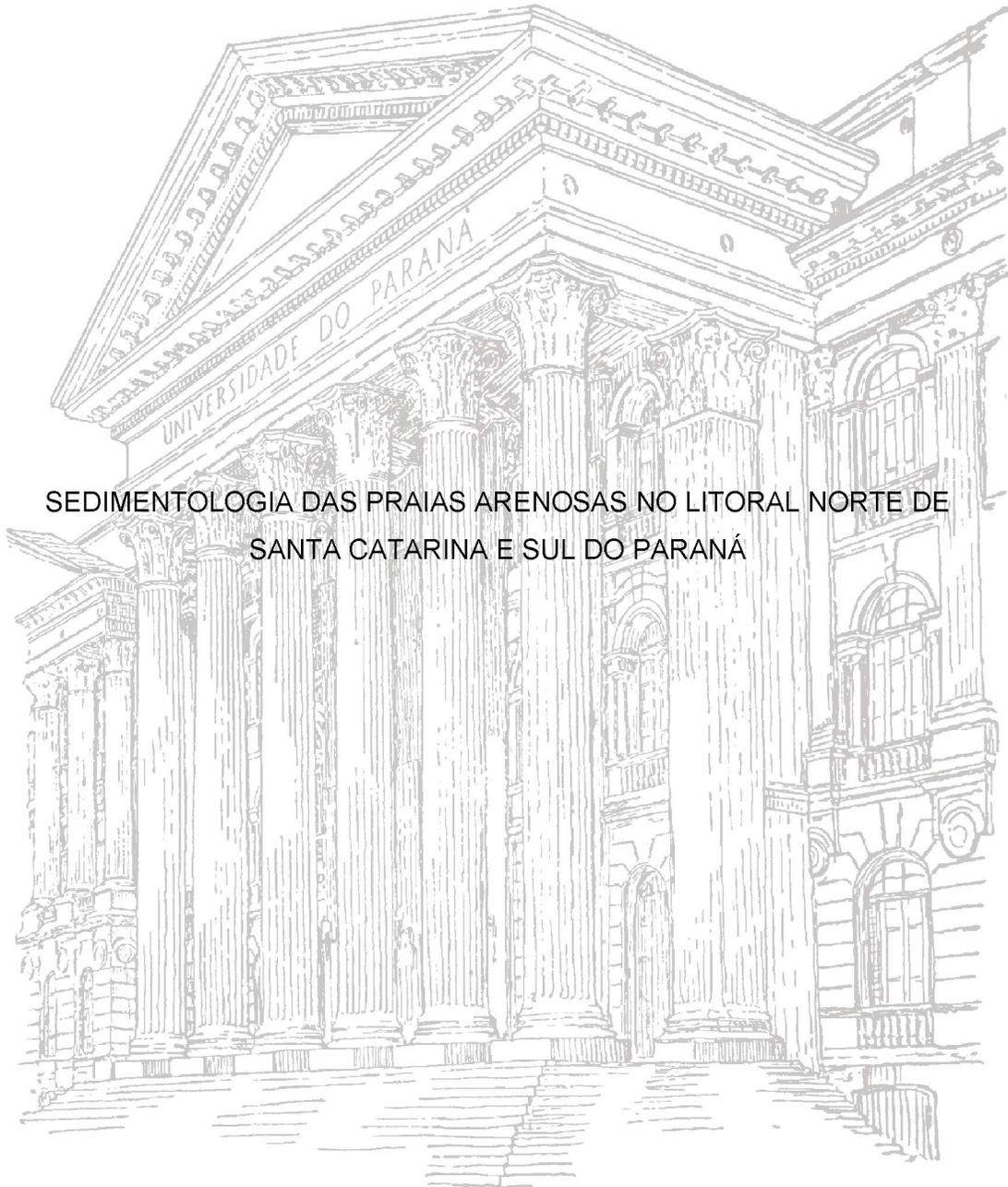


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

THAÍS GUIMARÃES DE FREITAS



SEDIMENTOLOGIA DAS PRAIAS ARENOSAS NO LITORAL NORTE DE
SANTA CATARINA E SUL DO PARANÁ

CURITIBA

2019

THAÍS GUIMARÃES DE FREITAS

SEDIMENTOLOGIA DAS PRAIAS ARENOSAS NO LITORAL NORTE
DE SANTA CATARINA E SUL DO PARANÁ

Dissertação apresentada como requisito parcial à
obtenção do título de Mestre em Geologia do Curso
de Pós-Graduação em Geologia, Setor de Ciências
da Terra, Departamento de Geologia, Universidade
Federal do Paraná.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Cristina de Souza

CURITIBA

2019

F866s Freitas, Thaís Guimarães de
Sedimentologia das praias arenosas no litoral norte de Santa Catarina e sul do Paraná [recurso eletrônico] / Thaís Guimarães de Freitas. – Curitiba, 2019.

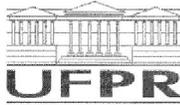
Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós- Graduação em Geologia, 2019.

Orientadora: Maria Cristina de Souza.

1. Sedimentologia. 2. Minerais pesados. 3. Transporte de sedimentos. 4. Erosão de praias. I. Universidade Federal do Paraná. II. Souza, Maria Cristina de. III. Título.

CDD: 551.354

Bibliotecária: Vanusa Maciel CRB-9/1928



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO GEOLOGIA -
40001016028P5

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 **THAIS GUIMARÃES DE FREITAS** intitulada: **SEDIMENTOLOGIA DAS PRAIAS ARENOSAS NO LITORAL NORTE DE SANTA CATARINA E SUL DO PARANÁ**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua A PROVAÇÃO 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, 29 de Março de 2019.


MARIA CRISTINA DE SOUZA

Presidente da Banca Examinadora (UFPR)


DANIEL RODRIGUES DO NASCIMENTO JUNIOR

Avaliador Externo (UFC)


VINÍCIUS RIBAU MENDES
Avaliador Externo (UNIFESP)

AGRADECIMENTOS

À Profª Maria Cristina Souza, pela orientação e principalmente pelo incentivo durante as etapas e imprevistos na execução deste trabalho.

Ao Rodolfo José Angulo, sempre presente, ajudando com idéias, correções e conversas produtivas.

Ao Bruno Henrique Pessler, Fabian Sá e Luiz Sielski de Oliveira, pela inestimável ajuda nos trabalhos de campo.

À todos os companheiros do LECOST- Laboratório de Estudos Costeiros, pelos cafés, conversas, momentos de descontração e apoio.

*“Muitos dos fracassos da vida
são de pessoas que não perceberam
o quão perto do sucesso estavam,
quando preferiram desistir.”*

Thomas Edison

RESUMO

Praias podem ser formadas por sedimentos de diversas composições e granulações. Os componentes dos sedimentos trazidos à costa são redistribuídos na direção da deriva litorânea. Parâmetros estatísticos granulométricos e minerais pesados também acompanham um padrão de distribuição permitindo identificar direções preferenciais do transporte sedimentar. Esta pesquisa teve por objetivo entender a forma como a dinâmica sedimentar costeira conduz a distribuição da granulação e da mineralogia nas praias compreendidas entre a desembocadura da baía da Babitonga, Itapoá-SC, e a desembocadura da baía de Guaratuba, Guaratuba-PR. Foram comparadas amostras coletadas sob o mesmo procedimento, em duas datas distintas, inverno de 1994 e inverno de 2011. Observou diferenças nos dados tanto na granulação quanto nos minerais pesados, quando analisadas as duas datas. O trecho que apresentou as maiores variações foi o de Itapoá, sua granulação aumentou, passando de areia fina para média em diversos trechos. Foi nessa área também que ocorreram as maiores variações mineralógicas, com aumento da proporção de minerais ultraestáveis nas amostras. Apesar das diferenças quanto aos padrões sedimentológicos, esse trecho mostrou padrões semelhantes quando analisado o sentido do transporte dos sedimentos, o qual foi identificado inversões do rumo da deriva litorânea em vários pontos. O sentido do transporte sedimentar paralelo à costa na porção norte catarinense e sul paranaense é orientado para quadrantes de Norte, onde os sedimentos são conduzidos no sentido das correntes de deriva litorânea. Quando analisamos de forma geral, esse é o movimento resultante do transporte, mas quando a área é analisada de forma refinada é possível identificar outros rumos, sugerindo células de deriva atuantes em diversos trechos da área de estudo. Os rios Saí-mirim e Saí-guaçu apresentaram uma composição distinta, sugerindo receber sedimentos provenientes de rochas com ambientes tectônicos diferentes. A análise qualitativa dos minerais pesados nos rios Saí-mirim e do córrego das Palmeiras sugerem uma contribuição sedimentar de rochas com origens metamórficas, enquanto que o rio Saí-guaçu indica fontes de rochas vulcânica. Observou-se que há contribuição mineralógica proveniente do aporte dos rios nas praias.

Palavras-chave: Sedimentologia. Parâmetros estatísticos granulométricos. Minerais pesados. Transporte costeiro.

ABSTRACT

Beaches can be formed by sediments of various compositions and grain sizes. The composition of the sediments brought to the coast is redistributed in the direction of the coastal drift. Statistical parameters and heavy minerals also accompany a distribution pattern allowing the identification of preferential directions of sedimentary transport. This research was to understand how coastal sediment dynamics leads to the distribution of grain size and mineralogy on the beaches between the mouth of Babitonga Bay, Itapoá-SC, and the mouth of Guaratuba Bay, Guaratuba-PR. Samples collected under the same procedure were compared on two different dates, winter 1994 and winter 2011. Differences were observed in both grain size and heavy minerals data, when we analyzed the two dates. The section that presented the greatest variations was that of Itapoá, its grain size increased, passing from fine sand to medium in several stretches. It was in this area also that the greatest mineralogical variations occurred, with an increase in the proportion of ultra-stable minerals in the samples. In spite of differences in sedimentological patterns, this section showed similar patterns when the direction of sediment transport was analyzed, which was identified inversions of the drift of the coastal drift in several points. The direction of the sedimentary transport parallel to the coast in the northern part of Santa Catarina and Paraná south is oriented to the northern quadrants, where the sediments are driven towards the coastal drift currents. When we analyze the big picture, this movement seems to result from the transport, but when the area is analyzed in a refined way it is possible to identify other directions, suggesting that drift cells are acting in different stretches of the study area. The Saí-mirim and Saí-guaçu Rivers presented a distinct composition, suggesting each one receives sediments coming from rocks with different tectonic environments. The qualitative analysis of the heavy minerals in the Saí-mirim and the Palmeiras streams suggest a sedimentary contribution of rocks with metamorphic origins, while the Saí-guaçu river indicates sources of volcanic rocks. It was observed that the mineralogical contribution of the rivers in the beaches is palpable.

Keywords: Sedimentology. Granulometric. Statistics Parameter. Heavy minerals. Coastal transport.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - MAPA DA ÁREA DE ESTUDO.....	15
FIGURA 2 - MAPA DAS PLANÍCIES COSTEIRAS DA ÁREA DE ESTUDO. ..	17
FIGURA 3 - OCORRÊNCIA DOS FENÔMENOS EL NIÑO E LA NIÑA ENTRE OS ANOS DE 1968 E 2018. INTENSIDADES BAIXAS CORRESPONDEM ATÉ 0,5; INTENSIDADE MODERADA, ENTRE 0,5 E 1,0 E INTENSIDADE FORTE, ACIMA DE 1,0.* (FONTE DOS DADOS: HTTP://ENOS.CPTEC.INPE.BR/).....	23
FIGURA 4 - TERMINOLOGIAS DE AMBIENTES E SUBAMBIENTES LITORÂNEOS EM LÍNGUA PORTUGUESA (ANGULO, 1996)..	25
FIGURA 5 - ÁREA DE ESTUDO COM TODOS OS PONTOS AMOSTRADOS NA COLETA DE 2011.....	35
FIGURA 6 - COLETA E ARMAZENAMENTO DAS AMOSTRAS NA PRAIA (A) E NO RIO (B).....	35
FIGURA 7 - SUBDIVISÕES DA ÁREA DE ESTUDO.....	36
FIGURA 8 - (A) ESQUEMA DE MONTAGEM PARA A SEPARAÇÃO DENSIMÉTRICA. (B) SEPARAÇÃO DENSIMÉTRICA UTILIZANDO BROMOFÓRMIO.	39
FIGURA 9 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	44
FIGURA 10 - DADOS DE PARÂMETROS ESTATÍSTICOS SEDIMENTOLÓGICOS, DIÂMETRO MÉDIO, GRAU DE SELEÇÃO E ASSIMETRIA, PARA OS ANOS DE 1994 E 2011, EM ESCALA PHI (Φ) NO EIXO VERTICAL. AS SUBÁREAS DELIMITADAS REPRESENTEM (1) ITAPOÁ, (2) ILHA DO SAÍ, (3) BREJATUBA, (4) PRAIA CENTRAL DE GUARATUBA E (5) PRAIA DE CAIEIRAS, NO EIXO HORIZONTAL.....	46
FIGURA 11 - MAPA COM OS VETORES DE TENDÊNCIA DO TRANSPORTE SEDIMENTAR, CONFECCIONADO A PARTIR DE PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA, UTILIZANDO O <i>PLUGIN</i> GISEDTREND NO <i>SOFTWARE</i> QGIS, PARA OS ANOS DE 1994 E 2011.....	47
FIGURA 12 - VARIAÇÃO DOS ÍNDICES DE MINERAIS PESADOS ULTRAESTÁVEIS (IZTR), METAESTÁVEIS (IMET) E INSTÁVEIS (IINS), PARA OS ANOS DE 1994 E 2011, EM PORCENTAGEM (%) NO EIXO VERTICAL. AS SUBÁREAS DELIMITADAS REPRESENTEM (1) ITAPOÁ, (2) ILHA DO SAÍ, (3) BREJATUBA, (4) PRAIA CENTRAL DE GUARATUBA E (5) PRAIA DE CAIEIRAS, NO EIXO HORIZONTAL.....	48

