

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

EGON ABRAÃO DE PAULA RAMOS

VARIAÇÕES DO VOLUME E DA LINHA DE COSTA EM UMA PRAIA DE
ENSEADA, GUARATUBA, PARANÁ



CURITIBA

2018

EGON ABRAÃO DE PAULA RAMOS

VARIAÇÕES DO VOLUME E DA LINHA DE COSTA EM UMA PRAIA DE ENSEADA,
GUARATUBA, PARANÁ

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Geologia, Setor de Ciências da Terra, da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau de mestre em Geologia Ambiental.
Orientador: Prof. Dr. Rodolfo José Angulo

CURITIBA

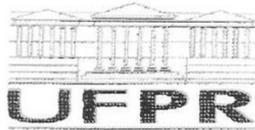
2018

R175v Ramos, Egon Abraão de Paula

Variações do volume e da linha de costa em uma praia de enseada, Guaratuba, Paraná [recurso eletrônico] / Egon Abraão de Paula Ramos – Curitiba, 2018.

Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-graduação em Geologia, Setor de Ciências da Terra, da Universidade Federal do Paraná
Orientador: Prof. Dr. Rodolfo José Angulo

1. Morfodinâmica praial. 2. Variação volumétrica sedimentar. I. Universidade Federal do Paraná. II. Angulo, Rodolfo José. III. Título.
CDD 551.4



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR CIÊNCIAS DA TERRA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO GEOLOGIA

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOLOGIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **EGON ABRAÃO DE PAULA RAMOS** intitulada: **VARIAÇÕES DO VOLUME E DA LINHA DE COSTA EM UMA PRAIA DE ENSEADA, GUARATUBA, PARANÁ**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua aprovação no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 20 de Setembro de 2018.

RODOLFO JOSÉ ANGULO

Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

LUIZ ALBERTO FERNANDES

Avaliador Interno (UFPR)

FLAVIA MORAES LINS DE BARROS

Avaliador Externo (UFRJ)

AGRADECIMENTOS

Ao orientador Rodolfo Angulo pela oportunidade e orientação, ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Aos companheiros de laboratório e de campo, que com certeza tem grande participação na confecção deste trabalho. A todos aqueles que trabalharam e estudaram comigo e que de alguma forma contribuíram com minha formação acadêmica e profissional.

RESUMO

As praias de enseada constituem um tipo específico de ambiente praial delimitado por dois promontórios rochosos nas suas extremidades, e tendem a um equilíbrio dinâmico ou estático em relação ao transporte de sedimentos. Os promontórios rochosos provocam redirecionamento na direção das ondas, que geram correntes responsáveis pela mobilização de areia no arco-praial. A praia de Guaratuba, com densa ocupação urbana na sua orla, é uma praia de enseada localizada no estado do Paraná, com 2.440 m de extensão, limitada pelo o Morro do Cristo, ao sul, e o Morro de Caieiras, ao norte. A praia possui dinâmica complexa, com migração sazonal e interanual dos bancos de areia. Muros, calçadões e avenidas, quando instalados sobre a faixa da dinâmica natural da praia, estão sujeitos à destruição periódica pela ação das ondas. Esta pesquisa teve como objetivo identificar e quantificar as variações do volume praial e da posição da linha de costa da praia de Guaratuba. Foi realizada análise decadal da variação de linha de costa, a partir da interpretação das imagens aéreas de datas distintas disponíveis em arquivos e também no software *GoogleEarth*. Para o monitoramento sazonal da linha de costa e do volume praial, foram utilizados dados de 14 perfis planialtimétricos praias, realizados sazonalmente em 8 campanhas, de 2012 a 2018. A interpolação dos dados mostrou que a dinâmica no arco da praia de Guaratuba contempla processos, como o headland bypass, que envolvem o redirecionamento das ondas devido a presença do Morro do Cristo na porção sul do arco-praial, e o transpasse de sedimentos carregados por deriva litorânea que contornam o promontório. Durante o período observado se quantificou uma diminuição nos volumes de sedimentos da porção emersa do arco-praial. A difração das ondas e o transpasse de sedimentos são interpretados neste trabalho como sendo responsáveis pela maior variação nos volumes de sedimentos e maior mobilidade dos bancos de areia na porção sul do arco-praial. Em situações de ressaca, e marés meteorológicas intensificadas por marés de sizígia o espraiamento das ondas fica limitado pelo muro, este fato ocasiona perdas periódicas de infraestrutura urbana. A estabilização da linha de costa por meio de infraestrutura urbana provoca a limitação dos processo naturais do ambiente praial. A interpretação das imagens aéreas de datas distintas possibilitou a determinação da posição da linha de costa antes das obras de infraestrutura, tornando possível a observação do avanço da faixa antrópica sobre o prisma praial. Nos lugares onde se observa reconstrução

periódica dos muros, se verificou um novo avanço da infraestrutura urbana sobre a praia, cerca de 3 a 4 metros em direção ao mar. Este avanço sobre o limite de dinâmica natural da praia acaba por provocar a redução de sedimentos disponíveis no arco-praial, acentuando os processos de destruição da infraestrutura urbana.

Palavras-chave: Dinâmica natural, Praia de Guaratuba, Praia de enseada, antropização, balanço sedimentar

ABSTRACT

The embayed beaches constitute a specific type of beach environment anchored by two rocky promontories at their ends, and tend to a dynamic or static balance in relation of your to sediment transport. The rocky promontories cause redirection of waves, which generate currents responsible for the mobilization of sand in the beach arch. Guaratuba Beach, with dense urban occupation on its border, is a embayed beach located in the state of Paraná, with a length of 2,440 m, bounded by the Morro do Cristo in the south, and the Morro de Caieiras in the north. The beach has complex dynamics, with seasonal and interannual migration of the sandbanks. Walls, sidewalks and avenues, when installed on the range of the natural dynamics of the beach, are subject to periodic destruction by the action of the waves. The objective of this research was to identify and quantify variations in the praiial volume and orientation of the Guaratuba Beach coastline. Decadal analysis of the coastline variation was performed, based on the interpretation of the aerial images of different dates available in archives and also in the GoogleEarth software. For the seasonal monitoring of the coastline and the beach volume, data from 14 beach planialtimetric profiles were used, seasonally performed in 8 seasons, from 2012 to 2018. Data interpolation showed that the dynamics in the arch of Guaratuba Beach include processes that involve the redirection of the waves do to the presence of Morro do Cristo in the southern portion of the beach bow, and the transgression of sediments carried by coastal drift that surround the promontory. During the observed period, a decrease in the volumes of sediments of the emerged portion of the cove beach was quantified. The diffraction of the waves and the transgression of sediments are interpreted in this work as being responsible for the greater variation in sediment volumes and greater mobility of the sandbanks in the southern portion of the beach arch. In situations of undertow, and tides intensified by tidal waves, the wavelengths are limited by the wall, which causes periodic losses of urban infrastructure. The stabilization of the line constructed by the urban infrastructure causes the limitation of the natural processes of the praiial environment. The interpretation of the aerial images of distinct dates made possible the determination of the position of the coastline before the infrastructure works, making possible the observation of the advancement of the anthropic band on the prism. In places where there is periodic reconstruction of the walls, a new advance of the urban infrastructure on the beach was verified, about 3 to 4 meters towards the sea. This

advance on the limit of natural dynamics of the beach ends up causing the reduction of sediments available in the beach bow, accentuating the processes of destruction of the urban infrastructure.

Keywords: coastline, embayed beach, beach volume, Guaratuba, anthropization

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Forma em planta de uma praia de enseada e suas barreiras físicas (traduzido de Finkelstein, 1981).	10
Figura 2. Efeito das ondas quebrando (a) obliquamente à costa e (b) d perpendicularmente à costa (traduzido de Ab Razak 2015).	12
Figura 3. Representação do processo de rotação da praia (traduzido de Short & Masselink, 1999).	13
Figura 4. Definição dos pontos de controle (Klein et al., 2003).	16
Figura 5. Aplicação do modelo Parabólico (Klein et al., 2003).	16
Figura 6. Localização da Praia de Guaratuba e dos pontos de amostragem e dos perfis praias. Fonte: Adaptado de Google Maps (2017).	20
Figura 7. Alinhamento dos perfis usando edificações urbanas.	21
Figura 8. Fotografia da área de estudo mostrando como é feita a amarração das rés em postes e estruturas urbanas localizadas na orla. Fonte: Google Earth, 2013.	21
Figura 9. Parâmetros de ondas durante o evento de alta energia que ocorreu em 29 de outubro de 2016.	25
Figura 10. Altura, direção e período das ondas em: (a) 14/03/2012; (b) 22/05/2012; (c) 19/09/2012; (d) 21/12/2012. (e) 22/03/2013; (f) 10/05/2013; (g) 06/08/2017; (h) 16/03/2018.	26
Figura 11. Variação do volume sedimentar de cada perfil em cada levantamento. Os perfis P01 a P05 correspondem ao setor sul do arco-praial e os perfis P06 a P12 ao setor norte. Para localização ver Figura 6.	27
Figura 12. Perfil 01 localizado na porção sul do arco-praial. Para localização ver Figura 6.	29
Figura 13. Local do extremo sul do arco-praial onde foi realizado o Perfil 01, onde se observa (a) larga faixa de praia emersa, que inclui campo de futebol, no final do verão (14 de março) de 2012 e (b) estreita faixa de areia no outono (10 de maio) do mesmo ano.	29
Figura 14. Variação do volume sedimentar no Perfil 01, em m ³	30
Figura 15. Perfil 06. Notar o avanço do muro de contenção nos perfis de 2017 e 2018 em relação ao muro dos anos anteriores. Para localização ver Figura 6.	31
Figura 16. Perfil 03. Notar o menor volume de sedimentos em relação ao setor sul (Perfil 01, figura 14) e grande variação do volume nos diferentes levantamentos.	32
Figura 17. Perfil 05. Notar as variações de volume antes (10/05/2012) e após o evento de alta energia de ondas (22/05/2012). Notar também o avanço do muro de contenção em direção ao mar, em 2018, em relação ao muro existente em 2017,	32
Figura 18. Perfil 07, representativo das variações do volume praial no setor central da praia.	33
Figura 19. Perfil 08, representativo das variações do volume praial no setor central da praia.	33
Figura 20. Perfil 12, representativo das variações do volume praial no setor norte da praia.	34

Figura 21. Variação do volume sedimentar no Perfil 12, representativo do setor norte do arco-praial, evidenciando estabilidade ao longo do período monitorado.	34
Figura 22. Variação do volume de sedimento por perfil considerando o desvio padrão em relação à média de volume medido no período observado. Região sul do arco-praial: P01 a P05; região norte do arco-praial: P06 a P12. Em roxo: Desvio padrão da média de volume de sedimentos.	35
Figura 23. Imagens aéreas da porção sul da praia de Guaratuba: (a) na primavera (04 de outubro) de 2001 (b) no verão (08 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. (M) Morro do Cristo.	37
Figura 24. Modelo conceito de transporte de sedimento através do promontório. As linhas pontilhadas indicam a deriva litorânea predominante. Letra A representa qualquer tipo de sedimento em suspensão passivo de ser carregado. O ponto B representa o ponto de desaceleração das correntes por causa da curvatura observada, provocando deposição de sedimentos. O aumento da velocidade do vento resulta no aumento na energia das ondas incidentes, fazendo com que o sedimento depositado no ponto B seja mobilizado para barlavento, escoando para porção submersa localizada em frente ao promontório rochoso marcado com a letra C. Este movimento pode resultar na construção de um esporão a sotavento do promontório (letra D), ou erosão do ponto D e E devido a variação na direção das ondas, que podem tanto depositar quanto retirar sedimentos. A letra F respresenta o ponto em que sedimentos podem escapar para corrente contrária a deriva e se depositarem na região de sombra do promontório, sendo mobilizado no sentido contrário da deriva predominante (Evans, 1943 apud Ab Razak 2015).	39
Figura 25. Distribuição das classes granulométricas, nos diferentes levantamentos, nos perfis (a) P02, (b) P06, (c) P10 e (d) P11.	40
Figura 26. Desvio padrão do tamanho dos grãos ao longo do arco-praial de Guaratuba nos diferentes levantamentos.	41
Figura 27. Diâmetro médio (mm) da areia ao longo do arco-praial de Guaratuba, nos diferentes levantamentos.	41
Figura 28. Interface do software Mepbay simulando sobre imagem aérea a linha de costa teórica resultante de ondas vindas do quadrante leste (a) e sul(b), mostrando o resultado obtido para a Praia de Guaratuba em 17/10/2012.	44
Figura 29. Sobreposição das linhas de costas de 1963, 1980 e 2016 sobre a imagem aérea de 1963. Praia de Guaratuba-PR.	45
Figura 30. Sobreposição das linhas de costa de 1963, 1980 e 2016 sobre a imagem aérea de 1963, da parte norte da Praia de Guaratuba-PR.	46
Figura 31. Sobreposição das linhas de costa de 1963, 1980 e 2016 sobre a imagem aérea de 1963, da porção central do arco da Praia de Guaratuba-PR.	47
Figura 32. Sobreposição das linhas de costa de 1963, 1980 e 2016 sobre a imagem aérea de 1963, da parte sul da Praia de Guaratuba-PR.	47

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
1.1. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	8
1.2. APRESENTAÇÃO	8
1.3. JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS	9
2. REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1. PRAIAS DE ENSEADA.....	9
2.1.1. TRANSPASSE DE SEDIMENTOS EM PROMONTÓRIOS.....	11
2.1.2. ROTAÇÃO DE SEDIMENTOS EM PRAIAS DE ENSEADA	12
2.2. CLIMA DE ONDAS EM PRAIAS DE ENSEADA.....	13
2.3. O MODELO PARABÓLICO DE PRAIAS DE ENSEADA DE HSU & EVANS (1989).....	14
3. Artigo: CARACTERIZAÇÃO DAS VARIAÇÕES VOLUMÉTRICAS E MORFOLOGICAS E DA INFLUÊNCIA DA ANTROPIZAÇÃO NO ARCO-PRAIAL DA PRAIA DE GUARATUBA-PR.	18
3.1 INTRODUÇÃO.....	18
3.2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	18
3.3. MATERIAIS E MÉTODOS	19
3.3.1. Aplicação do modelo parabólico de praias de enseada proposto por HSU & EVANS (1989).	22
3.3.2. Avaliação da variação da linha de costa	22
3.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
3.4.1. VARIAÇÃO DO VOLUME PRAIAL	23
3.4.2. CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA	39
3.4.3. Variações na configuração da linha de costa	42
Aplicação do modelo parabólico de Hsu & Evans (1989) para praias de enseada.....	42
4. CONCLUSÃO	48
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
6. REFERÊNCIAS	52
ANEXOS.....	56

1. INTRODUÇÃO

1.1. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está estruturada da seguinte forma: (a) um capítulo introdutório contendo a apresentação, a justificativa e os objetivos do trabalho; (b) um capítulo contendo o referencial teórico; (c) um capítulo, na forma de um artigo, com os resultados, discussão e conclusões, e (d) um capítulo com as considerações finais englobando os principais aspectos abordados no trabalho. O artigo contempla um estudo sobre as variações do volume do prisma praial e da morfologia do arco-praial da praia de Guaratuba, a fim de avaliar se a ocupação urbana da costa tem influência na dinâmica natural da praia.

1.2. APRESENTAÇÃO

As praias de enseada se distinguem dos demais ambientes costeiros por apresentarem limites físicos em suas extremidades, que influenciam a configuração da linha de costa. A presença destas barreiras físicas provocam alteração das ondas que incidem no arco-praial, fazendo com que os sedimentos da praia sejam transportados, não só por deriva litorânea, o que resulta em um transporte longitudinal, como também pela variação na direção das ondas que entram no arco-praial, podendo provocar um transporte perpendicular de sedimentos (Short, 1999). Em praias de enseada em que houve uma urbanização da linha de costa sem estudos prévios, é possível observar que a estabilização artificial do traçado do arco-praial pode provocar a limitação da dinâmica natural do ambiente (Bessa, 2003).

Nesta pesquisa será considerado o conceito de linha de costa de acordo com o Boak e Turner (2005), que julga que a linha de costa de uma praia é definida a partir da interpretação proveniente dos métodos aplicados em cada local de estudo, devido às características do ambiente, tais como o clima, a geologia, a hidrodinâmica e a hidrologia. Tendo em vista a complexidade dos processos que envolvem a praia de Guaratuba (PR), é necessário que vários métodos em conjunto sejam utilizados para a delimitação da linha de costa. Sendo assim, este trabalho considerou o georreferenciamento e interpretação de imagens aéreas, em conjunto com levantamento

de perfis planialtimétricos para definir que a infraestrutura urbana é a principal responsável pela limitação da dinâmica natural da praia e que esta constituiu a linha de costa artificializada.

1.3. JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS

Estudos em ambientes costeiros que contemplam praias com configuração semelhantes a praia de Guaratuba – PR, são necessários para constituir uma base de dados expressiva, útil em programas de gerenciamento costeiro que visam à minimização dos riscos associados à erosão, principalmente em relação à ocupação humana na região.

O aumento da ocupação da orla litorânea da praia de Guaratuba – PR nas últimas décadas, fez com que a linha de costa da praia fosse forçadamente estabilizada mediante a construção de muros para contenção da ação do mar. Este fato, paralelo ao desconhecimento da dinâmica desta praia, tem provocado diversos problemas relacionados à antropização da praia, tais como a destruição de obras de infraestrutura urbana e também a redução nos estoques de sedimentos disponíveis no arco-praial. Por meio da compreensão das mudanças na forma e no volume de sedimentos desta praia, o trabalho poderá ser útil na gestão das regiões litorâneas de características similares, em especial onde se identifica um conflito entre a ocupação urbana e a dinâmica natural do ambiente costeiro. Portanto, este trabalho deve contribuir para a compreensão da dinâmica do ambiente em questão e também servir como subsídio para planos de ocupação e zoneamento da orla litorânea.

Os objetivos desta pesquisa são (a) identificar e quantificar as variações de volume do prisma praial e da orientação da linha de costa ao longo do arco-praial da praia de Guaratuba; (b) validar o comportamento parabólico desta praia e (c) avaliar a adequação da localização das construções costeiras a partir da mobilidade e processos costeiros observados.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. PRAIAS DE ENSEADA

As praias de enseada ocorrem em 51% da extensão das costas do planeta (Short & Masselink, 1999). Estes ambientes são caracterizados por apresentarem em sua configuração obstáculos físicos, que podem ser barreiras naturais, como promontórios

rochosos, ou também barreiras antrópicas, por exemplo, obras de infraestrutura costeira. As praias de enseada apresentam uma porção côncava, próxima à região onde forma uma zona de sombra em relação à direção de maior incidência de ondas, uma porção central levemente curvada, e outra porção retilínea mais exposta à energia de ondas incidente (Short & Masselink, 1999, Figura 1).

As praias de enseada apresentam uma morfodinâmica distinta às demais praias arenosas oceânicas, devido à presença das duas barreiras físicas que delimitam sua área, e da sua concavidade, que fazem com que a direção e a energia das ondas que se dissipam sejam diferentes ao longo do arco-praial (Short & Masselink, 1999). O padrão de comportamento dos sedimentos é dependente da direção e da energia das ondas incidentes (Finkelstein, 1981).

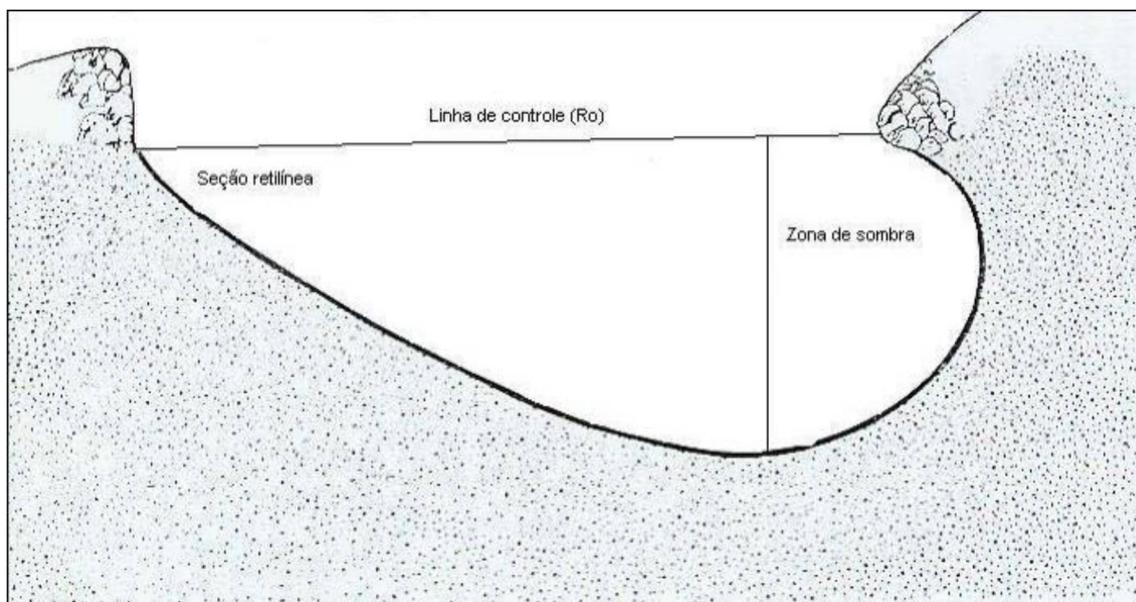


Figura 1. Forma em planta de uma praia de enseada e suas barreiras físicas (traduzido de Finkelstein, 1981).

