

## **Caracterização das variações volumétricas, morfológicas e a influência da antropização em uma praia de enseada, Praia de Guaratuba - PR** *Characterization of volumetric and morphological changes and the influence of anthropization on an embayed beach, Praia de Guaratuba - PR*

**Egon Abraão de Paula Ramos<sup>1</sup>** , **Rodolfo José Angulo<sup>2</sup>** , **Luiz Henrique Sielski<sup>3</sup>** 

<sup>1</sup> Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geologia. Caixa Postal 19.001, CEP 81531-980, Centro Politécnico, Jardim das Américas, Curitiba, Paraná, BR. (egon.ramos87@gmail.com)

<sup>2</sup> Universidade Federal do Paraná, Laboratório de Estudos Costeiros – LECOST. Curitiba PR, BR. (fitoangulo@gmail.com)

<sup>3</sup> Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Oceanografia e Ecologia, Centro de Ciências Humanas e Naturais, Laboratório de Geomorfologia Costeira e Sedimentologia – LAGES. Vitória, ES, BR. (luizion@gmail.com)

Recebido em 12 de novembro de 2021; aceito em 23 de setembro de 2024.

### **RESUMO**

A praia de Guaratuba, com densa ocupação urbana no litoral do Paraná (Brasil), é uma praia de enseada cujo arco praiial se estende por 2.440 m e está limitada pelo Morro do Cristo, ao sul, e o Morro de Caieiras, ao norte. A praia possui dinâmica de migração sazonal e interanual dos bancos de areia. Muros, calçadas e avenidas, quando instalados sobre a faixa da dinâmica natural da praia, estão sujeitos à destruição periódica pela ação das ondas. Este estudo teve como objetivo identificar e quantificar as variações do volume de sedimentos da praia de Guaratuba. Para o monitoramento sazonal do volume praiial, foram utilizados 14 perfis planialtimétricos praiiais, realizados em 8 campanhas entre 2012 e 2018. A avaliação do balanço sedimentar mostrou que a dinâmica no arco da praia de Guaratuba contempla processos de redirecionamento das ondas devido à presença do Morro do Cristo, e o transpasse de sedimentos, transportados pela corrente de deriva litorânea, que contorna o promontório (*headland bypass*) e alimenta a praia de enseada. No período estudado, foi observada diminuição no volume de sedimentos da porção emersa do arco-praiial e maior mobilidade dos bancos de areia no setor sul, principalmente relacionada à difração das ondas e o transpasse de sedimentos. Durante eventos de alta energia de ondas, quando ocorrem marés meteorológicas, o espraiamento das ondas atinge e danifica o muro de contenção, que sustenta a calçada e arruamento, constantemente. A estabilização da linha de costa por meios artificiais restringe a ação de processos naturais e causa destruição de infraestruturas urbanas.

**Palavras-chave:** Geomorfologia costeira; Transporte de sedimento; Destruição de infraestrutura urbana; Erosão costeira; Balanço sedimentar.

### **ABSTRACT**

Guaratuba beach, with dense urban occupation in the state of Paraná coast (Brazil), is an embayed beach. The beach arch extends up to 2,440 m limited by Morro do Cristo, southward, and Morro de Caieiras, northward. Seasonal and interannual migration dynamics of sandbanks are responsible for sediment exchanges. Walls, sidewalks, and avenues, when installed over the naturally dynamic area of the beach, are subject to periodic destruction by wave action. This study aimed to identify and quantify the variations in sediments volume of Guaratuba beach. Seasonal monitoring of the beach volume was carried over 14 plan-altimetric profiles along eight campaigns, from 2012 to 2018. The sediments balance showed that the dynamics of Guaratuba beach include processes such

as redirection of waves due to the presence of Morro do Cristo, and the sediments bypass, carried by the longshore current, which contours the promontory feeding the embayed beach. A decrease in sediment volumes was noticed in the emerged portion of the beach. Beach volumes and sandbanks mobility are more intense in the southern portion of the beach arch, related to wave diffraction and sediment bypass. During high wave energy events, when storm surges occur, the waves hit the walls, made for protect the sidewalk and the street, causing damage. The stabilization of the coastline by artificial means, such as the wall, limit the action of natural processes and results in the destruction of urban infrastructures.

**Keywords:** Coastal geomorphology; Sediment transport; Urban infrastructure destruction; Coastal erosion; Sediment budget.

## INTRODUÇÃO

A Praia de Guaratuba é uma praia de enseada localizada no estado do Paraná, cujo arco-praial é limitado por dois promontórios rochosos. Esta característica a distingue das demais praias oceânicas paranaenses, que apresentam arcos-praiais mais extensos e com menor curvatura. A configuração do arco-praial faz com que a direção e energia das ondas varie ao longo da extensão da praia (Short e Masselink, 1999). Em escalas interanuais praias de enseada tendem a manter um equilíbrio constante (Bracs et al., 2016). Entretanto, a Praia de Guaratuba é uma praia urbanizada, com muros e calçadões que acompanham a linha de costa o que pode interferir na dinâmica do arco praial. A ocupação urbana dos ambientes costeiros frequentemente não considera a dinâmica natural das praias, há vários exemplos ao redor do mundo (e.g. Esteves et al., 2000; Hernández-Cordero et al., 2018; Angulo et al., 2020). Assim, muros, calçadões e avenidas, quando instalados sobre a faixa dinâmica da praia, estão sujeitos à destruição pela ação das ondas como constatado nas praias de Matinhos e Guaratuba no litoral do Paraná (Angulo et al., 2020).

O presente estudo visa investigar o efeito da infraestrutura urbana sobre a configuração do arco praial. Deste modo, o estudo tem como objetivo identificar e quantificar as variações do volume praial, bem como os setores da praia nos quais a relação entre dinâmica natural e a ocupação é mais passível de comprometer a infraestrutura urbana e causar a degradação da praia.

## ÁREA DE ESTUDO

A Praia de Guaratuba se localiza no município de Guaratuba, ao sul da Baía de Guaratuba, no sul do litoral paranaense, na latitude de 25°52'18''S a 25°53'23''S (Figura 1). O clima da planície costeira paranaense é do tipo Cfa, subtropical úmido mesotérmico com verão quente, segundo a

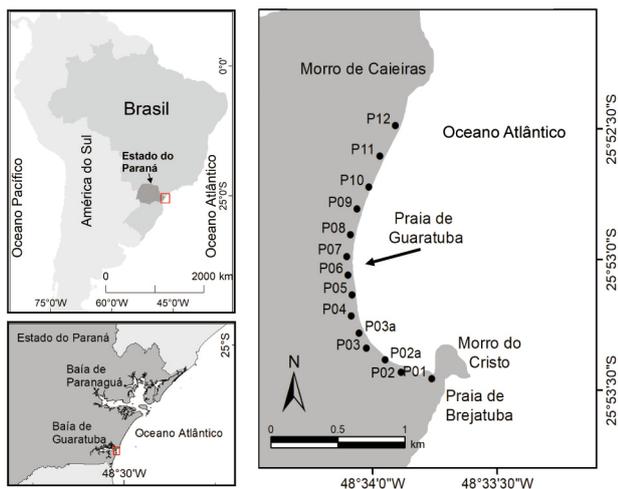
classificação de Köppen e controlado pela passagem de frentes frias derivadas do deslocamento do giro anticiclone semipermanente no Atlântico Sul e pela passagem de massas polares frias no inverno (Angulo et al., 2016).

O arco-praial tem 2.440 m de comprimento e é delimitado pelos promontórios rochosos do Morro do Cristo, ao sul, e do Morro de Caieiras, ao norte (Figura 1). A praia é composta por areia fina a média, bem selecionada, constituída principalmente por quartzo e teores variáveis de carbonato e minerais pesados (Angulo, 1992).

A praia possui dinâmica complexa, com migração sazonal e interanual de bancos de areia (Angulo, 1992; Bessa Jr., 2003). A parte norte do arco-praial é influenciada pela dinâmica das correntes de maré da Baía de Guaratuba (Angulo e Araújo, 1996). Os sedimentos da Praia de Guaratuba são provenientes da praia de Brejatuba, localizada ao sul (Angulo et al., 2016).

## MATERIAIS E MÉTODOS

O volume do prisma praial foi calculado com base em quatorze perfis planialtimétricos distribuídos ao longo do arco-praial com cerca de 150 m de distância entre si (Figura 1). Os levantamentos foram executados de acordo com o método descrito por Birkemeier (1981), utilizando nível topográfico, em oito campanhas, entre março de 2012 e março de 2018. O volume do prisma praial foi obtido pelo cálculo da área da seção transversal do perfil, segundo Birkemeier (1984), multiplicada por uma unidade de largura de 1 m da praia. A área da seção transversal foi calculada considerando a porção emersa da praia, medida a partir do nível médio da maré até o início do perfil (linha de costa). A maré média foi determinada pelo nivelamento do perfil, utilizando a altitude do ponto de refluxo máximo da onda na face da praia em referência ao nível da maré para aquele horário. A altura da maré no horário do levantamento foi estabelecida com base na interpolação da altura das marés máxima e mínima para o dia do levantamento com base nos



**Figura 1.** Localização da praia de Guaratuba, dos pontos de amostragem e dos perfis praias.

valores das tábuas de maré publicadas pelo Departamento de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil. As medidas de nível do refluxo foram estabelecidas em condições de mar calmo para todos os perfis do arco praiar, com o intuito de minimizar erros, conforme sugerido por Muehe et al. (2003).

