

Artigo de Pesquisa

Evidências deposicionais e/ou erosivas em dois setores do arco praiado Joaquina - Morro das Pedras, ilha de Santa Catarina, SC, Brasil

Depositional and/or erosive evidences on two sectors of the Joaquina - Morro das Pedras beach arch, Santa Catarina island, SC, Brazil

Gabriel de Oliveira Gomes ¹, Norberto Olmiro Horn Filho ² e Bruna Suély Moresco ³

- 1 Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Ciências Físicas e Matemáticas, Florianópolis, Brasil.
E-mail: gabriel.o.gomes@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8489-1212>
- 2 Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Geologia, Florianópolis, Brasil.
E-mail: norberto.horn@ufsc.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2173-7680>
- 3 Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Ecologia e Zoologia, Florianópolis, Brasil.
E-mail: brusmoresco@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9886-3979>

Recebido: 26/06/2020; Aceito: 07/07/2021; Publicado: 15/01/2022

Resumo: O arco praiado Joaquina - Morro das Pedras, localizado na margem Leste da ilha de Santa Catarina, SC, Brasil, apresenta, ao longo de sua extensão, dois setores com praias sob distintos modos de uso e ocupação dos ambientes de deposição marinho praiado e eólico, indicando evidências de acentuação de processos erosivos costeiros nos locais mais povoados. Neste estudo, ao longo de 16 meses, coletaram-se dados sobre a hidrodinâmica, morfologia, granulometria, padrões de ventos e correntes litorâneas em seis perfis praiados, três em cada praia, uma praia por setor, no intuito de comparar os efeitos da ocupação humana na linha costeira de cada local. No setor Sul, praia do Campeche, com elevado adensamento populacional, é possível notar severos problemas associados à erosão costeira, confirmados pela perda sedimentar observada de $-40,1 \text{ m}^3/\text{m}$ durante o estudo. No mesmo período a praia do Rio Tavares, setor Norte, onde as dunas estão preservadas e mantidas, foi possível notar um acréscimo sedimentar de $43,8 \text{ m}^3/\text{m}$. Estes dados, associados às taxas de variação da linha de costa calculados, mostram que a urbanização dos locais estudados pode ter afetado as características sedimentares naturais, gerando recuo da linha de costa a taxas que podem alcançar até $-1,60 \text{ m/ano}$.

Palavras-chave: Dinâmica Praial, Processos Costeiros, Linha Costeira.

Abstract: The Joaquina - Morro das Pedras beach arch, located on the Eastern margin of the island of Santa Catarina, SC, Brazil, presents, along its length, two sectors with beaches under different types of use and occupation of the marine and eolic depositional environments, evidencing an accentuation in the coastal erosive process in the most populated areas. In this study, over 16 months, data on hydrodynamics, morphology, granulometry, eolic patterns and coastal currents were collected in six profiles, three in each beach, one beach per sector, to compare the effects of human occupation in the coastline of each local. In the Southern sector, Campeche beach, under a high population density, it is possible to notice severe problems associated to coastal erosion, confirmed by the sedimentary net loss of $-40.1 \text{ m}^3/\text{m}$ during the study. For the same period, Rio Tavares beach, Northern sector, where the dunes are preserved and maintained, it was possible to notice a sedimentary increase of $43.8 \text{ m}^3/\text{m}$ instead. These data, associated with the calculated rate of variation of the coastline, shows that the

urbanization of the studied locations might have affected the natural sedimentary characteristics of the beach, generating retreat of the coastline at rates that can reach -1.60 m/year.

Keywords: Beach Dynamics, Coastal Processes; Coastline.

1. Introdução

Estima-se que, ao longo do planeta, cerca de 31% das zonas livres de gelo sejam formadas por praias arenosas (LUIJENDIJK et al., 2018), que representam depósitos litorâneos de areia não consolidada (BASCOM, 1951). Extremamente dinâmico, este ambiente é diretamente influenciado pelas interações existentes entre a hidrodinâmica, disponibilidade sedimentar e a morfologia praial (SHORT e HESP, 1982; SHORT e JACKSON, 2013).

De acordo com o Atlas Geográfico das Zonas Costeiras e Oceânicas do Brasil (IBGE, 2010), cerca de 50,7 milhões de brasileiros vivem em municípios costeiros, regiões transicionais entre o ambiente marinho e o ambiente terrestre. No estado de Santa Catarina - Brasil, aproximadamente 68% de sua população reside na zona costeira (POLLETE; SOUSA; MAZZER, 1995), muitas vezes, ocupando zonas primordiais do balanço sedimentar praial, especialmente associadas à compactação sedimentar das dunas frontais.

Dunas frontais funcionam como uma zona tampão (*buffer-zone*), garantindo a proteção de feições naturais e antrópicas existentes à sua retaguarda, pois asseguram a manutenção sedimentar do sistema praial durante eventos erosivos (LEATHERMAN, 1979). Quando eventos de tempestade associados às ondulações de magnitude elevada e grandes períodos atingem a costa, a duna supre a região submersa com sedimentos, favorecendo os processos erosivos na região subaérea. Por sua vez, durante eventos de calmaria, períodos curtos e de menor altura de onda, este sedimento é novamente transportado para a região emersa, depositando-se na região do pós-praia e na base da duna litorânea (MARTINS et al., 1970; SHORT e HESP, 1982).

A possibilidade de migração sedimentar entre o domínio emerso e submerso é fundamental para o equilíbrio da célula costeira (VAN RIJN, 2008), assegurando à costa, proteção junto aos impactos gerados por eventos hidrodinâmicos extremos e, por conseguinte, erosivos.

O aprisionamento sedimentar causado pela compactação da região das dunas em consequência da ocupação humana, no Brasil, é identificado por diversos autores como fator estimulador dos processos erosivos costeiros, visto que, ao se reter sedimentos da zona passível de migração sedimentar, o equilíbrio previamente existente entre a região emersa e submersa do ambiente praial se torna deficitário (ABREU DE CASTILHOS, 1995; SOUZA e SUGUIO, 1996; DIEHL, 1997; SOUZA e SUGUIO, 2003; SIMÓ e HORN FILHO, 2004; DILLENBURG; ESTEVES; TOMAZELLI, 2004; MUEHE, 2005; KLEIN et al., 2006; SOUZA, 2009; SOUZA e LUNA, 2010).

A compreensão do comportamento da linha de costa, indicador físico entre água e terra (DOLAN et al., 1980), conjuntamente com o entendimento dos processos dinâmicos modeladores das feições costeiras (APENDINI e FISCHER, 1998) e seu balanço sedimentar (DEAN e DALRYMPLE, 2002), são de fundamental importância para a elaboração de políticas públicas, planejamento de ações para remediação do risco, identificação dos padrões pretéritos e estimativas futuras do comportamento do ambiente costeiro (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1990; CROWELL; LEATHERMAN; BUCKLEY, 1997; CRACKNELL, 1999).

O arco praial Joaquina - Morro das Pedras na ilha de Santa Catarina se mostra como um sistema extremamente pertinente para a avaliação desta temática, pois apresenta, ao longo de sua extensão praial, dois setores distintos quanto à utilização das dunas frontais, permitindo assim, a comparação do comportamento morfológico sazonal entre eles. O setor Norte, onde as dunas se encontram preservadas e inseridas junto ao Parque Natural Municipal das Dunas da Lagoa da Conceição, Decreto Municipal Nº 213/1979, se mostra visualmente distinto do elevado adensamento populacional observado no setor Sul, no qual o processo de urbanização por sobre a região frontal das dunas encontra-se estabelecido.

O alto adensamento populacional da região limítrofe entre praia e duna no setor Sul, acarretou em preocupantes problemas erosivos para as residências particulares à retaguarda e a praia, de modo que a solução encontrada para remediar estes episódios, se deu a partir da construção de paliçadas (*seawalls*), que representam estruturas verticais de contenção costeira. Quando construídas de maneira inadequada, geralmente vertical, estas estruturas acabam por acentuar os processos erosivos (KRAUS, 1988; BARNETT; ASCE; WANG, 1989; TAIT e

GRIGGS, 1990; HSU; LIN; TSENG, 2007; BIRD, 2008), causando uma erosão ativa do ambiente praial, quando favorecida de estruturas antrópicas (BARNETT; ASCE; WANG, 1989).

Este trabalho busca estabelecer, a partir de campanhas de campo, coleta de sedimentos e análise de imagens aéreas, a dinâmica sedimentar e a variação da linha de costa dos dois setores, Norte e Sul, a fim de avaliar as possíveis consequências da urbanização do ambiente das dunas no balanço sedimentar da região de interesse e, por consequência, na sua linha de costa.

2. Área de Estudo

O arco praial Joaquina - Morro das Pedras, localizado na margem Leste da ilha de Santa Catarina e formado pelas praias da Joaquina, Rio Tavares, Campeche e Morro das Pedras, é caracterizado por Abreu de Castilhos e Gré (1997) como um sistema praial alongado, de orientação NNE-SSW com extensão aproximada de 11.000 m (HORN FILHO; LEAL; OLIVEIRA, 2014) e composto por populações mistas de areia fina, areia média e areia grossa (ABREU DE CASTILHOS, 1995; SANTOS, 1995). O arco praial apresenta-se delimitado pela presença de dois promontórios rochosos constituídos de granitos do Granito Ilha (TOMAZZOLI e PELLERIN, 2014) e diques básicos de diabásio da unidade Enxame de Diques Florianópolis (TOMAZZOLI; PELLERIN; HORN FILHO, 2018) tanto em seu extremo norte, na praia da Joaquina, quanto em seu extremo sul, na praia do Morro das Pedras.

Ao longo da extensão do arco praial é possível observar, na região central, uma zona de sombra causada pela ilha do Campeche (remanescente emerso do Granito Ilha), responsável por criar uma zona de deposição sedimentar, um pseudo-tômbolo (SCHMIDT, 2010) entre a ilha do Campeche e a praia homônima do arco, assegurando à extensão praial um perfil convexo na região, anômalo ao padrão côncavo observado para o restante da extensão praial.

A norte da saliência, situam-se as praias da Joaquina e Rio Tavares, formadas por depósitos marinho praias atuais na forma de cordões litorâneos com texturas arenosas variadas, bem como depósitos eólicos em forma de dunas transversais ativas. A sul, adjacente às praias do Campeche e Morro das Pedras, afloram depósitos marinho praias atuais e depósitos eólicos na forma de dunas longitudinais fixas (HORN FILHO e LIVI, 2013).

O presente trabalho adotou como área de interesse para estudo, as praias Rio Tavares (setor Norte) e Campeche (setor Sul), visto a desigual forma de ocupação humana no que diz respeito à região dos depósitos eólicos (Figura 1). A praia do Rio Tavares apresenta uma granulometria que varia de areia média à fina, com características morfodinâmicas de praia intermediária. Por sua vez, a região de interesse na praia do Campeche, se insere em um setor composto de granulometria arenosa mais grossa, com praia modal de caráter morfodinâmico refletivo (TORRONTEGUY, 2002).

O regime de marés da ilha de Santa Catarina é semi-diurna, sendo classificada por Davies (1980) como uma costa de micro marés, com amplitude média de 0,8 m passível de alcançar valores próximos a 1,4 m.

Ondulações mais frequentes na margem Leste da ilha de Santa Catarina são provenientes dos setores leste, sul e sudeste (TORRONTEGUY, 2002; ARAUJO et al., 2003; FARACO, 2003; MIOT DA SILVA, 2006), sendo as provenientes de sul, mais frequentes no inverno, associadas a um maior poder erosivo na linha de costa da ilha, especialmente em sua margem oceânica (Leste), função de sua maior energia associada (ABREU DE CASTILHOS, 1995; TOZZI e CALLIARI, 2000; ARAÚJO et al., 2003).

O setor geográfico Norte, que faz parte do Parque Natural Municipal das Dunas da Lagoa da Conceição, encontra-se dentro de uma APP (Área de Preservação Permanente), responsável por manter a integridade do ambiente costeiro, exceção do extremo Norte da praia da Joaquina. Por sua vez, o setor geográfico Sul passou por uma intensa urbanização após os anos 70, sendo percebido a partir da década de 90, um grande aumento populacional no bairro do Campeche, muito em função das melhorias de infraestruturas e da disponibilidade de terrenos mais acessíveis, próximos ao mar (MOREIRA, 2009). Este aumento populacional intensificou as ocupações por sobre a região de dunas.