FIGURA 13 - VARIAÇÃO DOS ÍNDICES DE MINERAIS PESADOS ITZ, I1 E IRZ, PARA OS ANOS DE 1994 E 2011, EM RAZÃO PERCENTUAL, NO EIXO VERTICAL. AS SUBÁREAS DELIMITADAS REPRESENTEM (1) ITAPOÁ, (2) ILHA DO SAÍ, (3) BREJATUBA, (4) PRAIA CENTRAL DE GUARATUBA E (5) PRAIA DE CAIEIRAS, NO EIXO HORIZONTAL.....	49
FIGURA 14 - ANÁLISE DE ESCALONAMENTO MULTIDIMENSIONAL NÃO-MÉTRICA (NMDS), CONSIDERANDO OS ANOS DE 1994 E 2011 COMO FATOR.....	50
FIGURA 15 - PONTOS AMOSTRADOS NOS RIOS E CÓRREGOS NOS ANOS DE 1994 E 2011.....	55
FIGURA 16 - OCORRÊNCIA DOS MINERAIS PESADOS IDENTIFICADOS, NOS RIOS SAÍ-MIRIM E SAÍ-GUAÇU, NOS ANOS DE 1994 E 2011. O EIXO (Y) É REPRESENTADO PELA QUANTIDADE DE MINERAIS EM GRÃOS, E O EIXO (X) PELA ABUNDÂNCIA DE MINERAIS ENCONTRADO NAS AMOSTRAS	56
FIGURA 17 - OCORRÊNCIA DOS MINERAIS PESADOS IDENTIFICADOS NOS RIOS E CÓRREGOS NA AMOSTRAGEM DE 2011. O EIXO (Y) É REPRESENTADO PELA QUANTIDADE DE MINERAIS EM GRÃOS, E O EIXO (X) PELA ABUNDÂNCIA DE MINERAIS ENCONTRADO NAS AMOSTRAS.	56
FIGURA 18 - ANÁLISE DE ESCALONAMENTO MULTIDIMENSIONAL NÃO-MÉTRICA (NMDS), PARA OS RIOS SAÍ-MIRIM EM 1994 (SM 94), EM 2011 (SM D 11), E O RIO SAÍ-MIRIM MAIS AFASTADO DA DESEMBOCADURA (SM 11). O CÓRREGO DAS PALMEIRAS FOI IDENTIFICADO COMO (R PAL 11). O RIO SAÍ-GUAÇU EM 1994 (SG 94) E EM 2011 (SG D 11).....	58
FIGURA 19 - CLASSIFICAÇÃO DO USO DO SOLO NO MUNICÍPIO DE ITAPOÁ ENTRE OS ANOS DE 1978 E 2015. FONTE: MODIFICADO DE BRIESE (2016).....	59
FIGURA 20 - IMAGENS CAPTADAS DURANTE A COLETA DE 2011, NA ÁREA ITAPOÁ OU TRECHO 1, QUE MOSTRAM O RECUO DA LINHA DE COSTA. (FONTE: A AUTORA).	61
FIGURA 21 – MAPA GEOLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO, COM OS RIOS ANALISADOS NESSES TRABALHO SOBREPOSTOS. MODIFICADO DE CURY (2009).	64

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - POSSIBILIDADES DE CASOS DE TENDÊNCIA DE TRANSPORTE PELA COMBINAÇÃO DE PARÂMETROS GRANULOMÉTRICOS (F= MAIS FINO; C= MAIS GROSSO; B= MELHOR SELECIONADO; P= PIOR SELECIONADO; +=ASSIMETRIA MAIS POSITIVA, - = ASSIMETRIA MAIS NEGATIVA (MCLAREN E BOWLES,1985; GAO E COLLINS,1994; CHANG <i>ET AL.</i> 2001).	28
TABELA 2 - TABELA COM AS AMOSTRAS DO GRUPO SAÍ-MIRIM, SIMILARIDADE MÉDIA DE 79,91.....	57
TABELA 3 - TABELA COM AS AMOSTRAS DO GRUPO SAÍ-MIRIM, SIMILARIDADE MÉDIA DE 70,62.....	57
TABELA 4 - TABELA COM OS PRINCIPAIS COMPONENTES DO CÓRREGO DAS PALMEIRAS	58

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	12
1. Tema da pesquisa.....	12
2. Sobre a estrutura da dissertação	14
3. Caracterização da área de estudo	14
3.1. Contexto Geológico	15
3.2. Parâmetros físicos	18
3.2.1. Circulação litorânea.....	18
3.2.2. Ondas.....	20
3.2.3. Ventos e frontogêneses.....	21
3.2.4. Marés.....	22
3.2.5. Ocorrências de <i>El Niño</i> e <i>La Niña</i>	22
4. Estado da arte.....	23
4.1. Terminologias do ambiente praias.....	23
4.2. Sedimentologia de praias.....	25
4.3. Granulação como indicador de transporte sedimentar	27
4.4. Minerais pesados.....	28
5. Objetivos	33
6. Métodos empregados	34
6.1. Procedimentos em campo	34
6.2. Procedimento em laboratório	36
6.2.1. Análises granulométricas.....	36
6.2.2. Separação densimétrica	37
6.2.3. Separação dos minerais magnéticos.....	38
6.2.4. Confecção das lâminas e contagem dos minerais	39
6.2.5. Tratamento estatístico	40
6.2.6. Utilização do modelo <i>Grain Size Trend Analysis</i> (GSTA).....	41
CAPÍTULO 2	42
7. Artigo: VARIAÇÃO TEMPORAL DA GRANULAÇÃO E DA ASSEMBLEIA DE MINERAIS PESADOS NAS PRAIAS ENTRE AS BAÍAS DE GUARATUBA E BABITONGA: IDENTIFICAÇÃO DO SENTIDO DA DERIVA LITORÂNEA	42
8. Resultados Complementares	55
8.1. Minerais pesados nos rios	55
CAPÍTULO 3	59
9 Discussão.....	59
10 Conclusões e considerações finais	65
REFERÊNCIAS	67

APÊNDICES	74
------------------------	-----------

CAPÍTULO 1

1. TEMA DA PESQUISA

A zona costeira é uma área que está constantemente sofrendo mudanças, sejam elas de origem antrópica ou natural. É um local complexo pois é influenciado por processos marinhos e terrestres, que interagem entre si por meio de variáveis físicas, químicas, biológicas, climáticas e antrópicas, estabelecendo um delicado equilíbrio dinâmico. Dentre os agentes de modificações naturais, podemos destacar primariamente as ondas e, secundariamente, as correntes transversais e longitudinais por elas induzidas e em alguns casos, as marés e os ventos soprando na costa.

As alterações antrópicas na região litorânea são intensificadas com o crescimento demográfico em torno das áreas costeiras. Pelo fato de muitas cidades terem as suas economias baseadas no turismo, há anos balneários e praias vêm recebendo os efeitos diretos do aumento populacional. Como consequência, há um avanço desordenado da ocupação das costas e da multiplicação dos usos que se faz dessas regiões. Muitos estudos têm sido realizados em todo o mundo a fim de se obter um melhor conhecimento e compreensão da interação homem-ambiente na zona costeira (CEIA *et al.*, 2010).

Inseridas neste ambiente costeiro/litorâneo estão as praias arenosas, definidas como zonas de depósito de sedimentos situadas entre o continente e o oceano. Diversos são os conceitos usados para definir o termo praia, mas o caráter não coesivo dos sedimentos que as compõe e a dominância dos fatores hidrodinâmicos como ondas, correntes e marés, são unânimes.

No Brasil, as praias arenosas distribuem-se ao longo de quase toda a costa, estendendo-se por uma faixa de 9200 km (SANTOS *et al.*, 2010). Elas são consideradas ambientes sensíveis, sujeitos às variações no tempo dos níveis de energia local, tendo como consequência a alteração da sua forma e da mobilidade sedimentar (SHORT, 1999).

O regime de ondas associado às correntes litorâneas são os fatores hidrodinâmicos responsáveis pelos processos de erosão, transporte e deposição dos sedimentos. Eventos de alta energia, como por exemplo ondas de tempestades associadas a marés de sizígia, são responsáveis por processos de

erosão na face da praia e nas dunas. A ação das ondas na região da praia gera correntes (correntes de deriva litorânea e correntes de retorno) as quais controlam, através do movimento da água, o mecanismo e o transporte de sedimentos (WRIGHT; SHORT, 1984).

Segundo Komar (1976), a granulação exerce importante efeito sobre praias arenosas. Grãos mais finos tendem a repousar em equilíbrio em perfis com baixa declividade, enquanto o incremento do diâmetro do grão gera perfis mais íngremes e vice-versa. O autor afirma que os três fatores que controlam a distribuição do tamanho de grãos nos sedimentos da praia são: fonte do sedimento, nível de energia e declive geral do perfil praiial.

Técnicas analíticas para identificação de tendências de transporte sedimentar têm sido desenvolvidos com base nas relações entre as características granulométricas e razões mineralógicas.

Variações espaciais dos parâmetros estatísticos granulométricos (tamanho médio do grão, desvio padrão e assimetria) dos sedimentos que formam o ambiente praiial podem ocorrer dentro de um mesmo depósito sedimentar, essas variações são consequência de processos como abrasão, transporte seletivo e adição de novas partículas no ambiente praiial (GAO, 1996).

Os minerais pesados são utilizados como importantes indicadores de processos sedimentares, uma vez que a sua presença e/ou distribuição espacial em determinados depósitos sugere a intensidade, a duração e a orientação do transporte sedimentar (MANGE; WRIGHT, 2007).

A quantidade de determinado mineral pesado em um dado local depende principalmente da sua abundância na área fonte e da intensidade de transporte, incluindo sua capacidade de resistir ao retrabalhamento e à dissolução química e sua facilidade de se concentrar por seleção hidro ou aerodinâmica (MORTON; HALLSWORTH, 1994).

Segundo Tomazelli (1978), conhecendo-se as espécies e a distribuição dos minerais pesados, é possível executar mapeamentos sedimentológicos, relacionando-os com as formações geológicas e a área fonte dos sedimentos.

Além do entendimento dos processos da dinâmica sedimentar, os resultados deste trabalho podem servir como subsídio para a gestão costeira, fornecendo dados e resultados que auxiliem nos planos de manejo para este trecho da orla dos estados de Santa Catarina e Paraná.

2. SOBRE A ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação inicia-se com um capítulo introdutório onde são apresentados o tema de pesquisa (item 1), a estruturação da dissertação (item 2), a caracterização da área de estudo (item 3), o estado da arte (item 4), os objetivos (item 5) e por fim, os métodos empregados (item 6).

A “Caracterização da área estudo” apresenta a localização e os principais aspectos geológicos do trecho estudado. O “Estado da arte”, consiste em um levantamento dos principais trabalhos ligados ao tema desse estudo, bem como definições de termos empregados nessa pesquisa. Nos “Objetivos”, são apresentados tanto os objetivos gerais como os específicos, e a hipótese de trabalho levantada. Em “Métodos empregados” são apresentados todos os materiais e métodos utilizados ao longo desse trabalho.

O capítulo dois é destinado aos resultados. Parte dos resultados é apresentado no formato de um artigo científico (item 7), cumprindo a normativa interna do Programa de Pós-Graduação em Geologia, da Universidade Federal do Paraná (UFPR). A formatação do artigo é diferente do restante da dissertação, pois segue as normas do periódico científico pretendido para publicação. Ressalta-se que a numeração das figuras do artigo segue a numeração da dissertação como um todo, portanto, não se inicia na Figura 1.

Dados referentes a pesquisa e que não foram apresentados no artigo, são apresentados no tópico “Resultados complementares” do mesmo capítulo (item 8).

A parte final da dissertação (capítulo 3) reúne as discussões (item 9) e considerações finais sobre os principais resultados obtidos e recomendações para estudos futuros (item 10). No item “Referencias” encontram-se as referências bibliográficas de todo o volume, inclusive as referências contidas no artigo.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende todo arco praial delimitado pelas baías da Babitonga ao sul, e pela Baía de Guaratuba ao norte. Nesse arco, está localizada a divisa estadual entre os estados de Santa Catarina (SC) e Paraná (PR). Na

porção catarinense situa-se o município de Itapoá, na porção paranaense o município de Guaratuba (FIGURA 1).

O litoral dos estados do Paraná e Santa Catarina situa-se em um arco estrutural da Bacia Sedimentar de Santos, bacia essa que foi alimentada pela elevação da serra do Mar e possui uma cobertura sedimentar que chega a 8 km de espessura (ANGULO *et al.*, 2009).