As variações volumétricas para cada perfil topográfico ao longo das campanhas foram avaliadas em relação às condições do mar representadas pelos dados de ondas. Os dados de ondas obtidos por retrospecto (*hindcast*) do modelo NWW3 - *NOAA Wavewatch III* (Tolman, 2009). O período avaliado foi de 2012 até 2018, sendo considerados os parâmetros de altura significativa ( $H_s$ ), período de pico ( $T_p$ ) e direção de ondas para as coordenadas  $26^{\circ}00'S$ ,  $48^{\circ}18'W$ . Os dados retrospectivos do NWW3 foram validados globalmente por Tolman et al. (2002) utilizando dados de ondas de fundeios meteorológicos e dados de satélite. O modelo foi posteriormente validado para aplicações regionais, incluindo o Atlântico Sul (Rogers et al., 2012).

Para a caracterização dos sedimentos da praia, foram coletadas amostras da superfície da face praiar em cada perfil. Análises granulométricas foram realizadas seguindo o método de peneiramento, para as frações de areia a grânulo ( $> 0,063$  mm), segundo o método de Folk e Ward (1957), utilizando um jogo de peneiras com intervalos de abertura de malha na escala logarítmica de  $0,5 \phi$ . Foram pesados 100 gramas de sedimento de cada amostra, posteriormente lavados com água deionizada para eliminação de sais solúveis, elutriados em água corrente para retirada do material fino, e colocados para secar em estufa a  $60^{\circ}C$ . Após secagem, as amostras foram peneiradas com auxílio de um agitador mecânico durante 10 minutos e as frações acumuladas em cada peneira foram pesadas com uma balança de precisão. A escala de Wentworth (1922) foi usada para a classificação granulométrica, e os parâmetros foram processados por

meio do *Software Momentos*, versão 4 (Giannini, 2004).

A variação da forma da praia de Guaratuba em planta foi analisada utilizando múltiplas imagens de satélite obtidas para diferentes datas (acessadas utilizando Google Earth Pro) e a ferramenta Mepbay (Klein et al., 2003). Trechos da praia foram classificados como mais ou menos expostos, considerando em conjunto as variações volumétricas nos perfis e a variação da forma da praia em planta. A infraestrutura urbana ao longo da linha de costa foi então classificada quanto à sua exposição e à atuação das ondas.

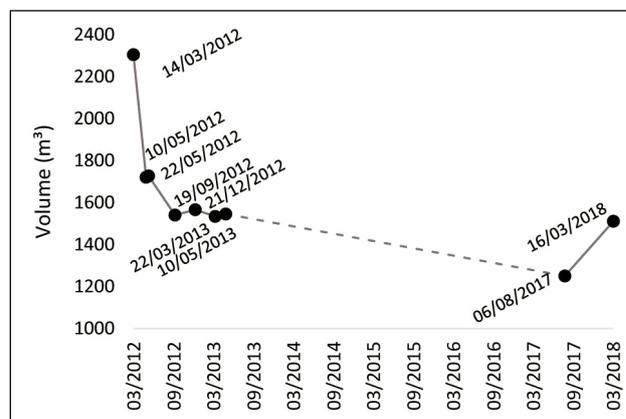
## RESULTADOS

### Variações de volume no arco-praiar

Ao longo do período monitorado, entre 14 de março de 2012 e 16 de março de 2018, verificou-se na praia de Guaratuba a redução progressiva do volume do prisma praiar, que variou de  $2.305 \text{ m}^3$  em março de 2012, até  $1.511 \text{ m}^3$  em março de 2018 (Figura 2). No total, a variação de março de 2012 a agosto de 2018 significou perda de  $793,1 \text{ m}^3$ , à taxa de  $0,36 \text{ m}^3/\text{dia}$ . Contudo, a redução não foi constante. A maior redução ocorreu entre o final do verão (14 de março) e o outono (10 de maio) de 2012, com perda de  $584,5 \text{ m}^3$ , que corresponde a 55% do total verificado em todo o período monitorado e que representa taxa de  $11,2 \text{ m}^3/\text{dia}$  (Tabela 1). Já, no restante do período, entre o outono (10 de maio) de 2012 até o final do verão (16 de março) de 2018, o volume praiar variou menos, com taxas entre  $0,2$  e  $1,2 \text{ m}^3/\text{dia}$  (Tabela 1).

Os levantamentos de 22/05/2012 e 10/05/2013 foram realizados com o objetivo de avaliar as variações volumétricas da porção emersa da praia em relação à passagem de eventos de alta energia de ondas. Os dados de ondas nestes períodos mostraram um aumento tanto na altura quanto no período das ondas vindas dos quadrantes sul e sudeste (Figura 3).

No final da primavera (21 de dezembro) de 2012, a praia tinha recuperado  $25,2 \text{ m}^3$  de areia, em relação ao final do inverno (19 de setembro) do mesmo ano (Tabela 1).



**Figura 2.** Volume do prisma praiar.

Porém, ao longo de um ano, entre 14 de março de 2012 e 22 de março de 2013, houve perda de 738,5 m<sup>3</sup> de areia. Na comparação dos dados de ondas dos dois períodos (Figura 3), verificou-se maior altura e maior frequência de ondas vindas do quadrante sul em março de 2013, em relação a março de 2012.

No outono (10 de maio) de 2013 houve aumento do volume de 11,8 m<sup>3</sup>, em relação ao volume verificado no final do verão (22 de março) do mesmo ano (Tabela 1). No período que antecedeu ao levantamento do outono de 2013, verificou-se maior frequência de ondas provenientes do quadrante sul, com a altura chegando aos 3 m (Figura 3).

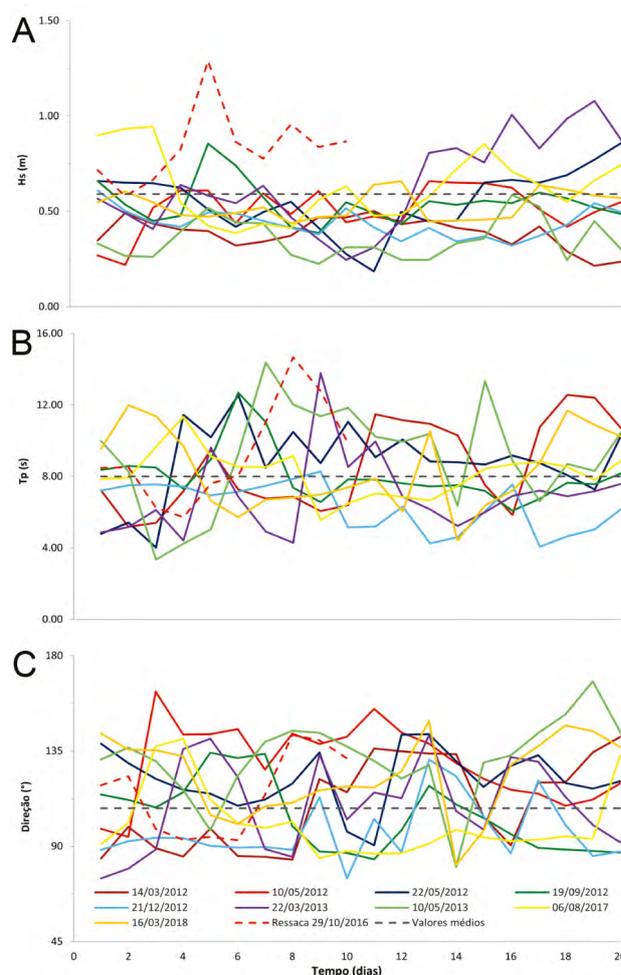
Entre o outono de 2012 (10 de maio) e o de 2013 (10 de maio), verificou-se perda de 173,8 m<sup>3</sup> no volume da praia. Ao se comparar os dados de ondas das duas campanhas (Figura 3), observa-se maior alternância de ondas vindas dos quadrantes sul e leste em 2012, e maior frequência de ondas vindas do quadrante sul, em 2013, que acentuam o transporte longitudinal de sedimentos, para o norte.

No inverno (06 de agosto) de 2017, a praia apresentou o menor volume de sedimentos de todo o período monitorado (Figura 2), com perda de 296,1 m<sup>3</sup> de areia (Tabela 1) em comparação ao levantamento do outono (10 de maio) de 2013. A Figura 3 apresenta dados de ondas de um evento de alta energia em setembro de 2016, com direção de ondas de sul-sudeste, com altura de até 5 m, cujas consequências se verificaram nos perfis da campanha de 2017.

O volume sedimentar em cada perfil planialtimétrico variou ao longo do tempo e entre diferentes porções do arco-praial (Figura 4). O volume de sedimentos dos perfis do setor sul da praia foi o que mais variou ao longo das campanhas, sendo o P04 o perfil mais variável entre todos os pontos.

### Variações de volume nos perfis praiais

A morfologia da parte emersa da praia apresenta variações longitudinais e características diferenciadas no arco praial. As maiores variações ocorreram nas porções sul e centro-sul do arco-praial, principalmente no local do perfil 01 (Figuras 4 e 5). Este local apresentou valores extremos de

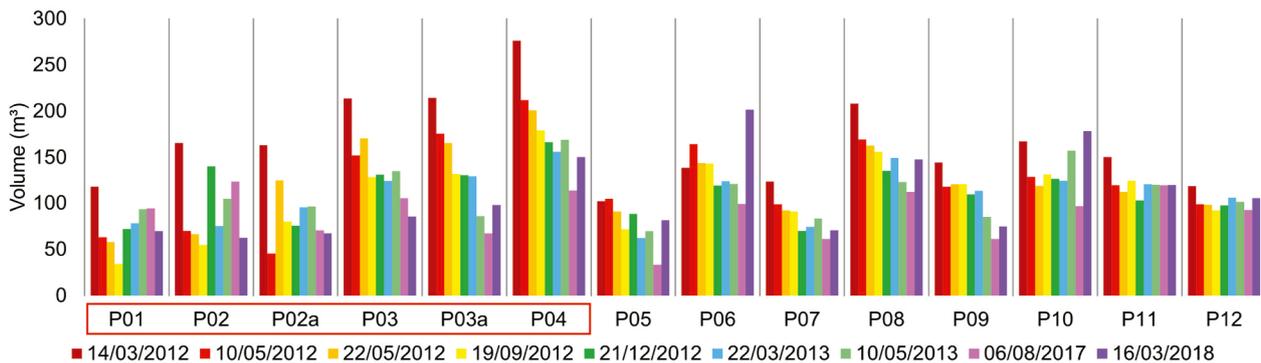


**Figura 3.** Parâmetros de ondas nos 20 dias que antecederam os levantamentos dos perfis em campo: A) altura significativa (Hs) em metros; B) período de pico (Tp) em segundos; C) direção das ondas (em graus).

