulo é apresentada a fundamentação teórica a partir da revisão bibliográfica que embasou o desenvolvimento desta tese.

#### **2.1.1 SISTEMA PRAIAL**

De acordo com Short (1999), as praias ocorrem em todas as áreas costeiras sedimentares expostas a ondas, sendo que as praias arenosas oceânicas se apresentam como sistemas transicionais altamente dinâmicos e sensíveis, que se ajustam as flutuações dos níveis de energia locais e são retrabalhadas por processos eólicos, biológicos e hidráulicos que ocorrem em escalas temporais variadas.

Para o mesmo autor, a praia é definida como um acúmulo de sedimentos depositados por ondas, tendo como limite mar-adentro a profundidade máxima em que ocorre o transporte de material de fundo em direção a praia e como limite sentido continente, o alcance máximo subaéreo de ação das ondas de tempestade.

Na Figura 1 é apresentado um perfil com o zoneamento morfológico e hidrodinâmico do sistema praial proposto por Short (1999). Este perfil representa a interação dinâmica existente entre o fundo do mar, a declividade e o rompimento das ondas, já que a dissipação de energia destas se inicia com empinamento, quebra e espraiamento e a energia é transformada de energia potencial em cinética proporcionando o retrabalhamento das feições emersas e submersas.

Segundo Carter (1988), diversas forças originam mudanças morfológicas na praia, merecendo destaque as ondas geradas pelo vento, as correntes litorâneas e as marés. A escala temporal e intensidade de tais forças podem modificar a dinâmica dos fluidos que regem o transporte de sedimentos na praia e resultar em mudanças morfológicas ao longo do tempo, como por exemplo, da topografia da praia, que pode evoluir em alterações nos padrões de transporte e deposição de sedimentos (COWELL & THOM, 1994).

Figura 1 – Zoneamento morfológico e hidrodinâmico do sistema praial.



Fonte: Adaptado de Short (1999).

Dessa forma, o acúmulo de sedimentos, resultantes das forças supracitadas, e influenciadas pelas características morfológicas do ambiente local, propiciam o processo de transposição sedimentar, como evidenciado por Short (1999) que sugere que tal processo tende a ocorrer em praias de enseada relativamente extensas (>5km) e com presença de rotação praial. Também se destaca o espaço de acomodamento necessário para que o pacote sedimentar oriundo da transposição se deposite, onde pode ocorrer a gênese de um pontal arenoso emerso com características de praias dissipativas na sua porção contígua ao promontório e gradativamente atingindo características reflexivas em sua porção distal.

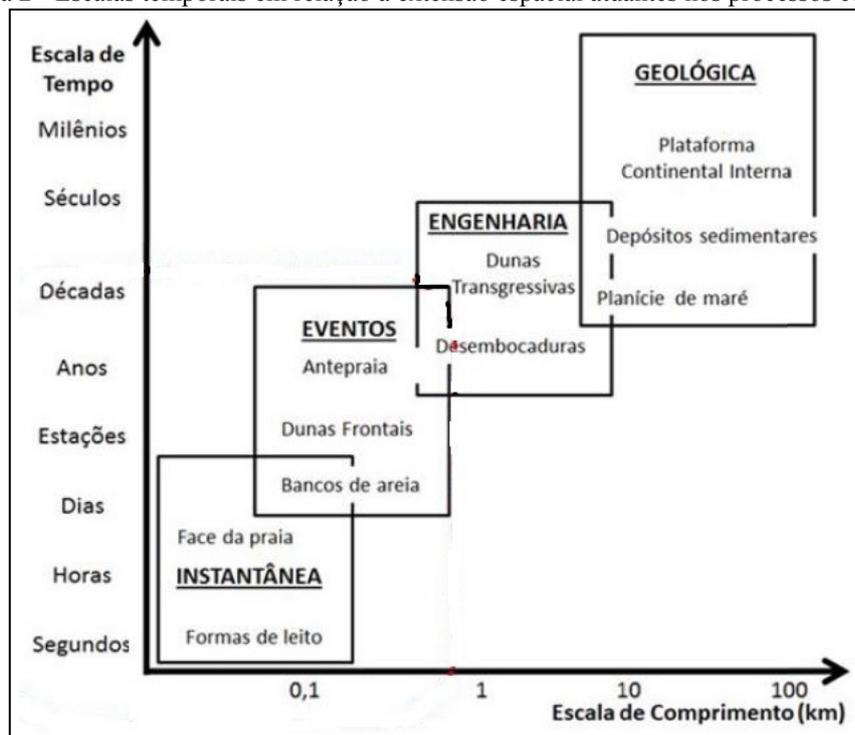
### 2.1.2 EVOLUÇÃO COSTEIRA

Pelo fato do ambiente praial ser extremamente dinâmico, a escala temporal e espacial de análise pode variar, uma vez que a interação mútua entre a topografia e os processos costeiros envolve alterações de relevo que variam de acordo com tais escalas (WRIGHT & THOM, 1977).

Neste sentido, Cowell & Thom (1994) propuseram quatro classes de escala temporal que podem ser empregadas nos processos costeiros (Figura 2):

- Escala Instantânea: a evolução morfológica é causada pelos ciclos das forçantes externas como ondas, marés e ventos, variando de segundos a dias e atuando em poucas centenas de metros;
- Escala de Eventos: evolução morfológica gerada desde os eventos individuais extremos até as variações sazonais, variando de horas a anos e atuando em extensões máximas próximas a um quilômetro;
- Escala de Engenharia: conjunto resultante das flutuações dos padrões sazonais, variando de anos a séculos e com escala espacial máxima de alguns quilômetros;
- Escala Geológica: dedicada ao estudo da evolução costeira, em resposta as tendências médias dos agentes/forçantes ao longo de décadas e milênios, com abrangência espacial indicada pelos sistemas deposicionais.

Figura 2 - Escalas temporais em relação a extensão espacial atuantes nos processos costeiros



Fonte: Adaptado de Cowell & Thom (1994)

Neste sentido, para análises em larga-escala da linha de costa, a escala de Engenharia, que abrange anos, décadas e séculos, representa o intervalo temporal necessário para a compreensão de possíveis variações sazonais, como apresentados por Kabuth *et al.* (2014) e Burningham & French (2014). Referindo-se às análises dos pontais arenosos, a escala Instantânea e a de Eventos abrangem o intervalo temporal ideal para o monitoramento da

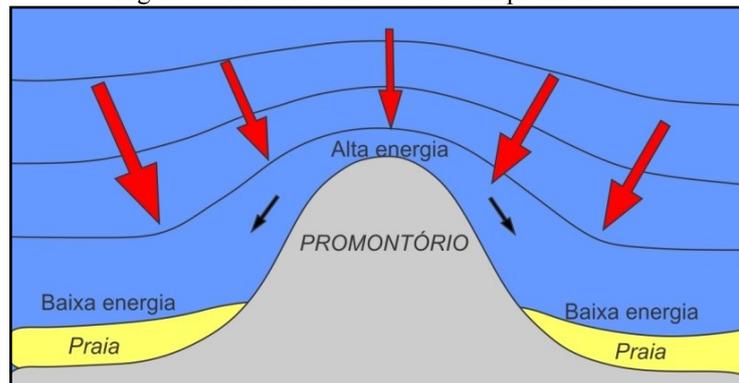
feição sedimentar, seja através de imagens aéreas como também com levantamento topográfico em campo, conforme exposto por Randazzo *et al.* (2015).

Assim, nesta tese foram adotadas as escalas temporais de Engenharia, Instantânea e de Eventos, uma vez que atendem os objetivos de análises propostos como também estão alinhadas com a escala temporal dos dados obtidos e utilizados.

### 2.1.3 PROMONTÓRIOS ROCHOSOS

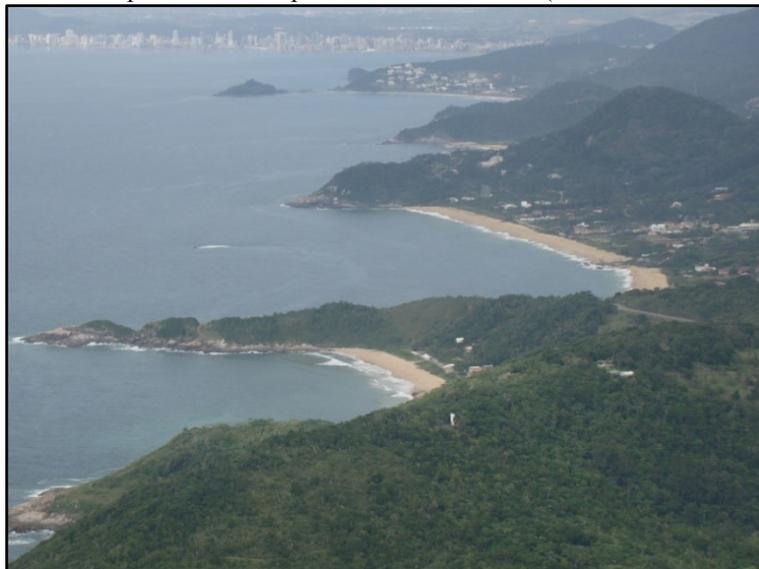
De acordo com Suguio (1998), promontório é uma porção saliente e alta de qualquer área continental de natureza cristalina ou sedimentar, que avança para dentro de um corpo aquoso (lago, mar ou oceano) (Figuras 3 e 4).

Figura 3 - Modelo conceitual de um promontório



Fonte: Adaptado de Ab Razak (2015).

Figura 4 - Vista panorâmica de promontórios rochosos (Balneário Camboriú/SC)



Fonte: Antonio Henrique da Fontoura Klein.

No ambiente litorâneo os promontórios são caracterizados quanto a presença de costões rochosos, erosão intensa, falésias íngremes e, de maneira, geral são feições que compartimentam a linha de costa (AB RAZAK, 2015).

Van Rijn (1998) apresentou importantes características dos promontórios, sendo:

- a) ponto de convergência para energia das ondas;
- b) obstrução da corrente de maré, bloqueio das correntes induzidas pelo vento e da convergência de correntes;
- c) zona de circulação em larga escala a sotamar dos promontórios;
- d) obstrução da deriva litorânea;
- e) pontos de fixação para correntes de retorno;
- f) pontos de fixação para a formação de pontais arenoso; e
- g) pontos de fixação para o banco de areia originado da erosão do promontório.

Denniss *et al.* (1995) destacaram que a característica assimétrica dos promontórios rochosos pode proporcionar diferentes cenários morfodinâmicos, a barlar e a sotamar, devido a diferença de energia e de direção das correntes e ondas atuantes. Os promontórios também podem atuar como limite de uma célula de circulação sedimentar, como ocorre nas praias de enseada (KENNETH, 1981; BRAY *et al.*, 1995; VAN RIJN, 1998; SHORT, 1999; GEORGE *et al.*, 2015).

Em relação a circulação sedimentar costeira, George *et al.* (2015), apresentam, a partir da análise de 78 promontórios ao longo da costa do estado da Califórnia, Estados Unidos, que o tamanho do promontório e a batimetria contígua e ao longo dos mesmos são atributos peremptórios para na determinação das células costeiras, ou seja, influencia, diretamente na presença do processo de transposição sedimentar.

Dessa forma, ressalta-se que os promontórios são importantes feições geomorfológicas que possuem atuação direta no balanço sedimentar costeiro, uma vez que podem ser considerados obstáculos naturais do transporte longitudinal e estão associadas a formação de dos pontais arenosos, já que se estabelecem como ponto de ancoragem a estas feições e logo auxiliam na identificação de evidências da ocorrência do processo de transposição sedimentar.

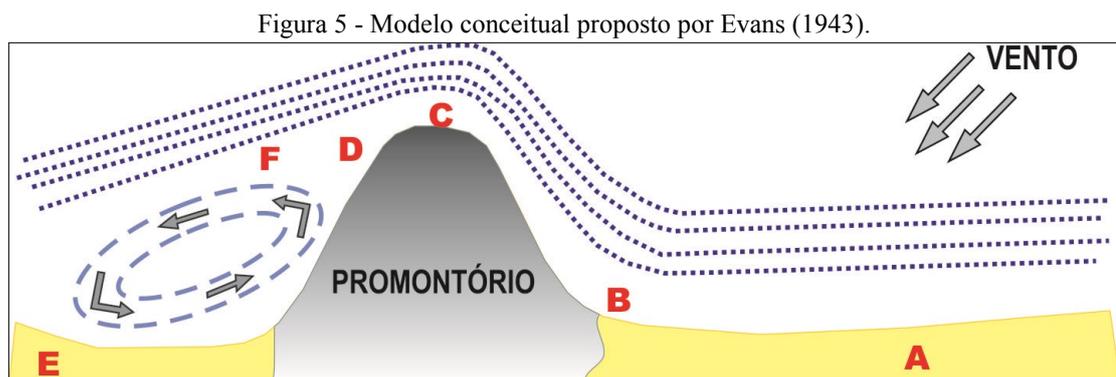
### 2.1.4 TRANSDIÇÃO SEDIMENTAR

De acordo com Ab Razak (2015), o mecanismo de transposição sedimentar pode ser classificado em dois tipos:

- 1) Transposição sedimentar longitudinal induzido pelas ondas: é originado a partir do processo de rotação praial. O sedimento acumula à barlar da estrutura, se movimenta ao redor da mesma, se acumula em forma de banco à sotamar e se junta a praia.
- 2) Transposição sedimentar transversal induzido pelas ondas: o sedimento é lançado para fora da zona de surf e pelas correntes de retorno e se move ao redor da estrutura associada (promontório) devido à condições extremas (tempestades).

Relacionado ao primeiro tipo, destacam-se os modelos apresentados por Evans (1943), Short (1999) e Smith (2001).

Evans (1943) apresentou um modelo conceitual da transposição sedimentar onde os sedimentos ultrapassam o promontório direcionado pela força do vento e das ondas (Figura 5).



Fonte: Adaptado de Evans (1943).

De acordo com este modelo, no ponto A o sedimento, que pode estar em suspensão, é transportado pela corrente de deriva originada pela incidência obliqua das ondas sobre a linha de costa. O sedimento que está no pós-praia é forçado no sentido da deriva devido a sua remobilização pelo espraçamento. Ao alcançar a base curva do promontório, ponto B, a velocidade da corrente de deriva diminui, sendo interrompida quando as ondas passam a incidir paralelamente à linha de costa. O resultado é um movimento rápido da água em

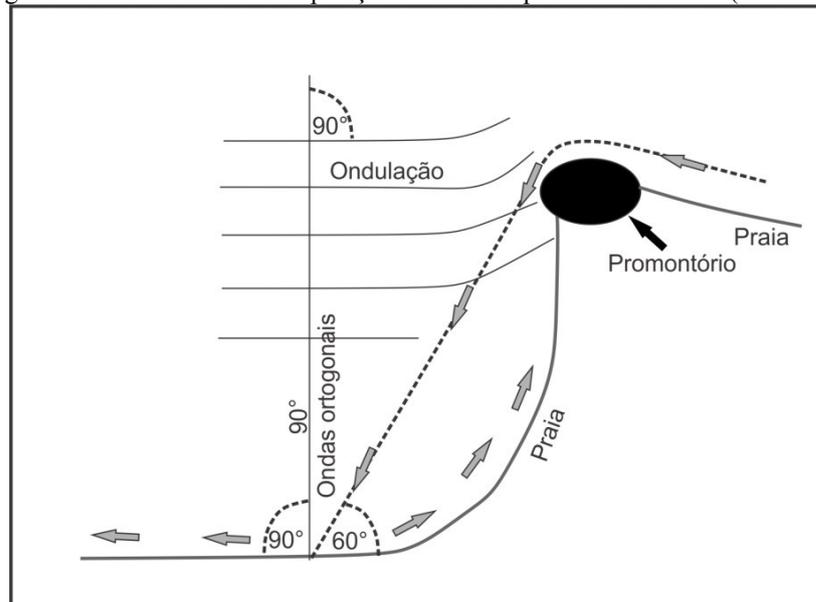
direção ao fundo que pode transportar uma carga sedimentar, obtida entre o ponto A e B, para além do promontório. Assim, a “reentrância” do ponto B é rapidamente preenchida por sedimentos. Se o vento é forte, resultando no aumento da altura das ondas, correntes que se deslocam para fora são formadas e o material acumulado no ponto B é descarregado à barlar e distribuído ao longo do fundo do mar.

Uma vez que o vento é quase paralelo com a linha de costa no ponto A, as correntes provocadas pelas ondas e pelo vento combinam com a corrente de deriva e os sedimentos em suspensão são rapidamente carregados ao longo do promontório até alcançar seu limite. A corrente de deriva pode alcançar todo o promontório, até o ponto C, resultando na formação de um pontal à barlar. No contrário, há erosão nos pontos D e E, pois as ondas ao atingirem o promontório são refratadas, quase paralelas ao ponto D, aumentando a deriva em direção ao ponto E. Se a deriva se deslocar até o limite externo do promontório, ela não retorna imediatamente a costa, mas continua até alcançá-la novamente. Como resultado, ocorre uma corrente inversa à sotamar do promontório. Uma parte do sedimento carregado por esta corrente pode entrar na corrente principal F e/ou uma parte pode se manter estacionada onde as duas correntes se juntam. Assim, há a deposição de sedimento e progradação à sotamar. Ocasionalmente uma porção desse material carregado pelas correntes além da porção distal do promontório é depositado no fundo à sotamar. Este depósito pode assumir a forma de um cume ou de uma plataforma alargada, dependendo da quantidade de sedimento disponível da força das ondas, das correntes, e pode se juntar a costa, acrescido pelo material oriundo da deriva que ultrapassou o limite externo do promontório. Desta forma, o depósito é emergido e se estende à sotamar como um pontal arenoso, que terá sua dimensão de acordo com a relação entre a força das ondas e da quantidade de sedimento disponível.

Smith (2001) descreveu o mecanismo de transposição sedimentar nos promontórios partindo do modelo de Evans (1943) e da observação de praias de enseada na costa Leste Australiana.

Neste modelo são consideradas a forma e a geometria dos promontórios em relação ao ângulo de incidência das ondas e no trajeto da corrente longitudinal. Nestes termos, a transposição sedimentar pelo promontório acontece na forma de um fluxo contínuo (bancos submersos) que são originadas pela deflexão da corrente de deriva e da refração das ondas no promontório em direção a praia. O ângulo encontrado nesta análise é de  $60^\circ \pm 5^\circ$  entre a extremidade do promontório e o início da porção central da praia (Figura 6).

Figura 6 - Mecanismo de transposição sedimentar por fluxo contínuo (submerso).

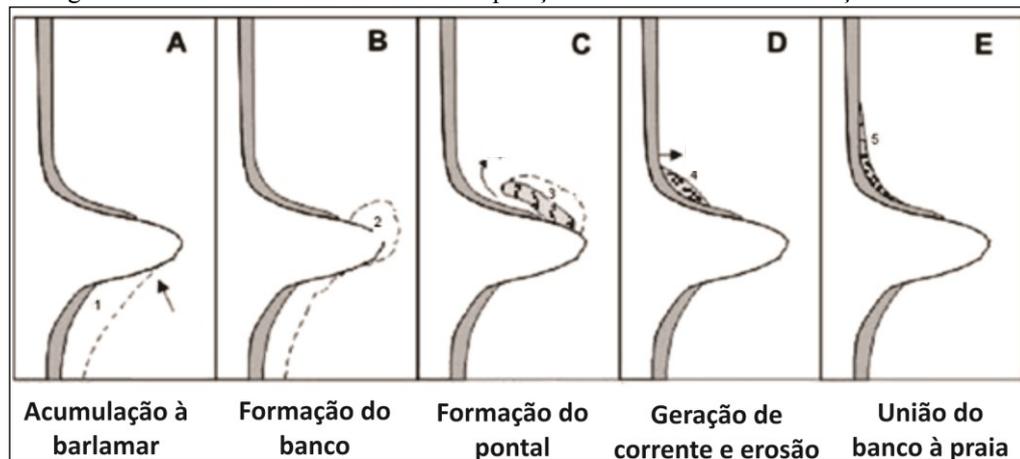


Fonte: Adaptado de Smith (2001).

Segundo Short e Masselink (1999), a transposição de sedimentos se manifesta em duas etapas. A primeira é o acúmulo do sedimento na porção à barlar do promontório pelo processo de rotação praial. A segunda é o movimento aparente do sedimento ao redor do promontório, inicialmente identificável por um grande banco à barlar. Em seguida o banco se move em direção à costa podendo resultar em acresção significativa da praia, entretanto, a maior parte do sedimento permanece na porção subaquosa. Ondas de areia (*sandwaves*) migram na direção barlar formando feições que variam entre pequenas ondas de areia a longos pontais arenosos.

A onda em seu percurso de migração se move como um banco de fundo, largo e raso, ligado à praia, ou como um prolongamento de pontal arenoso que pode gerar uma laguna associada. As duas últimas formas de migração normalmente geram erosão à barlar imediatamente à frente do banco/pontal. Por fim, o banco/pontal se une à praia, não sendo mais possível sua identificação (Figura 7).

Figura 7 - Modelo de mecanismo de transposição sedimentar com a formação de bancos



Fonte: Adaptado de Short (1999).

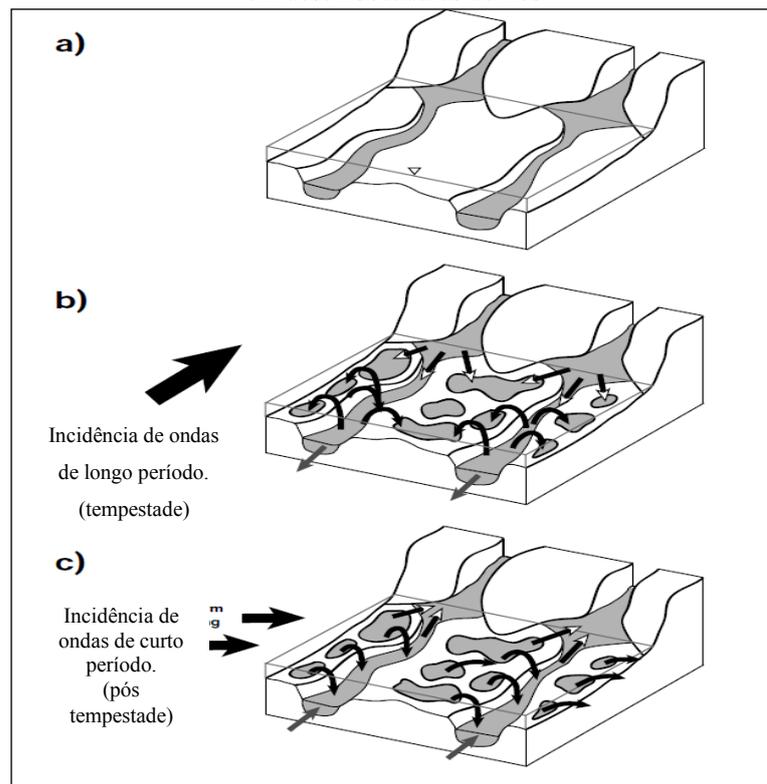
Referindo-se ao segundo tipo de transposição sedimentar, a transposição sedimentar transversal induzida pelas ondas, destaca-se a direta relação com eventos extremos (tempestades), uma vez que é frequentemente relacionado com a presença de correntes de retorno na zona de surfe (*surf zone rip currents*).

Estas correntes, em ocasiões de alta energia (tempestade), são influenciadas pela proximidade com os promontórios, alterando o padrão de circulação e desenvolvendo células circulatórias, que possuem alta velocidade e se estendem além da zona de arrebentação, removendo os sedimentos da praia e transportando-os mar adentro (SHORT, 1985; SHORT & MASSELINK, 1999; SHORT, 2010). Estas células de circulação são as grandes correntes topograficamente controladas, denominadas mega correntes de retorno (*mega rip currents*) (MCKENZIE, 1958; SHORT, 1985), que são associadas a feições topográficas permanentes, como os promontórios e as estruturas artificiais (SHORT, 1999).

Ainda referindo-se a transposição decorrente de eventos extremos, Storlazzi & Field (2000) estudaram os fluxos de sedimentos em um trecho rochoso na costa Oeste dos Estados Unidos, onde pequenas praias de enseada estão situadas nas desembocaduras de rios (Figura 8a). Este estudo mostrou que, nas costas com margens ativas, os promontórios podem se estender como barreiras à corrente longitudinal e, nessas condições, a transposição só pode ocorrer durante eventos de alta energia, onde durante as tempestades, sedimentos da praia podem ser erodidos e levados para fora da costa por fluxos em direção ao mar, impulsionados por ondas e correntes induzidas pelo vento ou correntes intensas, dispersando parte do sedimento e transportando a outra parte pela plataforma continental média (Figura 8b). Após a tempestade, pequenas ondas de curto período aproximando-se obliquamente da costa podem

iniciar correntes ao longo da costa, que podem mobilizar os sedimentos depositados nas cristas rochosas sub-profundas na porção frontal aos promontórios, alimentando as praias a sotamar e suas depressões sub-aquáticas adjacentes (paleo-canais). Assim, a reconstrução do perfil pré-tempestade da praia seria então auxiliada por longos períodos de ondas de baixa energia que transportam sedimentos em terra a partir de profundidades maiores (Figura 8c).

Figura 8 - Modelo esquemático de transposição sedimentar para uma costa rochosa onde as praias estão situadas em desembocaduras de rios



Fonte: Adaptado de Storlazzi & Field (2000).

Barriolo *et al.* (2012) e Ferrari *et al.* (2014) também relataram um transporte significativo de sedimentos (cascalho) ao redor do promontório de *Punta del Maiolo* (mar Mediterrâneo, Itália), induzido pelas mega correntes de retorno (*mega rip currents*) durante os eventos de tempestades. As velocidades das correntezas nestas condições são maiores e podem transportar grandes quantidades de sedimentos a grandes distâncias da costa e a grandes profundidades (SHORT, 1985; SHORT & MASSELINK, 1999; SMITH *et al.*, 2010; LOUREIRO *et al.*, 2012). Este sedimento pode ser perdido do sistema praial, sendo transportado mar adentro e depositado além da profundidade do fechamento (SMITH *et al.*, 2010) ou transportado ao longo da costa até a praia à sotamar do promontório rochoso (STORLAZZI & FIELD, 2000).

Patterson (2011) e Acworth & Lawson (2011) estudaram a transposição sedimentar de *Fingal Head* (Austrália), baseado em levantamentos topo-batimétricos, e descreveram a transposição como “lesmas” (*slugs*) episódicas de areia (relativamente grandes) movendo-se ao redor do promontório rochoso, geralmente associadas a períodos de ondas de alta energia, auxiliados por correntes longitudinais aceleradas.

Assim, nota-se que os trabalhos sobre a compreensão do processo de transposição sedimentar vêm sendo desenvolvidos e aperfeiçoados, onde são apresentadas as características morfológicas e hidrodinâmicas do ambiente que determinam as condições para a ocorrência do processo. Contudo, ainda não está claramente evidenciado se há um padrão de condições físico-naturais que favorecem a ocorrência do processo de transposição, tais como a escala de saturação de deposição de sedimentos à barlar, a intensidade das forçantes que possibilitam o pacote sedimentar se transpor ao longo do obstáculo e qual e o ritmo temporal da transposição que determina o ciclo morfológico do pontal arenoso emerso evidenciado à sotamar.

### **2.1.5 PONTAIS ARENOSOS**

Segundo Suguio (1992), o pontal arenoso (esporão arenoso; flecha arenosa) é uma feição deposicional, geralmente de matriz arenosa, formada a partir de uma série de cristas de cordões litorâneos, ligado ao continente ou ilha por uma das extremidades. São diferenciadas de outras feições sedimentares, tais como as barras arenosas, que são associadas a morfologia submersa do perfil praial, e os tómbolos, pois estes não apresentam extremidades livres. A formação dos pontais arenosos é decorrente da oferta de sedimentos (área fonte), sentido/direção da deriva litorânea, presença de ponto de ancoragem, pouca profundidade (águas rasas) e obliquidade em relação as ondas incidentes (Figura 9).

Figura 9 - Vista panorâmica da porção Leste do pontal arenoso da Daniela, ilha de Santa Catarina



Fonte: Antonio Henrique da Fontoura Klein.

Komar (1976) sugeriu que o processo de desenvolvimento de esporões arenosos é um importante fator na suavização ou aplainamento das costas irregulares ou recortadas, como também o crescimento de pontais arenosos desvia a desembocadura de rios ou entradas de baías, estendendo-as em direção ao sentido do transporte sedimentar.

A forma curvada de um pontal arenoso, de acordo com Carter (1988), é devida a incidência progressiva da onda ao redor de sua porção distal. Quando esta alcança a porção proximal, paralelamente à costa, o ângulo de incidência é próximo a zero, e a medida que a onda chega a porção distal, em direção a extremidade curvada, o ângulo de incidência da onda começa a aumentar, já que a profundidade é diminuída. Logo, a altura da onda é reduzida pelo atrito com o fundo, gerando o processo de refração da onda ao redor do pontal, possibilitando a deposição gradativa de sedimento ao redor da extremidade do pontal.

Neste sentido, o pontal arenoso originado do processo de transposição sedimentar reflete as características supracitadas, porém distingue-se em relação a sua estabilidade e ciclicidade morfológica, uma vez que como visto no item 2.1.4, a formação do pontal arenoso é dependente do aporte sedimentar e do espaço de acomodamento do mesmo junto ao promontório rochoso para emergir.

### **2.1.6 CUSPATE FORELAND – TRAVELLING FORELAND**

De acordo com Burningham & French (2014), as *cusplate forelands* são feições sedimentares de baixa altitude, incluindo cristas praias e/ou dunas, que são anexadas e projetadas ao mar a partir da linha de costa.

São limitadas em ambos os lados por tais linhas, que dominadas por ondas se formam em condição de equilíbrio de larga ou curta escala existente entre duas ou mais forçantes costeiras opostas, mas construtivas, onde seu tamanho, morfologia, geralmente triangular, e taxa de crescimento dependem tanto da frequência dessas forçantes como também da disponibilidade e aporte sedimentar (SCHWARTZ, 2005).

Algumas *cusplate forelands* demonstram progressivo movimento longitudinal e são denominadas de *travelling forelands*, onde frequentemente são assimétricas na forma plana, e tem ciclo de erosão e acreção distintos em suas bordas, uma vez que é causado por um processo dominante em uma única direção, contudo quando a feição é simétrica é provavelmente estacionária que reflete um equilíbrio dinâmico entre as forças opostas e a expansão ou contração de tamanho é resposta da disponibilidade de sedimentos (GULLIVER, 1899; SCHWARTZ, 2005; BURNINGHAM & FRENCH, 2014).

Dessa forma, em virtude das características das *cusplate forelands*, nota-se que a presença das mesmas, junto com as características físico-naturais para a sua gênese, contribui para a compreensão do ciclo sedimentar costeiro, tanto em escala temporal e espacial como também apresentar indícios dos ciclos do aporte sedimentar presente no processo de transposição sedimentar.

### **2.1.7 LINHA DE COSTA**

A linha de costa pode ser definida como a linha de interface física entre a terra e a água (DOLAN *et al.*, 1980 *apud* BOAK & TURNER, 2005). Devido a dinâmica dos ambientes costeiros tal definição torna-se complexa, uma vez que esses ambientes são considerados os mais instáveis da superfície terrestre (CARTER, 1988).

Dos ambientes costeiros, as praias são os que apresentam a maior dinâmica física e ocorrem em toda a costa onde há sedimentos suficientes para as ondas os depositarem acima do nível do mar, ou seja, neste caso a linha de costa coincide com um pacote sedimentar inconsolidado composto de areias e/ou seixos que originam as praias (SHORT, 1999). Assim,

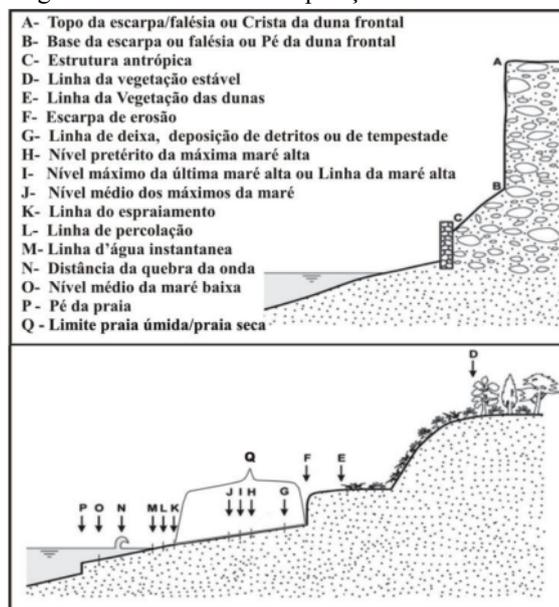
o termo linha de costa é utilizado para ambientes praias, sendo que para a sua delimitação é necessária algum indicador, como, por exemplo, os apresentados na compilação de Boak & Turner (2005).

Quanto aos métodos de determinação da linha de costa, destacam-se os procedimentos de levantamento em campo (*in situ*), com a utilização de técnicas de topografia, e os métodos cartográficos, com a utilização de técnicas de mapeamento, fotointerpretação e sensoriamento remoto.

### 2.1.8 INDICADORES DA LINHA DE COSTA

Como exposto por Boak & Turner (2005), a definição dos indicadores da posição da linha de costa a ser empregada em determinado trabalho é uma importante atividade prévia para a sua delimitação, no entanto o conceito específico é geralmente menos importante do que a capacidade de detectar e quantificar a variação da posição da mesma. Dessa forma, segundo os mesmos autores, os indicadores podem ser divididos em dois grupos (Figura 10):

Figura 10 - Indicadores da posição da linha de costa.



Fonte: Adaptado de Boak & Turner (2005)

I-) relacionados ao nível de água, localizados onde o perfil de praia interage com a variação da maré e o espriamento das ondas; e

II-) relacionados às feições costeiras discerníveis visualmente, que podem ser subdivididos em três subgrupos:

a) indicadores alinhados em estruturas construídas pelo homem: obras de engenharia que alteram consideravelmente as costas naturais e em grande parte são edificações com o objetivo de proteção costeira.

b) feições morfológicas indicadoras: feições resultantes da interação morfodinâmica costeira com o pacote sedimentar.

c) indicadores referentes a posição da linha d'água: representada pela posição da linha d'água na margem das terras emersas sendo reconhecidas apenas visualmente.

Também, segundo estes mesmos autores, recentemente uma terceira categoria de indicadores de linha de costa pode ser utilizada, a extraída a partir de técnicas de processamento digital de imagens aéreas, que muitas vezes não são visíveis ao olho humano.

Destacam-se, dentre os indicadores apresentados, os relacionados ao nível do mar na face praial (H, I, J, K, L e M), principalmente o “K – linha de espraiamento” (*high water level* – *hwl* ou também denominado *wet/dry line*) que se apresenta como um bom indicador da condição da praia (PAJAK & LEATHERMAN, 2002), uma vez que a delimitação deste reflete o trabalho das ondas e da maré sobre a face da praia em um determinado momento (escala instantânea) e também é de melhor indicação pelo usuário. Referindo-se a escala temporal dos indicadores de posição da linha de costa, há de se considerar que os mesmos dependem da atuação dos processos costeiros como as marés, condições atmosféricas, o grau de inclinação da praia, a altura de quebra de ondas, entre outros (OERTEL, 2005). Estes determinam as variações em sua posição na escala de segundos, contribuindo instantaneamente com a resultante do comportamento da costa em escalas decadais e seculares (SCHWEITZER, 2013).

Devido a dinâmica do posicionamento dos indicadores da linha de costa, levando em conta a intervenção antrópica, como, por exemplo, as obras costeiras, a escolha do indicador deve considerar as escalas temporal e espacial dos ambientes costeiros, juntamente com a variabilidade temporal do trabalho/pesquisa a ser realizado (BOAK & TURNER, 2005).

## 2.1.9 SUMÁRIO

Após a fundamentação teórica que embasou o desenvolvimento desta tese, são listadas algumas conclusões:

- 1- As praias, por serem ambientes sedimentares transicionais, dinâmicas, regidas por forçantes como vento, correntes litorâneas e marés, não devem ser tratadas como um sistema físico-natural único, uma vez que a circulação sedimentar pode transpassar obstáculos fixos.
- 2- Em virtude das diferentes dimensões (extensão e largura) que as praias possuem, como também as diferentes escalas temporais, espaciais e intensidades que as forçantes atuam, a determinação de um intervalo de tempo para a análise de seu comportamento é providencial para o objetivo da análise almejada.
- 3- Os promontórios rochosos são importantes feições geomorfológicas para a compreensão da morfologia costeira, uma vez que são obstáculos para a circulação sedimentar e ponto de ancoragem para feições e planícies sedimentares.
- 4- O processo de transposição demonstra que para a compreensão do comportamento sedimentar de uma praia devem-se levar em consideração as condições físico-naturais das praias adjacentes.
- 5- Os pontais arenosos, por serem feições sedimentares e dinâmicas, possuem total dependência do aporte sedimentar à barlamar de seu ponto de ancoragem e a redução deste aporte, mesmo que em distintas escalas temporais, pode levar a feição a sofrer alterações bruscas em sua morfologia.
- 6- A presença das feições *cusplate forelands* contribuem para a compreensão da dinâmica sedimentar e quando relacionada as condições hidrodinâmicas podem evidenciar comportamentos sedimentares de praias posteriores as mesmas.
- 7- A definição do indicador da linha de costa é fundamental para a compreensão do regime sedimentar de uma praia em virtude das diferentes evidências que determinado indicador pode demonstrar.

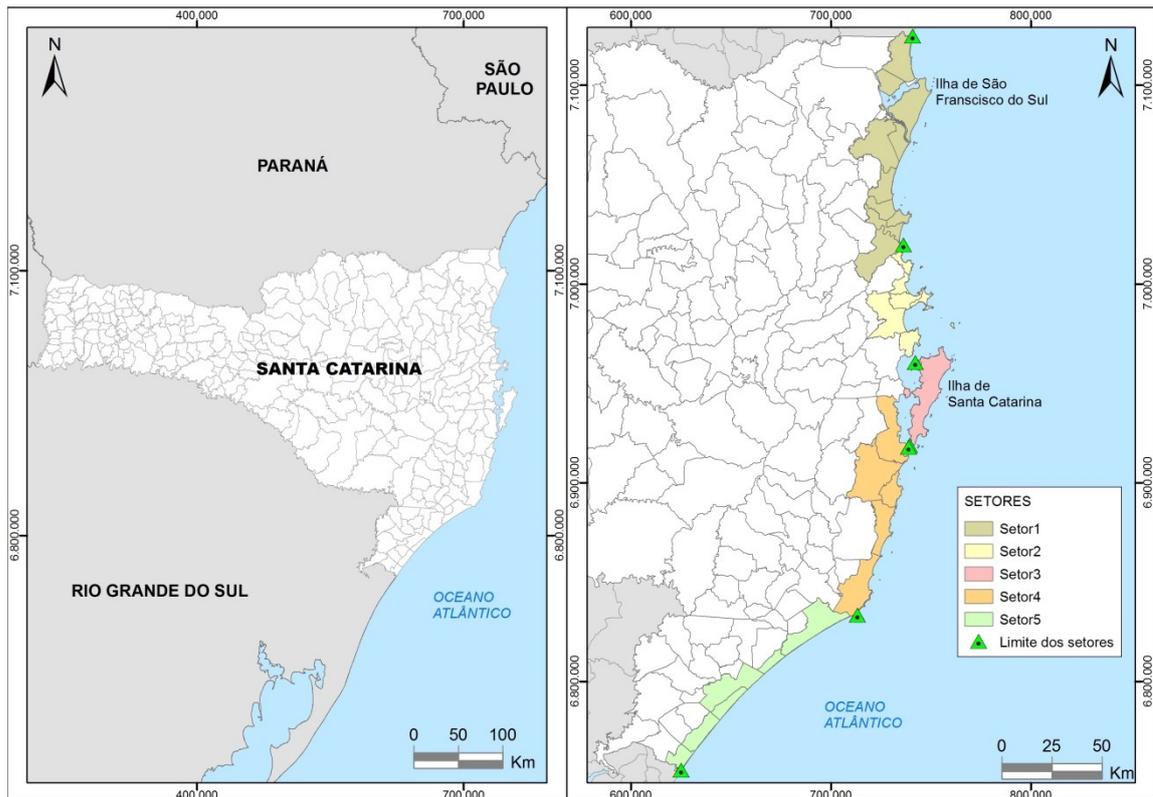
### 3 CAPÍTULO 3

Neste capítulo é apresentada a localização geográfica da área de estudo e os principais aspectos físico-naturais presentes e atuantes.

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA

A área de estudo está localizada no litoral do estado de Santa Catarina, abrangendo toda a extensão da linha de costa catarinense, compartimentada em cinco setores de acordo com Klein & Short (2016), e também individualizada em duas subáreas: a primeira no setor 1, na ilha de São Francisco do Sul, e a segunda no setor 3, na ilha de Santa Catarina (Figura 11).

Figura 11 - Localização do estado de Santa Catarina na região Sul do Brasil e a delimitação geográfica de seu litoral.

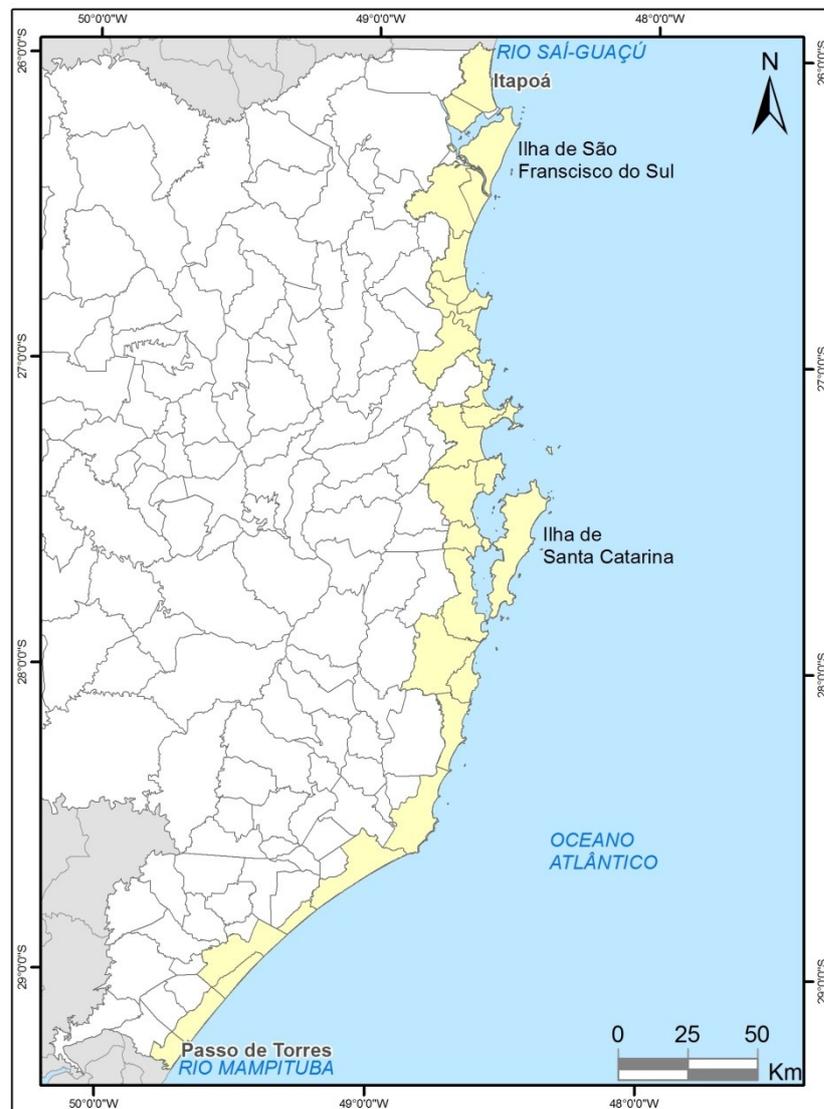


Fonte: Elaboração do autor a partir da base de dados do IBGE (2013).