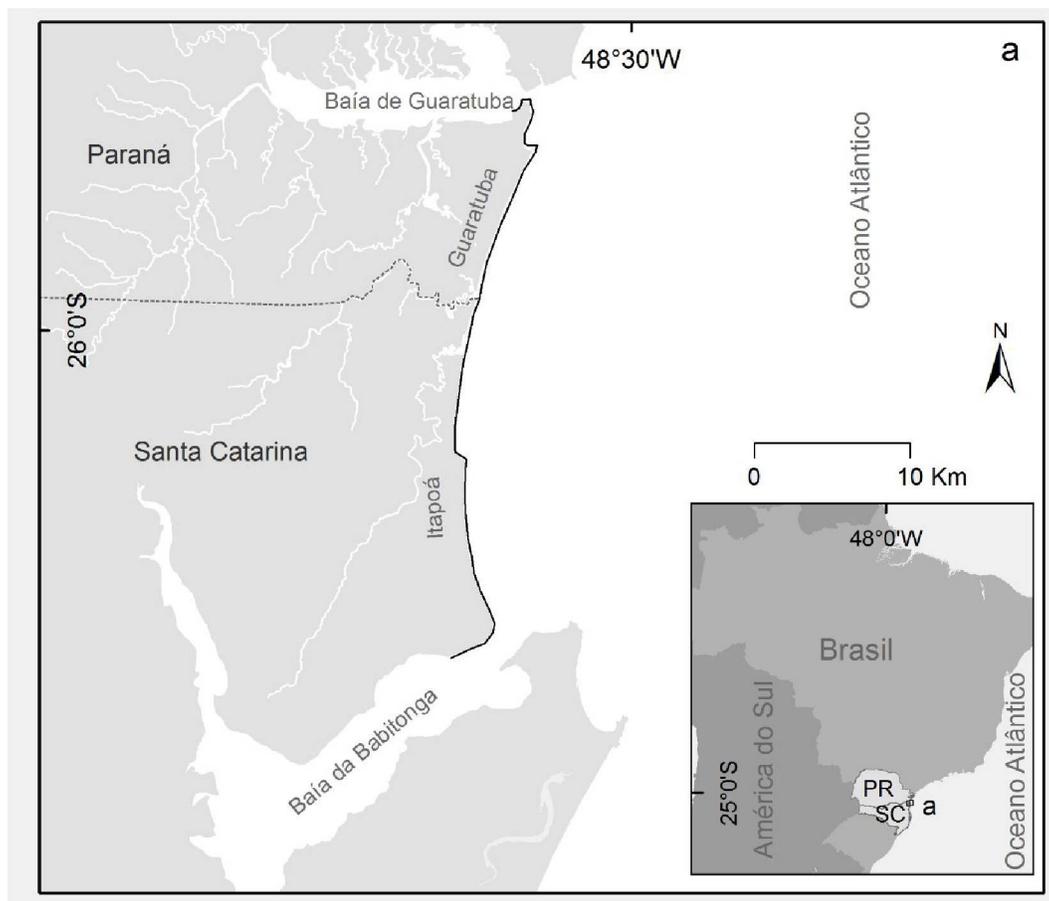


FIGURA 1 - MAPA DA ÁREA DE ESTUDO.

3.1. Contexto Geológico

Uma das feições mais marcantes do litoral brasileiro são as planícies costeiras com cordões litorâneos, que ocorrem praticamente ao longo de toda costa, e que se incluem nas barreiras do Pleistoceno e do Holoceno. Essas barreiras são dispostas em dois níveis de terraços de construção, um mais alto, pleistocênico, e outro mais baixo, do Holoceno (ANGULO *et al.*, 2009).

Em escala regional, a área de estudo enquadra-se no setor fisiográfico da costa brasileira, designado por Suguio e Tessler (1984) de “litoral sudeste ou

das escarpas cristalinas pré-cambrianas”, cuja característica mais marcante é a presença da serra do Mar, que ocorre desde o sul do estado do Espírito Santo até o Cabo de Santa Marta, no estado de Santa Catarina.

A Região Sul do Brasil possui planícies costeiras formadas por grandes sistemas deposicionais. São eles: os estuários, as lagoas, planícies paleoestuarina e paleolagunar, e as barreiras costeiras arenosas (CARTER; WOODROOF 1994) do Pleistoceno e do Holoceno.

De modo geral, as planícies costeiras são constituídas tanto por sedimentos continentais como costeiros. Sedimentos costeiros são oriundos do sistema de planície costeira e de planícies estuarino-lagunar. Ambos sistemas tiveram a sua formação iniciada quando o nível relativo do mar (NRM) era mais alto que o atual e, por feições recentes, com sedimentação ainda ativa, como praias, planícies de maré, deltas de maré e dunas eólicas (SOUZA, 1999; SOUZA; ANGULO, 2003).

No Paraná, a planície costeira chega a 55 km de largura, entre a serra do Mar, de um lado, e o oceano, do outro. Esta largura máxima ocorre na latitude de Paranaguá (Figura 2) (ANGULO *et al.*, 2009).

O litoral paranaense conta com uma planície costeira com cordões litorâneos bem marcados por toda sua extensão. Essas feições foram construídas como consequência das oscilações do NRM durante o Quaternário. Datações utilizando ^{14}C identificaram a formação de planícies logo após pelo menos dois eventos transgressivos, um do Pleistoceno Superior e outro do Holoceno (ANGULO, 2004).

No litoral de Santa Catarina, também é possível identificar a existência de terraços de construção arenosas do Pleistoceno e do Holoceno. A existência de paleolagoas na retaguarda dos terraços e a ocorrência de sedimentos argilosos lagunares sob os terraços permitiram inferir que durante os ciclos transgressivos/regressivos do Pleistoceno superior e Holoceno existiram na região barreiras transgressivas e regressivas. A morfologia dos cordões litorâneos indica que houve a formação de esporões paralelos à costa no Holoceno. O crescimento dos esporões foi desviado para norte, seguindo o sentido da deriva litorânea, alterando a desembocadura do rio Saí-Mirim em mais de 6 km nos últimos 5.000 anos (ANGULO; SOUZA, 2004).

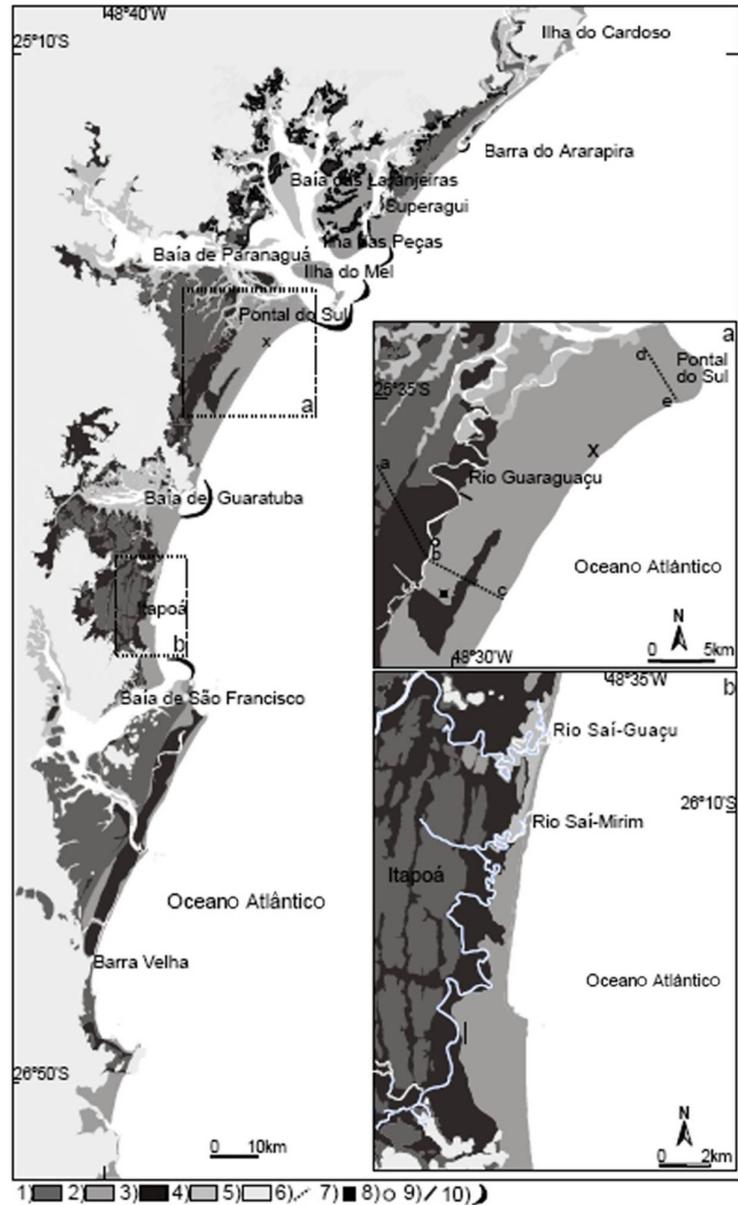


FIGURA 2 - MAPA DAS PLANÍCIES COSTEIRAS DA ÁREA DE ESTUDO. (A) PLANÍCIE COSTEIRA DE PARANAGUÁ; (B) PLANÍCIE COSTEIRA DE ITAPOÁ. (1) BARREIRA PLEISTOCÊNICA, (2) BARREIRA HOLOCÊNICA, (3) PLANÍCIES PALEOESTUARINAS, (4) PLANÍCIES DE MARÉ, (5) OUTRAS UNIDADES, (6) PERFIS TOPOGRÁFICOS, (7) TESTEMUNHOS ARENOSOS, (8) LOCALIZAÇÃO DO VIBRACORE, (9) PERFIS GPR, (10) DELTAS DE MARÉS. (FONTE: ANGULO ET AL. 2009).

Tanto na porção norte catarinense como na região paranaense, os principais domínios geológicos são as rochas do embasamento cristalino pré-cambriano, ou escudo, e a cobertura sedimentar do Cenozoico. As rochas e os sedimentos estão associados a grandes unidades geomorfológicas, formado por morros e serras baixas, integrando a Serra do Mar (ANGULO; SOUZA 2004, ANGULO, 2004).

O rio Saí-Mirim somado ao rio Saí-Guaçu são os únicos da área de estudo que desaguam no oceano. Juntos, eles drenam uma área de aproximadamente 508 km² (ANGULO *et al.*, 2009).

No Paraná e em Santa Catarina, a dinâmica dos complexos estuarinos-lagunares está diretamente relacionada com o desenvolvimento das barreiras do Holoceno e sua evolução paleogeográfica (ANGULO *et al.*, 2009).

A costa paranaense conta com dois estuários bem desenvolvidos, sendo que eles compartimentam a planície costeira em três setores: planície de Superagui ou Norte (ao norte da baía de Paranaguá), planície de Praia de Leste (entre as baías de Paranaguá e Guaratuba) e planície Sul ou Brejatuba, localizada ao sul da baía de Guaratuba (SOARES *et al.* 1997). A porção paranaense compreende as planícies de Praia de Leste e de Brejatuba, e possui configuração arqueada com orientação NS a NE.

Segundo Angulo e Araújo (1996), o litoral paranaense pode ser classificado quanto à sua constituição geológica, configuração geomorfológica e dinâmica costeira em três tipos principais de costa: (a) estuarinas ou protegidas (1316,8 km), (b) associadas a desembocaduras (105,1 km) e (c) de mar aberto ou oceânicas (61,1 km).

No Paraná, a composição do material sedimentar nas praias é sobretudo de quartzo, com granulação relativamente uniforme, constituída predominantemente de areia fina a média (BIGARELLA *et al.* 1978). Nota-se, em relação à variação da granulação ao longo das praias, uma sutil diminuição no diâmetro médio dos grãos de Matinhos para Pontal do Sul. Em Itapoá-SC, a granulação das praias é de areia fina, moderadamente selecionada (Souza, 1999), seguindo a classificação proposta por Folk e Ward (1973).

3.2. Parâmetros físicos

3.2.1. Circulação litorânea

Existem diversos tipos de mecanismos de circulação litorânea próximo a costa. Dentre eles, pode-se destacar as correntes de deriva litorânea ou longitudinais, as correntes de retorno ou *rips* e as correntes de maré. Essas correntes integram o sistema de correntes litorâneas e são afetadas pelas ondas e pela geomorfologia costeira e do fundo marinho (SUGUIO, 2003).

Correntes de deriva litorânea são resultantes do movimento de água provocado quando as ondas não atingem a costa perpendicularmente. A incidência oblíqua das ondas na praia desloca, junto com a água, o material em suspensão e tração, numa trajetória em zigue-zague. Estas correntes possuem importante papel no transporte de material sedimentar, proveniente de diversas fontes, na direção paralela à costa (SUGUIO, 2003).

Correntes de retorno ou *rips* são caracterizadas por fluxos posicionados perpendicularmente em relação à costa, que atravessam a zona de surfe rumo ao mar. São alimentadas pelas correntes paralelas à costa, e tendem a extinguir-se costa afora, além da zona de surfe, onde formam células de circulação (SHORT, 1985).