Estudos têm sido feitos em todo o mundo em busca da melhor compreensão do comportamento das praias arenosas oceânicas. Ranasinghe *et al.* (2004) monitoraram duas praias de enseada semelhantes em New South Wales (Austrália) em períodos de El Niño e La Niña, e observaram uma relação entre estes fenômenos climáticos e a rotatividade de deposição e erosão de sedimentos nestas praias. Já Mortlock & Goodwin (2016) afirmam que a interpretação da morfodinâmica de praias com enseada é mais complexa que o simples paradigma que diz que os processos de erosão e deposição seguem um comportamento padrão de acordo com o fenômeno climático atuante (El Niño e La Niña). Bracs *et al.* (2016) realizaram um estudo comparativo entre duas praias

australianas (Wamberal e Narrabeen) que distam entre si 35 km, com características geomorfológicas semelhantes, incluindo configuração da linha de costa e regime de ondas e verificaram que, em um período de 3 anos, os processos de erosão e deposição de sedimentos foram similares entre as praias. No Brasil, Klein *et al.* (2010) constataram que em praias de Santa Catarina, entre Laguna e a Ilha de São Francisco, os padrões de remoção de sedimentos variam de acordo com o grau de curvatura da praia, mostrando índices de transporte de sedimentos mais acentuados em praias com maior curvatura e um transporte menos acentuado em praias com menos curvatura dentro do arco-praial. Na região sul do Brasil, é possível verificar a existência de várias praias que possuem configuração da linha de costa características de praias de enseada, como é o caso da praia de Guaratuba, localizada no estado do Paraná. Bessa (2003) constatou que este ambiente, delimitado por dois promontórios rochosos, possui dinâmica complexa, com migração sazonal e interanual dos bancos de areia, principalmente na porção sul. Angulo *et al.* (2016) afirmam que os sedimentos da praia de Guaratuba são provenientes da praia de Brejatuba, localizada ao sul.

Os estudos morfológicos e volumétricos de praias arenosas auxiliam no gerenciamento costeiro por fornecerem informação para os gestores ambientais. Há significativa ocupação urbana na praia de Guaratuba, este fato pode afetar diretamente no equilíbrio dinâmico ou estático de praias de enseada. Estudos da morfologia e volume destes ambientes contribuem na identificação de alterações no equilíbrio do arco-praial e nas áreas mais sujeitas à erosão costeira. A hipótese a ser testada é se a dinâmica natural da praia de Guaratuba está sendo afetada pela estabilização artificial da linha de costa, principalmente em relação ao volume de areia e à forma da praia.

2.1.1. TRANSPASSE DE SEDIMENTOS EM PROMONTÓRIOS

Gomez Castro (2011) e Ab Razak (2015) realizaram pesquisas que tiveram como objetivo avaliar o transporte de sedimentos entre duas praias separadas por um promontório e mostraram que a deriva litorânea exerce grande influência no balanço de sedimentos que entram e saem de uma praia de enseada. De acordo com Gomez Castro (2011), este aporte de sedimentos ocorre em ambientes com grande disponibilidade de sedimentos. Já Ab Razak (2015) sugere que quanto maior a distância entre o promontório e a praia que está fornecendo sedimentos, maior será a profundidade da ponta do promontório, e por consequência maior a dificuldade de

migração de areia em torno do promontório. Outro fator importante a se considerar é o ângulo com que as ondas incidem no arco-praial, como ilustrado na Figura 2, onde é possível observar que a incidência oblíqua de ondas resulta num comportamento de sedimentos diferente de quando a incidência é perpendicular (Ab Razak, 2015).

Para que ocorra o transporte de sedimentos contornando o promontório (Figura 2), Short (1999) afirma que é necessária grande energia de onda. Este transporte em torno do promontório é associado aos processos de perda e ganho de sedimentos na praia de enseada que está localizada do outro lado do obstáculo natural.

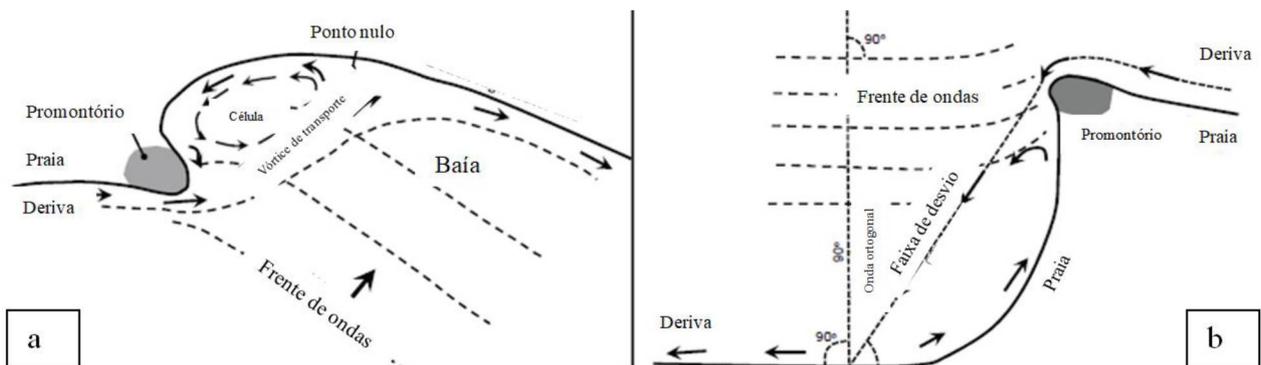


Figura 2. Efeito das ondas quebrando (a) obliquamente à costa e (b) perpendicularmente à costa (traduzido de Ab Razak 2015).

2.1.2. ROTAÇÃO DE SEDIMENTOS EM PRAIAS DE ENSEADA

Segundo Mortlock e Goodwin (2016), as praias de enseada são sujeitas a diferentes regimes de ondas ao longo do tempo. Esta variação no regime de ondas associada à presença de promontórios nos limites do arco-praial faz com que os sedimentos se mobilizem seguindo um padrão rotacional. Isto significa que nas regiões de sombra destes obstáculos naturais, os sedimentos seguem um transporte diferente da porção retilínea. Klein *et al.* (2010) sugerem que estes obstáculos podem funcionar como uma armadilha de sedimentos, limitando o transporte dentro do arco-praial (Figura 3).

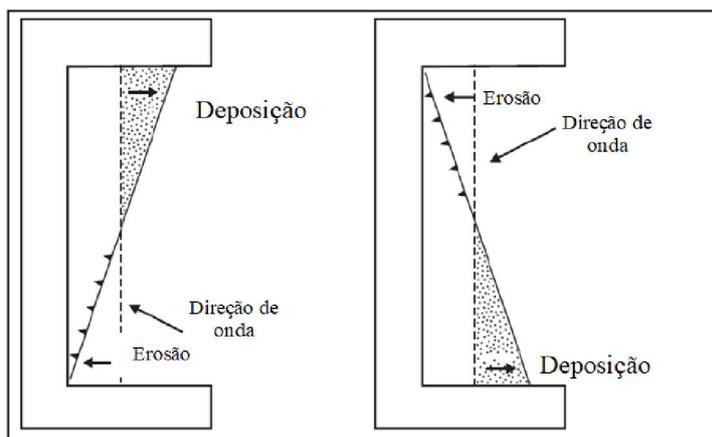


Figura 3. Representação do processo de rotação da praia (traduzido de Short & Masselink, 1999).

2.2. CLIMA DE ONDAS EM PRAIAS DE ENSEADA

O padrão de distribuição de sedimentos em uma praia de enseada depende da direção de ondas, que podem promover equilíbrio estável ou estático. Este processo é observado quando ocorre um ajuste sedimentar em relação ao padrão de ondas refratado, que pode ocorrer quando trens de ondas dominantes atingem toda a extensão da praia em ângulo de 90° (as cristas de onda quebram simultaneamente ao longo da praia e o transporte longitudinal de sedimento, bem como os processos de erosão e deposição, inexistem). Já o equilíbrio dinâmico ou instável ocorre quando a direção predominante das ondas que atingem a costa é oblíqua em relação ao arco-praial, gerando transporte longitudinal de sedimentos (Silvester, 1970).

Em alguns casos são observadas perdas temporárias de sedimentos da porção emersa da praia devido ao deslocamento de bancos de areia em função da alta energia de ondas geradas por tempestades, ou também por transportes sazonais de sedimentos (Short & Masselink, 1999). Porém, em escalas interanuais estas praias tendem a manter um equilíbrio constante (Bracs *et al.*, 2016). A presença dos obstáculos físicos gera uma armadilha de sedimentos, confinando-os entre os dois promontórios, e por consequência limitando o transporte transversal e longitudinal (Klein *et al.*, 2010).

Segundo Yasso (1965), a existência de barreiras físicas em uma praia de enseada podem influenciar na configuração do arco-praial das seguintes formas: 1- Interrupção do fluxo de sedimentos que está sendo transportado pelas correntes de deriva litorânea predominante na região. 2- Dissipação da energia das ondas por turbulência ou reflexão e 3- redistribuição da energia das ondas por refração e difração.

Em praias abrigadas ou estuarinas, a efetividade da deriva litorânea é nula, já em praias de enseada expostas ao mar aberto este processo pode influenciar os volumes de areia que se mobilizam no arco-praial. Ao atingirem os promontórios rochosos presentes nas extremidades de uma praia de enseada, as ondas podem ser refletidas, o que auxilia na mobilização de sedimentos transportados por deriva litorânea, de forma a contornar o obstáculo, promovendo aporte de sedimento dentro do arco-praial. O redirecionamento das ondas que atingem uma barreira física é caracterizado como difração, processo que pode exercer um padrão dinâmico nas correntes geradas por ondas dentro do arco-praial. As ondas ao atingirem profundidades mais rasas, podem ter sua direção alterada em função do contato com o fundo, caracterizando o processo de refração, o principal responsável pela mobilidade de sedimentos e equilíbrio da configuração do arco-praial. A ocorrência de fenômenos climáticos globais pode provocar alteração no regime de ondas, alterando a direção de maior incidência.

2.3. O MODELO PARABÓLICO DE PRAIAS DE ENSEADA DE HSU & EVANS (1989)

Ao longo dos anos foram desenvolvidos modelos empíricos e considerados eficientes no que se refere ao estudo comportamental das praias de enseada, e se destacam o modelo Logaritmo Espiral (Silvester, 1970), modelo Parabólico (Silvester & Hsu, 1993), e o modelo Hiperbólico (Moreno & Kraus, 1999). Segundo Klein *et al.* (2010), o modelo parabólico se apresenta mais eficiente devido a não representar apenas uma solução matemática levando em conta apenas a configuração geométrica da praia, mas por levar em consideração o ângulo de maior energia de ondas incidentes (obliquidade). Desenvolvido por Hsu & Evans (1989), o modelo parabólico se baseia em uma série de experimentos em modelo reduzido, e tem como objetivo estabelecer relações entre as características geométricas da praia e o ângulo de maior incidência das ondas predominantes.

Para a aplicação modelo Parabólico utiliza-se um mapa ou carta topográfica, uma fotografia aérea vertical ou uma imagem de satélite de uma praia, para traçar as retas e obter os ângulos. A aplicação do modelo é adimensional, não importando a escala dos mapas ou cartas topográficas (Hsu & Evans 1989).

Segundo Klein *et al.* (2010), para aplicar o modelo são definidos alguns parâmetros:

(a) Definição da linha de controle: traça-se uma reta do ponto onde ocorre a difração de ondas (ponto de difração), que é onde existe o obstáculo físico que altera a trajetória inicial das ondas que chegam à praia, até o final da parte retilínea da praia (ponto de retilinidade), ou seja, até o ponto em que o modelo exerce influência no traçado da linha de costa, efetuando-se a medida do comprimento da reta (Figura 2.4). Como resultado tem-se o **R.o**.

(b) Direção predominante de ondas e o ângulo beta: traça-se uma reta sobre a parte mais retilínea da praia e une-se esta reta ao **R**, sendo o ângulo formado entre estas denominado de ângulo beta (β), medido em graus.

(c) Os raios R: de posse de um transferidor de **n** graus deve-se traçar linhas, de 10 em 10 graus, até um máximo de 150 graus, partindo do ponto de difração de ondas até a linha de costa. Assim, são obtidos os raios R para cada ângulo teta formado. N

(d) Determinação do comprimentos dos raios R : O comprimento de cada raio R_n é **n** encontrado aplicando-se a equação 1, com valores diferentes de C1, C2, e C3 obtidos, em relação ao ângulo.

(c) A linha teórica de costa: após serem calculados todos os valores dos R para cada ângulo n teta, deve-se unir as extremidades de cada raio obtendo-se a Linha de Costa Teórica da praia, em planta. Com isso, o usuário pode identificar, tendo conhecimentos básicos sobre o assunto, se a praia analisada encontra-se numa situação de equilíbrio estático, onde não ocorrerão modificações morfológicas na linha de costa, ou se a mesma encontra-se em equilíbrio dinâmico, onde a linha de costa tende a assumir uma forma diferente da atual.

Devido a aplicação de modelo parabólico se mostrar muito trabalhoso e demorado, Klein *et al.* (2003) constataram que com auxílio de processamento computacional a aplicação do modelo pode ser facilitada. Dessa forma, Klein *et al.* (2003) desenvolveram um *software* que simulasse a aplicação do Modelo de Equilíbrio em Planta de Praias de Enseada (MEPPE).

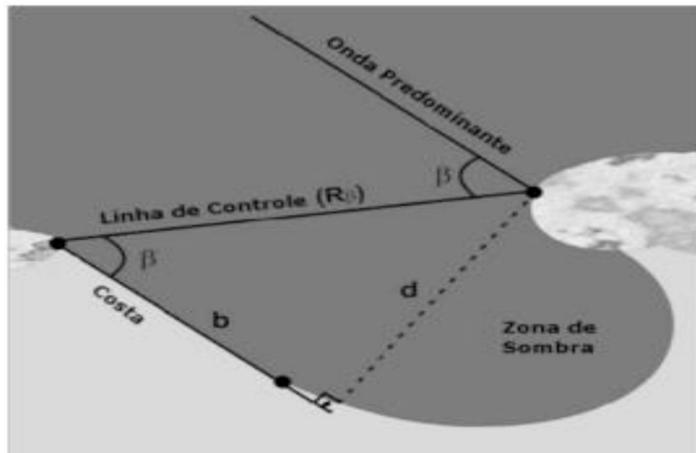


Figura 4. Definição dos pontos de controle (Linha de controle, Linha de crista de ondas predominantes, β (Beta)). (Klein et al., 2003).

Segundo a Figura 4, R_β é Linha de controle (linha que une o ponto de controle localizado no promontório rochoso aonde se inicia o processo de difração de ondas, até a extremidade final da praia); Linha de crista de ondas predominantes (obliquidade das ondas): A obliquidade das ondas predominantes na praia de enseada em questão é obtida a partir de fotografias aéreas ou mapas que estão sendo utilizados, e corresponde a uma linha paralela à porção mais retilínea da praia. ; β (Beta): Ângulo formado entre as linhas de crista de onda predominantes e a linha de controle R_β .

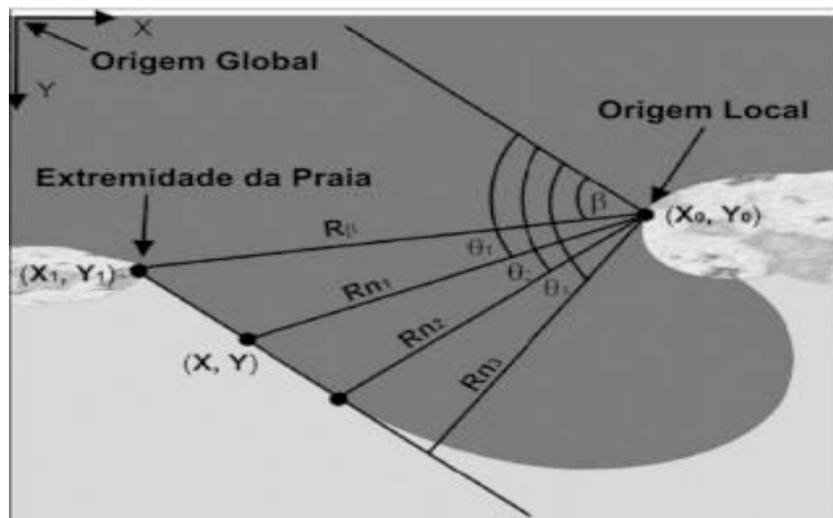


Figura 5. Croqui do Modelo Parabólico (Klein et al., 2003).

Na Figura 5, é possível verificar o desenvolvimento do modelo e a aplicação de ajustes de curvas a dados extraídos de modelos reduzidos. A análise de praias naturais consideradas em equilíbrio estático resultou a equação (1).

$$R_n/R_\beta = C_0 + C_1 * \beta/\theta_n + C_2 * (\beta/\theta_n)^2 \quad (1)$$

θ (*Teta*): Ângulo formado entre a linha de crista de onda e os demais comprimentos R_n .

R_n .: Comprimentos obtidos a partir da linha de ondas predominantes ligados a outros pontos ao longo da praia.

Coeficientes C_0 , C_1 e C_2 são dados em função do ângulo beta em questão conforme as equações (2, 3 e 4), a maioria das praias de enseada apresentam valores de beta em torno 20 a 80 graus. Tem sido verificado que a curva desta equação corrobora com toda periferia das praias de enseada de forma satisfatória.

$$C_0 = 0,0707 - 0,0047\beta + 0,000349 \beta^2 - 0,00000875\beta^3 + 0,0000004765\beta^4 \quad (2)$$

$$C_1 = 0,9536 - 0,0078\beta + 0,0004879\beta^2 - 0,000182\beta^3 + 0,0000001281\beta^4 \quad (3)$$

$$C_2 = 0,0214 - 0,0078\beta + 0,0003004\beta^2 - 0,00001183\beta^3 + 0,00000009343\beta^4 \quad (4)$$

Algumas outras variáveis associadas com enseadas naturais, como o tipo de praia (morfo dinâmico) e período da onda e altura não são incluídas por serem consideradas insignificantes no resultado final (Klein et al. 2003, Hsu & Evans, 1989). Assim, no modelo são considerados principalmente dados de direção de ondas incidentes.

3. Artigo: CARACTERIZAÇÃO DAS VARIAÇÕES VOLUMÉTRICAS E MORFOLOGICAS E DA INFLUÊNCIA DA ANTROPIZAÇÃO NO ARCO-PRAIAL DA PRAIA DE GUARATUBA-PR

3.1 INTRODUÇÃO

A Praia de Guaratuba é uma praia de embaiamento localizada no estado do Paraná. Este ambiente costeiro apresenta uma dinâmica de formas distinta às demais praias arenosas oceânicas, devido à presença das duas barreiras físicas que delimitam sua área, e da sua concavidade, que fazem com que a direção e a energia das ondas que se dissipam sejam diferentes ao longo do arco-praial, como já observado em outras praias por Short & Masselink (1999). A ocupação urbana dos ambientes costeiros muitas vezes não leva em consideração a dinâmica natural das praias. Muros, calçadões e avenidas, quando instalados sobre a faixa dinâmica da praia, estão sujeitos à destruição periódica pela ação das ondas. A hipótese a ser testada nesta pesquisa diz respeito a existência de um conflito entre a dinâmica natural da praia de Guaratuba e sua faixa antrópica. Esta pesquisa teve por objetivo identificar e quantificar as variações do volume praial e orientação da linha de costa, visando identificar pontos da praia onde os processos de transporte de sedimentos sejam acentuados, de forma a comprometer as obras de infraestrutura urbana presentes no arco-praial.

3.2. CARACTERIZAÇÃO DA 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" a 25° 53' 23"S (Figura 6). O arco-praial tem 2.440 m de comprimento e é delimitado por dois promontórios rochosos o Morro do Cristo ao sul, e o Morro das Caieiras, ao norte (Figura 6). 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, 1993; Bessa 2003). A parte norte do arco-praial é influenciada pela dinâmica das correntes de maré da baía de Guaratuba (Angulo & Araújo, 1996). De acordo com Angulo *et al.* (2016) os sedimentos da praia de Guaratuba é proveniente da praia de Brejatuba, localizada ao sul (Figura 6).