O litoral do estado de Santa Catarina está situado entre as latitudes Sul  $25^{\circ}57'41''$  e  $29^{\circ}23'55''$ . É limitado a sul, com o estado do Rio Grande do Sul, pelo rio Mampituba, no

município de Passo de Torres, e a Norte, com o estado do Paraná, pelo rio Saí-guaçú, no município de Itapoá (Figura 12).

Figura 12 – Litoral do estado de Santa Catarina



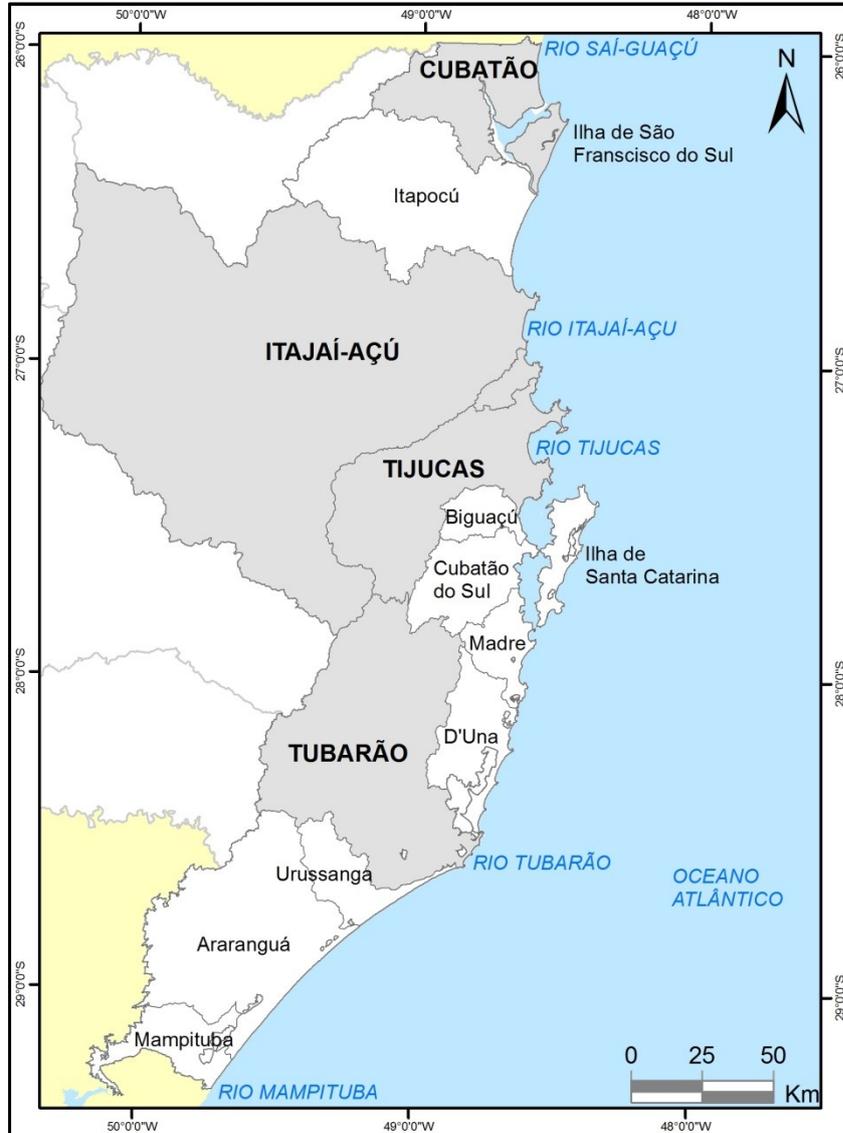
Fonte: Elaboração do autor a partir da base de dados do IBGE (2013).

A linha de costa, de acordo com Klein *et al.*(2016), possui 921,6km de extensão e é composta por (I) Praias arenosas (57,8%), (II) Promontórios/Costão rochosos (27,6%), (III) Infraestrutura/Áreas Antropizadas (5,2%), (IV) Vegetação/Manguezal (7,7%) e (V) Desembocaduras (1,7%).

A rede hidrográfica da zona catarinense está inserida no sistema de drenagem da vertente Atlântica, formada por 12 bacias hidrográficas que desaguam a partir do embasamento e da planície costeira em direção a leste (SANTA CATARINA, 2006). As

bacias do Rio Itajaí-Açu, Tijucas, Cubatão do Sul e Tubarão são as principais fontes de sedimentos de acordo com Klein & Short (2016) (Figura 13).

Figura 13 - Bacias hidrográficas da vertente atlântica do estado de Santa Catarina



Fonte: Elaboração do autor a partir da base de dados do IBGE (2013) e Secretaria de desenvolvimento sustentável do estado de Santa Catarina (2010).

### 3.1.1 SUBÁREA 1 - ILHA DE SÃO FRANCISCO DO SUL

Na Ilha de São Francisco do Sul, duas praias/pontais foram selecionadas para esta tese:

### 3.1.1.1 Praia do Forte e Pontal do Capri

Para esta tese está sendo considerado como um único sistema deposicional a praia do Forte e o Pontal do Capri, localizados na porção Norte da ilha de São Francisco do Sul (Figura 14).

Figura 14 - Localização do Pontal do Capri e praia do Forte, ilha de São Francisco do Sul/SC.



Fonte: Elaboração do autor a partir da imagem de satélite disponível no *software* Google Earth.

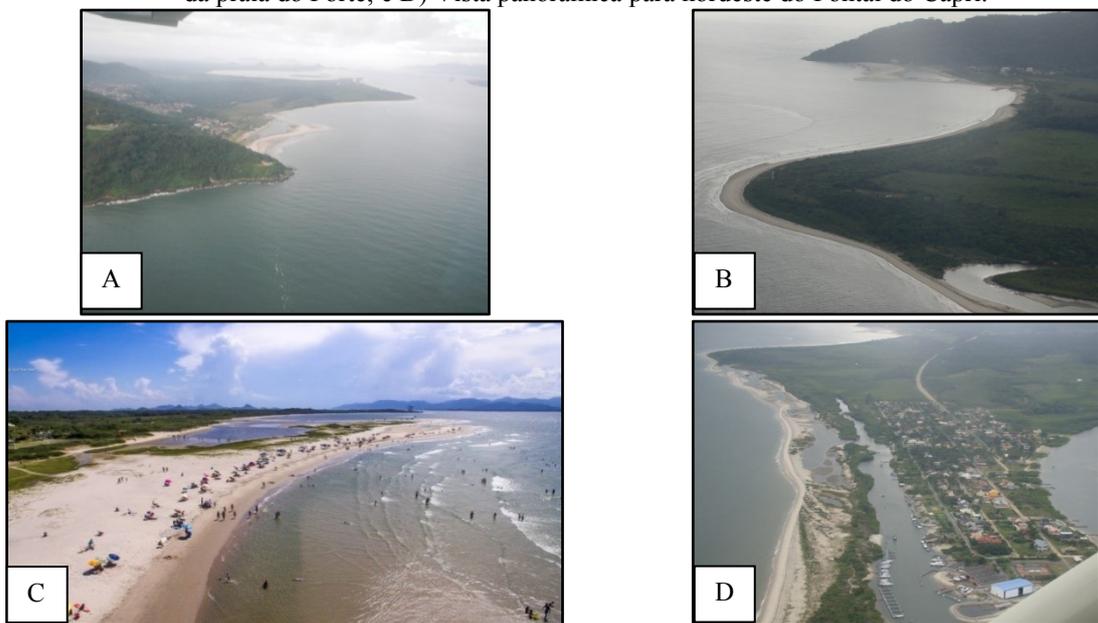
Este sistema é limitado a leste pelo morro do Forte (ponta de João Dias) e a norte-noroeste pelo estuário da baía da Babitonga. De acordo com Abreu (2011), o Pontal do Capri e em menor escala o pontal arenoso do Forte são importantes acúmulos sedimentares formados decorrentes da inflexão da deriva litorânea em direção ao estuário, aliada a atuação de correntes de maré.

Este pontal arenoso, situado na porção leste da praia, é contíguo ao morro do Forte. O pontal está orientado no sentido leste-oeste (E-W) e de acordo com a imagem de satélite de 31/07/2019, disponível no *software* Google Earth, a feição possui aproximadamente 1000m de extensão e largura variada. Em sua porção posterior há a presença de uma laguna regulada pelo regime de maré e aporte pluvial.

O Pontal do Capri encontra-se a sudoeste da praia do Forte e possui aproximadamente 3.600m de extensão. Apresenta uma laguna no seu interior uma considerável área urbanizada (residências e vias). Atualmente a laguna recebe aporte de um curso d'água originado na porção Norte da planície da ilha de São Francisco e também da

baía da Babitonga, que eventualmente rompe a barreira arenosa. Já na porção central do sistema deposicional praia do Forte – Pontal do Capri ocorre uma saliência denominada Ponta do Sumidouro (Figura 15B). Esta é formada por cordões arenosos e possui uma desembocadura de um curso d’água proveniente da planície costeira que recebe aporte das águas pluviais e ocasionalmente se interliga com a laguna situada no Pontal do Capri (Figura 15D).

Figura 15 - A) Vista panorâmica para Noroeste do setor Norte da Ilha de São Francisco do Sul; B) Vista panorâmica no para nordeste da saliência Ponta do Sumidouro e praia do Forte; C) Vista panorâmica para oeste da praia do Forte; e D) Vista panorâmica para nordeste do Pontal do Capri.



Fonte: A, B e D: Antonio Henrique da Fontoura Klein. C: Igor Foerster/Voodoo Productions.

### 3.1.1.2 Praia da Enseada

A praia da Enseada, localizada a nordeste da ilha de São Francisco do Sul, é limitada a leste pelo Morro da Enseada e a oeste pela foz do rio Acaraí. Contíguo ao morro da Enseada encontra-se uma estrutura rígida de origem antropogênica (molhe) construído em meados dos anos de 1970 pela PETROBRAS S.A (Figura 16, Figura 17, Figura 17A e Figura 17B).

Esta estrutura, de acordo com Abreu (2011) e UNIVALI (2013), alterou significativamente a dinâmica oceanográfica e sedimentar da Praia da Enseada, refletindo diretamente no comportamento natural da foz do Rio Acaraí (Figura 17A e Figura 17B).

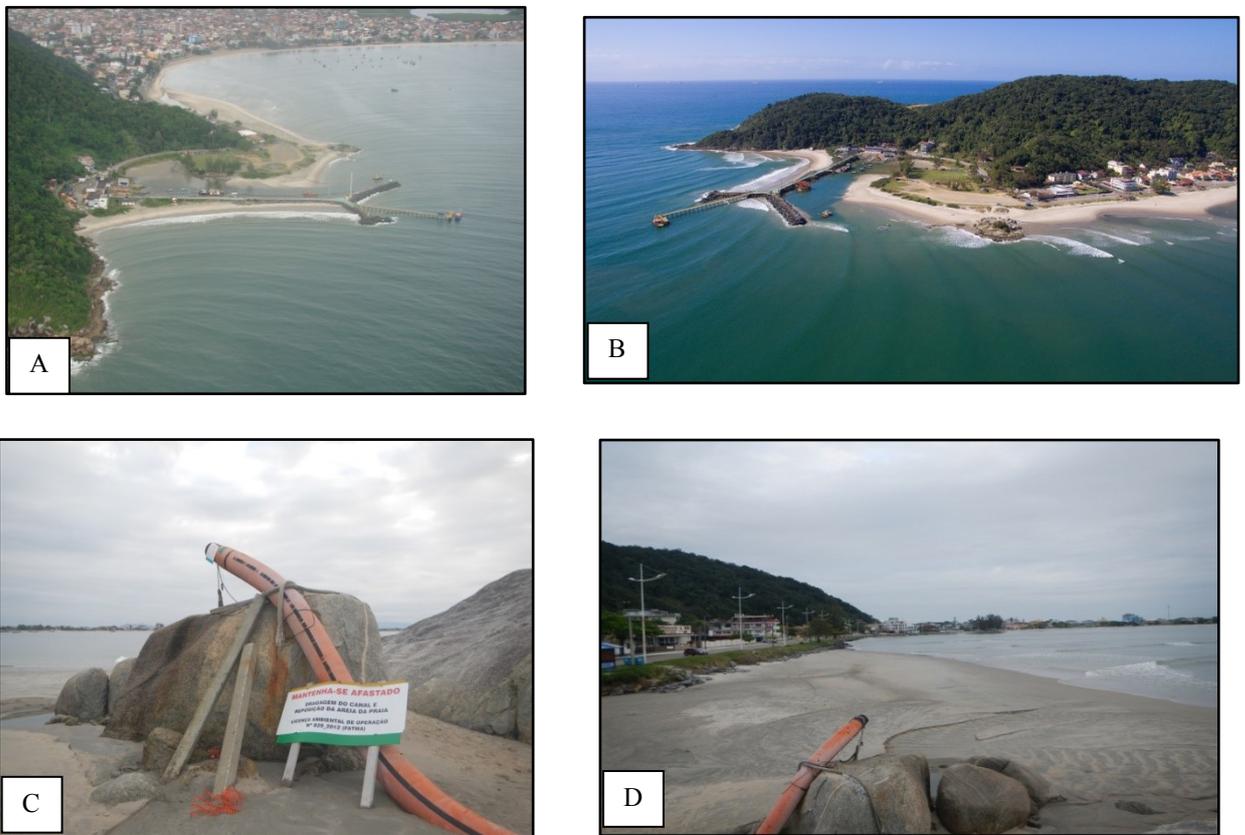
Figura 16 - Localização da Praia da Enseada, Ilha de São Francisco do Sul/SC.



Fonte: Elaboração do autor a partir da imagem de satélite disponível no *software* Google Earth

Devido tais alterações, houve a necessidade por parte da PETROBRÁS a instalação de um sistema de dragagem junto a estrutura para repor a carga sedimentar retida (Figura 15c e 15 d).

Figura 17 - A) Vista panorâmica para sudoeste da praia da Enseada e o molhe da PETROBRAS ; B) Vista panorâmica para nordeste da praia da Enseada e o molhe da PETROBRAS; C) Tubulação do sistema de dragagem; e D) Vista para sul da praia da Enseada



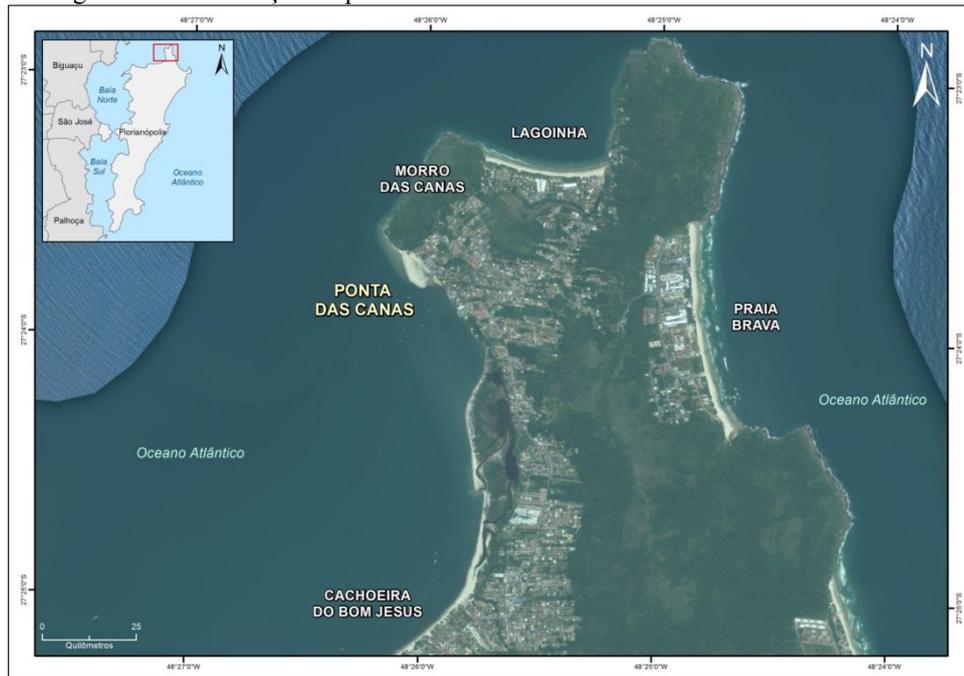
Fonte: A: Antonio Henrique da Fontoura Klein. B: Igor Foerster/Voodoo Productions. C e D: José Mauricio de Camargo

### 3.1.2 SUBÁREA 2 – ILHA DE SANTA CATARINA

#### 3.1.2.1 Praia de Ponta das Canas

A praia de Ponta das Canas está situada ao Norte da ilha de Santa Catarina (Figura 18). É limitada a sul pela Praia da Cachoeira do Bom Jesus, a norte pelo promontório de morro das Canas e a oeste pelo oceano Atlântico. De acordo com Mendonça *et al.*, (1988) e Nunes (2002) a origem do corpo lagunar existente nesta praia é associada ao fechamento de uma antiga enseada por um pontal arenoso que desenvolveu-se a partir da deriva litorânea no sentido predominante N-S, sendo resultado da ocorrência do mecanismo de transposição sedimentar conforme exposto por Vieira da Silva *et al.* (2016).

Figura 18 - Localização da praia de Ponta das Canas na ilha de Santa Catarina/SC.



Fonte: Elaboração do autor a partir da imagem de satélite disponível no *software* Google Earth.

### 3.2 ASPECTOS FÍSICO-NATURAIS

São apresentados a seguir de forma sucinta aspectos gerais de ordem físico-natural do litoral de Santa Catarina, envolvendo principalmente os aspectos geológicos-geomorfológicos e oceanográficos.

#### 3.2.1 Geologia- Geomorfologia

A geologia do estado de Santa Catarina, de acordo com Scheibe (1986), é formada por inúmeras superposições de eventos geotectônicos, que resultam, no sentido leste-oeste, no afloramento de sedimentos recentes do litoral, numa faixa de rochas magmáticas e metamórficas mais antigas, na sucessão das rochas sedimentares gondwânicas e nos derrames de lavas básicas, intermediárias e ácidas da Serra Geral.

Horn Filho *et al.* (1994) compartimentaram a geologia catarinense em cinco grandes províncias: Escudo Catarinense, Bacia do Paraná, Planalto da Serra Geral, Complexo Alcalino e Província Costeira onde esta, por sua vez, é constituída de duas unidades geológicas maiores: o embasamento e as bacias sedimentares de Santos e Pelotas.

O embasamento, caracterizado pelo arcabouço-estrutural, representa as terras altas da Província Costeira, na forma de elevações, maciços rochosos, promontórios, pontais e ilhas

continentais (HORN FILHO, 2003). As bacias sedimentares, de caráter deposicional ou construcional pela expressiva acumulação de sedimentos, suavização das feições morfológicas e minimização de suas declividades (ZEMBRUSCKI, 1979), são constituídas, de acordo com Horn Filho (2003), por dois setores interdigitados e limitados pelo sistema praial: o setor submerso, representado pela plataforma continental, e o setor emerso, representado pela planície costeira, sendo que esta abrange os depósitos de origem continental e os depósitos transicionais ou costeiros.

Referindo-se aos promontórios rochosos e segundo Santa Catarina (2010), os mesmos são classificados como embasamento cristalino e possuem distintas formações geológicas, tais como as listadas abaixo e de acordo com a setorização do litoral de Santa Catarina utilizado nesta tese:

- Setor 1: Complexo Tabuleiro e Complexo Granulítico
- Setor 2: Complexo Brusque, Complexo Camboriú, Granito Guabiruba, Granidiorito Estaleiro, Granito Zimbros, Granitóide Valsungana, Granito Morro dos Macacos e Granito Tabuleiro.
- Setor 3: Granito Ilha, Riolito Cambirela,
- Setor 4: Granito Tabuleiro, Granito Ilha, Granitoide Paulo Lopes, Granito Serra do Tabuleiro.
- Setor 5: Granito Serra do Tabuleiro.

Quanto aos depósitos costeiros situados na planície costeira, a origem é associada às oscilações do nível do mar durante o Quaternário, sendo composta por depósitos sedimentares formados entre o Pleistoceno e o Holoceno nos ambientes marinho, eólico, lagunar e paludial onde as principais formas de relevo são os terraços, dunas, cordões regressivos e planícies (CARUSO JR *et al.*, 1999; HORN FILHO, 2003; ABREU, 2011).

Dessa forma, de maneira geral, a área de estudo está inserida neste complexo sedimentar costeiro, cuja predominância geológica é caracterizada pelos depósitos marinho praias e pelos depósitos eólicos, ambos de idade holocênica, que exibem uma variedade morfológica em decorrência da diversidade de características geomorfológicas, sedimentológicas e morfodinâmicas.

Referindo-se a geomorfologia costeira catarinense, Klein (2004) e FitzGerald *et al.*, (2007) dividiram a costa em quatro segmentos baseado nos depósitos quaternários e no embasamento cristalino:

1º) Baía de Guaratuba (Paraná) à ponta do Vigia (Penha/SC): região com grande oferta de sedimentos e presença de planícies regressivas entre os sistemas estuarinos. Linha de costa ligeiramente irregular devido ao espaçamento dos promontórios.

2º) Ponta do Vigia (Penha/SC) à ilha do Papagaio (Palhoça/SC), incluindo a ilha de Santa Catarina: segmento com linha de costa irregular dominado por promontórios rochosos, baías e enseadas. Apresenta sistemas de barreiras transgressivas e regressivas.

3º) Ilha do Papagaio (Palhoça/SC) ao cabo de Santa Marta Grande (Laguna/SC): segmento de linha de costa com a presença de promontórios rochosos, com dimensões menores e maior espaçamento se comparado ao 2º segmento, que resulta em grandes sistemas de barreiras transgressivas e campo de dunas ativos.

4º) Cabo de Santa Marta Grande (Laguna/SC) ao rio Mampituba (Passo de Torres): segmento de linha de costa contínuo, limitado apenas por desembocaduras de rios que alcançam o mar, dominado por barreiras transgressivas de idade pleistocênica e holocênica e presença de numerosos campo de dunas ativos.

De acordo com Klein & Short (2016), os sedimentos costeiros são originados do sistema de drenagem continental, destacando a carga sedimentar provinda do rio da Prata (Argentina/Uruguai) e do alcance fluvial dos rios provenientes da vertente Atlântica do estado de Santa Catarina. A granulometria varia de areia fina a areia grossa em toda a extensão do litoral, merecendo destaque a predominância de areia fina até a região do cabo de Santa Marta Grande.

Em suma, os aspectos geológicos e geomorfológicos da zona costeira catarinense possui uma diversidade estrutural e morfológica que influenciam diretamente no comportamento de curta e larga escala da linha de costa, uma vez que a dinâmica sedimentar está totalmente atrelada a tais aspectos, como também relacionados as forçantes primárias externas (ondas, correntes litorâneas e ventos).

### **3.2.2 Oceanografia**

Consideram-se aqui como agentes oceanográficos importantes no contexto do litoral catarinense: as ondas, as marés e as correntes litorâneas.

De acordo com Araújo *et al.*, (2003), a partir de um ondógrafo fundeado a 35 km da Ilha de Santa Catarina, ocorrem cinco padrões de ondas incidentes na costa catarinense, consistindo em três ondulações e dois tipos de vagas: ondulação de sul ( $\theta=162^\circ$ ), período de

11,4s, e HS entre 1,25 e 2m; ondulação de sudeste ( $\theta=146^\circ$ ), período de 14,2s, e HS entre 1,50 w 2m; vagas de leste ( $\theta=92^\circ$ ), período 8,5s e HS entre 0,75 e 1,75m; vagas de nordeste ( $\theta=27^\circ$ ), HS > 0,75m; e vagas de sul ( $\theta=188^\circ$ ) período de 7,7s e HS > 1m. Ondas de até 4m, provenientes do sul, podem ocorrer durante todas as estações do ano, mas geralmente estão associadas a eventos de tempestade.

Franco & Melo (2008) demonstraram que ondas com alturas maiores que 4m são observadas nas estações de inverno e primavera, sendo que no inverno podem ocorrer ondas de até 7m de altura. De maneira geral, as ondulações provenientes do leste (quadrantes nordeste e sudeste) e sul são predominantes na costa catarinense (ARAÚJO *et al.* 2003).

Ao longo da costa catarinense as marés são caracterizadas como micro-maré, variando de 1,05m ao norte a 0,46m ao sul (DHN, 2005). De acordo com Trucollo (1998), os efeitos meteorológicos da maré podem provocar uma elevação de até 1m acima da maré astronômica, principalmente entre as estações do ano.

Trucollo e Schettini (1999) destacaram que a baía da Babitonga é caracterizada pelo regime de maré do tipo misto, predominantemente semidiurno com desigualdades de alturas para as preamares e baixa-mares consecutivas, onde a amplitude média da maré na praia da Enseada e do porto de São Francisco do Sul são de 70 e 85cm respectivamente, com valores máximos de 106 e 128cm. Outra característica importante apresentada por Trucollo e Schettini (1999) sobre a baía da Babitonga é a dominância de enchente de maré que aliada a inflexão da deriva litorânea em direção ao estuário favorece a formação dos pontais arenosos, tais como aqueles observados na praia do Forte e no pontal do Capri (ABREU, 2011).

De acordo com Souza *et al.* (2005), as correntes litorâneas longitudinais representam os principais sistemas de circulação e agentes de retrabalhamento e distribuição dos sedimentos ao longo da costa. Hoefel (1998) destacou que os efeitos provocados pela deriva litorânea são claramente notados nas praias quando existe a interrupção das mesmas por obstáculos, onde há a deposição a barlamar e erosão a sotamar.

No litoral de Santa Catarina há poucas informações de campo disponíveis de dinâmica e mensuração da corrente longitudinal em campo, sendo os registros existentes relacionados a medidas pontuais em praias da Ilha de Santa Catarina, tais como os trabalhos de Cruz (1993), Cruz (1998) e Faraco (2003) na praia dos Ingleses, Abreu de Castilhos (1995), Abreu de Castilhos *et. al.* (1997) e Abreu de Castilhos *et. al.* (1998) na praia da Armação do Pântano do Sul, Leal (1999) na praia da Barra da Lagoa-Moçambique. Já na ilha de São Francisco do Sul,

Abreu (2011) realizou medições de campo da corrente longitudinal e sua relação com o comportamento ortogonal do ambiente praial.

Referindo-se a trabalhos com a utilização de modelagem, merecem destaque a análise de Vieira da Silva *et al.* (2016) na porção norte da Ilha de Santa Catarina e de Costa *et al.* (2019) na porção norte da ilha de São Francisco do Sul, onde ambos os trabalhos abordam as áreas de estudo desta tese. Siegle & Asp (2007), também através de modelagem numérica, verificou o comportamento da corrente longitudinal na porção sul do estado de Santa Catarina.

Assim, pode-se determinar a partir dos trabalhos supracitados que o sentido predominante da corrente longitudinal no litoral catarinense é sul-norte, ocorrendo uma inversão sazonal de sentido em condições de primavera devido a incidência de ondas de leste, que é compensada nos meses de outono e inverno com a incidência de ondas de sul.

### **3.2.3 Comportamento da linha de costa do estado de Santa Catarina**

O comportamento da linha de costa das praias do estado de Santa Catarina é objeto de uma quantidade relevante de estudos onde são utilizadas duas metodologias principais: de forma indireta com análise de série histórica de fotografias aéreas e imagens de satélite e de forma direta com monitoramento de campo com técnicas de topografia.

Assim, na tabela 1 seguem os principais estudos de análise de variação da linha de costa, de forma indireta, do estado de Santa Catarina, a(s) praia(s) estudada(s), o período de análise e as taxas de variação.

Tabela 1 – Principais trabalhos sobre o comportamento da linha de costa no estado de Santa Catarina

Estudo	Praia(s)	Período	Taxa de variação
Souza (1999)	Itapoá	1957 a 1995	Apresenta comportamentos variáveis: Setor norte (Desembocadura do Rio Saí- Guaçu) dinâmica da desembocadura, rompimento e migração no sentido norte; Setor central com a linha de costa estável; e Setor Sul (associada a desembocadura da Baía da Babitonga) progradação de cerca de 200m no período medido.
Güttler (2006)	Rio das Pacas (Florianópolis)	11/2004 a 11/2005	Apresenta um lineamento sem escala a partir da posição de início e fim dos perfis, porém, não calcula taxas de variação da linha de costa.
Schweitzer (2007)	Brava (Florianópolis)	1938 a 2002	Apresenta a fotointerpretação da praia ao longo dos anos, porém, de maneira qualitativa e não apresenta taxas de variação da linha de costa.
Vieira da Silva (2009)	Desembocadura do rio Araranguá (Araranguá)	1938 a 2005	Valor médio total para a praia de 0,73 m/ano.
	Camacho (Jaguaruna)	1938 a 2003	Setor oeste da desembocadura do canal com taxa de -0,72 m/ano e setor leste, com taxa de 0,39 m/ano.
	Guarda do Embaú (desembocadura do rio da Madre – Palhoça)	1938 a 2006	Linha de costa estável (tendências de retração entre os anos de 1938 e 1978, compensadas pela progradação entre os anos de 1998 e 2006).
Freitas et al. (2010)	Itapocorói (Penha)	1957 a 1995	Diferentes taxas de acordo com os perfis traçados, variando entre $0,6 \pm 0,26$ m/ano e $-0,95 \pm 0,26$ m/ano.
Brezolin (2011)	Armação (Florianópolis)	1938 a 2010	Não apresentou taxa e, sim, uma variação média total para o período na ordem de -13,5 m (setor norte), -25 m (setor centro) e 8 m (setor sul).
Maranhão (2011)	Baía da Babitonga (São Francisco do Sul)	1938 a 2009	Setor 1 com variação de 2,24 m/ano a -0,31 m/ano; Setor 2 variando entre 0,25 m/ano e -1,30 m/ano.
	Ubatuba e Enseada (São Francisco do Sul)	1938 a 2009	Variação média de 3,5 m/ano, tanto de retrogradação como de progradação da linha de costa durante os intervalos dos registros.
	Desembocadura do rio Cubatão (Palhoça)	1938 a 2009	Avalia a posição do canal e não calcula taxa de variação da linha de costa.
	Siriú (Garopaba)	1938 a 2009	Setor norte com taxa média de -0,74 m/ano; Setor sul com taxa média de 0,04 m/ano.
Porpilho (2012)	Itapoá (Itapoá)	1957 a 2008	Setor 1 variando entre as médias máximas de -3,75 m/ano a 1,26 m/ano; Setor 2 variando entre as médias máximas de -0,92 m/ano a 0,37 m/ano; Setor 3 com média de -0,43 m/ano.
De Camargo (2012)	Armação do P. do Sul (Florianópolis)	1978 a 2011	Valor médio de toda a extensão da praia de -039 m/ano
Dalbosco (2013)	Armação do P. do Sul (Florianópolis)	1938 a 2011	Valor médio total para a praia de -0,07 m/ano ( $\pm 0,04$ m/ano). Nos setores Norte e Central a praia sofreu retração (-0,33 e -0,36 m/ano), com progradação no setor Sul (0,42 m/ano).
Oliveira et al. (2017)	Cigana e Cardoso (Laguna)	1938 a 2012	Valores estáveis (-10m/ano a 10m/ano) e valores de retração (>-10 m/ano) e de progradação (>10m/ano).
Venturoli (2017)	Brava (Itajaí)	1938 a 2015	Valor médio total para a praia de -0,18 m/ano.

	Do Buraco (Balneário Camboriú)	1938 a 2015	Valores médios inferiores ao EQM – considerada estável.
	Balneário Camboriú (Balneário Camboriú)	1938 a 2015	Estabilidade entre os anos avaliados, com rotação praial (taxas positivas na porção norte da praia e negativas na porção sul), além de taxas próximas a zero na porção central da praia.
	Laranjeiras (Balneário Camboriú)	1938 a 2015	Valores médios inferiores ao EQM – considerada estável.
	Taquarinhas/Taquaras (Balneário Camboriú)	1938 a 2015	Valores médios inferiores ao EQM – considerada estável.
	Do Pinho (Balneário Camboriú)	1938 a 2015	Valores médios inferiores ao EQM – considerada estável.
	Estaleiro (Balneário Camboriú)	1938 a 2015	Valores médios inferiores ao EQM – considerada estável.
	Estaleirinho (Balneário Camboriú)	1938 a 2015	Valores médios inferiores ao EQM – considerada estável.
Luijendijk et al. (2018)	Todas as praias do litoral de Santa Catarina	1984 a 2016	Valores diversos ao longo de todas as praias.

Fonte: Elaboração do autor

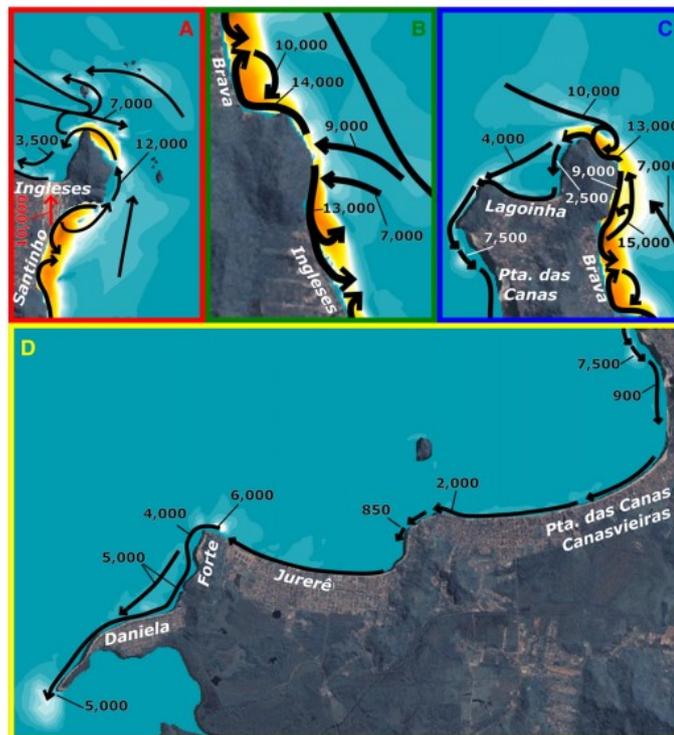
Como apresentado na Tabela 1, os trabalhos realizados, em virtude da escala espacial e precisão de mensuração, podem demonstrar diferentes valores numéricos das taxas de variação da linha de costa. Contudo a classificação do comportamento desta, sendo retração, estabilidade e progradação, se apresentam coerentes. Destaca-se o estudo realizado por Venturoli (2017) que verificou o comportamento da linha de costa relacionando com o processo de transposição sedimentar.

### 3.2.4 A transposição sedimentar no estado de Santa Catarina

Como anteriormente exposto, o processo de transposição sedimentar em praias do estado de Santa Catarina foi verificado em trabalhos pretéritos.

Vieira da Silva *et al.* (2016) e Vieira da Silva *et al.* (2016b) constataram o processo de transposição sedimentar entre praias limitadas por promontórios rochosos na porção norte da ilha de Santa Catarina. Nesses foram quantificados o sentido e a intensidade das correntes longitudinais, o processo de transposição sedimentar e a formação dos pontais arenosos com uma taxa de formação em 60 anos de aproximadamente  $7500\text{m}^3/\text{ano}$  (Figura 19).

Figura 19 – Valores previstos do transporte sedimentar ( $\text{m}^3/\text{ano}$ ) e direção das correntes na porção norte da ilha de Santa Catarina.



Fonte: Vieira da Silva *et al.* (2016)

Quanto ao pontal arenoso da praia de ponta das Canas, De Camargo *et al.* (2016) confirmaram a sua evolução como resultado da transposição sedimentar, uma vez que as características cíclicas envolvendo a deposição e erosão do pontal, acompanhado da formação e remoção da laguna interna corroboraram com o modelo proposto por Short (1999).

Na ilha de São Francisco do Sul, Abreu (2012) e Costa *et al.* (2019) analisaram respectivamente o comportamento das correntes longitudinais e transporte sedimentar nas praias de sua porção norte e da baía da Babitonga. Nesses também foi confirmada a presença do processo de transposição, onde a formação do pontal arenoso na praia do Forte, como exposto por De Camargo *et al.* (2016), é resultante da transposição e possui um comportamento cíclico de deposição e erosão, que de acordo com Costa *et al.* (2019) a taxa de transporte sedimentar com as forçantes de onda e maré é na ordem de 160.000 m<sup>3</sup>/ano

### 3.3 SUMÁRIO

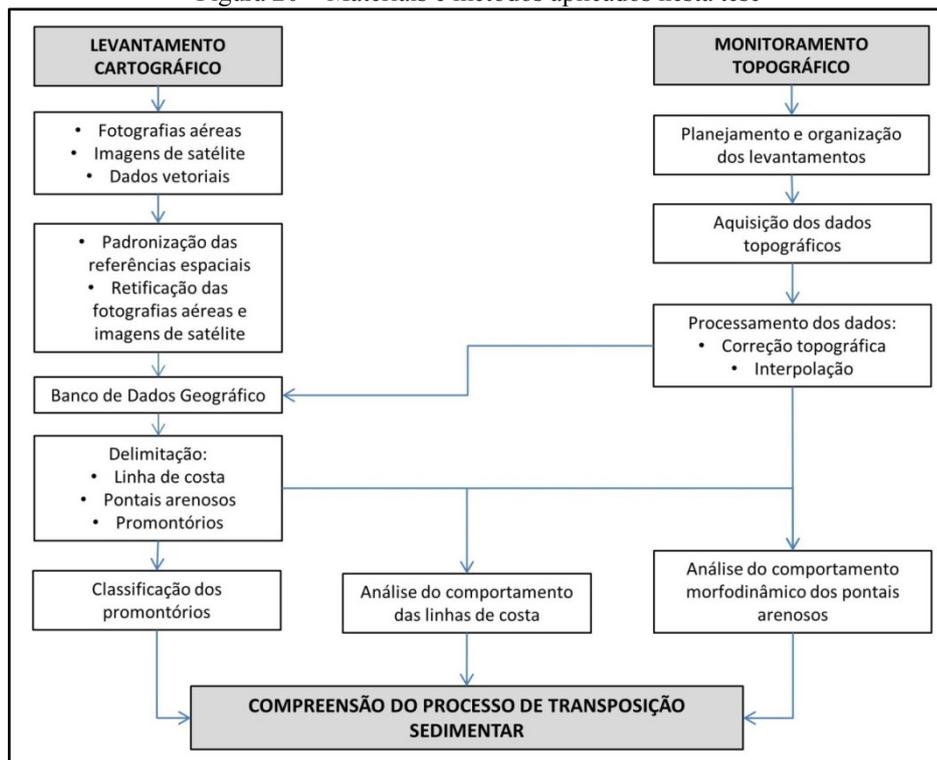
Em suma, o litoral do estado de Santa Catarina possui considerável quantidade e diversidade de estudos e projetos de pesquisas relacionados a descrição do clima atmosférico, características geológicas e geomorfológicas, principalmente acerca dos sistemas da planície costeira. Nota-se que o comportamento da linha de costa, bem como características morfodinâmicas de praias foram amplamente exploradas, porém há uma carência de pesquisas sobre correntes longitudinais, deriva litorânea, morfodinâmica da “zona de surf”, aspectos batimétricos ao redor dos promontórios rochosos e aporte sedimentar das bacias hidrográficas, que na eminência de serem realizados fornecerão subsídios para a compreensão do processo de transposição sedimentar e demais processos costeiros e oceanográficos pertinentes.

## 4 CAPÍTULO 4

### 4.1 MATERIAIS E MÉTODOS

Em virtude da extensão espacial da totalidade da área de estudo e a escala temporal abordada, 79 anos (1938 a 2017), além da revisão bibliográfica realizada, foi levantada e compilada uma grande diversidade de dados e informações cartográficas já existentes. Também foi realizado o monitoramento mensal dos pontais arenosos da Ponta das Canas e da praia do Forte através de levantamentos topográficos. Assim, a Figura 20 apresenta de forma sucinta os materiais e métodos aplicados para o alcance dos objetivos propostos, sendo esses detalhados no decorrer deste capítulo.

Figura 20 – Materiais e métodos aplicados nesta tese



Fonte: Elaboração do autor.

### 4.2 BASE DE DADOS GEOGRÁFICOS

A partir do levantamento de dados cartográficos realizado foi estruturada uma Base de Dados Geográficos com o emprego de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), o *software* ArcGIS 10.5.1. Este possibilitou que tais dados, de diferentes temáticas, escalas e

fontes, fossem sistematizados de forma que a sua totalidade tivessem as mesmas referências espaciais.

Como base cartográfica de referência espacial geral foi utilizada o Aerolevante do Estado de Santa Catarina (SANTA CATARINA, 2012) devido a sua qualidade e precisão de informações, como também por ser a única base de dados existente, que no período de desenvolvimento da tese, atendesse toda a extensão do litoral catarinense. As referências espaciais deste aerolevante são o Sistema de Coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator), Fuso 22, Datum SIRGAS2000.

Assim, a Base de Dados Geográficos foi estruturada, de forma que os processamentos e análises espaciais realizados permitissem aferir os erros a serem considerados, como também a elaboração de produtos gráficos que representassem os resultados desta tese.

#### 4.3 FOTOGRAFIAS AÉREAS E IMAGENS DE SATÉLITE

As fotografias aéreas e imagens de satélite utilizadas nesta tese estão listadas nas tabelas abaixo, Tabela 2 - toda a extensão do litoral de Santa Catarina, Tabela 3 - Praia de Ponta das Canas, Tabela 4 - Praia do Forte, e Tabela 5 – Praia da Enseada. Devido tais fotografias aéreas e imagens de satélite possuem diferentes escalas e provindas de diferentes fontes, foi necessário realizar o processo de retificação com base no Aerolevante do Estado de Santa Catarina (SANTA CATARINA, 2012). Esse processo foi realizado a partir da seleção de Pontos de Controle (PCs) necessários para a correção geométrica onde, de acordo com Araujo *et al.* (2009), esses pontos devem ser feições nítidas, bem visíveis e facilmente reconhecidas, localizadas tanto na base cartográfica como na fotografia aérea a ser georreferenciada.

Tabela 2 - Fotografias aéreas e imagens de satélites utilizadas para toda a extensão da linha de costa do estado de Santa Catarina

<b>Fonte</b>	<b>Escala</b>	<b>Ano</b>
Departamento Nacional de Produção Mineral	1:25.000	15/08/1978
Secretaria de Desenvolvimento Sustentável	1:10.000	2010
<i>Google Earth</i>	-	27/10/2014

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 3 - Fotografias aéreas e imagens de satélite utilizadas para a área de estudo de Ponta das Canas, ilha de Santa Catarina/SC.