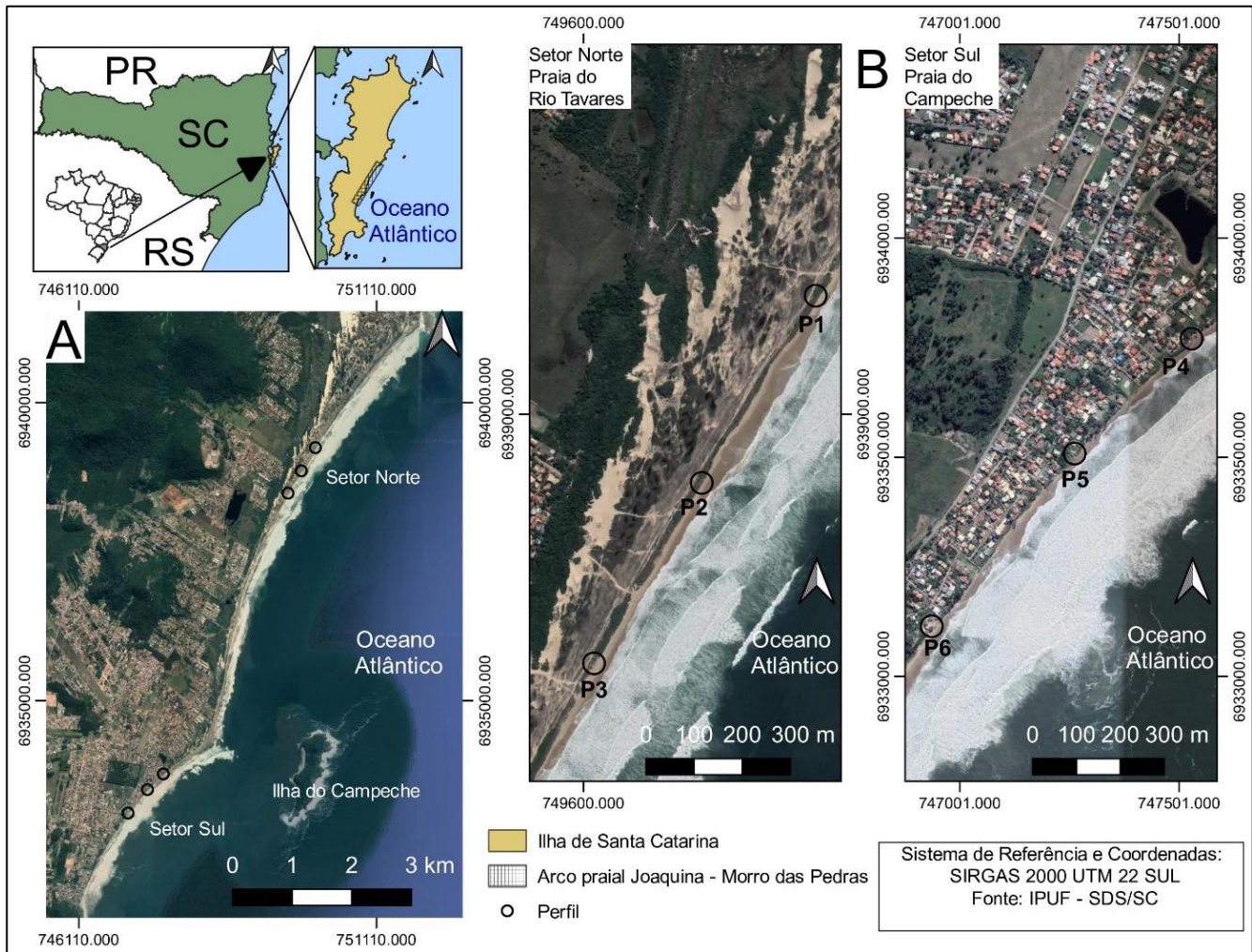


Figura 1. A - Localização geográfica da área de estudo na costa Leste da ilha de Santa Catarina (arco praial Joaquina - Morro das Pedras); B - setores geográficos Norte (praia do Rio Tavares) e Sul (paia do Campeche Sul) e a distribuição espacial dos perfis de controle, representados pelos círculos pretos. (**Legenda:** PR = estado do Paraná; SC = Estado de Santa Catarina; RS = estado do Rio Grande do Sul; P1 = Perfil 1; P2 = Perfil 2; P3 = Perfil 3; P4 = Perfil 4; P5 = Perfil 5; P5 = Perfil 6).

3. Materiais e Métodos

No intuito de gerar dados comparativos para compreensão do efeito da urbanização das dunas frontais no arco praial Joaquina - Morro das Pedras, coletou-se dados associados à hidrodinâmica, morfologia, granulometria, estágio morfodinâmico e variação histórica da linha de costa. Os dados hidrodinâmicos referem-se à altura significativa da ondulação (H_s), altura observada (H_b) direção e período de onda (s), enquanto os morfológicos provêm do monitoramento de perfis *in situ*, transversais à linha de costa atual, permitindo assim, o estudo do comportamento morfossedimentar da região, somado à caracterização sedimentar do ambiente praial. A partir dos dados hidrodinâmicos de altura de onda (H_b) e tamanho médio dos grãos (Φ), tornou-se possível identificar o parâmetro ômega (Ω) (DEAN, 1973) e, por conseguinte, aferir o estágio morfodinâmico dos setores, de acordo com a classificação de praias arenosas proposta por Wright e Short (1984).

3.1. Hidrodinâmica

Os dados hidrodinâmicos de altura de onda (H_b) para a classificação morfodinâmica (WRIGHT e SHORT, 1984) dos perfis praias foram coletados *in situ* seguindo-se a metodologia visual proposta por Melo Filho (1993) durante as campanhas de campo. Para os períodos entre campanhas, dados de altura de onda, período, direção de ondulação, força e direção do vento foram adquiridos diariamente (N = 482), por meio de previsões numéricas disponibilizadas no website www.windguru.cz.

O modelo de previsão adotado para identificação das classes e força do vento foi o GFS (*Global Forecast System*), enquanto para os dados de ondulação, Hs, direção e período, optou-se pelo NWW3 (*NOAA Wavewatch3*), considerando a confiabilidade do modelo para a região (PIANCA; MAZZINI; SIEGLE, 2010).

3.2. Morfologia praial

Para o estudo da morfologia praial ao longo das quatro estações, utilizou-se a metodologia aperfeiçoada por Birkemeier (1981), *Two Person Beach Survey*, a qual requer uma régua de aproximadamente 5m, um nível óptico, balizas de referência e duas pessoas. Esta metodologia possibilita elaborar perfis transversais à linha de costa, de modo a identificar a variação em m³/m do pacote sedimentar subaéreo de maneira simples, precisa e mais barata (MUEHE et al., 2020).

Neste processo foram selecionados seis perfis de estudo nas coordenadas UTM: P1 - 750138/6939289; P2 - 759895/6938909; P3 - 749677/6938908; P4 - 747581/6933493; P5 - 747262/6933493 e P6 - 748989/6933493, sendo três no setor Norte (P1, P2 e P3) e três no setor Sul (P4, P5 e P6) do arco praial, que foram monitorados ao longo das quatro estações por meio de 12 campanhas de campo, entre o período de agosto de 2018 e dezembro de 2019 (Tabela 1). Cada setor geográfico contou com uma área monitorada de aproximadamente 1000 m, estando os perfis à uma distância aproximada de 500 m entre si.

Tabela 1. Mês, ano e estação da realização das 12 campanhas de campo realizados no presente estudo.

Campanha	Mês	Ano	Estação
C1	agosto	2018	Inverno
C2	outubro	2018	Primavera
C3	novembro	2018	Primavera
C4	dezembro	2018	Verão
C5	janeiro	2019	Verão
C6	março	2019	Outono
C7	maio	2019	Outono
C8	junho	2019	Outono
C9	julho	2019	Inverno
C10	agosto	2019	Inverno
C11	outubro	2019	Primavera
C12	dezembro	2019	Verão

Para a caracterização granulométrica dos setores praias, com exceção do P5 durante a campanha de campo 4, amostras superficiais de sedimentos foram coletadas para cada um dos seis perfis durante todas as 12 campanhas, nos setores morfológicos do limite superior do pós-praia, pós-praia e face praial (Figura 2), totalizando 108 amostras de sedimento para o setor Norte e 105 amostras para o setor Sul (N = 213). Cada amostra de sedimento foi lavada individualmente, secada, quarteada, peneirada e pesada. A análise granulométrica dos sedimentos foi realizada no Laboratório de Sedimentologia, do Departamento de Geociências da Universidade Federal de Santa Catarina, seguindo o processo descrito por Suguio (1973) e respeitando a escala de Wentworth (1922), com malhas variando de $\frac{1}{2} \Phi$ entre 1 e 0,062 mm. Por fim, os resultados foram estatisticamente classificados de acordo com os parâmetros estatísticos formulados por Folk e Ward (1957) através do *software* SYSGRAN 3.0.

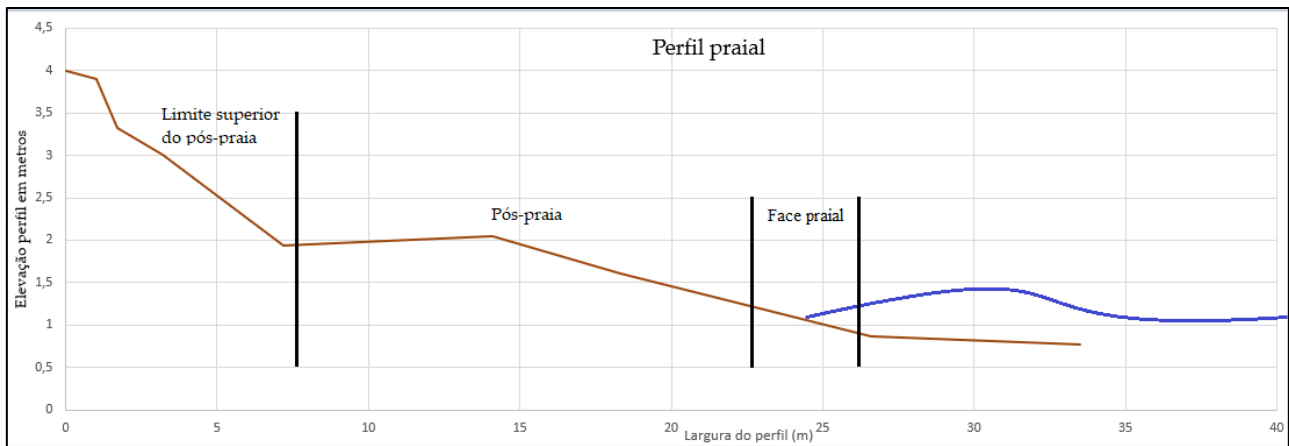


Figura 2. Perfil transversal com os setores morfológicos onde foi realizada a amostragem superficial de sedimentos praias.

3.3. Morfodinâmica praial

A partir da velocidade de decantação das partículas (W_s) proposta por Gibbs, Matthews e Link (1971), Dean (1973) propôs o parâmetro adimensional ômega (Ω) segundo a Eq. (1):

$$\Omega = H_b/W_s.T \tag{1}$$

onde: H_b = altura da onda na zona de arrebentação; W_s = velocidade de decantação da partícula, e T = o período associado entre duas cavas ou cristas. Por não considerar a assimetria das partículas no cálculo da W_s , Baba e Komar (1981) propuseram uma correção para a velocidade de sedimentação de Gibbs, Matthews e Link (1971), adotando para o cálculo de Ω o valor de $W_m = 0,761 W_s$, conforme Eq. (2).

$$\Omega = H_b/W_m.T \tag{2}$$

A partir do parâmetro ômega, Wright e Short (1984) desenvolveram um modelo classificatório para praias arenosas dominadas por ondas, ao qual identificam seis estágios para o ambiente praial, dois extremos (refletivo e dissipativo) e quatro intermediários (Tabela 2).

Tabela 2. Relação de equilíbrio entre estado da praia e o respectivo valor médio de ômega, adaptado de Wright e Short (1984). (**Legenda:** Ω = parâmetro Ômega médio; Desv. Pad = desvio padrão).

Estado	Ω médio	Desv.Pad
Refletivo	<1,5	-
Terraço de baixa-mar (TBM)	2,4	0,19
Bancos transversais (BT)	3,15	0,64
Banco e praia de cúspide (BPC)	3,5	0,76
Banco e calha longitudinal (BCL)	4,7	0,93
Dissipativo	>5,5	-

3.4. Variação da linha de costa

A fim de identificar os impactos da ocupação humana na linha de costa ao longo do tempo, foi necessário entender o comportamento natural deste ambiente em um momento pretérito ao período de urbanização. Para isso, utilizou-se da análise de aerofotografias em duas séries temporais distintas, de modo a contemplar as diferentes áreas de interesse, praia do Rio Tavares e praia do Campeche.

O período tido como pré-urbanizado, associa-se à análise de imagens aéreas, posteriormente digitalizadas em formato JPG, referentes aos anos de 1938 (300 dpi, escala 1:30.000), 1957 (600 dpi) e 1978 (600 dpi) em escala 1:25.000,

cedidas pela União (1938 e 1957) e pelo Governo de Santa Catarina (1978). Para a série temporal pós-urbanização, utilizou-se das imagens de 1994 (mosaico fotogramétrico) e 2016 (mosaico fotogramétrico), ambas em escala 1:25.000, sendo a de 1994 disponibilizada pelo IPUF (Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis) e a de 2016 pela SDS (Secretaria de Estado do Desenvolvimento Social).

O material fotogramétrico foi todo transformado para a extensão TIFF, e posteriormente georreferenciado a partir do mosaico de 2016 no datum SIRGAS 2000, UTM Zona 22S, com tamanho do pixel variando entre 2,11 e 0,42 m. O processo de georreferenciamento foi realizado por meio do software livre Q-GIS 3.6.3 NOSSA, e contou com 24 pontos de controle por imagem para correção geométrica, próximos a área de interesse, de modo que os valores de erro quadrático médio (EQM) oscilaram entre 0,97 e 1,97 m.