volume (Figura 6), entre o final do verão (14 de março) de 2012, quando ocorreu um período de ondas de bom tempo, e no final do inverno (19 de setembro) do mesmo ano, após a ocorrência de eventos de alta energia de ondas, que provocaram a retirada de areia da parte emersa da praia (Tabe-

**Tabela 1.** Variação do volume do prisma praial.

Período	Duração (dias)	Varição de volume (m <sup>3</sup> )	Taxa (m <sup>3</sup> /dia)
14/03 a 10/05 de 2012	57	-584,50	-10,25
10/05 a 22/05 de 2012	12	+6,60	+0,55
22/05 a 19/09 de 2012	120	-185,80	-1,55
19/09 a 21/12 de 2012	93	+25,20	+0,27
21/12 de 2012 a 22/03 de 2013	91	-31,60	-0,35
22/03 a 10/05 de 2013	49	+11,80	+0,24
10/05 de 2013 a 06/08 de 2017	1549	-296,00	-0,19
06/08 de 2017 a 16/03 de 2018	222	+261,20	+1,18
14/03 de 2012 a 16/03 de 2018	2193	-793,10	-0,36



**Figura 4.** Variação do volume sedimentar de cada perfil em cada levantamento. Os perfis do setor sul do arco praial estão indicados com o retângulo vermelho.

la 1 e Figura 3). O muro foi danificado por eventos de alta energia e reconstruído após o evento registrado em 2016. A construção do muro avançou sobre a praia, em direção ao mar, na ocasião das obras para recompor o calçadão à beira mar em 2017. O muro foi novamente destruído em abril de 2019, reconstruído em 2019/2020 e destruído em 2021

(Figura 7). O avanço do muro foi evidenciado nos perfis de 2017 e 2018 em relação aos anos anteriores.

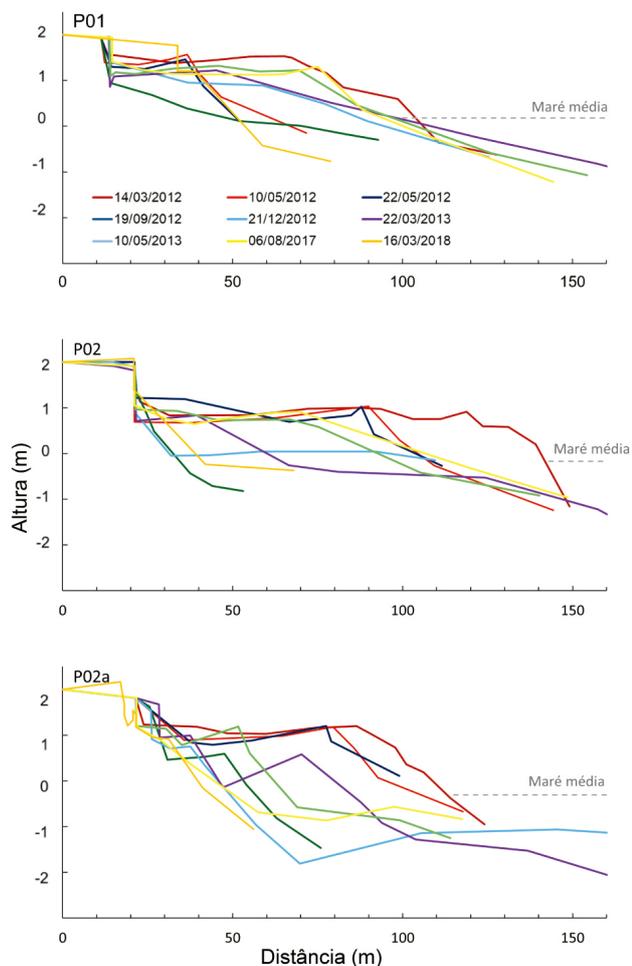
Na parte sul do arco praial foi verificada a aproximação dos bancos de areia em direção à praia emersa, no período de janeiro de 2019 a fevereiro de 2021, o que resultou no aumento do volume do prisma praial (Figuras 8 e 9).

Os efeitos do evento de alta energia de ondas que atingiu a costa brasileira em novembro de 2016 (Figura 3) são evidentes em toda a extensão do arco-praial, especialmente no setor sul, Perfil 03 (Figura 9). Neste setor da praia, observou-se variação do volume e da morfologia entre os levantamentos do outono (14 de março) de 2012 e do inverno (06 de agosto) de 2017.

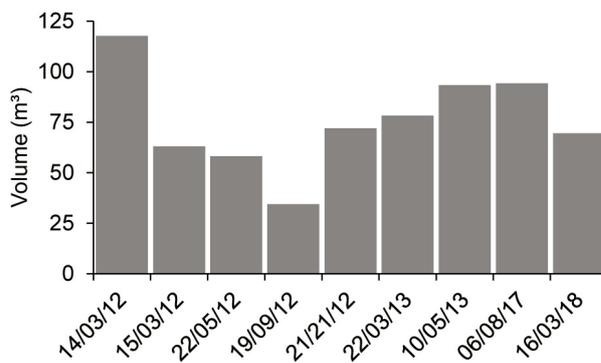
No levantamento de 10 de maio de 2012 o mar estava com menor energia de onda, porém no levantamento de 22 de maio de 2012 ocorreu um evento de alta energia, com ondas vindas do quadrante sul e sudeste, com períodos entre 10 e 13 segundos. Em 22 de maio de 2012, também foi observada grande velocidade da corrente de deriva longitudinal com sentido norte.

O setor central do arco-praial, representado pelos perfis P07 (Figura 10) e P08 (Figura 11), apresentou menor volume de areia na praia emersa do que no setor sul, porém também se observou grande mobilidade de sedimentos nesse setor da praia.

Houve variações de volume no Perfil 05 antes (10/05/2012) e após o evento de alta energia de ondas de 2012



**Figura 5.** Perfis topográficos P01, P02 e P02a localizados no setor sul da praia de Guaratuba.



**Figura 6.** Variação do volume sedimentar no Perfil 01, em m³.



Fotos: A - Rodrigo Félix Leal / Gazeta do Povo; C e E - Prefeitura de Guaratuba; D: Wesley Cunha / RPC Curitiba.

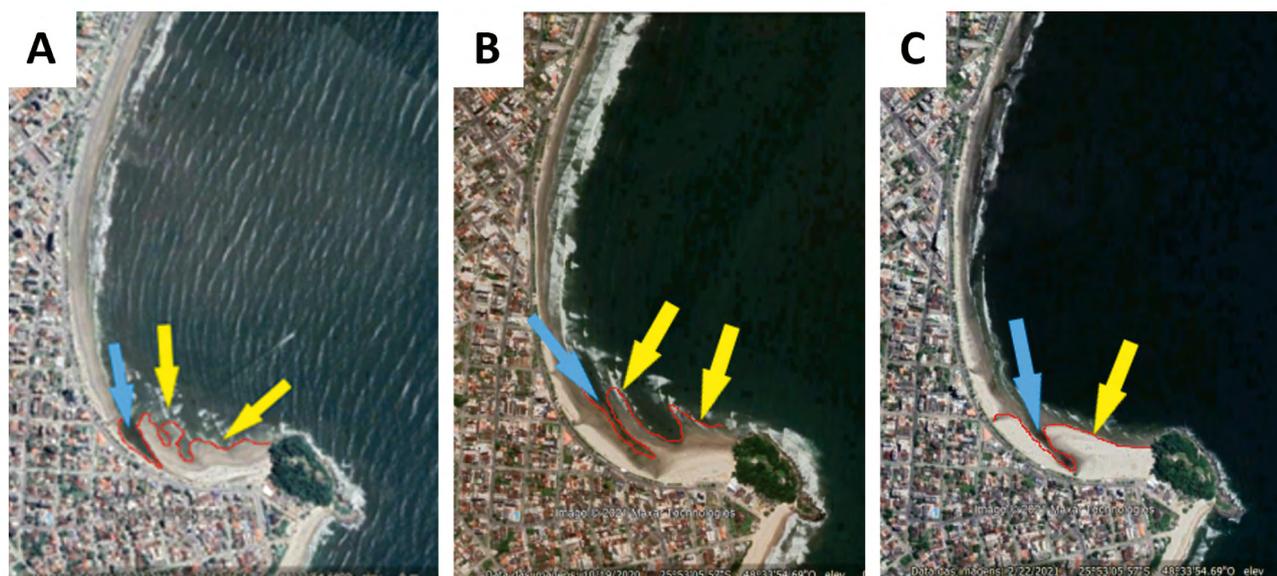
**Figura 7.** Muro de contenção em Guaratuba. (A) Ondas atingindo o muro de contenção na praia Central de Guaratuba, onde o mar não recuou após a ressaca de outubro de 2016; (B) Muro de contenção observado durante na campanha de agosto de 2017. (C) Obras de reconstrução do muro e acesso à praia em 2019/2020; (D) Obras de reconstrução do muro de contenção sobre faixa dinâmica de praia fevereiro de 2020, na praia de Caieiras, Guaratuba; (E) Muro de contenção danificado pela ação das ondas em abril de 2021.

(22/05/2012) (Figura 10). Também se constata o avanço do muro de contenção em direção ao mar, em 2018. Depois de destruído, o muro foi reconstruído em cima da praia emersa.