<b>Nº</b>	<b>Fonte</b>	<b>Escala</b>	<b>Data</b>
1	Marinha dos EUA/União	1:30.000	04/1938
2	Secretaria de Planejamento e Gestão do Estado	1:25.000	1957
3	Departamento Nacional de Produção Mineral	1:25.000	15/08/1978
4	Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis	1:25.000	10/07/1994
5	Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis	1:35.000	2002
6	<i>Google Earth</i>	-	23/06/2003
7	<i>Google Earth</i>	-	2009
8	Santa Catarina 2012 - SDS	1:10.000	2010
9	<i>Google Earth</i>	-	28/05/2011
10	<i>Google Earth</i>	-	19/01/2012
11	<i>Google Earth</i>	-	19/09/2012
12	<i>Google Earth</i>	-	21/06/2013
13	<i>Google Earth</i>	-	14/09/2013
14	<i>Google Earth</i>	-	24/12/2013
15	<i>Google Earth</i>	-	20/01/2014
16	<i>Google Earth</i>	-	01/06/2014
17	<i>Google Earth</i>	-	27/10/2014
18	<i>Google Earth</i>	-	13/04/2015
19	<i>Google Earth</i>	-	25/04/2015
20	<i>Google Earth</i>	-	01/06/2015
21	<i>Google Earth</i>	-	09/06/2015
22	<i>Google Earth</i>	-	28/06/2015
23	<i>Google Earth</i>	-	09/07/2015
24	<i>Google Earth</i>	-	02/08/2015
25	<i>Google Earth</i>	-	22/05/2016
26	<i>Google Earth</i>	-	10/08/2016
27	<i>Google Earth</i>	-	05/02/2017

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 4 - Fotografias aéreas e imagens de satélite utilizadas para a área de estudo de praia do Forte, ilha de São Francisco do Sul/SC

Nº	Fonte	Escala	Data
1	Marinha dos EUA/União	1:30.000	04/1938
2	Secretaria de Planejamento e Gestão do Estado	1:25.000	1957
3	Departamento Nacional de Produção Mineral	1:25.000	15/08/1978
4	<i>Google Earth</i>	-	16/08/2003
5	Prefeitura Municipal de São Francisco do Sul	1:10.000	2005
6	Prefeitura Municipal de São Francisco do Sul	1:25.000	2006
7	<i>Google Earth</i>	-	05/08/2009
8	Secretaria do Desenvolvimento Econômico Sustentável	1:10.000	2010
9	<i>Google Earth</i>	-	31/05/2011
10	<i>Google Earth</i>	-	04/07/2011
11	<i>Google Earth</i>	-	05/11/2012
12	<i>Google Earth</i>	-	27/11/2012
13	<i>BaseMaps ArcGIS 10.1.5</i>	-	29/07/2013
14	<i>Google Earth</i>	-	04/08/2014
15	<i>Google Earth</i>	-	28/10/2016

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 5 - Fotografias aéreas e imagens de Satélites utilizadas para a área de estudo de Praia da Enseada, Ilha de São Francisco do Sul/SC

Nº	Fonte	Escala	Data
1	Marinha dos EUA/União	1:30.000	04/1938
2	Secretaria de Planejamento e Gestão do Estado	1:25.000	1957
3	Departamento Nacional de Produção Mineral	1:25.000	15/08/1978
4	Prefeitura Municipal de São Francisco do Sul	1:10.000	2005
5	Prefeitura Municipal de São Francisco do Sul	1:25.000	2006
6	<i>Google Earth</i>	-	16/08/2003
7	<i>Google Earth</i>	-	05/08/2009
8	Secretaria do Desenvolvimento Econômico Sustentável	1:10.000	2010
9	<i>Google Earth</i>	-	31/05/2011
10	<i>Google Earth</i>	-	05/11/2012
11	<i>Google Earth</i>	-	08/03/2014

Fonte: Elaborado pelo autor.

Dessa forma, para o processo de retificação das fotografias aéreas e imagens de satélite, foi iniciado a partir da padronização do tamanho de pixel de pelo menos 1m, conforme sugerido Araújo *et al.* (2009) e posteriormente foram utilizados ao menos 20 PCs distribuídos uniformemente ao longo das fotografias aéreas e imagens de satélite, de modo que a partir do cálculo de Erros Quadrático Médio (EQM ou RMS, *Root Mean Square*), proposto por FGDC-

STD (1998) e Araújo *et al.* (2009), fosse possível calcular o erro de intervalo de confiança de 95% das fotografias/imagens retificadas.

Para a análise da linha de costa em larga escala do estado de Santa Catarina foram utilizadas as fotografias aéreas dos anos de 1978 e 2010 e as imagens de satélite do ano de 2014, proporcionando um intervalo total de análise de 36 anos. A razão da utilização de somente estas três datas foi devido a baixa qualidade e possibilidade do processo de retificação das demais fotografias aéreas (1938 e 1957) e padronização temporal das imagens de satélites de anos posteriores provindas do *software Google Earth*.

A identificação e classificação dos promontórios rochosos teve como base a fotografia aérea do ano de 2010 (SANTA CATARINA, 2012), os parâmetros geométricos utilizados por George *et al.* (2015), a consulta ao acervo de fotografias panorâmicas do ano de 2013 de toda a extensão do litoral do estado de Santa Catarina pertencentes ao Laboratório de Oceanografia Costeira da Universidade Federal de Santa Catarina (LOC-UFSC) e a classificação da linha de costa realizada por Klein & Short (2016). Nesta classificação foram apresentadas cinco classes: promontórios/costões rochosos, desembocaduras, infraestrutura (estruturas rígidas antrópicas), praias arenosas e vegetação costeira (manguezais/pântanos) e destaca-se que na classificação realizada por esses autores, a classe de promontórios/costões rochosos compreende as extensões da linha de costa compostas por rochas contínuas na interface com o oceano, não havendo distinção quanto a existência da feição geomorfológica “Promontório”.

Já para análise dos pontais arenosos contíguos aos promontórios rochosos, foi utilizada a totalidade das fotografias aéreas e imagens de satélite apresentadas nas tabelas 1 e 2. Através das séries históricas das fotografias/imagens, foram estabelecidas relações entre as escalas espaciais e temporais do desenvolvimento e comportamento morfodinâmico desses pontais.

#### 4.4 DELIMITAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS PROMONTÓRIOS ROCHOSOS

Como mencionado acima, na delimitação e análise dos promontórios rochosos utilizou-se como base a fotografia aérea do ano de 2010 (SANTA CATARINA, 2012), parâmetros geométricos utilizados por George *et al.* (2015), a consulta ao acervo de fotografias panorâmicas do LOC-UFSC e a classificação da linha de costa realizada por Klein *et al.* (2016). Não obstante, para fins de classificação destas feições, em virtude de um dos objetivos desta tese ser de verificar a influência da geometria dos promontórios rochosos

no processo de transposição sedimentar, os parâmetros geométricos e geomorfológicos propostos por George *et al.*, (2015) foram adaptados para quantificação do tamanho, da complexidade de cada promontório e a sua relação com a tendência morfológica da linha de costa do Estado de Santa Catarina. Este conjunto de parâmetros foi extraído através do *software* ArcGIS 10.5.1 com base no esquema apresentado na Figura 21.

Figura 21 - Parâmetros utilizados para a análise dos promontórios rochosos



Fonte: Adaptado de George *et al.*, (2015)

Onde:

C: Comprimento (m) do promontório a partir do ponto médio de L até o alcance da porção mais extrema do promontório.

L: Largura (m) do promontório considerando o alcance linha de costa arenosa intercepta o limite da feição rochosa.

N: Referência do norte para o cálculo do azimute

P: Perímetro (m) do promontório rochoso.

A: Azimute em graus ( $^{\circ}$ ) no sentido horário como referência a direção de incidência das ondas (sul, sudeste, leste e nordeste).

Posteriormente, foi aplicado o método estatístico de escalonamento multidimensional (MDS) que possibilita, de acordo com Groenen & Velden (2004), reduzir a dimensionalidade dos parâmetros e agregar os demais em duas componentes das dimensões dos promontórios, onde nesta tese foram considerados os parâmetros de largura e perímetro. Dessa forma foi possível a visualização da similaridade/dissimilaridade entre amostras por meio de um gráfico de dispersão bidimensional. Também, a partir dos parâmetros extraídos foi realizado o procedimento estatístico de *boxplot* (diagrama de caixa) que permitiu visualizar a distribuição e os valores discrepantes (*outliers*).

Sendo assim, observa-se que para o objetivo desta tese os parâmetros perímetro(P), largura (L) e comprimento (C) foram os determinantes para a classificação dos promontórios, uma vez que expressam a morfologia e a interface com a linha de costa adjacente a feição geomorfológica.

Assim, a partir das análises apresentadas, os promontórios foram classificados em:

Tabela 6- Classificação dos promontórios rochosos

	<b>Perímetro (m)</b>	<b>Comprimento (m)</b>	<b>Largura (m)</b>
<b>Pequenos</b>	≤ 300m	≤ 200m	≤ 100m
<b>Médios</b>	301m a 600m	201m a 1000m	101m a 500m
<b>Grandes</b>	>600m	> 1000m	> 500m

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ressalta-se que se buscou durante o desenvolvimento deste trabalho correlacionar o parâmetro  $A^\circ$  (Azimute) em relação a incidência das ondas e o trajeto da corrente longitudinal, como exposto por Smith (2001), para assim verificar as possíveis deflexões de deriva e a refração das ondas nos promontórios. Contudo, devido a complexidade dos procedimentos de modelagem numérica e ausência de dados de ondas locais, somente foram obtidos os valores de  $A^\circ$  de cada promontório, como exposto no Apêndice 1.

#### 4.5 IDENTIFICAÇÃO E DELIMITAÇÃO DA LINHA DE COSTA DO ESTADO DE SANTA CATARINA

A partir do processo de retificação das fotografias aéreas e imagens de satélite (Tabela 1) e a definição do indicador a ser utilizado, foi realizada a identificação e a delimitação da linha de costa do estado de Santa Catarina de forma indireta com a utilização do *software* ArcGIS 10.5.1.

O indicador utilizado foi a linha de espraiamento (*high water level – hwl*) ou denominada como linha seca-molhada (*wet/dry line*), uma vez que a sua identificação é mais nítida devido a diferença de tom de cores entre a areia seca (tonalidade mais clara) e a areia molhada (tonalidade mais escura) (Figura 22). A escolha deste indicador se deve também aos objetivos desta tese, já que ele reflete a ação das ondas e maré sob a face da praia e que segundo Crowell *et al.* (1991) e Boak & Turner (2005) é mais apropriada para análise histórica (larga escala temporal) do comportamento da linha de costa, devido a interação da morfodinâmica costeira com o pacote sedimentar.

Figura 22 - Exemplo de delimitação da linha de costa a partir do indicador linha seca-molhada.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de imagem do *software Google Earth*.

Ressalta-se que foi padronizada a escala de visualização das fotografias aéreas e imagens de satélite em 1:1.000 (escala de visualização – *zoom*), no *software ArcGIS 10.1.5*, para a operacionalização da identificação e delimitação da linha de costa. Este critério foi adotado para se atenuar os erros, uma vez que tais procedimentos são totalmente visuais e manuais a partir da fotointerpretação e manuseio da ferramenta *Polyline* do *software*.

#### 4.6 DELIMITAÇÃO DOS PONTAIS ARENOSOS

A delimitação dos pontais arenosos foi realizada de forma indireta, a partir dos mesmos procedimentos apresentados no item anterior, e também através de monitoramento topográfico.

O monitoramento topográfico, delimitação de forma direta, foi realizado no período de junho de 2016 a agosto de 2017, totalizando 13 campanhas no pontal arenoso de Ponta das Canas (Tabela 7) e 12 campanhas no pontal arenoso da Praia do Forte (Tabela 8). Destaca-se a busca de uma padronização das condições de maré para a realização das campanhas, sendo adotada a maré de baixa-mar, nas condições de sizígia.

Tabela 7 - Datas das campanhas do monitoramento topográfico na Ponta das Canas

Campanha	DATA
	Ano 2016
1	06 de junho
2	05 de julho
3	26 de agosto
4	21 de setembro
5	21 de outubro
6	23 de novembro
	<b>Ano 2017</b>
7	15 de março
8	18 de abril
9	15 de maio
10	25 de maio
11	27 de junho
12	25 de julho
13	28 de agosto

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 8 - Datas das campanhas do monitoramento topográfico na praia do Forte

Campanha	DATA
	Ano 2016
1	09 de junho
2	06 de julho
3	28 de agosto
4	24 de setembro
5	22 de outubro
6	26 de novembro
	<b>Ano 2017</b>

7	19 de fevereiro
8	15 de maio
9	26 de maio
10	26 de junho
11	26 de julho
12	29 de agosto

Fonte: Elaborado pelo autor.

No monitoramento topográfico foi utilizado um Receptor GNSS<sup>1</sup>, equipamento RTK Trimble R6 (Figura 23), disponibilizado pelo LOC-UFSC. O equipamento teve sua antena móvel adaptada/acoplada a uma roda de bicicleta para manter a altura da antena do receptor constante e viabilizar a aquisição dos dados de limites e perfis topográficos em toda a extensão dos pontais arenosos.

Figura 23 – Delimitação do limite topográfico do pontal arenoso com a utilização do receptor GNSS. Vista para oeste do pontal arenoso da praia do Forte, ilha de São Francisco do Sul.



Fonte: José Mauricio de Camargo. Registro de 24/9/2016

Na aquisição dos dados foi utilizado o método RTK (*Real Time Kinematic*), no modo topo contínuo, onde foi necessário um ponto de coordenada conhecida próximo a área de estudo. Para isso se ateu aos marcos topográficos já existentes e nas bases cartográficas. Em Ponta das Canas foi utilizado um ponto já conhecido (Figura 24 e Figura 25) para a instalação da antena base do equipamento GNSS. Contudo, na Praia do Forte houve a necessidade de

<sup>1</sup> GNSS ( *Global Navigation Satellite System*): Sistema de Navegação Global por Satélite

implantação de um marco topográfico de modo que o posicionamento dos levantamentos topográficos obedecesse ao padrão de referência espacial (figuras 26, 27 e 28).

Figura 24 - Base do Receptor GNSS instalado no marco topográfico na Ponta das Canas



Fonte: José Mauricio de Camargo.

Figura 25 – Localização do marco topográfico na Ponta das Canas



Fonte: Elaboração do autor a partir da fotografia aérea do ano de 2010 (SANTA CATARINA, 2012).

Figura 26 - Localização do marco topográfico instalado na praia do Forte



Fonte: Elaboração do autor a partir da imagem do *software Google Earth*.

Figura 27 - Marco topográfico instalado na praia do Forte.



Fonte: José Mauricio de Camargo.

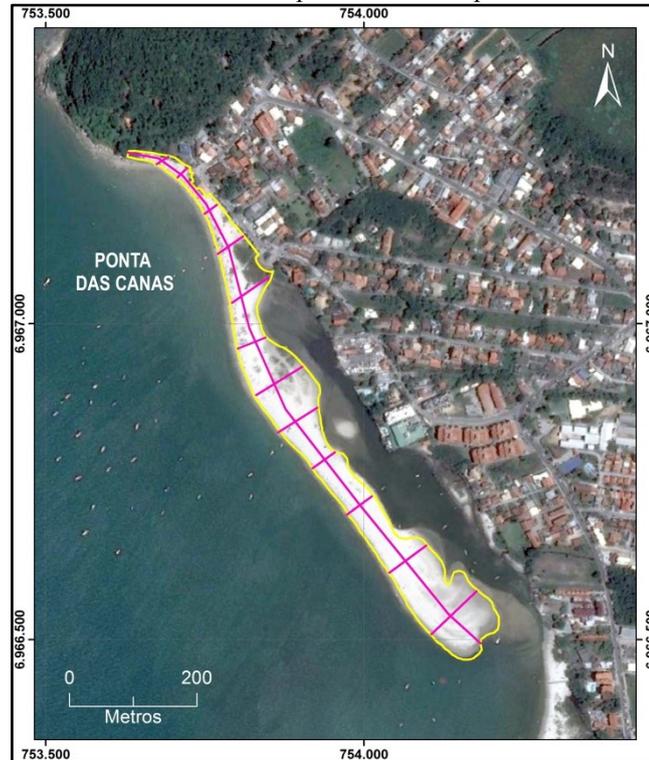
Figura 28 - Base do Receptor GNSS instalado no marco topográfico.



Fonte: José Mauricio de Camargo.

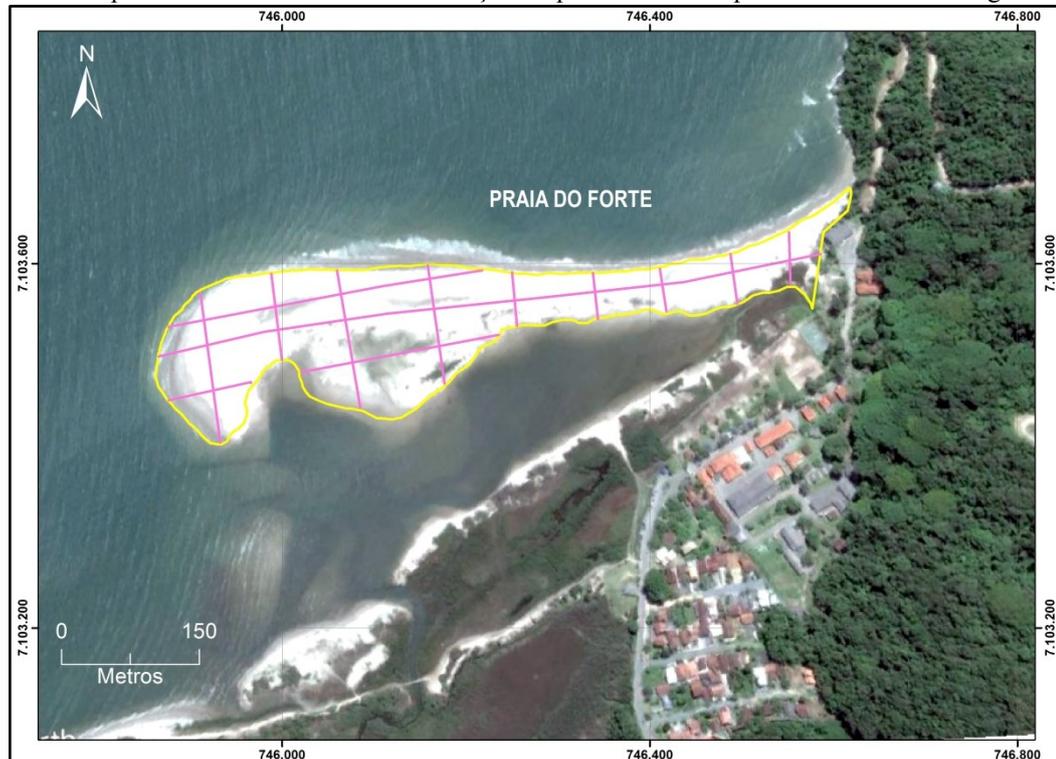
Dessa forma, através de reconhecimento em campo da área de estudo, com auxílio da base cartográfica, as linhas de caminhamento dos limites topográficos emersos e das linhas de perfis longitudinais e transversais foram previamente estabelecidas (figura 29 e 30). O levantamento desses perfis foi utilizado para a obtenção de um modelo topográfico de terreno em três dimensões (3D) através de interpolação dos dados.

Figura 29 - Levantamentos topográficos realizados em Ponta das Canas. Na cor amarela o limite do pontal arenoso e na cor lilás os caminhamentos aproximados dos perfis transversais e longitudinal



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de imagem do *software Google Earth*.

Figura 30 - Localização das linhas dos levantamentos topográficos realizados na Praia do Forte. Na cor vermelha o limite do pontal arenoso e na cor lilás os traçados aproximados dos perfis transversais e longitudinal



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de imagem do *software Google Earth*.

Referindo-se a Praia da Enseada, devido a formação do pontal arenoso estar diretamente dependente do aporte sedimentar provindo da ação da PETROBRÁS, o monitoramento topográfico foi impossibilitado e as análises se limitaram aos dados obtidos através das imagens de satélite e fotografias aéreas.

#### 4.7 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DA LINHA DE COSTA

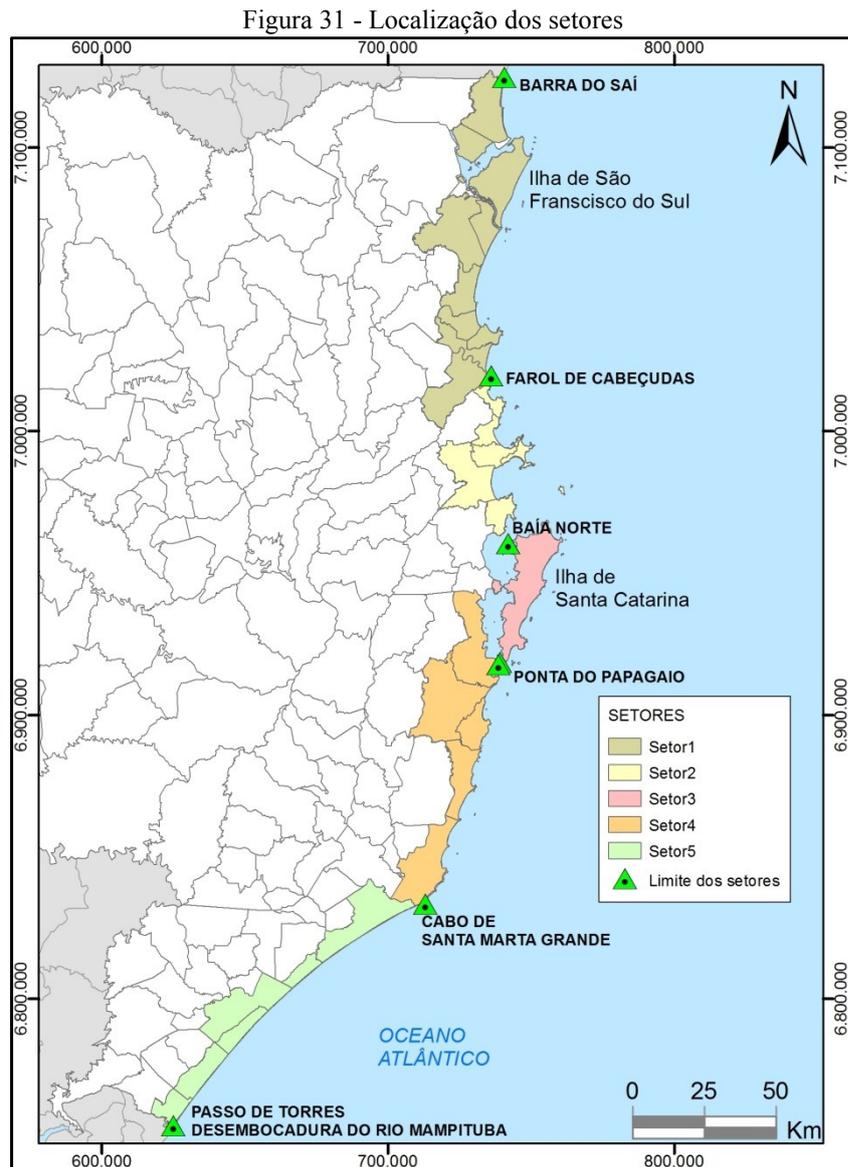
A análise do comportamento da linha de costa foi realizada através da extensão DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*) (THIELER *et al.*, 2009), executada no *software* ArcGIS 10.5.1. Esta extensão permite, através de métodos estatísticos, quantificar o deslocamento da linha de costa a partir de uma linha base de referência (*baseline*) e a inserção de transectos perpendiculares que possibilitam extrair as taxas de deslocamento das mesmas.

Nesta tese, para análise das linhas de costa dos anos de 1978, 2010 e 2014 de toda a extensão do litoral do Estado de Santa Catarina, foram definidos transectos com espaçamento de 200 em 200m devido a escala espacial da análise realizada, a qual atendeu os objetivos de pesquisa. Também foram adotados para esta análise os segmentos contínuos da linha de costa, com extensão igual ou superior a 200m, correspondentes as praias arenosas sem interrupção, ou seja, o número de praias adotado é oriundo dos segmentos limitados por promontórios, estruturas antrópicas e desembocaduras dos rios.

O método estatístico aplicado foi o de regressão linear (LRR – *Linear Regression*), que possibilitou a geração de taxas de variação da linha de costa em metros/ano considerando as linhas disponíveis. Quanto ao erro de posicionamento da linha de costa, foi adotado o valor médio de +/- 5,5m a partir do EQM oriundo do processo de retificação das fotografias aéreas e imagens de satélite, ou seja, os parâmetros assumidos, a partir do resultado da regressão linear, foram: progradação, estabilidade e retração, onde os valores positivos indicaram a progradação da linha de costa, os valores próximos ou igual ao erro significaram estabilidade e valores negativos a retração. Destaca-se que alguns transectos não foram contabilizados por não abrangerem todas as linhas de costa em análise, principalmente os que foram traçados junto a desembocaduras dos rios, estruturas antrópicas e contíguos aos promontórios rochosos.

Para fins de apresentação dos resultados e de acordo com as características geomorfológicas (KLEIN & SHORT, 2016), a linha de costa do estado de Santa Catarina foi segmentada em cinco setores (Figura 31): 1- Da barra do Saí a Ponta de Cabeçadas; 2- Da

Ponta de Cabeçudas a baía Norte/ilha de Santa Catarina; 3- Ilha de Santa Catarina; 4 – Da ponta do Papagaio ao cabo de Santa Marta Grande; e 5 – Do cabo de Santa Marta Grande a Passo de Torres/desembocadura do rio Mampituba. Salienta-se que nesta segmentação o setor 3 – Ilha de Santa Catarina foi destacado do segmento 2 - Ponta do Vigia (Penha/SC) à Ilha do Papagaio (Palhoça/SC), apresentado no item 3.2.1, Capítulo 3, em virtude da representação gráfica dos resultados.



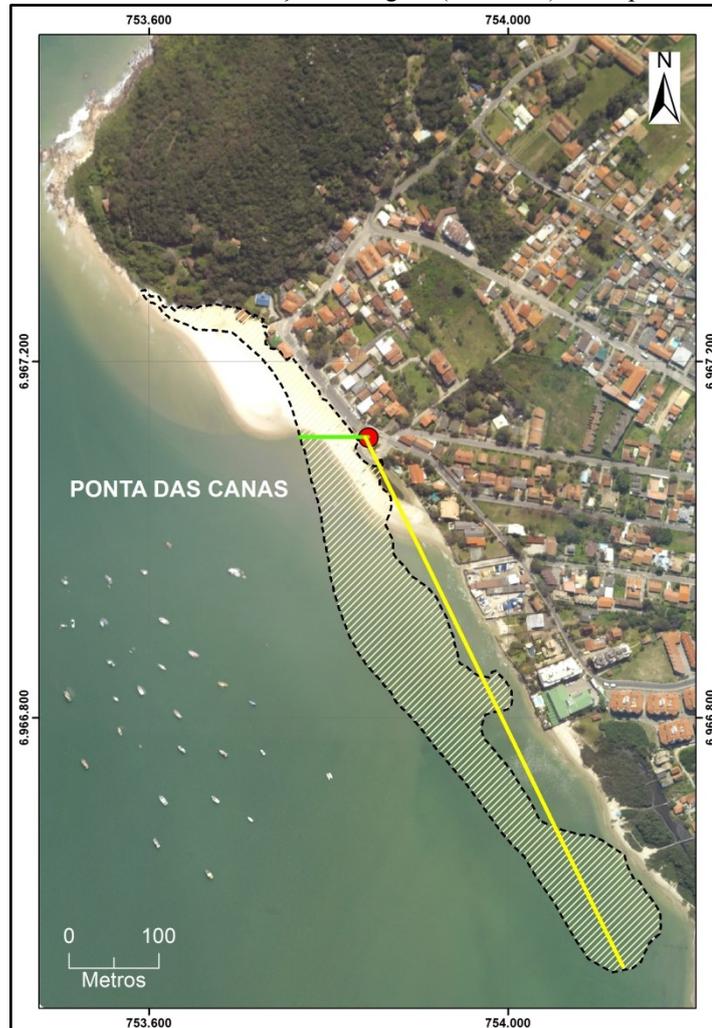
Fonte: Elaboração do autor a partir da base de dados do IBGE (2013)

Referindo-se a análise da linha de costa das praias adjacentes aos pontais arenosos, a porção sul da praia de Ponta das Canas não foi abordada devido a presença de uma feição sedimentar e corpo hídrico, laguna das Gaivotas, não ser objeto de estudo desta tese.

#### 4.8 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DOS PONTAIS ARENOSOS.

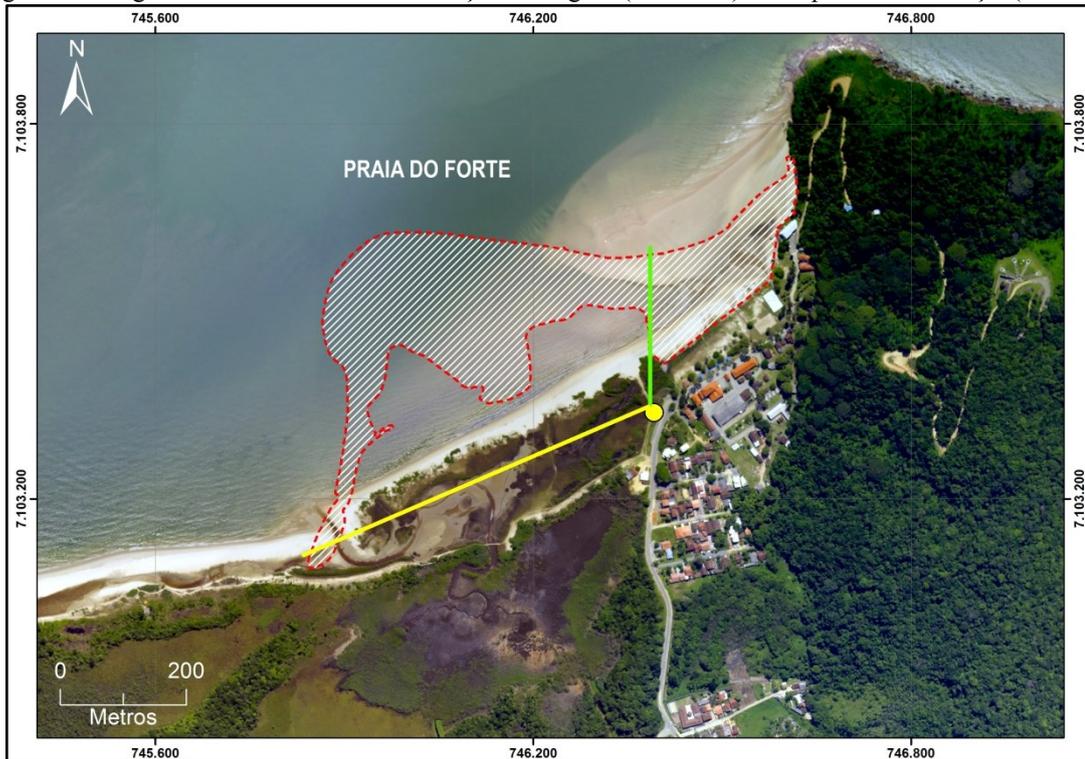
O comportamento dos pontais arenosos foi analisado a partir da mensuração de seu limite topográfico onde foram considerados como parâmetros: largura (m), comprimento (m), área (m<sup>2</sup>), perímetro (m) e volume (m<sup>3</sup>). A largura e comprimento tiveram como pontos de referência os marcos topográficos definidos no entorno dos pontais, sendo na Praia do Forte o marco topográfico instalado e na Ponta das Canas um marco definido sobre o qual foi realizada a mensuração e utilizada a ferramenta *Measure* do *software* ArcGIS 10.1.5 que, a partir de um segmento em linha reta do marco topográfico interceptou os limites da feição (Figura 32 e Figura 33).

Figura 32 - Segmentos utilizados na mensuração da largura (cor verde) e comprimento da feição(amarelo)



Fonte: Elaboração do autor a partir da fotografia aérea do ano de 2010 (SANTA CATARINA, 2012).

Figura 33 - Segmentos utilizados na mensuração da largura (cor verde) e comprimento da feição(amarelo)



Fonte: Elaborado pelo autor a partir da fotografia aérea de 2010 (SANTA CATARINA, 2012)

Referindo-se ao volume, o mesmo foi calculado a partir dos dados dos perfis longitudinais e transversais obtidos nos levantamentos topográficos e que posteriormente foram processados e interpolados no *software* ArcGIS 10.5.1 através do método *Kriging* (krikagem), uma vez que dentre todos os métodos existentes este foi o que melhor apresentou a realidade topográfica e, de acordo com Burrough & Mcdonnel (2015), é o mais condizente para a obtenção de valores de volume (Figuras 34 e 35).

Quanto aos erros de mensuração dos pontais arenosos, na delimitação dos mesmos a partir das fotografias aéreas e imagens de satélite foi considerado o  $EQM_{95\%}$  resultante do processo de retificação e para os resultados oriundos dos levantamentos topográficos o erro foi o inerente a aquisição dos dados pelo receptor GNSS, sendo esse amenizado no processamento dos dados através do *software Trimble Pathfinder Office*, que atingiu a ordem de +/- 2,5cm.

Figura 34 - Pontal arenoso em 3D a partir do processo de interpolação - Ponta das Canas



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de imagem do *software* Google Earth.

Figura 35 - Pontal arenoso em 3D a partir do processo de interpolação – Praia do Forte



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de imagem do *software* Google Earth.

Destaca-se que na análise do comportamento dos pontais arenosos, os valores de volume ( $m^3$ ) foram obtidos somente a partir dos dados do monitoramento topográfico. Já para os valores de área ( $m^2$ ), perímetro (m), largura (m) e comprimento (m) foram utilizados todo o conjunto de dados: monitoramento topográfico e fotografias aéreas e imagens de satélite.

## 5 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos no desenvolvimento desta tese de acordo com os objetivos específicos indicados e metodologia exposta.

### 5.1 PROMONTÓRIOS ROCHOSOS DO ESTADO DE SANTA CATARINA

Neste capítulo é apresentada a classificação dos promontórios, sendo divididas nos cinco setores que a área de estudo está compartimentada. No apêndice A segue a planilha com os valores dos parâmetros detalhados.

E como forma de visualização do procedimento estatístico realizado para a classificação dos promontórios, são apresentados abaixo os gráficos de escalonamento multidimensional (MDS) e os *boxplot* (diagrama de caixa) (Figura 36 e Figura 37).

Figura 36 - Gráfico da dispersão dos parâmetros

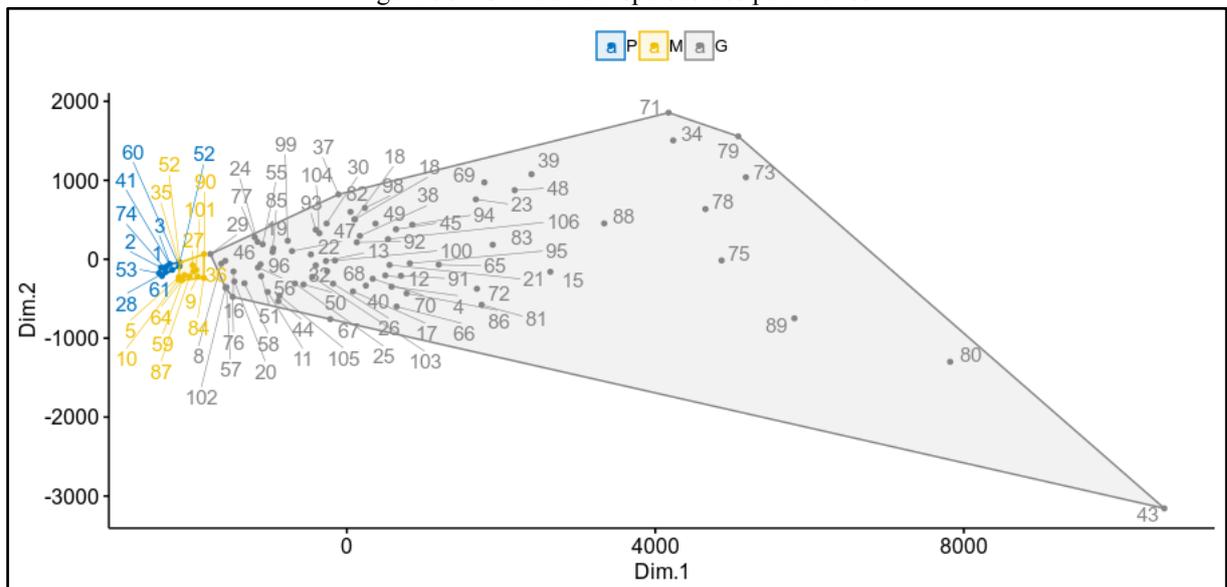
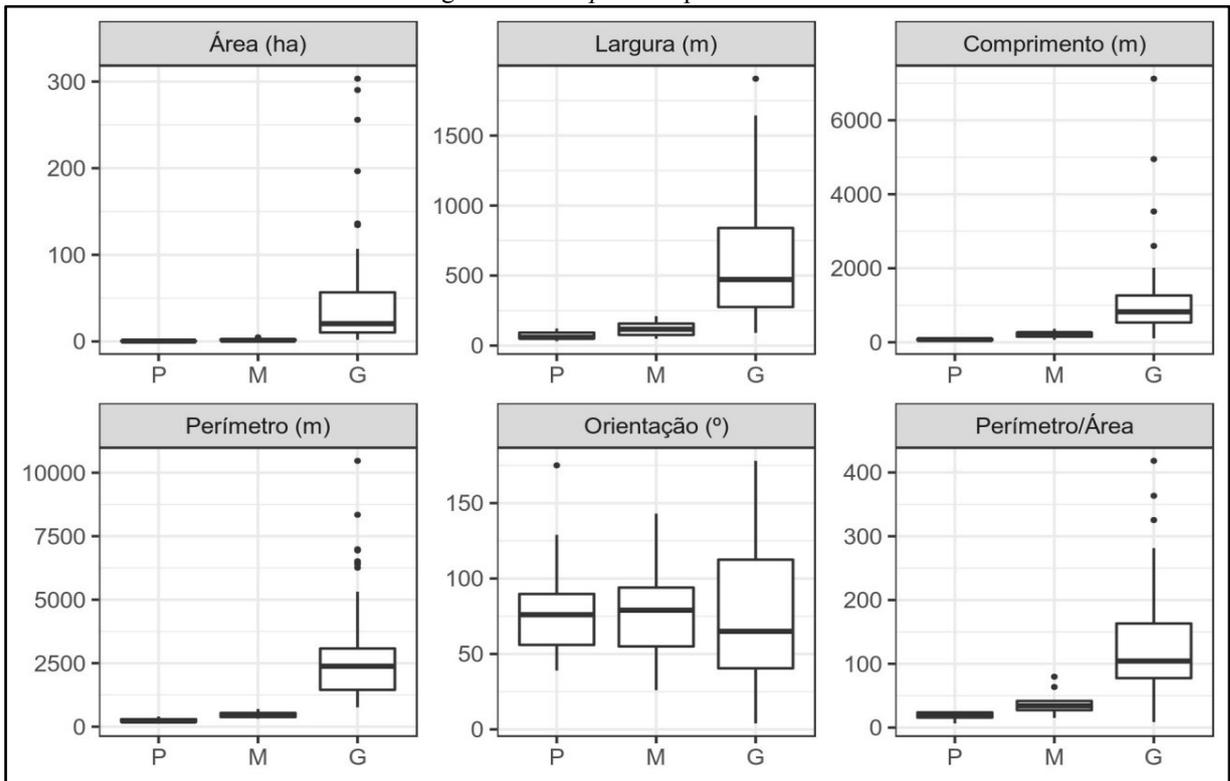


Figura 37 – *Boxplot* dos parâmetros

Fonte: Elaboração do autor

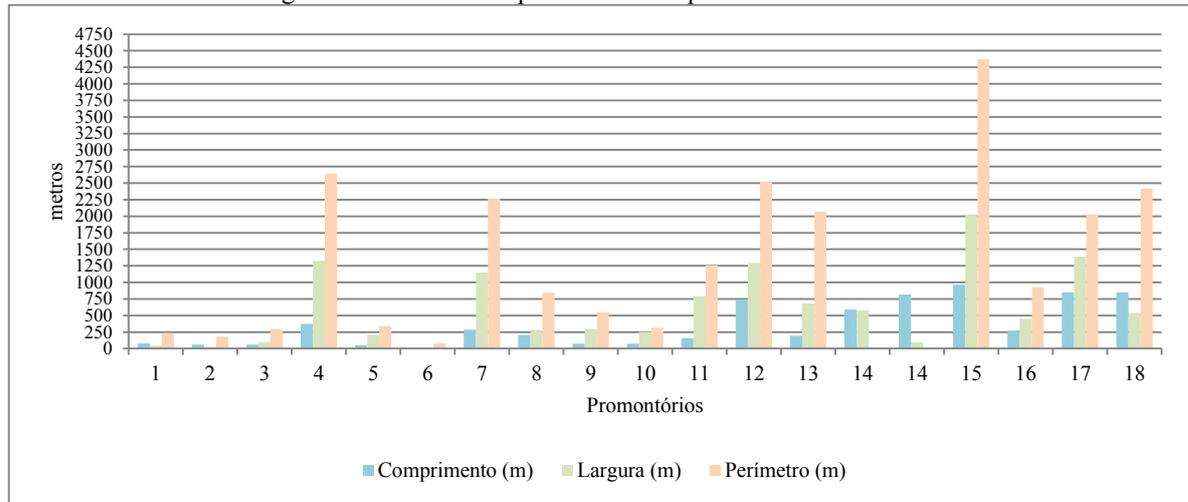
Com a utilização dos *boxplot* foi possível verificar a distribuição dos parâmetros e os valores discrepantes (*outliers*) dentro de todo o conjunto. Destacam-se que os resultados de “Área(ha)” e “Perímetro/Área” foram processados para a verificação da relação dos valores obtidos em relação a classificação realizada.

Assim, a seguir é apresentada a classificação dos promontórios por cada setor da linha de costa do estado de Santa Catarina.

### 5.1.1 Setor 1 – Da barra do rio Saí-Guaçú a ponta de Cabeçadas

Neste setor foram identificados e classificados 18 promontórios rochosos, sendo quatro pequenos, três médios e 11 grandes (figura 38 e figura 40)

Figura 38 - Gráfico dos parâmetros dos promontórios no setor 1

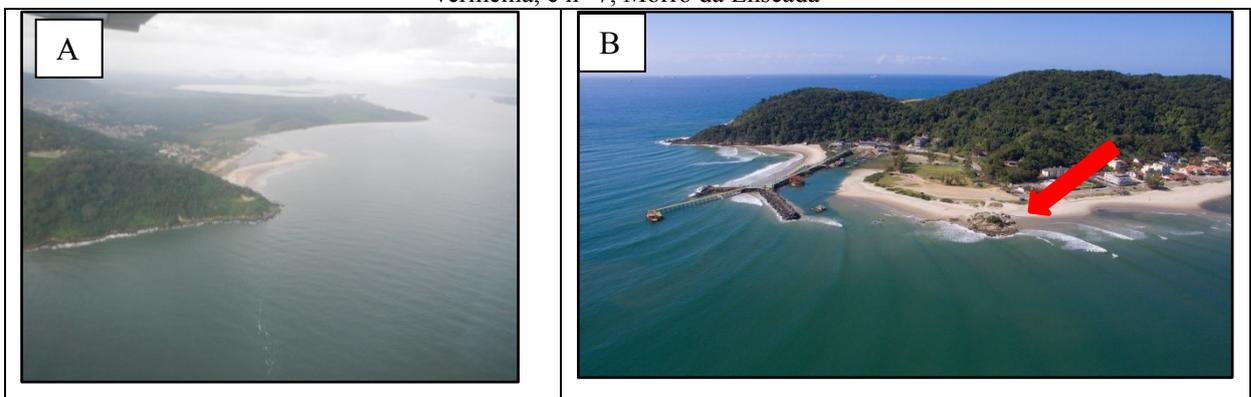


Fonte: Elaborado pelo autor

Dos promontórios classificados neste setor, destacam-se o n°4 e n°7 (Figura 39) inclusos nas sub-áreas de estudo, Praia do Forte-Pontal do Capri e Praia da Enseada respectivamente, onde ocorre o processo de transposição sedimentar. Ambos possuem parâmetros similares: n°4 com  $C=373m$ ,  $L=1.322m$ ,  $P=2.640m$ ; e n°7 com  $C=286m$ ,  $L=1151m$  e  $P=2264m$ . Merecem destaque os promontórios n°1, n°2 e n°3, que apesar de serem classificados como Pequenos refletem em uma mudança significativa da orientação da linha de costa.