Uma vez georreferenciadas, as imagens foram organizadas em um mosaico a fim de permitirem a visualização contínua dos setores geográficos de interesse para cada um dos anos em questão e, assim, auxiliar na escolha do proxy de melhor representatividade para a posição da linha de costa. O indicador escolhido se refere a linha de vegetação, pois além de indicar a posição estimada da base da duna e ter fácil distinção por contraste, possibilita uma melhor identificação de tendências da linha de costa à longo prazo, em função de ser menos instável se comparado a alta mobilidade da linha de seco e molhado (HOEKE; ZARILLO; SYNDER, 2001).

A posição da linha de costa a partir da linha de vegetação foi traçada manualmente para cada um dos anos e para cada um dos setores geográficos, Norte e Sul, em formato "shapefile", extrapolando os limites dos perfis, para posterior sobreposição e identificação das taxas de variação do setor.

Para o cálculo das taxas de variação da linha de costa, utilizou-se a extensão computacional para o software ArcGis®, DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*) desenvolvida por Thielert et al. (2009) no qual, por meio de transectos ortogonais à linha de costa (no caso deste estudo: 741 no setor Norte e 480 no setor Sul, distantes 5 m entre si) pode-se, a partir de uma linha de base onshore (continente), quantificar as taxas associadas à mobilidade da linha de costa (Figura 3). No presente trabalho o método estatístico adotado foi o LMS (*Least Median of Squares*), um método robusto que minimiza a influência de outliers no cálculo da taxa de variação (HIMMELSTOSS, 2009; KLEIN et al., 2016) indicando os valores em m/ano.

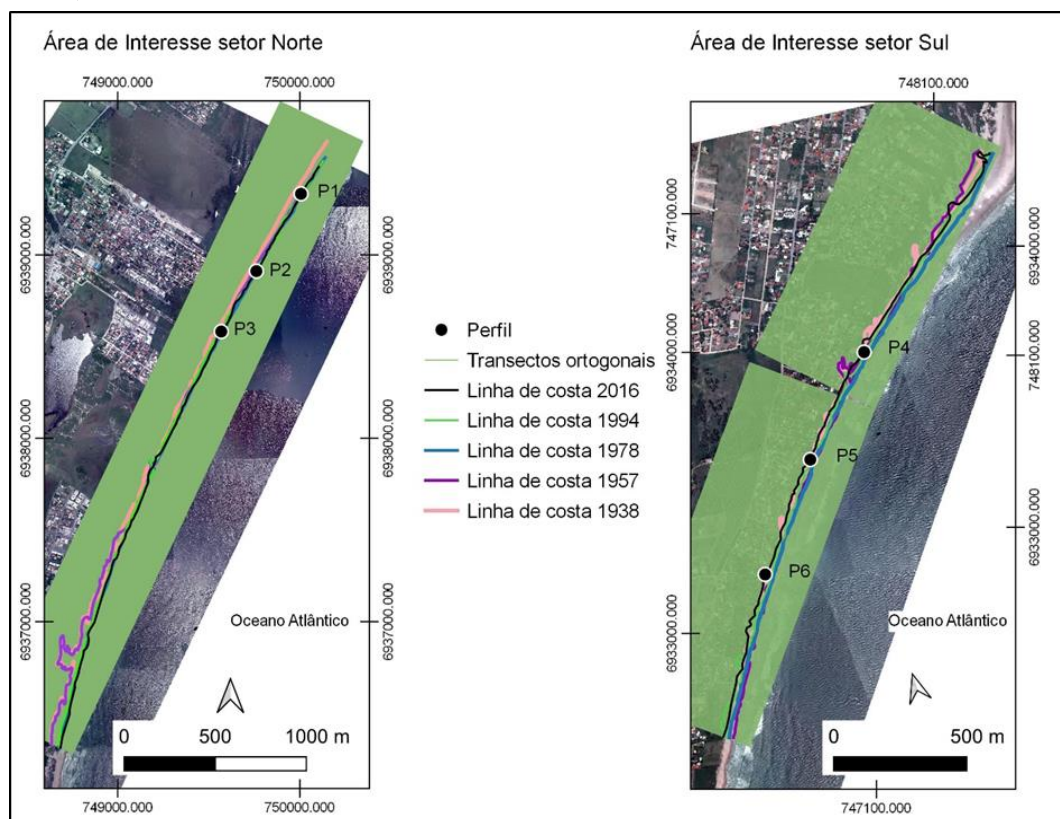


Figura 3. Representação esquemática das linhas de vegetação, conjuntamente com a distribuição dos transectos ortogonais (5m entre si), representados na figura como uma área verde em função da escala utilizada, buscando quantificar a variação da linha de costa para o período entre 1938-1978 e 1994-2016.

4. Resultados

4.1. Hidrodinâmica

Os dados hidrodinâmicos coletados “in situ” durante as campanhas de campo referentes à altura de onda, velocidade da deriva litorânea e sentido (Tabela 3), indicam o predomínio de ondulações de sentido leste-sudeste (E-SE) e ilustram que ambos os setores geográficos se comportaram de maneira semelhante durante as campanhas de campo.

Tabela 3. Dados hidrodinâmicos coletados in situ durante as campanhas, a partir da metodologia proposta por Melo Filho (1993). (Legenda: N/S = Norte/Sul; m/s = metros por segundo; S/N = Sul/Norte; ESE = Leste-Sudeste).

Setor Norte	Sentido N/S	Velocidade (m/s)	Sentido S/N	Velocidade (m/s)	Hb (m)	T (s)	Ondulação (Direção)
P1	67%	0,31	33%	0,22	0,89	8,06	ESE
P2	67%	0,33	33%	0,14	0,87	8,25	ESE
P3	75%	0,40	25%	0,22	0,84	7,91	ESE
Média	69%	0,35	31%	0,19	0,87	8,07	58%
Setor Sul							
P4	55%	0,29	45%	0,25	0,77	7,78	ESE
P5	60%	0,21	40%	0,20	0,83	7,59	ESE
P6	75%	0,22	25%	0,21	0,84	6,93	ESE
Média	64%	0,24	36%	0,22	0,81	7,43	58%

O sentido do transporte de maior representatividade observado a partir da deriva litorânea foi de Norte a Sul, com velocidade média maior no setor Norte. A amplitude de onda na zona de arrebenção se mostrou aproximada em ambos os setores, indicando que de maneira geral, as ondulações atingem os setores de estudo do arco praial Joaquina - Morro das Pedras com períodos e altura de onda semelhantes.

Considerando que as ondas registradas para as áreas de estudo variaram entre os limites direcionais sul e nordeste, a direção sazonal de incidência de ondas foi dividida em quatro direções, em função dos pontos cardeais, colaterais e subcolaterais: 1) Nordeste (NE), 2) Leste (E), incluindo ENE, E e ESE; 3) Sudeste (SE) e 4) Sul (S), que inclui SSE, S e SSW. A análise dos dados obtidos através do modelo NWW3 para o período monitorado estão compilados na Figura 4 e indicam um amplo predomínio de ondulações provenientes do Leste (59%), seguido das ondulações de Sudeste (22%) e as provenientes do Sul (19%).

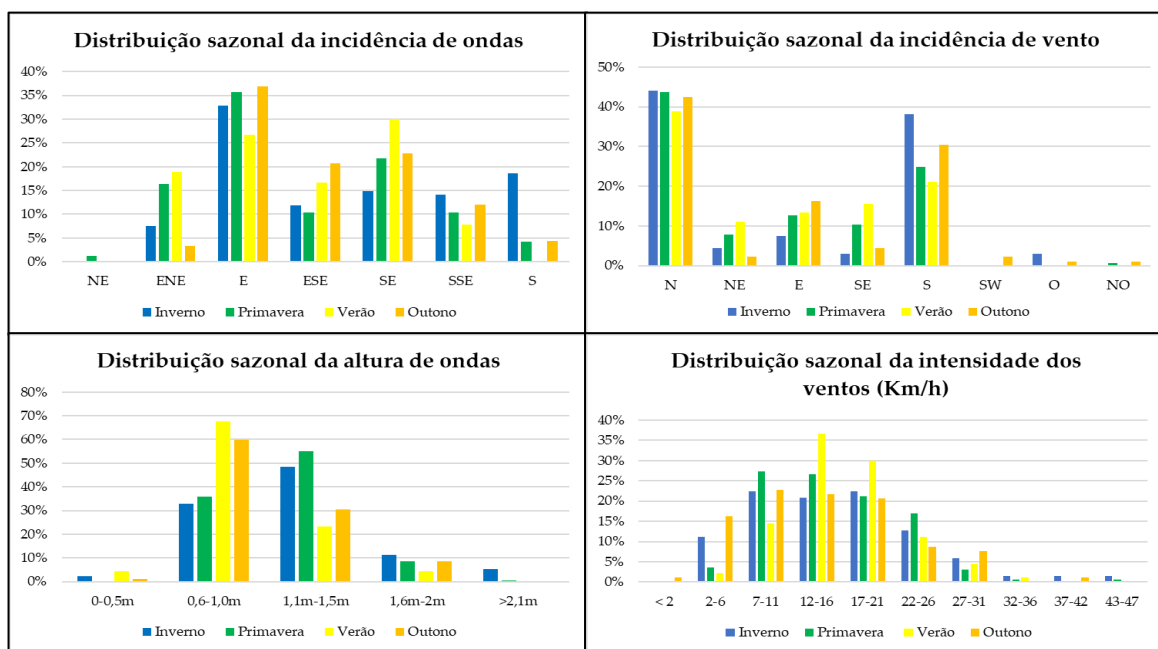


Figura 4. Distribuição sazonal das diferentes classes de ondulação e vento incidentes na ilha de Santa Catarina para o período monitorado (agosto 2018 a dezembro 2019). (Legenda: m = metros; km/h = quilômetro por hora; N = Norte; S = Sul; E = Leste; W = Oeste, NE = Nordeste, SE = Sudeste, SW = Sudoeste e NO = Noroeste).

Em relação à distribuição sazonal das amplitudes das ondulações, observa-se que o inverno apresentou os maiores valores, superando 1,1 m em 65% das ocasiões, associadas à maior incidência observada de vagas oriundas do Sul (33%).

As ondulações na primavera tiveram grande predomínio do Leste (62%), seguido da influência de Sudeste (22%) e menor influência do Sul (14%). As amplitudes, na primavera, ultrapassaram 1,1 m em 64% dos casos e, deste modo, inverno e primavera se comportaram como o período de maiores ondulações observadas. Apesar do predomínio das ondulações do Leste no verão (62%), a direção Sudeste contribuiu com cerca de 30% para o período monitorado, conjuntamente com as menores alturas de onda, não ultrapassando 1 m em 72% dos dias. A influência da ondulação de Sul para o período foi a menor observada (8%). O outono se comportou com ondulações majoritárias do Leste (61%), seguido das ondulações de Sudeste (23%) e do Sul (16%), não ultrapassando 1 m em 61% do N amostral, configurando às estações do verão e outono, a menor influência de ondulações de Sul, e por consequência, menor altura de onda associada.

Para o mesmo período, os dados pertinentes ao comportamento sazonal do vento, indicam que os ventos de maior significância na ilha de Santa Catarina originaram-se do Norte (23%) e do Sul (20%), variando suas rajadas entre 7 e 21 km/h (72%). Quando analisados a partir de sua sazonalidade, é possível identificar uma maior atuação do vento Sul especialmente no inverno e no outono, embora o predomínio seja de Norte para todas as estações.

O verão se comportou como a estação de maior velocidade de vento, com rajadas superiores à 17 km/h em 47% dos casos, seguido pelo inverno com 46%, primavera, 42% e outono com 38%.

4.2. Morfologia e granulometria praial

A capacidade de variação do pacote sedimentar pode ser entendida e observada por meio da taxa de migração sedimentar associada a cada perfil, e, por conseguinte, pode-se estimar o comportamento do setor geográfico (Figura 5 e 6).

Os perfis de controle 1, 2 e 3, setor Norte, foram responsáveis por mobilizar ao longo do período, 293,8 m³/m de sedimento, associando ao inverno seu máximo erosivo (-50,6 m³/m) e ao verão seu máximo deposicional (+45,9 m³/m). A primavera e outono também se configuraram como estações de caráter deposicional (+14,9 m³/m e +33,5 m³/m, respectivamente). Todos os perfis indicaram acúmulo sedimentar ao final do monitoramento, +22,5 m³/m no P3, +17,2 m³/m no P1 e +4,1 m³/m no P2, de modo que balanço sedimentar do setor foi construtivo, com acréscimo de +43,8 m³/m.