Cada parte da costa com um determinado sentido de deriva origina uma célula de circulação. A célula de circulação costeira é composta de três partes: a) zona de erosão, b) zona de transporte e c) zona de deposição (SUGUIO 2003).

A zona de erosão, no início da corrente (barlamar), caracteriza-se por apresentar ondas de maior energia; a zona de transporte corresponde ao trajeto pelo qual são conduzidos os sedimentos; e a zona de deposição (sotamar) é onde a corrente termina, com ondas de menor energia (Suguió 2003).

No Paraná, a intensa incidência de ondas do quadrante S-SE produz uma deriva resultante orientada para quadrantes de Norte. Este efeito é notado na direção das desembocaduras fluviais e na morfologia dos deltas de vazante dos estuários de Paranaguá e Guaratuba (ANGULO 1992, 1993, ANGULO; ARAÚJO 1996).

Um estudo envolvendo o lançamento de 460 garrafas, com um cartão resposta no interior, na zona adjacente à desembocadura do Complexo Estuarino de Paranaguá, permitiu verificar que o sentido das correntes predominante nessa região era preferencialmente para Norte (MARONE *et al* 1995), mas com alguns casos de deriva em direção oposta.

Noernberg (2001) verificou que, nas regiões adjacentes a desembocadura do Complexo Estuarino de Paranaguá, correntes paralelas à costa fluem preferencialmente para Norte. Em condições normais, elas apresentaram intensidades inferiores a 25 cm/s, mas em condições com alta energia de ondas, as intensidades chegaram a 75 cm/s, quando orientadas para

Norte, e a 40 cm/s, quando direcionadas para Sul; e que o transporte de sedimento longitudinal à costa ocorre quase que exclusivamente em momentos de intensa energia de ondas.

3.2.2. Ondas

As ondulações formadas em eventos extremos são as principais responsáveis pelas modificações na zona costeira, sendo a altura da onda, somada à sua energia, o processo hidrodinâmico de maior importância nas variações da morfologia praial (SHORT, 1999). Determinar o regime de ondas de uma região é uma tarefa que requer uma quantidade elevada de dados de campo e um longo intervalo de tempo de observação.

Gobbi (1997) realizou pesquisa bibliográfica referente à dinâmica costeira do litoral paranaense e analisou comparativamente diferentes fontes de informações como fotografias aéreas e dados de campo disponíveis na literatura. Conseguiu implementar um modelo numérico de propagação de ondas para o litoral. Verificou que o regime de ondas é bem distribuído ao longo do ano em termos de orientação, sem registros bem delineados de ondas de uma única direção por períodos prolongados. Observou que, no estado do Paraná, a máxima variação de direção de incidência das ondas é de aproximadamente 90°.

Lima (2008) coletou dados de onda durante um ano, de outubro de 2006 a outubro de 2007, com um ondógrafo S4ADW2. O aparelho ficou fundeado próximo à isóbata de 10m, entre as praias dos balneários de Shangrilá e Ipanema, no litoral paranaense. Neste trabalho, o autor selecionou um cenário específico de uma situação extrema de ondas e caracterizou, desse modo, condição de tempestade bem definida, nas datas de 11/10/2006 a 10/12/2006, para a simulação dos dois modelos, o WWM e o SWAN. Os parâmetros de ondas utilizados nas simulações foram altura máxima ($H_{m\acute{a}x}$) de 4,0 m, período máximo ($T_{m\acute{a}x}$) de 9s e direção preferencial do avanço das ondas (Θ) foi de 140° no momento de máxima altura e período de ondas.

No litoral norte do estado de Santa Catarina, em São Francisco do Sul, Alves e Melo (2001) determinaram a altura significativa (H_s), o período (T_s) e a direção dominante (Θ), de janeiro a setembro de 1996. O equipamento utilizado para a medição dos dados foi o *Datawell Directional Waverider*, instalado a 1,5 km de Praia Grande a uma profundidade de 20m. Coletando os dados por 20

minutos consecutivos, oito vezes ao dia, com um intervalo de 3 horas a cada medição, a altura significativa (H_s) encontrada foi de 1,02 m em média e a altura máxima ($H_{m\acute{a}x}$), de 3,44 m. O período significativo (T_s) foi de 8,91s e a direção preferencial (Θ) de incidência das ondas foi 112,42°. As maiores alturas foram encontradas no inverno e outono, com 1,10m e 1,09m respectivamente. O maior período também ocorreu no inverno ($T_s = 9,97s$).

Pianca *et al.* (2010), analisando uma série temporal de dados de ventos de onze anos, no modelo NWW3, concluiu que o regime de ondas da Região Sul é controlado pela Alta Subtropical do Atlântico Sul e pela passagem de sistemas frontais. Por conta disso, as ondas de maior energia são as do quadrante S e ocorrem no outono e no inverno. Em um episódio durante o outono foi registrada uma altura de onda do quadrante S de 7,3 m. Menos intensas, o regime de ondas dominante na primavera e no verão são de NE com alturas médias que variam de 1 a 2 m.

3.2.3. Ventos e frontogêneses

A dinâmica atmosférica da região estudada é em grande parte dominada pelo anticiclone (centro de alta pressão) do Atlântico Sul. Durante o verão, predominam os ventos de N/NE e a Massa Tropical Atlântica avança mais pronunciadamente sobre a região. Há predomínio de chuvas convectivas, devidas às altas temperaturas, as quais causam ascensão do ar, condensação da umidade e precipitação. Durante o inverno predominam na região os ventos de S/SE e a Massa Polar Atlântica age intensamente, trazendo baixas térmicas para a região. Há maior ocorrência de sistemas frontais de NO e S, também conhecidas como “correntes perturbadas” (IAPAR, 1978).

A dinâmica praias da costa sul brasileira é regulada, principalmente, por fenômenos associados a passagens de sistemas frontais. Calliari e Klein (1993) verificaram esta relação em estudos no litoral do Rio Grande do Sul e Quadros (2002), Brauko (2008) e Freitas (2009) obtiveram resultados semelhantes em trabalhos no Paraná. De acordo com os autores, as perturbações no campo de ventos, devido principalmente aos sistemas meteorológicos frontais, também são responsáveis por variações do nível médio do mar na costa. Durante o inverno, os ventos provenientes do quadrante S são os mais atuantes na área de estudo, e durante o verão o de quadrante NE.

3.2.4. Marés

O litoral sul do Brasil possui regime de micromarés, isto é, as amplitudes nas marés de sizígias são inferiores a 2m, do tipo semidiurna com desigualdades diurnas, ocorrendo duas preamares e duas baixamares por dia, com amplitudes diferentes (NOERNBERG, 2001).

Em situações extremas, o somatório das marés astronômicas e meteorológicas, pode ser um fator de destruição para a zona costeira. O empilhamento de água na costa ocasionado pela pista de ventos, somado a passagem de um sistema frontal, com uma maré de alta amplitude, pode resultar em eventos de alta energia com potencial destrutivo. No Paraná, um estudo de caso evidenciou que as marés meteorológicas podem aumentar consideravelmente o nível do mar (em mais de 80 cm) e gerar ondas com poder devastador para a zona costeira (MARONE; CAMARGO, 1994).

Estudos sobre as marés e as correntes de marés da baía de São Francisco do Sul são escassos. Souza (1999) cita as campanhas realizadas pela Petrobrás (ALVES, 1996) e o relatório técnico da Coppetec (1997). Segundo os autores desses estudos, as correntes médias do local são inferiores a 0,3 m/s, sendo as correntes de vazante mais intensas que as de enchente.

A baía de Guaratuba tem como principal forçante a maré, com variações na amplitude quando ocorrem marés meteorológicas associadas à passagem de sistemas frontais. Em geral, as máximas amplitudes das marés de sizígias chegam a 1,50 m e as marés de quadratura até 0,65 m, com prisma médio de maré de 106m³. Uma particularidade dessa baía é a acentuada assimetria da maré, possuindo um ciclo de maré vazante mais curto e intenso em relação ao ciclo de maré enchente (MARONE *et al*, 2005).

3.2.5. Ocorrências de *El Niño* e *La Niña*

El Niño e La Niña são fenômenos naturais resultantes da interação entre o oceano e a atmosfera, envolvendo anomalias na temperatura da superfície do oceano Pacífico equatorial e da circulação atmosférica.

O El Niño ocorre em decorrência do aquecimento anormal das águas do Pacífico, aumentando também as massas de ar quentes e úmidas, tornando os ventos alísios mais fracos. Esse fenômeno faz com que a toda circulação atmosférica mude, modificando os padrões de chuva e temperatura em várias partes do globo. Há uma diminuição das chuvas na região Amazônica, na

Austrália e na Indonésia. No Brasil, os principais efeitos são o aumento da seca na região Nordeste e das chuvas na região Sul (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

O fenômeno La Niña é o inverso, ocorre quando há um resfriamento anormal das águas do oceano Pacífico, por consequência, há um aumento da força dos ventos alísios. No Brasil, tem-se como efeito o aumento das chuvas na região Nordeste e em partes do Sudeste e estiagem no Sul, principalmente no inverno. Há também quedas nas temperaturas na América do Norte e na Europa. As consequências desses dois fenômenos ocorrem em um nível global.

Essas anomalias climáticas são cíclicas, e em geral, repetem-se alternadamente, durante um determinado tempo, podendo manifestar-se a cada três ou até sete anos. No entanto, o El Niño vem sendo mais frequente e com maior intensidade nos últimos cinquenta anos, como mostra a Figura 3.

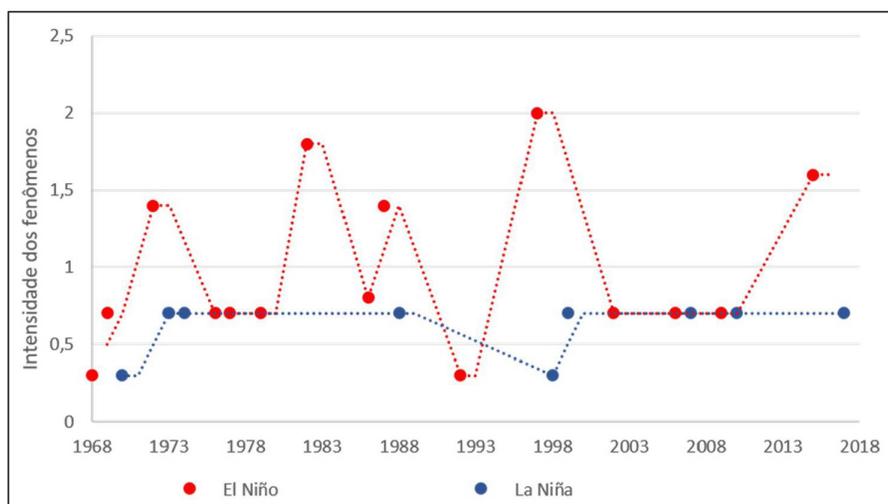


FIGURA 3 - OCORRÊNCIA DOS FENÔMENOS EL NIÑO E LA NIÑA ENTRE OS ANOS DE 1968 E 2018. INTENSIDADES BAIXAS CORRESPONDEM ATÉ 0,5; INTENSIDADE MODERADA, ENTRE 0,5 E 1,0 E INTENSIDADE FORTE, ACIMA DE 1,0.* (FONTE DOS DADOS: [HTTP://ENOS.CPTEC.INPE.BR/](http://enos.cptec.inpe.br/))

4. ESTADO DA ARTE

4.1. Terminologias do ambiente praial

Existem diversos conceitos na literatura atual utilizados para definir o termo "praia". Dentre eles, o caráter não coesivo dos sedimentos e a dominância dos fatores hidrodinâmicos são as características mais evidentes (HOEFEL, 1998). Praias podem ser definidas de várias maneiras; entretanto duas variáveis são essenciais, isto é, ondas e sedimentos. As praias podem ser formadas por

sedimentos de diversas composições e granulações. Esta última variável, em combinação com o regime de ondas incidentes, determina a morfologia do perfil (SHORT, 1999).

Praias são ambientes de sedimentação litorânea dominados por ondas, constituindo local de transição entre os continentes e os mares. Distinguem-se dos ambientes litorâneos protegidos, nos quais geralmente as marés têm influência predominante e as ondas ação restrita (ANGULO, 1996).

Com o intuito de melhorar a compreensão terminológica deste ambiente, Angulo (1996) desenvolveu um perfil hipotético do litoral com termos em português, a partir das terminologias apresentadas por diversos autores. Neste trabalho, será essa a terminologia adotada, tanto para o ambiente como para os subambientes.

A zona litorânea foi compartimentada em cinco ambientes: pós-praia, antepraia, face litorânea, transição litoral-costa afora e plataforma continental (FIGURA 4).

Pós-praia (*backshore*) é local geralmente delimitado pelas dunas ou falésias no sentido do continente. Para o mar é delimitada pela antepraia. Este limite é marcado por variações no declive, contendo a crista da berma, sendo a berma sua principal feição morfológica. Hidrodinamicamente, o local situa-se acima do nível de preamar médio, com alcance apenas das ondas de tempestades ou marés muito altas.