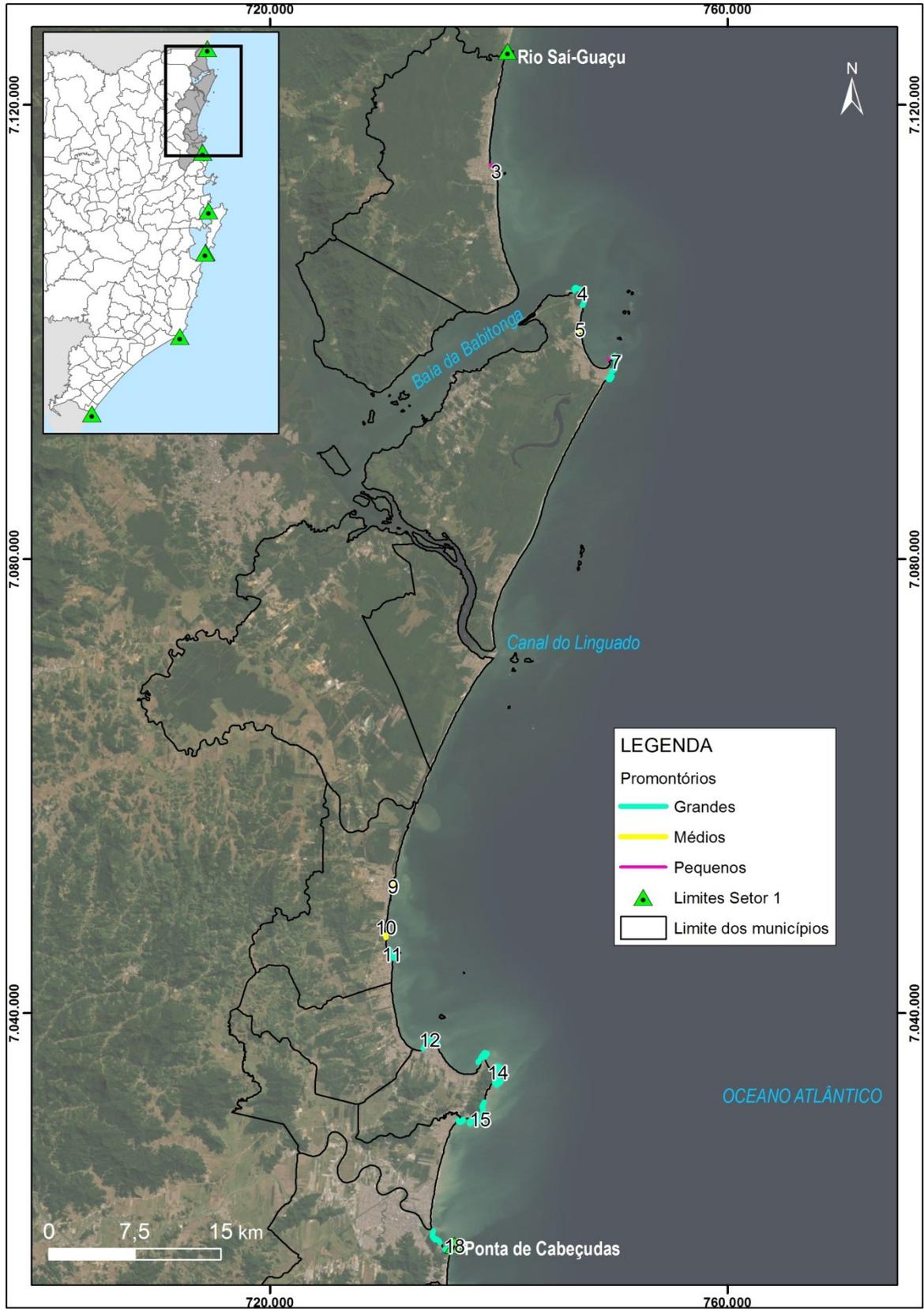
O n° 6, localizado junto ao Morro da Enseada e que serve de apoio a estrutura de dragagem utilizada pela companhia Petrobrás, tem somente o parâmetro de perímetro extraído, pois nota-se que antes das edificação do molhe o mesmo era um bloco rochoso isolado, como uma ilha, que servia, como atualmente também, de ponto de fixação do pontal arenoso formado naturalmente pelo processo de transposição (Figura 39).

Figura 39- A) Promontório n° 4, Morro do Forte; B) Promontórios n° 6, bloco rochoso indicado pela seta vermelha, e n° 7, Morro da Enseada



Fonte: A: Antonio H. F. Klein. B: Igor Foerster/Voodoo Productions

Figura 40 - Classificação dos promontórios - setor 1



Fonte: Elaboração do autor. Imagem: Basemaps, ArcGIS 10.5.1

Referindo-se ao nº 14, que no gráfico acima é apresentado duas vezes por possuir duas saliências, parâmetro L, em direção ao mar. Esse faz parte de um único corpo do embasamento cristalino, onde também estão identificados os promontórios nº 15 e nº 16, sendo o nº15 o maior promontório no setor 1.

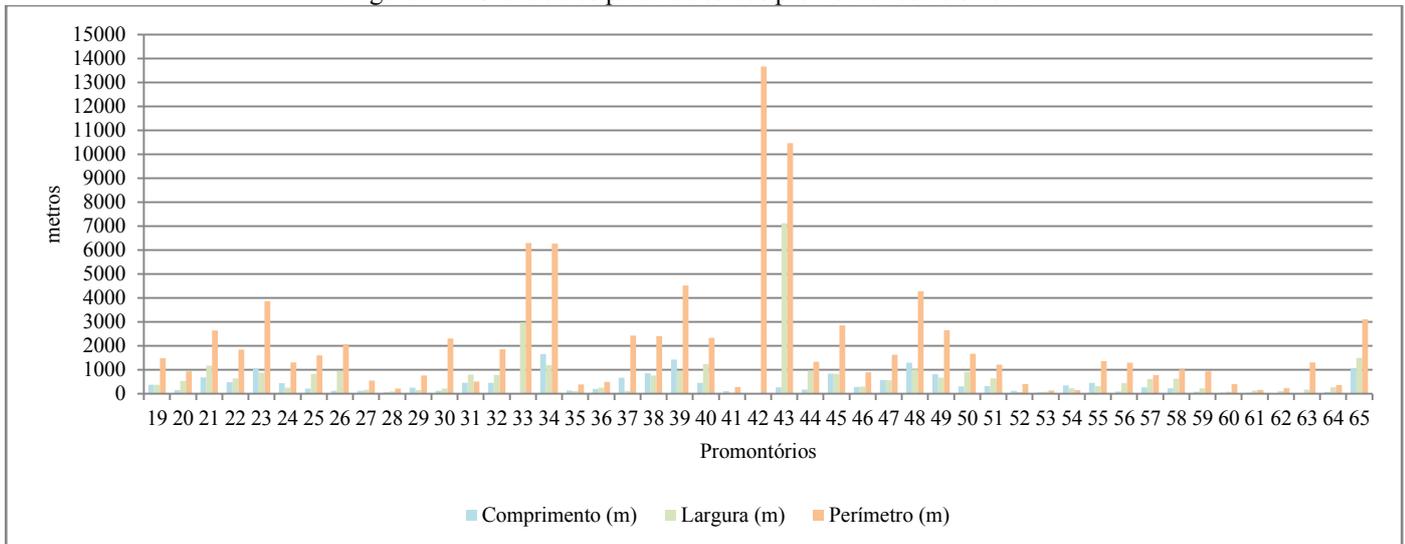
O promontório nº 17 (Morro da Atalaia), localizado na desembocadura do Rio Itajaí-Açu, possui uma estrutura antrópica, quebra corrente, para facilitar a navegação junto ao porto existente, e que exerce grande influência na dinâmica sedimentar local. Quanto ao nº18 (Ponta de Cabeçadas), o seu comprimento de 851m em relação a sua largura de 539m, se destaca por sua saliência.

Dessa forma, os 18 promontórios identificados e classificados no setor 1 (quatro pequenos, três médios e 11 grandes) possuem similaridades dimensionais, onde a influencia deles dentro da morfologia da linha de costa e a presença de praias arenosas entre os mesmos demonstram a direta participação junto as forçantes oceanográficas para a deposição sedimentar e para a ocorrência do processo de transposição.

### 5.1.2 Setor 2 – Da ponta de Cabeçadas à Baía dos Golfinhos

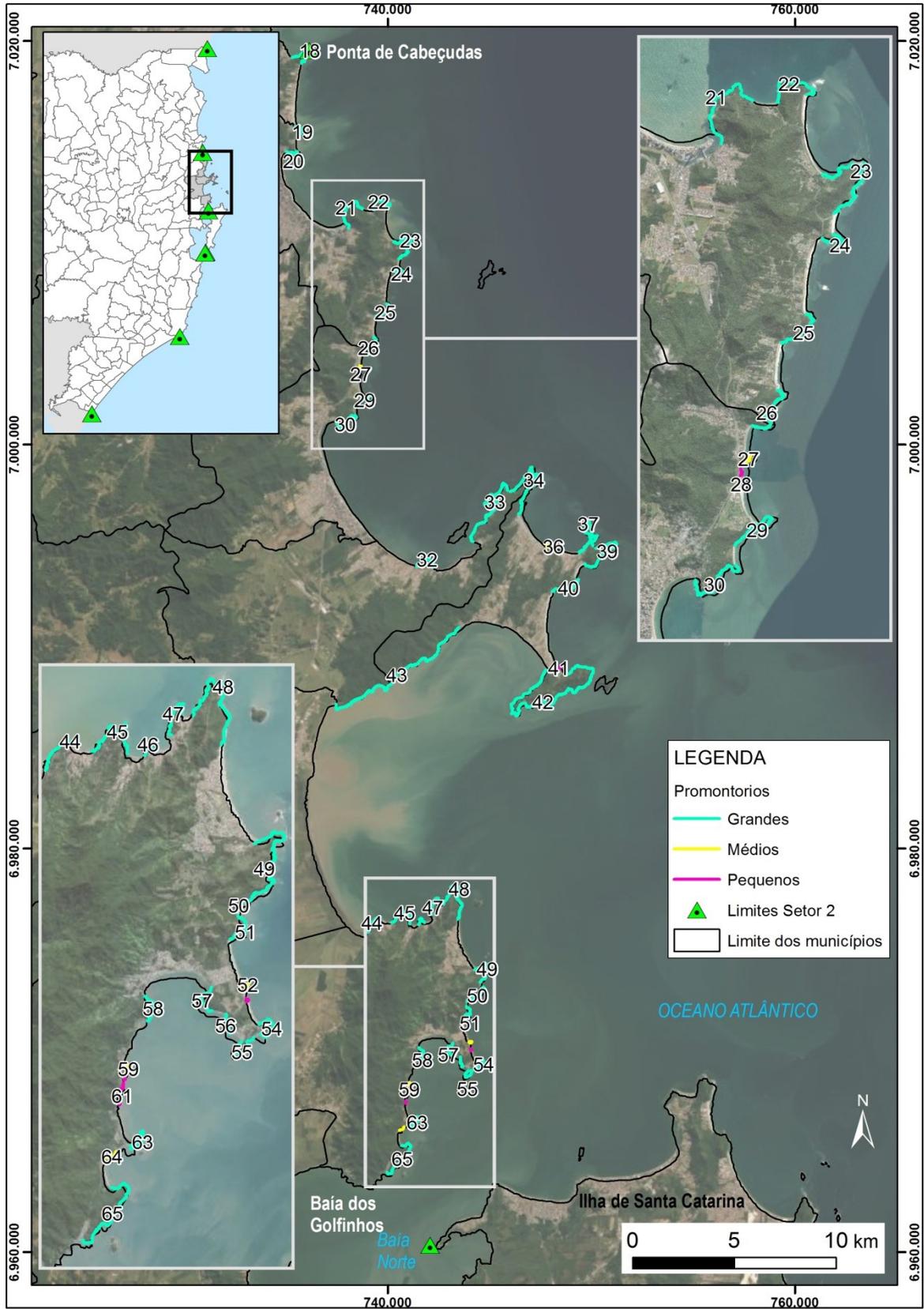
Este setor, dentre os todos, foi o com o maior número de promontórios identificados e classificados: 48 promontórios rochosos, sendo seis pequenos, sete médios e 35 grandes (Figura 41 e figura 42).

Figura 41 - Gráfico dos parâmetros dos promontórios no setor 2



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 42 - Classificação dos promontórios - setor 2



Fonte: Elaboração do autor. Imagem: Basemaps, ArcGIS 10.5.1

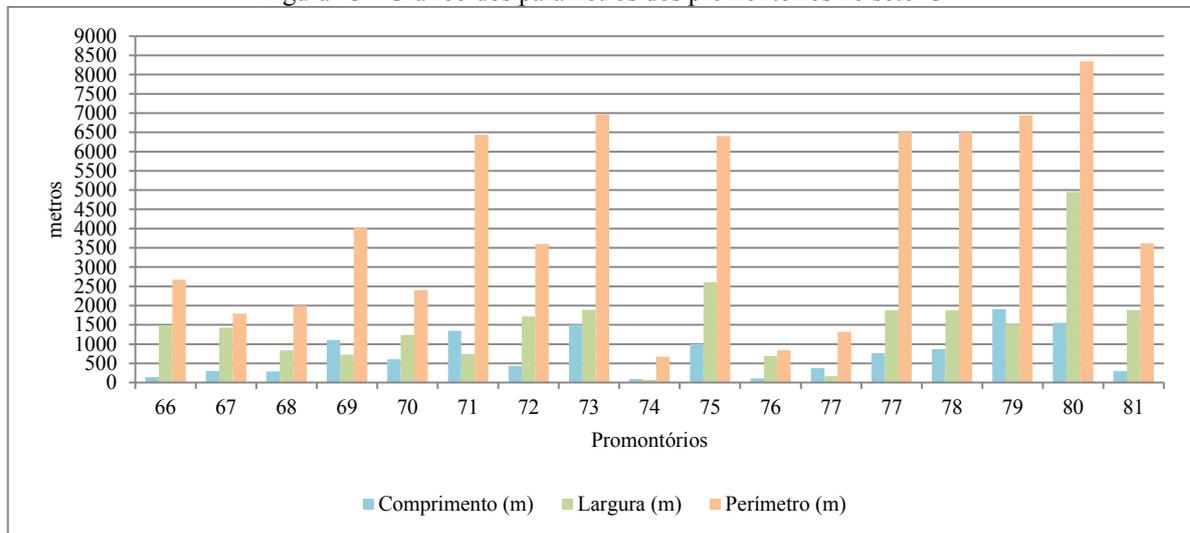
Neste setor embasamento cristalino está mais próximo da costa, onde a planície costeira apresenta uma largura estreita e propicia a formação de diversas praias entre os promontórios rochosos, uma vez que o setor 2 é o que possui maior quantidade de praias arenosas dentre os cinco setores estudados nesta tese.

Nota-se que as dimensões dos promontórios possuem grandes discrepâncias, mesmo que muitos façam parte do mesmo embasamento cristalino, tais como os n° 21 ao n° 30, os de n°44 ao n° 65 e os de n° 33, 34 e 43. Também, como visto no apêndice A, neste setor é onde os promontórios possuem a maior variedade de orientação, o que reflete na morfologia da linha de costa.

### 5.1.3 Setor 3 – Ilha de Santa Catarina

Neste setor foram classificados como grandes os 16 promontórios rochosos identificados na ilha de Santa Catarina (Figura 43 e figura 44).

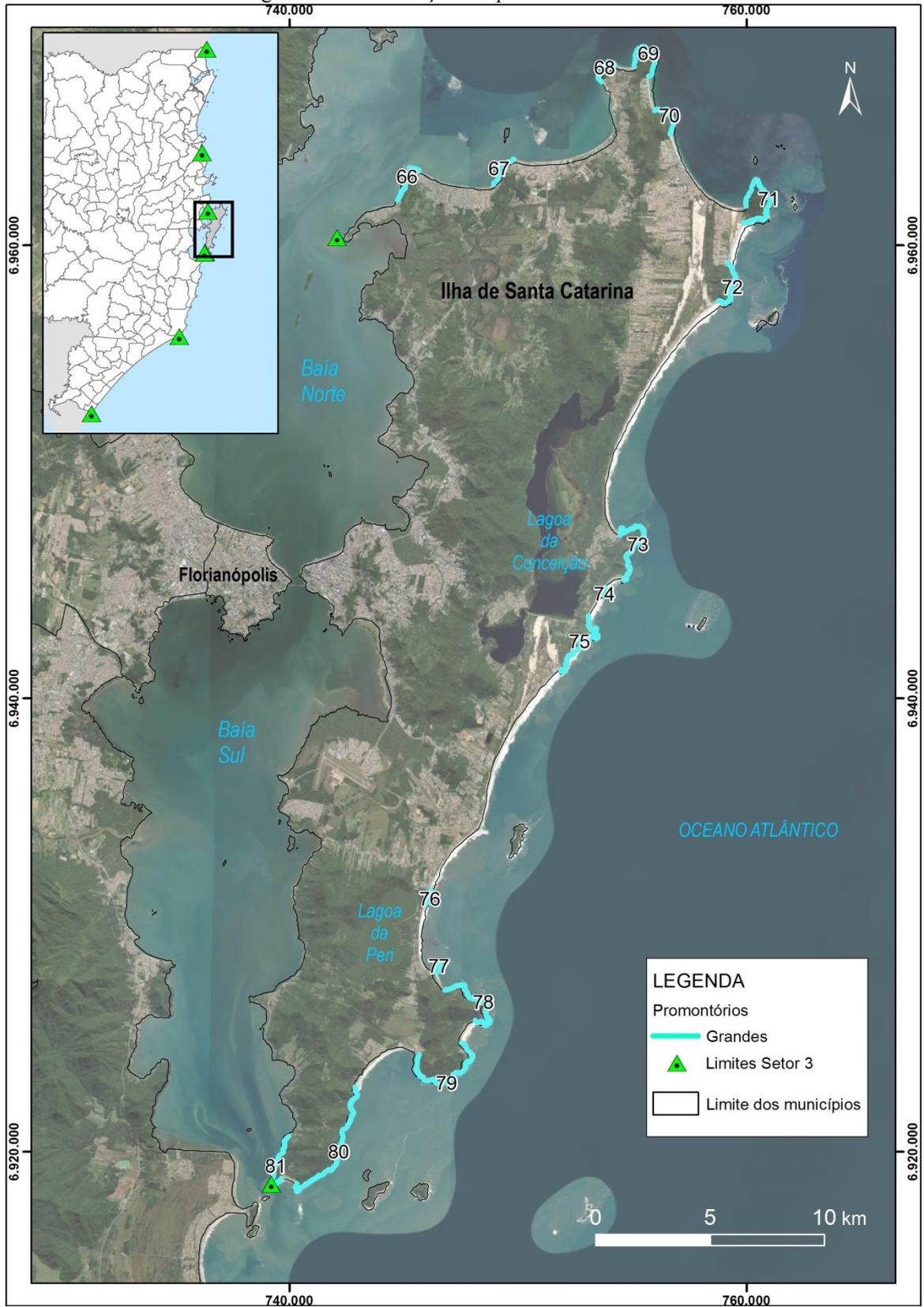
Figura 43 - Gráfico dos parâmetros dos promontórios no setor 3



Fonte: Elaboração do autor.

Neste setor os promontórios individualizam diretamente as praias arenosas presentes. O promontório n° 68, Morro de Canas, onde está localizado o pontal arenoso da praia de Ponta das Canas, possui as dimensões similares com os promontórios n° 4 e n° 7 do setor 1.

Figura 44 - Classificação dos promontórios - setor 3



Fonte: Elaboração do autor. Imagem: Basemaps, ArcGIS 10.5.1

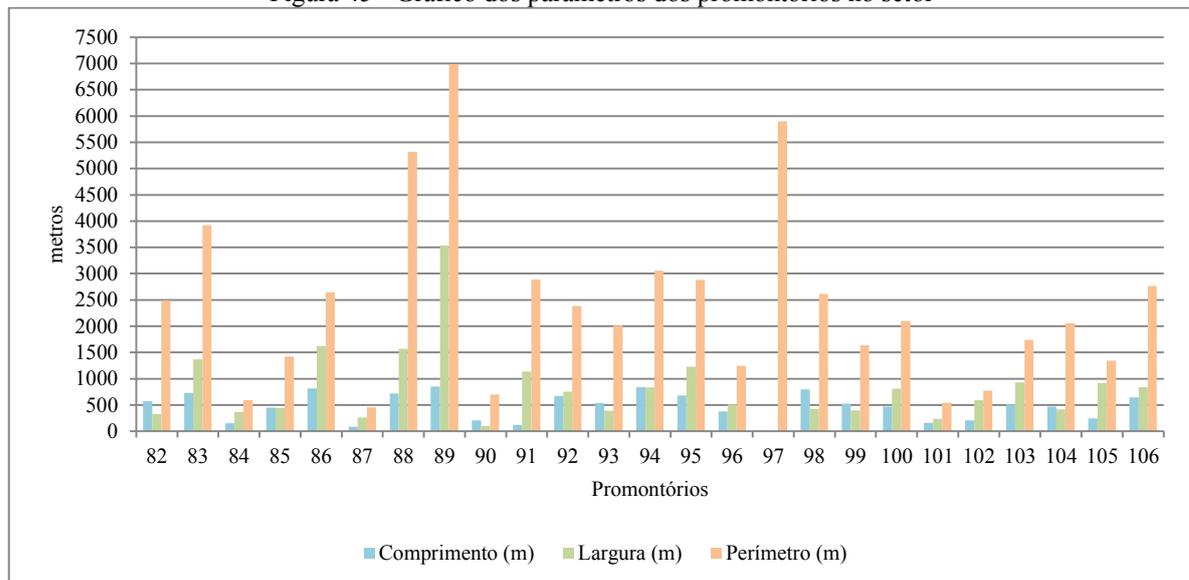
Os promontórios n° 66, Morro do Forte, e n° 67, Ponta dos Morretes/Canajurê, que também apresentam evidências da transposição sedimentar possuem grande similaridade dentre os parâmetros extraídos.

Destaca-se neste setor a característica de que diversos promontórios fazem parte do mesmo embasamento cristalino, sendo localizadas praias arenosas entre eles, tais como os n°73 e 74 e o n° 78 n°79. Também neste, como encontrado no setor 1, há promontórios com menores dimensões dentre os identificados e classificados, como os de n° 74, 76 e 77, que propiciam alterações significativas na morfologia da linha de costa.

#### 5.1.4 Setor 4 – Da Ponta do Papagaio ao Cabo de Santa Marta Grande

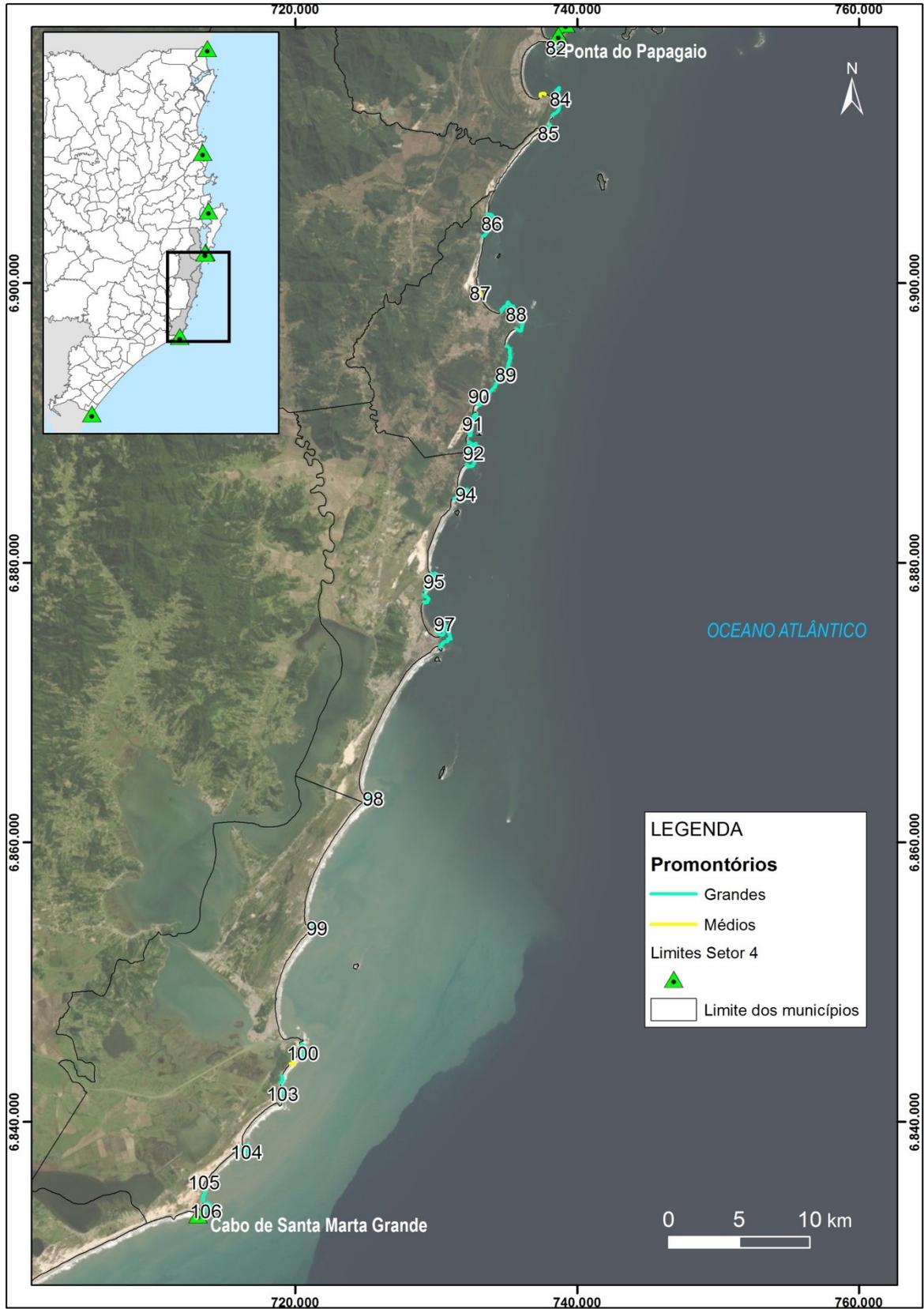
Neste setor foram identificados e classificados 25 promontórios rochosos, sendo três médios e 22 grandes (Figura 45 e figura 46).

Figura 45 - Gráfico dos parâmetros dos promontórios no setor



Fonte: Elaboração do autor

Figura 46 - Classificação dos promontórios - setor 4



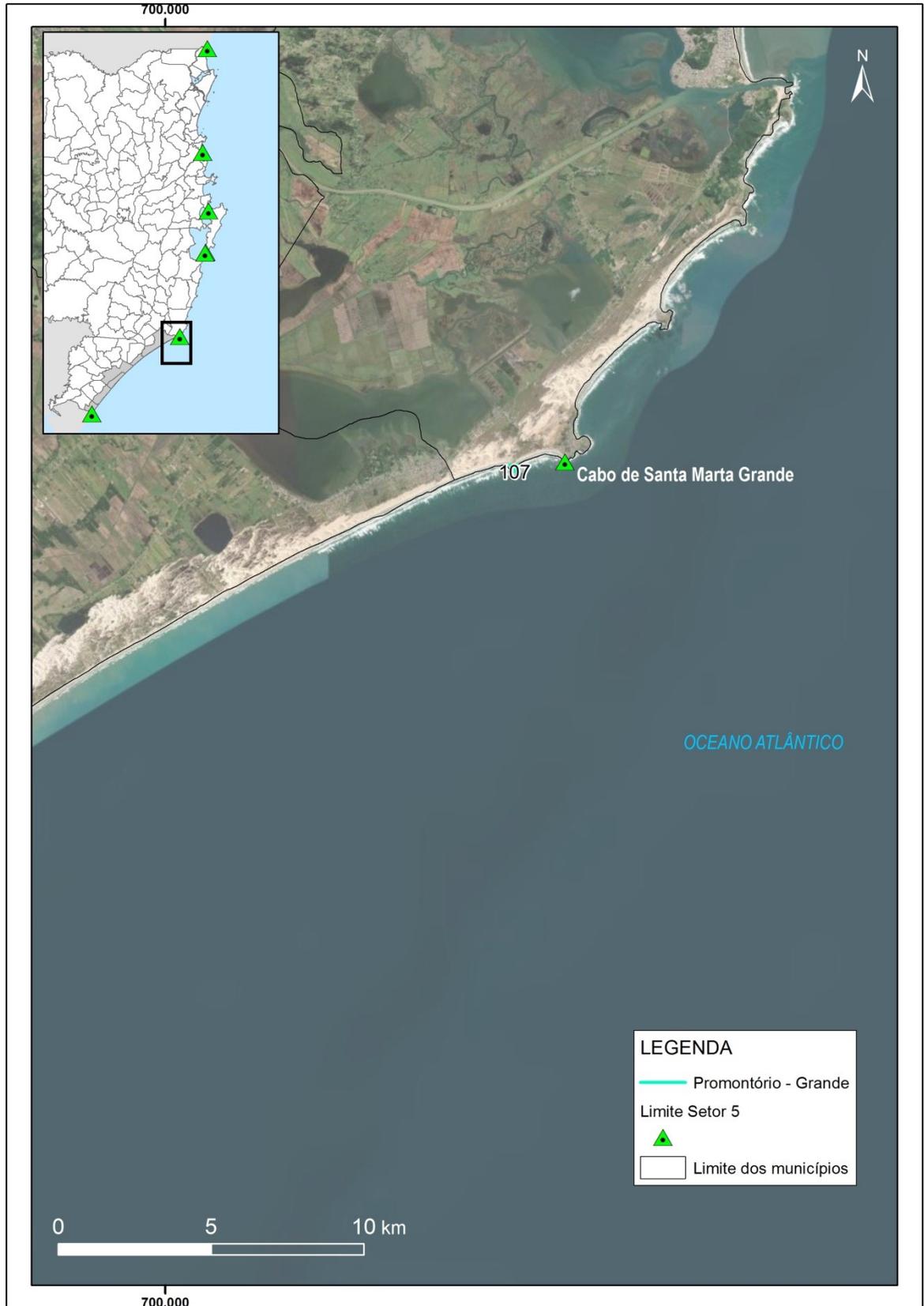
Fonte: Elaboração do autor. Imagem: Basemaps, ArcGIS 10.5.1

Neste setor os promontórios possuem uma similaridade na classificação refletindo na morfologia da linha de costa. Também se destacam o n° 89 devido a sua grande extensão e os n° 82 e n° 84 por possuírem direta influência na incidência da ondulação resultando na morfologia peculiar da praia limitada por ambos. Já o promontório n° 97 devido a estrutura antrópica edificada junto ao mesmo, molhe do Porto de Imbituba, foi totalmente descaracterizado quanto aos parâmetros C e L, sendo possível somente identificar o parâmetro P de 5.902m.

#### **5.1.5 Setor 5 – Do Cabo de Santa Marta a desembocadura do Rio Mampituba**

Este setor possui somente um promontório, o n° 107, e que foi classificado como grande, tendo como parâmetros  $C= 228m$ ,  $L=217m$  e  $P=678m$ . Destaca-se que este promontório determina uma significativa alteração na morfologia e direção da linha de costa do estado de Santa Catarina, onde a partir dele, no sentido norte-sul até a desembocadura da Lagoa dos Patos, município de Rio Grande-RS, fronteira com o Uruguai, a linha de costa não apresenta alteração em sua orientação (Figura 47).

Figura 47 - Classificação dos promontórios - setor 5



Fonte: Elaboração do autor. Imagem: Basemaps, ArcGIS 10.5.1

### 5.1.6 Sumário – Classificação dos promontórios rochosos

Assim, a partir dos resultados expostos da identificação e classificação dos promontórios rochosos no litoral do estado de Santa Catarina, nota-se que os mesmos possuem direta influencia na morfologia da linha de costa em virtude da ação dos agentes oceanográficos existentes. A relação dos parâmetros extraídos nessas feições demonstram que o perímetro determina a sua ação na incidência das ondas e regime das correntes longitudinais e logo no transporte e balanço sedimentar.

Quanto à geologia dos promontórios, as diferentes composições químicas e estruturas mineralógicas não interferem na sua diferenciação, tendo em vista que o fator determinante dentro da classificação realizada é a morfologia, que atua diretamente sobre a ação e intensidade das forças oceanográficas junto ao processo de transposição sedimentar.

Também se destaca a similaridade dos promontórios contíguos as áreas de estudo que ocorrem o processo de transposição sedimentar, contudo em outros promontórios apresentados, que tem características similares, não ocorre o processo devido a outras condições necessárias para o transpasse do aporte sedimentar, tal como o espaço de acomodamento.

## 5.2 COMPORTAMENTO DA LINHA DE COSTA DO ESTADO DE SANTA CATARINA

A partir da delimitação da linha de costa dos anos de 1978, 2010 e 2014 e utilizando a imagem de 2010 como base, obteve-se a linha de costa do estado de Santa Catarina com a extensão total de 811km, a qual foi classificada em duas classes: 1) Praias arenosas com extensão de 558km e 2) Promontórios/Costões rochosos com extensão de 253km. Também, se utilizando do parâmetro de quantificação das praias de face oceânica foram identificadas 111 praias arenosas. Nos itens a seguir são demonstradas nas figuras as indicações do comportamento da linha de costa e a indicação das praias quantificadas e analisadas, com as seguintes classificações:

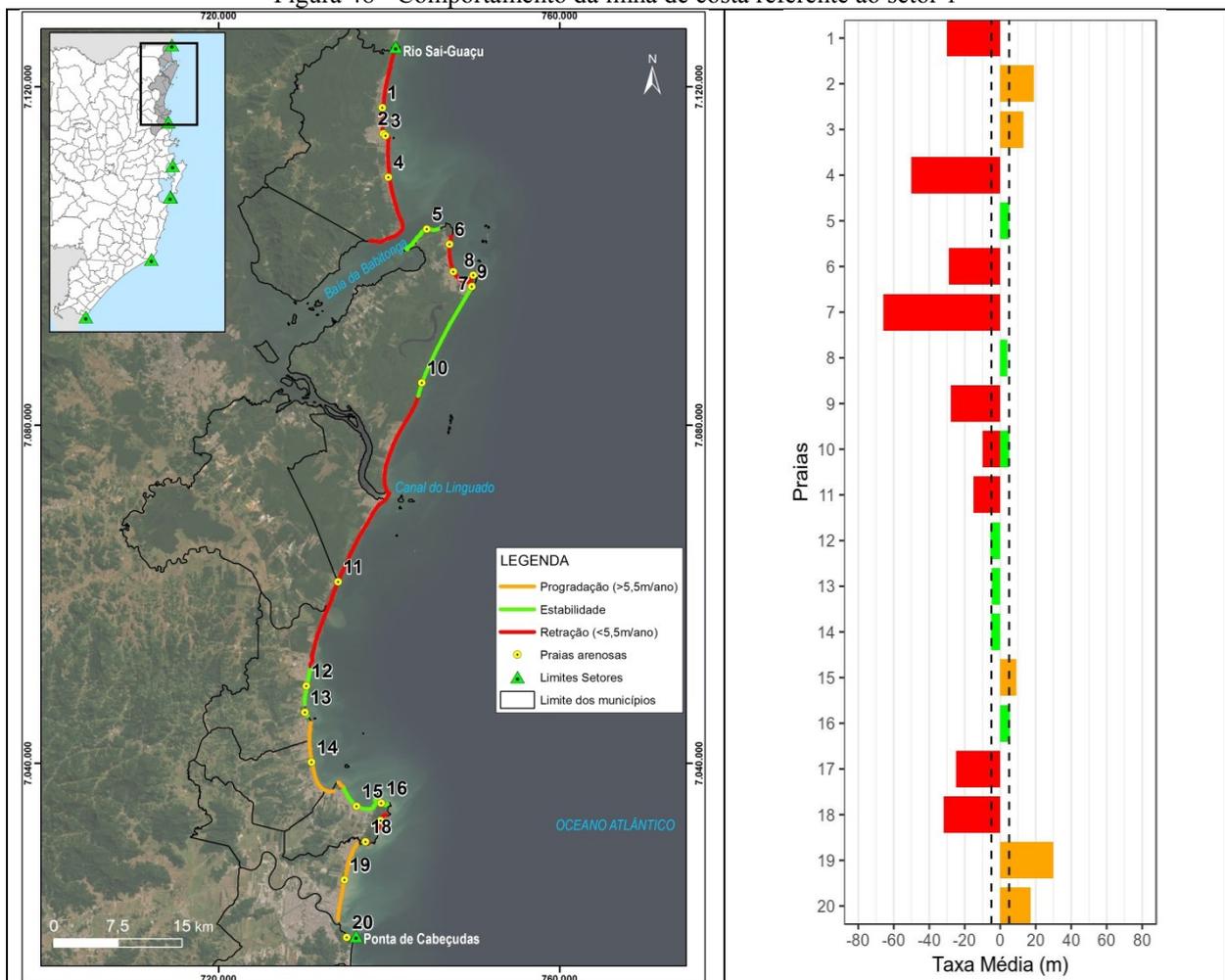
- I. Progradação: taxa de deslocamento da linha de costa é maior que 5,5m/ano.
- II. Estabilidade: taxa de deslocamento da linha de costa está no intervalo entre -5,5m/ano e +5,5m/ano.
- III. Retração: taxa de deslocamento da linha de costa é inferior a -5,5m/ano.

Quanto a indicação dos promontórios/costões rochosos, estes não são apresentados em tais figuras devido a escala de representação gráfica e também por já terem sido expostos no item 5.1.

### 5.2.1 Setor 1 – Da barra do rio Saí-guaçu a ponta de Cabeçudas

Este setor compreende a porção da linha de costa que inicia na divisa norte do estado de Santa Catarina com o estado do Paraná, na desembocadura do rio Saí-guaçu (limite entre os municípios de Itapoá/SC e Guaratuba/PR) até a ponta de Cabeçudas (município de Itajaí). Possui a extensão de 166 km, contabilizando 138 km distribuídos em 20 praias arenosas e 28 km distribuídos em 18 promontórios. Na tabela 9 e figura 48 são apresentadas as taxas de comportamento da linha de costa.

Figura 48 - Comportamento da linha de costa referente ao setor 1



Fonte: Elaboração do autor. Imagem: Basemaps, ArcGIS 10.5.1

Tabela 9 - Comportamento da linha de costa no setor 1

<b>Praia (nº)</b>	<b>Taxa média (m) 1978 - 2014</b>	<b>Comportamento</b>
1	-30	Retração
2	19	Progradação
3	13	Progradação
4	-50	Retração
5	5,2	Estabilidade
6	-29	Retração
7	-66	Retração
8	4	Estabilidade
9	-28	Retração
10	4,9	Estabilidade
	-10	Retração
11	-15	Retração
12	-5,4	Estabilidade
13	-4,8	Estabilidade
14	-5,2	Estabilidade
15	9,2	Progradação
16	5,5	Estabilidade
17	-25	Retração
18	-32	Retração
19	30	Progradação
20	17	Progradação

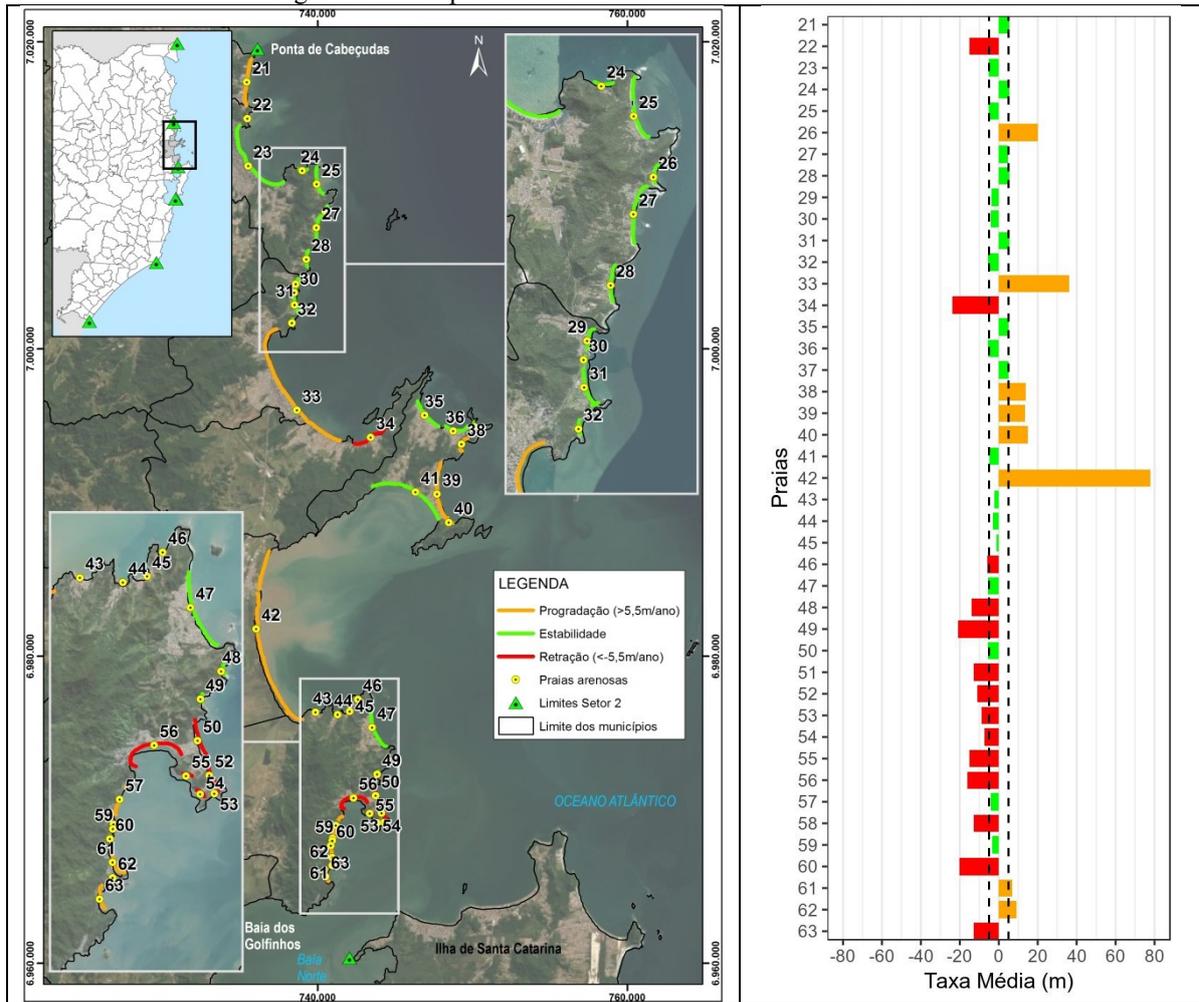
Fonte: Elaborado pelo autor

Dentre as praias analisadas, a nº 10 apresentou diferente comportamento em sua extensão, sendo na porção sul retração e na porção norte estabilidade, onde também nota-se que as praias com maior extensão apresentaram retração. Dessa forma, merecendo destaque as praias nº5 (5,2 m/ano), Forte-Pontal do Capri, e nº7 (-66m/ano), praia da Enseada, as quais são áreas de estudo desta tese, observa-se o comportamento da linha de costa de “Estabilidade” da primeira e de Retração na segunda, uma vez que dentro das condições anteriormente apresentadas, no Forte-Pontal do Capri o processo de transposição sedimentar ocorre naturalmente, havendo a formação do pontal arenoso, favorecendo o aporte sedimentar a toda extensão da praia. Já na praia da Enseada, em virtude do molhe edificado e da implantação do sistema de dragagem para suprir o equilíbrio sedimentar, no período analisado a taxa de deslocamento da linha de costa foi negativa.