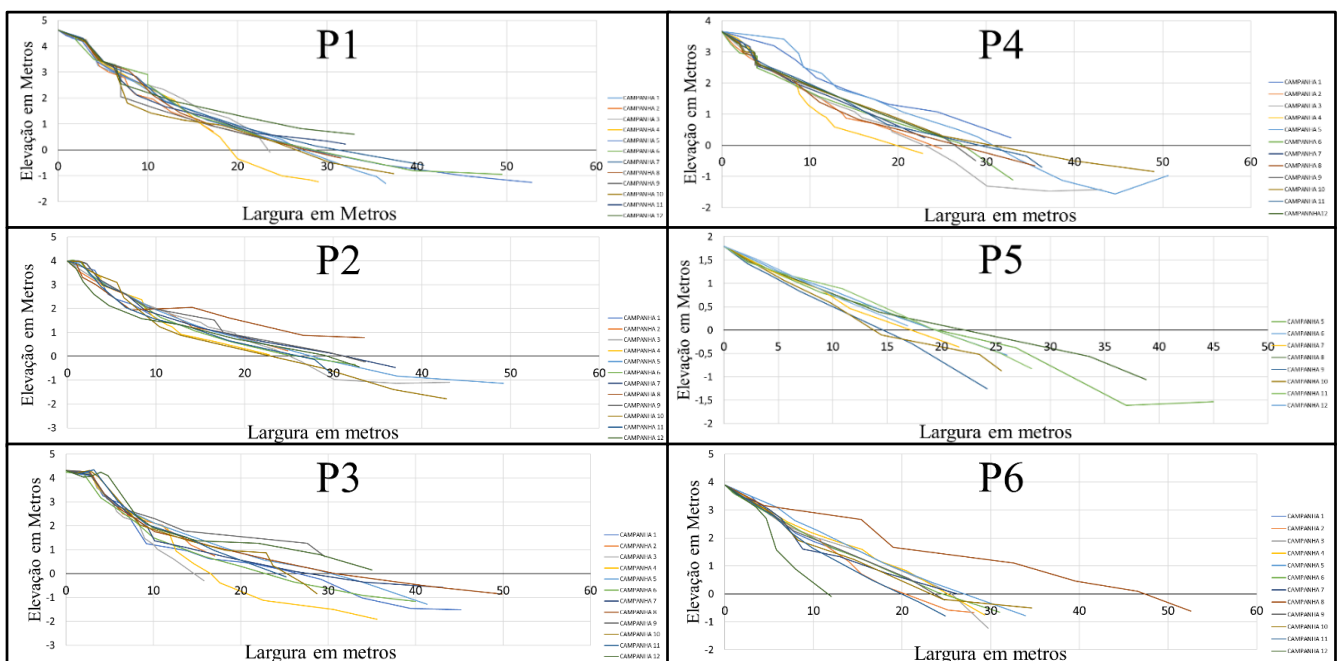


Figura 5. Comportamento sazonal da morfologia dos seis perfis realizados no arco praial considerado. P1, P2 e P3 (setor Norte); P4, P5 e P6 (setor Sul) por campanha de campo.

Os perfis de controle 4, 5 e 6, setor Sul, mobilizaram um total de 248,5 m³/m de sedimento tendo, no inverno, seu balanço máximo negativo de -38,4 m³/m. Diferentemente do setor Norte, a estação da primavera também resultou na retirada de sedimentos do sistema praial, -25,1 m³/m, de modo que o total acrescido durante o verão (+11,5 m³/m) e outono (+11,9 m³/m) não quitou o déficit sedimentar, assegurando para o setor ao final do estudo, uma perda sedimentar de -40,1 m³/m. Com exceção do P5, que apresentou um acréscimo de +0,9 m³/m (em função do desmoronamento da duna frontal do perfil entre as campanhas 2 e 3, o que fez com que os dados contabilizados fossem a partir da campanha 4, não configurando a situação real observada “*in loco*”, visto que se mostrou necessária a implementação de um novo marco de controle para medida dos perfil), todos os outros perfis indicaram características erosivas, P6 com perda de -24,4 m³/m e P4 com perda de -16,6m³/m (Tabela 4).

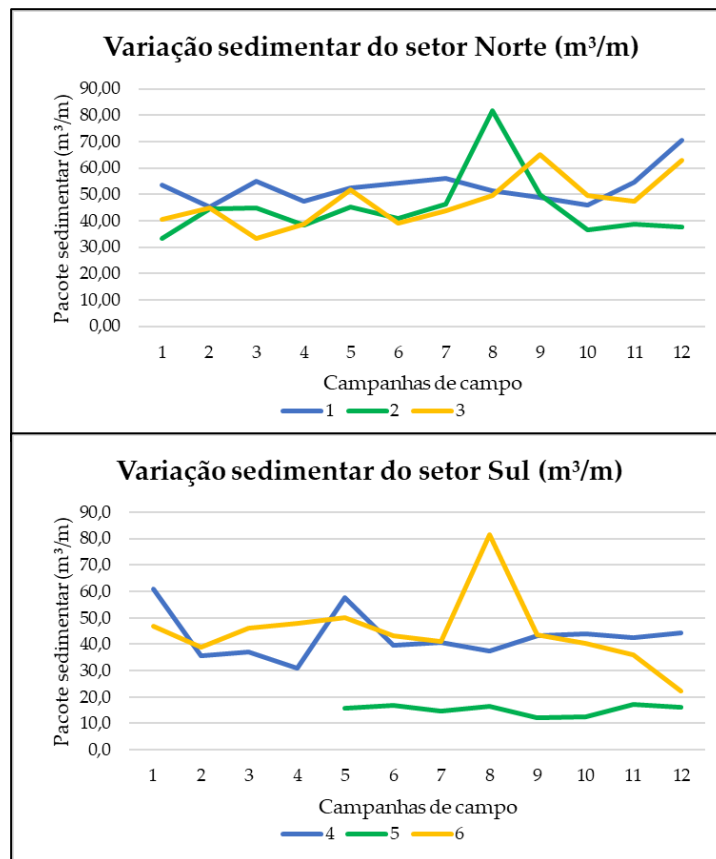


Figura 6. Variação do pacote sedimentar aéreo (m³/m) para cada um dos seis perfis ao longo das 12 campanhas de campo, perfil 1, 2 e 3 setor Norte, 4, 5 e 6 setor Sul.

Tabela 4. Variação volumétrica dos setores Norte e Sul e dos seis perfis monitorados ao longo da pesquisa (m³/m). (Legenda: Valores em vermelho indicam déficit sedimentar; NAN (NOT A NUMBER) - descaracterização do marco impossibilitou a coleta de dados morfológicos na campanha).

Campanhas	Setor Norte			Setor Sul			Balço	Erosão	Deposição	Balço	Total	
	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	da			da		Estação
	Campanha 01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
Inverno	Campanha 09	-2,8	-32,0	15,6	5,9	-4,3	-38,2	-55,7	-77,2	21,6	-89,0	134,7
	Campanha 10	-2,7	-13,2	-15,6	0,8	0,5	-3,1	-33,3	-34,6	1,3		
	Campanha 02	-8,4	11,3	4,4	-25,3	-5,8	-8,1	-31,8	-41,7	15,7		
Primavera	Campanha 03	10,0	0,4	-11,5	1,3	6,5	7,4	14,0	-11,5	19,0	-10,2	123,9
	Campanha 11	8,7	2,2	-2,1	-1,5	4,8	-4,4	7,6	-8,1	15,7		
	Campanha 04	-7,5	-6,7	5,5	-6,1	NAN	1,6	-13,2	-20,3	7,2		
Verão	Campanha 05	4,9	7,0	12,9	26,6	0,0	2,3	53,7	0,0	53,7	57,4	130,4
	Campanha 12	15,9	-1,4	15,3	1,8	-1,3	-13,5	16,8	-16,2	33,0		
	Campanha 06	1,6	-4,2	-12,6	-17,9	0,9	-6,9	-39,0	-41,6	2,5		
Outono	Campanha 07	1,8	5,2	4,7	1,1	-2,2	-2,3	8,3	-4,5	12,8	45,6	153,2
	Campanha 08	-4,4	35,6	5,9	-3,4	1,8	40,7	76,3	-7,8	84,1		
	Balço do Perfil	17,2	4,1	22,5	-16,6	0,9	-24,4					
	Total mobilizado	68,6	119,1	106,1	91,9	28,1	128,5		-263,5	266,5		
	Balço do Setor		43,8			-40,1		Balço		3,0		
								Final				
	Total mobilizado do Setor		293,8			248,5		Total mobilizado nas				542,3
								campanhas				

A análise da distribuição granulométrica, indicou um setor Norte composto de 89% de areia média, 10% de areia fina e apenas 1% de areia grossa. Para o setor Sul também predominou a areia média (80%), entretanto a presença de material mais grosso foi bem significativa, com 14% de areia grossa e 1% de areia muito grossa, os 5% restantes foram completados por areia fina, caracterizando um setor Sul mais grosso quando comparado ao setor Norte (Figura 7).

O setor Norte apresentou uma média populacional mais grossa no limite superior do pós-praia (1,56 Φ), enquanto no setor Sul, a granulometria de maior diâmetro localiza-se no setor morfológico da face praial, com média de 1,23 Φ.

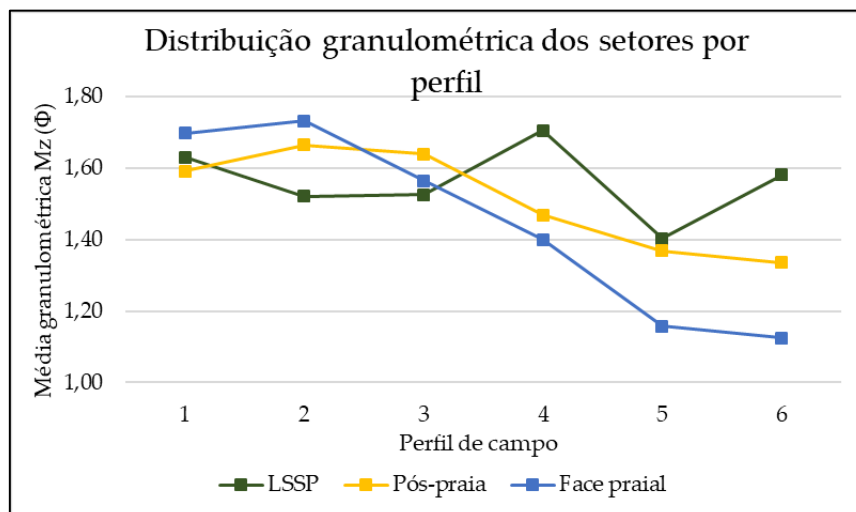


Figura 7. Distribuição da média granulométrica, Mz (Φ), dos seis perfis praias para a caracterização de cada setor morfológico. (Legenda: LSSP = limite superior do pós-praia).

4.3. Estágio morfodinâmico

Segundo os dados coletados de granulometria e hidrodinâmica (“*in situ*”), a classificação da tipologia praial para os setores geográficos Norte e Sul diferem entre si, conforme pode-se visualizar na Tabela 5.

Tabela 5. Comparativo dos resultados de campo com os parâmetros propostos por Short e Hesp (1982) e Wright et al. (1984). (**Legenda:** (Ω = parâmetro Ômega – Equação 2; σY_b = desvio padrão de largura de praia; [m] = metro); CVYb% = coeficiente de variação da linha de costa; AM = areia média).

Tipo de praia	Refletiva	Intermediária	Dissipativa	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Ω	< 1,5	1,5 a 5,5	> 5,5	1,67	1,55	1,52	1,27	1,16	1,25
Declividade [°]	> 4	2 a 6	< 2	5,17	5,96	6,65	6,30	7,75	7,75
Areias	média a grossa	fina a média	fina	AM	AM	AM	AM	AM	AM
σY_b [m]	< 10	> 10	< 10	9,04	18,71	7,14	5,95	3,25	8,31
CVYb%	< 0,1	0,1 a 0,5	> 0,5	0,30	0,57	0,27	0,21	0,17	0,32
		Classific.		Intermediária	Intermediária	Intermediária	Refletiva	Refletiva	Refletiva

O setor Norte (P1, P2 e P3) apresentou, para seus três perfis, estado modal de praias intermediárias, formadas por terraços de baixa-mar. Quando sob influência de ondulações maiores, o setor Norte (P1, P2 e P3) apresenta características visuais intermediárias próximas ao extremo dissipativo (baixa declividade da face praial, estoque sedimentar na parte submersa em formas de banco e uma extensa zona de arrebentação). Já o setor Sul (P4, P5 e P6), por sua vez, em função da elevada declividade da face praial, estoque sedimentar na parte emersa, zona de surfe estreita e próxima à linha de costa, presença de material mais grosso e valor de parâmetro ômega (Ω) inferior a 1,5, caracteriza-se como um setor de estado modal “refletivo”.

4.4. Variação da linha de costa

4.4.1. Variação pré-urbanização (entre 1938 e 1978)

A variação da linha de costa a partir do método LMS (*Least Median of Squares*) para o período entre 1938 e 1978 indica que ambos os setores, Norte e Sul, apresentaram um comportamento com tendência ao avanço da linha de costa. Para este período foi constatado, para o setor Norte, acréscimo sedimentar, indicando progradação da área, sob taxas que oscilavam entre 0,25 e 1 m/ano, especialmente nos perfis P2 e P3 (Figura 8 e Figura 9a). Taxas ainda maiores foram observadas no P1, alcançando 2 m/ano. Em alguns transectos localizados na porção Sul do setor Norte, foi possível encontrar valores que ultrapassaram 3 m/ano. Esses dados da posição da linha de costa pretérita ao período de urbanização, ilustram que a região não tinha déficit no balanço sedimentar, o que entra e sai de sedimentos da célula; ao contrário, apresentou um aporte maior do que a perda, caracterizando uma situação superavitária de incremento sedimentar para praticamente toda a extensão praial.

Nenhum foco de erosão foi observado, todavia, foi identificado pequenos trechos no qual predominavam características de estabilidade, com taxas variando entre -0,25 e 0,25 m/ano.