A zona antepraia (*foreshore*) limita-se com o pós-praia, no sentido do continente e, com a face litorânea, no sentido do mar. Pode subdividir-se em face praial, que seria a sua parte superior e mais íngreme, e uma parte de declive mais suave, denominado terraço de baixa-mar. Sua hidrodinâmica é marcada na porção superior pelo limite de espraiamento das ondas de preamar médio, e o limite inferior é o nível médio de maré baixa.

A face litorânea (*shoreface*) situa-se entre a antepraia, em direção ao continente, e a zona de transição litoral-costa afora em direção ao mar. A hidrodinâmica da face litorânea ocorre desde o nível médio de maré baixa até a base da ação das ondas.

A região de transição litoral - costa afora (*transition-offshore*) está entre a face litorânea e a plataforma. A hidrodinâmica está localizada entre a média da base das ondas de bom tempo e a média da base das ondas de tempestade.

A plataforma continental (*continental shelf*) possui limite apenas em direção ao continente, com a zona de transição litoral - costa afora ou a média da base de ondas de tempestades.

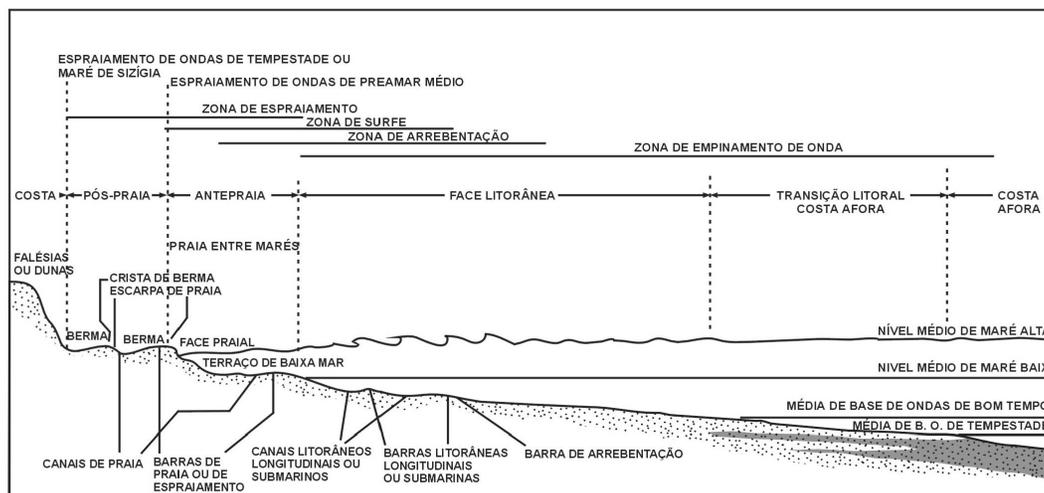


FIGURA 4 - TERMINOLOGIAS DE AMBIENTES E SUBAMBIENTES LITORÂNEOS EM LÍNGUA PORTUGUESA (ANGULO, 1996).

4.2. Sedimentologia de praias

As praias são dominadas por ondas e sua composição, na maioria das vezes, é por material granular inconsolidado arenoso ou cascalhoso. A forma natural das praias arenosas é arqueada, em planta, com concavidade rumo ao mar. A extensão de uma praia pode variar tanto longitudinal, como perpendicularmente. A declividade e o sua extensão em direção ao mar (largura) dependem muito da granulação dos sedimentos que a formam. Geralmente, quanto mais grosso o sedimento, mais inclinada e estreita será a praia; essa relação influi na permeabilidade dos sedimentos mais grossos, favorecendo a infiltração e diminuindo o volume das águas de retorno superficial (SUGUIO 2003).

A mobilidade dos sedimentos e as características morfológicas das praias estão diretamente relacionadas a processos físicos hidrodinâmicos. Dentre eles, destacam-se os processos ligados a ação de ondas, marés e ventos, além das correntes litorâneas geradas por estes fatores (HOEFEL, 1998).

A mobilidade do ambiente praial longitudinal ou transversal à linha de costa resulta em sucessões faciológicas que constituem corpos arenosos litorâneos. A distribuição espacial das fácies, a sua geometria e a sua natureza

são extremamente variáveis e dependem sobretudo do suprimento sedimentar, das mudanças do NRM. As estratificações de espraiamento manifestam-se através das variações granulométricas das areias e/ou pelas concentrações anômalas de minerais pesados (SUGUIO 2003).

Geomorfologicamente, os ambientes de praia podem associar-se ao desenvolvimento de feições deposicionais, entre as quais estão os cordões arenosos e as ilhas-barreira. Os cordões arenosos ou litorâneos são cristas alongadas paralelamente à costa, de altura e composição variável, produzidas por regressão da linha de costa. Além de areias, desde muito finas a muito grossas, podem apresentar seixos e conchas de moluscos. Mais de um cordão litorâneo, dispostos paralelamente entre si, compõem os denominados feixes litorâneos. Truncamentos entre feixes litorâneos sucessivos são indicativos de mudanças, ao longo do tempo, na orientação da linha de costa (GIANNINI *et al.* 2009).

Os truncamentos ou orientações não-paralelas entre cordões ou feixes litorâneos podem sugerir alterações nas correntes longitudinais, relacionando-os às variações nas dinâmicas costeiras. Os cordões podem apresentar acreção lateral, formando as planícies de cordões litorâneos que são também chamadas de planícies costeiras (SUGUIO, 2003).

Planícies costeiras com cordões litorâneos são feições facilmente encontradas ao longo do litoral brasileiro. Nem sempre os cordões litorâneos são de fácil visualização em campo. É mais fácil discernir suas feições em fotografias aéreas e em imagens de satélites (SOUZA, 1999).

Ilhas-barreira são corpos, geralmente arenosos, que se estendem paralelos ao litoral, com um típico crescimento no sentido da deriva litorânea. Geralmente, esse tipo de ilha é separado do continente por lagunas. Resumidamente, as ilhas-barreiras podem ser formadas através do empilhamento progressivo de sedimento sobre a barra da face litorânea ou por submersão parcial de feixes de cordões litorâneos, mas também podem ser formar devido a flutuações do NRM, como as ilhas-barreiras transgressivas (SUGUIO, 2003).

4.3. Granulação como indicador de transporte sedimentar

Identificar o sentido do transporte de sedimentos em ambientes costeiros é complexo pois há diversos fatores e processos que atuam simultaneamente. Essa diversidade de agentes interfere na capacidade de deposição e na distribuição espacial dos sedimentos. A variação espacial das características dos sedimentos no sentido do transporte é denominada tendência granulométrica (MCLAREN; BOWLES, 1985).

Métodos de identificação de transporte sedimentar foram desenvolvidos baseados em parâmetros estatísticos granulométricos. Diversos autores (MCLAREN; BOWLES, 1985; GAO; COLLINS, 1991; 1994; LE ROUX *et al.* 2002) utilizaram os parâmetros granulométricos para entender as tendências de transporte sedimentar nas últimas décadas. As primeiras observações foram estudadas por McCave (1978), no qual foi identificado que o tamanho da partícula sedimentar se altera ao longo das correntes de deriva longitudinal, diminuindo o diâmetro no sentido do transporte, uma vez que os sedimentos são depositados ao longo do seu percurso.

McLaren (1981) apresentou um modelo de transporte a partir das variáveis sedimentares diâmetro médio, grau de seleção e assimetria, no qual afirma que as relações texturais dos sedimentos seguem três premissas: 1) o depósito é produto de uma única fonte sedimentar; 2) a probabilidade dos processos de transporte sedimentar mover os grãos mais finos e leves é maior do que a de mover os grãos mais grossos e pesados; e 3) a probabilidade dos grãos mais grossos e pesados serem depositados da massa sedimentar em transporte é maior do que a dos grãos mais finos e leves.

O modelo desenvolvido por McLaren e Bowles (1985) é capaz de definir a direção do transporte sedimentar ao longo de uma linha de amostragem, comparando os parâmetros estatísticos granulométricos com as amostras vizinhas. Os autores identificaram duas situações predominantes no sentido do transporte: 1) o depósito será mais fino, melhor selecionado e com assimetria mais negativa que a fonte; e 2) o depósito será mais grosso, melhor selecionado e com assimetria mais positiva que a fonte.

Gao e Collins (1994) utilizaram o modelo de McLaren e Bowles (1985) para elaborar o *software Grain Size Trend Analysis* (GSTA) em linguagem FORTRAN (GAO, 1996), e adicionaram duas novas tendências. Já Chang *et al.*

(2001) inseriram um teste estatístico, o *Teste t*, para a seleção de vetores mais significativos, criando o *Grain Size Trend Analysis with Significance Test* (GSTAST). A Tabela 1 mostra todas as possibilidades de casos de tendência de transporte. Para este trabalho foi utilizado apenas os casos mais comuns: 1) **FB-** (sedimentos mais finos, melhor selecionado e com assimetria mais negativa) e 2) **CB+** (sedimentos mais grossos, melhor selecionado e com assimetria mais positiva).

TABELA 1 - POSSIBILIDADES DE CASOS DE TENDÊNCIA DE TRANSPORTE PELA COMBINAÇÃO DE PARÂMETROS GRANULOMÉTRICOS (F= MAIS FINO; C= MAIS GROSSO; B= MELHOR SELECIONADO; P= PIOR SELECIONADO; +=ASSIMETRIA MAIS POSITIVA, - = ASSIMETRIA MAIS NEGATIVA (MCLAREN E BOWLES, 1985; GAO E COLLINS, 1994; CHANG ET AL. 2001).

Tendência	Diâmetro médio	Grau de seleção	Grau de Assimetria
FP-	$\mu_1 < \mu_2$	$\sigma_1 < \sigma_2$	Sk1 > Sk2
FP+	$\mu_1 < \mu_2$	$\sigma_1 < \sigma_2$	Sk1 < Sk2
FB-	$\mu_1 < \mu_2$	$\sigma_1 > \sigma_2$	Sk1 > Sk2
FB+	$\mu_1 < \mu_2$	$\sigma_1 > \sigma_2$	Sk1 < Sk2
CP-	$\mu_1 > \mu_2$	$\sigma_1 < \sigma_2$	Sk1 > Sk2
CP+	$\mu_1 > \mu_2$	$\sigma_1 < \sigma_2$	Sk1 < Sk2
CB-	$\mu_1 > \mu_2$	$\sigma_1 > \sigma_2$	Sk1 > Sk2
CB+	$\mu_1 > \mu_2$	$\sigma_1 > \sigma_2$	Sk1 < Sk2

4.4. Minerais pesados

Segundo Suguio (1980), minerais pesados são compostos químicos detríticos provenientes de rochas ígneas, metamórficas ou sedimentares, possuindo densidade superior ($> 2,85 \text{ g/cm}^3$) a dos minerais mais comuns, como quartzo e feldspatos ($2,6 \text{ g/cm}^3$).

Pettijohn *et al.* (1972) propuseram uma classificação para os minerais pesados, baseadas na sua estabilidade aos agentes intempéricos e/ou de dissolução diagenética (intraestratal):

- Minerais ultraestáveis (ZTR): alta persistência aos processos de dissolução, como zircão, turmalina, rutilo
- Minerais estáveis: média persistência aos processos de dissolução, como estauroлита, monazita, apatita e magnetita
- Moderadamente estáveis (MET): baixa persistência aos processos de dissolução, como epidoto (“pistachita”), cianita, granada e sillimanita

- Minerais instáveis (INS): não resistem aos processos de dissolução, como hornblenda, andaluzita e ferrosilita
- Muito instáveis: são os primeiros a se intemperizar ou se dissolver na diagênese. Exemplo: olivina

Os minerais pesados possuem aplicabilidade nos estudos e na interpretação dos resultados em vários aspectos relacionados à Sedimentologia, Estratigrafia, Análise Ambiental e Geologia Econômica.

Diversos são os fatores que podem controlar as assembleias mineralógicas em um sedimento. Eles são complexos e difíceis de serem compreendidos separadamente (MORTON; HALLSWORTH, 1994). Dentre os principais fatores podemos destacar: *“o teor na área fonte, a granulometria original, o tipo de intemperismo na área fonte, a razão entre as velocidades de erosão e de intemperismo, o tempo de transporte, a solitação física do transporte, a separação hidráulica, a permanência sob condições químicas em depósitos e a dissolução intraestatal”* (MANGE; WRIGHT, 2007).

Na Sedimentologia, seu estudo representa uma referência para a caracterização dos processos sedimentares de transporte, velocidade de fluxo hidráulico, erosão e deposição, parâmetros que ajudam a definir os ambientes sedimentares ou mesmo as condições a que os sedimentos são submetidos após a sua deposição (TOMAZELLI, 1978).

As concentrações de minerais pesados são consideradas nos estudos de proveniência, já que diferentes tipos, ou suas associações, podem ser característicos de determinados tipos de rochas fontes.

A sua distribuição espacial permite identificar direções preferenciais de transporte sedimentar e, portanto, padrões de dispersão sedimentar (TOMAZELLI, 1978; MEZZADRI; SACCANI, 1989; CALLIARI *et al.*, 1990). Isto está ligado não só a maior ou menor proximidade das rochas ou áreas fontes fornecedoras, mas também, a seleção diferencial entre minerais pesados com distintas formas e densidades, e, portanto, com contrastes quanto à facilidade de transporte.