### 5.2.2 Setor 2 – Da ponta de Cabeçadas à baía dos Golfinhos

Este setor compreende a linha de costa entre a ponta de Cabeçadas, município de Itajaí, até a Baía dos Golfinhos, município de Governador Celso Ramos. Possui a extensão de 204km, sendo 103km de praias arenosas distribuídos em 43 praias e 101km num total de 48 costões rochosos/promontórios (Figura 49 e tabela 10).

Figura 49 - Comportamento da Linha de Costa referente ao setor 2



Fonte: Elaboração do autor. Imagem: Basemaps, ArcGIS 10.5.1

Tabela 10 - Comportamento da linha de costa no setor 2

<b>Praia (nº)</b>	<b>Taxa (m) 1978 - 2014</b>	<b>Comportamento</b>
21	5,5	Estabilidade
22	-15	Retração
23	-5,2	Estabilidade
24	5,4	Estabilidade
25	-5	Estabilidade
26	20	Progradação
27	4,8	Estabilidade
28	5,3	Estabilidade
29	-3,8	Estabilidade
30	-4,1	Estabilidade
31	5,3	Estabilidade
32	-5,5	Estabilidade
33	36	Progradação
34	-24	Retração
35	5	Estabilidade
36	-5,5	Estabilidade
37	5,2	Estabilidade
38	14	Progradação
39	13,5	Progradação
40	15	Progradação
41	-4,9	Estabilidade
42	78	Progradação
43	-2,3	Estabilidade
44	-3	Estabilidade
45	-1,2	Estabilidade
46	-6	Retração
47	-5,5	Estabilidade
48	-14	Retração
49	-21	Retração
50	-5,5	Estabilidade
51	-13	Retração
52	-11	Retração
53	-9	Retração
54	-7,2	Retração
55	-15	Retração
56	-16	Retração
57	-4	Estabilidade
58	-13	Retração
59	-3,3	Estabilidade
60	-20	Retração
61	7	Progradação
62	9	Progradação
63	-13	Retração

Fonte: Elaborado pelo autor

Contabiliza o total de 43 praias onde oito apresentaram progradação, 21 estabilidade e 14 retração. Destaca-se que a praia nº 42 é classificada como “praia + planície lamosa” (chernier) e é apresentada nos resultados por estar limitada por promontórios rochosos e entrecortada pelo rio Tijucas.

Assim, neste setor, como observado, a morfologia da linha de costa, sendo repleta de promontórios e praias de menor extensão caracterizadas como de enseada, juntamente com as condições e atuação dos agentes oceanográficos, apresenta o maior número de praias com taxas dentro da estabilidade.

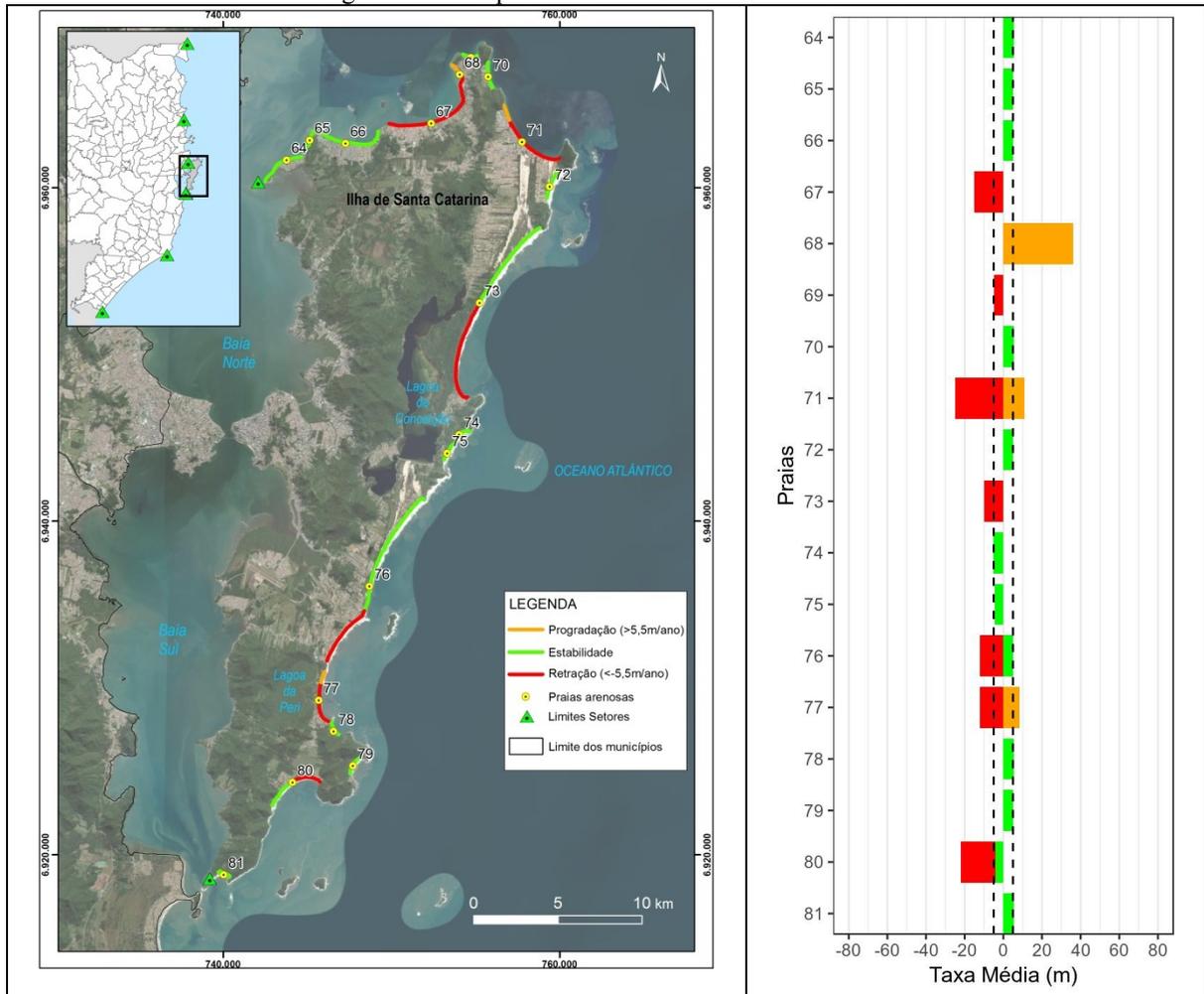
### 5.2.3 Setor 3 – Ilha de Santa Catarina

Este setor compreende a linha de costa da Ilha de Santa Catarina, município de Florianópolis. Possui a extensão de 124 km, sendo 60km de praias arenosas expostas e 64km de costões rochosos/promontórios. Na tabela 11 e figura 50 são apresentadas as taxas de comportamento da linha de costa.

Tabela 11 - Comportamento da linha de costa no setor 3

Praia (nº)	Taxa (m) 1978 - 2014	Comportamento
64	5,4	Estabilidade
65	4,9	Estabilidade
66	5,2	Estabilidade
67	-15	Retração
68	36	Progradação
69	-4,7	Retração
70	5,5	Estabilidade
71	11	Progradação
	-25	Retração
72	5	Estabilidade
73	-9,8	Retração
74	-5,1	Estabilidade
75	-4,3	Estabilidade
76	5,2	Estabilidade
	-12	Retração
77	8,2	Progradação
	-12	Retração
78	5,3	Estabilidade
79	5	Estabilidade
80	-18	Retração
	-3,9	Estabilidade
81	5,5	Estabilidade

Figura 50 - Comportamento da Linha de Costa no setor 3



Fonte: Elaboração do autor. Imagem: Basemaps, ArcGIS 10.5.1

Destaca-se que a praia n° 71 (Praia dos Ingleses) e n° 77 (Armação do Pântano do Sul) demonstraram taxas de progradação (na porção norte) e retração (porções central e sul), n° 73 (Barra da Lagoa-Moçambique), n° 76 (Joaquina-Campeche-Morro das Pedras) e n°80 (Pântano do Sul-Açores) apresentaram taxas de estabilidade e retração.

Repara-se que a maior taxa de progradação neste setor foi a praia n° 68 (Ponta das canas) devido a existência do pontal arenoso, e na praia n°67 (Canasvieiras) a retração, o que determina que o pontal arenoso no período analisado atue diretamente como um ponto temporário de deposição e que é responsável pelo aporte na dinâmica sedimentar da praia n° 67.

#### 5.2.4 Setor 4 – Da Ponta do Papagaio ao Cabo de Santa Marta Grande

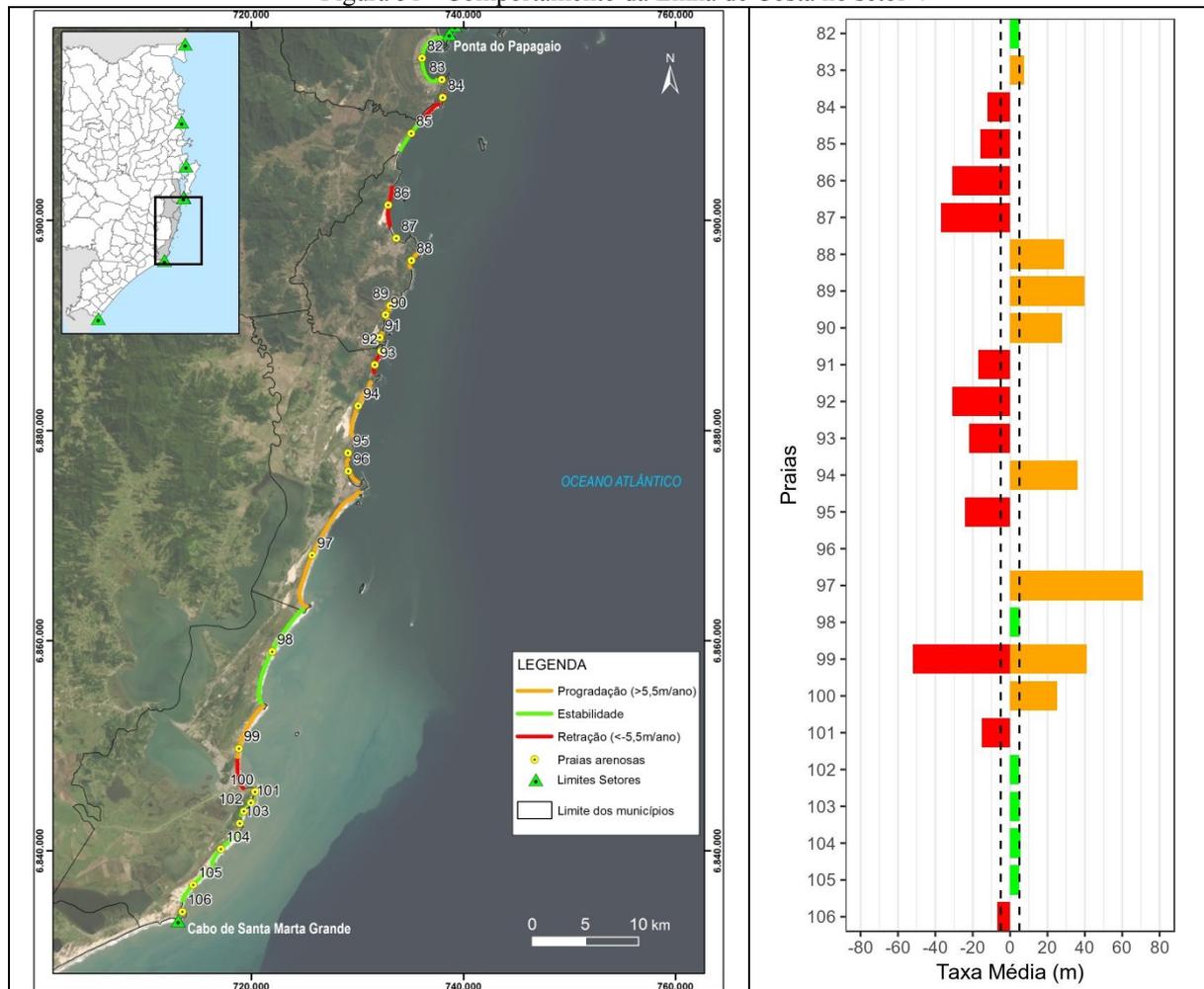
Este setor compreende a linha de costa que se estende do promontório da Ponta do Papagaio, município de Palhoça, até o promontório do Cabo de Santa Marta Grande, município de Laguna. Possui a extensão de 163km, sendo 103km de praias e 60km de costões rochosos/promontórios. Contabiliza o total de 25 praias das quais 10 apresentaram retração, seis estabilidade e cinco progradação (Figura 51, Tabela 12).

Tabela 12 - Comportamento da linha de costa no setor 4

<b>Praia (nº)</b>	<b>Taxa (m) 1978 - 2014</b>	<b>Comportamento</b>
82	4,9	Estabilidade
83	7,5	Progradação
84	-12	Retração
85	-16	Retração
86	-31	Retração
87	-37	Retração
88	29	Progradação
89	40	Progradação
90	28	Progradação
91	-17	Retração
92	-31	Retração
93	-22	Retração
94	36	Progradação
95	-24	Retração
96	82	Progradação
97	71	Progradação
98	5,2	Estabilidade
99	41	Progradação
	-52	Retração
100	25	Progradação
101	-15	Retração
102	4,9	Estabilidade
103	5,2	Estabilidade
104	5,5	Estabilidade
105	5	Estabilidade
106	-7	Retração

Fonte: Elaboração do autor.

Figura 51 - Comportamento da Linha de Costa no setor 4



Fonte: Elaboração do autor. Imagem: Basemaps, ArcGIS 10.5.1.

Neste setor, se comparado aos demais, as taxas de retração e progradação foram as mais expressivas. E como nos demais setores apresentados, há diferentes taxas numa mesma praia, como na n° 99, onde na porção sul ocorreu uma retração e na porção norte progradação significativas.

### 5.2.5 Setor 5 – Do Cabo de Santa Marta a desembocadura do Rio Mampituba

Este setor compreende a linha de costa que se estende do promontório do Cabo de Santa Marta Grande, município de Laguna, até a desembocadura do Rio Mampituba, divisa sul do Estado de Santa Catarina entre os municípios de Passo de Torres/SC e Torres/RS. Possui a extensão de 162km, sendo 151,3km de praias e somente um costão

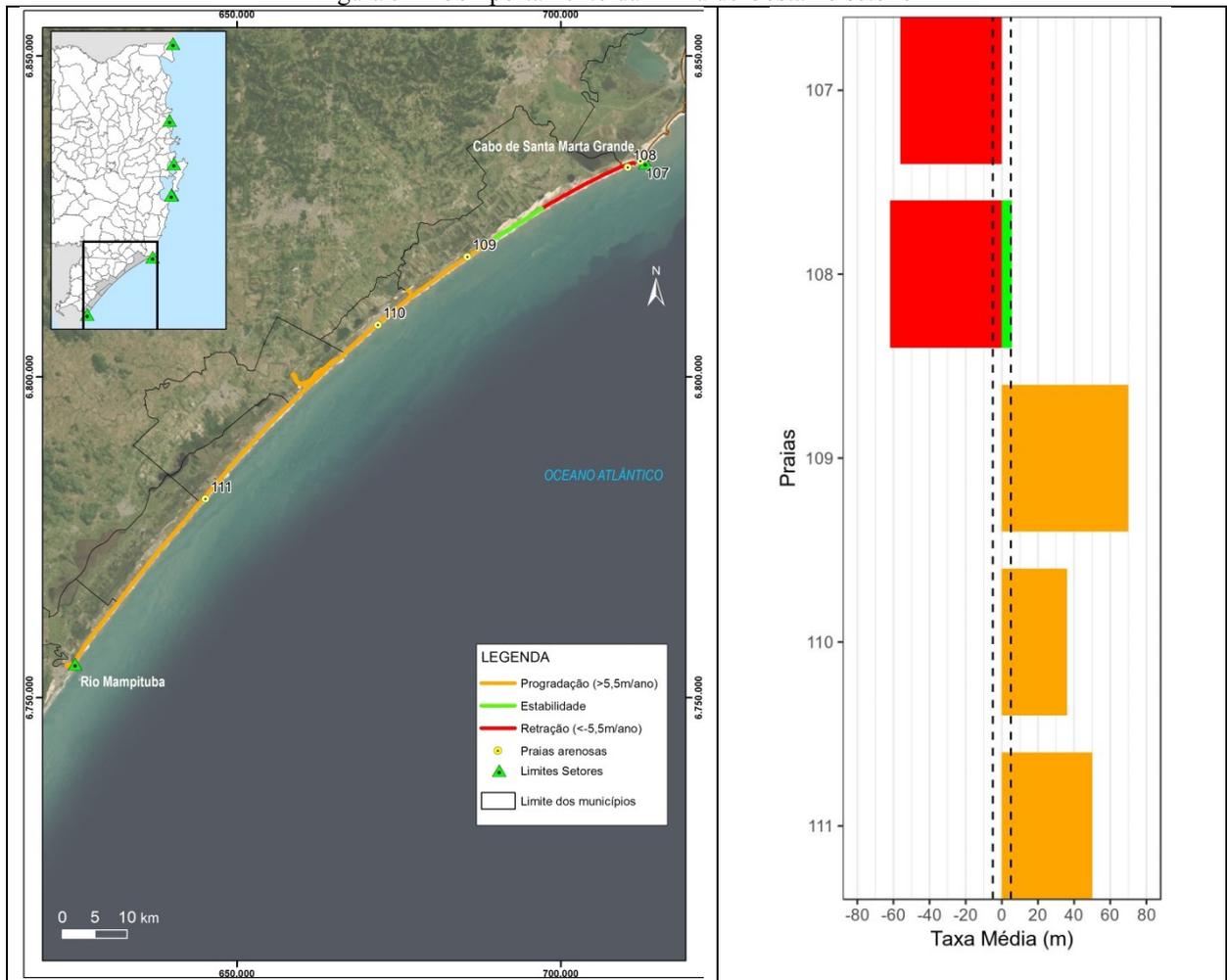
rochoso/promontórios com extensão de 678m. Contabiliza o total de cinco praias e o comportamento das mesmas é apresentado na tabela 13 e figura 52.

Tabela 13 - Comportamento da linha de costa no setor 5

Praia (n°)	Taxa (m) 1978 - 2014	Comportamento
107	-56	Retração
108	-62	Retração
	5,5	Estabilidade
109	70	Progradação
110	36	Progradação
111	50	Progradação

Fonte: Elaboração do autor.

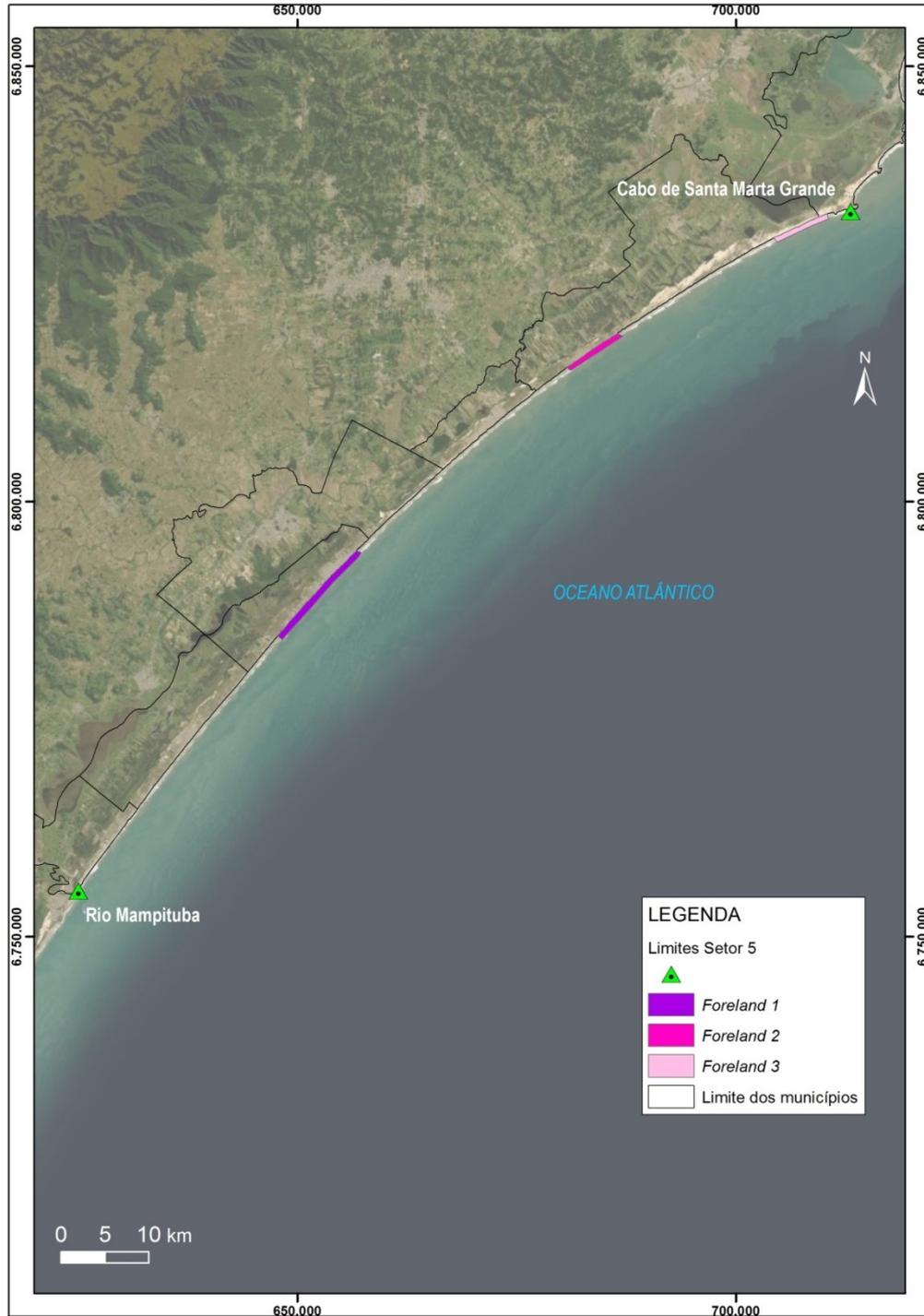
Figura 52 - Comportamento da Linha de Costa no setor 5



Fonte: Elaboração do autor. Imagem: Basemaps, ArcGIS 10.5.1

Como observado, das cinco praias deste setor, três estão em progradação, uma em retração e uma, n° 108, apresenta comportamento de estabilidade e retração em sua extensão. Destaca-se neste setor a presença de feições sedimentares denominadas *Travelling Forelands* migrando no sentido sul-norte (Figura 53). Evidências dessas feições foram observadas em campo a partir de cristas de dunas frontais pretéritas (Figura 54).

Figura 53 - *Travellings Forelands* evidenciados no setor 5



Fonte: Elaboração do autor. Imagem: Basemaps, ArcGIS 10.5.1

Figura 54 - Escarpa das dunas frontais pretéritas localizada no *Foreland 2*



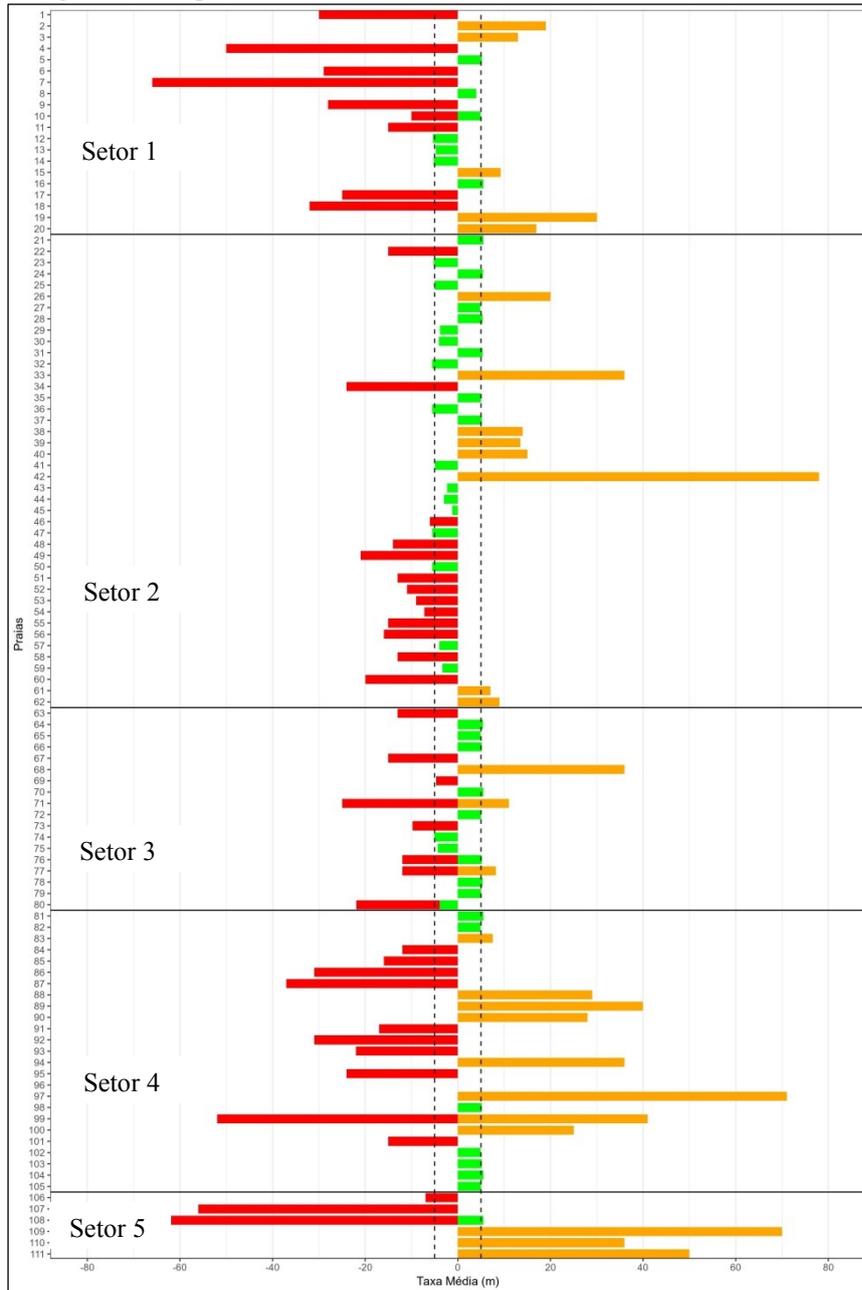
Fonte: Antonio Henrique da Fontoura Klein.

A feição *foreland 1*, com comprimento de 13km, foi observada na comparação entre as linhas de costa de 1978 e 2010, a *foreland 2*, com comprimento de 7km, entre as linhas de costa de 2010 e 2014, e a *foreland 3*, com comprimento de 6km, que foi observada a partir de imagens de satélite de anos posteriores disponíveis no *software Google Earth*.

#### **5.2.6 Sumário – Comportamento da linha de costa no estado de Santa Catarina**

Em suma, a linha de costa no estado de Santa Catarina apresentou diferentes comportamentos nos cinco setores analisados, bem como dentro das praias presentes em cada um deles, como exposto na figura 55.

Figura 55 – Visão geral do comportamento de toda a extensão da linha de costa do estado de Santa Catarina.



Fonte: Elaboração do autor

Nota-se que nos setores 1, 4 e 5 as taxas de retração e progradação foram as mais representativas e no setor 2 destacam-se as praias com taxas dentro da estabilidade. E como mencionado anteriormente, a presença da feição “*travelling foreland*” no setor 5 é notada também pela discrepância dos valores do comportamento da linha de costa o que evidenciado na figura 53.

### 5.3 EVOLUÇÃO GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICA DOS PONTAIS ARENOSOS

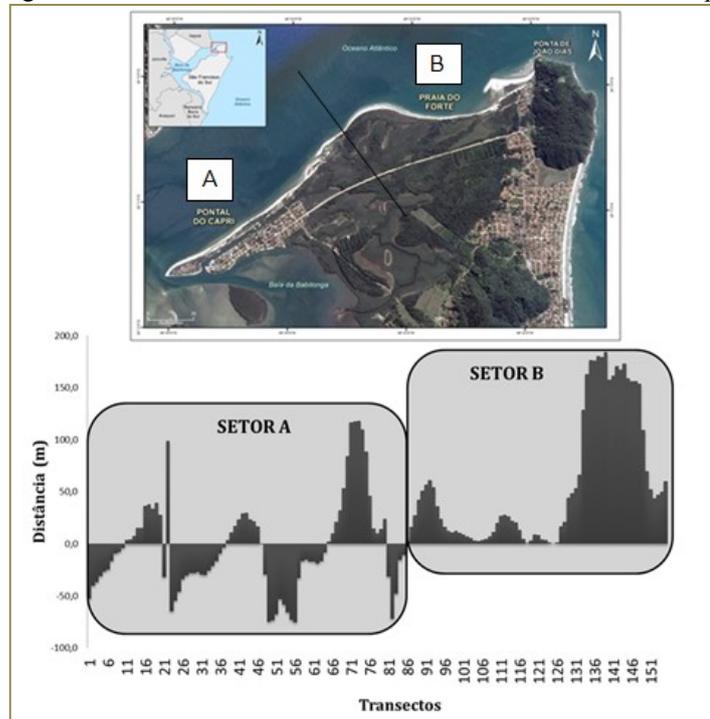
Neste capítulo são descritos o comportamento morfológico dos pontais arenosos analisados, sendo apresentados primeiramente os resultados a partir das fotografias aéreas e imagens de satélite e posteriormente do monitoramento topográfico.

#### 5.3.1 SUBÁREA 1 – ILHA DE SÃO FRANCISCO DO SUL

##### 5.3.1.1 Praia do Forte e Pontal do Capri

A Praia do Forte e o Pontal do Capri foram considerados um único sistema deposicional, onde o comportamento sedimentar está totalmente interligado, contudo pode ser dividido em dois setores para a análise da linha de costa: A) Pontal do Capri; B) Praia do Forte (Figura 56). Para a análise da linha de costa foi utilizada as imagens de satélite de 2003, 2009, 2011 e 2014 e a fotografia aérea de 2010, tendo máximos erosivos variando de 4,5m/ano a 12m/ano. Destacam-se os picos deposicionais situados na Praia do Forte (Pontal arenoso) e no setor central, Ponta do sumidouro.

Figura 56 – Análise da linha de costa Praia do Forte-Pontal do Capri



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de imagem do *software* Google Earth.

Nota-se que no setor B as maiores taxas de progradação são justamente onde está localizado o pontal arenoso (transectos 131 a 151), chegando a ter aproximadamente 150m de progradação. No setor A, mais precisamente entre os transectos 61 e 76 (Ponta do Sumidouro) também se tem uma alta taxa de progradação, merecendo destaque a junção do transporte longitudinal existente influenciado pela mobilidade da desembocadura do curso d'água existente.

### 5.3.1.2 Análise do pontal arenoso a partir das imagens de satélite e fotografias aéreas

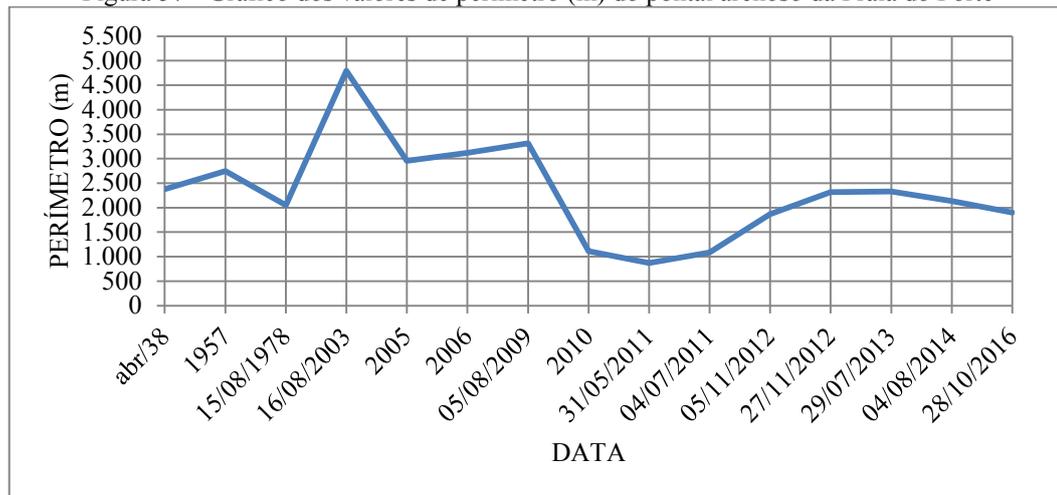
Quanto ao comportamento do pontal arenoso da Praia do Forte, os resultados referentes as análises as fotografias aéreas e imagens de satélite, valores de área e perímetro, são apresentados na Tabela 14 e nas figuras 57 a 58.

Tabela 14 - Valores de perímetro (m) e área (m<sup>2</sup>) do pontal arenoso da Praia do Forte.

Nº	Data	Perímetro	Área (m <sup>2</sup> )
1	04/1938	2.378	192.888
2	1957	2.748	104.613
3	15/08/1978	2.048	46.973
4	16/08/2003	4.793	97.077
5	2005	2.955	105.289
6	2006	3.118	121.155
7	05/08/2009	3.317	85.437
8	2010	1.111	38.518
9	31/05/2011	871	30.559
10	04/07/2011	1.088	44.383
11	05/11/2012	1.870	59.913
12	27/11/2012	2.316	69.398
13	29/07/2013	2.332	70.202
14	04/08/2014	2.132	65.754
15	28/10/2016	1.898	70.363

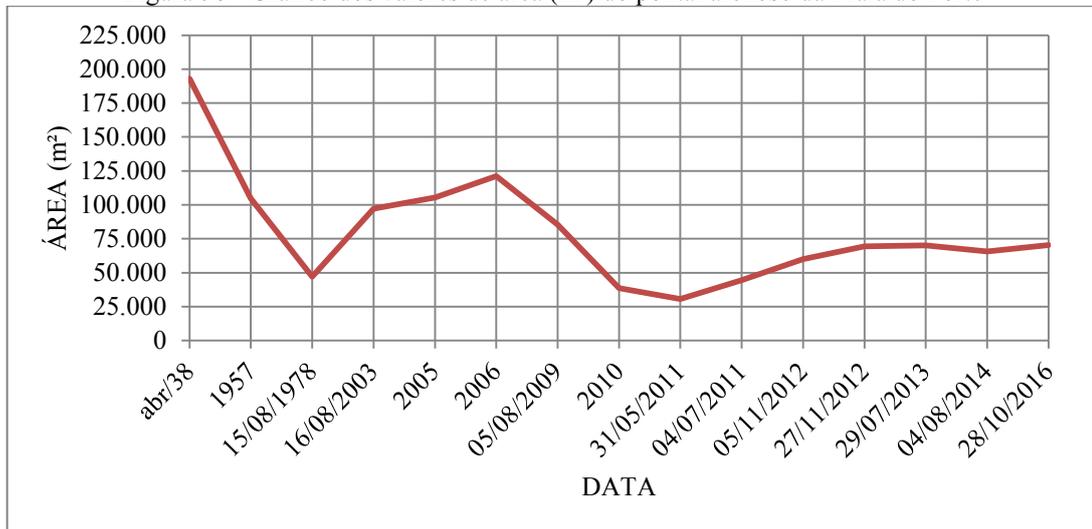
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 57 - Gráfico dos valores de perímetro (m) do pontal arenoso da Praia do Forte



Fonte: Elaboração do autor.

Figura 58 - Gráfico dos valores de área (m²) do pontal arenoso da Praia do Forte



Fonte: Elaboração do autor.

Na figura 59 e 60 tem-se a evolução do pontal arenoso do ano de 1938 a 2016, totalizando 78 anos, contudo devido a inexistência de série histórica contínua de fotografias aéreas e imagens de satélite, principalmente entre os anos de 1938 a 2003 (Figura 59A a Figura 59D), não se observa um padrão de evolução da feição neste período, limitando-se a conferência da morfologia da mesma, onde merece destaque os resultados do ano de 1938, que demonstra discrepância morfológica com todos os demais anos, além de semelhança com a saliência da Ponta do Sumidouro.

Referindo-se as dimensões dos pontais arenosos, tem-se uma tendência cíclica na evolução a partir do ano de 2009 (Figura 59G), onde neste a feição, como acima mencionado,

se apresenta contígua a linha de costa e já no ano de 2010 (Figura 59H) há o início da formação de um novo pontal arenoso.

Figura 59 – Pontal arenoso – Praia do Forte (1938 à 2010)

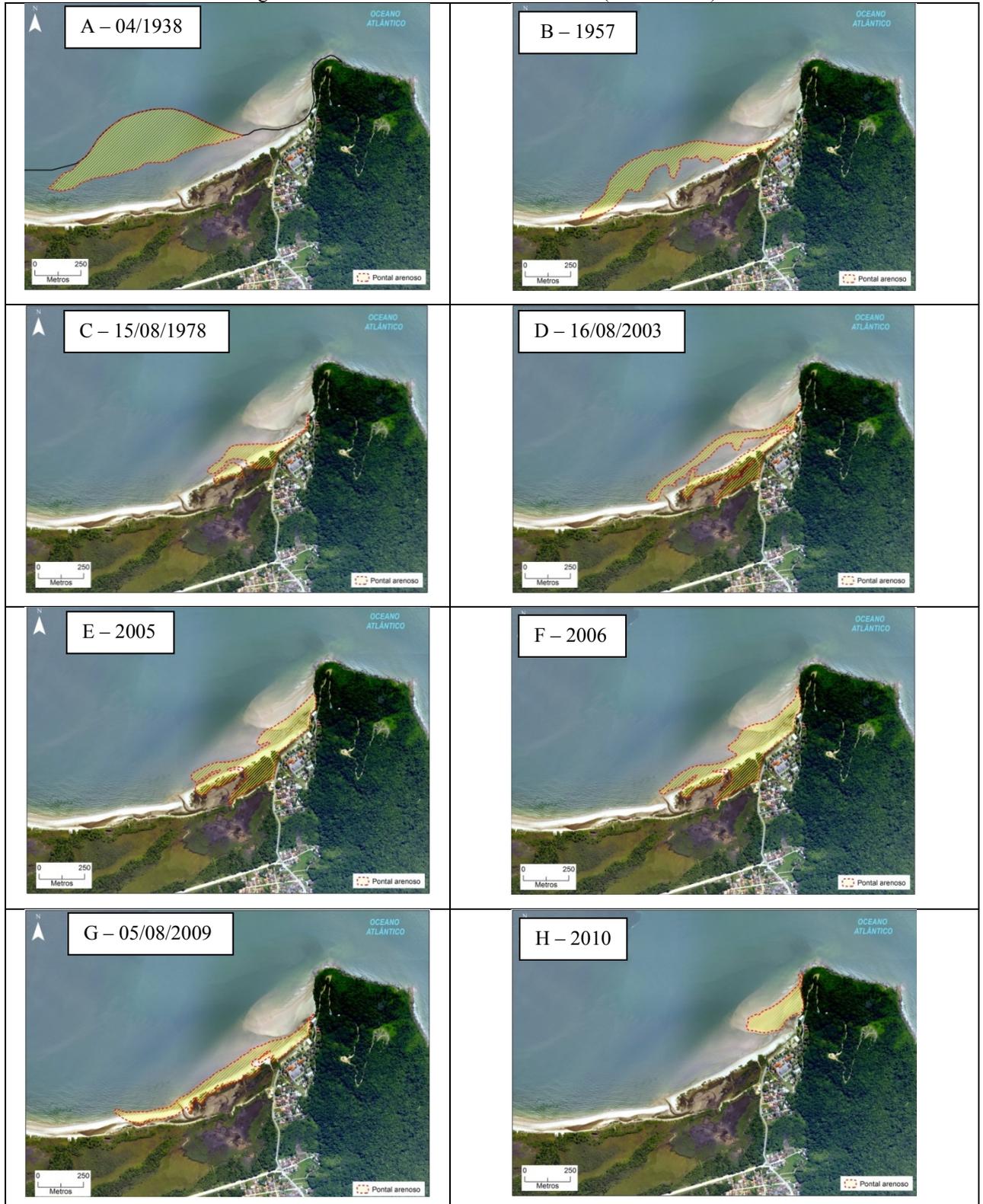
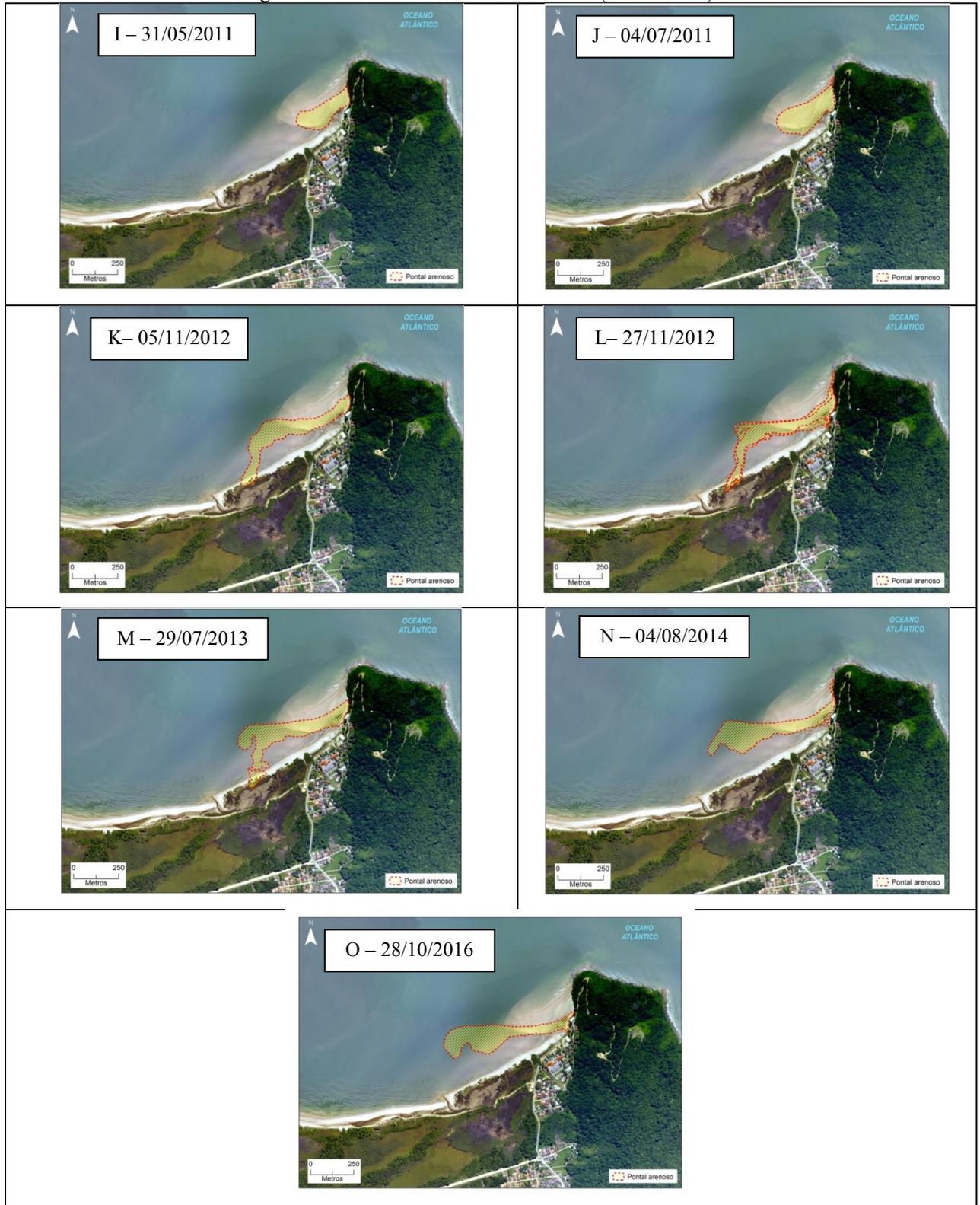


Figura 60– Pontal arenoso – Praia do Forte (2011 à 2016)



Fonte: Elaboração do autor sobre a fotografia aérea do ano de 2010 (SANTA CATARINA, 2012)

Dessa forma, observado nas figuras acima, o pontal arenoso segue o desenvolvimento no sentido leste-oeste, no sentido de inflexão da deriva litorânea causada pelo promontório rochoso (morro de João Dias). O ponto de ancoragem da feição sedimentar junto ao promontório variou no decorrer dos anos e a dinâmica de deposição dos pontais favorece a formação de uma sequência de barreiras que tendem a confinar uma laguna interior e também a formação de dunas frontais (Figura 61). Também, nos anos de 2010 e 2011 notam-se as menores áreas da feição, caracterizando o início de um novo ciclo de formação do pontal que seguiu em crescimento.