No setor centro-norte da praia (Figura 11), foram observadas grandes perdas de sedimento entre o final do verão (14 de março) de 2012 e o inverno (06 de agosto) de 2017 (Tabela 1). No setor norte do arco-praial, a exemplo do perfil P12, observou-se pouca variação da morfologia da praia e do volume de sedimentos ao longo do período

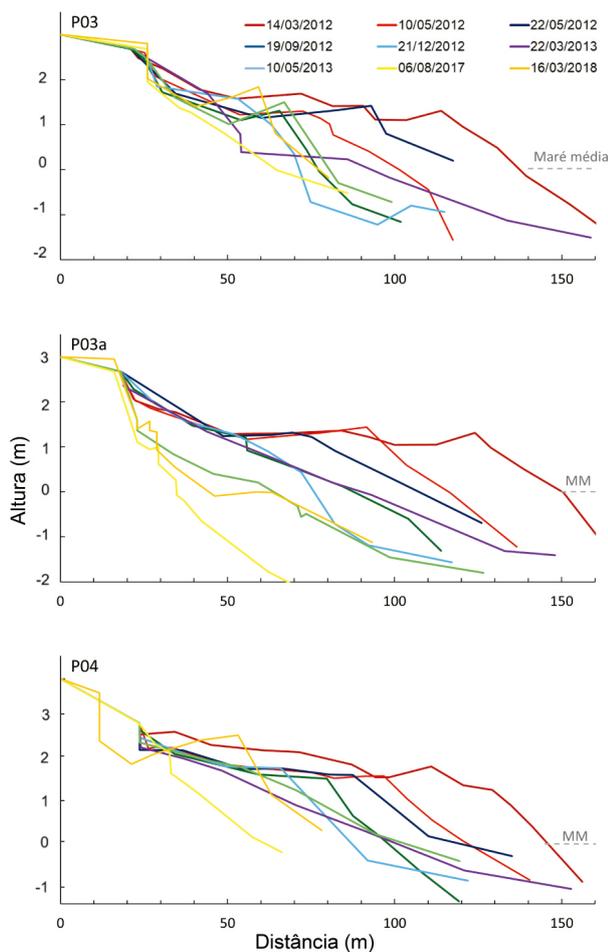
monitorado (Figuras 12 e 13), diferentemente dos perfis do setor sul, que variaram mais (Figura 5).

O desvio padrão (Figura 14), calculado em relação à média de volume de cada perfil, evidencia a maior variação do volume da praia no setor sul do arco-praial (Perfis P01 a P05, Figuras 4 e 5, respectivamente). As variações de volume mais próximas das médias são observadas no setor central e norte da praia (Perfis P05 a P12).



Fonte: Google Earth

**Figura 8.** Bancos de areia no setor sul da Praia de Guaratuba em (A) 27/01/2019, (B) 19/10/2020 e (C) 22/02/2021. As setas amarelas indicam os bancos de areia que se deslocam em direção à praia, e as setas em azul indicam as calhas entre os bancos.

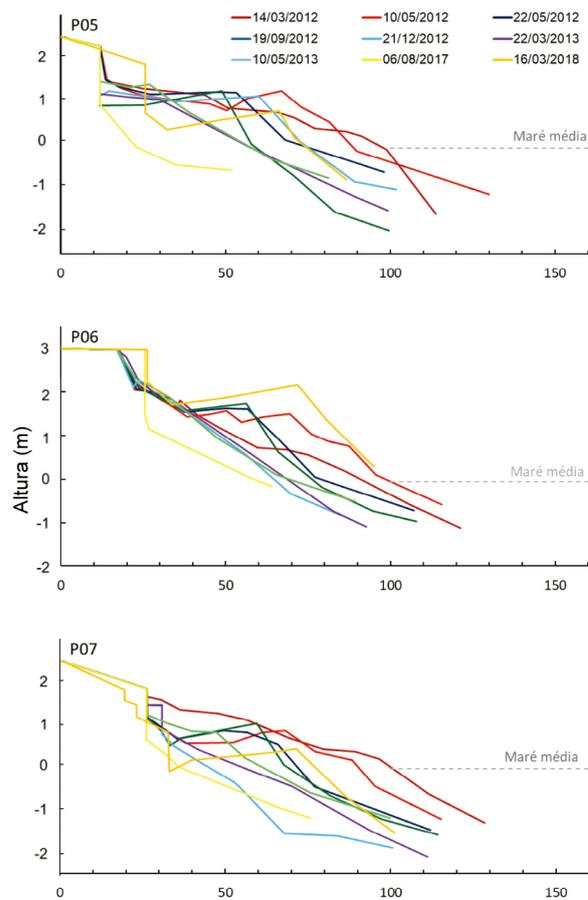


**Figura 9.** Perfis topográficos P03, P03a e P04 no setor centro-sul do arco-praial de Guaratuba.

### Varição da morfologia da praia de Guaratuba e exposição da infraestrutura aos eventos de alta energia

As variações do volume praial observadas nos perfis planialtimétricos do setor sul do arco-praial, podem ser correlacionadas com as variações morfológicas da praia, visíveis em imagens de satélite (Figura 15). Nas imagens, podem ser observadas mudanças na morfologia da praia, provavelmente causadas por processos de erosão e deposição, decorrentes de mudanças na direção das ondas que incidem sobre a praia (Figura 3). No setor sul do arco-praial, ocorre maior variação morfológica. Nota-se que o pontal rochoso do Morro do Cristo provoca difração das ondas, que varia de acordo com as mudanças sazonais do regime de ondas, o que por sua vez provoca o retrabalhamento dos sedimentos de forma diferenciada no tempo. Assim, os diferentes setores do arco-praial de Guaratuba mudam em consequência da incidência das diferentes direções do regime de ondas predominante.

A morfologia da praia observada nas imagens de



**Figura 10.** Perfis topográficos P05, P06 e P07 setor central da praia de Guaratuba. Destaque para o avanço do muro de contenção em 2017 e 2018 nos perfis 05 e 06.

satélite reforça os resultados obtidos nos perfis planialtimétricos. A ocorrência de bancos de areia na zona de sombra do Morro do Cristo pode ser atribuída à deriva litorânea proveniente de sul. A areia proveniente da praia de Brejatuba, localizada ao sul (Figura 1), passa pelo promontório do Morro do Cristo e se deposita na forma de bancos no setor sul do arco-praial de Guaratuba (Figura 8). De acordo com as variações de volume da praia emersa verificadas ao longo do arco-praial, no período de 2012 a 2018, a praia de Guaratuba pode ser dividida em três setores distintos: um de menor mobilidade, nos setores centro-norte e norte (Perfis P08 a P12), de mobilidade intermediária no setor central (P05 a P07) e outro de maior mobilidade, nas porções sul e centro-sul do arco-praial (P01 a P04). A mobilidade dos perfis, numa praia antropizada, pode ser interpretada como o grau de exposição da infraestrutura urbana à ação das ondas e eventos de alta energia. A praia de Guaratuba apresenta setores mais expostos no sul e centro-sul, com grau de exposição diminuindo para os setores central e norte (Figura 16).

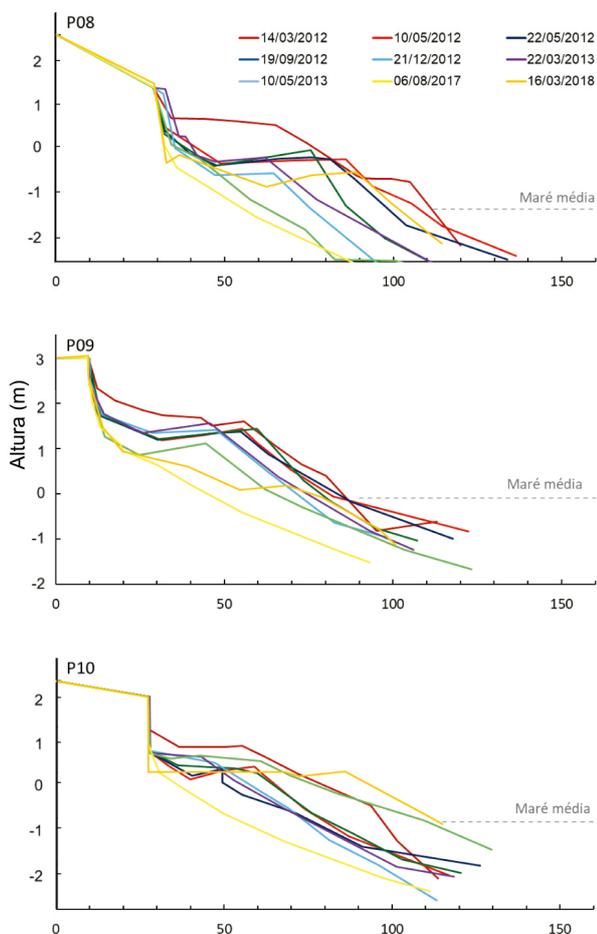


Figura 11. Perfis topográficos P08, P09 e P10 localizados no setor centro-norte da praia de Guaratuba.

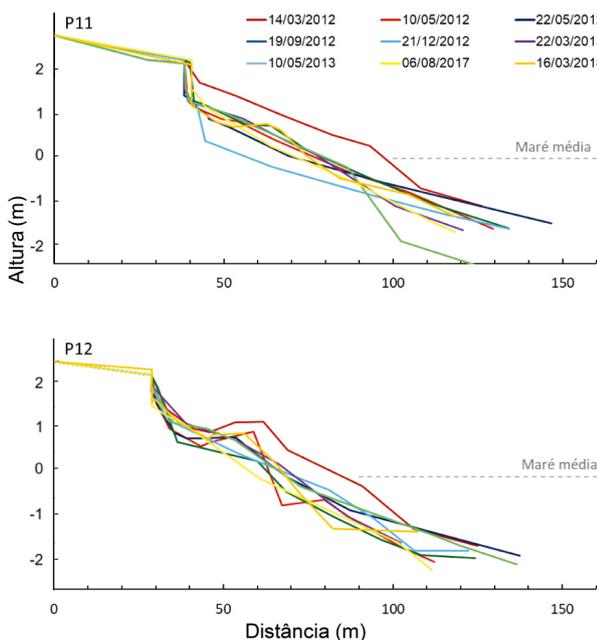


Figura 12. Perfis topográficos P11 e P12 no setor norte da praia de Guaratuba.