3.3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.3.1. Avaliação da variação do volume do prisma praiial

Para avaliar as variações de volume do prisma praiial foram realizados quatorze perfis planialtimétricos ao longo do arco-praiial distantes cerca de 150 m entre si (Figura 6), em oito campanhas em 2012, 2013, 2017 e 2018. Os perfis foram levantados com o auxílio de um nível de precisão, trena e régua, seguindo método de Birkemeier (1981).

Para o alinhamento perpendicular dos perfis em relação à linha de costa, foram usadas edificações que pudessem servir como referência no terreno. Estes pontos de referência foram tomados como zero relativo, a partir dos quais foram posicionadas as estacas delimitando as feições morfológicas do perfil em direção ao mar (Figura 7 e Figura 8).

O cálculo de volume praiial foi feito considerando a porção emersa do perfil, medido a partir do nível médio da maré que foi calculado por meio de regra de três simples em relação à maré medida na hora do levantamento do perfil. Foi considerado um metro de largura para cada perfil, juntamente com os dados obtidos de comprimento e altura dos levantamentos planialtimétricos usando a fórmula de cálculo de área de um trapézio, construindo assim um gráfico por meio de interpolação linear.

Posteriormente foi feita a comparação das variações volumétricas dos perfis praiiais com os dados de ondas. Para caracterização do regime de ondas durante o período de levantamento de dados em campo, a fim de estimar a sua influência no balanço sedimentar, foram utilizados dados do ponto de latitude -26° S e longitude $-48,3^{\circ}$ W, do modelo NWW3 (*NOAA Wavewatch III*).

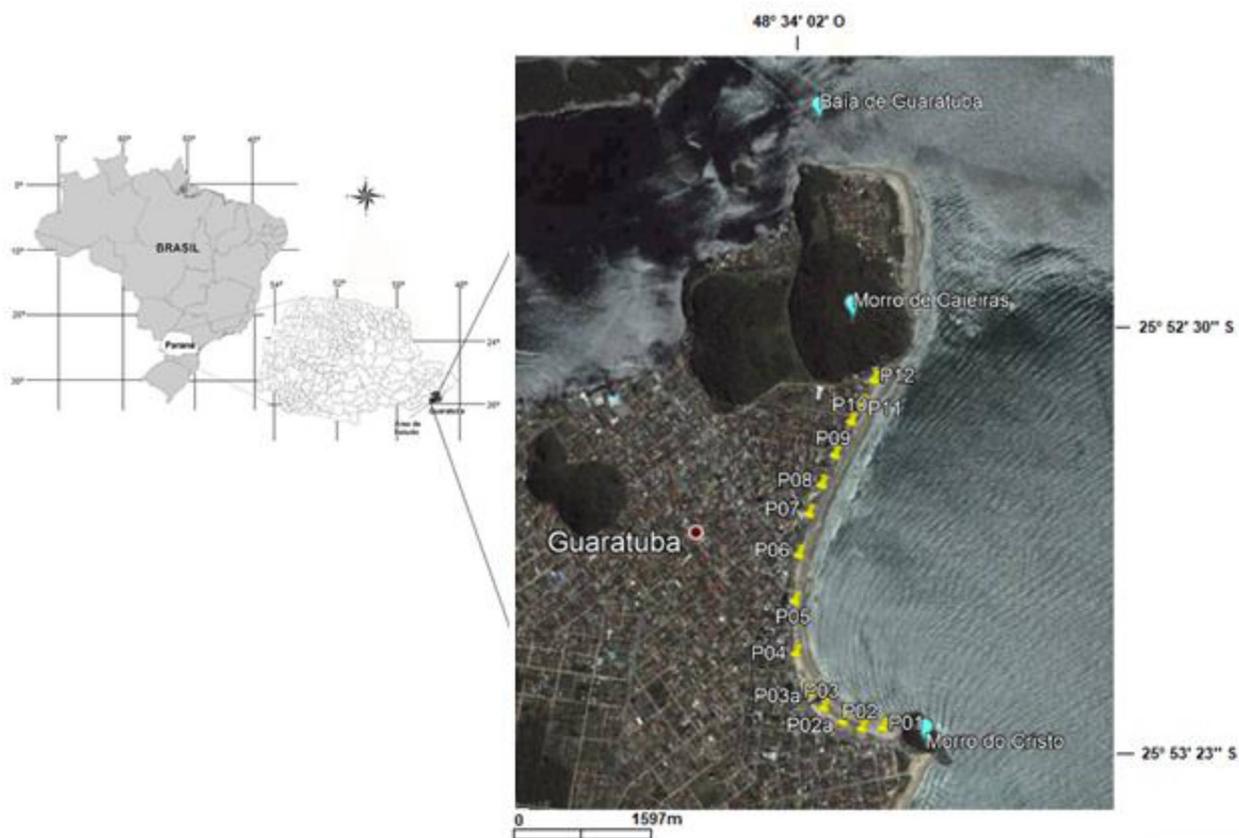


Figura 6. Localização da praia de Guaratuba e dos pontos de amostragem e dos perfis praias. Fonte: Adaptado de Google Maps (2017).

3.3.2. Caracterização dos sedimentos

Para a caracterização dos sedimentos da praia foram coletadas amostras da superfície da face praias em cada perfil. Para caracterização granulométrica foram realizadas análises seguindo o método de peneiramento, para as frações de areia a grânulo ($> 0,063$ mm), segundo o método proposto por Folk & Ward (1965). Para as análises foram pesadas 100 gramas de cada amostra, posteriormente sendo lavadas com água deionizada para eliminação de sais solúveis, elutriadas em água corrente para retirada do material fino em suspensão, e colocadas para secar em estufa a 60° , após a secagem as amostras foram peneiradas com auxílio de um vibrador mecânico durante 10 minutos, após o peneiramento as frações acumuladas em cada peneira foram pesadas com uma balança de precisão.

Para confecção dos gráficos dos sedimentos, dos perfis de praia e dos histogramas foi utilizado o programa EXCEL. A escala de Wentworth foi usada para a

classificação granulométrica, e os parâmetros foram processados por meio do *Software Momentos*, versão 4 (Giannini, 2004).



Figura 7. Exemplo de alinhamento dos perfis usando edificações urbanas, praia de Guaratuba – PR.



Figura 8. Fotografia da área de estudo mostrando como foi feita a amarração das rés em postes e estruturas urbanas localizadas na orla. Fonte: Google Earth, 2013.

3.3.1. Aplicação do modelo parabólico de praias de enseada proposto por HSU & EVANS (1989).

O modelo parabólico proposto por Hsu & Evans (1989) foi utilizado para simular uma linha de costa teórica, por meio do *software* Mepbay (2010).

Para aplicar o modelo parabólico para praias de enseada proposto por Hsu & Evans (1989), foi utilizado o *software* MEPBAY desenvolvido pela Universidade do Vale de Itajaí (UNIVALI), ano de 2010, por Klein et al. (2003), que a partir de um conjunto de informações fornecidas pelo usuário simula graficamente a posição da linha de costa teórica da praia, permitindo assim a análise comparativa com a linha de costa existente e a linha teórica encontrada através do modelo. Os dados requeridos para aplicação do modelo foram obtidos das imagens do *software* Google Earth. A partir delas foram determinados dois pontos de difração de ondas. Em situações em que as ondas são provenientes do quadrante sul, o ponto de difração das ondas se localiza na parte mais externa do promontório rochoso do Morro do Cristo e em condições em que as ondas se originam do quadrante leste, o ponto de difração se localiza na porção mais interna do promontório (Figura 6). A determinação destes dois pontos de difração tornou lúcido o fato de também existir duas modas direcionais de ondas entrando no arco-praial.

Para uma maior compreensão da sua morfologia ao longo de décadas foram utilizadas imagens aéreas de diversas datas, manipuladas e interpretadas através dos softwares Google Earth e Quantum Gis, o que possibilitou a identificação das variações na linha de costa.

3.3.2. Avaliação da variação da linha de costa

A avaliação da variação da linha de costa foi realizada a partir da interpretação de fotografias aéreas de 1963 e 1980 disponíveis no ITCG (Instituto de Terras, Cartografia e Geociências do Estado do Paraná) e 2001, 2003, 2009, 2012, 2013 e 2016, disponíveis no *software* Google Earth. O geoprocessamento das imagens foi feito por meio do *software* Quantum GIS, de livre acesso. A linha de costa nas imagens foi delimitada pela vegetação nos lugares em que ela foi verificada. Nas demais porções do arco-praial, principalmente nas imagens posteriores ao ano de 1980, a linha foi delimitada pela infraestrutura urbana nos lugares em que a vegetação estava ausente.

3.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.4.1. VARIAÇÃO DO VOLUME PRAIAL

Variações no arco-praial

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 praial, que variou de 2.3 m³ no final do verão de 2012 (14 de março) até 1.251 m³ no final do verão de 2018 (16 de março), o que significou perda de 1.054 m³, à taxa de 0,25 m³/dia (Tabela 1 e Anexos I e II). Contudo, a redução não foi linear. A redução mais significativa ocorreu entre o final do verão (14 de março) e o outono (10 de maio) de 2012, com perda de 584.5 m³ que corresponde a 55% do total verificado em todo o período monitorado e que representa taxa de 11.2 m³/dia (Tabela 2). 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 praial variou menos, com taxas variando entre 0,2 e 1,2 m³/dia (Tabela 2).

Tabela 1. Volume do prisma praial.

Levantamentos	Volume (m ³)
14/03/2012	2.305,0
10/05/2012	1.720,5
22/05/2012	1.727,1
19/09/2012	1.541,3
21/12/2012	1.566,5
22/03/2013	1.534,9
10/05/2013	1.546,7
06/08/2017	1.250,7
16/03/2018	1.511,9

O maior volume de areia verificado no arco-praial no final do verão (14 de março) de 2012 parece estar relacionado a um período de maior incidência de ondas do quadrante leste (80° a 122°) nos 45 dias anteriores ao levantamento, no qual ocorreram ondas de altura e período menor (Figura 10a), que favorecem o transporte de areia na direção da costa (*on shore*) e o acúmulo na parte superior da praia.

Tabela 2. Variação do volume praial.

Período	Duração (dias)	Δ (m ³)	Taxa (m ³ /dia)
14/03 a 10/05 de 2012	52	-584,5	-11,24
10/05 a 22/05 de 2012	12	+6,6	+0,55
22/05 a 19/09 de 2012	120	-185,8	-1,55
19/09 a 21/12 de 2012	93	+25,2	+0,27
21/12 de 2012 a 22/03 de 2013	50	-31,5	-0,63
22/03 a 10/05 de 2013	49	+11,8	+0,24
10/05 de 2013 a 06/08 de 2017	3.549	-296,1	-0,08
06/08 de 2017 a 16/03 de 2018	222	+261,2	+1,18
14/03 de 2012 a 16/03 de 2018	4.147		

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 nessas datas mostraram um aumento tanto na altura quanto no período das ondas vindas dos quadrantes sul e sudeste (Figura 10b e Figura 10f). A parte emersa da praia apresentou variações consideráveis após os eventos de alta energia de ondas. Entre o levantamento de 14 de março de 2012, e o de 10 de maio, verificou-se perda de 584,5 m³ (Tabela 2), que pode ser atribuído 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 m³ de areia (Tabela 2). Neste período ocorreram dois sistemas de alta energia vindos do quadrante sul, com a altura das ondas chegando aos 3 m, e período de onda entre 9 e 11 segundos (Figura 10c). Estas perdas de areia na parte superior da praia podem ser atribuídas à ocorrência de eventos com alta energia de ondas, tal como verificado em outras praias (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 (p.e. Klein *et al.*, 2010). Isto sugere maior complexidade nos processos dinâmicos que envolvem o arco-praial de Guaratuba, tanto pela proximidade de sua porção norte com a desembocadura da Baía de Guaratuba, quanto pela morfologia de sua porção sul.

No final da primavera (21 de dezembro) de 2012 a praia tinha recuperado 25,2 m³, em relação ao final do inverno (19 de setembro) do mesmo ano (Tabela 2), porém ao longo de um ano, entre 14 de março de 2012 e 22 de março de 2013 houve perda de 738,5 m³ de areia, o que reafirma tendência negativa nos volumes de sedimentos no arco-praial durante o período observado. Na comparação dos dados de ondas dos dois períodos (Figura 10a e Figura 10e), verifica-se maior altura de onda e também maior frequência de ondas vindas do quadrante sul em relação a março de 2012.

No outono (10 de maio) de 2013 houve aumento do volume de 11,8 m³, em relação ao volume verificado no final do verão (22 de março) do mesmo ano (Tabela 2). 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 10c).

Entre o outono de 2012 (10 de maio) e de 2013 (10 de maio) verificou-se perda de 173,8 m³ no volume da praia. Ao se comparar os dados de ondas das duas campanhas (Figura 10c e Figura 10g) observa-se maior alternância de ondas vindo 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 (Tabela 1). Em comparação ao levantamento do outono (10 de maio) de 2013, o arco-praial teve perda de 296,1 m³ de areia (Tabela 2). Em setembro de 2016, ocorreu no litoral sul do Brasil um grande evento de alta energia de ondas (ressaca), noticiado nos principais veículos de comunicação. As ondas durante este evento alcançaram 5 m de altura (Figura 9), e provocaram enormes estragos na orla de grande parte das cidades litorâneas, inclusive na Praia de Guaratuba, de acordo com website de notícias Portal G1 da globo.com. Mesmo após quase um ano, os estragos causados ainda eram evidentes.

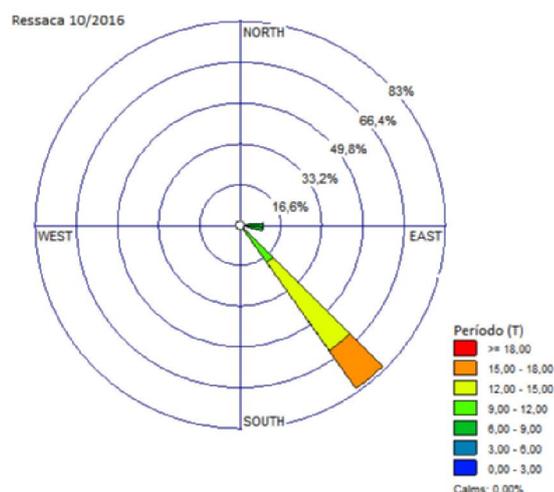


Figura 9. Parâmetros de ondas durante o evento de alta energia que ocorreu em 29 de outubro de 2016.

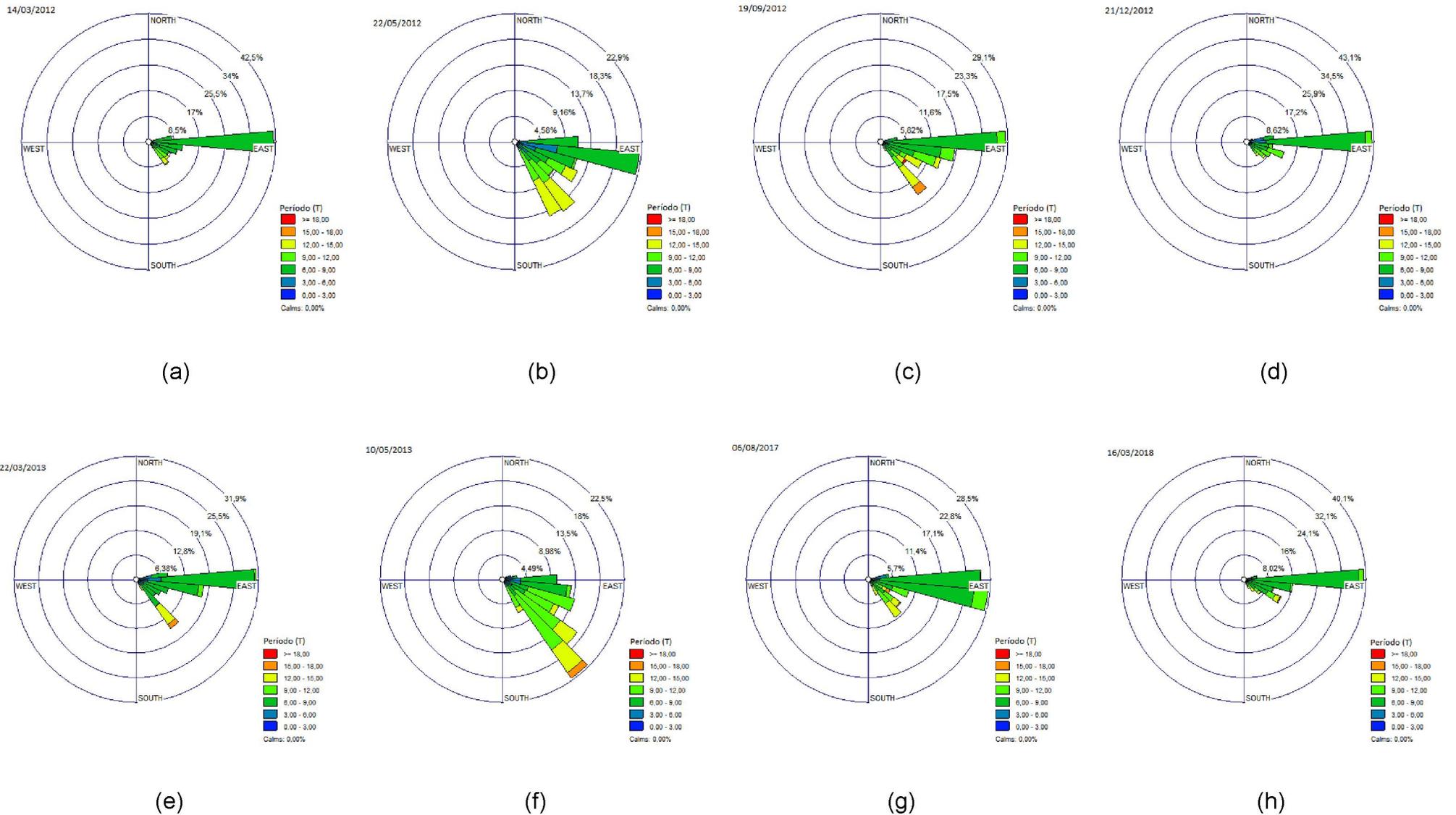


Figura 10. Altura, direção e período das ondas em: (a) 14/03/2012; (b) 22/05/2012; (c) 19/09/2012; (d) 21/12/2012. (e) 22/03/2013; (f) 10/05/2013; (g) 06/08/2017; (h) 16/03/2018.

Na comparação da variação do volume sedimentar de cada perfil em cada levantamento (Figura 11) com os dados de ondas (Figura 10), observa-se clara relação entre o regime de ondas e o equilíbrio dinâmico do ambiente praial, uma vez que a distribuição de sedimentos ao longo do arco-praial é provocada pela difração que as ondas sofrem ao contornar o promontório rochoso. Além do regime de ondas que determina o equilíbrio estático ou dinâmico do arco-praial, como proposto por Hsu & Evans (1989), é possível verificar o declínio no aporte de sedimentos na praia emersa (Tabelas 1 e 2). Este fato evidencia que é necessário aporte de sedimentos por deriva litorânea para se manter o equilíbrio no arco-praial. Também é possível observar que eventos de maior energia de ondas podem tanto retirar sedimentos da praia, quanto aportar, como foi observado no setor sul do arco-praial (Figura 11). Este fato está de acordo com o modelo proposto por Hsu & Evans (1989), que se referem aos processos de rotação de correntes e equilíbrio do arco-praial.

A variação do volume sedimentar da Praia de Guaratuba confirmam características clássicas de uma praia de enseada, que tanto se referem a um estado de equilíbrio estático, com ondas de bom tempo quebrando perpendicularmente a costa, quanto a uma condição dinâmica com ondas quebrando em ângulos oblíquos gerando correntes longitudinais. Este fato se confirma quando observamos a dinâmica presente na porção sul do arco-praial que se mostra intensificada em função da presença dos processos rotacionais, decorrentes do redirecionamento que as ondas sofrem ao encontrarem o Morro do Cristo.