Figura 61 - Pontal do Forte no sentido leste-oeste. Nota-se a presença da laguna interna (a esquerda) e a formação de dunas frontais.



Fonte: José Mauricio de Camargo.

### 5.3.1.3 Análise do pontal arenoso a partir do monitoramento topográfico – praia do Forte

A partir do monitoramento topográfico tem-se a dinâmica mensal do pontal arenoso da praia do Forte. Na tabela 15 estão os valores de perímetro e área e na figura 62 e 63 observa-se a evolução da feição.

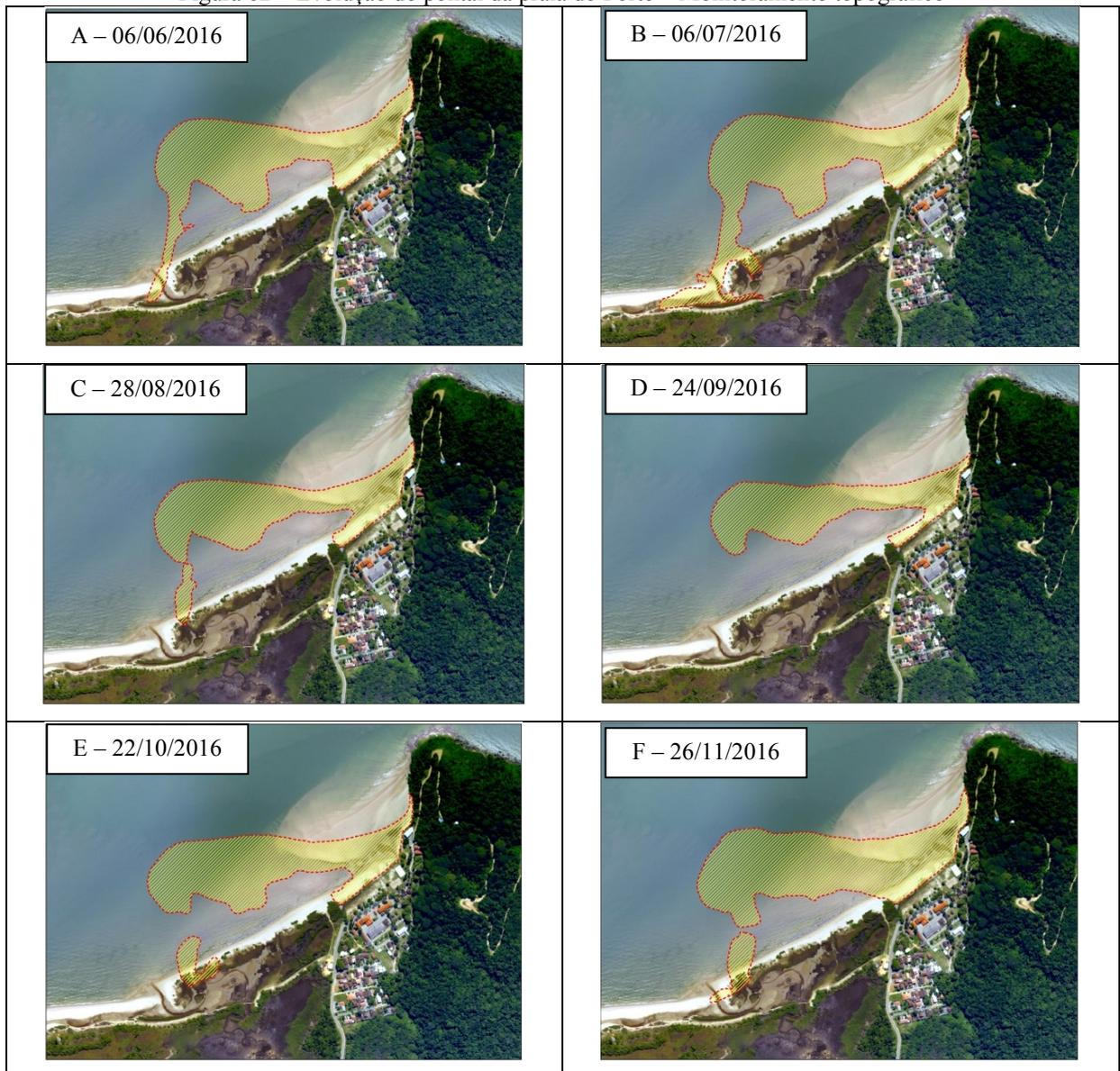
Tabela 15- Valores de perímetro e área do monitoramento topográfico do pontal arenoso - Praia do Forte

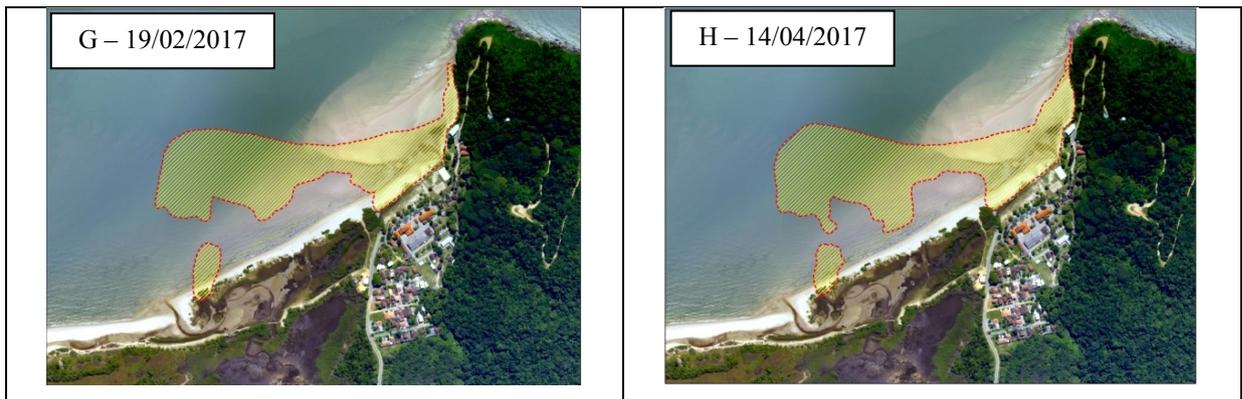
Nº	Data	Perímetro(m)	Área (m²)
1	09/06/2016	2.891	131.393
2	06/07/2016	3.836	158.807
3	28/08/2016	2.613	108.008
4	24/09/2016	2.209	90.558

5	22/10/2016	2.810	122.758
6	26/11/2016	2.755	151.158
7	19/02/2017	2.725	129.829
8	14/04/2017	3.006	140.222
9	26/05/2017	3.311	166.631
10	26/06/2017	2.370	148.185
11	26/07/2017	2.710	150.752
12	29/08/2017	3.629	189.825

Fonte: Elaborado pelo autor

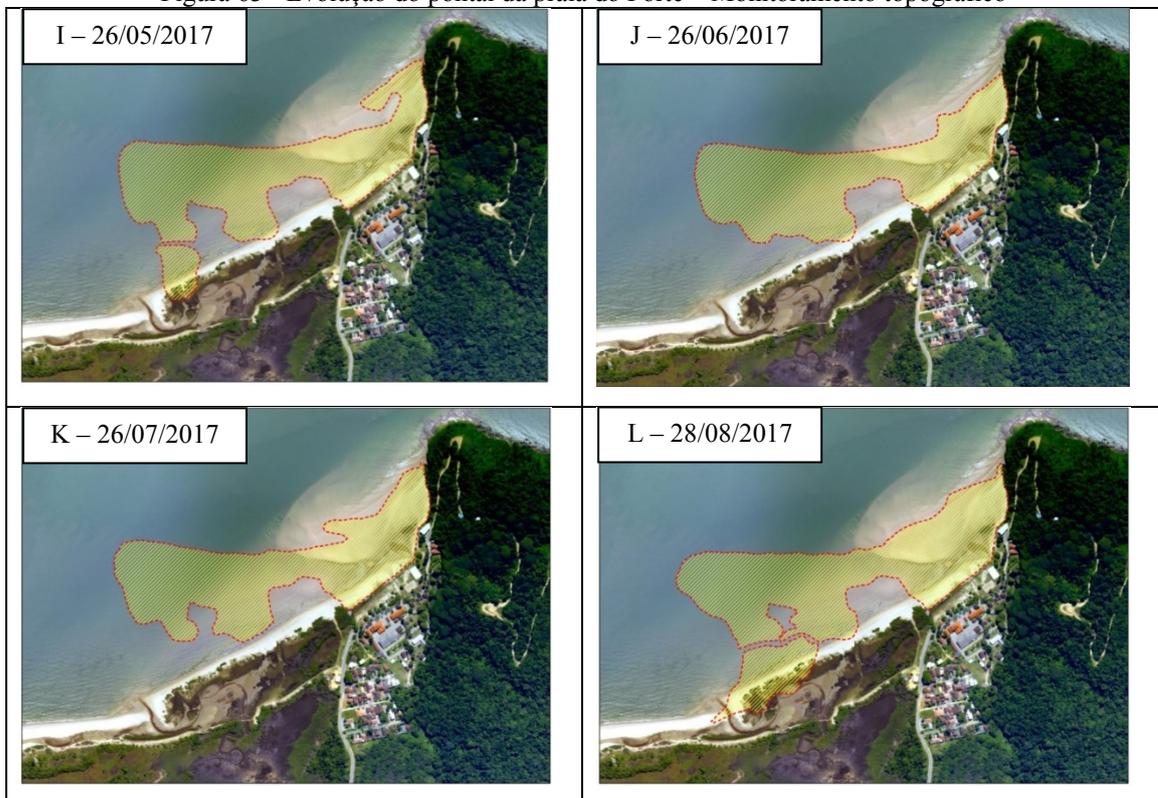
Figura 62 – Evolução do pontal da praia do Forte – Monitoramento topográfico





Fonte: Elaboração do autor sobre a fotografia aérea do ano de 2010 (SANTA CATARINA, 2012).

Figura 63 - Evolução do pontal da praia do Forte – Monitoramento topográfico



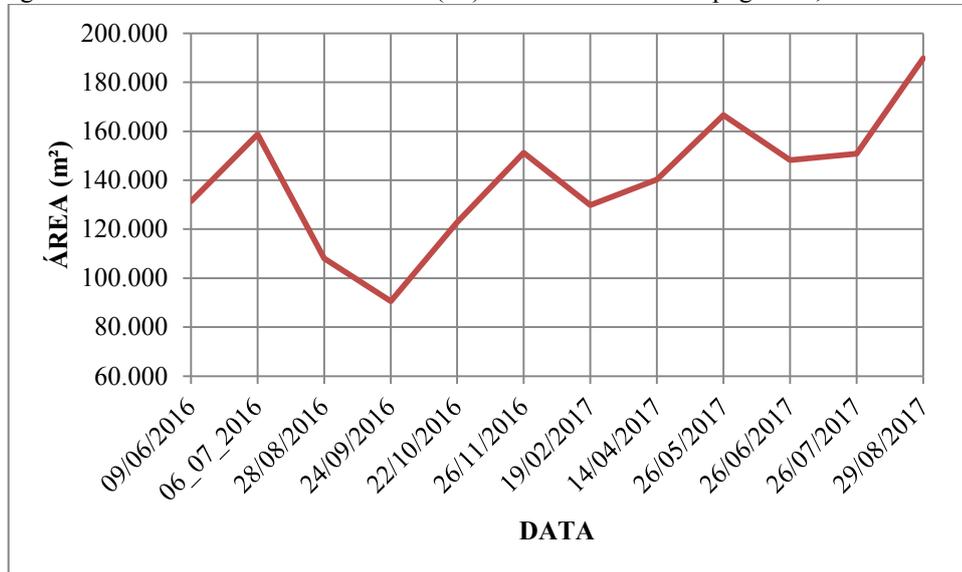
Fonte: Elaboração do autor sobre a fotografia aérea do ano de 2010 (SANTA CATARINA, 2012).

Assim, nota-se que no período do monitoramento topográfico o pontal arenoso se comportou de maneira dinâmica, corroborando com o comportamento obtido pelas fotografias aéreas e imagens de satélite, onde há a presença de laguna interior e merecendo destaque a formação de novos bancos na sua porção longitudinal, como também uma retração na porção contígua ao promontório. Nota-se também que pontal arenoso se manteve contínuo, sem rompimento ao longo de sua extensão.

Referindo-se a taxa de evolução de área e perímetro do pontal arenoso no período do monitoramento, o valor foi de 58.400m<sup>2</sup> e 740m respectivamente, resultando numa taxa de

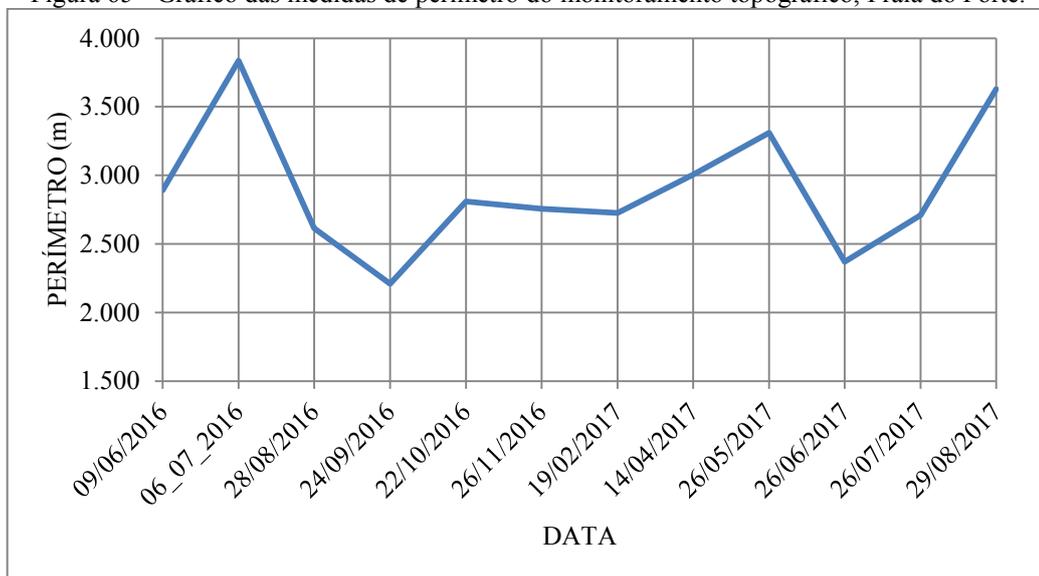
crescimento de  $4.866\text{m}^2/\text{ano}$  e  $61\text{m}/\text{ano}$ . Nas figuras 64 e 65 tem-se os gráficos da evolução da feição de ambas as mensurações.

Figura 64 - Gráfico das medidas de área ( $\text{m}^2$ ) do monitoramento topográfico, Praia do Forte.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 65 - Gráfico das medidas de perímetro do monitoramento topográfico, Praia do Forte.



Fonte: Elaborado pelo autor

O volume do pontal arenoso no período de monitoramento variou de acordo com a Tabela 16, sendo o volume inicial de  $326.250\text{m}^3$  e final de  $598.740\text{m}^3$ , resultando num acréscimo de volume de  $272.490\text{m}^3$  em 12 meses. Destaca-se que no decorrer das medições, como observado na figura 65 e tabela 16, o volume do pontal arenoso teve variações

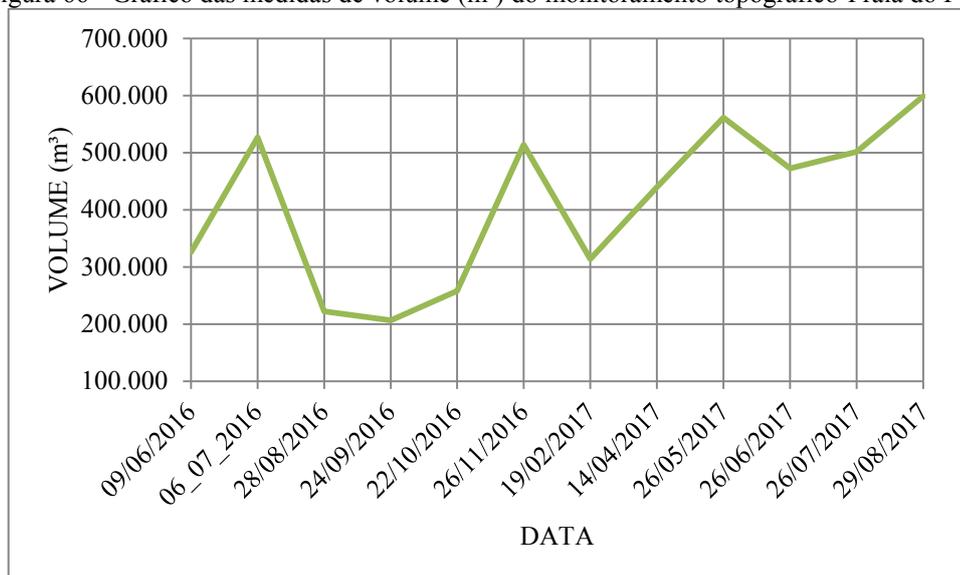
consideráveis abaixo do volume inicial, como o encontrado no mês de setembro de 2016, que foi 221.980m<sup>3</sup> (Figura 66).

Tabela 16 - Valores do volume do monitoramento topográfico do pontal arenoso - Praia do Forte

Data	Volume (m <sup>3</sup> )
06/2016	326.250
07/2016	526.570
08/2016	221.980
09/2016	206.650
10/2016	257.890
11/2016	513.650
02/2017	313.500
04/2017	439.650
05/2017	561.260
06/2017	472.390
07/2017	501.220
08/2017	598.740

Fonte: Elaborado pelo autor

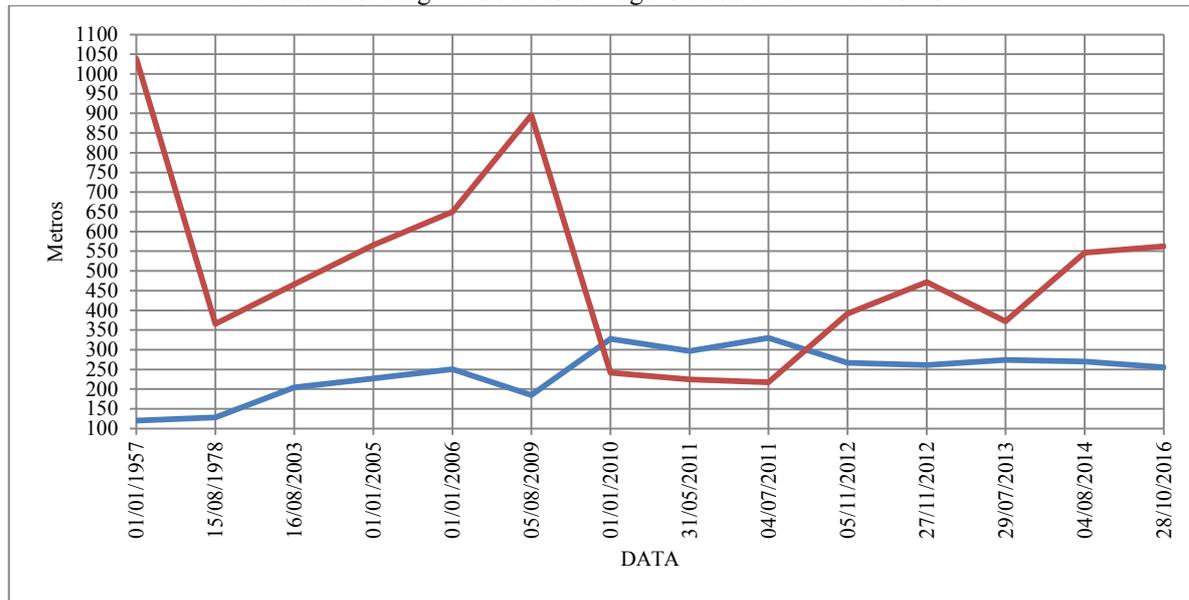
Figura 66 - Gráfico das medidas de volume (m<sup>3</sup>) do monitoramento topográfico-Praia do Forte



Fonte: Elaborado pelo autor

Referente a análise de largura e comprimento da feição, observa-se na figura 67 e Tabela 17, que a migração longitudinal apresenta, do ano de 2010 a 2016, uma taxa 320m, enquanto a largura da feição no mesmo período regrediu 72m (Figura66).

Figura 67- Gráfico dos valores de largura(m), em azul, e comprimento(m), em vermelho, referentes aos pontais arenosos das fotografias aéreas e imagens de satélite – Praia do Forte



Fonte: Elaborado pelo autor

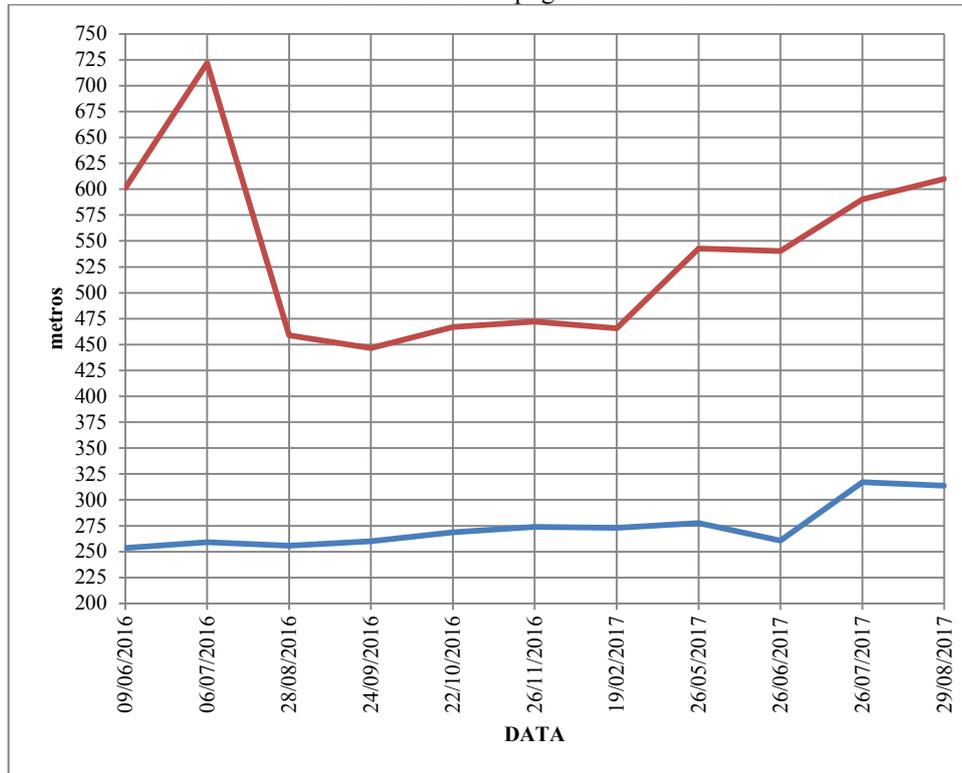
Tabela 17 - Valores de largura (m) e comprimento (m) dos pontal arenoso referentes as fotografias aéreas e imagens de satélite – Praia do Forte

Data	Largura (m)	Comprimento (m)
01/01/1957	120	1039
15/08/1978	128	365
16/08/2003	204	466
01/01/2005	227	566
01/01/2006	251	650
05/08/2009	185	895
01/01/2010	327	242
31/05/2011	297	225
04/07/2011	330	217
05/11/2012	267	392
27/11/2012	261	472
29/07/2013	274	372
04/08/2014	270	546
28/10/2016	255	562

Fonte: Elaborado pelo autor

Em relação a mesma análise realizada com os dados do monitoramento topográfico, obteve-se a taxa de migração longitudinal de 9m em 12 meses, contudo, como observado na figura 68 e tabela 18, este comportamento teve uma variação de retração de 276m (06/07/2016 a 24/09/2016) e posteriormente retomou a taxa positiva de 164m (24/09/2016 a 29/08/2017).

Figura 68 - Gráfico dos valores de largura(m), em azul, e comprimento(m), em vermelho, referentes aos pontais arenosos do monitoramento topográfico – Praia do Forte



Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 18 - Valores de largura (m) e comprimento (m) dos pontal arenoso referentes ao monitoramento topográfico, Praia do Forte

Data	Largura (m)	Comprimento (m)
09/06/2016	254	601
06/07/2016	259	722
28/08/2016	256	459
24/09/2016	260	446
22/10/2016	269	467
26/11/2016	274	472
19/02/2017	273	466
26/05/2017	278	543
26/06/2017	261	540
26/07/2017	317	590
29/08/2017	314	610

Fonte: Elaborado pelo autor

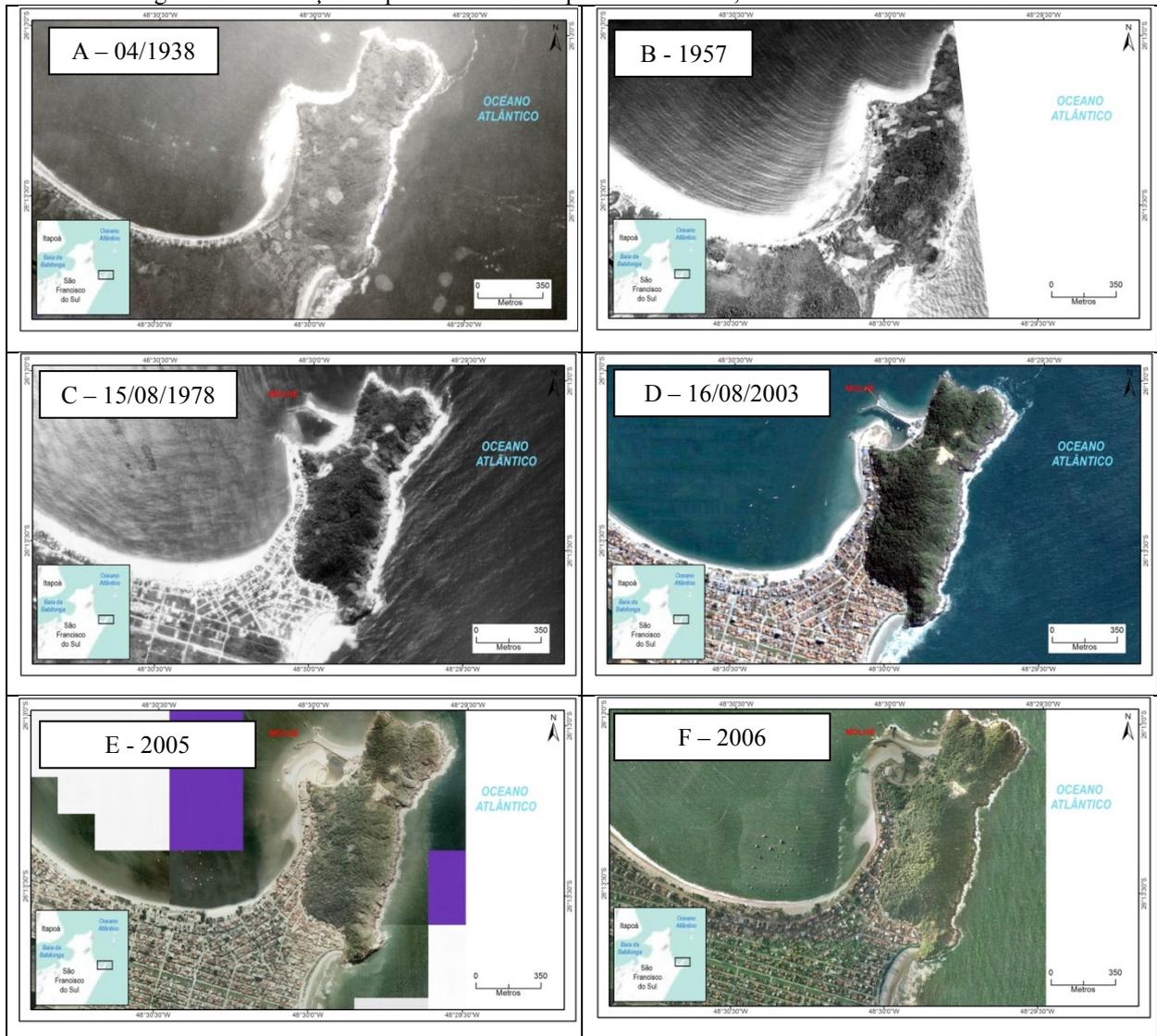
Assim, como se observou nos resultados acima, o pontal arenoso da praia do Forte apresenta um comportamento cíclico de formação, onde o aporte sedimentar oriundo das praias adjacentes somados as condições hidrodinâmica, de deposição e espaço de acomodamento, possibilitam que a feição emerja.

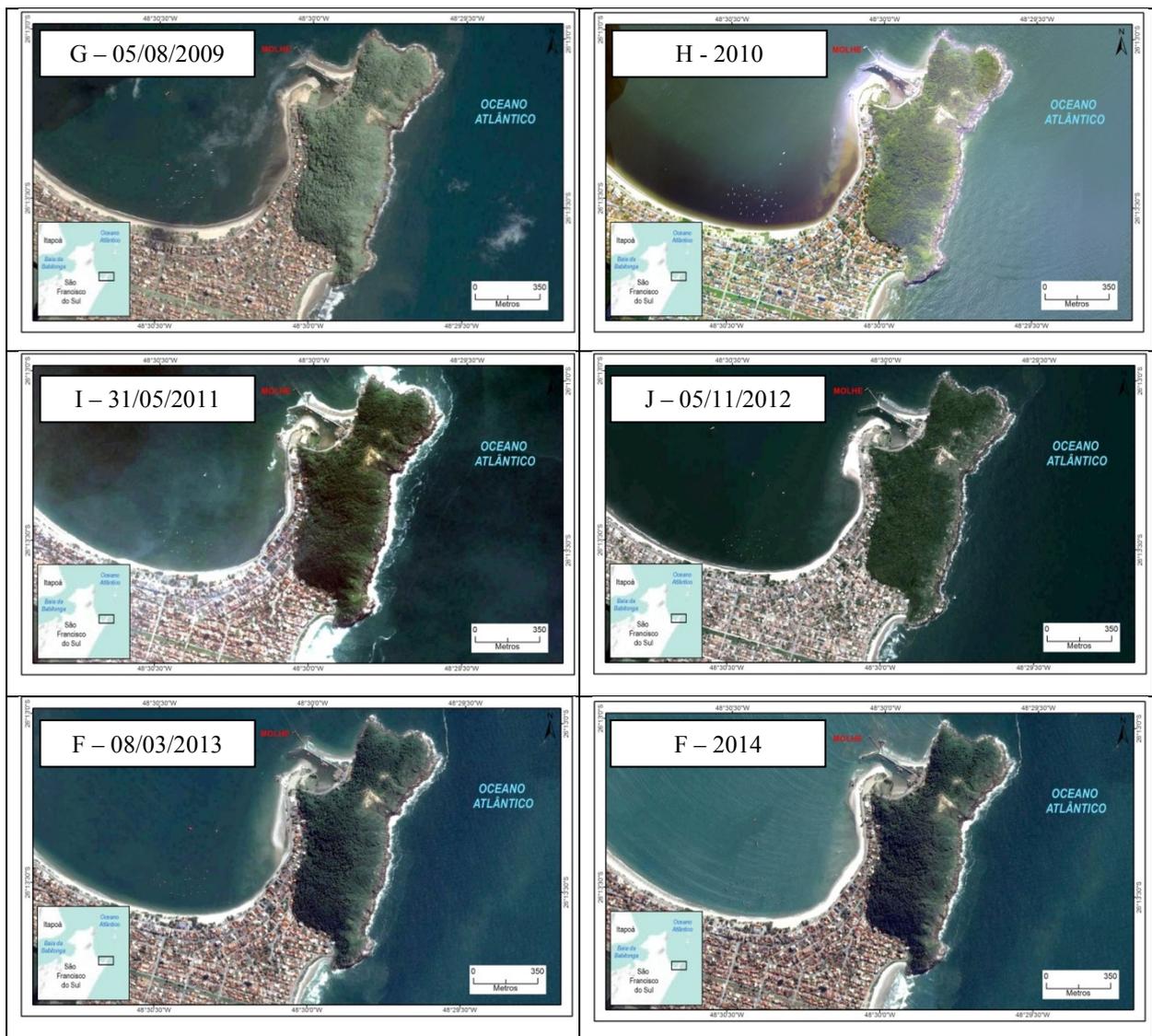
### 5.3.2 Praia da Enseada

#### 5.3.2.1 Análise do pontal arenoso a partir das imagens de satélite e fotografias aéreas

Os resultados da Praia da Enseada são provenientes exclusivamente das análises das fotografias aéreas e imagens de satélite (Figura 69) em virtude da formação do pontal arenoso ser diretamente dependente do sistema de dragagem implantado junto ao molhe.

Figura 69 – Evolução do pontal arenoso na praia da Enseada, ilha de São Francisco do Sul





Fonte: Elaborado pelo autor

Assim, como observado nos anos de 1938 e 1957 (Figuras 69A e 69B), ocorria a formação do pontal arenoso naturalmente em virtude do processo de transposição sedimentar, onde é notada evidências da feição e a presença de uma laguna interior.

Já a partir do ano de 1978 (Figura 69C), nota-se uma alteração na dinâmica sedimentar contígua ao promontório e ao molhe, sendo evidenciada uma retração da linha de costa no ano de 2003 (Figura 69D). No entanto, resultante do sistema de dragagem implantado há, nos anos posteriores, a deposição sedimentar ao longo da praia e a manutenção da linha de costa.

### 5.3.3 Ponta das Canas

#### 5.3.3.1 Análise do pontal arenoso a partir das imagens de satélite e fotografias aéreas

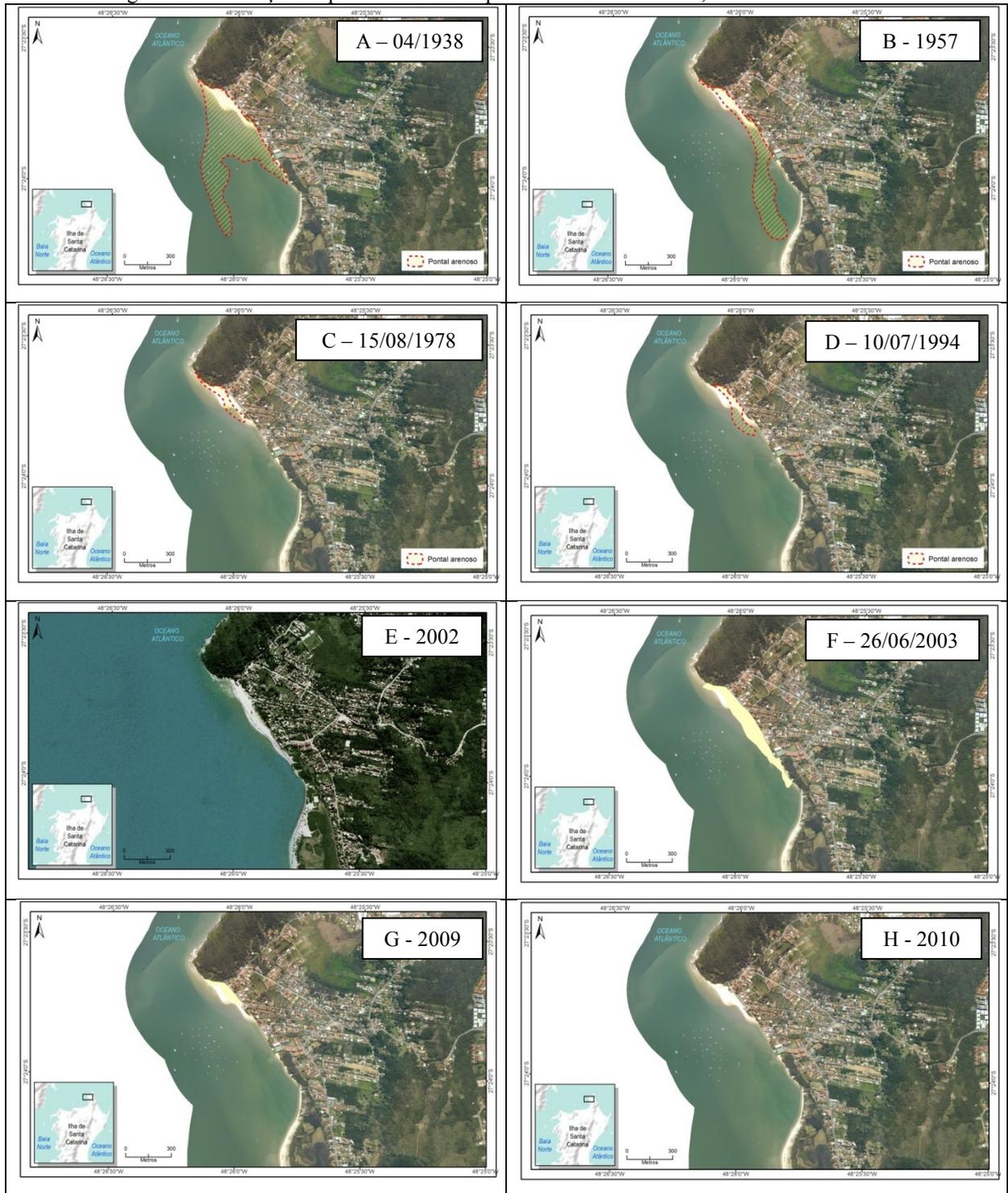
Referindo-se ao comportamento do pontal arenoso da Praia de Ponta das Canas, os resultados referentes as análises de fotografias aéreas e imagens de satélite, quanto a valores de área e perímetro, seguem na Tabela 18, na figura 70 (A – C') a evolução morfológica da feição e nas figuras 71 e 72 os gráficos de valores de área e perímetro.

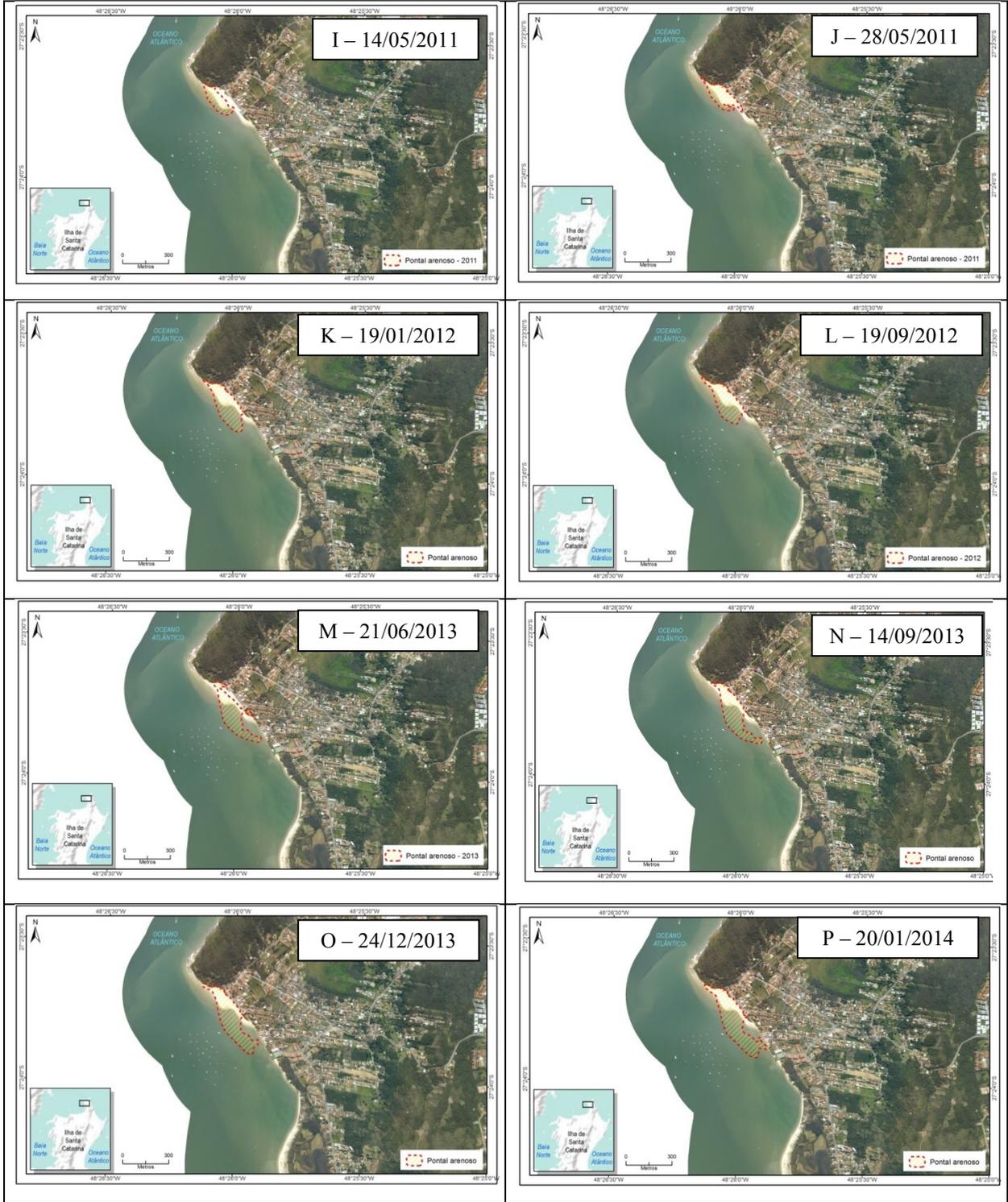
Tabela 19 – Valores de perímetro(m) e área (m<sup>2</sup>) do pontal arenoso de Ponta das Canas.