Análises de tipologia e de concentração de minerais pesados nos sedimentos constituem uma das técnicas usadas em estudo petrológico. Frequentemente servem como ferramenta de correlação estratigráfica e

indicadores diretos da natureza de áreas fonte e dos processos de distribuição (MORTON; HALLSWORTH, 1994).

Através da acumulação de minerais pesados, pode-se inferir a respeito de antigos ambientes retrabalhados pela exposição aérea ou subaquosa ou, ainda, sobre os estágios de erosão ou preservação de praias, dependendo do regime hidráulicos a que estes ambientes foram submetidos nos últimos episódios geológicos (SOUZA, 2007).

Na análise ambiental, os processos de alteração do meio ambiente apresentam uma participação de fatores geológicos superficiais, na posição de substratos, agentes ou condicionantes (ADDAD, 2001). Quando envolvidos em mudanças de fluxos sedimentares, os minerais pesados possuem potencial marcador destas mudanças.

Os minerais pesados são importantes indicadores do rumo do transporte, retrabalhamento e comportamento erosivo-deposicional dos sedimentos ao longo de uma região praial. Dentre as várias utilizações para os minerais pesados, pode-se destacar a determinação do sentido de deriva litorânea e o rastreamento de uma rocha ou área fonte (COUTINHO; COIMBRA 1983). Além disso, os minerais pesados podem ser indicadores de processos sedimentares, sendo que a sua presença em determinados depósitos sugere a intensidade e a duração do mesmo. Logo, a dispersão do material detrítico proveniente do intemperismo e erosão das rochas podem ser avaliadas utilizando a assembleia de minerais pesados (SOUZA, 2007).

Os sedimentos praias ainda são capazes de registrar eventos erosivos relacionados a eventos de alta energia e curta duração, como a passagem de sistemas frontais, marés de sizígia, e outros. Nesses casos, a intensificação dos fluxos hidrodinâmicos, tais como ondas e correntes de deriva, são capazes de remover parte do volume da cunha de areias praial, tendo como resultado sucessivas lâminas enriquecidas de minerais pesados (ADDAD, 2001).

Em praias, a composição dos sedimentos trazidos na costa por um rio é distribuída no rumo da deriva litorânea dominante. Na maioria dos casos, as frações mais grossas das areias e cascalhos ficam retidas ou depositadas próximas a desembocaduras e/ou a barlar, enquanto que os sedimentos mais finos são levados no rumo da deriva longitudinal. Os minerais pesados também acompanham o padrão de distribuição, e na maioria dos casos, a distribuição

altera a composição mineralógica das populações. Como regra, os minerais pesados mais densos associam-se às frações residuais mais grossas, enquanto que os menos densos são levados adiante pelo transporte sedimentar.

De modo genérico, minerais como zircão, rutilo, monazita, almandina, opacos e outros, tendem a ser encontrados em áreas erosivas. Anfibólios, epidoto e pesados de menor densidade têm propensão a ser seletivamente transportados e dispersos nas proximidades de desembocaduras e zonas de acreção (ADDAD, 2001).

Porém, não só a densidade, mas também a forma do grão é uma característica decisiva na distribuição dos minerais e conseqüentemente no padrão de dispersão sedimentar de determinada área, com grãos placóides, prismáticos e aciculares tendo mais facilidade de manter-se em transporte de que grãos equidimensionais de mesma densidade.

Existe a tendência a enriquecimento relativo de minerais ultraestáveis (zircão, turmalina e rutilo) com o aumento de idade dos sedimentos na medida em que os minerais instáveis vão sendo eliminados por dissolução pós-deposicional (PETTIJOHN, 1941).

De acordo com Morton e Hallsworth (1999), razões entre minerais com comportamentos hidráulicos e diagenéticos semelhantes seriam favoráveis em refletir características de proveniência e sua alteração poderia indicar uma variação da fonte. Pares de minerais são escolhidos, especificamente em cada contexto, partindo dos critérios de semelhança de densidade e estabilidade nos casos analisados.

Banna e Hereher (2009) utilizaram conjuntamente o sensoriamento remoto e características sedimentológicas, especificamente o transporte de sedimento pela diferença de densidade dos minerais pesados, para avaliar variações na linha de costa dos últimos quinze anos, em Norte Sinai, Egito, detectando taxas de erosão e sedimentação do local.

Estudos de Peterson *et al.* (2010) sobre a composição, idade e taxas de deposição em amostras de sedimentos arenosos no litoral leste dos EUA, no Rio Columbia, mostram que os minerais pesados foram eficientes na identificação da fonte do sedimento bem como no seu transporte.

Tomazelli (1978) fez um mapeamento da distribuição dos minerais pesados na plataforma continental do Rio Grande do Sul, identificando a

assembleia mineralógica e apresentando dados de suas possíveis fontes continentais. Em estudo na costa sul do Rio Grande do Sul, Silva (1978) relacionou a presença de minerais pesados a sua proveniência a partir das rochas fontes do embasamento.

Giannini *et al.* (1997), utilizando testemunhos de sondagem rasa, avaliaram a variação vertical na assembleia de minerais pesados na planície costeira de Paranaguá-PR. Nesse estudo os autores sugerem que a mineralogia pode ser utilizada como ferramenta eficiente na distinção de sedimentos costeiros holocênicos e pleistocênicos. Identificaram uma tendência de enriquecimento de minerais instáveis nas planícies holocênicas em relação às pleistocênicas, devido principalmente à dissolução pós-deposicional.

Souza (1999) utilizou parâmetros sedimentológicos, análises granulométricas e mineralógicas para tentar identificar o sentido da deriva litorânea, no município de Itapoá-SC. Porém, os resultados foram divergentes, a granulometria indicando a deriva para norte e a mineralogia para o sul. A autora ainda fez amostragens ao longo dos perfis praias, perpendiculares a linha de costa, mas os resultados não mostraram uma tendência clara de mudança em função da morfologia, e sim em função dos subambientes praias.

Em trabalhos de Angulo *et al.* (2009) e Giannini *et al.* (1997), os autores afirmaram que na planície costeira do estado do Paraná existiria uma tendência de enriquecimento de minerais instáveis nas planícies holocênicas em relação às pleistocênicas, devido principalmente à dissolução pós-deposicional. O mesmo foi observado por Mio e Giannini (1997) na planície costeira de Peruíbe-Itanhaém – SP.

Giannini *et al.* (2004), por meio de análises granulométricas e mineralógicas, utilizando a assembleia de minerais pesados, sugerem células de deriva litorânea na Ilha do Mel-PR, com duas zonas de convergência e uma de divergência. Isso explicaria a erosão que vem ocorrendo na ilha nos últimos 50 anos, quando o istmo arenoso passou por um processo erosivo de aproximadamente 150m.

Souza (2004; 2007) realizou estudos sedimentológicos na plataforma continental e nos rios que influenciam os processos costeiros em Santa Catarina, relacionando-os à distribuição de minerais pesados. Nos estudos, salienta-se que os minerais mais instáveis estariam relacionados ao aporte fluvial do rio

Itajaí-Açu e à deriva litorânea, enquanto os minerais mais estáveis estariam relacionados à áreas de deposição arenosa, mais antigas e retrabalhadas na plataforma continental. Foram identificadas duas fácies arenosas distintas diferenciadas pela ocorrência de diferentes suítes de minerais pesados: uma ao norte da desembocadura do rio Itajaí-Açu adjacente à praia de Navegantes, com sedimentos modernos e baixa estabilidade mineral, e outra ao sul desta desembocadura, adjacente ao sistema praial Brava-Amores, com sedimentos palimpséticos e alta estabilidade.

Sawakuchi *et al.* (2009) apresentaram um trabalho sobre controle deposicional relacionado às variações do nível do mar. Neste trabalho, os autores afirmaram que nos sedimentos da costa sul-sudeste brasileira, as assembleias de minerais pesados têm-se apresentado como um dos parâmetros sedimentológicos mais efetivos na distinção de diferentes gerações de areias regressivas, cordões litorâneos ou dunas eólicas.

5. OBJETIVOS

O objetivo geral deste estudo foi identificar padrões sedimentológicos dos arcos praias compreendidos entre a desembocadura da Baía da Babitonga – SC e a desembocadura da Baía de Guaratuba–PR, com o intuito de verificar a existência de variações na granulação e na mineralogia de pesados ao longo destes arcos, relacionando-as à proveniência dos sedimentos e a padrões de deriva litorânea, de forma a entender como a dinâmica sedimentar costeira conduz a distribuição da granulação e da mineralogia nesses arcos.

Os objetivos específicos são:

- Caracterizar a granulação das praias arenosas em duas datas distintas (1994 e 2011)
- Caracterizar qualitativa e quantitativamente a assembleia de minerais pesados, também nessas duas datas
- Determinar a possível contribuição mineralógica de rios e córregos com deságue na área
- Definir as relações entre a distribuição espacial dos minerais pesados e processos erosivo-deposicionais

Os objetivos propostos foram delimitados com o intuito de verificar a hipótese de que as configurações sedimentológicas de praias ocorrem em função das forças hidrodinâmicas e das fontes.

A força hidrodinâmica inferida, através de processo-resposta (tamanho de grão, grau de seleção e assimetria; índices de estabilidade mineral) foi derivada litorânea e seus padrões de comportamento. E as fontes alternativas de contribuição mineral investigadas foram os rios e córregos com desague na região.

6. MÉTODOS EMPREGADOS

6.1. Procedimentos em campo

O procedimento de coleta de dados ocorreu em dois momentos distintos, executadas nos anos de 1994 e 2011.

As amostras de 1994 foram coletadas por pesquisadores do Laboratório de Estudos Costeiros (Lecost) – UFPR. Parte do material coletado foi processado durante os projetos de Iniciação Científica (IC) de Juliana Broggio Basso, em 1999 e de Marlon Santos Delai em 2000. Nesse período foram coletadas amostras somente dos rios Saí-Guaçu e Saí-Mirim, rios e córregos menores ficaram de fora dessa amostragem.

Em 2011, as amostras foram coletadas no mês de junho. Esse esforço de campo consistiu na coleta das amostras de sedimentos nas praias arenosas oceânicas e praias associadas a desembocaduras, localizadas entre a baía da Babitonga-SC e a baía de Guaratuba-PR. Também foram coletadas amostras das calhas dos rios encontrados na região. Os rios amostrados foram o rio Saí-Guaçu, rio Saí-Mirim em dois pontos distintos e córrego das Palmeiras (Figura 5).

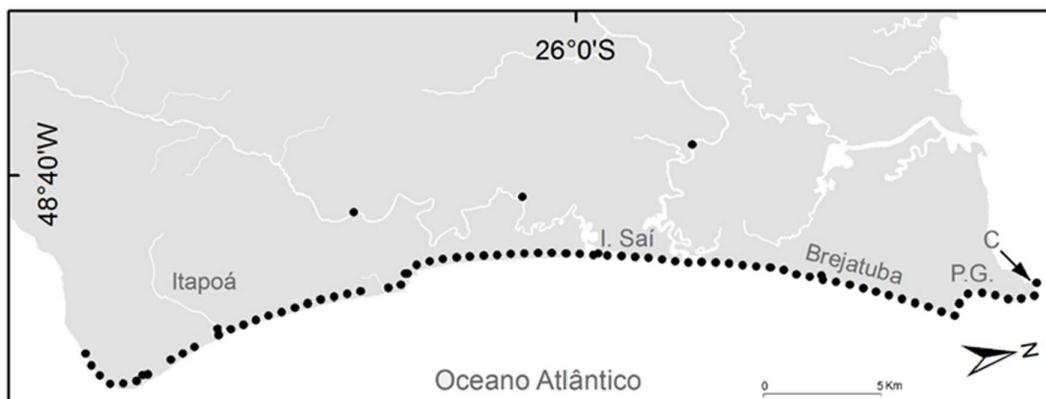


FIGURA 5 - ÁREA DE ESTUDO COM TODOS OS PONTOS AMOSTRADOS NA COLETA DE 2011.

Vale destacar que em ambas as datas foram realizados os mesmos procedimentos em campo, com amostragens na face praial, durante o inverno, com espaçamento aproximado de 500m. O material para análise foi recolhido a uma profundidade de aproximadamente 10cm abaixo da camada superficial dos sedimentos praias, totalizando cerca de 500g em massa (FIGURA 6).

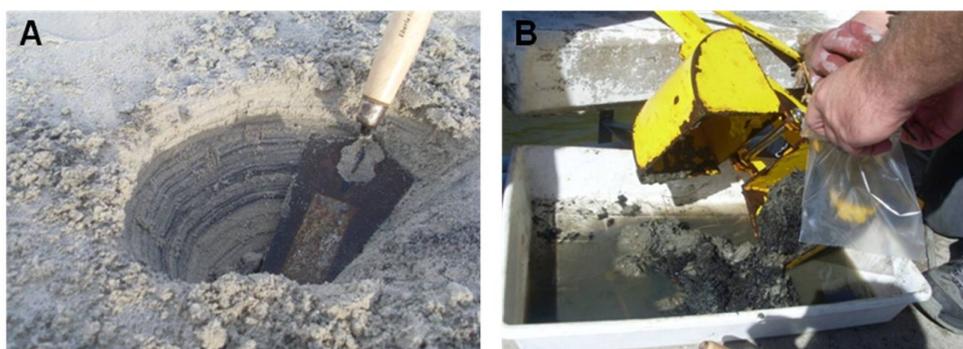


FIGURA 6 - COLETA E ARMAZENAMENTO DAS AMOSTRAS NA PRAIA (A) E NO RIO (B).