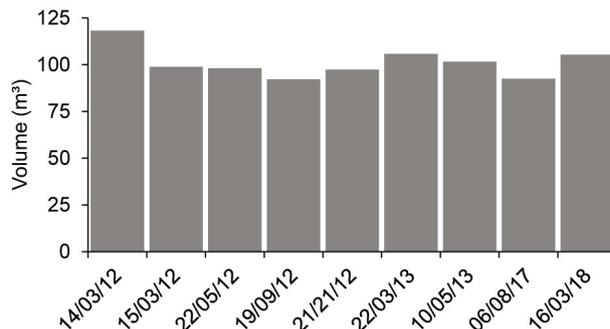


Figura 13. Variação do volume sedimentar no Perfil 12, representativo do setor norte do arco-praial.

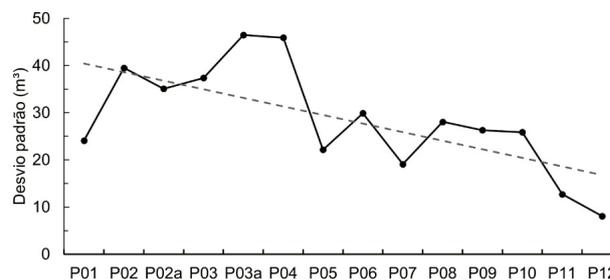


Figura 14. Tendência (linha pontilhada) e desvio padrão da variação do volume de sedimentos por perfil considerando o desvio padrão em relação à média de volume medido no período observado.

### Caracterização granulométrica

A parte emersa da praia de Guaratuba é composta por areia média e fina (Anexo I). Comparando as percentagens de areia de cada classe granulométrica e o desvio padrão em cada levantamento (Figuras 17 e 18) com as características das ondas, observa-se que durante os períodos de ondas de bom tempo (10/05/12, 22/03/13 e 10/05/13) a areia da praia é mais fina e mais bem selecionada. Já quando as ondas apresentam maior energia (22/05/12), observa-se leve aumento da areia média e grossa.

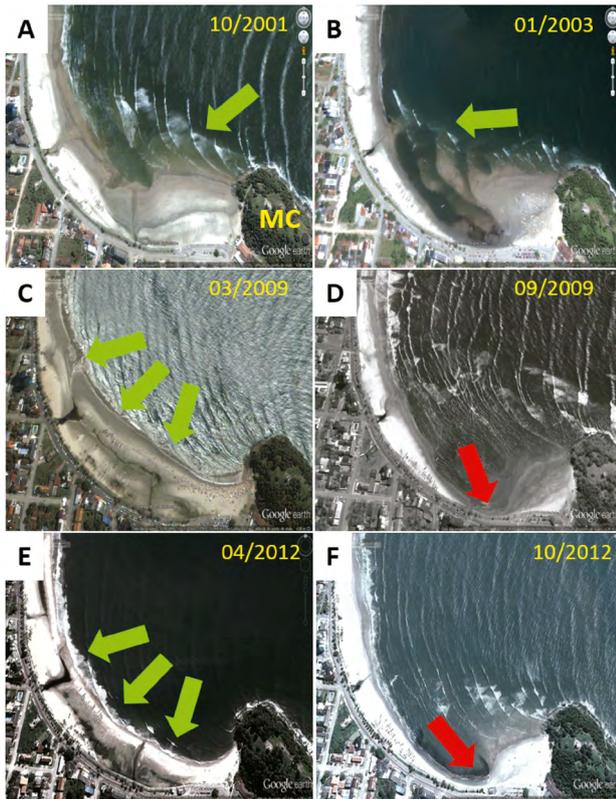
Ao longo do arco-praial, o desvio padrão do tamanho dos grãos, que indica a seleção, aumentou no sentido norte no outono (22 de maio) de 2012 e no sentido sul no final do inverno (19 de setembro) do mesmo ano (Figuras 17 e 18).

Com relação ao diâmetro médio (Figura 19), observa-se que ele é menor no inverno, a exemplo de maio de 2012, do que no verão, março de 2013. Ou seja, há aporte de material fino no verão que é passível de ser removido no inverno.

## DISCUSSÃO

### Variação do volume praial

O maior volume de areia no arco-praial, em 14 de março de 2012, parece estar relacionado a um período de maior incidência de ondas de mar calmo, provenientes do quadrante



Fonte: Google Earth

**Figura 15.** Imagens de satélite do setor sul da praia de Guaratuba: (A) na primavera (4 de outubro de 2001); (B) no verão (8 de janeiro) de 2003; (C) no final do verão (14 de março de 2009); (D) no início da primavera (26 de setembro de 2009); (E) no outono (30 de abril de 2012) e (F) na primavera (17 de outubro de 2012). (MC) Morro do Cristo. As setas em verde mostram os locais onde houve deposição de sedimentos e as setas em vermelho os locais onde houve erosão, o que evidencia a intensa dinâmica do arco praiial próximo ao Morro do Cristo.

leste (80 a 122°), nos 45 dias anteriores ao levantamento. Neste intervalo, ocorreram ondas de alturas menores que 0,5 m e período entre 5 e 12 s (Figura 3), que favoreceram o transporte de areia na direção da costa (*onshore*) e o seu acúmulo na parte superior da praia.

As maiores variações de volume foram registradas após eventos de alta energia de ondas entre março e maio de 2012 e de maio a setembro de 2012. Entre o levantamento de 14 de março de 2012, e o de 10 de maio, houve perda de 584,5 m<sup>3</sup> (Tabela 1), que pode ser atribuída ao aumento na altura e período das ondas antes do segundo levantamento. Entre o outono (10 de maio) e o final do inverno (19 de setembro) de 2012, verificou-se nova perda de 185,8 m<sup>3</sup> de areia (Tabela 1). Neste período, ocorreram dois eventos de alta energia de ondas vindas do quadrante sul, com a altura alcançando 3 m e o período entre 9 e 11 segundos (Figura 3).

Deste modo, estas perdas de areia na parte superior da praia podem ser atribuídas à ocorrência de eventos de alta energia de ondas, tal como ocorre em outras praias ao



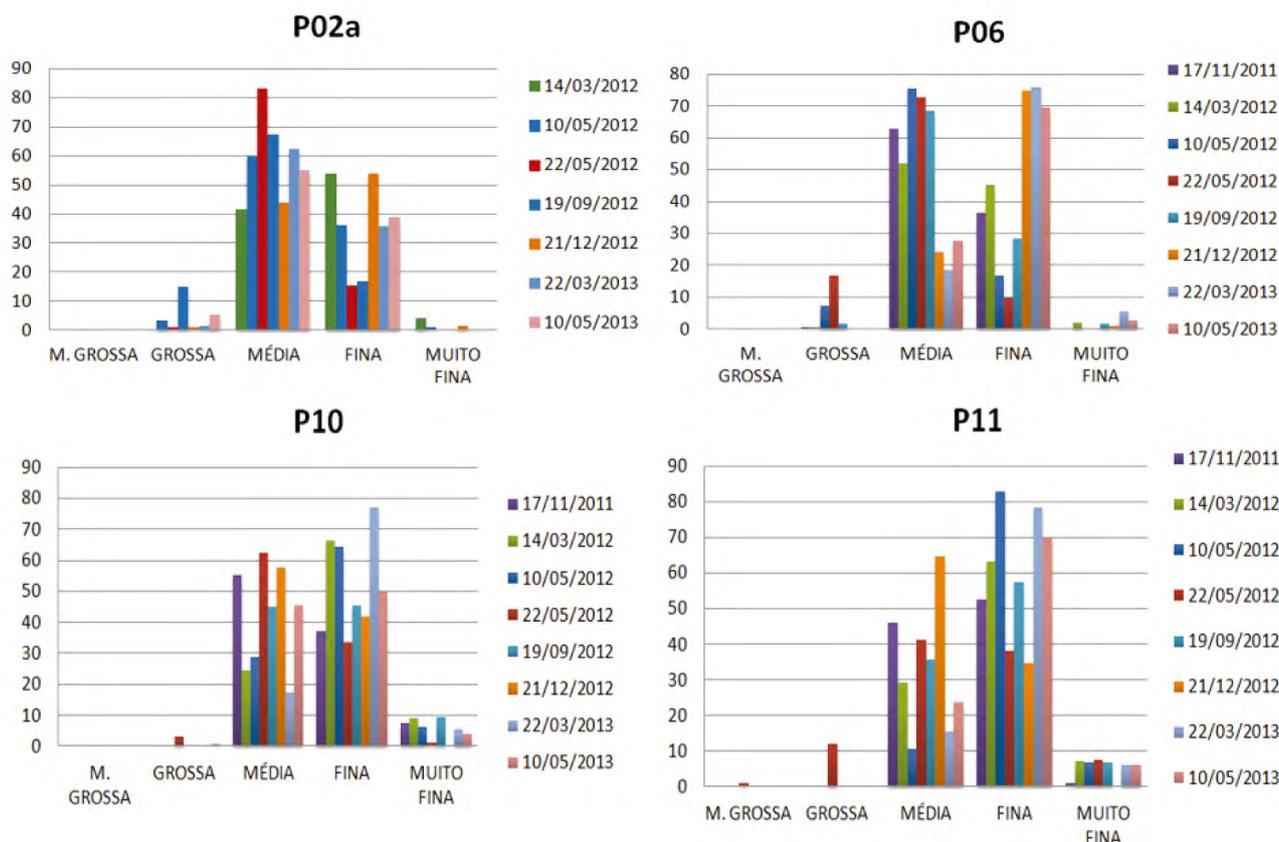
Fonte: Google Earth

**Figura 16.** Classificação do arco da praia de Guaratuba em relação a exposição da infraestrutura urbana, a eventuais perdas em relação a eventos de alta energia. O nível de exposição da infraestrutura aumenta de norte (em verde) para sul (vermelho). Nos setores centro-sul e sul foi evidenciada com mais frequência a destruição da infraestrutura urbana.