Para o mesmo período, o setor Sul (Figura 10 e Figura 9b) indicava tendências de avanço da linha de costa, mas em taxas menores que as identificadas no setor Norte, não ultrapassando 1,89 m/ano em nenhum segmento da extensão avaliada. Todos os perfis encontravam-se sob a influência direta de ganho sedimentar, culminando no avanço de sua linha de costa sob taxas que variavam entre 0,25 e 1 m/ano.

Em resumo, a partir da linha de costa pretérita, é possível constatar que nenhum dos dois setores avaliados apresentava características erosivas, mas sim, tendência a um avanço da linha de costa a partir da acreção sedimentar.

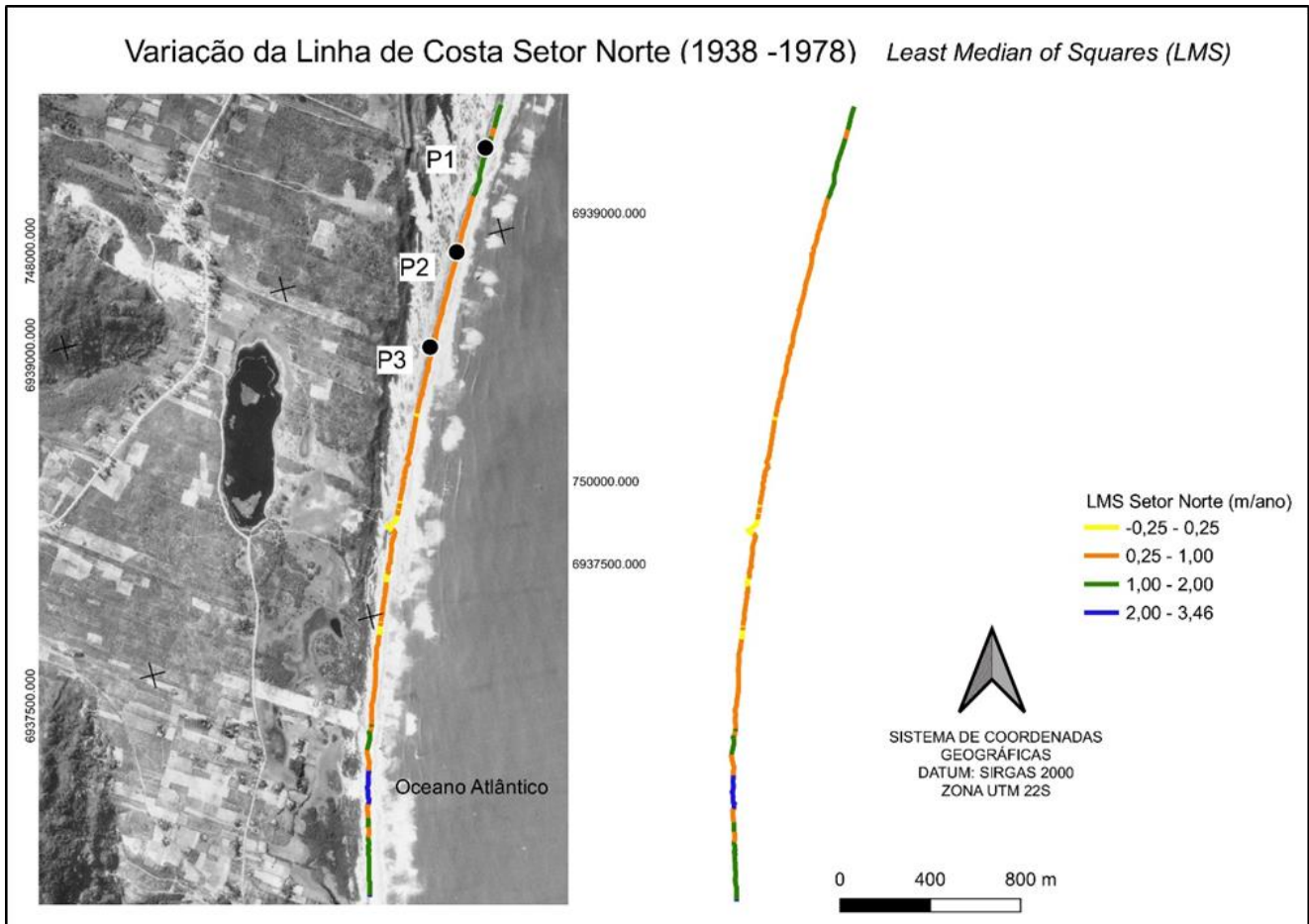
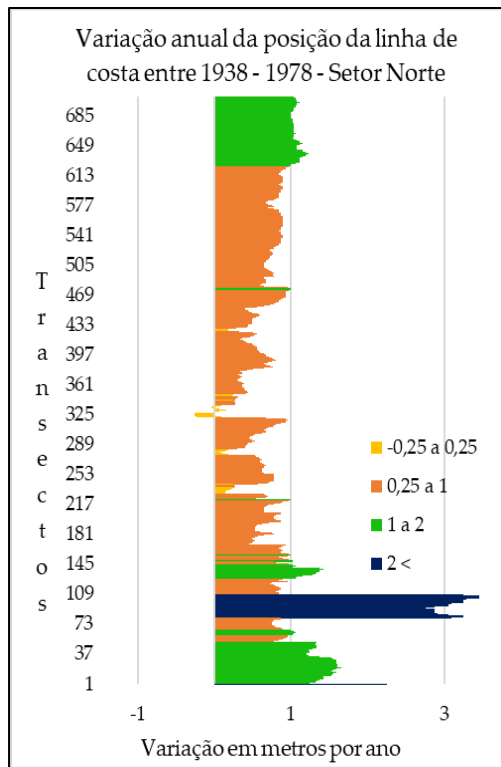
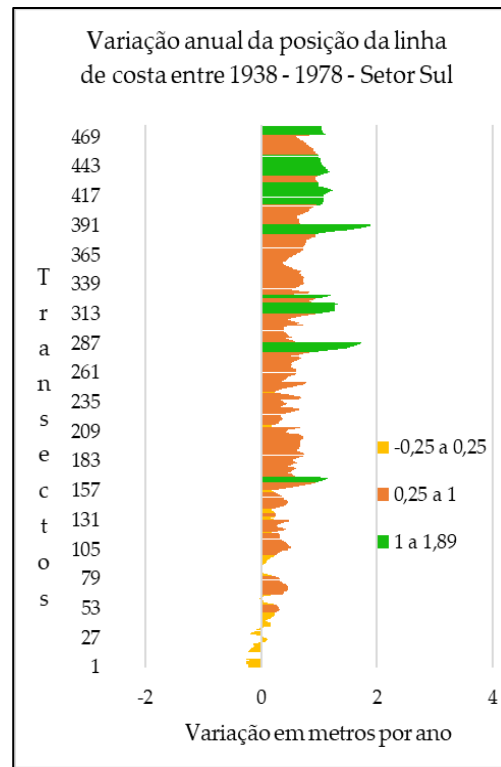


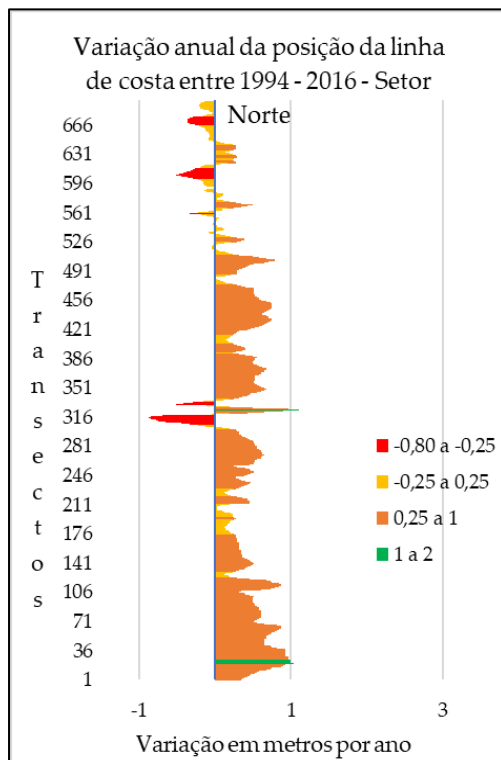
Figura 8. Variação pretérita da linha de costa para o setor Norte (entre 1938 e 1978). Imagem de fundo: Aerofotografia de 1938.



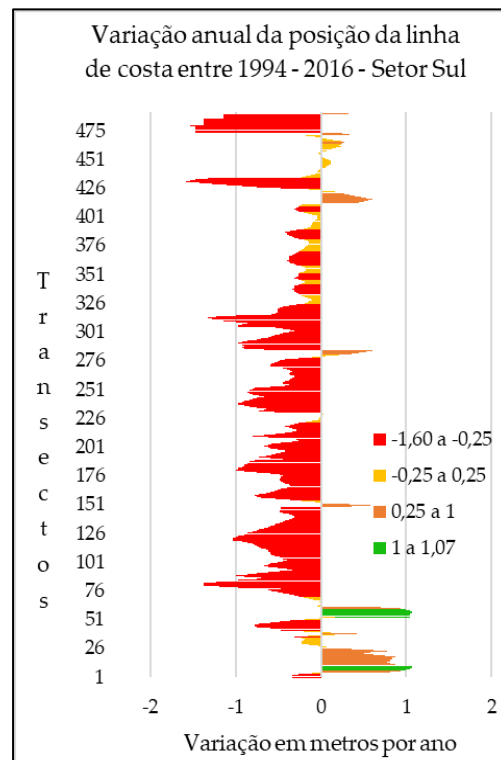
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 9. Variação anual da posição da linha de costa em m/ano para cada um dos transectos da área de interesse. Transectos possuem ordem crescente de sul para norte. (a) Variação em m/ano do setor Norte pré - urbanização (entre 1938 e 1978); (b) Variação em m/ano do setor Sul pré - urbanização (entre 1938 e 1978); (c) Variação em m/ano do setor Norte pós - urbanização (entre 1994 e 2016); (d) Variação em m/ano do setor Sul pós - urbanização (entre 1994 e 2016).

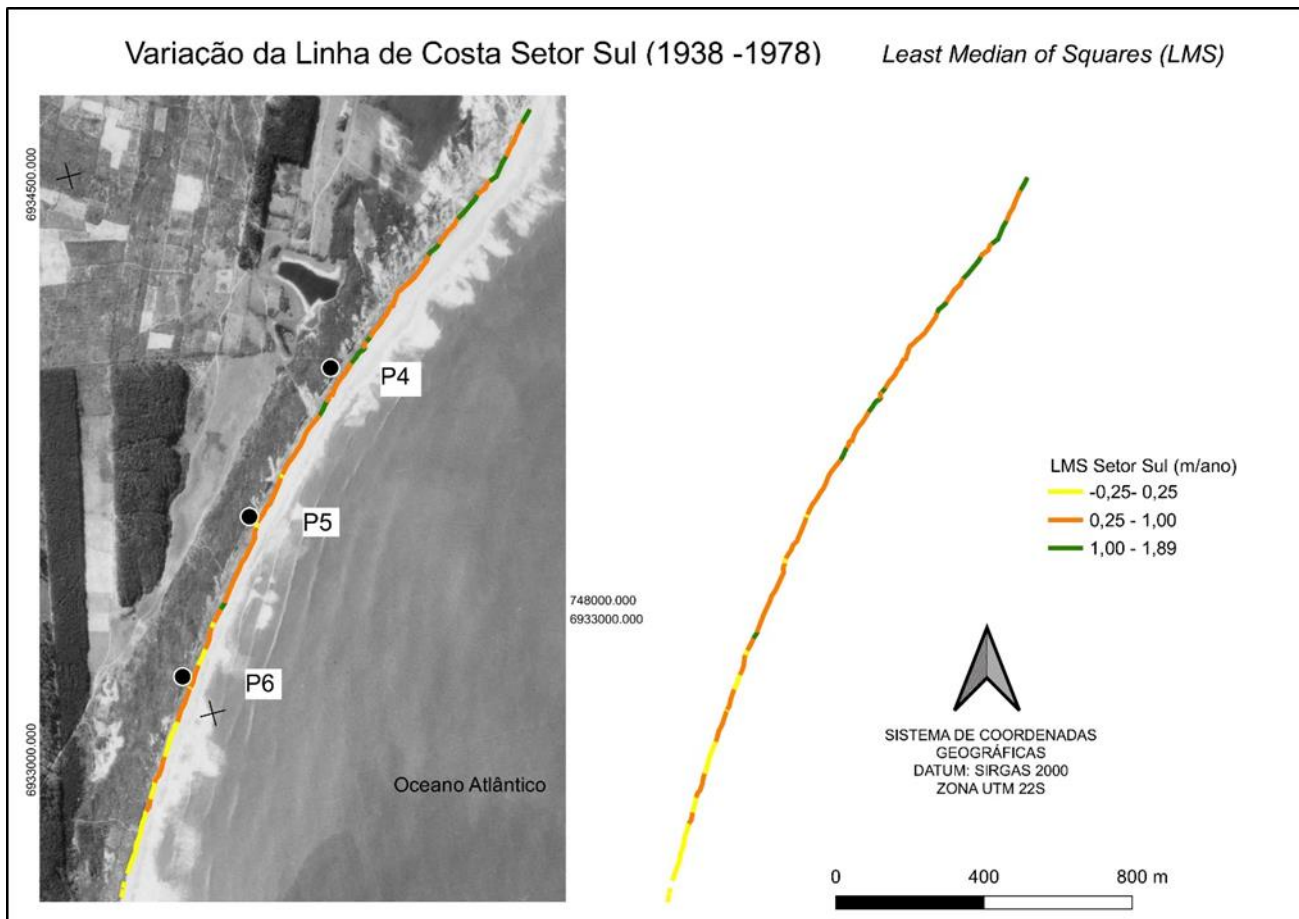


Figura 10. Variacão pretérita da linha de costa para o setor Sul (entre 1938 e 1978). Imagem de fundo: Aerofotografia de 1938.