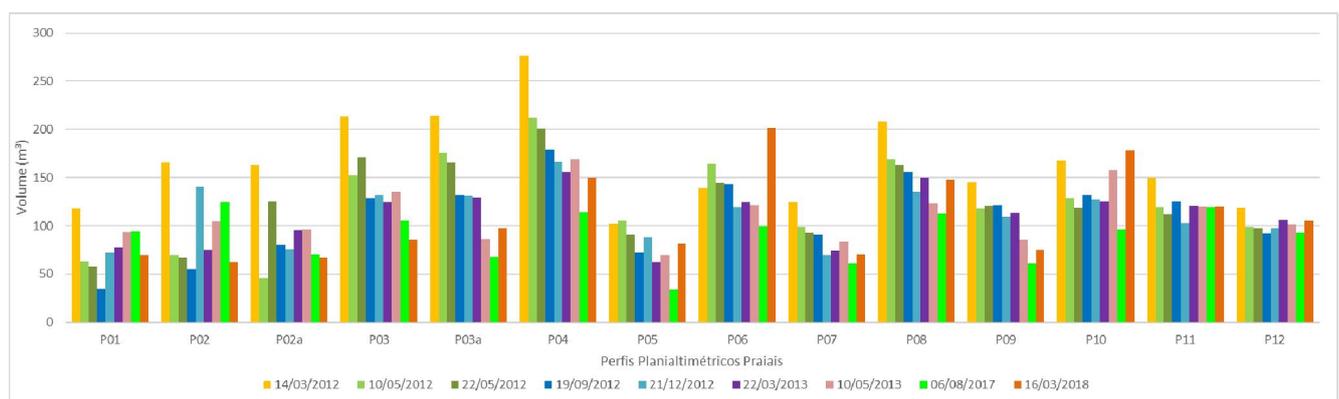


Figura 11. Variação do volume sedimentar de cada perfil em cada levantamento. Os perfis P01 a P05 correspondem ao setor sul do arco-praial e os perfis P06 a P12 ao setor norte. Para localização ver Figura 6.

Em sua totalidade, os dados coletados demonstram a necessidade de estudar escalas temporais diferentes para compreender a dinâmica sedimentar de uma praia.

Variações nos perfis praiais

O monitoramento sazonal evidenciou a variação da forma da parte emersa da praia e cada local monitorado apresentou variações e características diferenciadas. As maiores variações ocorreram na porção centro-sul do arco-praial, principalmente no local do perfil 01 (Figura 12). Este local apresentou valores extremos de volume, 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 provocam a retirada de areia da parte emersa da praia (Tabela 2, Figura 14). Estes resultados são semelhantes aos obtidos por Bessa em 2003, que destaca que a deposição de sedimentos em determinadas épocas do ano induz a formação de bermas, que causam represamento de água no pós-praia.

Bessa (2003), em levantamentos planialtimétricos realizados entre 1999 e 2001 no mesmo local do Perfil 01 (Figura 12), verificou distância máxima de 250 m e mínima de 100 m entre o muro longitudinal e o nível médio do mar, enquanto que 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 nesta porção da praia num período de aproximadamente 10 anos.

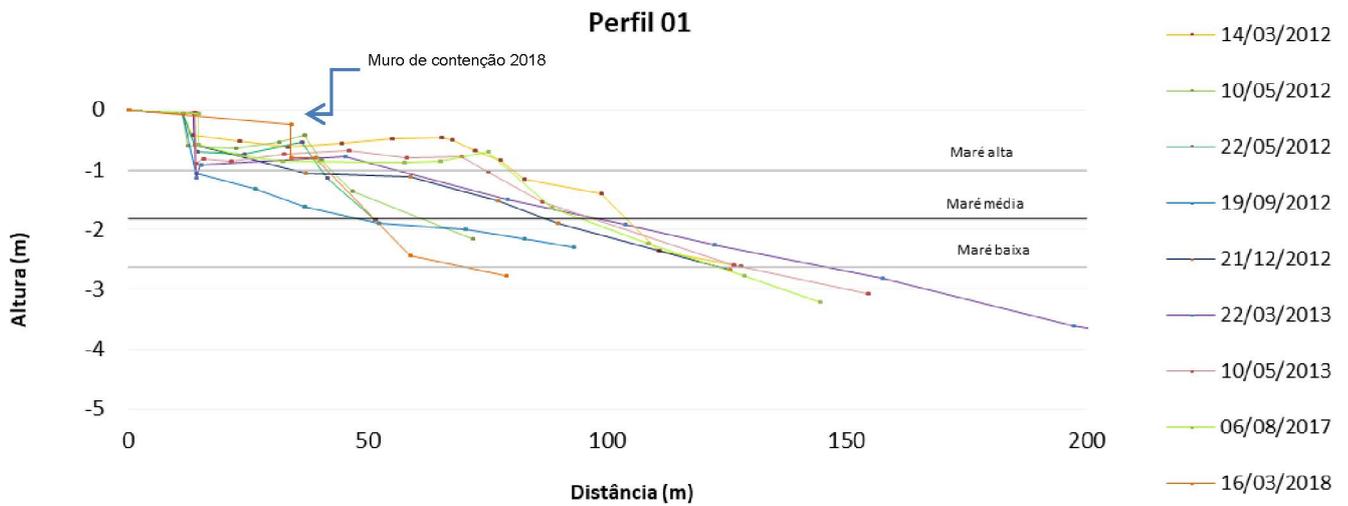


Figura 12. Perfil 01 localizado na porção sul do arco-praial. Para localização ver Figura 6.



Figura 13. Local do extremo sul do arco-praial onde foi realizado o Perfil 01, onde se observa (a) larga faixa de praia emersa, que inclui campo de futebol, no final do verão (14 de março) de 2012 e (b) estreita faixa de areia no outono (10 de maio) do mesmo ano.

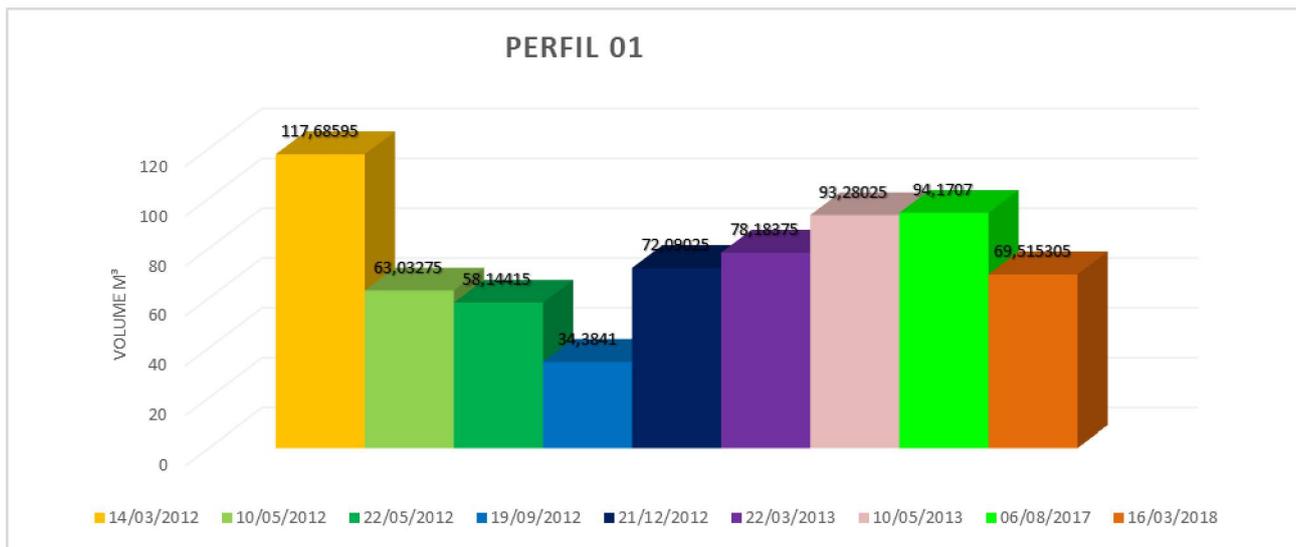


Figura 14. Variação do volume sedimentar no Perfil 01, em m³.

No final do inverno (19 de setembro) de 2012, foi observada redução da faixa de areia em toda extensão da praia (Tabela 2, Figura 14), com grande perda de areia, especificamente na porção sul do arco-praial. Também nota-se nos levantamentos posteriores reposição de parte do volume da praia emersa.

O Perfil 03 (Figura 16) merece destaque devido à variação do volume e morfologia da praia emersa entre os levantamentos do outono (14 de março) de 2012 e do inverno (06 de agosto) de 2017, que pode ser atribuída à grande ressaca que atingiu a costa brasileira em novembro de 2016 (Figura 9). Os levantamentos realizados após este evento de alta energia de ondas evidenciaram a ocorrência de áreas de conflito entre dinâmica natural e a faixa antropizada. Um fato interessante observado durante as duas campanhas que sucederam o evento registrado em 2016, foi a construção de obras de contenção que avançaram ainda sobre a faixa dinâmica natural da praia, como pode-se observar no Perfil 06 (Figura 15).

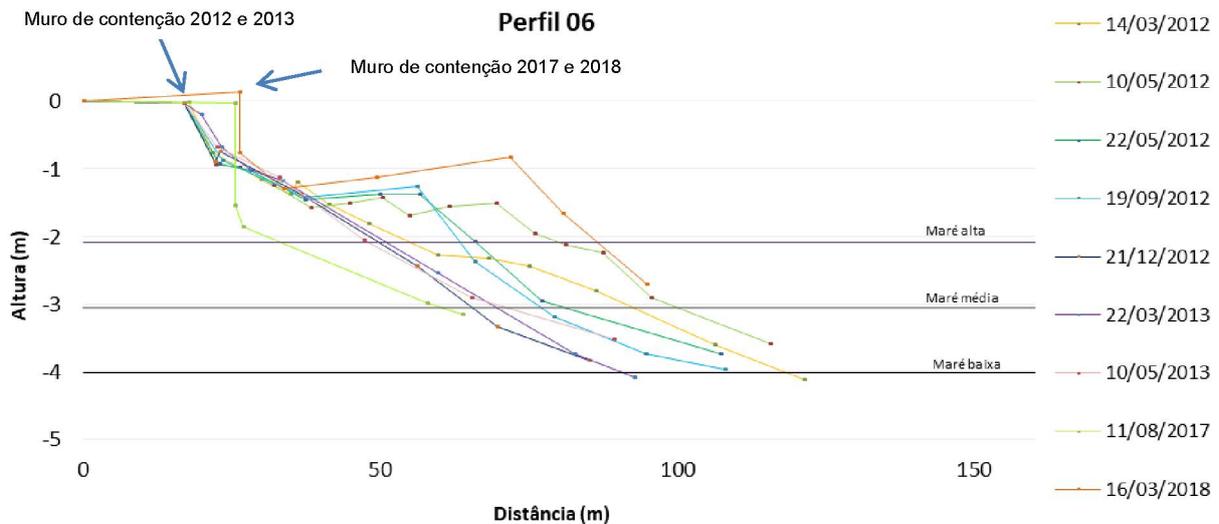


Figura 15. Perfil 06. Notar o avanço do muro de contenção nos perfis de 2017 e 2018 em relação ao muro dos anos anteriores. Para localização ver Figura 6.

No levantamento de 10 de maio de 2012 o mar estava calmo, porém no levantamento de 22 de maio, ocorreu evento de alta energia, com ondas vindas do quadrante sul e sudeste, com períodos entre 10 e 13 segundos (Figura 10b). Em 22 de maio também foi observada grande velocidade da corrente longitudinal com sentido norte. Este evento parece ter sido responsável pelo desaparecimento da berma observada no Perfil 05, no levantamento anterior (Figura 17).

O setor central do arco-praial, representado pelos perfis P07 (Figura 18) e 08 (Figura 19), apresenta menor volume de areia na praia emersa, que no setor sul, porém também se observa grande mobilidade de sedimentos nesse setor da praia.

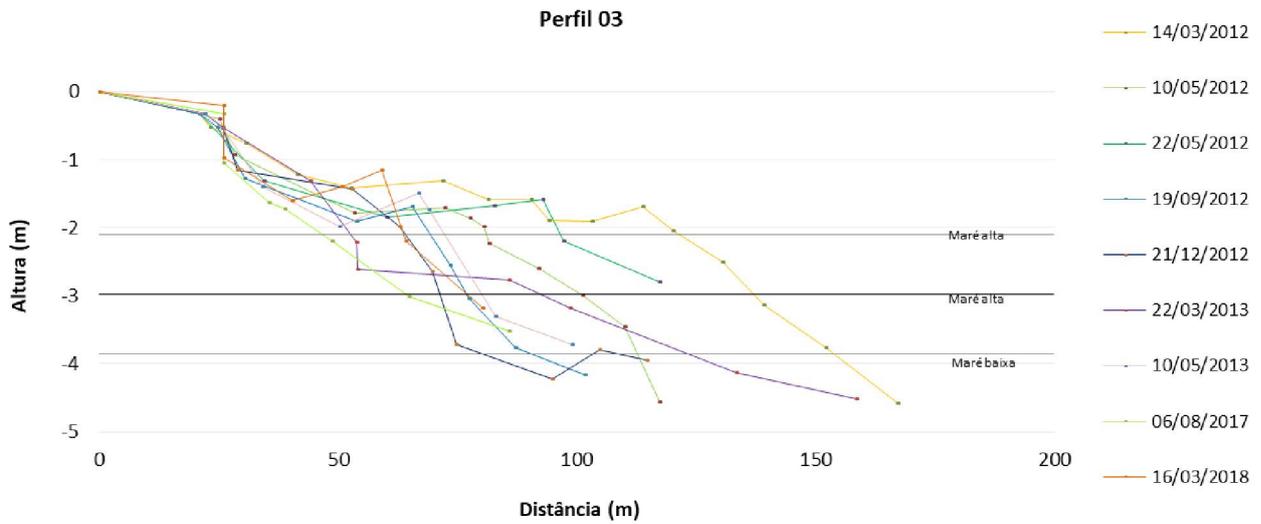


Figura 16. Perfil 03. Notar o menor volume de sedimentos em relação ao setor sul (Perfil 01, figura 14) e grande variação do volume nos diferentes levantamentos.

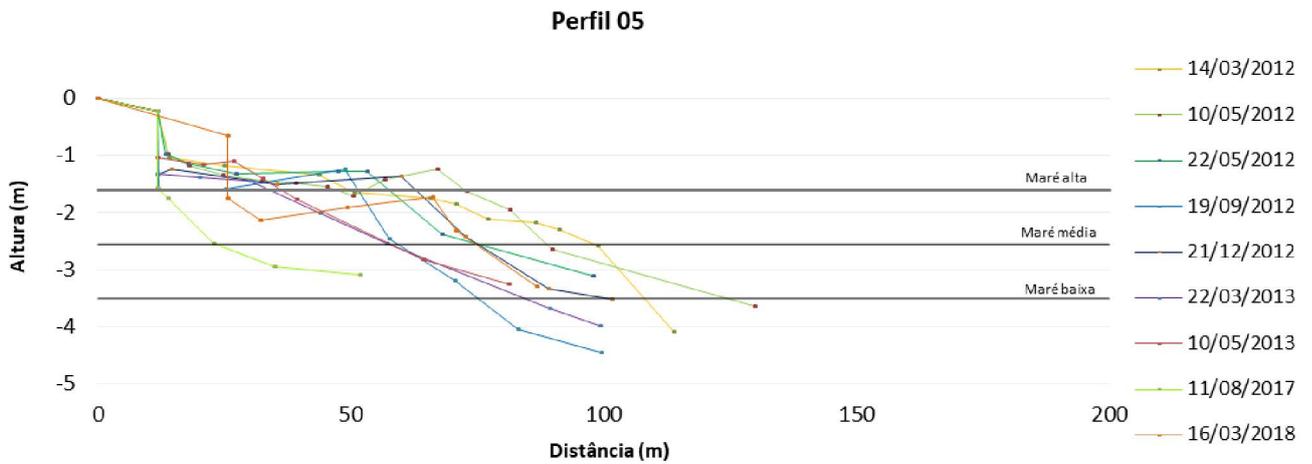


Figura 17. Perfil 05. Notar as variações de volume antes (10/05/2012) e após o evento de alta energia de ondas (22/05/2012). Notar também o avanço do muro de contenção em direção ao mar, em 2018, em relação ao muro existente em 2017,

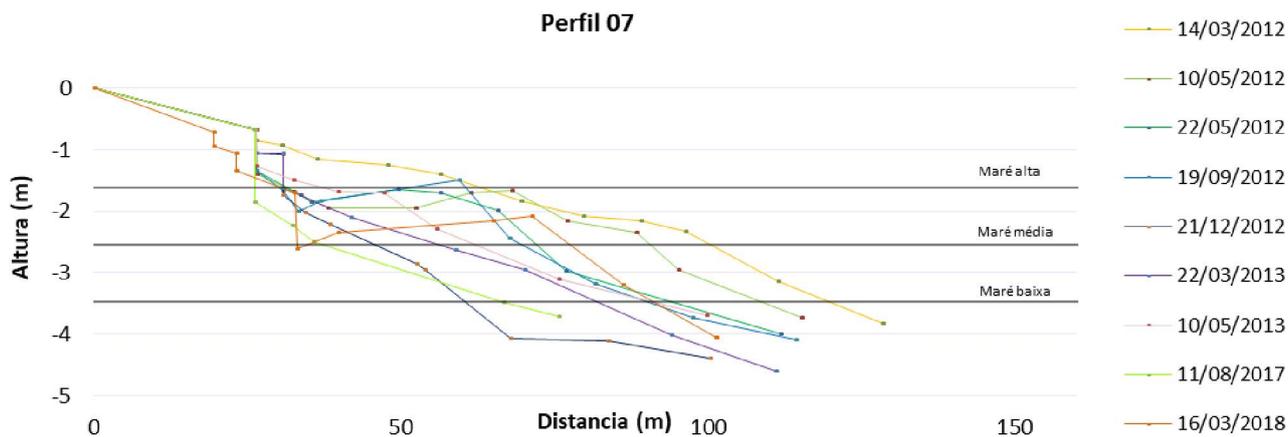


Figura 18. Perfil 07, representativo das variações do volume praial no setor central da praia.

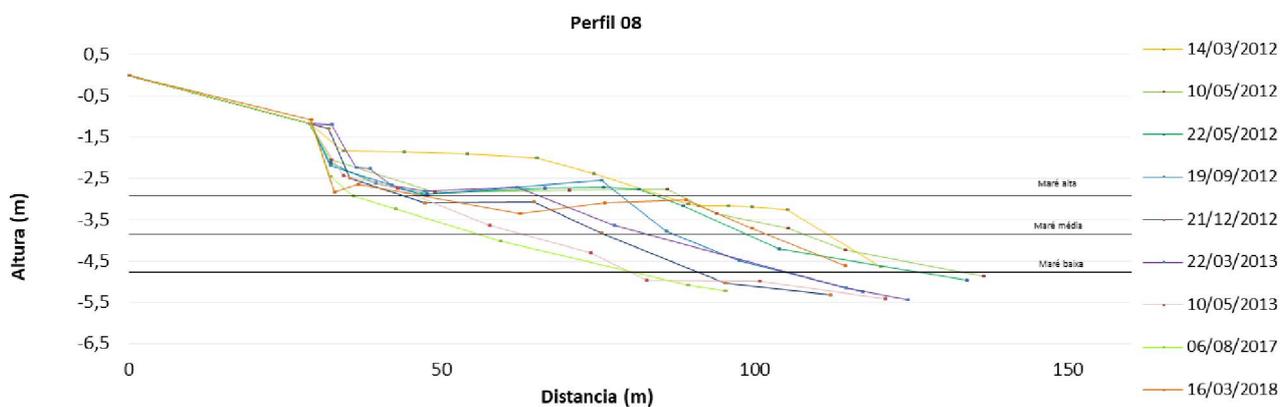


Figura 19. Perfil 08, representativo das variações do volume praial no setor central da praia.

Na porção centro-norte da praia 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 2). Em comparação a dados anteriormente descritos, os perfis feitos nesta mesma porção da praia, dias 14/03/12 e 10/05/12, corroboram com os dados de perfis levantados por Bessa (2003) entre 1999 e 2001, que indicaram valores altos de deposição nesta mesma porção do arco-praial.

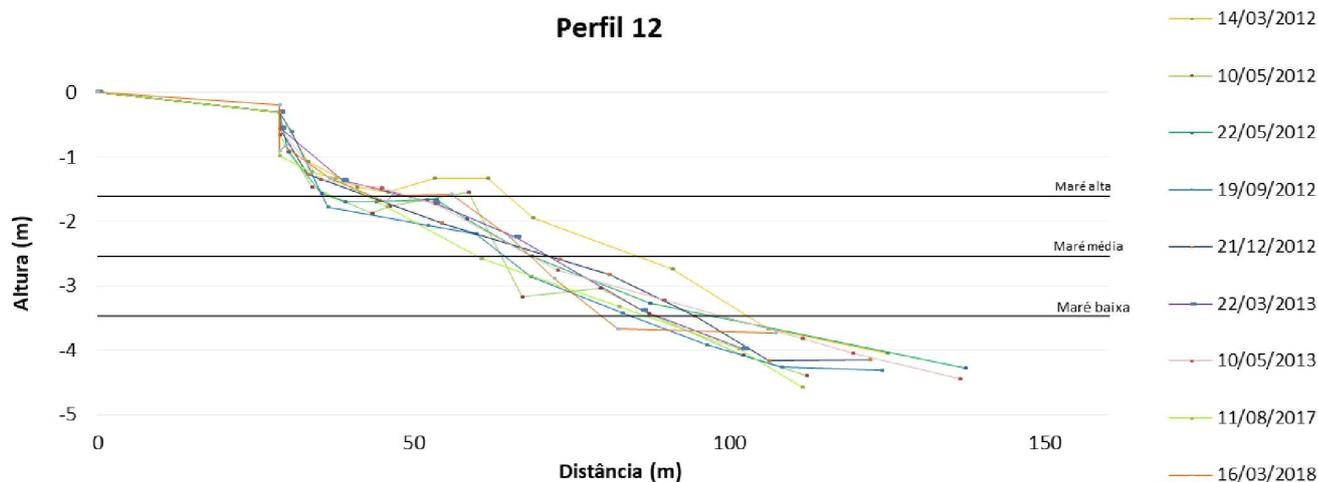


Figura 20. Perfil 12, representativo das variações do volume praial no setor norte da praia.