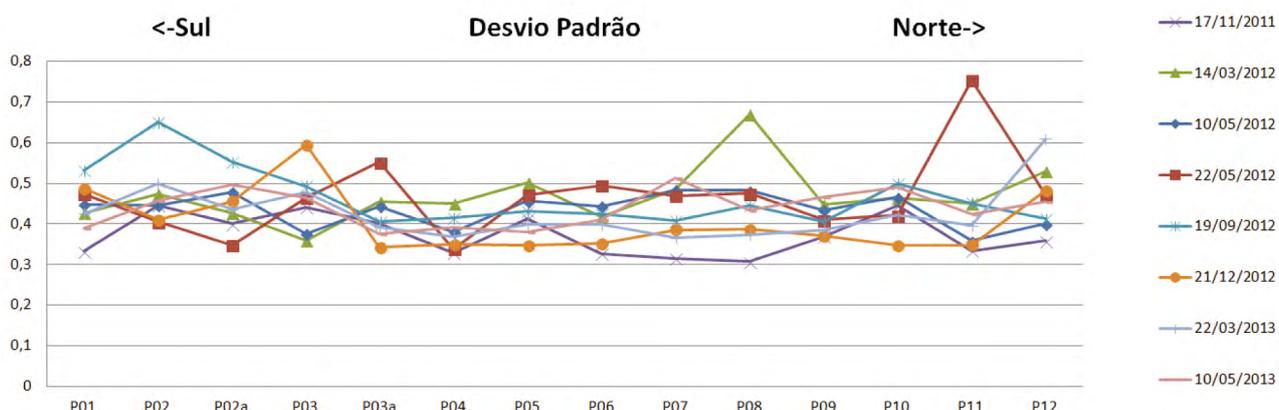
redor do mundo (e.g. Wright e Short 1984; Short, 1999). Por outro lado, não foram encontradas evidências de que o aumento de volume da praia emersa esteja relacionado à ocorrência de ondas de bom-tempo, como verificado em outras praias (e.g. Klein et al., 2010). Isto sugere maior complexidade nos processos dinâmicos que envolvem o arco-praiial de Guaratuba, tanto no setor norte, influenciado pelas correntes de maré e pelos bancos do delta de maré vazante da Baía de Guaratuba, quanto no setor sul, influenciado pelo pontal rochoso do Morro do Cristo.

Em outubro de 2016, ocorreu no litoral sul do Brasil um grande evento de alta energia de ondas, noticiado nos principais veículos de comunicação. As ondas durante este evento (Figura 3) provocaram enormes estragos na orla de grande parte das cidades litorâneas, inclusive na Praia de Guaratuba, de acordo com o website de notícias Portal G1 (2016). Quase um ano após o evento, foram registrados os menores volumes dos prismas praiiais, em setembro de 2017 (Figura 2), o que pode indicar que a praia ainda não havia recuperado o volume perdido.

Quanto maior a energia de um evento, maior o tempo necessário para recomposição da morfologia da praia pelas ondas de bom tempo (Short, 1999). O evento de 29 de outubro de 2016 foi o principal responsável pela destruição, em alguns



**Figura 17.** Distribuição granulométrica das areias de novembro de 2011 a maio de 2013. Notar o incremento de areia média em P02a, P10 e P11 entre 10 e 22 de maio de 2012. Em P06 areia média predominou durante os levantamentos de 2012 passando o predomínio para areias finas em 2013 desde dezembro de 2012.

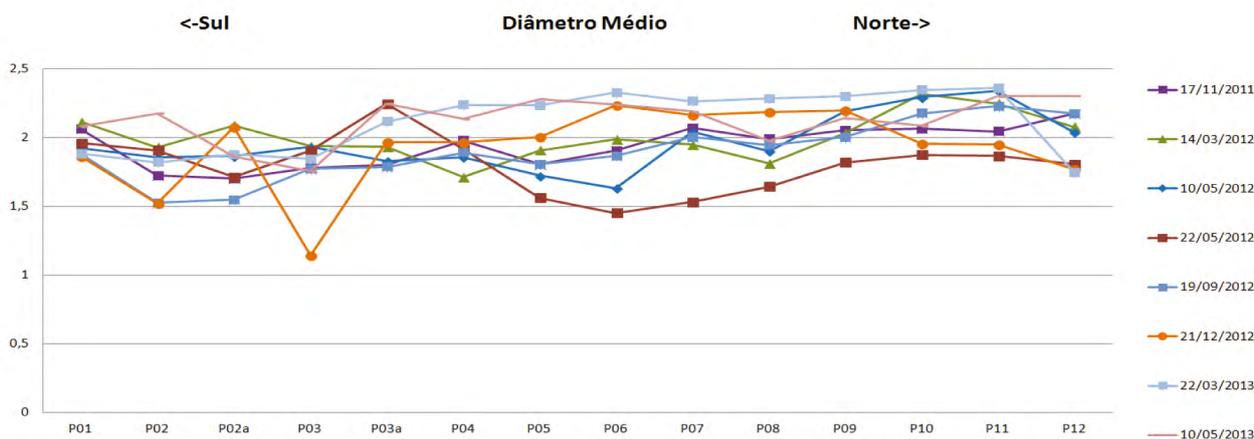


**Figura 18.** Desvio padrão do tamanho dos grãos de areia ao longo do arco-praial de Guaratuba nos diferentes levantamentos (P01 a P12).

locais, de estruturas de contenção e de paisagismo da orla da praia, como verificado no levantamento de 2017. É possível que a direção das ondas durante o evento tenha resultado na concentração de energia em locais específicos da orla, provocando o comprometimento ou destruição das estruturas.

Na comparação da variação do volume sedimentar de cada perfil em cada levantamento (Figura 4) com os dados de ondas (Figura 3), observa-se a relação entre o regime de

ondas e o equilíbrio dinâmico do ambiente praial. A distribuição de sedimentos ao longo do arco-praial é provocada pela difração das ondas ao contornar o promontório rochoso e pelo regime de ondas que determina o equilíbrio estático ou dinâmico do arco-praial (Hsu e Evans, 1989). Entretanto, é possível verificar o declínio de sedimentos, principalmente no setor sul e centro-sul da praia de Guaratuba (Tabela 1). Portanto, para manter o equilíbrio no arco



**Figura 19.** Diâmetro médio ( $\phi$ ) da areia ao longo do arco-praial de Guaratuba, nos diferentes levantamentos (P01 a P12: perfis praias).

praial é necessário aporte de sedimentos. No caso da praia de Guaratuba, é possível que eventos de maior energia de ondas possam tanto retirar sedimentos da praia, quanto promover o transpasse do promontório do morro do Cristo, como observado no setor sul do arco-praial (Figuras 5 e 8). Este fato está de acordo com o modelo proposto por Hsu e Evans (1989), que se refere aos processos de rotação de correntes e equilíbrio do arco-praial.

### Variações morfológicas dos perfis praias

As maiores variações nos perfis foram constatadas nas porções sul e centro-sul do arco praial, corroborando com resultados obtidos por Bessa Jr. (2003), que destacou que a deposição de sedimentos em determinadas épocas do ano induz a formação de bermas, que causam represamento de água na praia (praia ou *backshore*, conforme apontado por Muehe, 2019).

Bessa Jr. (2003), em levantamentos planialtimétricos realizados entre 1999 e 2001 no mesmo local do Perfil 01, verificou distância máxima de 250 m e mínima de 100 m entre o muro de contenção e o nível médio do mar, enquanto em 14 de março de 2012, verificou-se distância máxima de 130 m e mínima de 15 m, o que evidencia a grande variação do volume de sedimentos neste setor da praia num período de aproximadamente 10 anos.

A alta dinâmica dos setores sul e centro-sul é evidenciada pelas variações de volume e também pela morfologia da praia vista em planta (Figura 8). Na última campanha, realizada em 2018, a quantidade de sedimento no setor sul do arco praial era muito baixa. Porém, quando se observa a sequência de imagens posteriores aos levantamentos, verificam-se novos bancos de areia movendo-se em direção à praia emersa (Figura 8). Importante destacar a ocorrência de calhas, formadas pela ação das ondas, que variam seu ponto de quebra de acordo com a posição e orientação dos bancos de areia que se deslocam na praia, tal como observado por Short (1999). O aporte de material no setor sul da praia de Guaratuba chega a ser tão intenso que promove a for-

mação de pequenas drenagens e lagoas, pelo represamento de água entre bancos de areia. Quando o volume de água das lagoas ou das drenagens aumenta devido à alta pluviosidade, os bancos que represam as águas podem romper, provocando alterações no perfil praial. Após o evento de alta energia de ondas em outubro de 2016, foram realizadas obras de contenção que avançaram ainda mais sobre a faixa dinâmica natural da praia, como se pode observar nos setores centro-sul e sul da praia de Guaratuba (Figuras 7 e 10).

Os perfis do setor centro-norte da praia tiveram maior deposição de sedimentos (Figura 11), principalmente nos dias 14/03/12 e 10/05/12. Situação semelhante, de maior aporte sedimentar neste setor, já havia sido identificada com dados de perfis topográficos levantados por Bessa Jr. (2003) entre 1999 e 2001. Já nos perfis no setor norte do arco-praial (Figura 12), houve pouca variação de volume e da morfologia, o que o caracteriza como um setor mais estável da Praia de Guaratuba. Estudos realizados por Mortlock e Goodwin (2016) destacam comportamentos semelhantes em praias da costa sudeste da Austrália, com maiores variações de volume próximos ao promontório e setor curvo do arco praial e menores variações no setor retilíneo de praias de enseada.