4.4.2. Variacão pós-urbanização (entre 1994 e 2016)

O setor Norte, formado pelos perfis P1, P2 e P3, no qual predominavam taxas de progradação de até 1 m/ano no período temporal anterior, neste segundo momento se mostra com tendências à estabilidade, sob taxas que variam entre -0,25 e 0,25 m/ano, apresentado alguns focos de recuo da linha de costa com taxas de até -0,8 m/ano (Figura 11, Figura 9c). Os perfis ortogonais localizados no Sul deste setor, que até 1978, apresentaram ganhos sedimentar com taxas de até 3 m/ano, passaram a se comportar sob características majoritárias de estabilidade. As extensas áreas de avanço da linha de costa com taxas superiores a 1 m/ano, hoje dão espaço para um ganho que não ultrapassa valores de 1 m/ano.

No setor Sul, por sua vez, é possível diagnosticar sérios problemas no que tange ao balanço sedimentar em praticamente toda a extensão do setor (Figura 12 e Figura 9d). Neste setor, formado pelos perfis P4, P5 e P6, é possível perceber uma significativa acentuação dos processos de retração da linha de costa, sob taxas de até -1,6 m/ano, característica que impera por sobre quase toda a extensão analisada, diferentemente das tendências originais encontradas, nas quais havia o predomínio de progradação, com taxas de até 1 m/ano. É possível também notar que, nesse setor, no foco da urbanização costeira, os impactos de recuo da linha de costa são mais significativos. No extremo norte desta área, observa-se focos de retração e estabilidade da linha de costa, enquanto para o extremo sul, pequenos trechos aparentam estar sob o regime de progradação a taxas de até 1,07 m/ano.

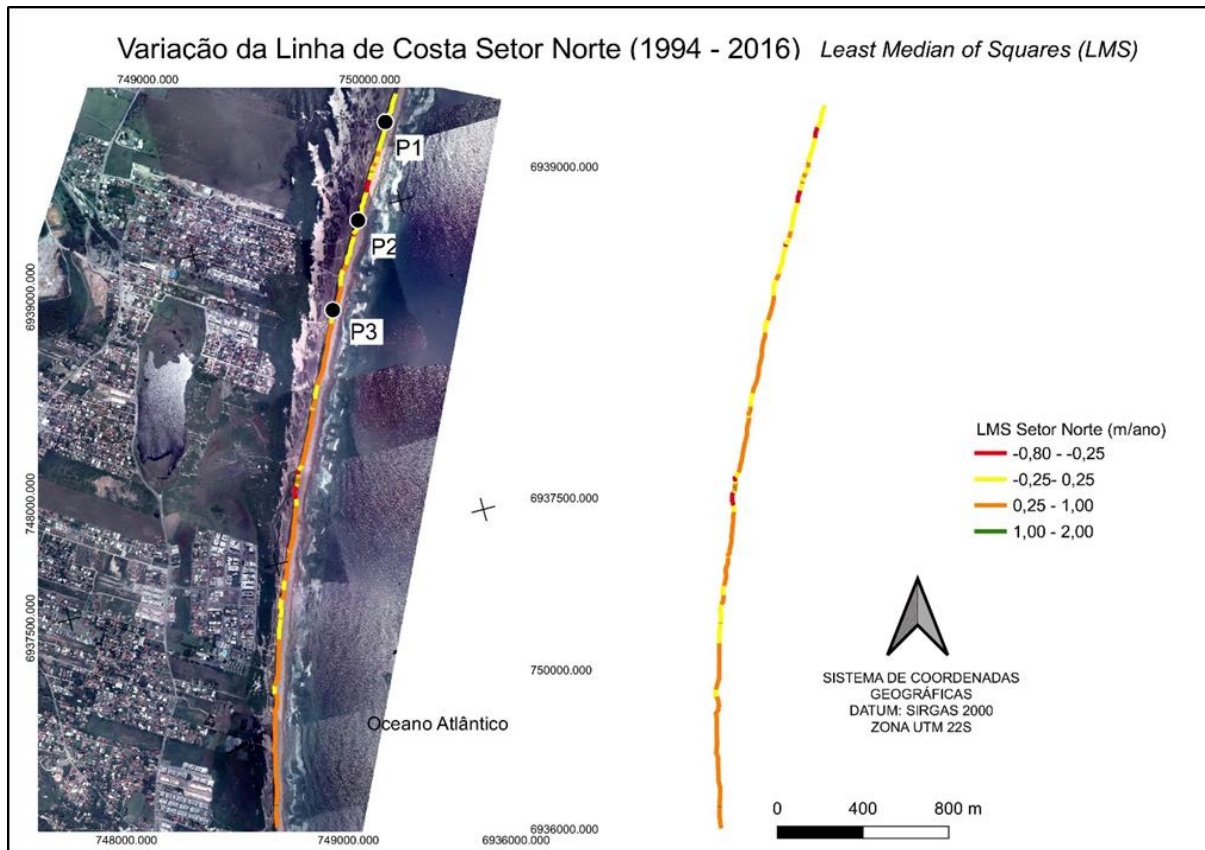


Figura 11. Variao atual da linha de costa (ps-urbanizao) para o setor Norte (entre 1994 e 2016). Imagem de fundo: Mosaico fotogramétrico de 2016.

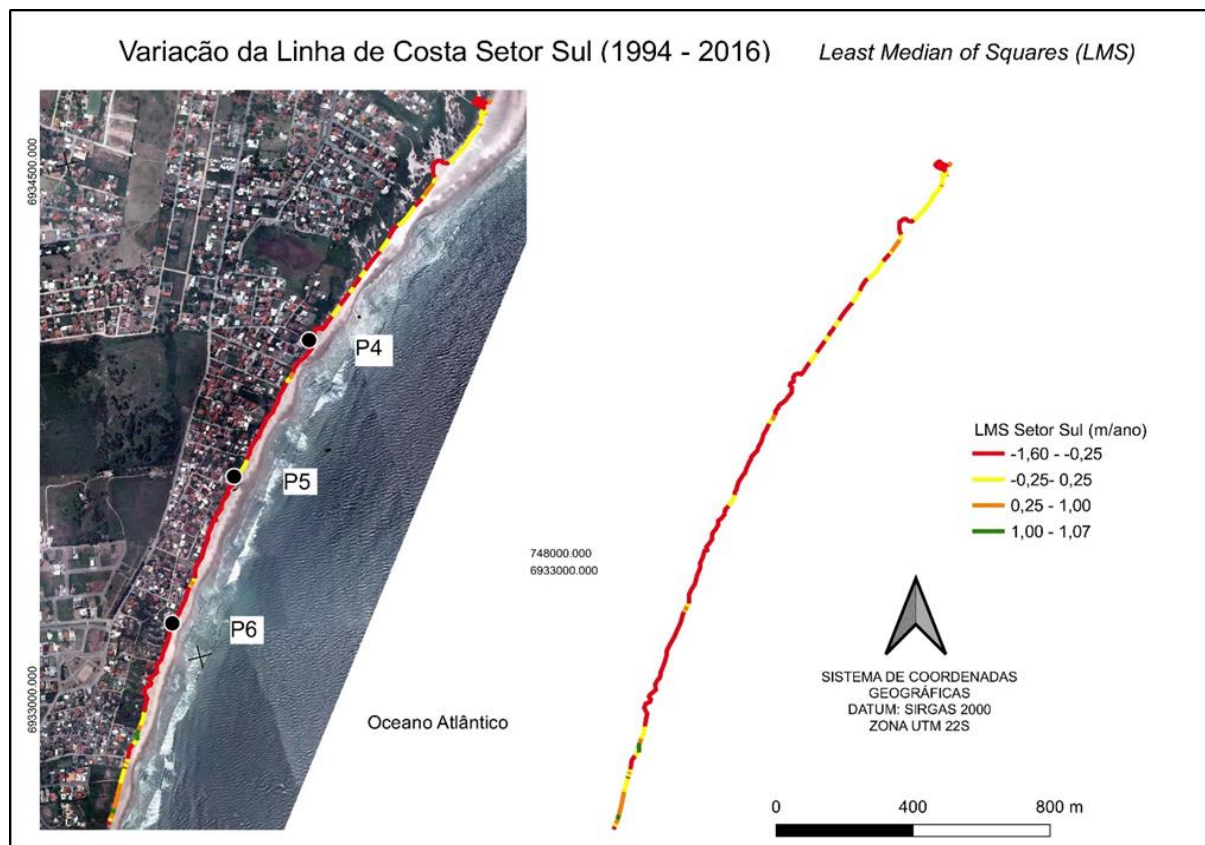


Figura 12. Variao atual da linha de costa (ps-urbanizao) para o setor Sul (entre 1994 e 2016). Imagem de fundo: Mosaico fotogramétrico de 2016.

5. Discussão

O padrão do comportamento hidrodinâmico identificado no presente trabalho, com ondulações majoritárias de leste e sudeste, já havia sido identificado por estudos recentes que buscaram monitorar ambientes costeiros na região (TORRONTEGUY, 2002; FARACO, 2003; ARAÚJO et al., 2003; MIOT DA SILVA, 2006; CECHINEL, 2014; BROGGIO, 2015), fato que assegura ao arco praias a orientação NNE-SSW (HORN FILHO; LEAL; OLIVEIRA, 2014). Da mesma forma, neste estudo o predomínio observado de ventos foi de norte e sul, como já identificados nos trabalhos de Cruz (1998) e Faraco (2003).

A área estudada apresentou, ao longo do período monitorado, tendências erosivas no inverno e de deposição sedimentar no verão para ambos os setores. Tal característica, inverno erosivo e verão deposicional também já havia sido identificado em Abreu de Castilhos (1995); Tozzi & Calliari (2000); Torronteguy (2002); Faraco (2003) e Araújo et al. (2003). Este fato é explicado pela maior passagem de frentes frias no inverno (HOMSI, 1978; OLIVEIRA, 1986; TRUCCOLO, 1998; TORRONTEGUY, 2002; FARACO, 2003, SIMÓ e HORN FILHO, 2004), que favorecem a geração de ondulações do Sul, responsáveis por um maior poder erosivo na costa Leste da ilha de Santa Catarina. Estas ondas se mostram com maior poder erosivo em função de uma altura de onda mais significativa (ABREU DE CASTILHOS, 1995; TOZZI e CALLIARI, 2003; ARAÚJO et al., 2003), e da proximidade da área de estudo ao centro de divergência atmosférica do Atlântico Sul, principal responsável pelas características atmosféricas da região (MONTEIRO; FURTADO, 1995).

Ao ser perturbada pelo avanço das frentes polares, a região do anticiclone do Atlântico Sul forma ventos de origem sul (STECH e LORENZZETI, 1992), originando ondulações em alto mar, que impulsionadas pela ação do efeito *Coriolis*, empilham grandes volumes de água na borda leste da região Sul brasileira (TRUCCOLO, 1998). Empilhamento esse que, acrescido de grandes ondulações, acentuam os processos erosivos perceptíveis no inverno, assegurando à estação o alto poder erosivo que pode culminar em uma eventual retração da linha de costa no período (CALLIARI et al., 1998; TOZZI, 1999).

O verão, descrito como estação de menor energia de onda na ilha de Santa Catarina (TORRONTEGUY, 2002; FARACO, 2003; KRUEGER, 2011; BROGGIO, 2015), por consequência da menor passagem de frentes frias (HOMSI, 1978), neste estudo se caracterizou como uma estação de deposição sedimentar, fortemente explicado pelo predomínio de ondulações de leste e sudeste que transportam sedimentos relíquias da plataforma continental, bem retrabalhados e de granulometria arenosa média à fina (TORRONTEGUY, 2002), até a região emersa do sistema praias.

Ao se avaliar a distribuição das classes de areia ao longo dos setores geográficos Norte e Sul foi observada a presença significativa de material mais grosso na praia do Campeche, especialmente entre os perfis 5 e 6. Este resultado, indicando material mais grosso e menos selecionado no setor Sul quando comparado ao setor Norte, também foi identificado por Santos (1995); Torronteguy (2002); Horn Filho (2006) e Cechinel (2014).

A gradação lateral na distribuição dos sedimentos, mais grossos no Sul e mais finos no Norte, pode estar associada à proximidade do material de origem e facilidade do transporte, visto que a principal fonte de sedimentos grossos da região está relacionada à dissecação do promontório rochoso do Morro das Pedras e aos depósitos marinhos pleistocênicos da praia da Armação, enquanto que os sedimentos mais finos possuem sua origem na plataforma continental interna (ABREU DE CASTILHOS, 1995; TORRONTEGUY, 2002).