Para fins de interpretação, a área de estudo foi dividida em cinco subáreas (FIGURA 7) identificadas como (1) Itapoá, trecho que vai desde a desembocadura da baía da Babitonga até a desembocadura do rio Saí-mirim; (2) Ilha do Saí, formada entre os rios Saí-mirim e Saí-guaçu; (3) Brejatuba, que vai desde a desembocadura do rio Saí-guaçu até o promontório rochoso denominado morro do Cristo; (4) Praia Central de Guaratuba (PG) e (5) Praia de Caieiras (C).

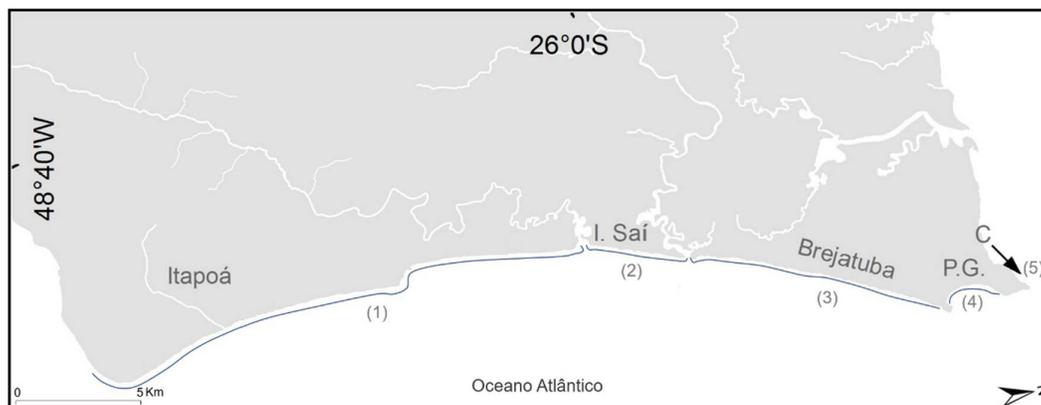


FIGURA 7 - SUBDIVISÕES DA ÁREA DE ESTUDO

6.2. Procedimento em laboratório

As amostras foram processadas no Laboratório de Sedimentologia (LabESed) – UFPR, utilizando a rotina de separação densimétrica do Laboratório de Sedimentologia (Labsed) da USP. (MELO *et al* 2004).

6.2.1. Análises granulométricas

Como a maior parte do material coletado é arenoso, a técnica de fracionamento granulométrico seguida para pré-preparação das amostras para a análise de minerais pesados foi o peneiramento mecânico (SUGUIO, 1973).

As amostras coletadas foram homogeneizadas e separadas cerca de 100 gramas de sedimento. Em seguida adicionou-se aproximadamente 1 grama de pirofosfato de sódio, seguido de água deionizada, então colocados no agitador a hélice por 15 minutos, para a dispersão das partículas silto-argilosas ou das películas desta granulometria que eventualmente impregnavam os grãos. Logo após as amostras foram elutriadas para a eliminação do sal e do material fino (silte e argila) e colocadas na estufa, em beckers, a 60°C por 48 horas, para secagem.

Depois de secos, os sedimentos foram pesados e submetidos a 15 minutos de agitação em sistema do tipo Rotap, com um jogo de 12 peneiras sobrepostas, em intervalos de 0,5 Φ , indo da fração -1,5 Φ (4 mm) até a 4 Φ (0,062 mm). As frações aprisionadas nas peneiras foram pesadas em balança analítica de sensibilidade 10^{-3} gramas.

Algumas amostras dos rios, além de serem fracionadas granulometricamente por peneiramento mecânico, também foram analisadas

pela técnica da pipetagem, com intervalos calculados segundo a lei de Stokes, sob temperatura constante de 20°C (SUGUIO 1973).

As estatísticas da distribuição granulométrica (diâmetro médio, desvio padrão, assimetrias e curtose) foram calculadas pela técnica analítica dos momentos de Pearson, utilizando o *software Momentos*, versão 4, desenvolvido por Paulo C. F. Giannini, do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo - IGc-USP.

A identificação dos rumos do transporte sedimentar foi realizada através do método proposto por McLaren e Bowles (1985), onde os autores sugerem que o sentido do transporte pode ser identificado em função de duas relações principais entre os parâmetros estatísticos granulométricos: (1) “*aumento do diâmetro médio, melhora na seleção e assimetria mais positiva*” e (2) “*diminuição do diâmetro médio, melhora na seleção e assimetria mais negativa*”.

6.2.2. Separação densimétrica

A análise do teor de minerais pesados foi feita na classe granulométrica de *phi* imediatamente abaixo da moda, que em geral correspondeu a areia fina ou a areia muito fina. Nos casos em que a fração indicada por esse método para a análise de pesados incidiu em areia média, automaticamente adotou-se a classe de areia fina para a separação no líquido denso. Este artifício foi utilizado para possibilitar a posterior confecção e estudo óptico das lâminas (GIANNINI *et al.* 1997), visto que os grãos de areia média são grossos demais para serem montados e identificados em lâminas de imersão. Dessa forma, em 92% das lâminas confeccionadas, utilizou-se a classe granulométrica areia fina.

Densimetria é o método que consiste na separação dos minerais pesados ($d > 2,85 \text{ g/cm}^3$) dos minerais leves ($d < 2,85 \text{ g/cm}^3$) descritos por Carver (1971). Para tanto, utilizou-se o bromofórmio (CHBr_3), de densidade igual a $2,85 \text{ g/cm}^3$, que é despejado em um funil de vidro, contendo um pedaço de mangueira de látex preso a sua haste. Com um grampo de metal (pinça de Morh) prendeu-se a boca da mangueira de latex, com o objetivo de não permitir a passagem do bromofórmio (Figura 8).

Em seguida, adicionou-se a fração da amostra da qual se deseja extrair os minerais pesados ao meio líquido. O conteúdo do funil foi agitado com o auxílio de um bastão de vidro a fim de tornar a separação mais eficiente. Essa

agitação ocorreu de forma mais intensa nas três primeiras vezes, com intervalo de dois minutos entre elas; na sequência, mexeu-se mais sutilmente de 5 em 5 minutos durante 30 minutos; em seguida, a agitação ocorreu de forma muito suave a cada 15 minutos, por um período de 3 horas em média ou até que todo mineral pesado da haste do funil fosse depositado logo acima da pinça de Mohr.

O processo finalizou quando a maior parte dos minerais pesados da alíquota estiveram acima da pinça de Mohr, isto é, quando a quantidade de grãos em afundamento foi irrisória em relação à massa já afundada. Abaixo do funil, foi colocador um *Erlenmayer* contendo um papel de filtro para a coleta de pesados.

Após todos os procedimentos descritos anteriormente, o grampo de Mohr foi aberto para selecionar somente os minerais pesados. Logo após, troca-se o papel filtro contendo os pesados por um novo papel filtro, este destinado à coleta dos minerais leves; então, foi aberto totalmente o grampo de Mohr para que todo o líquido desça. O funil superior foi lavado com álcool etílico, para posterior retirada do papel de filtro de retenção com os minerais leves. Os papéis de filtro com as frações separadas de minerais leves e pesados ficaram em local ventilado, dentro da própria capela de exaustão, para a secagem.

6.2.3. Separação dos minerais magnéticos

Com a finalidade de diminuir a quantidade de minerais opacos que foram para a lâmina, foram retirados os minerais ferrimagnéticos, com o auxílio de um ímã de mão. O ímã foi envolto por um plástico ou papel, que tem por objetivo facilitar a separação entre material atraído ao ímã. O método serviu também para quantificar, por meio da pesagem em balança analítica, a concentração da fração magnética. Geralmente, esta fração foi dominada por magnetita - mineral pesado composto por óxidos de ferro (FeO . Fe_2O_3), mas tinha também outros óxidos ou sulfetos magnéticos, como pirrotita e jacobsita, bem como grãos mistos e minerais paramagnéticos de suscetibilidade magnética elevada, como certos tipos de ilmenita.

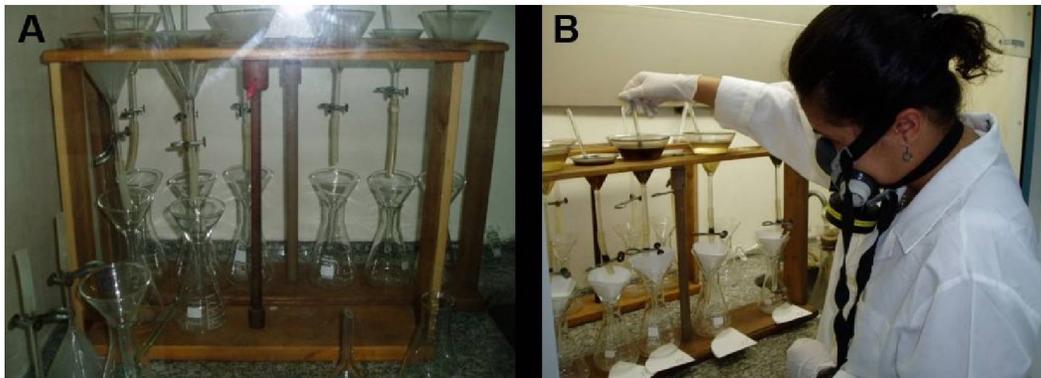


FIGURA 8 - (A) ESQUEMA DE MONTAGEM PARA A SEPARAÇÃO DENSIMÉTRICA. (B) SEPARAÇÃO DENSIMÉTRICA UTILIZANDO BROMOFÓRMIO.

6.2.4. Confeção das lâminas e contagem dos minerais

A partir dos grãos resultantes da densimetria e da extração de minerais ferrimagnéticos, foram confeccionadas as lâminas para identificação óptica, por meio da placa aquecedora e bálsamo do Canadá.

As lâminas de vidro, previamente limpas com lenços de papel, foram colocadas em cima da placa aquecida. Com o auxílio de um bastão de vidro, foram colocadas cerca de duas gotas de bálsamo do Canadá aquecido, em cima das lâminas. Uma parcela da fração de minerais pesados, já sem os grãos ferrimagnéticos, foi colocada em cima das gotas de bálsamo do Canadá; com um palito de dente e o material foi espalhado uniformemente de modo que os grãos não ficassem sobrepostos. A seguir, colocou-se a lamínula para a fixação do material ao bálsamo. Esse procedimento foi executado atenciosamente para evitar a sobreposição das lamínulas e a formação de bolhas no momento da fixação.

A qualificação e quantificação de minerais pesados transparentes não micáceos foi realizada ao microscópio de luz polarizada com platina giratória ou petrográfico. Contaram-se ao menos 200 minerais, incluindo os opacos. Finalizada esta primeira etapa de contagem, foi anotado o subtotal de minerais opacos, para em seguida quantificar apenas os minerais transparentes, até completar 200 grãos deste tipo. O material que já havia disponível no LECOST, com a data de coleta em 1994, precisou ser recontado, uma vez que na identificação inicial quantificou-se apenas 100 grãos de minerais transparentes no total e para esse trabalho optou-se por utilizar 200 grãos.

Razões entre minerais foram calculadas com o intuito de refletir características de proveniência e dispersão, como proposto por Morton e Hallsworth (1994). A contagem dedicada, entre pares de minerais, foi escolhida de acordo com a abundância nas lâminas, sendo Rutilo x Zircão para proveniência e Turmalina x Zircão para transporte.

6.2.5. Tratamento estatístico

O procedimento padrão para a identificação dos minerais pesados foi a contagem e identificação de em torno de 200 grãos translúcidos por lâmina. Foi elaborada uma planilha com os dados de abundância de cada um dos dezesseis minerais pesados encontrados. Para balancear os dados da planilha, todas as abundâncias de minerais foram transformadas em porcentagens, evidenciando-se a natureza composicional dos dados.

Como primeiro passo das análises multivariadas, e como a planilha de dados apresenta vários zeros, foi realizada a transformação dos dados em $\log(x+1)$, uma rotina padrão em análises de grande quantidade de dados, que causa um “achatamento” dos valores, diminuindo a diferença entre eles sem, no entanto, modificar as relações existentes entre as grandezas.

A partir da planilha com os valores transformados, foi gerada uma matriz de similaridade de Bray-Curtis. Vermeesch (2016) afirma ser que esse procedimento gera uma medida de dissimilaridade adequada para dados composicionais - na qual cada amostra é comparada qualitativa e quantitativamente com todas as outras. A matriz resultante é triangular, com a primeira linha e coluna contendo a nomenclatura de cada amostra, e cada interseção contém um valor que expressa a similaridade relativa entre as duas amostras em questão. A matriz de similaridade foi utilizada para rodar as análises de agrupamento e de proximidade (nMDS – non metrical Multi Dimensional Scaling), ambas no PRIMER 7.