No setor norte do arco-praial, representado pelo Perfil 12, se observa pouca variação da morfologia e do volume de sedimentos da praia ao longo do período monitorado (Figura 20 e 21).

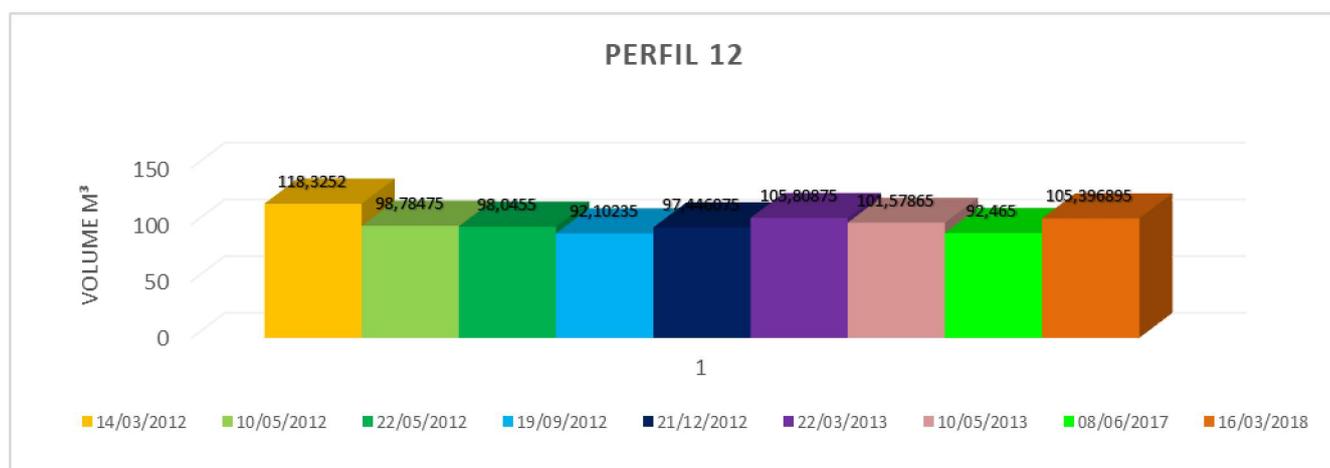


Figura 21. Variação do volume sedimentar no Perfil 12, representativo do setor norte do arco-praial, evidenciando estabilidade ao longo do período monitorado.

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 dois setores distintos; um de maior mobilidade maior mobilidade de sedimento, na porção sul do arco-praial (Perfis P01 a P05).

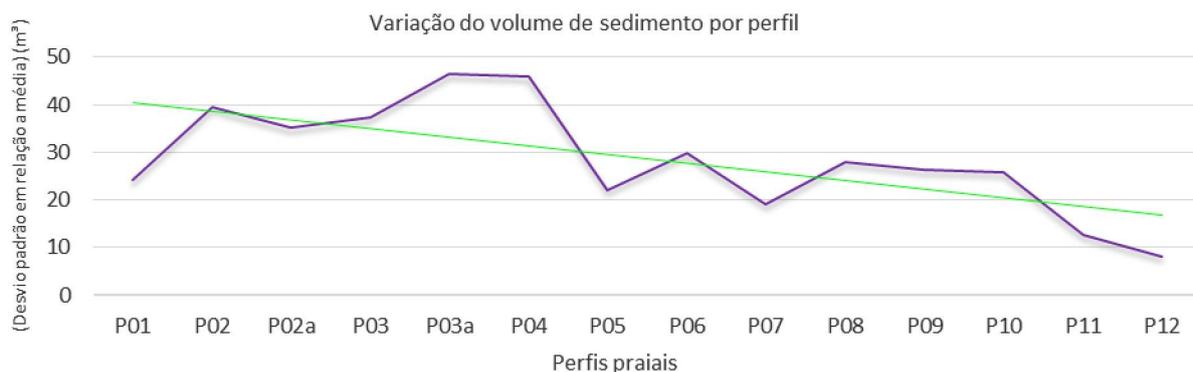


Figura 22. Variação do volume de sedimento por perfil considerando o desvio padrão em relação à média de volume medido no período observado. Região sul do arco-praial: P01 a P05; região norte do arco-praial: P06 a P12. Em roxo: Desvio padrão da média de volume de sedimentos. Em verde: linha de tendência.

O desvio padrão, calculado em relação a média de volume de cada perfil, evidencia a variação mais acentuada na quantidade de areia na porção sul do arco-praial (Perfis P01 a P05, Figura 22). As variações de volume mais próximas das médias são observadas na porção central e norte da praia (Perfis P06 a P12). O promontório rochoso, correspondente ao Morro do Cristo localizado na parte sul da praia (Figura 6) está exposto à direção de maior incidência de ondas, formando assim uma zona de sombra, acentuando a formação de correntes geradas por ondas. A direção das ondas que incidem sobre o arco-praial são determinantes na geração das correntes em função do promontório rochoso, podendo assim existir dois sistemas de transporte de sedimentos atuando no arco-praial, um ao sul e outro ao norte. A maior mobilidade de volume de sedimentos da porção sul pode estar associada ao processo de difração que as ondas sofrem ao entrar em contato com o promontório. Assim como já visto por Klein et al. (2010), estes vórtices provocados pela difração das ondas, dependendo do ângulo de incidência das ondas, provocam redistribuição de sedimentos na praia, justificando variações significativas como as observadas no Perfil 03 (Figura 16).

Variação da forma da porção sul do arco-praial

As variações do volume praial observadas nos perfis planialtimétricos da porção sul do arco-praial, podem ser correlacionadas com as variações da forma da praia, visíveis em imagens aéreas. Nas imagens se observam mudanças na forma da praia que indicam processos a erosão e deposição decorrentes das mudanças na direção das ondas que incidem sobre a praia (Figura 24). No setor sul do arco-praial onde ocorre maior variação da forma, nota-se que o pontal rochoso do Morro do Cristo provoca difração das ondas, assim de acordo com sazonalidade e regime de ondas, esta barreira natural faz com que as ondas retrabalhem os sedimentos de formas diferenciadas.

A forma da praia observada nas imagens aéreas 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 6), passa pelo promontório do Morro do Cristo e se deposita na forma de bancos no setor sul do arco-praial de Guaratuba (Figura 24). A figura 23 mostra que as regiões do arco da praia de Guaratuba mais expostas ao regime de ondas predominante, não necessariamente são as áreas mais sujeitas a perdas de infraestrutura urbana.

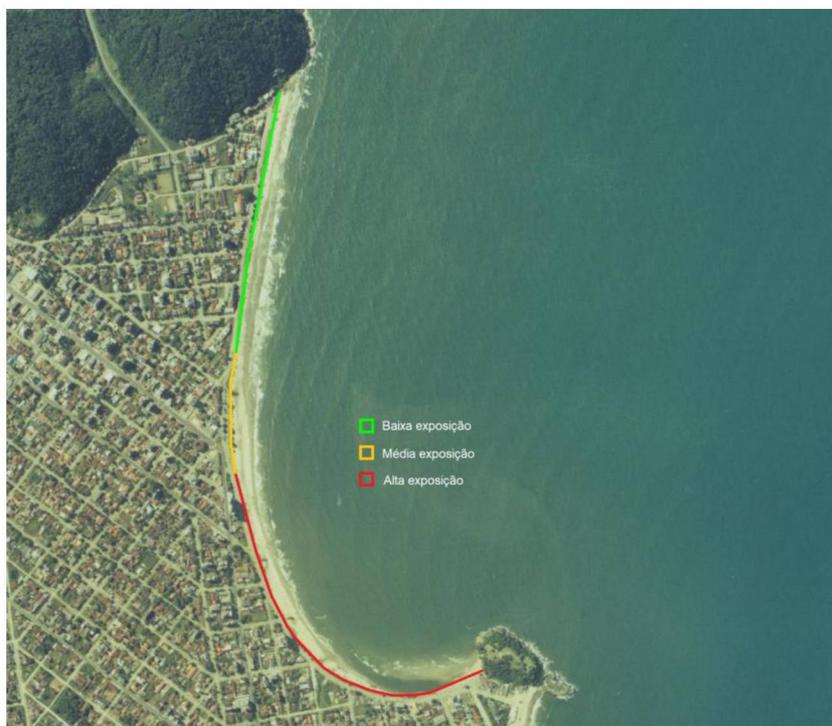


Figura 23. Classificação do arco da praia de Guaratuba em relação a exposição da infraestrutura urbana, e eventuais perdas em relação a eventos de alta energia.

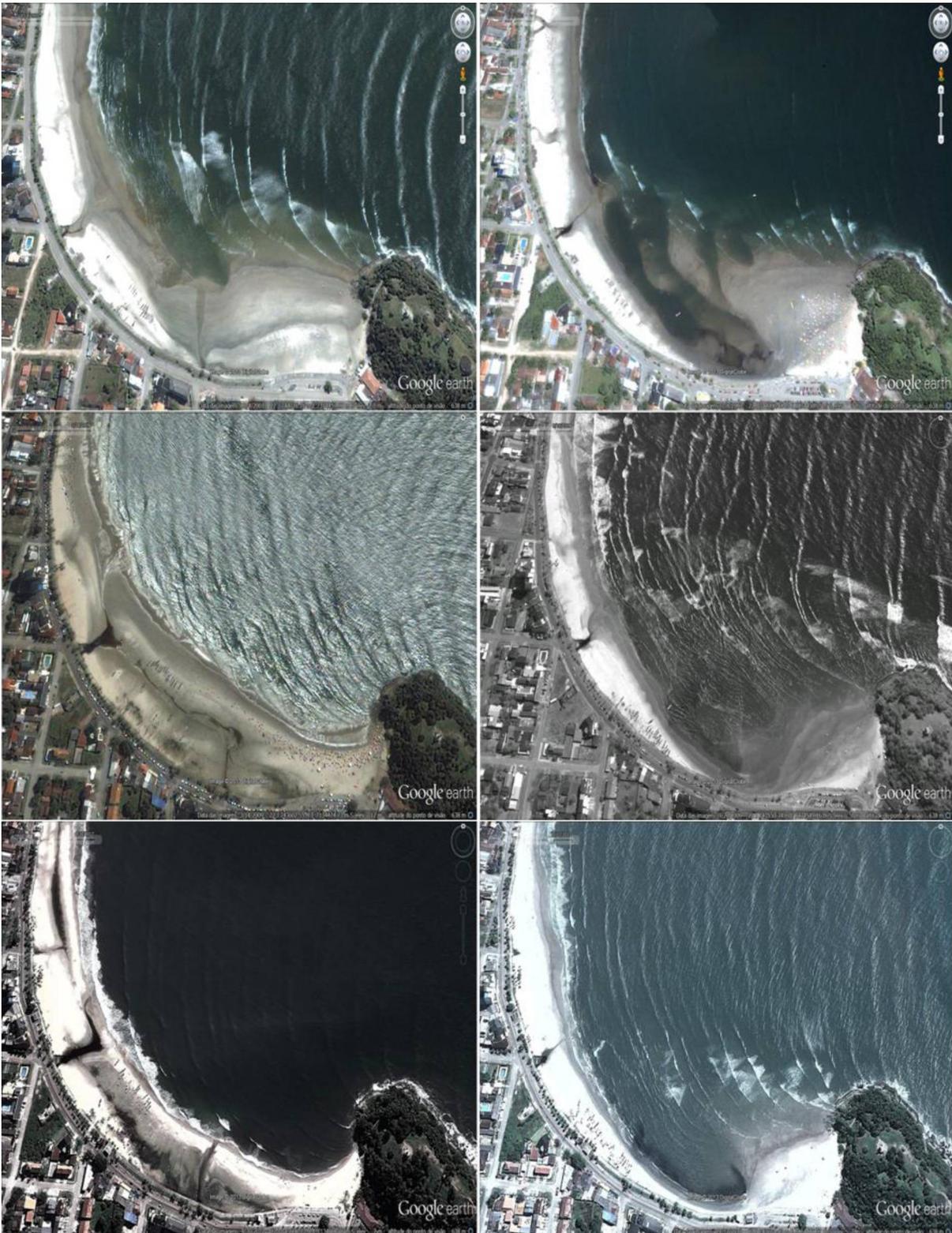


Figura 24. Imagens aéreas da porção sul da praia de Guaratuba: (a) na primavera (4 de outubro) de 2001 (b) no verão (8 de janeiro) de 2003; (c) no final do verão (14 de março) de 2009, (d) no início da primavera (26 de setembro) de 2009; (e) no outono (30 de abril) de 2012 e (f) na primavera (17 de outubro) de 2012. (M) Morro do Cristo.

Fatores como empilhamento de água sobre a costa podem provocar mudanças significativas, como alteração das linhas de arrebentação ao longo da parte submersa da praia, influenciando a interpretação dos dados. 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.

Pesquisas realizadas que tiveram como objetivo 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 e Ab Razak, 2015).

De acordo com os modelos propostos por Hsu & Evans (1989) e Short (1999), o balanço sedimentar de uma praia de enseada, em alguns casos, está 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 à outra (Figura 25). Angulo *et al.* (2016) sugerem que os sedimentos que mantem a praia de Guaratuba são provenientes da praia de Brejatuba, localizada ao sul da área de estudo (Figura 6).

Segundo Angulo (1992) a deriva litorânea do litoral paranaense é de sul para norte. No entanto, na região atuam dois sistemas de ondas, um de leste-nordeste e outro de sul-sudeste (Alves, 1996 e Nemes & Marone, 2013), sendo o sistema de sul-sudeste predominante, por atuar a maior parte do tempo. A ocorrência de fenômenos climáticos globais tais como o aquecimento e resfriamento das águas tropicais do Oceano Pacífico, podem alterar o clima global, dessa forma reduzindo ou aumentando a energia de ondas vindas do quadrante sul e sudeste ou provocando mudanças no sentido predominante de ondulações em certas épocas do ano. Porém, Mortlock & Goodwin (2016) verificaram que não existe uma relação direta entre os fenômenos globais 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.

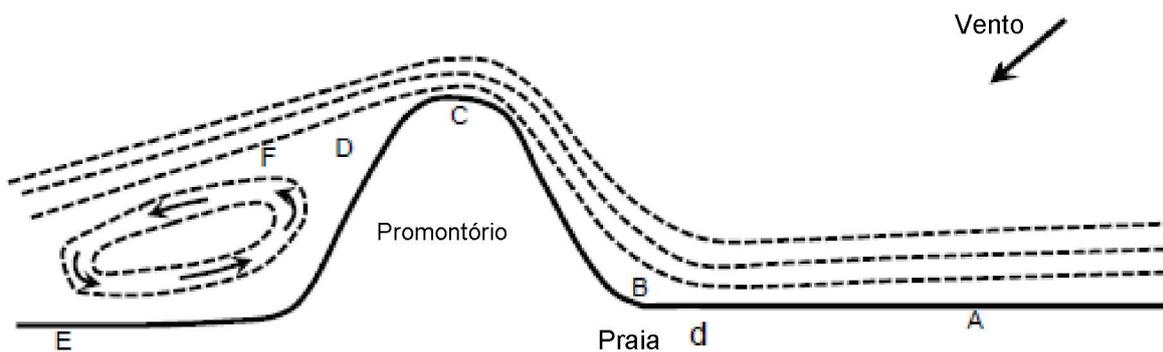


Figura 25. Modelo conceitual de transporte de sedimentos que transpassa o promontório. As linhas pontilhadas indicam a deriva litorânea predominante. Letra A representa qualquer tipo de sedimento em suspensão passível de ser carregado. O ponto B corresponde ao ponto de desaceleração das correntes por causa da curvatura observada, provocando deposição de sedimentos. O aumento da velocidade do vento resulta no aumento na energia das ondas incidentes, fazendo com que os sedimentos depositados no ponto B sejam mobilizados para barlavento, sendo transportados para porção submersa localizada em frente ao promontório rochoso marcado com a letra C. Este movimento pode resultar na construção de um esporão a sotavento do promontório (letra D), ou erosão do ponto D e E devido à variação na direção das ondas, que podem tanto depositar quanto retirar sedimentos. A letra F representa o ponto em que sedimentos podem ser mobilizados para corrente contrária à deriva e se depositarem na região de sombra do promontório, sendo mobilizado no sentido contrário da deriva predominante (Evans, 1943 apud Ab Razak 2015).

3.4.2. CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA

A parte emersa da praia de Guaratuba é composta por areia média e fina (Anexo III). Comparando as percentagens de areia de cada classe granulométrica e o desvio padrão em cada levantamento (Figura 26 e Figura 27) 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 melhor selecionada. Já, quando as ondas apresentam maior energia (22/05/12), observa-se leve aumento de areia média e até areia grossa.

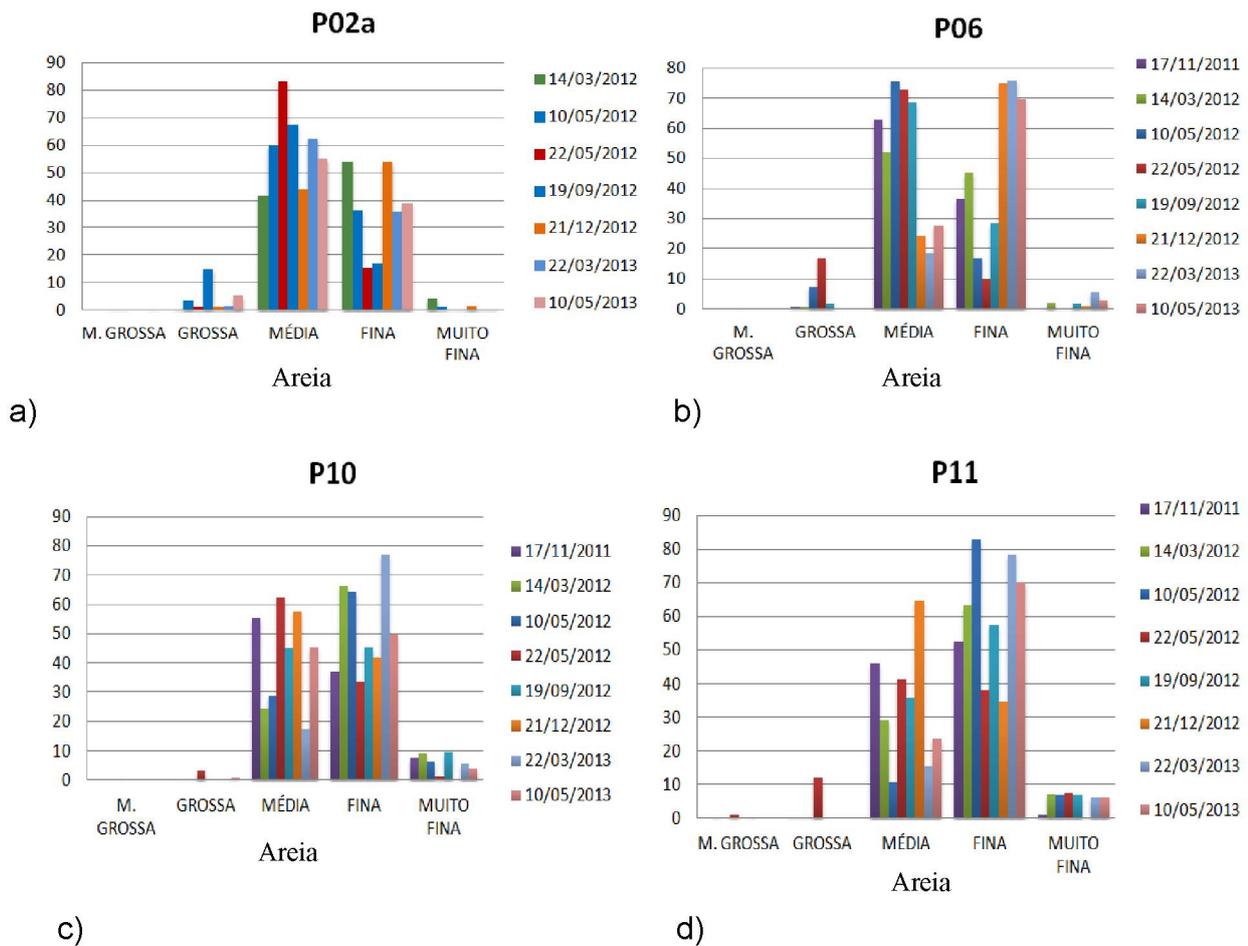


Figura 26. Distribuição das classes granulométricas, nos diferentes levantamentos, nos perfis (a) P02, (b) P06, (c) P10 e (d) P11.