A seletividade do transporte em praias arenosas é resultado direto da proximidade da fonte de sedimentos (BIRD, 2008), da ação dos agentes hidrodinâmicos (marés, ondas e correntes litorâneas) e aerodinâmicos (MARTINS et al., 1970; KOMAR, 1978; VILLWOCK, 1978; DEAN e DALRYMPLE, 2002), geralmente transportando o sedimento arenoso mais fino para longe da zona de origem, como consequência da maior facilidade do transporte (DEAN e DALRYMPLE, 2002).

Levando-se em conta esta perspectiva, a deriva litorânea predominante identificada no atual trabalho foi de Norte a Sul, o que não coincide com a gradação lateral observada, visto que o material mais grosso é encontrado ao sul do arco e não no norte. Entretanto Bird (2008) afirmou que, mesmo contrária à orientação majoritária da deriva litorânea observada, ondulações opostas com frequência e altura significativa, no caso da área de estudo as provenientes de sul e sudeste, são capazes de transportar estes sedimentos em direção oposta à deriva litorânea predominante, explicando assim, a presença de material arenoso mais grosso na porção Sul da área de estudo.

No que tange a distribuição deste material não consolidado no sistema praias emerso, a partir dos três setores morfológicos avaliados, face-praias, pós-praias e limite superior do pós-praias, foi possível observar um setor Norte

acumulando material arenoso mais grosso no limite superior do pós-praia, enquanto para o setor Sul, a região morfológica de maior granulometria foi associada à face praial.

Esta diferenciação na distribuição granulométrica dos setores morfológicos pode estar relacionada à diferença de declividade encontrada para a face-praial, pois em praias de menor declividade é comum encontrar os sedimentos mais grossos na base da duna frontal (BASCOM, 1951), visto o favorecimento para a ação do *swash*, que neste caso alcança a base da duna frontal, como percebido no setor Norte. Por outro lado, em praias com maior declividade da face praial, como no setor Sul, grande parte da velocidade do *swash* é perdida por fricção, de modo que o material mais grosso não consegue ser transportado para a região do limite superior do pós-praia (KOMAR, 1978). Komar (1978), também indicou que esta população arenosa mais grossa de sedimento na região do limite superior do pós-praia, além da relação com a ação do *swash*, está diretamente associada à capacidade de transporte seletivo do vento, visto que este, não consegue mobilizar material arenoso mais grosso, de modo que se acumulam na base da duna frontal, no limite superior do pós-praia, enquanto o material arenoso mais fino é inserido junto ao campo eólico adjacente.

A diferenciação da tipologia praial encontrada para os dois setores avaliados a partir dos valores de ω , praia refletiva e praia intermediária, é fato comum nos diferentes arcos praias da costa Leste da ilha de Santa Catarina, como identificado por Abreu de Castilhos (1995), Leal (1999) e Torronteguy (2002). Esta diferenciação dos ambientes praias em uma mesma margem oceânica, é explicada principalmente pelas distintas classes de populações de areias encontradas ao longo dos sistemas praias, que reagem de maneira distinta à ação das ondas, principal responsável pela transformação e caracterização dos ambientes costeiros arenosos. Neste sentido, as praias de caráter refletivo estão associadas às praias de granulometria arenosa mais grossa e disponibilidade do estoque sedimentar na porção emersa, enquanto praias de caráter intermediário, tendem a manter sedimentos arenosos mais finos na porção submersa, muitas vezes na forma de bancos de areia (WRIGTH & SHORT, 1984).

Os valores de ω encontrados para o setor Norte, que variaram entre 1,5 e 2,4, asseguram ao setor uma classificação de praia intermediária formada por terraços de baixa-mar. Todavia, praias de caráter intermediário são comumente associadas à variação de sua moda entre o extremo dissipativo e refletivo (SHORT & HESP, 1982), em função da alta capacidade de variação da intensidade dos agentes hidrodinâmicos atuantes, como percebidos no setor Norte. Neste setor, observações visuais de localização da zona de arrebentação, número de ondas na zona de arrebentação, declividade da face praial, tipo de quebra da onda e alta variabilidade da largura do pós-praia demonstram que o setor oscilou entre os extremos dissipativo e refletivo. Praias intermediárias podem, portanto, variar seu estágio morfodinâmico a despeito de seu modal mais frequente, visto que são fortemente influenciadas pela variabilidade do clima de ondas, maré, vento, disponibilidade de sedimentos e tamanho de grão (CALLIARI et al., 2003).

A análise multi-temporal da posição da linha de costa é de suma importância para a caracterização de tendências erosivas e/ou deposicionais do ambiente praial (TEMITOPE, 2014), especialmente quando associadas ao levantamento de perfis praias feitos para a identificação do balanço sedimentar do ambiente avaliado (CRUZ, 1993; DEAN e DALRYMPLE, 2002; ROSATI, 2005), além da possibilidade de indicar tendências pretéritas e identificar características atuais de deposição e erosão, quando analisadas de maneira integrada, estas análises permitem estimar o papel da ocupação humana no ambiente.

Os resultados obtidos a partir da análise temporal de variação da linha de costa, permitiram identificar que houve, sim, uma descaracterização/alteração do comportamento sedimentar nos distintos setores, a partir da urbanização intensa do setor Sul.

Para o período tido como pré-urbanizado (entre 1938 e 1978), ambos os setores se comportaram de maneira estável com significativa tendência de avanço da posição da linha de costa, sob taxas no setor Norte de até 3,46 m/ano. O período pós-urbanizado (entre 1994 e 2016) indica uma recharacterização desta dinâmica, visto a severa diminuição de áreas estáveis e sob aporte sedimentar (progradação) observadas, especialmente no setor Sul, dando lugar a grandes áreas sob recuo de sua linha de costa.

Ao longo da porção Sul do setor Sul, é possível notar o pós-praia estreito, retrogradação da linha de costa, erosão progressiva dos depósitos marinho praias, destruição da faixas frontais de vegetação de restinga, exumação/erosão de depósitos turfáceos, frequente exposição de "terraços ou falésias artificiais", destruição de estruturas rígidas implantadas sobre os depósitos erodidos e presença de concentrações significativas de minerais pesados em determinados trechos da praia, características descritas por Souza (1997) como indicadores de erosão costeira.

A transformação de ambientes costeiros previamente estáveis, especialmente quando associados a antropização da região de dunas frontais, parte ativa e integrante do prisma praial, tende a intensificar os processos erosivos.

A consequência da urbanização por sobre as dunas do setor Sul parece ter acarretado uma nova dinâmica de aporte sedimentar junto ao setor Norte, caracterizada pelo aumento da estabilidade, diminuição de áreas em progradação e pelo início dos processos erosivos. Como o transporte sedimentar identificado pela gradação lateral é de sul para norte, a compactação e ocupação das fácies eólicas no setor Sul, pode ser a responsável pelo menor aporte de sedimentos junto ao setor, acarretando uma mudança de característica do comportamento “natural” da linha de costa não somente no setor Sul, mas também, no setor Norte, e assim, assegurando uma transformação deste comportamento após a antropização da região das dunas.

5. Conclusões

A análise da morfologia para o período entre agosto de 2018 e dezembro de 2019 no arco praial Joaquina-Morro das Pedras na costa Sudeste da ilha de Santa Catarina, indica uma tendência de acreção para os perfis do setor Norte e erosão para os perfis do setor Sul. Porém, estas análises isoladas não evidenciam o papel da urbanização para este balanço e para o comportamento do setor.

Uma vez que foram avaliados os resultados da morfologia e dinâmica praial conjuntamente aos dados da variação temporal da linha de costa em ambos os setores, fica explícito que a urbanização do setor Sul, teve um grande impacto na dinâmica sedimentar do ambiente praial do arco praial Joaquina-Morro das Pedras no setor Sul e consequências no setor Norte. Em função da compactação dos depósitos eólicos, que dificultam o abastecimento de areia para com o sistema submerso, uma menor carga sedimentar é inserida no sistema submerso, o que implicou em uma menor disponibilidade sedimentar para o setor Norte, e conseqüentemente, uma mudança de suas características originais, que sinalizavam avanço da linha de costa sob taxas de até 3,46m/ano e que hoje não ultrapassam 2m/ano. Outra evidência desta transformação, são os focos erosivos agora perceptíveis, além de aumento de áreas sob estabilidade, que antes tendiam a progradação.

Neste momento, é importante que se continue o monitoramento, sugerindo-se práticas para remediação destes impactos de maneira integrada para com o ambiente sedimentar, especialmente do setor Sul.

A implementação de estruturas de contenção tradicional, paliçadas (*seawalls*), conjuntamente com qualquer estrutura rígida que não permita ou dificulte à migração sedimentar entre ambiente emerso e submerso, não parece ser adequada, pois os dados indicam o favorecimento da erosão ativa no setor Sul.

A fim de assegurar a permanência da faixa de areia de maneira natural para o setor, é importante a reintegração do ambiente das dunas para com a dinâmica praial, de modo que permita a manutenção do aporte sedimentar junto à região Sul da praia do Campeche, evitando o déficit sedimentar em outros setores do arco praial. A disponibilidade de migração sedimentar se mostra como o fator fundamental para que o sistema apresente como característica a progradação e a estabilidade, como vistos para o período entre 1938 e 1978. Desta forma, a urbanização da região das dunas frontais no Campeche não aparenta gerar impactos apenas locais, possível perceber, inclusive, uma descaracterização na dinâmica natural do balanço sedimentar para setor Norte do arco praial Joaquina-Morro das Pedras.

Contribuições dos Autores: Concepção – G.O.G , N.O.H.F e B.S.M; metodologia – G.O.G e N.O.H.F; software – G.O.G; validação – G.O.G, B.S.M; pesquisa e curadoria dos dados - G.O.G e B.S.M; preparação e redação do artigo – G.O.G; revisão e edição do texto - G.O.G., N.O.H.F., B.S.M; aquisição de financiamento G.O.G.

Financiamento: Esta pesquisa foi financiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Conflitos de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Referências

1. ABREU DE CASTILHOS, J. **Estudo evolutivo, sedimentológico e morfodinâmico da planície costeira e praia da Armação - ilha de Santa Catarina, SC.** Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995. 138p.

2. ABREU DE CASTILHOS, J. & GRÉ, J. C. R. Praias da ilha de Santa Catarina: caracterização morfológica e problemas de erosão costeira. *In: CONGRESSO DA ABEQUA, VI, Curitiba, 1997. Resumos Expandidos.* Curitiba, p.388-392. 1997.
3. APENDINNI, C. & FISCHER, D. Hazard management planning for severe storm erosion. *Shore and Beach.* 66(4) p.5-8, 1998.
4. ARAÚJO, C. E. S.; FRANCO, D.; MELO FILHO, E.; PIMENTA, F. Wave regime characteristics of southern Brazilian coast. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COASTAL AND PORT ENGINEERING IN DEVELOPING COUNTRIES, COPEDEC, VI.* Colombo, Sri Lanka, Paper n° 97, 2003. 15p.
5. BABA, J. & KOMAR, P. D. Measurements and analysis of settling velocities of natural quartz sand grains. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51(2): p. 631-640, 1981. DOI: 10.2110/jsr.51.631
6. BARNETT, M. R.; ASCE, A. M & WANG, H. Effects of a vertical seawall on profile response. *Coastal Engineering*, 111: p. 1493-1507, 1989. DOI: 10.1061/9780872626874.112
7. BASCOM, W. N. The relationship between sand size and beach-face slope: *American Geophysical Union Transactions*, 32: p. 866-874, 1951. DOI: 10.1029/TR032i006p00866
8. BIRD, E. C. F. *Coastal geomorphology.* An introduction. 2nd Edition, New York. John Wiley & Sons, 2008. 411p.
9. BIRKEMEIER, W. Fast, accurate two-person beach surveys. *Coastal Engineering Technical aid.* 81-11: p.1-17, 1981.
10. BROGGIO, M. F. *Caracterização morfossedimentar da saliência da praia do Campeche, ilha de Santa Catarina/SC, Brasil.* Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2015. 115p.
11. CALLIARI, L.J., SPEREANSKI, N., BOUKAREVA, I. *Stable focus of wave rays as a reason of local erosion at the Southern Brazilian coast.* In: Proceedings of the International Coastal Symposium (ICS98), Fort Lauderdale, Florida. 1998., 26:19- 23.
12. CALLIARI, L.J., MUEHE, D., HOEFEL, F.G., TODO JR, E. Morfodinâmica praias: uma breve revisão. *Revista Brasileira de Oceanografia*, 51:63-78, 2003. DOI: 10.1590/S1413-77392003000100007
13. CECHINEL, E. J. *Caracterização morfossedimentar do arco praias Joaquina - Campeche: uma atualização de dados.* Trabalho de conclusão de curso de Geografia. departamento de Geociências. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2014. 82p.
14. CRACKNELL, A. P. Remote sensing techniques in estuaries and coastal zone - an update. *International Journal of Remote Sensing*, 19(3): p.485-496, 1999. DOI: 10.1080/014311699213280
15. CROWELL, M.; LEATHERMAN, S. P. & BUCKLEY, M. K. Historical shoreline change: error analysis and mapping accuracy. *Journal of Coastal Research*, 7(3): p.839-852, 1997. ISSN 07490208
16. CRUZ, O. *A ilha de Santa Catarina e o continente próximo: um estudo de geomorfologia costeira.* Florianópolis/SC: Editora do Instituto Federal de Santa Catarina, 1998. 276p.
17. DAVIES, J. L. *Geographical variation in coastal development.* London 2nd Ed. Longman, 1980. 221p.
18. DEAN, R. G. Heuristic models of sand transport in the surf zone. *In: CONFERENCE OF ENGINEERING DYNAMICS IN THE SURF ZONE, Proceedings...* Sydney, p.298-314, 1973.
19. DEAN, R. G.; DALRYMPLE, R. A. *Coastal processes with Engineering applications.* 1^{ed}, Cambridge University Press, UK, 2002. 475p.
20. DIEHL, F. L. *Aspectos geoevolutivos, morfodinâmicos e ambientais do pontal da Daniela, ilha de Santa Catarina, Brasil.* Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 1997. 128p
21. DILLENBURG, S. R.; ESTEVES, L. S.; TOMAZELLI, L. J. A critical evaluation of coastal erosion in Rio Grande do Sul, Southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 76(3): p. 611-623, 2004.