A maior mobilidade dos perfis está relacionada ao ângulo de incidência de ondas que contornam o promontório rochoso do Morro do Cristo, acentuando correntes geradas por ondas nos setores sul e centro-sul. Assim, como já observado por Klein et al. (2010), estes vórtices gerados pela difração das ondas, dependendo do ângulo de incidência das ondas, provocam redistribuição de sedimentos na praia.

### Variação da morfologia e linha de costa do setor sul do arco-praial

O setor sul do arco-praial apresenta maior variação do volume e da morfologia devido ao setor ser mais exposto à ação das ondas, porém não é necessariamente mais sujeito a perdas de infraestrutura urbana. Em períodos de transpasse de sedimentos da Praia de Brejatuba pelo Morro do Cris-

to, pode haver grande incremento do volume sedimentar, o que resulta em proteção da infraestrutura. Entretanto, o volume de sedimentos aportado é distribuído longitudinalmente no arco praial e transversalmente para a antepraia, o que torna os setores centro-sul e central da praia de Guaratuba mais sujeitos à perda de infraestrutura.

Para a correta avaliação do balanço de sedimentos no sistema praial é necessário avaliar em conjuntos a parte emersa da praia e a parte submersa até o perfil de fechamento (Muehe, 2015). Para avaliar o balanço de sedimentos da praia, seriam necessários levantamentos batimétricos para verificar o transporte transversal (*cross-shore*) de sedimentos, pois, em decorrência da variação na direção de ondas incidentes, o sedimento pode ser transportado para a porção submersa da praia sem perda de areia no sistema praial (Wright e Short 1984; Short, 1999). De fato, o transporte transversal em praias de enseada é essencial no balanço sedimentar tanto quanto o processo de rotação longitudinal. Estes processos se mostraram dependentes de variações na intensidade de ondas de tempestade na costa da Austrália (Harley et al., 2011). Na praia de Guaratuba há indícios de transporte longitudinal de sul para norte, porém o processo rotacional não é evidente, o que sugere uma atuação maior de processos transversais para a antepraia.

Pesquisas realizadas com o objetivo de avaliar o transporte de sedimentos entre duas praias separadas por um promontório mostraram que a deriva litorânea exerce grande influência no balanço de sedimentos que entram e saem de uma praia de enseada (Gomez Castro, 2011; Ab Razak, 2015; Bracs et al., 2016). De acordo com os modelos propostos por Hsu e Evans (1989) e Short (1999), o balanço sedimentar de uma praia de enseada pode estar associado à dinâmica de outras praias próximas, e de suas fontes de sedimentos. A deriva litorânea pode ser o fator determinante no transporte de sedimentos de uma praia a outra conforme o modelo de transpasse de sedimentos por promontório apresentado por Evans (1943). Angulo et al. (2016) sugerem que os sedimentos que mantêm a praia de Guaratuba são provenientes da praia de Brejatuba, localizada ao sul da área de estudo. Também é possível que haja perda de sedimentos por transpasse de Guaratuba para o norte, o que faz a rotação longitudinal não ser evidente. Portanto, a dinâmica dos perfis ao sul não se reflete ao norte devido a perdas de sedimentos, sejam estas transversais, para a antepraia, ou longitudinais, pelo transpasse do promontório no sentido norte.

Segundo Angulo (1992), a deriva litorânea na costa do Paraná é de sul para norte. Apesar da atuação de dois sistemas de ondas, um de leste-nordeste e outro de sul-sudeste (Alves, 1996; Nemes e Marone, 2013), o sistema de sul-sudeste é predominante e o principal responsável pela deriva no sentido norte. Mortlock e Goodwin (2016) verificaram que não existe relação direta entre os fenômenos globais, como o aquecimento e resfriamento das águas tropicais do Oceano Pacífico, e o balanço sedimentar de uma determinada praia, e consideraram também a necessidade de maior abrangência de dados em escala de tempo para confirmar

tal fato, salientando assim que os processos observados em uma praia de enseada estão ligados essencialmente ao regime de ondas dominantes. Portanto, a perda de infraestrutura urbana nos setores sul e centro-sul ocorre em princípio devido ao regime de ondas, sendo atenuada apenas quando aumenta o transpasse de sedimentos provenientes da praia de Brejatuba que contorna o Morro do Cristo.

## CONCLUSÃO

A Praia de Guaratuba teve seus limites naturais estabilizados por obras de infraestrutura urbana. Os setores sul e centro-sul do arco-praial apresentaram maior mobilidade de sedimentos decorrente da maior exposição a eventos de alta energia, que são capazes de danificar as obras junto à orla. As destruições decorrentes de eventos de alta energia foram pontuais, e dependeram do ângulo de incidência das ondas no promontório rochoso, concentrando perdas nos setores sul e centro-sul.

Os perfis planialtimétricos confirmaram a redução nos volumes de areia da parte emersa da praia, influenciada provavelmente pela estabilização artificial da linha de costa. Também foi constatado que eventos de alta energia provocam a destruição de setores da orla e que, após estes eventos, as obras de contenção são refeitas em lugar inadequado, sobre a faixa dinâmica da praia, intensificando a ação destrutiva das ondas. Conforme se avança em direção ao mar, também são reduzidas as quantidades de sedimentos disponíveis no arco-praial, o que torna o equilíbrio da praia de Guaratuba dependente dos sedimentos transportados pelo transpasse do promontório proveniente de Brejatuba ao sul.

A praia de Guaratuba apresenta aporte sazonal de sedimentos, que está relacionado com a direção das ondas que incidem sobre o arco-praial. No verão, quando há predominância de ondas provenientes do quadrante leste, ocorre maior deposição de sedimentos no arco-praial. No inverno, quando predominam as ondas do quadrante sul, o processo de difração das ondas, causado pelo promontório do Morro do Cristo, é acentuado, o que gera correntes que mobilizam maior quantidade de sedimentos.

Ao longo das campanhas, observou-se que a praia de Guaratuba apresenta três setores dinâmicos distintos. Um nos setores centro-sul e sul, com maior mobilidade de sedimentos, que provoca danos e perdas de infraestrutura, quando as variações volumétricas são acentuadas por eventos de alta energia. Outro, no setor norte, onde há menor mobilidade de sedimentos, devido à maior distância da área de influência das ondas difratadas no promontório ao sul da praia. Já o setor central tem características intermediárias, as perdas localizadas de infraestrutura decorrem da intensidade intermediária de ação de ondas e balanço sedimentar mais estável.

As perdas e aporte de sedimentos constatados pela avaliação do balanço sedimentar corroboram com os modelos propostos de praias de enseada com sua estabilidade dependente do balanço sedimentar. Também foi possível

observar que eventos de maior energia podem tanto retirar sedimentos da parte emersa da praia, quanto depositar, pelo transpasse de promontório. No setor centro-sul da praia, observa-se a maior dinâmica do arco-praial, como constatado por Klein et al. (2010) para outras praias de enseada em Santa Catarina, onde o sentido da deriva é semelhante ao da praia de Guaratuba. O balanço sedimentar da praia de Guaratuba corresponde às características de uma praia de enseada que tanto se referem a um estado de equilíbrio estático, com ondas de bom tempo quebrando perpendicularmente à costa, quanto a um estado de equilíbrio dinâmico com ondas quebrando em ângulos oblíquos, as quais geram correntes de deriva longitudinais (Silvester, 1974). Mesmo coincidindo nos aspectos gerais de praia de enseada, a praia de Guaratuba apresenta comportamento ligeiramente diferente dos modelos apresentados por Gomez Castro (2011), Ab Razak (2015) e Bracs et al. (2016). As diferenças da praia de Guaratuba para os modelos de praias de enseada podem estar relacionadas a presença de linha de costa antropizada, delimitada por um muro longitudinal, e por manter tendência negativa no volume de sedimentos na porção emersa do arco-praial, reflexo do balanço sedimentar com aporte eventual de sedimentos por transpasse por um lado e perda de sedimento por processos longitudinais e transversais, por outro.

Obras de infraestrutura limitam a dinâmica natural da praia e, na medida em que a urbanização avança sobre a faixa dinâmica da praia, ocorre a redução do volume de sedimentos disponíveis no arco-praial. Embora os sedimentos transportados pelas correntes de deriva litorânea longitudinais sejam essenciais para a manutenção dos volumes de areia no arco-praial, não são suficientes para compensar as perdas geradas pela interferência da urbanização.

## AGRADECIMENTOS

Egon Abraão de Paula Ramos agradece ao Laboratório de Estudos Costeiros (LECost) e a Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos processo 1195515 de 03/2013 – 08/2013. Rodolfo José Angulo agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de produtividade em pesquisa processos 302913/2018-1 e 311837/2022-0. Luiz Henrique Sielski agradece ao CNPq pelo auxílio financeiro, processo 383136/2015-6 e PNPd/CAPES Processo: 1729494 de 07/2017 – 07/2018.