Nº	Data	Perímetro(m)	Área (m <sup>2</sup> )
1	04/1938	3.153	207.568
2	1957	2.677	101.194
3	15/08/1978	985	17.099
4	10/07/1994	986	20.982
5	2002	0	0
6	23/06/2003	0	0
7	2009	0	0
8	2010	0	0
9	28/05/2011	982	22.440
10	19/01/2012	960	34.626
11	19/09/2012	983	38.004
12	22/06/2013	1.258	43.194
13	14/09/2013	1.271	42.311
14	24/12/2013	1.357	50.263
15	20/01/2014	1.529	58.195
16	01/06/2014	1.592	48.319
17	27/10/2014	1.649	55.525
18	13/04/2015	1.767	52.310
19	25/04/2015	1.663	54.700
20	01/06/2015	1.716	53.041
21	09/06/2015	1.831	49.091
22	28/06/2015	1.849	54.326
23	09/07/2015	1.916	52.266
24	02/08/2015	1.912	50.835
25	22/05/2016	2.140	50.998
26	10/08/2016	2.224	51.197
27	05/02/2017	2.225	55.560

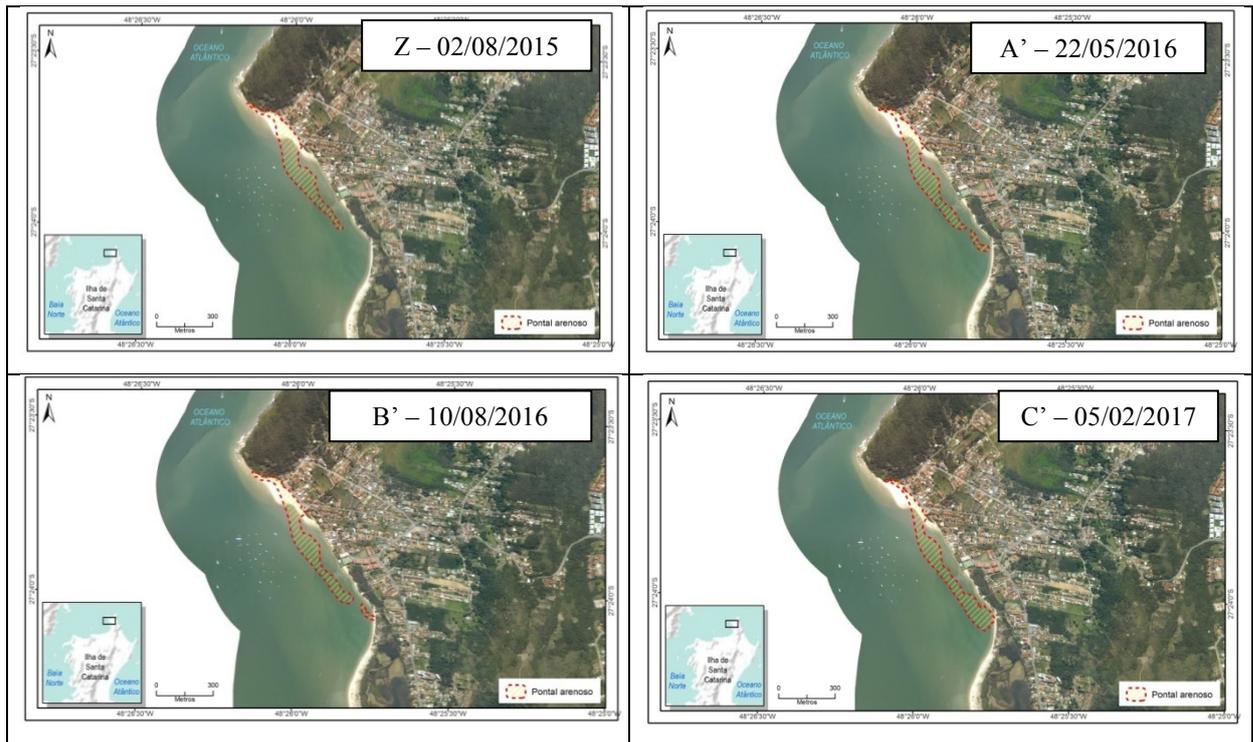
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 70 – Evolução do pontal arenoso da praia de Ponta das Canas, ilha de Santa Catarina







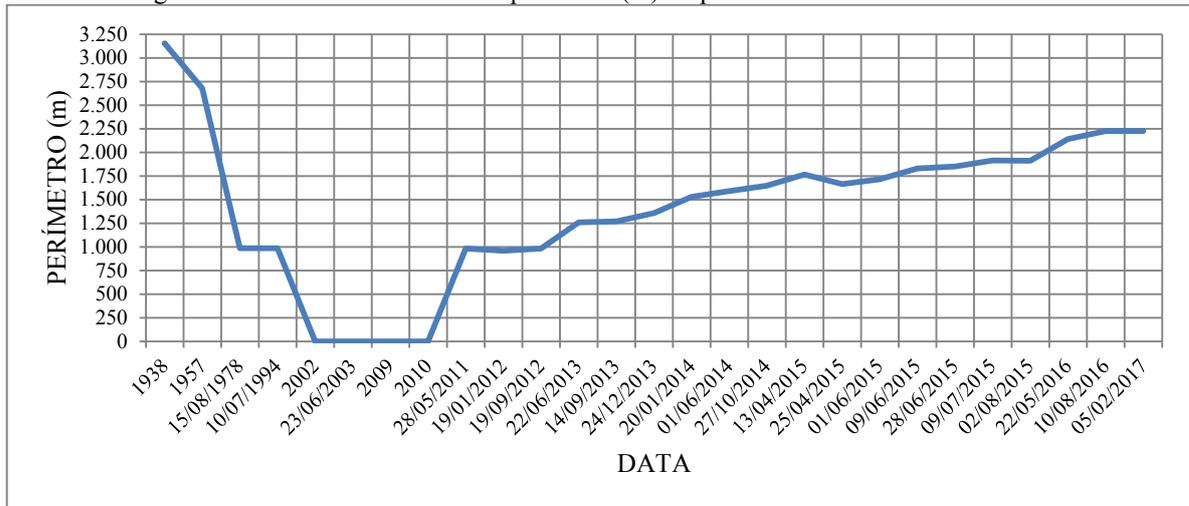


Fonte: Elaborado pelo autor

Nos resultados apresentados, observa-se que nos anos de 2002, 2003, 2009 e 2010 não há a presença do pontal e sim somente uma estreita faixa de praia contígua ao promontório, sendo somente no ano de 2011 que o pontal reinicia a sua formação no sentido norte-sul até se aproximar a linha de costa. Os valores de área e perímetro do período de 2011 a 2017 tiveram uma taxa de variação de aproximadamente 20.000m<sup>2</sup> a 60.000m<sup>2</sup> e seu perímetro de 1.300m a 2.300m (Figura 70-I a 70-C').

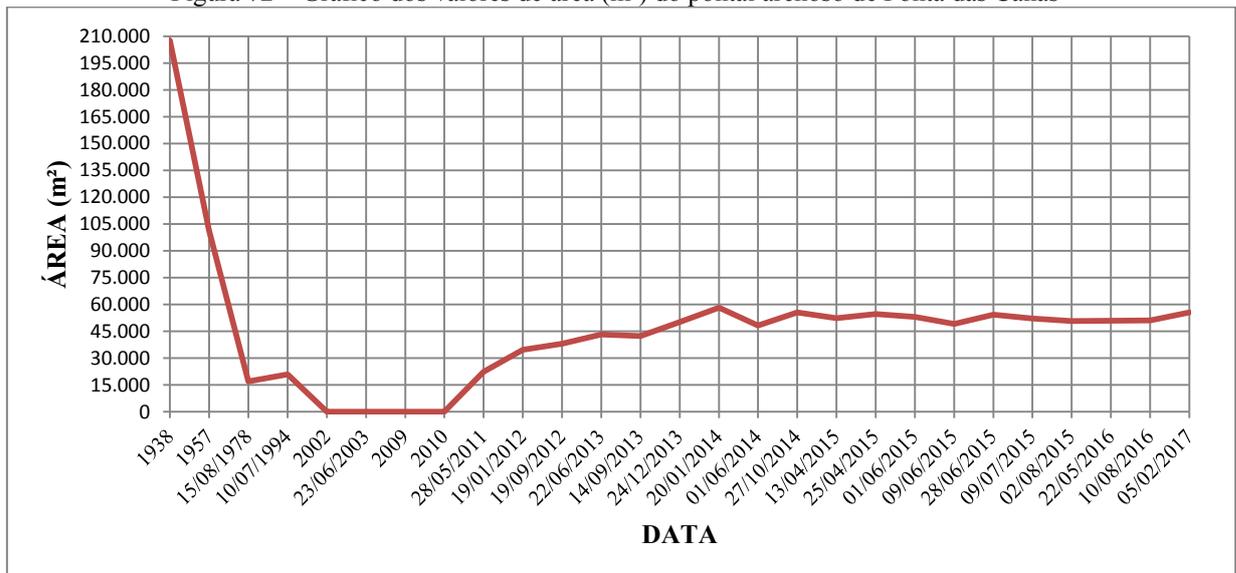
Destaca-se a Figura 70-A, na qual apresenta o pontal arenoso do ano de 1938, que demonstra maior área e uma morfologia distinta dos demais. Já no ano de 1957 (Figura 70-B) a feição apresenta um prolongamento longitudinal, no sentido norte-sul, tendendo a se ligar a linha de costa.

Figura 71 – Gráfico dos valores de perímetro (m) do pontal arenoso de Ponta das Canas



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 72 – Gráfico dos valores de área (m²) do pontal arenoso de Ponta das Canas



Fonte: Elaborado pelo autor

Dessa forma, o pontal arenoso manteve a evolução topográfica contínua e apresentou um comportamento cíclico, uma vez que a partir dos dados analisados, nos anos de 1938 a 1994 havia a presença do pontal arenoso e já nos anos de 2002 a 2010 nota-se a ausência da feição, onde a partir de 2011 se dá o início de uma nova formação do pontal.

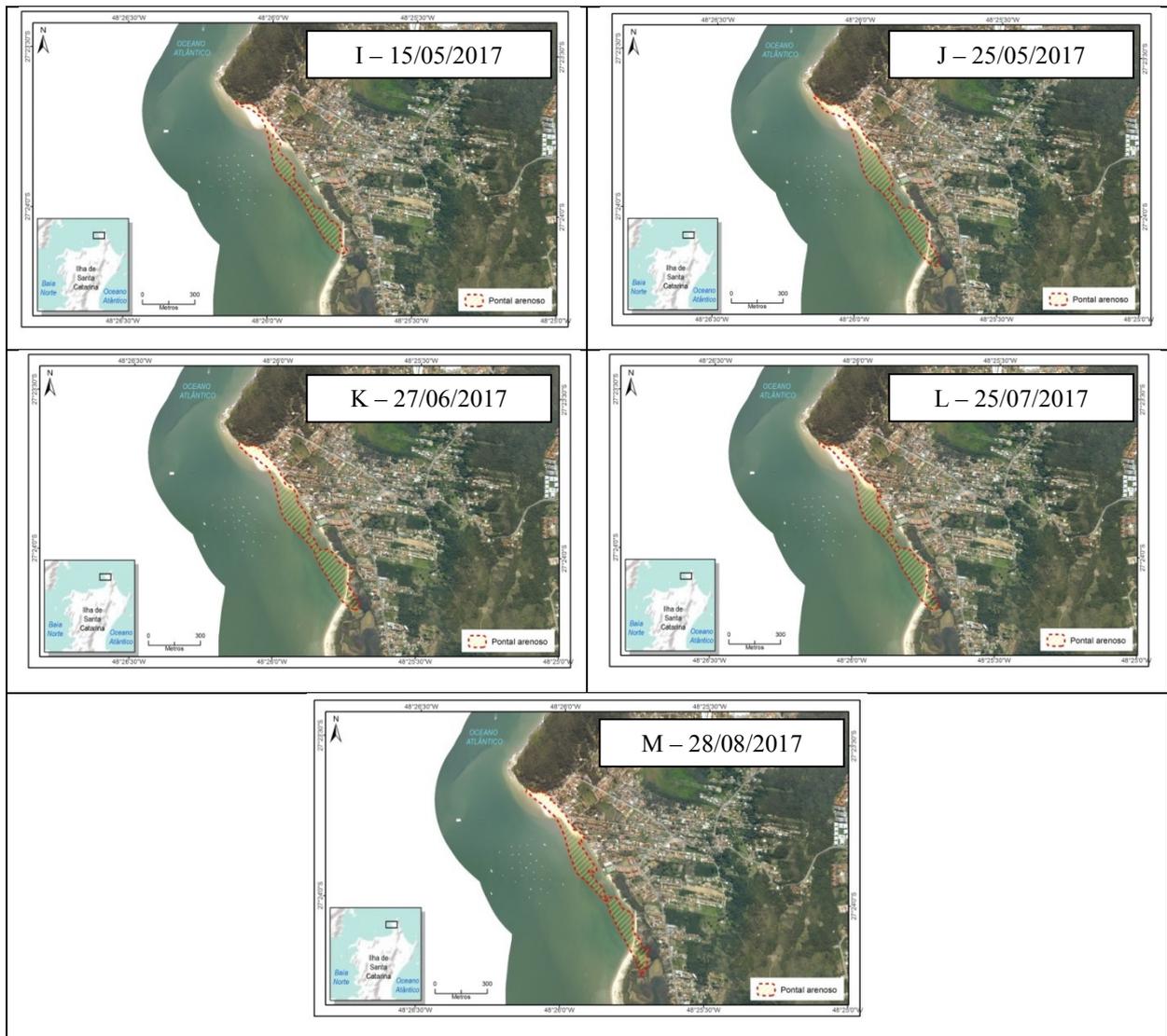
### 5.3.3.2 Análise do pontal arenoso a partir do monitoramento topográfico

A partir do monitoramento topográfico apresentado no item 4.6, foi observada a dinâmica por 13 meses do pontal arenoso de Ponta das canas. Nas figuras abaixo (Figura 73A

a 73M) e na Tabela 19 é apresentada a evolução morfológica da feição e os valores da área e perímetro respectivamente.

Figura 73 – Evolução do pontal arenoso de Ponta das Canas – Monitoramento topográfico





Fonte: Elaborado pelo autor

Notou-se, a partir do monitoramento topográfico, que o pontal arenoso manteve seu sentido de migração norte-sul, com uma taxa de crescimento  $2.289\text{m}^2/\text{mês}$  de área e  $70\text{m}/\text{mês}$  de perímetro (Tabela 20, Figuras 74 e 75). Observou-se também que a feição se fracionou na sua porção central (Figura 73M) após o surgimento e crescimento de um banco junto a laguna interior.

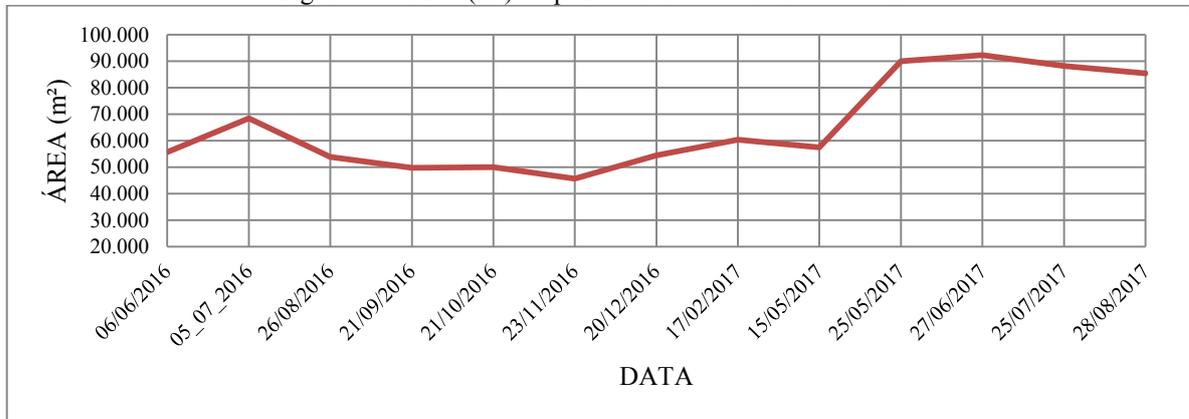
Tabela 20 – Valores de área( $\text{m}^2$ ) e perímetro (m) do monitoramento topográfico, Ponta das Canas

Nº	Data	Perímetro(m)	Área ( $\text{m}^2$ )
1	06/06/2016	2.102	55.613
2	05/07/2016	2.273	68.414
3	26/08/2016	2.294	53.831
4	21/09/2016	2.462	49.684
5	21/10/2016	2.249	49.986

6	23/11/2016	2.133	45.691
7	20/12/2016	2.186	54.436
8	17/02/2017	2.196	60.305
9	15/05/2017	2.430	57.414
10	25/05/2017	2.720	89.920
11	27/06/2017	2.660	92.215
12	25/07/2017	2.718	88.133
13	28/08/2017	3.010	85.378

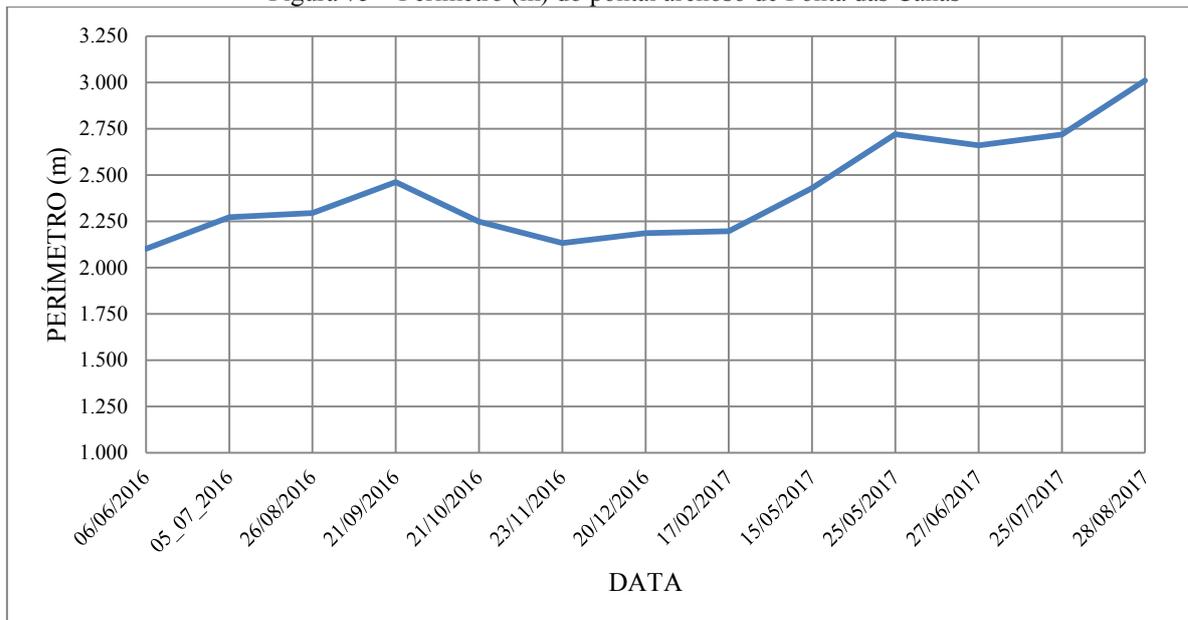
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 74 – Área (m<sup>2</sup>) do pontal arenoso de Ponta das Canas



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 75 – Perímetro (m) do pontal arenoso de Ponta das Canas



Fonte: Elaborado pelo autor

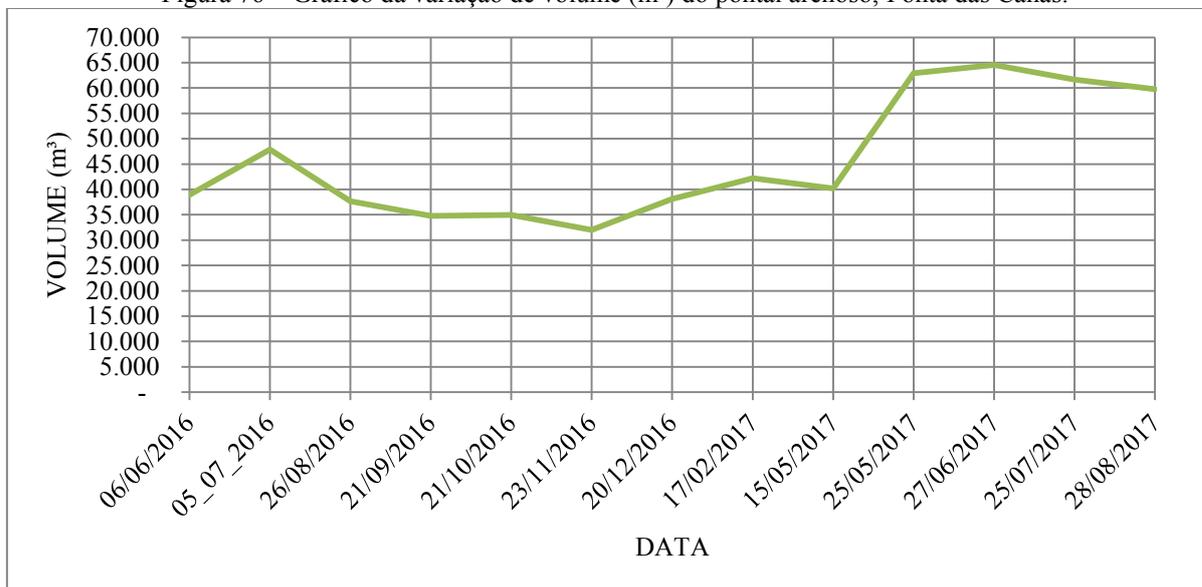
O volume da feição teve um acréscimo de 20.836 m<sup>3</sup>, resultando em uma taxa de 1.602m<sup>3</sup>/mês (Tabela 21, Figura 76).

Tabela 21 – Valores do volume (m<sup>3</sup>) do pontal arenoso de Ponta das Canas.

Data	Volume (m <sup>3</sup> )
06/06/2016	38.929
05/07/2016	47.890
26/08/2016	37.681
21/09/2016	34.778
21/10/2016	34.990
23/11/2016	31.984
20/12/2016	38.105
17/02/2017	42.214
15/05/2017	40.190
25/05/2017	62.944
27/06/2017	64.551
25/07/2017	61.693
28/08/2017	59.765

Fonte: Elaborado pelo autor

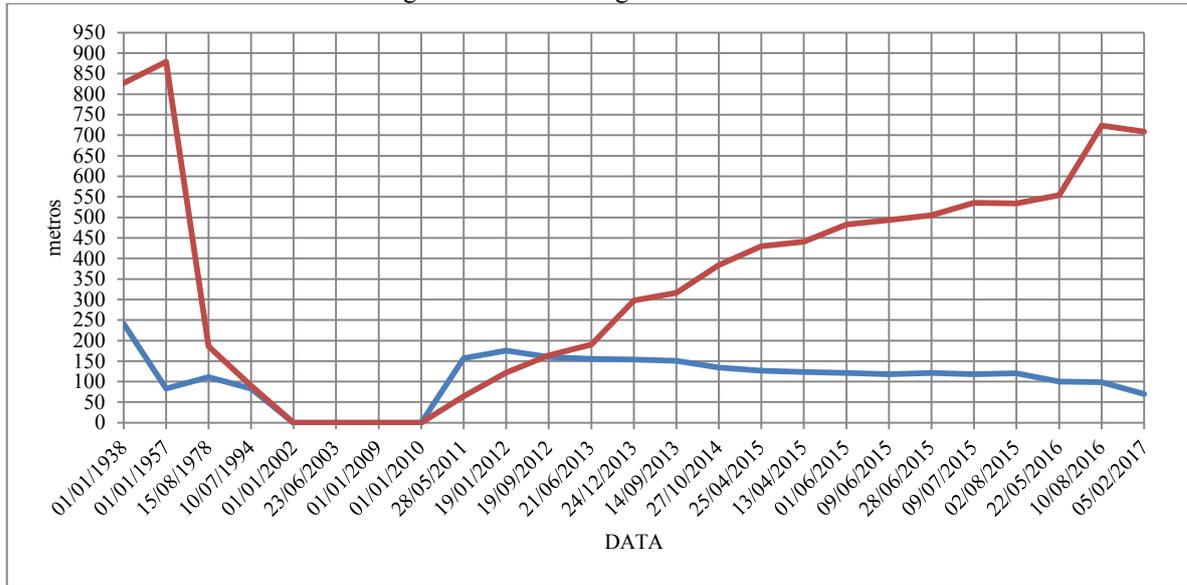
Figura 76 – Gráfico da variação de volume (m<sup>3</sup>) do pontal arenoso, Ponta das Canas.



Fonte: Elaborado pelo autor

Referente a análise de largura e comprimento da feição, observa-se na figura 77 e Tabela 22, que a migração longitudinal foi 709m em sete anos (2010 a 2017), enquanto a largura da feição no mesmo período regrediu 80m.

Figura 77 - Gráfico dos valores de largura(m), em azul, e comprimento(m), em vermelho, referentes aos pontais arenosos das fotografias aéreas e imagens de satélite – Ponta das Canas



Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 22- Valores de largura (m) e comprimento (m) do pontal arenoso referentes as fotografias aéreas e imagens de satélite - Ponta das Canas

Data	Largura(m)	Comprimento(m)
01/01/1938	241	827
01/01/1957	83	879
15/08/1978	111	186
10/07/1994	83	90
01/01/2002	0	0
23/06/2003	0	0
01/01/2009	0	0
01/01/2010	0	0
28/05/2011	157	64
19/01/2012	176	122
19/09/2012	160	164
21/06/2013	155	190
24/12/2013	154	297
14/09/2013	151	316
27/10/2014	135	384
25/04/2015	127	430
13/04/2015	123	441
01/06/2015	121	482
09/06/2015	118	493
28/06/2015	121	505
09/07/2015	118	536
02/08/2015	120	534
22/05/2016	100	554

10/08/2016	98	724
05/02/2017	70	709

Fonte: Elaborado pelo autor

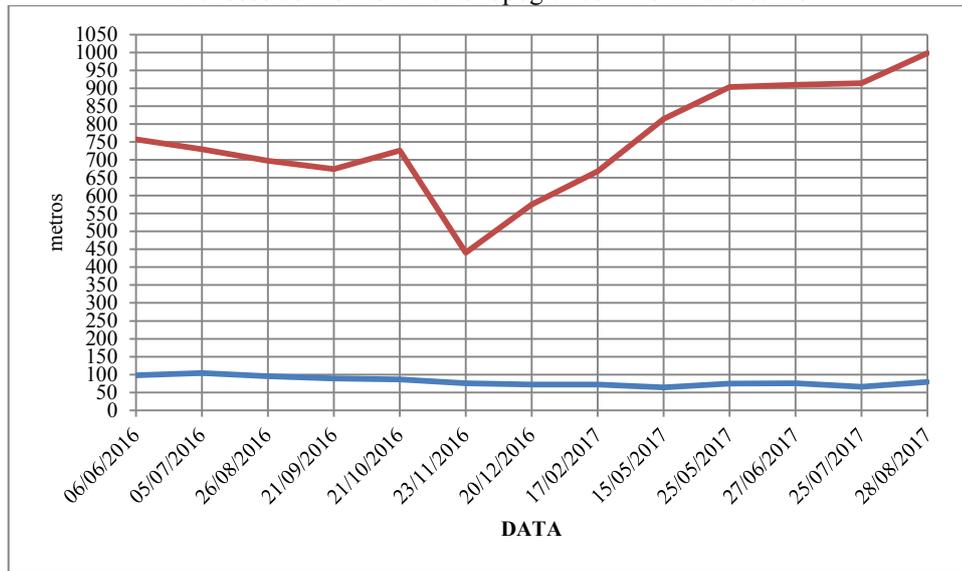
Quanto a mesma análise realizada com os dados do monitoramento topográfico, obteve-se a taxa de migração longitudinal de 241m em 13 meses, ou seja, aproximadamente 19m/mês, contudo, como é visto na figura 78 e tabela 23, o comportamento desta migração não foi sempre progressiva, embora o valor final resulte na migração no sentido do desenvolvimento da feição, no decorrer do monitoramento notou-se regressão de valores durante o monitoramento que são caracterizados pelo momento de estreitamento na porção central e do rompimento do pontal.

Tabela 23 - Valores de largura (m) e comprimento (m) dos pontal arenoso referentes ao monitoramento topográfico, Ponta das Canas

Data	Largura (m)	Comprimento(m)
06/06/2016	98	757
05/07/2016	104	729
26/08/2016	95	697
21/09/2016	89	674
21/10/2016	86	726
23/11/2016	75	440
20/12/2016	72	576
17/02/2017	72	668
15/05/2017	64	814
25/05/2017	74	903
27/06/2017	75	910
25/07/2017	66	914
28/08/2017	80	998

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 78 - Gráfico dos valores de largura(m), em azul, e comprimento(m), em vermelho, referentes aos pontais arenosos do monitoramento topográfico – Ponta das Canas



Fonte: Elaborado pelo autor

### 5.3.4 Sumário – Evolução geológico-geomorfológico dos pontais arenosos

A partir dos resultados das três áreas de estudos apresentados anteriormente, destacam-se as seguintes sínteses:

- 1- Os pontais arenosos, conforme exposto na revisão bibliográfica, são feições sedimentares resultantes do processo de transposição e há a formação de uma laguna interior.
- 2- O ponto de ancoragem/fixação do pontal arenoso no promontório rochoso é onde há a o início da dissipação da energia das ondas incidentes.
- 3- Há o acúmulo sedimentar contíguo ao promontório com a formação de bancos arenosos que tendem a emergir com o aumento do aporte sedimentar resultante da transposição.
- 4- O pontal arenoso se prolonga no sentido da corrente longitudinal local e a sua largura tende a diminuir na porção contígua ao promontório rochoso até que ocorra a remobilização sedimentar e haja a deposição ao longo da feição.
- 5- Com a consolidação do pontal arenoso há o aporte sedimentar eólico e a formação de dunas frontais ao longo da feição.
- 6- A formação do pontal arenoso é cíclica, ou seja, a feição se forma e se dissipa até se agregar na linha de costa adjacente posterior.

- 7- Havendo interrupção da transposição sedimentar, como a edificação de estruturas rígidas que bloqueiem o fluxo de sedimentos, há um déficit sedimentar a jusante onde há a tendência da instalação de processos erosivos na linha de costa.
- 8- Na subárea de estudo 1 – Praia do Forte e Pontal do Capri foi observado que no período de dois anos (2010 a 2012) pontal arenoso se consolidou e se expandiu em um único corpo até o ano de 2017.
- 9- Na subárea de estudo 1 – Praia da Enseada há a transposição sedimentar, contudo com a edificação do molhe o fluxo de sedimentos é interrompido resultando no desequilíbrio sedimentar a jusante e evidências de processo erosivo ao longo da linha de costa.
- 10- Na subárea 2-Ponta das Canas, foi observado que no período de três anos (2010 a 2013) o pontal arenoso se consolidou e sua expansão seguiu até o ano de 2017. Também houve uma significativa redução na sua largura na porção central que promoveu o seu rompimento em duas partes.

## 6 DISCUSSÃO

### 6.1 PROMONTÓRIOS ROCHOSOS DO ESTADO DE SANTA CATARINA

Em comparação com trabalhos pretéritos relacionados a geomorfologia e classificação da linha de costa do Estado de Santa Catarina (HORN FILHO, 2003; KLEIN, 2004, FITZGERALD *et al.* 2007), os resultados relacionados a identificação e categorização dos promontórios rochosos nesta tese se concentraram nos aspectos morfológicos dessas feições. Este enfoque foi em virtude da influência que as costas rochosas e salientes promovem na determinação da morfologia costeira, tal como as limitações do sistema praial e da planície costeira catarinense (ZEMBRUSCKI, 1979; HORN FILHO, 2003).

Relacionando a morfologia da linha de costa de Santa Catarina e sua composição, os setores 2 (Da ponta de Cabeçudas à Baía dos Golfinhos), 3 (Ilha e Santa Catarina) e 4 (Da Ponta do Papagaio ao Cabo de Santa Marta Grande), os quais são dominadas pelo embasamento cristalino aflorante, formando cordões e promontórios rochosos que interrompem a continuidade da planície quaternária, caracterizando o litoral pela presença de praias de enseada (CARUSO JR. & ARAÚJO, 2000).

O setor 2 apresenta uma maior extensão de linha de costa rochosa e com a maior presença de promontórios, merecendo destaque as maiores extensões de costões rochosos do litoral catarinense, sendo seguido pelo setor 4. O setor 3, mesmo possuindo menor quantidade de promontórios do que o setor 1, tem a sua totalidade classificada como promontórios grandes. Já o setor 5, com apenas um promontório, onde se leva em conta o limite do setor o Cabo de Santa Marta Grande (n°106), pode ser considerado em virtude de sua dimensão e considerável mudança na orientação da linha de costa, levando o setor 5 a ser totalmente classificado como uma costa arenosa.

Em relação a morfologia dos promontórios e a ocorrência do processo de transposição sedimentar, a informação da batimetria contígua aos promontórios possibilitaria a inclusão do parâmetro de perfis batimétricos a barlamar e a sotamar, como adotado por George *et al.*, (2015) e Ribeiro (2017), que verificaram as células de transporte sedimentar em costas rochosas dominadas por ondas, uma vez que Ribeiro (*op. cit*) também propôs modelos conceituais de transposição sedimentar.

Os promontórios rochosos que possuem evidências diretas da ocorrência da transposição sedimentar, tais como o Morro de Ponta das Canas (n°68), Morro da Enseada

(n°7) e o Morro João Dias (n°4) possuem características morfológicas semelhantes, e características físico-naturais, em relação aos agentes oceanográficos atuantes, similares, onde também os promontórios n°66 e n°67, no setor 3, apresentam evidências de transposição sedimentar, como exposto por Vieira da Silva *et al.* (2016).

### **6.1.1 Classificação dos promontórios rochosos e a transposição sedimentar**

Considerando os modelos do processo de transposição expostos e as influências que os promontórios rochosos exercem na circulação sedimentar, a classificação realizada possibilitou propor modelos conceituais que a morfologia dos promontórios exerce no referido processo. Tais modelos levaram em consideração os parâmetros morfológicos analisados (Largura, Perímetro e Comprimento), como também o controle que os promontórios desempenham na dinâmica local (VAN RIJN, 1998; AB RAZAK, 2015; GEORGE *et al.*, 2015).

Sendo assim, o Perímetro (P) e o Comprimento (C) foram os parâmetros determinantes para a concepção dos modelos, uma vez que o Comprimento (C) indica a saliência do promontório em direção ao mar e o Perímetro (P) a extensão da feição rochosa abrupta em contato com o mar.

Já se referindo aos sedimentos no processo de transposição, sabe-se que não é somente a disponibilidade sedimentar e as forçantes oceanográficas que determinam a presença desse processo. Ribeiro (2017) verificou as características granulométricas do aporte sedimentar e concluiu que essas são variáveis importantes para a ocorrência da transposição, como também Smith (2001) que ponderou o ângulo de incidência das ondas nos promontórios.

Dessa forma, os modelos conceituais aqui apresentados levam em consideração a morfologia e o volume sedimentar ofertado para a ocorrência da transposição onde é feita a relação entre o Volume Sedimentar (VS) e a classificação dos promontórios (Pequenos, Médios e Grandes).

#### *6.1.1.1 Modelos conceituais*

##### **6.1.1.1.1 Modelo 1**

Neste modelo (Figura 79) os promontórios são classificados como Grandes e o parâmetro C tem valor mais expressivo caracterizando um promontório mais saliente.

Também há um grande volume sedimentar ( $V_{sg}$ ) a barlar e a transposição ocorre através das forçantes oceanográficas.

Figura 79 – Modelo I, promontório saliente



Fonte: Elaborado pelo autor

Neste modelo o volume sedimentar, como exposto por Short & Masselink (1999) e Ab Razak (2015), a transposição é favorecida quando induzida pelas ondas, destacando a direta relação com eventos extremos de alta energia que formam células de circulação topograficamente controladas, denominadas mega correntes de retorno (*mega rip currents*), que tem energia para remobilizar o “volume sedimentar grande” e assim com atuação das correntes longitudinais transpor o sedimento a sotamar do promontório.

#### 6.1.1.1.2 Modelo II

No modelo II (Figura 80) os promontórios são classificados como Grandes e o parâmetro C tem um valor menos expressivo caracterizando um promontório com menor saliência. Também merece atenção o parâmetro Largura (L), uma vez que este demonstra onde o promontório intercepta a linha de costa arenosa, ou seja, há uma maior distância entre as praias limitadas por essa feição.

Figura 80 – Modelo II, promontório com maior perímetro



Fonte: Elaborado pelo autor

Neste, o volume sedimentar a barlamar tende a transpassar de forma contínua, como exposto por Ribeiro (2017), uma vez que a incidência das ondas somadas ao processo de rotação praial resulta na formação de bancos arenosos contíguos aos promontórios.

#### 6.1.1.1.3 Modelo III

Neste modelo os promontórios são classificados como pequenos em todos os parâmetros e um volume sedimentar grande associado as forçantes naturais possibilita o transpasse sedimentar (Figura 81).

Figura 81 – Modelo III, promontórios pequenos.



Fonte: Elaborado pelo autor

Como ocorrido no modelo II, neste modelo III um volume sedimentar grande tende a transpassar de forma contínua devido a incidência das ondas, como também com eventos de maior energia pode ocorrer processo erosivo na praia a sotamar e o transporte sedimentar é induzido pelas correntes de retorno contígua ao promontório.

Destaca-se que a classificação realizada e os modelos expostos corroboram com o apresentado por George *et al.* (2015) de que o tamanho dos promontórios é mais importante que a sua forma, uma vez que contíguo a eles, na porção a barlar, ocorre a fixação de correntes de retorno possibilitando erosão na face praial e acúmulo desse volume sedimentar junto a feição. Ou seja, quanto maior o promontório mais energia será necessária para que o volume sedimentar acumulado a barlar alcance a sua porção extrema e ocorra o transporte pela corrente longitudinal (EVANS, 1943; SHORT & MASSELINK, 1999).

Dessa forma, como exposto, foi considerado um Volume Sedimentar (VS) grande ( $V_{sg}$ ), contudo e principalmente nos promontórios pequenos (Modelo III), devida a dinâmica acima mencionada, pode ocorrer o transporte sedimentar contínuo não necessariamente relacionado a um aporte com grande volume. Tal fato pode ser observado nos bancos arenosos submersos contíguos aos promontórios que se formam anteriormente ao pontal arenoso se emergir.

## 6.2 COMPORTAMENTO DA LINHA DE COSTA DO ESTADO DE SANTA CATARINA

A análise da linha de costa catarinense de forma indireta, como realizada nesta tese, possibilitou verificar um o comportamento morfológico no intervalo de 36 anos (1978 a 2014). Todas as praias arenosas foram analisadas e os resultados possibilitaram estabelecer padrões, dentro da escala temporal adotada, do comportamento sedimentar da linha de costa.

No setor 1 as praias com maior extensão apresentaram retração no período analisado, mesmo sendo um trecho coma presença de significativo aporte fluvial, como a drenagem da bacia do Rio Cubatão que desemboca na baía da Babitonga e possui uma dinâmica sedimentar local, e o Rio Itajaí-Açu, localizado no setor 2, que também favorece o aporte sedimentar no setor 1. Contudo, Lessa *et al.* (2000) destacam que este rio é uma importante fonte de sedimento fluvial, porém só possibilita o aporte de areia na zona costeira em eventos de inundação a montante, como também é circunscrito por dois promontórios rochosos, em um trecho do litoral catarinense protegido por ondas do quadrante sul-sudeste e, portanto, sua contribuição com volume significativo de sedimentos para o sistema de deriva litorânea é limitado. Ainda se referindo a deriva litorânea, Abreu (2011) destaca o aporte sedimentar longitudinal na Ilha de São Francisco do Sul, onde se nota que a praia n° 10, a qual possui dois padrões de comportamento da linha de costa, corrobora com o sentido da deriva litorânea e o aporte sedimentar nesta porção favorece a estabilidade da linha de costa.

No setor 2, praias com panorama de estabilidade, nas quais destaca-se as praias de enseada, que segundo Klein (2004), predomina o processo de rotação praial e estabilidade. Venturoli (2017) corroborou o panorama de estabilidade das praias n° 23 a n° 32. Como mencionado nos resultados, a enseada de Tijucas, praia n°42, foi analisada, embora seja uma praia de característica sedimentar lamosa, pois merece destaque a sua taxa de progradação.

No setor 3, as praias que apresentaram retração são confirmadas por trabalhos pretéritos, tais como De Camargo (2012) e Klein *et al.*, (2016). Ressalta-se a progradação da praia n° 68, Ponta das Canas, que está diretamente ligada ao ciclo de transposição sedimentar e conseqüentemente a evolução do pontal arenoso contíguo ao promontório rochoso.

O setor 4 foi o que apresentou o maior número de praias taxas de progradação, merecendo destaque a praia n° 97 com taxa de 71m. A praia n° 100, sob influência da estrutura de molhes na desembocadura da Lagoa de Imaruí, que afetou o balanço sedimentar longitudinal, foi a que apresentou a taxa de retração mais alta neste setor, -99m. Salienta-se a

taxa de progradação na praia de nº99 que reflete a deposição do aporte sedimentar no sentido da corrente longitudinal sul-norte.

Quanto ao setor 5, dentre todos apresentados, é o que apresenta a maior taxa de progradação, como também a presença das feições *travelling forelands*. Estas feições demonstram um comportamento de larga-escala do comportamento da linha de costa, as quais a sua migração no sentido da deriva litorânea sugerem pulsos sedimentares (BURNINGHAM & FRENCH, 2014; e THOMAS *et al.*, 2014). Referindo-se a porção da praia nº 109 que apresenta retração, Siegle & Asp (2007) demonstram que há uma inversão no sentido da corrente litorânea junto ao promontório de Cabo de Santa Marta Grande onde o aporte sedimentar no sentido da deriva litorânea é afetado. Oliveira *et al.*, (2017) com uma análise da linha de costa que abrangeu os anos de 1938, 1978 e 2012, também encontraram taxas de retração na mesma porção referida da praia nº 109.

Dessa forma, observou-se que a linha de costa do Estado de Santa Catarina apresenta comportamento variável entre os setores estudados e é variável também dentre as praias presentes em cada um deles.

## 6.3 EVOLUÇÃO GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICA DOS PONTAIS ARENOSOS.

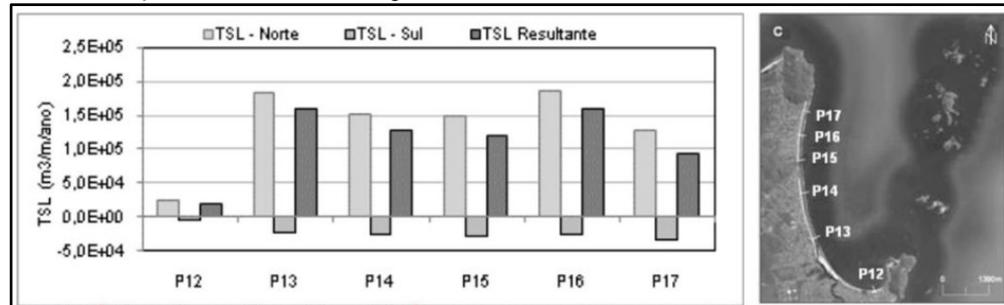
### 6.3.1 Sub-área 1 – Ilha de São Francisco do Sul

#### 6.3.1.1 Praia do Forte e Pontal do Capri

Como observado, o sistema deposicional Praia do Forte e Pontal do Capri apresenta um comportamento da linha de costa com altas taxas progradação e retração. As características desse comportamento, juntamente com a ciclicidade do pontal arenoso na Praia do Forte, são resultantes principalmente pelo transporte sedimentar da ação das ondas com influência da maré (COSTA *et al.*, 2019).