22. DOLAN, R.; HAYDEN, B. P.; MAY, P.; MAY, S. K. The reliability of shoreline changes measurements from aerial photographs. **Shore and Beach**, 48(4): p.22-29, 1980.
23. FARACO, K. R. **Comportamento morfodinâmico e sedimentológico da praia dos Ingleses - ilha de Santa Catarina - SC, durante o período de 1996 - 2001**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2003. 119p.
24. FOLK, R. L.; WARD, W. C. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, 27(1): p. 3-26, 1957. DOI: 10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D
25. GIBBS, R. J.; MATTHEWS, M. D.; LINK, D. A. The relationship between sphere size and settling velocity. **Journal of Sedimentary Petrology**, 41(1): p. 7-18, 1971. DOI: 10.1306/74D721D0-2B21-11D7-8648000102C1865D
26. HIMMELSTOSS, E. A. "DSAS 4.0 Installation Instructions and User Guide". In: THIELER, E. R., HIMMELSTOSS, E. A.; ZICHICHI, J. L.; AND ERGUL, A. **Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 - An ArcGIS extension for calculating shoreline change**. U.S. Geological Survey Open-File Report 2008. 2009. 1278p.
27. HOEKE, R. K.; ZARILLO, G. A.; SYNDER, M. A. GIS Based Tool for Extracting Shoreline Positions from Aerial Imagery (BEACHTOOLS). In: **Coastal Engineering Technical Note IV**. Washington, DC: US Army Corps of Engineers, 2001. 12p.
28. HOMSI, A. 1978. Wave climate in some zones of the Brazilian coast. In: INTERNATIONAL COASTAL ENGINEERING CONFERENCE, 16°, Hamburg, **Proceedings...** 1978. p. 117 – 133.
29. HORN FILHO, N. O. Granulometria das praias arenosas da ilha de Santa Catarina, SC. **Gravel**, 4: p.1-21, 2006. ISSN 1678-59975
30. HORN FILHO, N. O. & LIVI, N. S. **Mapa geoevolutivo da planície costeira da ilha de Santa Catarina, SC, Brasil**. Departamento de Geociências. Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina. ISBN 978-85-60501-10-6, 2013.
31. HORN FILHO, N. O.; LEAL, P. C.; OLIVEIRA, J. S. de. **Geologia das 117 praias arenosas da ilha de Santa Catarina: as praias de Florianópolis na ilha da Magia**. [S.L.]: Novas Edições Acadêmicas, 2014. 220p.
32. HSU, T.-W.; LIN, T. Y.; TSENG, I. F. Human impact on coastal erosion in Taiwan. **Journal of Coastal Research**, 23(4): p. 961-973, 2007. DOI: 10.2112/04-0353R.1
33. IBGE. 2010. **Atlas Geográfico das Zonas Costeiras e Oceânicas do Brasil**.
34. KLEIN, A. H. F.; MENEZES, J. T.; DIEHL, F. L.; ABREU, J. G. N.; POLETTE, M.; SPERB, R. M.; SPERB, R. C. SANTA CATARINA. In: MUEHE, D. (Org.). **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006. 476p.
35. KLEIN, A. H. F.; PRADO, M. F. V.; DALINGHAUS, C.; CAMARGO, J. M. **Metodologia para quantificação de perigos costeiros e projeção de linhas de costa futuras como subsídio para estudos de adaptação das zonas costeiras: litoral Norte da ilha de Santa Catarina e entorno**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2016. 251p.
36. KOMAR, P. D. **Beach processes and sedimentation**. Prentice - Hall. Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1978. 429p.
37. KRAUS, N. The effects of seawalls on the beach: An extended Literature Review. **Journal of Coastal Research**, 4: p.1-28, 1988. ISSN 07490208
38. KRUEGER, J. Análise dos parâmetros meteorológicos e oceanográficos dos eventos de ressaca ocorridos entre janeiro de 2001 a dezembro de 2010 no estado de Santa Catarina. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Oceanografia) Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí. 2011. 77p.
39. LEAL, P. C. **Sistema praias Moçambique - Barra da Lagoa, ilha de Santa Catarina, SC, Brasil: Aspectos morfológicos, morfodinâmicos, sedimentológicos e ambientais**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 1999. 125p.
40. LEATHERMAN, S. P. Beach and dune interactions during storm condition. **Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology**, 12(4): p. 281-290, 1979. DOI: 10.1144/GSL.QJEG.1979.012.04.05

41. LUIJENDIJK, A.; HAGENAARS, G.; RANASINGHE, R.; BAART, F.; DONCHYTS, G.; AARNINKHOF, S. The state of the world's beaches. **Scientific Reports**: 8: p. 1-11, 2018. DOI: 10.1038/s41598-018-24630-6
42. MARTINS, L. R.; GAMERMANN, N.; SCHEIBE, L. F.; TEIXEIRA, V. H. Sedimentologia da ilha de Santa Catarina I - areias praias. **Publicação Especial**, 18: p. 1-55, 1970.
43. MELO Fº, E. The Sea Sentinels Project: Watching Waves in Brazil. In: SYMPOSIUM ON COASTAL AND OCEAN MANAGEMENT, COASTAL ZONE '93, VIII. New Orleans/US, **Proceedings...** p.505-517, 1993.
44. MIOT DA SILVA, G. **Orientação da linha de costa e dinâmica dos sistemas praia e duna: praia de Moçambique, Florianópolis, SC**. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-graduação em Geociências. Universidade Federal Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2006. 280p
45. MONTEIRO, M. A.; FURTADO, S. M. de ARRUDA. O clima do trecho Florianópolis - Porto Alegre: uma abordagem dinâmica. **Geosul**, 19(20):118-133, 1995. E- ISSN 0103-3964
46. MOREIRA, A. S. **O processo participativo no plano diretor: estudo de caso: Campeche/ Florianópolis, SC - Brasil**. Dissertação de mestrado. Mestrado Profissional em Planejamento Territorial e Desenvolvimento Sócio-Ambiental. Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis. 2009. 246p.
47. MUEHE, D. Aspectos gerais da erosão costeira no Brasil. **Mercator**, 7: p. 97-110, 2005. ISSN 1984-2201
48. MUEHE, D.; CASTRO, L. B.; ALBINO, J. PERFIS DE PRAIA: DEVE O MÉTODO DAS BALIZAS DE EMERY SER ABANDONADO? **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 21: p. 209-215, 2020. DOI: 10.20502/rbg.v21i1.1725
49. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Managing Coastal Erosion**. Washington, DC: National Academy Press, 1990. 182p.
50. OLIVEIRA, A. S. Interações entre sistemas frontais na América do Sul e a convecção da Amazônia. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Programa de Pós-graduação em Meteorologia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos. 1986, 246p.
51. PIANCA, C.; MAZZINI, P. L. F.; SIEGLE, E. Brazilian offshore wave climate based on NWW3 reanalysis. **Brazilian Journal of Oceanography**, 58(1), p.53-70. 2010. DOI: 10.1590/S1679-87592010000100006
52. POLLETE, M.; SOUSA, J. G.; MAZZER, A. M. Geologia da paisagem costeira do estado de Santa Catarina. **Regional Conference of Latin and Caribbean Countries**, 1995.
53. ROSATI, J.D. Concepts in sediment budgets. **Journal of Coastal Research**, 21(2): 307-322, 2005. DOI: 10.2112/02-475A.1
54. SANTOS, C. R. **Interrelação entre a dinâmica da vegetação "pioneira" e os padrões morfosedimentológicos sazonais na praia da Joaquina, ilha de Santa Catarina Brasil**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 1995. 207p.
55. SHIMIDT, A. D. **Caracterização morfossedimentar da praia da Enseada, ilha do Campeche, Santa Catarina, Brasil**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.2010. 101p.
56. SHORT, A. D. & HESP, P. A. Wave beach and dune interaction in southeastern Australia. **Marine Geology**, 48: p.259-284, 1982. DOI: 10.1016/0025-3227(82)90100-1
57. SHORT, A. D.; JACKSON, D. W. T. Beach morphodynamics. In: SHRODER, J. (Editor in Chief), Sherman, D. J. (Ed.), **Treatise on Geomorphology**. San Diego, CA, Academic Press, vol. 10, Coastal Geomorphology, p.106-129, 2013. DOI: 10.1016/B978-0-12-374739-6.00275-X
58. SIMÓ, D. H & HORN FILHO, N. O. Caracterização e distribuição espacial das "ressacas" e áreas de risco na ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. **Gravel**, p. 93-103, 2004. E-ISSN 1678-5975
59. SOUZA, C.R.de G. **As células de deriva litorânea e a erosão nas praias do estado de São Paulo**. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-graduação em Geociências. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997. 174p.
60. SOUZA, C. R de G. A erosão costeira e os desafios da gestão costeira no Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, 9(1): p. 17-37, 2009. E-ISSN 1646-8872

61. SOUZA, C. R. de G. & LUNA, G. da C. Variação da linha de costa e balanço sedimentar de longo período em praias sob risco muito alto de erosão do município de Caraguatatuba (litoral Norte de São Paulo, Brasil). **Revista da Gestão Costeira Integrada**, 10(2): p. 179-199, 2010. E-ISSN 1646-8872
62. SOUZA, C. R. de G. & SUGUIO, K. Coastal erosion and beach morphodynamics along the state of São Paulo (SE Brazil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 68(3): p. 405-424, 1996.
63. SOUZA, C. R. de G. & SUGUIO, K. The coastal erosion risk zoning and the São Paulo state plan for coastal management. **Journal of Coastal Research**, SI 35: p. 530-547, 2003. ISSN 07490208
64. STECH, J. L. & LORENZZETTI, J. A. The response of the South Brazil bight to the passage of wintertime cold fronts. **Journal of Geophysical Research**, 97(C6):9507-9520. 1992. DOI: 10.1029/92JC00486
65. SUGUIO, K. **Introdução à Sedimentologia**. São Paulo/SP: Edgard Blüchler Ltda, 1973. 317p.
66. TAIT, J. F & GRIGGS, G. B. Beach response to the presence of a seawall: a comparison of field observations. **Shore and Beach**, 58: p.11-28, 1990.
67. TEMITOPE, D. O. T. 2014. **Shoreline geometry: DSAS as a tool for historical trend analysis**. Geomorphology Techniques, 3, section 2.2. British Society for Geomorphology online publication. Disponível em: http://www.geomorphology.org.uk/geomorph_techniques.
68. THIELER, E. R.; HIMMELSTOSS, E. A.; ZICHICHI, J. L.; MILLER, T. L. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 3.0: An ArcGIS Extension for Calculating Shoreline Change: **U.S. Geological Survey Open-file Report**, 2009. 1304p.
69. TOMAZZOLI, E. R.; PELLERIN, J. R. G. M. **Mapeamento geológico da ilha de Santa Catarina**. In: Atlas Geológico-Geomorfológico da Ilha de Santa Catarina (Escala 1:50000). Departamento de Geociências, UFSC, 2014.
70. TOMAZZOLI, E. R.; PELLERIN, J. R. G. M.; HORN FILHO, N, O. Geologia da ilha de Santa Catarina, Brasil. **Geociências**, 37(4): p. 715-731, 2018.
71. TORRONTÉGUY, M. C. **Sistema Joaquina - Morro das Pedras e praias adjacentes da costa Leste da ilha de Santa Catarina: aspectos morfodinâmicos, sedimentológicos e fatores condicionantes**. Florianópolis. 158p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina, 2002. 158p.
72. TOZZI, H. A. M. & CALLIARI, L. J. Morfodinâmica da praia do Cassino. **Pesquisas**, 27(1): p. 29-42, 2000. DOI: 10.22456/1807-9806.20176
73. TRUCCOLO, E. C. **Maré meteorológica e forçantes atmosféricas locais em São Francisco do Sul - SC**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 1998. 100p.
74. VAN RIJN, L. C. Beach and dune erosion due to storms. **Proc. 31st ICCE**, Hamburg, Germany, 2008.
75. VILLWOCK, J. A. Aspectos da sedimentação na região nordeste da lagoa dos Patos, lagoa do Casamento e saco do Cocuruto-RS-Brasil. **Pesquisas**, 11: p.193-223, 1978.
76. WENTWORTH, C. K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **The Journal of Geology**, 30(5): p. 377-392, 1922. DOI: 10.1086/622910
77. WRIGTH, L. D. & SHORT, A. D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. **Marine Geology**, 56: p. 93-118, 1984. DOI: 10.1016/0025-3227(84)90008-2



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.