## REFERÊNCIAS

- Ab Razak, M. S. (2015). *Natural headland sand bypassing: Towards identifying and modelling the mechanisms and processes*. Tese (Doutorado) Delft: Delft University of Technology. Disponível em: <http://resolver.tudelft.nl/uuid:4b126111-3f1b-4986-949e-4a174ebf7322>. Acessado em: 20 maio 2024.
- Alves, J. H. G. M. (1996). *Refração do espectro de ondas oceânicas em águas rasas: aplicação à região costeira de São Francisco do Sul SC*. Dissertação (Mestrado). Florianópolis: Centro Tecnológico – UFSC. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/76959>. Acessado em: 20 maio 2024.
- Angulo, R. J. (1992). *Geologia da planície costeira do estado do Paraná*. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências - USP. <https://doi.org/10.11606/T.44.1992.tde-09122015-110705>
- Angulo, R. J., Araújo, A. D. (1996). Classificação da costa paranaense com base na sua dinâmica, como subsídio a ocupação da orla litorânea. *Boletim Paranaense de Geociências*, 44, 7-17.
- Angulo, R. J., Borzone, C. A., Noernberg, M. A., Quadros, C. J. L., Souza, M. C., Rosa, L. C. (2016). The State of Paraná Beaches. In: Short, D. A. Klein A.H.F. (Eds.), *Brazilian beach Systems*, 411-446. Switzerland: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-30394-9\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-319-30394-9_16)
- Angulo, R. J., Souza, M. C., Noernberg, M. A. (2020). Anthropogenic impacts on the morphological and sedimentary processes in the coast of State of Paraná, in Southern Brazil: past and future perspectives. *Journal of Integrated Coastal Zone Management/Revista de Gestão Costeira Integrada*, 20(1), 5-25. <https://doi.org/10.5894/rgci-n197>
- Bessa Jr., O. (2003). *Interferência entre a ocupação urbana e a dinâmica natural no litoral sul do Paraná*. Tese (Doutorado). Departamento de Geologia – UFPR. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1884/48797>. Acessado em: 20 maio 2024.
- Birkemeier, W. A. (1981). *Fast Accurate Two-Person Beach Survey. Coastal Engineering Technical Aid 81-11*. Fort Belvoir: Coastal Engineering Research Center. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA107285.pdf>. Acessado em: 20 maio 2024.
- Birkemeier, W. A. (1984). *A user's guide to ISRP: the interactive survey reduction program*. US Army Engineer Waterways Experiment Station. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA151160.pdf>. Acessado em: 20 maio 2024.
- Bracs, M. A., Turner, I. L., Splinter, K. D., Short, A. D., Mortlock, T. R., (2016). Synchronised patterns of erosion and deposition observed at two beaches. *Marine Geology*. 380, 196-204. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2016.04.016>
- Esteves, L. S., Pivel, M. A. G., Da Silva, A. P., Barletta, R. D. O. C., Vranjac, M. P., De Oliveira, U. R., Vanz, A. (2000). Beachfront owners perception of beach erosion along an armored shoreline in Southern Brazil. *Pesquisas em Geociências*, 27(2), 93-109. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.20194>
- Evans, O. F. (1943). The relation of the action of waves and currents on headlands to the control of shore erosion by groins. *Proceedings of the Oklahoma Academy of Science*, 24, 9-13. Disponível em: <https://ojs.library.okstate.edu/osu/index.php/OAS/article/view/3288>. Acessado em: 20 maio 2024.

- Folk, R. L., Ward, W. C. (1957). Brazos River Bay: Study of the significance of grain size 568 parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3-26. Disponível em: [https://www.aqqua.uqam.ca/articles/Folk\\_Ward\\_27\(1\)-3.pdf](https://www.aqqua.uqam.ca/articles/Folk_Ward_27(1)-3.pdf). Acessado em: 20 maio 2024.
- Giannini, P. C. F. (2004). *Software Momentos, versão 4*. São Paulo: Instituto de Geociências - USP.
- Gomez Castro, C. (2011). *Morphological variability of embayed beaches along the Catalan coast*. Thesis (Master). Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. Disponível em: <http://resolver.tudelft.nl/uuid:65368a45-739a-4d1f-992a-25c3f91093af>. Acessado em: 20 maio 2024.
- Harley, M. D., Turner, I. L., Short, A. D., Ranasinghe, R. A. (2011). Reevaluation of coastal embayment rotation: The dominance of cross-shore versus alongshore sediment transport processes, Collaroy-Narrabeen Beach, southeast Australia. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*. 116(F4), 1-16. <https://doi.org/10.1029/2011JF001989>
- Hernández-Cordero, A. I., Hernández-Calvento, L., Hesp, P. A., Pérez-Chacón, E. (2018). Geomorphological changes in an arid transgressive coastal dune field due to natural processes and human impacts. *Earth Surface Processes and Landforms*. 43(10), 2167-2180. <https://doi.org/10.1002/esp.4382>
- Hsu, J. R. C., Evans, C. (1989). Parabolic bay shapes and applications. *Proceedings of the Institute of Civil Engineers*. 87(2), 557-570. <https://doi.org/10.1680/iicep.1989.3778>.
- Klein, A. H. F., Vargas, A., Raabe, A. L. A., Hsu, J. R. C. (2003). Visual assessment of bayed beach stability with computer software. *Computer and Geosciences*. 29, 1249-1257. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2003.08.002>
- Klein, A. H. F., Ferreira, O., Dias, J. M. A., Tessler, M. G., Silveira, L. F., Benedet, L., Menezes, J. T. G. N., Aabreu, J. G. N. (2010). Morphodynamics of structurally controlled headland-bay beaches in southeastern Brazil: A review. *Coastal Engineering*, 57, 98-111. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2009.09.006>
- Mortlock, R. T., Goodwin, I. D. (2016). Impacts of enhanced central Pacific ENSO on wave climate and headland-bay beach morphology. *Continental Shelf Research*. 120, 14-25. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2016.03.007>
- Muehe, D., Roso, R. H., Savi, D. C. (2003). Avaliação de Método Exedito de Determinação do Nível do Mar como Datum Vertical para Amarração de Perfis de Praia. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 4(1), 53-57. <https://doi.org/10.20502/rbg.v4i1.19>
- Muehe, D., Lins-de-Barros, F., Oliveira, J. F., Klumb-Oliveira, L. (2015). Pulsos erosivos e resposta morfodinâmica associada a eventos extremos na costa leste do Estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. 16(3), 369-386. <https://doi.org/10.20502/rbg.v16i3.728>
- Muehe, D. (2019). Pós-praia não deve ser traduzido como backshore – uma revisão da terminologia brasileira do sistema praia – antepraia. *Quaternary and Environmental Geosciences*. 10(1) 40-43. <https://doi.org/10.5380/abequa.v10i1.69217>
- Nemes, D., Marone, E. (2013). Caracterização das ondas de superfície na plataforma interna do Estado do Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências*. 68-69, 12-25. <https://doi.org/10.5380/geo.v69i0.26022>
- Portal G1 (Globo.com) (2016). *Ressaca atinge litoral do paraná e causa estragos*. Disponível em: <http://g1.globo.com/pr/parana/noticia/2016/10/ressaca-atinge-o-litoral-do-parana-e-causa-estragos-veja-fotos.html>. Acessado em: 15 Ag. 2018.
- Rogers, W. E., Dykes, J. D., Wang, D., Carroll, S. N., Watson, K. (2012). Validation test report for WAVEWATCH III. *NRL Memorandum Report*, 75, 7320-12. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA576706.pdf>. Acessado em: 28 maio 2024.
- Short, A. D. (1999). *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. New York: John Wiley and Sons.
- Short, A. D., Masselink G. (1999). Embayed and Structurally Controlled Beaches. In: Short A. D. (ed.) *Beach and Shoreface Morphodynamics*. 122-142. New York: John Wiley and Sons.
- Silvester, R. (1974). *Coastal Engineering*. Amsterdam: Elsevier.
- Tolman, H. L. (2002) *Validation of WAVEWATCH III version 1.15 for a global domain*. NOAA/NWS/NCEP/OMB Tech. Note 213. Disponível em: [https://polar.ncep.noaa.gov/mmab/papers/tn213/OMB\\_213.pdf](https://polar.ncep.noaa.gov/mmab/papers/tn213/OMB_213.pdf). Acessado em: 28 maio 2024.
- Tolman, H. L. (2009). *User manual and system documentation of WAVEWATCH III TM version 3.14*. Technical note, MMAB Contribution, 276, 220. Disponível em: [https://polar.ncep.noaa.gov/mmab/papers/tn276/MMAB\\_276.pdf](https://polar.ncep.noaa.gov/mmab/papers/tn276/MMAB_276.pdf). Acessado em: 28 maio 2024.
- Wentworth, C. K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *The Journal of Geology*, 30(5), 377-392. <https://doi.org/10.1086/622910>
- Wright, L. D., Short, A. D. (1984). Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis. *Marine Geology*, 56(1-4), 93-118. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(84\)90008-2](https://doi.org/10.1016/0025-3227(84)90008-2)

**Anexo I.** Dados de volume sedimentar de todas as campanhas.

	P01	P02	P02a	P03	P03a	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11	P12
17/11/2011	154,95	143,36		183,75		218,97	75,95	138,42	96,44	179,96	121,83	132,68	129,48	103,10
14/03/2012	117,69	165,71	163,16	213,73	214,40	276,19	102,14	138,86	123,96	208,26	144,63	167,49	150,44	118,33
10/05/2012	63,03	69,81	45,46	152,31	175,74	211,96	104,81	164,41	98,63	169,48	117,68	129,08	119,33	98,78
22/05/2012	58,14	66,47	125,27	170,77	165,79	200,99	91,05	144,07	92,37	163,06	120,34	118,62	112,13	98,05
19/09/2012	34,38	54,84	79,93	128,78	131,95	179,21	71,80	143,41	90,92	156,07	121,08	131,81	125,00	92,10
21/12/2012	72,09	140,24	75,47	131,54	130,98	166,59	88,31	118,86	69,97	135,52	109,43	127,10		
22/03/2013	78,18	75,29	95,60	124,50	129,77	156,04	62,32	124,45	74,39	149,75	113,47	125,02	120,33	105,81
10/05/2013	93,28	104,68	96,32	135,47	85,99	169,18	69,66	121,23	83,43	123,49	85,24	157,44	119,74	101,58
06/08/2017	94,17	124,02	70,49	105,33	67,36	113,71	33,51	99,05	61,22	112,20	61,21	96,65	119,31	92,47

Variação de volume (em m<sup>3</sup>) de sedimentos em cada perfil, por campanhas.