Os processos de ondas com grande energia podem retirar os sedimentos superficiais, expondo sedimentos anteriormente depositados. Desta forma, se torna difícil afirmar que o sedimento coletado no momento da campanha seja compatível com a dinâmica do meio.

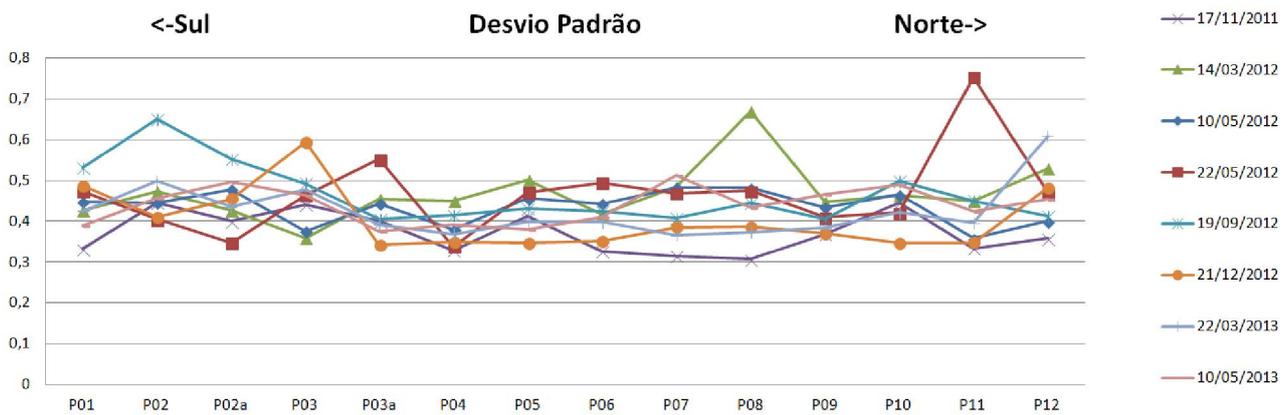


Figura 27. Desvio padrão do tamanho dos grãos das amostras coletadas ao longo do arco-praial de Guaratuba nos diferentes levantamentos (P01 a P12: perfis praias).

Ao longo do arco-praial o desvio padrão dos resultados, 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 (Figura 27), em 22/05/2012 a praia estava sob ação de uma frente com relativa força, com ondas entre 0,5m e 1,0m vindas de sul sudeste (Figura 10b). Em 19/09/2012, a praia conservava as feições de um longo período recebendo ondulações de no máximo 0,5m vindas de leste. Portanto, as amostras que apresentam grãos mais grossos podem ser relacionadas aos processos rotacionais observados na região de sombra do promontório.

Com relação ao diâmetro médio (Figura 28), observa-se que ele é menor no inverno (p.e. em 22 de maio de 2012), que no verão (p. e. em 22 de março de 2013).

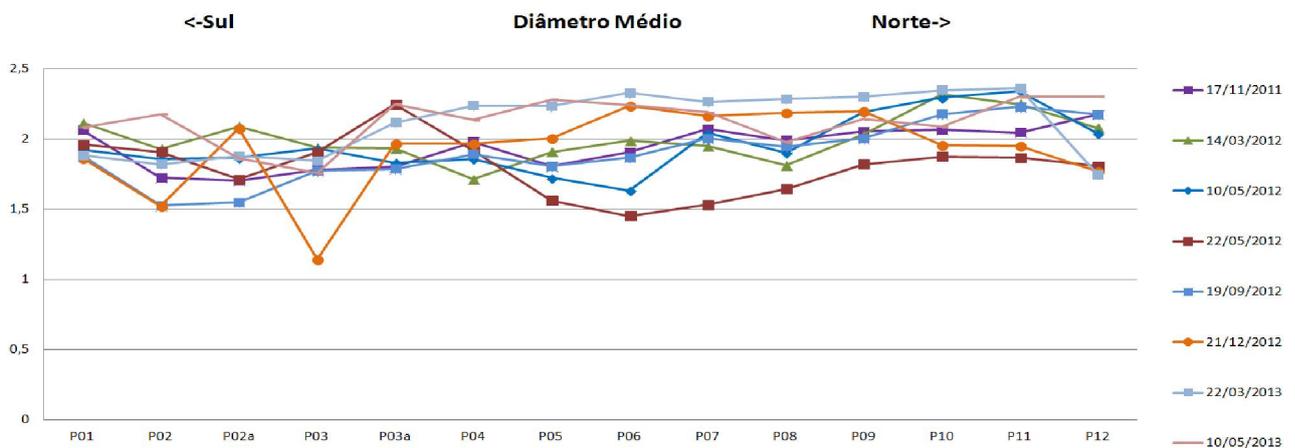


Figura 28. Diâmetro médio (mm) da areia ao longo do arco-praial de Guaratuba, nos diferentes levantamentos (P01 a P12: perfis praias).

No Perfil 06 (P06, Figura 28), observa-se grande variação do diâmetro médio nos diferentes levantamentos. O perfil se localiza no setor do arco-praial onde as ondas do quadrante sul incidem com maior energia. Assim, a variação do diâmetro médio pode estar relacionada a processos erosivos. Sedimentos mais grossos estão relacionados a eventos de alta energia, porém entre 14/03/12 e 19/09/12 (Tabela 1) houve uma grande perda de sedimentos no arco-praial. Quando comparados aos dados de ondas, se observa um período longo de ondas vindas do quadrante sul com períodos entre 10 e 15 segundos (Figura 10b), o que salienta a possível interpretação de que o sedimento coletado em 22/05/12 é um sedimento antigo que ficou exposto devido a grande energia de ondas que retirou o sedimento que estava por cima.

3.4.3. VARIAÇÕES NA CONFIGURAÇÃO DA LINHA DE COSTA

Aplicação do modelo parabólico de Hsu & Evans (1989) para praias de enseada

A aplicação do modelo parabólico Hsu & Evans (1989) por meio do *software* Mepbay se mostrou eficiente para simular uma linha de costa teórica, que desconsidera a estabilização artificial da linha de costa.

Quando a linha de costa teórica é simulada com incidência de ondas do quadrante sul (Figura 28), verifica-se que se não fosse a reconstrução constante da infraestrutura, e também o abastecimento de sedimentos trazidos por deriva litorânea, os limites naturais do arco-praial avançariam sobre o local onde, hoje em dia, se encontra a rua.

Quando a linha de costa teórica é simulada para uma situação de ondas provenientes do quadrante leste (Figura 29b) é possível observar que o limite da urbanização avança sobre o limite de dinâmica natural da praia, o que torna claro o conflito entre a antropização da linha de costa e os limites naturais da praia.





Figura 29. Interface do *software* Mepbay simulando sobre imagem aérea a linha de costa teórica resultante de ondas vindas do quadrante leste (a), sul (b) e (c) representando o ponto de refração ideal para que se justifique a linha de costa observada na imagem, mostrando o resultado obtido para a praia de Guaratuba em 17/10/2012.

A figura 28 (c) nos permite interpretar que a passagem de pulsos de sedimentos que contornam o promontório localizado na porção sul do arco, provenientes de deriva litorânea são responsáveis pela alternância do ponto de difração das ondas. A alternância do ponto de difração elucida o posicionamento da linha de costa da praia de Guaratuba.

Avaliação da variação da linha de costa por sobreposição e georreferenciamento das imagens aéreas

A sobreposição das imagens aéreas georreferenciadas de diferentes datas se mostrou muito eficaz como ferramenta para o entendimento do comportamento da linha de costa da praia de Guaratuba em uma escala de tempo decadal. A Figura 30 mostra a

posição das linhas de costa de 1963, 1980 e 2016. Importante destacar que o ano de 2016 está representado por duas linhas verdes, a interna sendo o meio-fio interno da rua (Avenida Beira-Mar), e a externa sendo a linha de costa atual.



Figura 30. Posição das linhas de costas de 1963, 1980 e 2016 sobre a imagem aérea de 1963. Praia de Guaratuba-PR.

A sobreposição das linhas de costa (Figura 30) indicou avanço da faixa antrópica (2016) sobre a área de dinâmica natural da praia de Guaratuba, considerada pelo ano de 1963, quando ainda não havia sido estabilizada a linha de costa por obras de infraestrutura urbana. Ao longo do arco, é possível verificar áreas onde os avanços se

apresentam mais intensos. Analisando as linhas de costa de 1963 e 1980, é possível verificar a existência de reentrâncias em pontos da praia onde são observadas um fluxo de ondas com maior energia. Estas reentrâncias podem indicar regiões do arco-praial onde a faixa antrópica está mais exposta à destruição causada por ondas.

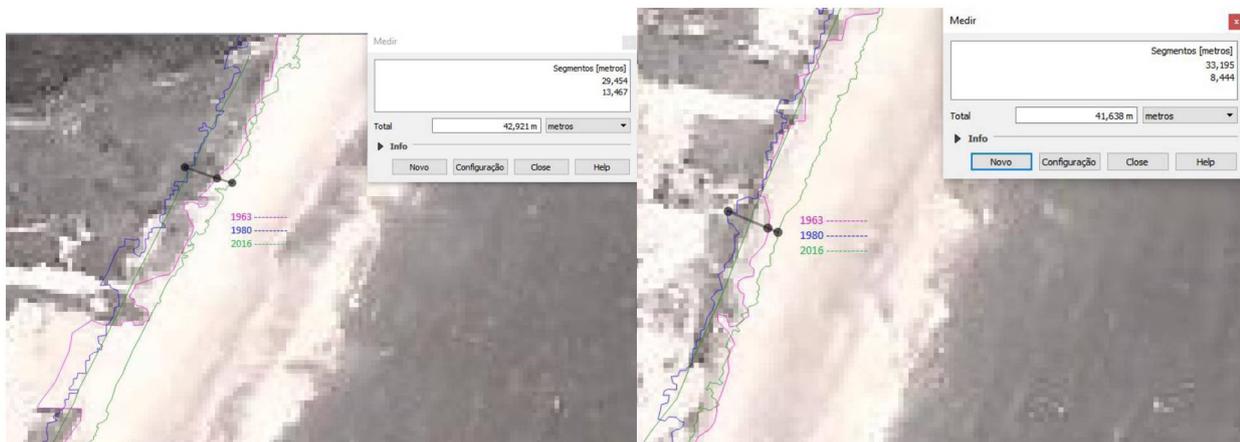


Figura 31. Posição das linhas de costa de 1963, 1980 e 2016 sobre a imagem aérea de 1963, da parte norte da Praia de Guaratuba-PR.

A porção norte do arco-praial exposta na Figura 31, apesar não apresentar episódios relacionados a destruição das obras de infraestrutura, também teve seus limites comprometidos pelas construção da Avenida Beira Mar. Entre 1963 e 1980 é observado um recuo da linha de costa de aproximadamente 30m, e posteriormente em relação ao ano de 2016 um avanço de aproximadamente 45m. Tanto o recuo quanto o avanço observados, ambos estão relacionados a atividades antrópicas de estabilização da linha de costa por meio de construção de obras de infraestrutura urbana.

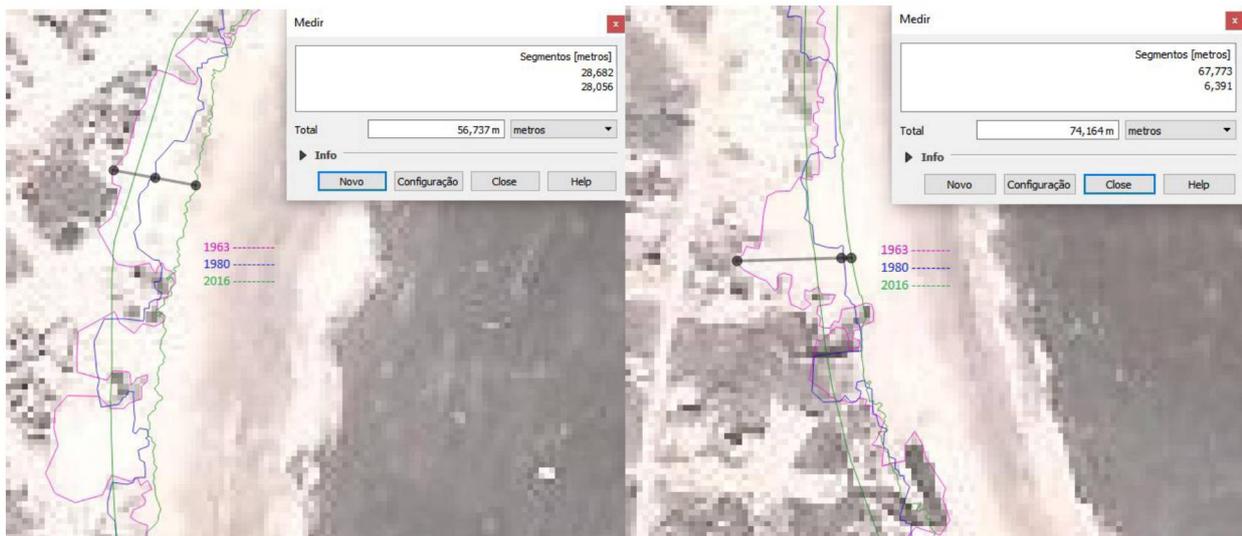


Figura 32. Posição das linhas de costa de 1963, 1980 e 2016 sobre a imagem aérea de 1963, da porção central do arco da Praia de Guaratuba-PR.

Na porção central do arco-praial são notadas variações significativas na linha de costa (Figura 32). Na imagem de 1963, as reentrâncias representam regiões do arco onde as ondas difratadas provenientes do quadrante sul promovem um aumento no limite de espriamento se chocando com a vegetação. Estas reentrâncias podem ser relacionadas aos pontos onde são observados as maiores perdas de obras de infraestrutura urbana promovidas por eventos de alta energia, como na ressaca de 2016 (Figura 9, Figura 13).

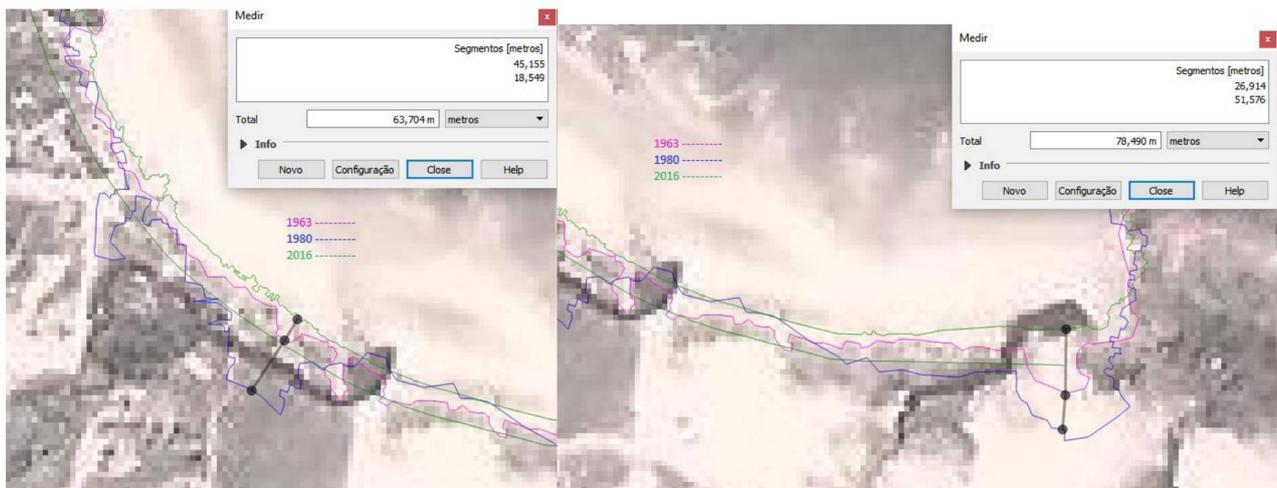


Figura 33. Posição das linhas de costa de 1963, 1980 e 2016 sobre a imagem aérea de 1963, da parte sul da praia de Guaratuba-PR.

Assim como as demais regiões da praia, a porção sul apresenta variações consideráveis na linha de costa (Figura 33). Entre 1963 e 1980 foi quantificada uma distância de 45m na região onde se identificou o maior recuo da linha de costa. Esta é uma área onde se observa, em imagens aéreas disponíveis no histórico de fotos do *software GoogleEarth* (Figura 30, Figura 31, Figura 32, Figura 33), a existência do processo de transporte de sedimentos em volta do promontório, já interpretado por outros autores (Angulo, 2016).

Ao se comparar as sobreposições das linhas de costa da região sul da praia de Guaratuba com os resultados obtidos pelo *software Mepbay*, é possível constatar que se não existisse duas modas direcionais de ondas atuando no arco-praial, as obras de infraestrutura responsáveis pela estabilização da linha de costa estariam ainda mais comprometidas. A existência de dois pontos de difração (Figura 29) no Morro do Cristo sustentam a hipótese de que as porções central e sul da praia estão mais sujeitas a intensificação de processos hidrodinâmicos e também apresentam as maiores variações e reentrâncias na linha de costa.

4. CONCLUSÃO

A Praia de Guaratuba teve seus limites naturais estabilizados por obras de infraestrutura urbana. Os setores sul e central do arco-praial apresentaram as áreas com maior dinâmica de sedimentos e maior exposição a eventos de alta energia, capazes de danificar a faixa antrópica. As destruições decorrentes de eventos de alta energia são pontuais, e dependem do ângulo em que as ondas incidem no promontório rochoso. As ferramentas utilizadas e os métodos aplicados validaram o comportamento parabólico dos setores sul e central da praia de Guaratuba, inclusive pelas características da praia permitirem a aplicação do método.

As sobreposições de imagens evidenciaram o avanço da faixa antrópica sobre os limites naturais da praia. Os perfis planialtimétricos confirmaram a redução nos volumes de areia da parte emersa da praia, provavelmente influenciada pela estabilização artificial da linha de costa. Também foi constatado que eventos de alta energia provocam a destruição de regiões pontuais da orla e que após os eventos de destruição, as obras de contenção avançam ainda mais em direção ao mar, acentuando a redução do limite de dinâmica natural da praia. Conforme se avança em direção ao mar, também são

reduzidas as quantidades de sedimentos disponíveis no arco-praial, tornando o equilíbrio da praia de Guaratuba dependente dos sedimentos transportados por deriva litorânea.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A praia de Guaratuba apresenta uma relação de aporte de sedimentos com sazonalidade, o que está diretamente relacionado com a direção das ondas que incidem sobre o arco-praial. No verão, foi observada predominância na direção de ondas vindas do quadrante leste, proporcionando maior deposição de sedimentos no arco-praial. No inverno, o sentido predominante das ondas é proveniente do quadrante sul (Angulo et al. 2016) fazendo com que o processo de difração das ondas através do Morro do Cristo seja acentuado, gerando correntes capazes de mobilizar quantidades significativas de sedimentos.

Ao longo das campanhas realizadas se observou que a praia de Guaratuba apresenta dois processos dinâmicos distintos. Um no setor centro-sul com maior mobilidade nos volumes de sedimentos, conseqüentemente provocando perdas de infraestrutura quando as variações volumétricas são acentuadas por eventos de alta energia. Já no setor norte se observou menor mobilidade de sedimentos, devido a maior distância da área de influência das ondas difratadas pelo Morro do Cristo. O setor sul do arco-praial, onde há maior energia de onda, ocorreram maiores variações nos volumes de areia, devido aos vórtices gerados por ondas que se difratam no promontório do Morro do Cristo.

As perdas e aporte de sedimentos constatados pela avaliação do balanço sedimentar corroboram com os modelos propostos de praias de enseada, que apresentam uma dinâmica rotacional, e sua estabilidade depende do seu balanço sedimentar. Também foi possível observar que eventos de maior energia podem tanto retirar sedimentos da parte emersa da praia, quanto aportar, e a porção centro-sul da praia é aonde se observa a maior dinâmica do arco-praial, como já observado 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. Quando se observa os dados referentes ao balanço sedimentar da praia de Guaratuba, se confirmam características de uma praia de enseada que tanto se referem a um estado de equilíbrio estático, com ondas de bom tempo quebrando perpendicularmente a costa, quanto a uma condição dinâmica com ondas quebrando em ângulos oblíquos gerando correntes longitudinais (Silvester, 1974).