Quanto as taxas de volume (m<sup>3</sup>) obtidas através do monitoramento topográfico, as mesmas estão dentro da ordem de grandeza com valores propostos por Abreu (2011) e Costa *et al.* (2019). A primeira, que estimou o transporte anual de sedimentos com experimento de campo na Enseada-Ubatuba (nº6 e nº7, setor 1), encontrou valores de 21.000m<sup>3</sup>/ano para o P12, 159.000m<sup>3</sup>/ano para P13, 127.000m<sup>3</sup>/ano para P14, 120.000m<sup>3</sup>/ano no P15, 160.000 m<sup>3</sup>/ano e 94.000 m<sup>3</sup>/ano no P17, como visto na figura 82.

Figura 82 – Balanço sedimentar anual na praia da Enseada-Ubatuba, ilha de São Francisco do Sul.



Fonte: Modificado de Abreu (2011).

Costa (*op. cit.*), através de modelagem numérica, encontrou valor de 95.000 m<sup>3</sup>/ano nas proximidades do P17, como também valores do transporte sedimentar na Praia do Forte e Pontal do Capri na ordem de 160.000m<sup>3</sup>/ano. Tais valores, se comparados com as medições do volume do pontal arenoso obtidos no monitoramento topográfico, apresentam similaridades em relação ao aporte sedimentar para a formação da feição, uma vez que na modelagem numérica alguns parâmetros são estipulados e não é levada em conta a morfologia real do pontal arenoso, tal como a deposição sedimentar na parte aérea da feição sedimentar, como também a deposição eólica existente.

Quanto a evolução do pontal arenoso e o aporte sedimentar oriundo das forçantes oceanográficas e da dinâmica da baía da Babitonga, nota-se um ciclo de deposição submersa que ao receber maior aporte tende a se emergir e a retrabalhar morfologicamente, como visto na figura 83, onde é evidente a deposição proximal ao promontório com a formação de bancos arenosos submersos.

Figura 83 – Vista panorâmica no sentido sul-norte da praia do Forte e a presença de bancos arenosos contíguos ao promontório.



Fonte: Igor Forester

Sendo assim, a formação do pontal arenoso existente corrobora o modelo conceitual de transposição sedimentar entre praias limitadas por promontórios rochosos proposto por Short & Masselink (1999).

#### *6.3.1.2 Praia da Enseada*

O processo natural de transposição sedimentar é observado a partir das evidências nas fotografias aéreas anteriores a edificação do molhe, como também posteriores, tal como o aporte sedimentar proveniente da transposição natural que se acumula ao redor do molhe, sendo necessário o sistema de dragagem para desobstruir o atracadouro existente e também repor o equilíbrio sedimentar ao longo de toda a extensão da praia (ABREU, 2011; UNIVALI, 2013).

Devido a ausência de informação quanto a operacionalização do sistema de dragagem, no que diz respeito a periodicidade e volume dragado, a análise do pontal arenoso, como apresentado anteriormente, foi realizada somente a partir das fotografias aéreas e imagens de satélite. Já relação desta obstrução do molhe na transposição sedimentar natural presente com a análise de sua linha de costa nota-se o comportamento de retração de toda a extensão da praia da Enseada, e ao verificar o transporte sedimentar longitudinal apresentados por Abreu (2011) observa-se que dentre os perfis analisados, o perfil n° 12 (Figura 79) nas proximidades do molhe apresenta o menor valor.

E fazendo um paralelo com praias que possuem a mesma situação de influência de estruturas antrópicas que interferiram no processo natural de transposição sedimentar e que foi necessária a implantação de um sistema de dragagem, destaca-se o ocorrido na praia de Snapper Rocks, cidade de Gold Coast, Austrália. Nesta, em virtude do prolongamento de estruturas para facilitar a navegação na desembocadura do rio “Tweed River”, praias imediatas posteriores a desembocadura tiveram início de processos erosivos decorrente do déficit sedimentar oriundo do aporte realizado pela corrente longitudinal que transpassava naturalmente tal desembocadura.

### **6.3.2 Ilha de Santa Catarina**

#### *6.3.2.1 Ponta das Canas*

Na Ponta das Canas a dinâmica do pontal arenoso da Praia do Forte é similar. No entanto este teve o ciclo de evolução mais definido, uma vez que chegou a desaparecer totalmente. Nos últimos anos do período analisado o pontal apresentou taxas de migração longitudinal crescente e retração na sua largura, tendendo se unir a linha de costa, como no modelo conceitual de Short & Masselink (1999). A taxa de volume ( $m^3$ ) da feição, oriunda do monitoramento topográfico no período analisado nesta tese de  $20.836m^3/ano$ , não corroborou com o apresentado na modelagem numérica apresentada por Vieira da Silva et al. (2016) de aproximadamente  $7.500m^3/ano$ . No entanto, é importante mencionar que no trabalho de Vieira da Silva et al. (*op cit.*) esta taxa não levou em consideração a topografia real, com a variação de altitude, do pontal arenoso.

### **6.3.3 A transposição sedimentar e formação de pontais arenosos**

Uma vez que os pontais arenosos confirmam o modelo conceitual exposto por Short & Masselink (1999) da ocorrência do processo de transposição sedimentar, nesta tese foi analisada a evolução destas feições quanto a sua escala temporal e a evolução morfológica.

A partir dos resultados apresentados notou-se que ambos os pontais estudados apresentaram comportamento morfológico e ciclos temporais semelhantes, sendo um intervalo de dois anos (2010 a 2012) para o pontal arenoso da praia do Forte e de três anos (2010 a 2013) para o pontal de Ponta das Canas.

Quanto ao comportamento morfológico, ou seja, a evolução do pontal arenoso observa-se que nas duas áreas de estudo a feição se prolonga longitudinalmente e tende a sofrer processo erosivo na porção contígua ao promontório rochoso para posteriormente se agregar a linha de costa adjacente.

Nota-se também que os referidos pontais, mesmo que oriundos do processo de transposição sedimentar, possuem a forma curvada em virtude da incidência progressiva das ondas na sua porção distal, uma vez que estas sofrem alteração de direção causadas pelos promontório e pelos próprios pontais arenosos (CARTER, 1988; SMITH, 2001).

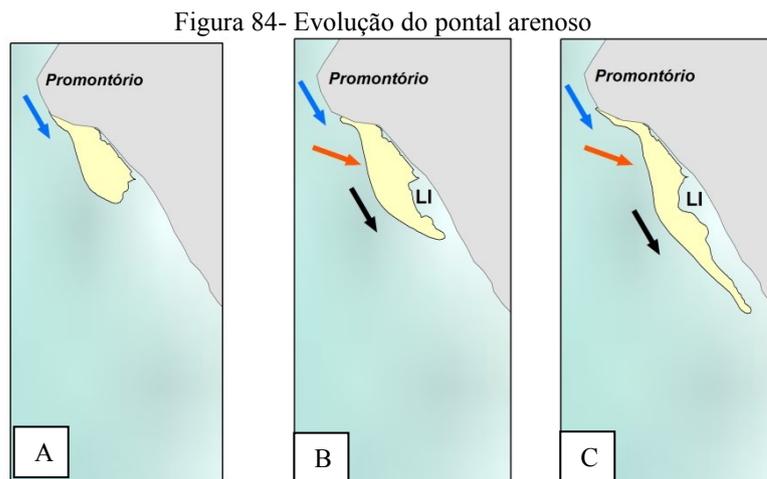
Dessa forma, a partir dos resultados e das análises do comportamento dos pontais, é detalhado a evolução dos pontais arenosos tendo por base o modelo conceitual proposto por Short & Masselink (1999):

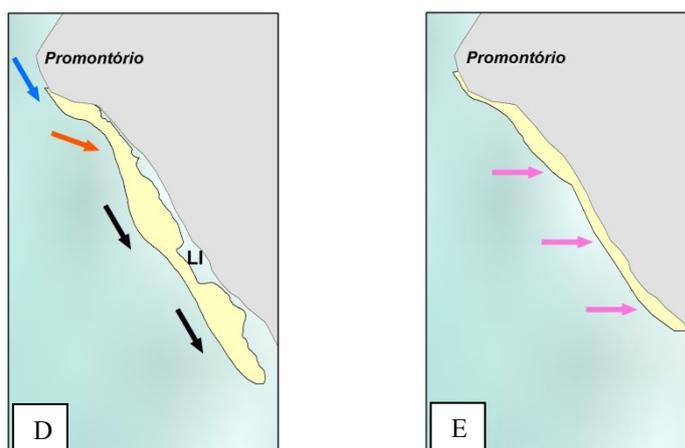
1- Após a ocorrência do processo de transposição, quando o aporte sedimentar é suficiente para que o banco se emerja, inicia-se a formação do pontal arenoso (Figura 84A), no sentido da corrente longitudinal (seta azul) contíguo ao promontório rochoso.

2- Com a consolidação do pontal (Figura 84B) e contínuo aporte sedimentar para a sua evolução, o pontal segue a migração no sentido da corrente (seta preta), como também há a formação da laguna interna (LI) e uma maior remobilização dos sedimentos na porção do pontal contígua ao promontório (seta laranja).

3- O pontal arenoso segue com a sua migração no sentido da corrente (Figura 84C e 84D) e se prolonga de acordo com o aporte e remobilização sedimentar. Destaca-se que a laguna interna é regida pelo ritmo da maré.

4- Pela dinâmica observada nos resultados obtidos da evolução geológica-geomorfológica dos pontais arenosos analisados, praia do Forte e Ponta das Canas, o pontal tende a se agregar a linha de costa (setas lilás). Durante o período de desenvolvimento desta tese os pontais arenosos continuam em evolução, como pode ser observado nos resultados das análises de fotografias aéreas e imagens de satélite e do monitoramento topográfico apresentados.





Fonte: Elaborado pelo autor

### 6.3.4 Sumário

Assim, para fins de responder as perguntas que guiaram esta tese e alcançar os objetivos propostos foram expostos todos os resultados e discussões obtidas no desenvolvimento desta pesquisa.

E referindo-se as duas hipóteses elencadas neste trabalho, ambas foram comprovadas:

*1ª) A ciclicidade morfológica dos pontais arenosos contíguos aos promontórios está relacionada aos ciclos de transporte sedimentar longitudinal em larga escala temporal e espacial.*

Sim, foi evidenciado que os pontais arenosos possuem um ciclo de formação associado a dinâmica sedimentar longitudinal, uma vez que os dois pontais analisados, quando verificado a escala temporal, possuem intervalos de tempo similares de início de formação.

*2ª) Os pontais arenosos se formam e migram associados a processos costeiros e são influenciados pela morfologia local, como o tamanho e a orientação do promontório rochoso.*

Sim, os pontais se formam e migram a partir da ação direta dos processos costeiros, principalmente os de erosão e de deposição sedimentar das praias arenosas, pois fornecem o aporte sedimentar para a gênese dos pontais. Também, como objeto principal desta tese, destaca-se o processo de transposição sedimentar entre praias limitadas por promontórios rochosos, no qual a morfologia dos promontórios é diretamente atuante para a presença dos pontais, merecendo destaque o tamanho dos mesmos.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta tese foi pautada e orientada nas perguntas e hipóteses elaboradas, que visava a verificação dos ciclos de transposição sedimentar entre praias limitadas por promontórios rochosos a partir da análise dos pontais arenosos e do comportamento da linha de costa das praias arenosas. Também se guiou a partir da verificação da relação da morfologia dos promontórios e a sua relação com a transposição, contudo limitações quanto a informações batimétricas limitaram tais análises.

A identificação e classificação morfológica dos promontórios possibilitou verificar quais deles favorecem a ocorrência da transposição sedimentar, entretanto destaca-se a total relação com o aporte sedimentar disponível e as forçantes oceanográficas necessárias para que a transposição ocorra.

As diferentes taxas do comportamento da linha de costa entre os setores e dentro deles evidenciou que a morfologia da mesma influi diretamente, juntamente com a ação das forçantes oceanográficas, no equilíbrio sedimentar. A presença das feições *travellings forelands* evidenciaram o padrão de deriva e migração sedimentar presente no litoral catarinense (sul-norte) possibilitando a ocorrência do processo de transposição.

Os materiais e métodos empregados permitiram inicialmente o reconhecimento, delimitação e classificação da linha de costa de toda a extensão do litoral de Santa Catarina. Posteriormente, a partir de parâmetros de trabalhos pretéritos, a linha de costa foi setorizada para fins de apresentação dos resultados.

Quanto a análise dos pontais arenosos, realizou-se a busca e compilação de todo o material cartográfico existente e disponível para a verificação de sua evolução, tendo o período de monitoramento topográfico mensal como um balizador das escalas temporais e espaciais do comportamento evolutivo destas feições sedimentares e conclui-se que os pontais arenosos possuem um comportamento cíclico de formação.

O conhecimento das taxas do comportamento da linha de costa de cada praia do litoral catarinense no período abordado possibilita a relação com demais pesquisas no que tange também o comportamento em diferentes escalas espaciais e temporais, como também para fins de análise de risco e vulnerabilidade.

A constatação na prática de evidências do modelo conceitual de Short & Masselink (1999) possibilitou a verificação da importância do processo de transposição sedimentar na

estabilidade das praias e a mensuração das taxas topográficas fornece subsídios para futuros trabalhos de modelagem numérica para fins de análises hidrodinâmicas e/ou sedimentares.

A utilização de técnicas de topografia com a operacionalização de um Sistema de Informações Geográficas se mostrou viável tecnicamente para este tipo de trabalho. Destaca-se que novas tecnologias para aquisição de dados topográficos podem ser utilizadas, tais como os *Drones*.

Destaca-se que a modelagem numérica de ondas, marés e transporte de sedimentos juntamente com o monitoramento em campo tende a aperfeiçoar o conhecimento do processo de transposição sedimentar, uma vez que o comportamento de feições submersas oriundas de tal processo possuem poucos trabalhos desenvolvidos.

Por fim, observa-se a importância do conhecimento do processo natural de transposição sedimentar e o comportamento das feições sedimentares, tais como os pontais arenosos analisados nesta tese, uma vez que são ambientes altamente dinâmicos que ao sofrerem alterações podem originar impactos e danos em áreas adjacentes.

Como trabalhos futuros sugerem-se:

- Contínuo monitoramento topográfico dos pontais arenosos para se precisar os ciclos de formação, como também levantamentos topográficos antes e posteriores a eventos extremos (tempestades).
- Investigação das correntes topograficamente controladas (*mega rip currents*) ocorridas juntas aos promontórios rochosos para fins de melhor compreensão das mesmas no processo de transposição sedimentar;
- Levantamentos batimétricos e imageamento de fundo juntos aos promontórios para a verificação de evidências da ocorrência de processos de transposição sedimentar;
- Contínua verificação das taxas de deslocamento da linha de costa de forma indireta e direta.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB RAZAK, M.S. 2015. Natural Headland Sand Bypassing: Towards identifying and modelling the mechanisms and process. PhD Thesis. TUDelft. Netherlands.
- ABREU, J. J. 2011. Transporte sedimentar longitudinal e morfodinâmica praial: exemplo do litoral norte de Santa Catarina. Tese de Doutorado em Geografia. Programa de Pós Graduação em Geografia. Departamento de Geociências. Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 484 p.
- ACWORTH, C. AND LAWSON, S. 2011. The Tweed River Entrance Sand Bypassing Project - Ten Years Of Managing Operations In A Highly Variable Coastal System. Proceedings of the Australasian Coasts and Ports Conference 2011.
- ARAÚJO CES, FRANCO D, MELO E & PIMENTA F. 2003. Wave Regime Characteristics of the Southern Brazilian Coast. In: Proceedings of the Sixty International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries, COPEDEC VI, Sri Lanka. Ed. Colombo, 2003. Paper No. 097. CD-ROM.
- ARAÚJO, R. S.; SILVA, G. V.; FREITAS, D.; KLEIN, A.H. F., 2009. Georreferenciamento de fotografias aéreas e análise da variação da linha de costa. In: ALCÁNTARA- ARRIÓ, J.; CORREA, I. D.; ISLA, F.; ALVARANDO, M. ; KLEIN, A. H. F. y CABRERA, J. A. Org). Metodologías em teledetección aplicada a la prevención de amenazas naturales en el litoral. València.
- BARRIOLO, G., CABELLA, R., FERRARI, M., MONTEFALCONE, M. 2012. Sediment bypass from the littoral cell in gravel pocket beaches of the Ligurian Sea (NW Mediterranean). Proceedings of International Conference on Marine and Coastal Ecosystems 2012, Tirana, Albania, : 472-481.
- BOAK, E. H.; TURNER, I.L. 2005. Shoreline Definition and Detection: A Review. Journal of Coastal Research, 21, (n. 4): 688-703.
- BOWMAN, D., GUILLÉN, J., LÓPEZ, L., PELLEGRINO, V. 2009. Planview Geometry and morphological characteristics of pocket beaches on the Catalan coast (Spain). Geomorphology, 108 (3-4): 191-199
- BRAY, M.J.; CARTER, D.J., and HOOKE, J.M., 1995. Littoral cell definition and budgets for central southern England. Journal of Coastal Research, 11(2), 381-400. Fort Lauderdale (Florida).

- BURNINGHAM, H., FRENCH, J.R., 2014. Travelling forelands: complexities in drift and migration patterns. In: Green, A.N. and Cooper, J.A.G. (eds.), Proceedings 13th International Coastal Symposium (Durban, South Africa), Journal of Coastal Research, Special Issue No. 70, pp. 102–108, ISSN 0749-0208.
- BURROUGH P.A, MCDONNELL R.A. 1998 Principles of geographical information systems. New York, Oxford University Press, 34p.
- CARUSO JUNIOR, F.; SUGUIO, K. ; NAKAMURA, T. 1999. The Quaternary Geological History of Santa Catarina Southeastern Region (Brazil). Anais da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, v. 72, n.2, p. 257-270.
- CARTER, R.W., 1988. Coastal Environments: Na Introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines. Academic Press, London, England,617p.
- CHEUNG, K. F.; GERRITSEN, F.; CLEVERINGA, J. 2007. Morphodynamics and Sand Bypassing at Ameland Inlet, The Netherlands. Journal of Coastal Research. 23: 106-118.
- COSTA, W. L. L.; SILVEIRA, L. F.; Klein, A.H.F. . Influence of wave climate and tidal regime on headland bypassing - study case: Northern São Francisco do Sul Island, SC, Brazil.. In: Coastal Sediments 2019, 2019, Tampa/St. Petersburg. Proceedings of the 9th International Conference - Coastal Sediments 2019, 2019.: 488-501.
- COWELL, P.J.; THOM, B.G. Morphodynamics of coastal evolution. In: CARTER, R.W.G.; WOODROFFE, C.D. (Org). Coastal Evolu-tion: Late Quaternary Shoreline Morphodynamics, p. 33-86, 1994. Cambridge: Cambridge University Press.
- DALY, C.J., WINTER, C., BRYAN, K.R. 2015. On the morphological development of embayed beaches. Geomorphology, 248: 252-263.
- DENNISS, T., J. H. MIDDLETON, AND R. MANASSEH.,1995. Recirculation in the lee of complicated headlands: A case study of Bass Point, J. Geophys. Res., 100(C8), 16087–16101.
- DE CAMARGO, J.M. 2012. Impactos de la escollera de protección en la playa de la Armação do Pântano do Sul, Florianópolis, SC, Brasil. Cadiz. 59p. Dissertação de mestrado. Master en Gestion Integrada de áreas litorales. Universidad de Cadiz.
- ESLAMI, S.; VAN RIJN, L.; WALSTRA, D.; LUIJENDIJK, A. STIVE, M. 2010. A Numerical Study on Design of Coastal Groins. em: Scour and Erosion: pp. 501-510.
- EVANS, O.F. 1943. The relation of the action of waves and currents on headlands to the control of shore erosion by groynes. Academy of Science :9-13
- FERRARI, M.; CABELLA, R.; BERRIOLO, G., AND MONTEFALCONE, M., 2014. Gravel sediment bypass between contiguous littoral cells in the NW Mediterranean Sea. Journal of Coastal Research: Volume 30, Issue 1: pp. 183 – 191.

- FGDC-STD (Federal Geographic Data Committee) Staff, 1998. Geospatial Positioning Accuracy Standards (Part 3): National Standard for Spatial Data Accuracy. Washington, D.C.: Federal Geographic Data Committee, FGDC-STD-007.3-1998, 25p
- FITZGERALD, D. M.; KRAUSS, N. C.; HANDS, E. B.; 2000. Natural Mechanisms of Sediment Bypassing at Tidal Inlets. ERDC/CGL CHETN-IV-30 US Army Corps of Engineering.
- FITZGERALD, D. M. & PENDLETON, E. 2002. Inlet Formation and Evolution of the Sediment Bypassing System: New Inlet Cape Cod, Massachusetts. *Journal of Coastal Research*, SI 36: 290-299.
- FITZGERALD, D.M., CLEARY, W.J., BUYNEVICH, I.V., HEIN, C.J., KLEIN, A.H.F., ASP, N., AND ANGULO, R., 2007, Strandplain evolution along the southern coast of Santa Catarina, Brazil, *Journal of Coastal Research*, SI v. 50, p. 152-156.
- FRANCO, D. & MELO, E. 2008. Relevância dos mares secundários na caracterização do regime de ondas ao largo da Ilha de Santa Catarina, SC (2002 – 2005). In: Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica, novembro, 2008, FURG, Rio Grande.
- GEORGE, D. A., LARGIER, J. L., STORLAZZI, C. D., AND BARNARD, P. L. (2015). Classification of rocky headlands in California with relevance to littoral cell boundary definition. *Mar. Geol.* 369, 137–152. doi: 10.1016/j.margeo.2015.08.010
- GOODWIN, I.D., FREEMAN, R., BLACKMORE, K., 2013. An insight into headland sand bypassing and wave climate variability from shoreface bathymetric change at Byron Bay, New South Wales, Australia. *Marine Geology*. 341, 29-45.
- GROENEN, P.J.F; VAN DE VELDEN, M. 2004. Multidimensional scaling. No EI 2004-15, Econometric Institute Research Papers, Erasmus University Rotterdam, Erasmus School of Economics (ESE), Econometric Institute
- GULLIVER, F.P., 1899. Shoreline Topography. *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences*, 34 (8): 151-258
- HARLEY, M.D., TURNER, I.L., SHORT, A.D., RANASINGHE, R. 2011. A reevaluation of coastal embayment rotation: The dominance of cross-shore versus alongshore sediment transport processes, Collaroy-Narrabeen Beach, southeast Australia. *Journal of Geophysical Research*, 116: F04033
- HOEFEL, F. G 1998. Diagnostico da erosao costeira na praia de Picarras, Santa Catarina. Dissertacao de Mestrado. Programa de Pos-graduacao de Engenharia da Universidade federal do Rio de Janeiro, 86p.

HORN FILHO, N.H., ABREU DE CASTILHOS, J., GRÉ, J.C.R. and DIEHL, F.L., 1994. The coastal Pleistocene of Santa Catarina State, southern Brazil. In: RABASSA, J. (ed.), Symposium and Field meeting "The Termination of the Pleistocene in South America" Tierra del Fuego. Quaternary of South America and Antarctic Peninsula, Rotterdam, v:10.

HORN FILHO, N. H., 2003 Setorização da Província Costeira de Santa Catarina em base aos aspectos geológicos, geomorfológicos e geográficos. Geosul, Florianópolis, v. 18, n. 35, p. 71-98.

HSU, J.R. C; BENEDET, L; KLEIN, A. H. F.; RAABE, A. L. A.; TSAI, C-P. & HSU, T-W. (2008) Appreciation of Static Bay Beach Concept for Coastal Management and Protection. Journal of Coastal Research, 24(1): 198-215.

IBGE. 2013. Base cartográfica do Estado de Santa Catarina. Limite dos municípios. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

KABUTH, A., KROON, A.K., PEDERSEN, J.B.T., 2014. submitted: Multi-decadal shoreline changes in Denmark. Geomorphology.

KENNETH F., 1981. Morphology variations and sediment transport in crenulated bay beaches, Kodiak Island, Alaska. Marine Geology, 47:261-281.

KLEIN, A. H. F., 2004. Morphodynamics of Headland Bay Beaches: Examples from the coast of Santa Catarina State, Brazil. Tese – Universidade do Algarve. Faro, 218 pp.

KLEIN, A. H. F.; FERREIRA, Oscar; DIAS, Joao M. A.; TESSLER, Moyses G. ; SILVEIRA, Lucas F.; BENEDET, Lindino; MENEZES, Joao T. de; ABREU, Jose G. N. de Abreu. 2010. Morphodynamics of structurally controlled headland-bay beaches in southeastern Brazil: A review. Coastal Engineering. Vol 57. Pages 98-111.

KLEIN, A.H.F.; PRADO, M.F.V.; DALINGHAUS, C.; CAMARGO, J.M. 2016. Metodologia para quantificação de perigos costeiros e projeção de linhas de costa futuras como subsídio para estudos de adaptação da zonas costeiras: litoral norte da Ilha de Santa Catarina e entorno. Florianópolis, 206p

KLEIN, A.H.F & SHORT, A.D., 2016. Coastal Beach Systems. Springer

KOMAR, P. D. 1976. Beach profiles and onshore-offshore sediment transport. In: Komar, P. D. ed. Beach processes and sedimentation. Englewood Cliffs, Prentice Hall. 429p.

LESSA, G.C.; ANGULO R.J.; GIANNINI P.C.F.; ARAÚJO, A.D. 2000. Stratigraphy and Holocene evolution of a regressive barrier in south Brazil. Mar Geol 165:87–108.

MARIANI, A.; CARLEY, JJ; MILLER, B.M, 2010. Infilling and Sand Bypassing of Coastal Structures and Headlands by Littoral Drift. 19° NSW Coastal Conference, Batemans Bay NSW.

MAZZER, A.M. 2007. Proposta metodológica de análise de vulnerabilidade da orla marítima à erosão costeira: Aplicação na costa sudeste da Ilha de Santa Catarina, Florianópolis-SC, Brasil. Porto Alegre. 170p. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MCKENZIE, P., 1958. Rip-current systems. *Journal of Geology* 66, 103–113.

MENDONÇA, M.; CARVALHO, L. R.; SILVA, A.D.; SLOMPO, C.T.; RIBEIRO, C.M.B.; FREITAS, J.O.; ROSA FILHO, O.; FUCHS, R.B.H.; SOUZA, R. R.; FERREIRA, S. B.; MENDONÇA, S. 1988. Estudo preliminar da geomorfologia da ilha de Santa Catarina: Daniela e Ponta das Canas, município de Florianópolis – SC. *Geosul*, 3(5):52- 74.

NUNES, M.G. 2002. Estudo morfo-sedimentar do sistema praiial-lagunar de Ponta das Canas, Ilha de Santa Catarina, SC. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Programa de Pós-Graduação em Geografia.

OERTEL, G.F. 2005. Coasts, coastlines, shores, and shorelines. In: SCHWARTZ, M.L. *Encyclopedia of Coastal Science*. Dordrecht: Springer, 2005.p. 323-327.

OLIVEIRA, F.S.B.F., BARREIRO, O.M (2010). Application of empirical models to bay-shaped beaches in Portugal. *Coastal Engineering*, 57(2): 124-131

OLIVEIRA, J.F., SCARELLI, F., MARTINS, E.M., BARBOZA, E.G., FAGUNDES M.R. 2017. O aporte sedimentary Às praias da Cigana e do Cardoso, Cabo de Santa Marta, Santa Catarina, Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*.18(2): 295-310

PATTERSON, D.C. 2011. Tweed River Entrance Sand Bypassing. Reassessment of Long Term Average Annual Net Sand Transport Rate. Technical report R.B17328.002.02. BMT-WBM Pty Ltd.

PAJAK, M. J.; LEATHERMAN, S. 2002. The high water line as shoreline indicator. *Journal of coastal research*, Florida, v. 18, n. 2, p. 329-337.

RIBEIRO, M.S.A. 2017. Headland Sediment Bypassing Processes. Lisboa, 232p. Tese de doutorado. Doutoramento em Geologia. Especialidade em Geodinâmica Externa. Universidade de Lisboa.

SANTA CATARINA. 2006. Regionalização de vazões das bacias hidrográficas estaduais do Estado de Santa Catarina. In: Estudos dos instrumentos de gestão de recursos hídricos para o Estado de Santa Catarina e apoio para sua implementação. Governo do Estado de Santa Catarina.

SANTA CATARINA, 2012. Levantamento Aerofotogramétrico do Estado de Santa Catarina. Secretaria do Desenvolvimento Sustentável. SDS. Governo do Estado de Santa Catarina.

SCHEIBE, L. F. 1986. A geologia de Santa Catarina: sinopse provisória. **Geosul**, Florianópolis, v. 1, n. 1, p. 7-38.

SCHWARTZ, M. 2005. *Encyclopedia of Coastal Science*. Springer, Dordrecht.

SCHWEITZER, A. 2013. Monitoramento da linha de costa: uma análise de métodos e indicadores aplicados em investigação na escala de eventos. Dissertação de mestrado. Programa de Pós Graduação em Geografia. Departamento de Geociências. Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC.

SHORT, A.D., 1985. Rip-current type, spacing and persistence, Narrabeen Beach, Australia. *Marine Geology* 65 (1-2): 47-71.

SHORT, A.D. e MASSELINK, G. Eds. 1999. Embayed and structurally controlled beaches. *In: Short, A.D. (ed.), Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. John Wiley and Sons, Chichester (379 p.).

SHORT, A.D. (Ed.). 1999. *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. John Wiley and Sons, Chichester (379 pp.).

SHORT, A.D. 2010. Role of geological inheritance in Australian beach morphodynamics. *Coastal Engineering* 57, 92–97.

SHORT, A.D., BRACS, M.A., TURNER, I.L. (2014). Beach oscillation and rotation: local and regional response at three beaches in southeast Australia. *Journal of Coastal Research*, SI 70: 712-717

SIEGLE, E. & ASP N.E. 2007. Wave refraction and longshore transport patterns along the southern Santa Catarina coast. *Braz J Oceanography* 55:109–120

SILVEIRA, L.F., KLEIN, A. H. DA F., TESSLER, M.G., 2010. Headland-bay beach planform stability of Santa Catarina State and of the northern coast of Sao Paulo State. *Brazilian Journal of Oceanography* 58 (2), 101–122.

SILVESTER, R. 1985. Sediment By-Passing Across Coastal Inlets by Natural Means. *Coastal Engineering*, 9: 327-346.

SMITH, A.W. 2001. Headland bypassing. *Coasts & Ports 2001: Proceedings of the 15<sup>th</sup> Australasian Coastal and Ocean Engineering Conference, the 8th Australasian Port and Harbour Conference*. Institution of Engineers, Australia, Barton, A.C.T. pp. 214–216.

STORLAZZI, C.D. e FIELD, M.E., 2000. “Sediment distribution and transport along a rocky, embayed coast: Monterey Peninsula and Carmel Bay, California” *Marine Geology*, v. 170, no. 3-4, p. 289-316.

- SUGUIO, K. 1992. Dicionário de Geologia Marinha. T.A. Queiroz, 366p.
- SUGUIO K. 1998. Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1222p.
- THIELER, E.R., HIMMELSTOSS, E.A., ZICHICHI, J.L., AND ERGUL, AYHAN. 2009. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0- An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278. disponível online em: <http://pubs.usgs.gov/of/2008/1278/>.
- Thomas, T., Phillips, M.R., Williams, A.T. (2010). Mesoscale evolution of a headland bay: Beach rotation processes. *Geomorphology*, 123(1-2): 129-141
- THOMAS, S.K., LYNCH, M.R., PHILLIPS AND A.T. WILLIAMS. 2014. Long-term evolution of a sand spit, physical forcing and links to coastal flooding. *Applied Geography* 53, 187-201.
- TRUCCOLO, E.C. 1998. Maré meteorológica e forçantes atmosféricas locais em São Francisco do Sul, SC. Dissertação Mestrado, Engenharia Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, UFSC, Florianópolis, 100p.
- TRUCCOLO E.C. & SCHETTINI CAF. 1999. Marés Astronômicas na Baía da Babitonga, SC. *Notas Téc. Facimar*, 3: 57-66.
- UNIVALI. 2013. Caracterização hidráulico-sedimentológica da foz do Rio Acaraí e praias de Itaguaçu, Ubatuba e Enseada, São Francisco do Sul, SC. Universidade do Vale do Itajaí. Centro de Ciências Tecnológicas, da Terra e do Mar. Laboratório de Oceanografia Física
- VAN RIJN, L.C. 1998. *Principles of Coastal Morphology*. Amsterdam: Aqua Publications.
- VENTUROLI, M.D. 2017. Estudo da ausência de transposição sedimentar entre praias de enseada por meio da análise de variação de linha de costa do litoral centro-norte do estado de Santa Catarina – Brasil. Florianópolis. 164p. Monografia. Curso de Oceanografia. Universidade Federal de Santa Catarina.
- VIEIRA DA SILVA, G.; MULER, M.; PRADO, M.F.V.; SHORT, A.D.; KLEIN, A.H.F., e TOLDO, E.E., Jr. 2016. Shoreline change analyses and insight into the sediment transport path along Santa Catarina Island north shore, Brazil. *Journal of Coastal Research*, Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208.
- WRIGHT, L.D.; THOM, B.G. 1977. Coastal depositional landforms: a morphodynamic approach. *Prog. Phys. Geogr.* 1(3): 412-459
- ZEMBRUSKI SG. 1979. Geomorfologia da margem continental sul brasileira e das bacias oceânicas adjacentes. In: *Geomorfologia da margem continental brasileira e das áreas*

oceânicas adjacentes. Rio de Janeiro, PETROBRAS, CENPES, DINTEP, 177 p. Série Projeto REMAC, 7: 129-177.

## APÊNDICE A

município	Num Mun	Nome PMT	Nome PMT M	Num PMT	C (m)	L (m)	Perímetro	Azimute (graus)
Itapoa	1	3a Pedra		1	81	47	232	73
Itapoa	1	2a Pedra		2	58	28	179	49
Itapoa	1	1a Pedra	Ponta do Areião	3	60	100	296	51
São Francisco do Sul	2	Morro do Forte	Morro João Dias	4	374	1322	2640	55
São Francisco do Sul	2	X		5	49	210	339	88
São Francisco do Sul	2	X PEDRA DA DRAGAGEM Petrobras		6			79	
São Francisco do Sul	2	Morro da Enseada	Ponta da Enseada_Pta da Praia	7	287	1152	2265	37
São Francisco do Sul	2	Morro do Sambaqui	Ponta Alta	8	206	283	848	61
Barra Velha	5	Costão dos Naufragados		9	74	291	551	90
Barra Velha	5	Costão das Pedras Brancas e Negras		10	76	251	316	55
Barra Velha	5	Morro do Grant - Itajubá	Itajubá	11	154	794	1255	51
Penha	7	Morro Ilha Feia	Ponta da Penha	12	734	1293	2518	4
Penha	7	Morro do Vigia	Ponta do Vigia	13	197	681	2074	35
Penha	7	Ponta do Varrido	Ponta do Varrido	14	819	94		49
Penha	7	Ponta da Estrela	Ponta da Estrela	14	589	575		114
Penha	7	Morro do Gravatá	Morro do Gravatá	15	966	2013	4374	175
Penha	7			16	274	449	929	171
Itajaí	9	Morro da Atalaia	Morro da Atalaia	17	849	1392	2027	6
Itajaí	9	Ponta das Cabeçadas	Ponta das Cabeçadas	18	851	539	2418	49
Itajaí	9	Morro do Careca		19	372	377	1477	82
Balneário Camboriú	10	Pontal Norte		20	150	527	928	178
Balneário Camboriú	10	Morro da Aguada		21	678	1165	2642	45
Balneário Camboriú	10	Ponta das Laranjeiras	Ponta das Laranjeiras	22	472	639	1841	30
Balneário Camboriú	10	Ponta das Taquaras	Ponta das Taquaras	23	1052	874	3859	51
Balneário Camboriú	10	X	X	24	438	254	1310	115
Balneário Camboriú	10	Ponta do Estaleiro Grande	Ponta do Estaleiro Grande	25	204	823	1599	121
Balneário Camboriú	10			26	111	948	2068	117
Itapema	11			27	117	152	538	100
Itapema	11			28	54	96	211	89
Itapema	11	Ponta da Ilhota	Ponta da Ilhota	29	250	139	761	42
Itapema	11			30	121	206	2301	138
Itapema	11	Morro do Boi		31	446	797	501	180
Porto Belo	12			32	454	784	1855	30
Porto Belo	12	Ponta de Porto Belo	Ponta de Porto Belo	33	X	2976	6286	
Porto Belo	12	Ponta de Porto Belo	Ponta de Porto Belo	34	1644	1200	6259	34
Bombinhas	13			35	131	110	381	26
Bombinhas	13			36	193	256	492	52
Bombinhas	13	Ponta das Garoupas	Ponta das Garoupas	37	666	107	2418	7
Bombinhas	13			38	849	757	2396	38
Bombinhas	13	Ponta de Bombas	Ponta de Bombas	39	1428	939	4515	65
Bombinhas	13			40	457	1233	2330	106
Bombinhas	13			41	105	37	282	39
Bombinhas	13	Ponta de Zimbros/Ponta do Tinguá	Ponta de Zimbros/PontadoTinguá	42			13659	
Bombinhas	13	Ponta Grande - Ponta João Porfirio	Pta Grande - Pta João Porfirio	43	267	7122	10467	142
GovCelsoRamos	15	Ponta do Izidro/Ponta da Cruz	Ponta do Izidro/Ponta da Cruz	44	168	952	1327	57
GovCelsoRamos	15	Ponta do Simão	Ponta do Simão	45	839	824	2848	27
GovCelsoRamos	15	Pontinha	Pontinha	46	277	293	888	8
GovCelsoRamos	15			47	566	556	1619	6
GovCelsoRamos	15	Ponta de Ganchos	Ponta de Ganchos	48	1289	1011	4279	6
GovCelsoRamos	15	Ponta Trinta Reis	Ponta Trinta Reis	49	816	663	2648	45
GovCelsoRamos	15			50	307	908	1662	85
GovCelsoRamos	15			51	317	636	1212	110

GovCelsoRamos	15			52	122	67	401	71
GovCelsoRamos	15			53	49	83	131	79
GovCelsoRamos	15	Ponta da Armação	Ponta da Armação	54	347	228	151	79
GovCelsoRamos	15	Ponta do Mata Mata	Ponta do Mata Mata	55	454	311	1351	144
GovCelsoRamos	15	Ponta Sobreposta/Cabras	Ponta Sobreposta/Cabras	56	91	438	1291	130
GovCelsoRamos	15	Ponta do Tinguá	Ponta do Tinguá	57	268	606	766	80
GovCelsoRamos	15	Ponta da Balboa/José Mariano	Ponta da Balboa/José Mariano	58	221	618	1011	72
GovCelsoRamos	15	Ponta da Costeira	Ponta da Costeira	59	82	222	931	94
GovCelsoRamos	15			60	31	77	404	90
GovCelsoRamos	15			61	42	124	152	129
GovCelsoRamos	15			62	13	103	218	90
GovCelsoRamos	15	Ponta do Magalhães	Ponta do Magalhães	63		177	1308	
GovCelsoRamos	15			64	65	265	356	143
GovCelsoRamos	15			65	1042	1495	3098	124
Florianópolis	17	Morro do Forte	Ponta Grossa	66	142	1497	2673	36
Florianópolis	17	Canajuré	Ponta dos Morretes	67	299	1431	1794	37
Florianópolis	17	Ponta das Canas/Lagoinha	Ponta das Canas/Lagoinha	68	296	843	2003	37
Florianópolis	17	Ponta do Rapa/do Bota	Ponta do Rapa/do Bota	69	1105	724	4025	84
Florianópolis	17	Morro dos Ingleses/Brava	Ponta das Feiticeiras	70	610	1235	2394	71
Florianópolis	17	Morro do Santinho-Ingleses	Ponta dos Ingleses	71	1344	740	6438	60
Florianópolis	17	Morro Moçambique/Santinho	Ponta das Aranhas	72	435	1721	3600	115
Florianópolis	17	Ponta da Galheta	Ponta da Galheta	73	1502	1889	6954	37
Florianópolis	17	Costão da Mole/Galheta		74	96	65	675	175
Florianópolis	17	Ponta do Gravatá	Ponta do Gravatá	75	1008	2603	6400	68
Florianópolis	17	Morro das Pedras		76	113	693	839	68
Florianópolis	17	Morro das Campanhas		77	377	168	1319	38
Florianópolis	17	Ponta da Lagoinha (matadeiro)		77	768	1873	6513	47
Florianópolis	17	Ponta da Lagoinha	Ponta da Lagoinha	78	873	1873	6513	45
Florianópolis	17	Ponta da Andorinha	Ponta da Andorinha	79	1906	1510	6940	167
Florianópolis	17	Ponta do Frade	Ponta do Frade	80	1550	4950	8344	171
Florianópolis	17	Ponta dos Naufragados		81	300	1884	3615	92
Palhoça	19	Ponta do Papagaio		82	575	332	2493	53
Palhoça	19			84	157	364	589	27
Palhoça	19	Ponta da Pinheira	Ponta da Pinheira	83	731	1369	3918	58
Palhoça	19	Ponta da Guarda		85	453	443	1427	178
Garopaba	21	Morro da Faisca/Ponta da Gamboa	Ponta da Gamboa	86	814	1624	2647	55
Garopaba	21			87	85	261	455	58
Garopaba	21	Ponta do Casqueiro/Ponta do Galeão	Ponta do Casqueiro/Ponta do Ga	88	721	1571	5315	54
Garopaba	21	Ponta do Capão	Ponta do Capão	89	850	3535	6986	115
Garopaba	21	Ponta Ferrugem/Barrinha		90	210	99	698	79
Garopaba	21	Morro do Sambaqui		91	125	1140	2888	105
Garopaba	21	Morro Vermelha/Ouvidor		92	668	755	2381	61
Garopaba	21	Ponta do Ouvidor	Ponta do Ouvidor	93	539	389	2011	72
Imbituba	22	Ponta do Porto Novo	Ponta do Porto Novo	94	841	837	3059	72
Imbituba	22	Ponta da Careca Velho	Ponta da Careca Velho	95	680	1230	2882	65
Imbituba	22	Ponta do Catalão	Ponta do Catalão	96	377	514	1246	99
Imbituba	22	Ponta de Imbituba	Ponta de Imbituba	97			5903	
Imbituba	22	Ponta de Itapiruba	Ponta de Itapiruba	98	796	425	2612	67
Laguna	23	Ponta do Gi	Ponta do Gi	99	524	399	1635	85
Laguna	23	Ponta do Gravatá	Ponta do Gravatá	100	472	810	2097	160
Laguna	23			101	162	237	541	136
Laguna	23			102	211	589	771	115
Laguna	23	Ponta do Ipuã		103	515	929	1737	37
Laguna	23	Cabo de Santa Marta Pequeno	Cabo de Santa Marta Pequeno	104	468	418	2058	150
Laguna	23			105	248	922	1345	39
Laguna	23	Cabo de Santa Marta Grande	Cabo de Santa Marta Grande	106	648	839	2765	75
Laguna	23			107	228	217	679	174

Fonte: Elaborado pelo autor