Mesmo coincidindo nos aspectos gerais de praia de enseada, a praia de Guaratuba apresenta comportamento diferente dos modelos apresentados por Gomes & Castro (2011), Ab Razak (2015) e Bracs *et al.* (2016), principalmente por ter sua linha de costa antropizada delimitada por um muro longitudinal e também por manter tendência negativa no volume de sedimentos na porção emersa do arco-praial. Ao longo do período monitorado (2012 a 2018) observou-se que o muro de contenção, que se estende ao longo de todo o arco-praial, sofre constantemente danos causados por eventos de alta energia de ondas associados a marés meteorológicas. Estes danos, que ocorrem em lugares específicos do arco-praia, mostram o conflito entre a dinâmica natural da praia e o processo de urbanização da orla.

Foi constatado que obras de infraestrutura limitam a dinâmica natural da praia. Na medida em que a infraestrutura urbana avança sobre a praia, ocorre paralelamente a redução do volume de sedimentos disponíveis no arco-praial. Embora os sedimentos transportado pelas correntes de deriva litorânea longitudinais seja essencial para a manutenção dos volumes de areia no arco-praial, ele não é suficiente para compensar as perdas geradas pela interferência do antropização no arco-praial. A areia transportada pelas correntes de deriva é proveniente da praia de Brejatuba, localizada ao sul, e contorna o promontório rochoso do Morro do Cristo.

Apesar das inferências feitas em relação à granulometria e o regime de ondas, é possível que as variações granulométricas apenas representem processos hidrodinâmicos recentes. Os sedimentos coletado na face praial é resultado da dinâmica recentemente atuante, o que pode induzir uma interpretação tendenciosa, pois a exemplo dos dados observados de diâmetro médio, foi constatada uma inversão dos modelos propostos na literatura (p.e. Suguio, 2003). Os resultados da posição das linhas de costa confirmaram a hipótese de que a dinâmica natural da praia, estipulada pela linha de costa de 1963, foi antropizada pela construção de obras de infraestrutura (ruas, calçadões, acesso à praia e etc). A linha de costa foi estabilizada artificialmente, tornando os processos costeiros limitados. Este fato faz com que os sedimentos anteriormente disponíveis estejam aprisionados pela estabilização da linha de costa, reduzindo a capacidade da praia de absorção de energia de ondas fortes, causando ainda mais perda de sedimentos. Esta nova dinâmica de sedimentos só é sustentada pelo processo de deriva litorânea. Por meio da aplicação do software mepbay é possível observar a alternância do ponto de difração das ondas ao longo dos anos. A passagem

de pulsos de sedimentos que contornam o promontório localizado ao sul do arco praial alteram de forma significativa o ponto de difração das ondas. Este fato contribui para o entendimento sobre o posicionamento da linha de costa da praia de Guaratuba.

6. REFERÊNCIAS

- AB RAZAK, M. S. bin. 2015. NATURAL HEADLAND SAND BYPASSING: Towards identifying and modelling the mechanisms and processes. Delft University of Technology, Netherlands, Tese de doutorado. 204p.
- ALVES, J.H.G de M. 1996. Refração do espectro de ondas oceânicas em águas rasas : aplicação à região costeira de São Francisco do Sul SC. Engenharia Ambiental, Uso e Proteção de Ambientes Costeiros. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Dissertação de Mestrado. 89p.
- ANGULO, R.J. 1992. Geologia da planície costeira do estado do Paraná, Inst. Geo. USP, São Paulo. Tese de Doutorado, 334p.
- ANGULO, R. J. & ARAÚJO, A. D. 1996. Classificação da costa paranaense com base na sua dinâmica, como subsidio 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. (Ed. 1). Brazilian beach Systems. Springer International Publishing AG, Switzerland, 419-464p.
- BESSA JR., O. 2003. Interferência entre a ocupação urbana e a dinâmica natural no litoral sul do Paraná. Tese de Doutorado. Pós-Graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, 148p.
- BIRKEMEIER, W.A. 1981. Fast Accurate Two-Person Beach Survey. 22 p., Coastal Engineering Technical Aid 81-11. U.S Army Engineer Waterways Experiment Station. Coastal Engineering Research.

- 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.
- FINDELSTEIN K. 1981. Morphological variations and sediment transport in crenulate bay beaches, Kodiak Island, Alaska. *Marine Geology*, 47: 261-28.
- FOLK, R.L; WARD, W.C. 1965. Brazos River Bay: Study of the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 27 p. 3-27.
- GIANNINI, P. C. F. *Software Momentos*, versão 4, ano 2004, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo - IGc - USP.
- GOMEZ CASTRO, C. 2011. Morphological variability of embayed beaches along the Catalan coast. Dissertação de mestrado. Universitat Politècnica de Catalunya, 188 p.
- GOOGLE MAPS. 2017. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps>. Acessado em 20 de novembro de 2017.
- HSU, J.R.C., EVANS, C. 1989. Parabolic bay shapes and applications. *Proceedings of the Institute of Civil Engineers*, Part 2, 87: 557–570.
- 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 & Geosciences* 29: 1249 – 1257.
- KLEIN A.H.F., FERREIRA O., DIAS J.M.A., TESSLER M.G., SILVEIRA L.F., BENEDET L., MENEZES J.T.G.N. ABREU J.G.N. 2010. Morphodynamics of structurally controlled headland-bay beaches in southeastern Brazil: A review. *Coastal Engineering*, 57:98–111.

- 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.
- MORENO, L.J., E KRAUS, N.C. (1999). Equilibrium shape of headland-bay beaches for engineering design. *Proceedings, Coastal Sediments '99*. American Society of Civil Engineers, 1: 860-875.
- NOAA-National Oceanic and Atmospheric Administration 2017. Disponível em: <http://www.noaa.gov> acessado em: 20 de novembro de 2017.
- NEMES, D., MARONE, E. 2013. Caracterização das ondas de superfície na plataforma interna do Estado do Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências*, 68-69: 12-.
- RANASINGHE R., MCLOUGHLIN R., SHORT A., SYMONDS G. 2004. The Southern Oscillation Index, wave climate, and beach rotation. *Marine Geology* 204: 273-287.
- Portal G1 (Globo.com). 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> >. Acesso em: 15 Agosto de 2018.
- SHORT, A. D. 1999. *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. New York: John Wiley e Sons, 379p.
- SHORT A.D., MASSELINK G. 1999. Embayed and Structurally Controlled Beaches. In: SHORT A. D. (ed.) *Beach and Shoreface Morphodynamics*. John Wiley & Sons, 122-142.
- SILVESTER, R. 1970. Coastal Defense. *Proceedings Institution of Civil Engineers.*, 45:677-682.
- SILVESTER, R. 1974. *Coastal Engineering*. The Netherlands, Elsevier Publ. Co.

SILVESTER, R. E HSU, J.R.C. 1993. Coastal Stabilization: innovative concepts. Englewood Cliffs, New Jersey . Prentice Hall, 578p.

WENTWORTH, C. K., 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. Journal of Geology, 30 : 377-392.

YASSO W.E. 1965. Plan geometry of headlands-bay beaches. Journal of Geology, 73: 702-714.

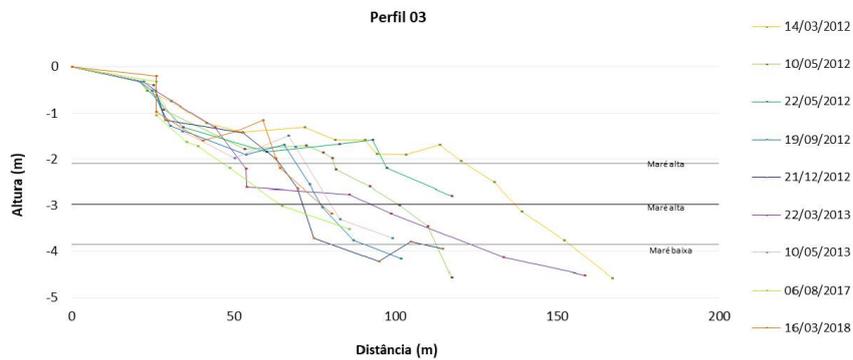
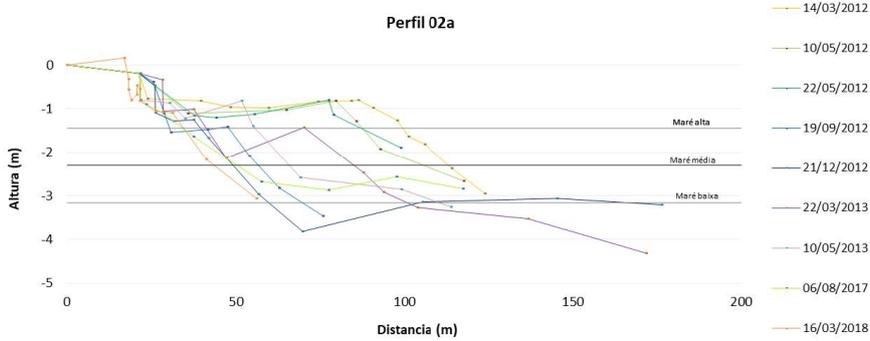
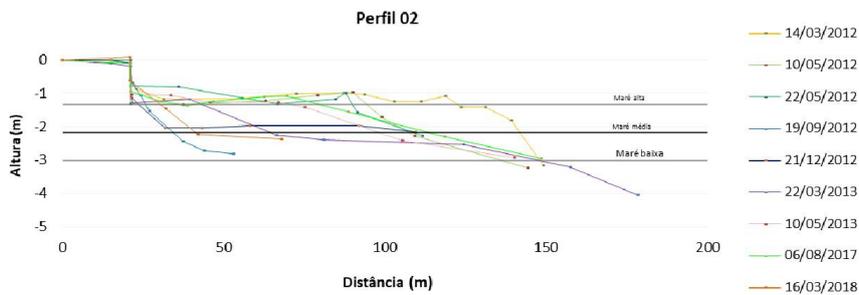
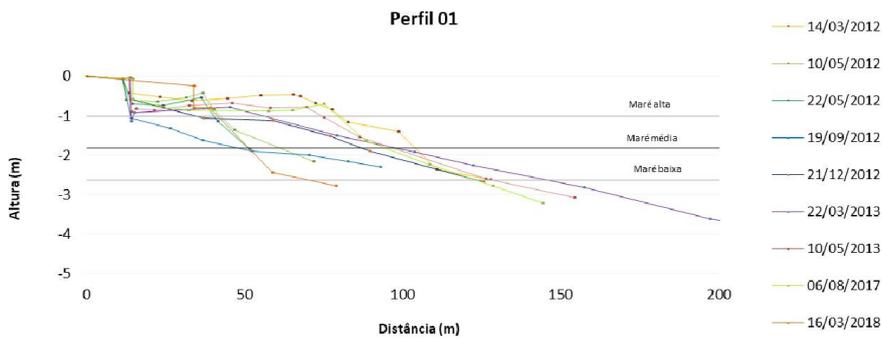
ANEXOS

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

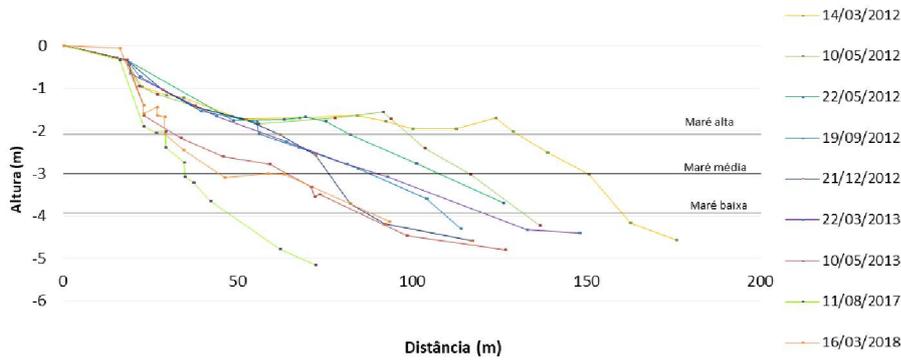
Tabela 3. Variação de volume (em m³) de sedimentos em cada perfil, por campanhas.

	P01	P02	P02a	P03	P03a	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11	P12
14/03/2012	117,7	165,7	163,2	213,7	214,4	276,2	102,1	138,9	124,0	208,3	144,6	167,5	150,4	118,3
10/05/2012	63,0	69,8	45,5	152,3	175,7	212,0	104,8	164,4	98,6	169,5	117,7	129,1	119,3	98,8
22/05/2012	58,1	66,5	125,3	170,8	165,8	201,0	91,0	144,1	92,4	163,1	120,3	118,6	112,1	98,0
19/09/2012	34,4	54,8	79,9	128,8	131,9	179,2	71,8	143,4	90,9	156,1	121,1	131,8	125,0	92,1
21/12/2012	72,1	140,2	75,5	131,5	131,0	166,6	88,3	118,9	70,0	135,5	109,4	127,1	102,9	97,4
22/03/2013	78,2	75,3	95,6	124,5	129,8	156,0	62,3	124,5	74,4	149,8	113,5	125,0	120,3	105,8
10/05/2013	93,3	104,7	96,3	135,5	86,0	169,2	69,7	121,2	83,4	123,5	85,2	157,4	119,7	101,6
06/08/2017	94,2	124,0	70,5	105,3	67,4	113,7	33,5	99,1	61,2	112,2	61,2	96,6	119,3	92,5
16/03/2018	69,5	62,5	67,2	85,2	97,8	150,4	81,4	201,6	70,4	147,7	74,8	178,3	119,6	105,4

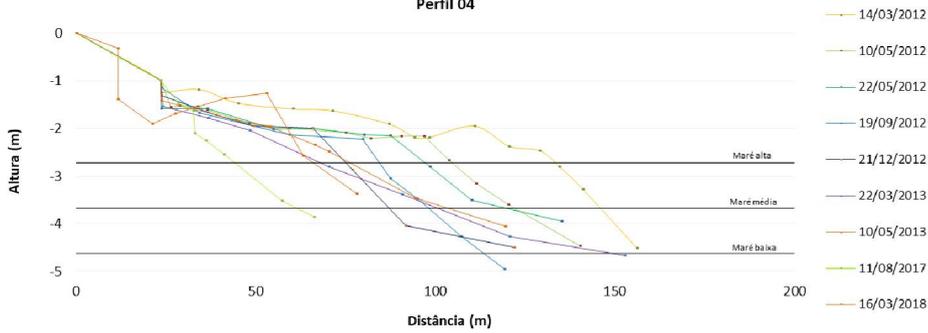
Anexo II Figuras de todos os perfis planialtimétricos, de todas as campanhas.



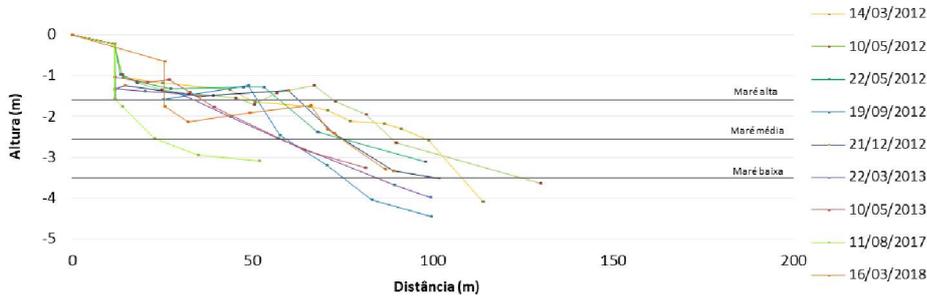
Perfil 03a



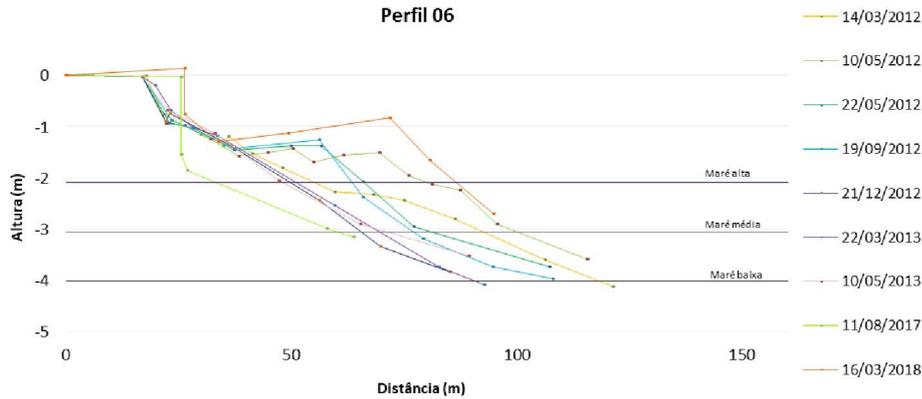
Perfil 04

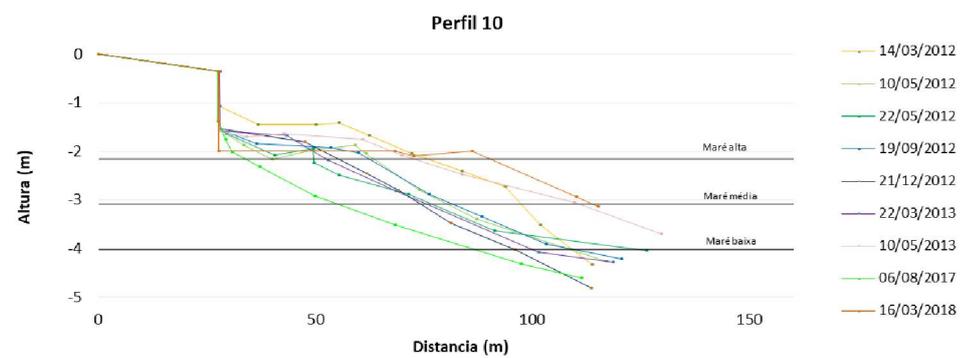
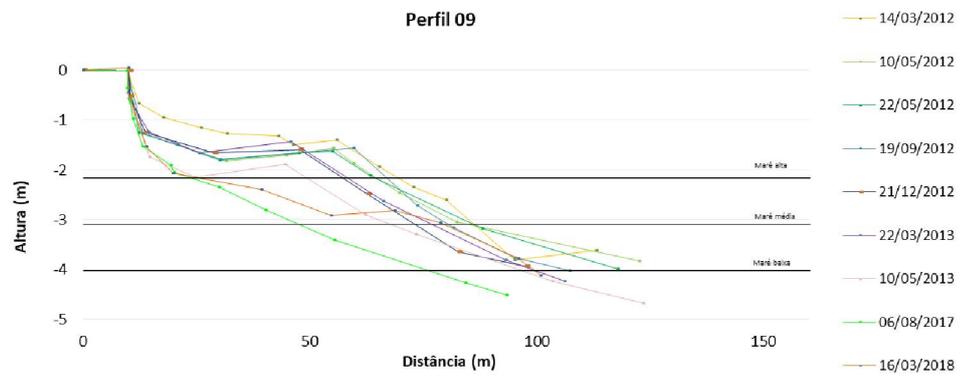
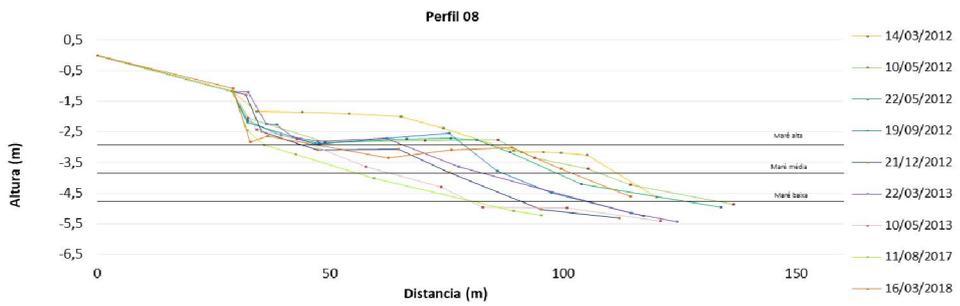
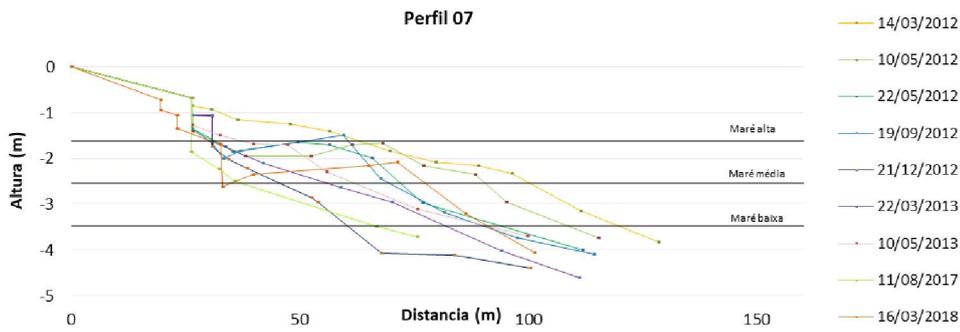


Perfil 05



Perfil 06





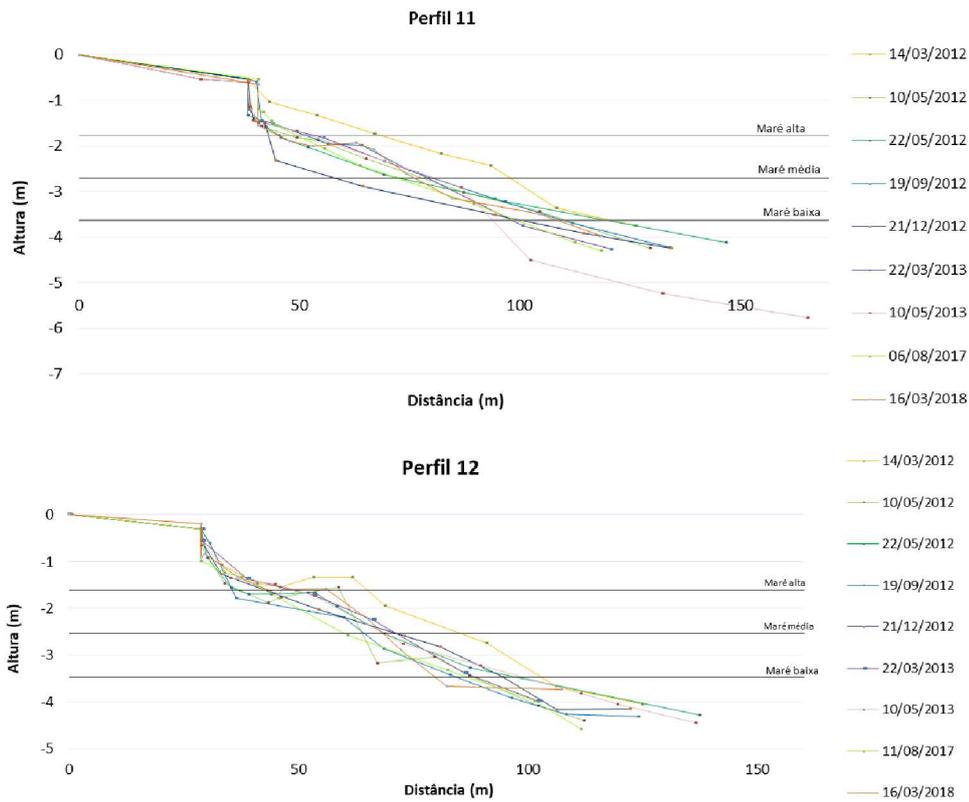


Figura 34 Volume sedimentar (m³) de cada perfil planialtimétrico (P01 a P12), em todas as campanhas realizadas.

Anexo III Análises granulométricas: Histogramas e Parâmetros Estatísticos

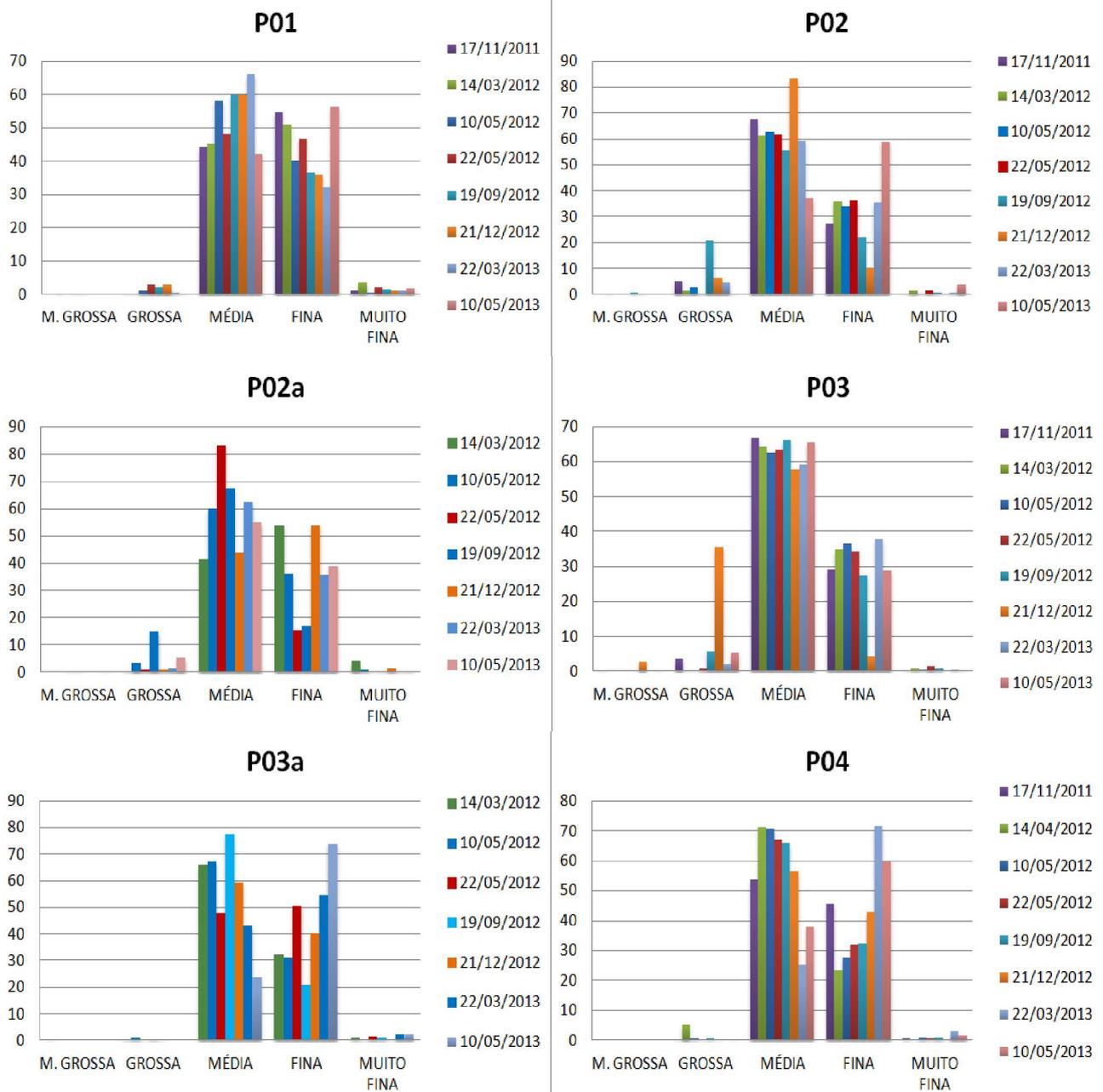
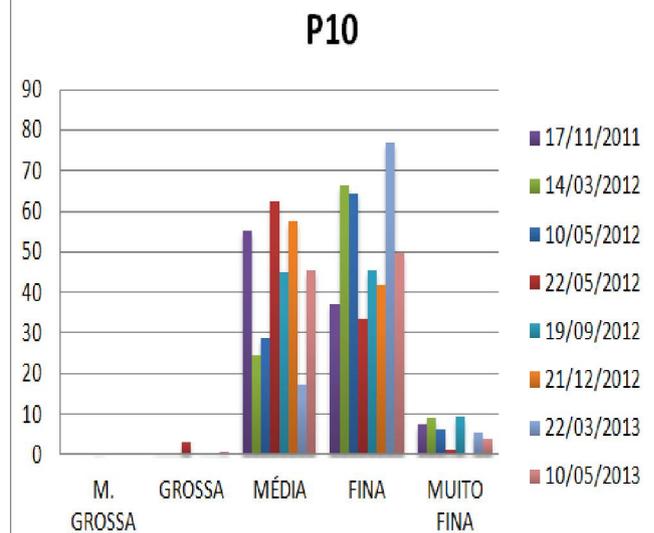
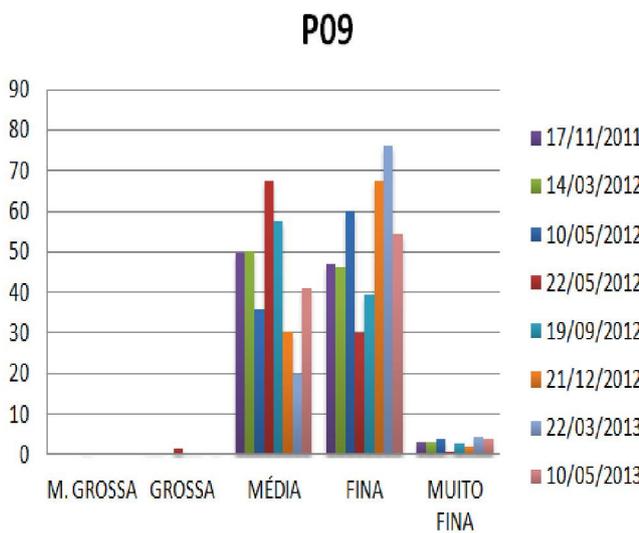
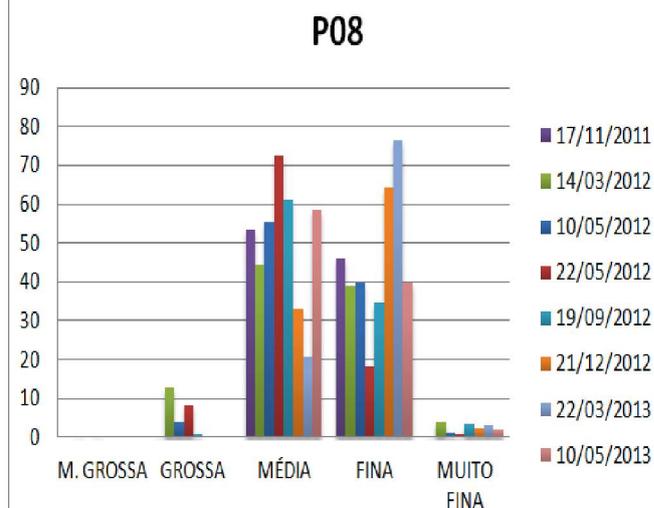
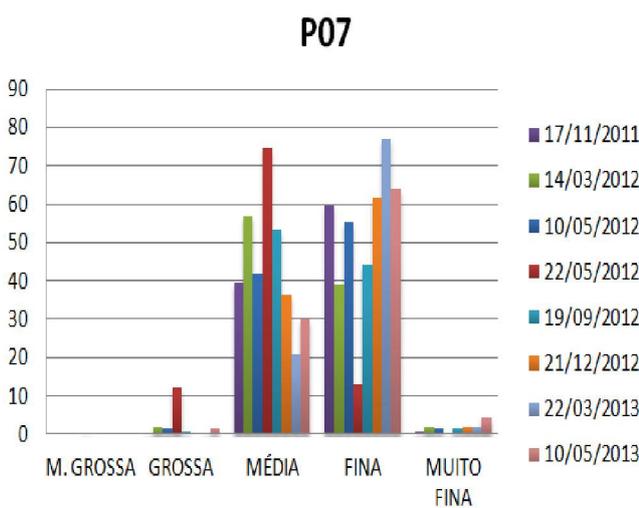
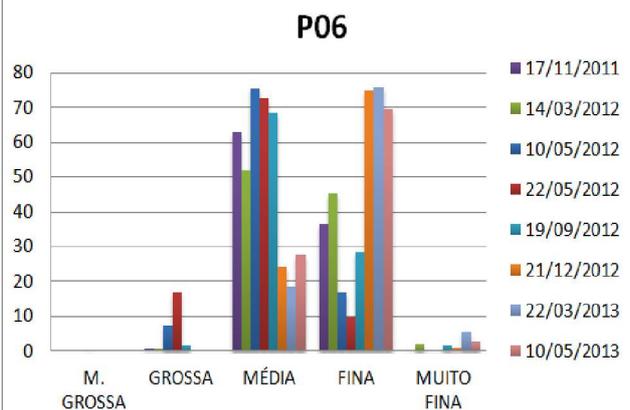
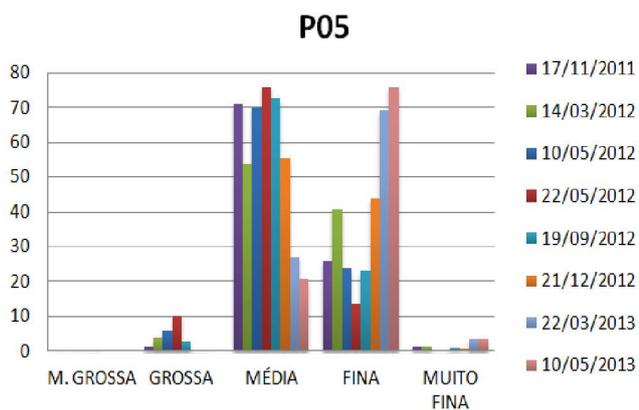


Figura 33. Histogramas relacionando, em cada perfil planialtimétrico (P01 a P04), a porcentagem acumulada de areia, de acordo com a sua granulometria (em mm), com as campanhas realizadas.



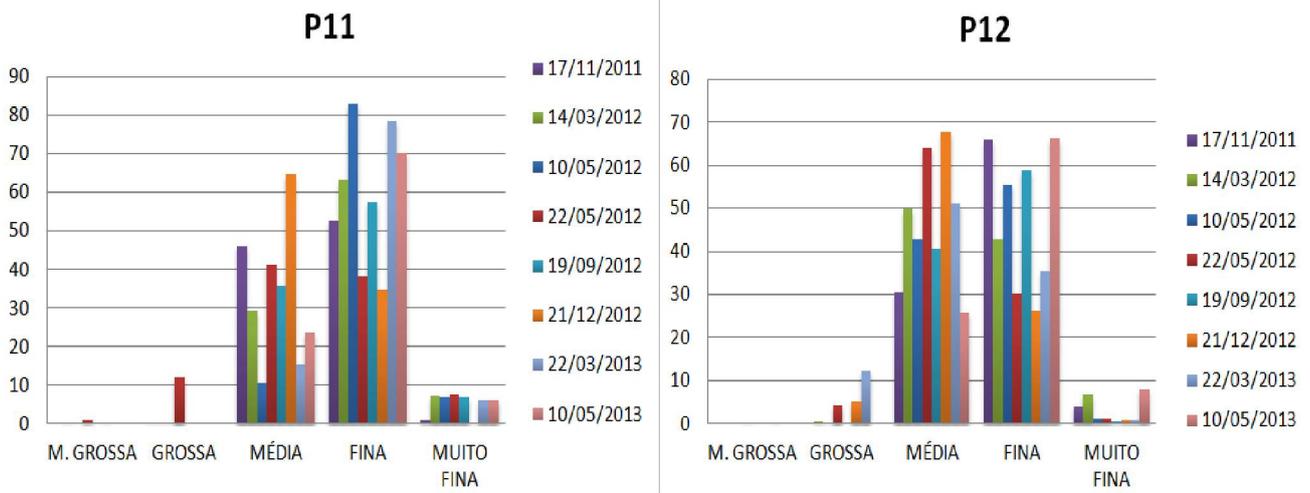


Figura 34 Histogramas relacionando, em cada perfil planialtimétrico (P01 a P12), a porcentagem acumulada de areia, de acordo com a sua granulometria (em mm), com as campanhas realizadas.

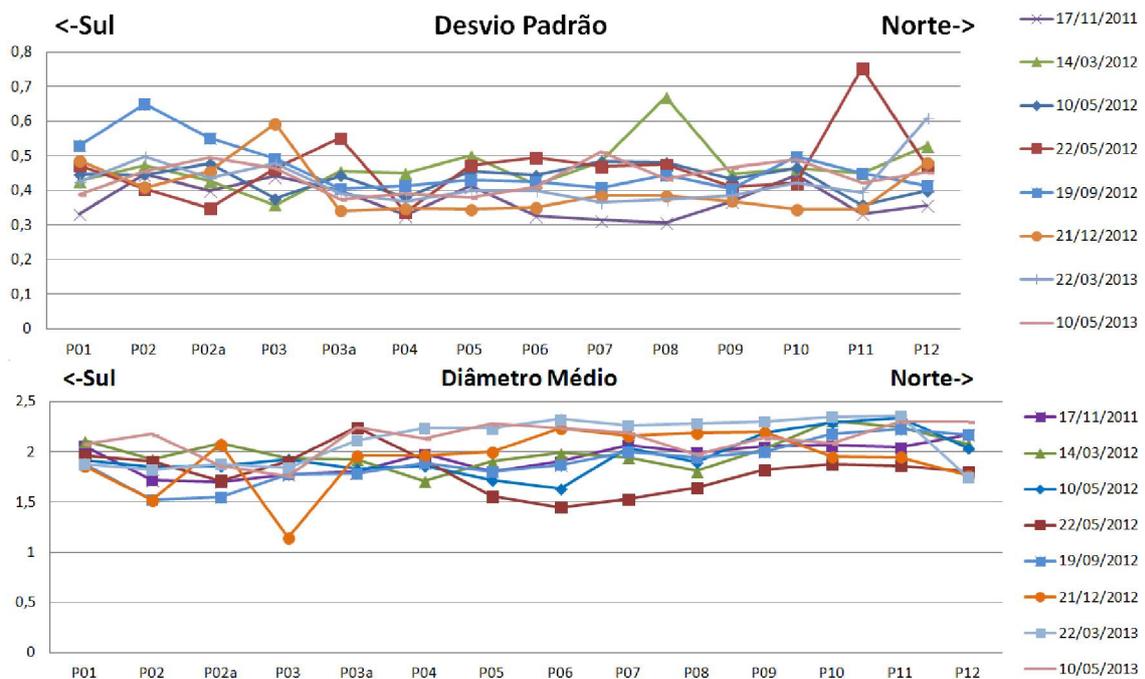


Figura 35: Parâmetros estatísticos avaliados nos sedimentos - Desvio Padrão e Diâmetro Médio.

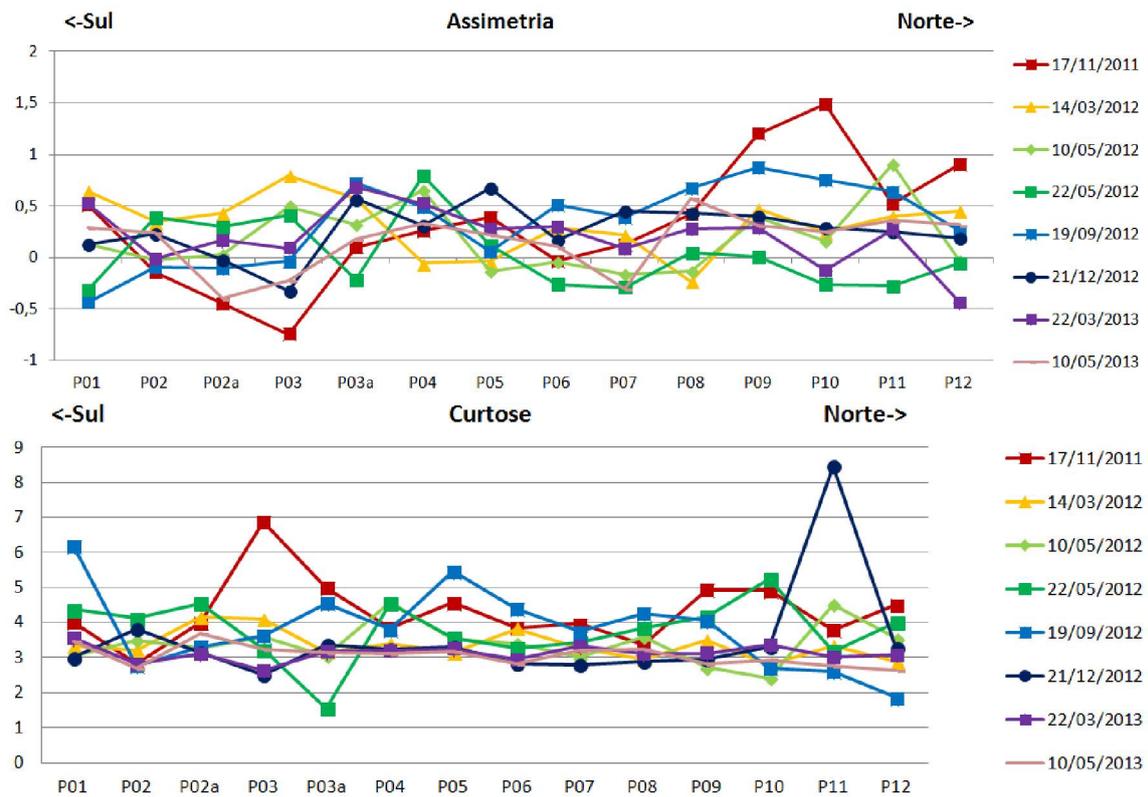


Figura 36: Parâmetros estatísticos avaliados nos sedimentos - Assimetria e Curtose