Na análise de agrupamento foi utilizada a análise de perfil de similaridade (SIMPROF), que testa a estruturação dos dados e significância estatística dos agrupamentos. A estrutura multivariada de um conjunto de dados pode ser entendida como a distribuição das abundâncias e composição de tipos de minerais das amostras na matriz de dados. Essa estrutura é visualizada no gráfico bidimensional do nMDS, por exemplo. A hipótese nula testada no SIMPROF é que não existe similaridade dentro de cada nóculo do dendrograma.

Essa análise testa todos os nódulos sucessivamente. Caso seja evidenciada similaridade entre as estruturas multivariadas, é apresentada a linha pontilhada vermelha no dendrograma. Caso contrário, são marcadas linhas cheias, em preto. As linhas pretas ligam os diferentes agrupamentos naturais de amostras, e as linhas vermelhas ligam as amostras que compõe cada subgrupo. Essa análise é apropriada para quando não existe a proposição de agrupamentos *a priori* entre as amostras.

Para avaliar as contribuições percentuais de cada amostra, bem como de cada mineral na similaridade entre as amostras, foi realizada a análise do perfil de similaridade (SIMPER).

Para testar a hipótese nula de que não haveriam diferenças de composição e abundância entre os grupos identificados pela análise de agrupamento, foi realizada uma análise de similaridade (ANOSIM).

Todas as rotinas estatísticas foram realizadas no pacote estatístico PRIMER 7 (pacote estatístico PRIMER - Plymouth Routines In Multivariate Ecological Research, versão 7 para Windows), seguindo alguns dos procedimentos sugeridos por Verhaegen *et al.* (2018) e Vermeesch *et al.* (2016).

6.2.6. Utilização do modelo *Grain Size Trend Analysis* (GSTA)

A determinação das tendências de transporte de sedimentos na área de estudo foi realizada através de um complemento (ou *plugin*), denominado *GiSedTrend*, do programa QGIS (GDAL Software Suite, 2013). Esse complemento foi inserido por Emmanuel Poizot, e é uma aplicação do GSTA, elaborado por Gao e Collins (1991).

A partir das características estatísticas da granulação, diâmetro médio, desvio padrão e assimetria, também foi necessário obter o número total de pontos amostrados, a distância entre eles (distância característica), o fator (fator de escala) e as coordenadas no sistema UTM de cada ponto. Como resultante obteve-se a direção em graus e a intensidade dos vetores para cada ponto.

CAPÍTULO 2

7. ARTIGO

VARIAÇÃO TEMPORAL DA GRANULAÇÃO E DA ASSEMBLEIA DE MINERAIS PESADOS NAS PRAIAS ENTRE AS BAÍAS DE GUARATUBA E BABITONGA: IDENTIFICAÇÃO DO SENTIDO DA DERIVA LITORÂNEA

TEMPORAL VARIATION OF GRAIN SIZES AND HEAVY MINERALS ASSEMBLAGES ON THE BEACHES BETWEEN GUARATUBA BAY AND BABITONGA BAY: IDENTIFYING COASTAL DRIFT DIRECTION FROM SEDIMENT PATTERNS

RESUMO

Os componentes dos sedimentos trazidos à costa são redistribuídos no sentido da deriva litorânea. Parâmetros estatísticos granulométricos e minerais pesados também acompanham um padrão de distribuição permitindo identificar direções preferenciais do transporte sedimentar. O objetivo desse trabalho foi identificar o sentido das correntes de deriva litorânea através dos parâmetros sedimentológicos de granulação e minerais pesados e identificar as variações desses parâmetros em quase duas décadas, em praias arenosas entre a baía da Babitonga e a baía de Guaratuba. Observou-se diferenças tanto na granulação quanto nos minerais pesados. O trecho que apresentou as maiores variações foi o de Itapoá, sua granulação aumentou, passando de areia fina para média em diversos trechos. Foi nessa área também que ocorreram as maiores variações mineralógicas, com aumento da proporção de minerais quimicamente mais resistentes. Apesar das diferenças quanto aos padrões sedimentológicos, esse trecho mostrou padrões semelhantes quando analisado o sentido do transporte dos sedimentos. Foi identificado inversões do rumo da deriva litorânea em vários pontos. O sentido do transporte sedimentar paralelo à costa na porção norte catarinense e sul paranaense é orientado para quadrantes de Norte, onde os sedimentos são conduzidos no sentido das correntes de deriva litorânea. Quando analisamos de forma geral, esse é o movimento resultante do transporte, mas quando a área é analisada de forma refinada é possível identificar outros rumos, sugerindo células de deriva atuantes em diversos trechos da área de estudo.

Palavras-chave: Dinâmica costeira; Transporte costeiro; Sedimentologia.

ABSTRACT

The composition of the sediments brought to the coast is redistributed in the direction of the coastal drift. Statistical parameters and heavy minerals also accompany a distribution pattern allowing the identification of preferential directions of sedimentary transport. The objective of this work was to identify the direction of coastal drift currents through the sedimentological parameters of grain sizes and heavy minerals and to identify the variations of these parameters in almost two decades, in sandy beaches between the Bay of Babitonga and the bay of Guaratuba. Differences were observed in both grain size and heavy minerals. The section that presented the greatest variations was that of Itapoá, its grain size increased, passing from fine sand to medium in several stretches. It was also in this area that the greatest mineralogical variations occurred, with an increase in the proportion of chemically more resistant minerals. Despite differences in sedimentological

patterns, this section showed similar patterns when the sediment transport direction was analyzed. Inversions of coastal drift were identified at various points. The direction of the sedimentary transport parallel to the coast in the northern part of Santa Catarina and Paraná south is oriented to the northern quadrants, where the sediments are driven towards the coastal drift currents. When we analyze in general, this is the movement resulting from the transport, but when the area is analyzed in a refined way it is possible to identify other directions, suggesting drift cells acting in several stretches of the study area.

Key-words: Coastal dynamics; Coastal transport; sedimentology.

Introdução

A zona costeira é uma área que está constantemente sujeita a alterações, sejam elas de origem antrópica ou natural. É um local complexo pois é influenciado por processos marinhos e terrestres, que interagem entre si.

Inseridas neste ambiente costeiro estão as praias arenosas, definidas como zonas de depósito de sedimentos situadas entre o continente e o oceano (Komar 1976). Diversos são os conceitos usados para definir o termo praia, mas o caráter não coesivo dos sedimentos que as compõe e a dominância dos fatores hidrodinâmicos como ondas, correntes e marés, são unânimes (Bigarella et al 1978, Komar 1976, Short 1999, Wright e Short 1984).

Praias são formadas por sedimentos de diversas composições e granulações, e são transportados pelas correntes costeiras. Segundo Komar (1976), a granulação exerce importante efeito sobre praias arenosas. Três são os fatores que controlam a distribuição do tamanho de grãos nos sedimentos praias: fonte do sedimento, nível de energia atuante e declive perfil praias.

Análises de proveniência, granulação e concentrações mineralógicas dos sedimentos são utilizadas como indicadores diretos da natureza, de áreas fonte e dos processos de distribuição sedimentar no ambiente praias (Short, 1999).

Os minerais pesados têm sido utilizados para a caracterização dos processos sedimentares de erosão, transporte e deposição, que definem os ambientes sedimentares.

A concentração de minerais pesados em um determinado local depende principalmente da abundância na área fonte e da intensidade de transporte, incluindo sua capacidade de resistência ao retrabalhamento a que são submetidos, o que permite identificar direções preferenciais do transporte sedimentar (Mange e Whight, 2007).

Nesta pesquisa, a hipótese investigada foi a de que, a configuração sedimentológica das praias (granulação e assembleia mineralógica) ocorre em função das fontes e das forças hidrodinâmicas. A força hidrodinâmica inferida, através de processo-resposta (tamanho de grão, grau de seleção e assimetria; índices de estabilidade mineral) é a deriva litorânea e suas direções preferenciais.

O objetivo dessa pesquisa foi identificar as variações temporais granulométricas e de minerais pesados em praias do litoral norte de Santa Catarina e sul do Paraná, entre os arcos praias compreendidos entre a desembocadura da baía da Babitonga – SC e a desembocadura da baía de Guaratuba -PR, com o intuito de se identificar o(s) sentido(s) da deriva litorânea

Área de estudo

A área de estudo compreende todo arco praial delimitado pelas baías da Babitonga ao sul, e pela Baía de Guaratuba ao norte. Nesse arco, está localizada a divisa estadual entre os estados de Santa Catarina (SC) e Paraná

(PR). Na porção catarinense situa-se o município de Itapoá, na porção paranaense o município de Guaratuba (Figura 9).

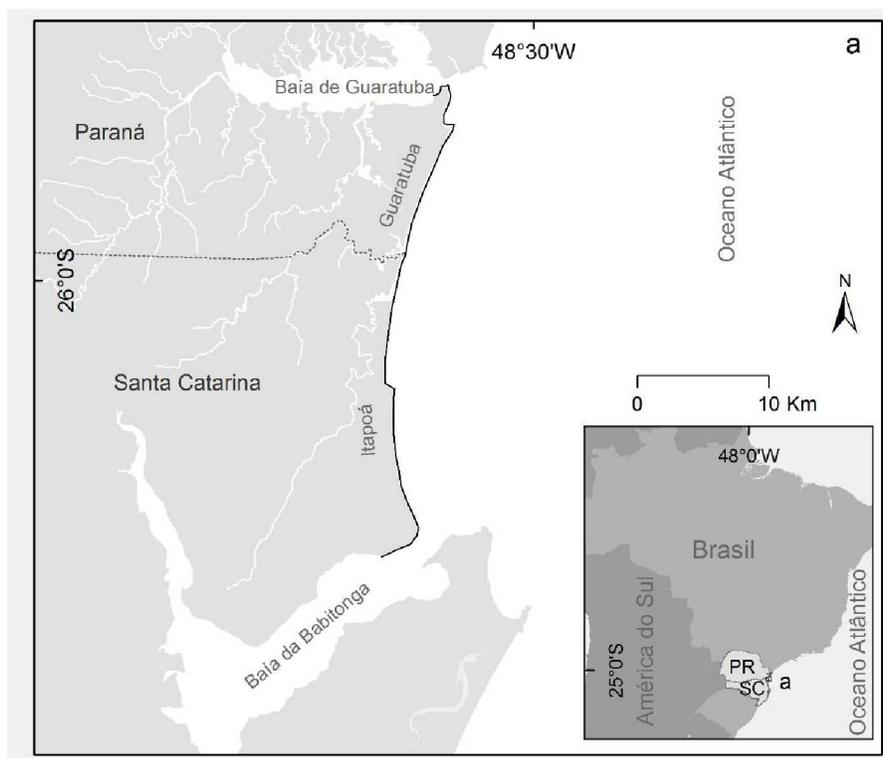


Figura 9 - Localização da área de estudo

O litoral dos estados do Paraná e Santa Catarina situa-se em um arco estrutural da Bacia Sedimentar de Santos, bacia essa que foi alimentada pela elevação da serra do Mar e possui uma cobertura sedimentar que chega a 8 km de espessura (Angulo *et al.*, 2009).

Tanto na porção norte catarinense como na região paranaense, os principais domínios geológicos são as rochas do embasamento cristalino pré-cambriano, ou escudo, e a cobertura sedimentar do Cenozoico. As rochas e os sedimentos estão associados a grandes unidades geomorfológicas, formado por morros e serras baixas, integrando a Serra do Mar (Angulo e Souza 2004; Angulo, 2004)

Materiais e Métodos

Os métodos de trabalho consistiram em processar e analisar amostras de sedimentos, coletadas na face praial, em agosto de 1994 e junho de 2011, em todo o arco praial entre a Baía da Babitonga e a Baía de Guaratuba, com espaçamento máximo de 500m para análise granulométrica e 1000m para análises de minerais pesados

As análises granulométricas foram realizadas por métodos convencionais, adotando o peneiramento para partículas mais grossas que 0,062 mm (frações areia) e pipetagem para frações mais finas (silte e argila).

A identificação dos rumos do transporte sedimentar utilizando

parâmetros granulométricos, foi realizada através do método proposto por McLaren e Bowles (1985), onde os autores sugerem que o sentido do transporte pode ser identificado em função de duas relações principais entre os parâmetros estatísticos granulométricos: “*aumento do diâmetro médio, melhora na seleção e assimetria mais positiva*” (CB+) e “*diminuição do diâmetro médio, melhora na seleção e assimetria mais negativa*” (FB-). Para isso utilizou-se uma extensão do software QGIS, denominada GiSedTrend, que utiliza o algoritmo do programa *Grain Size Trend Analysis (GSTA)*, proposto por Gao e Collins (1994). A “distância característica” utilizada no software foi de 750m.

Para a separação dos minerais pesados ($d > 2,85 \text{ g/cm}^3$) dos minerais leves foram realizados ensaios densimétricos utilizando o bromofórmio. Os minerais magnéticos foram retirados com um ímã de mão. Para a fixação, em lâminas, dos minerais transparentes não-micáceos, utilizou-se o Bálsamo do Canadá.

A qualificação e quantificação – 200 grãos por lâmina - dos minerais pesados foi realizada através de microscópio petrográfico.

Foram calculadas razões entre minerais com o intuito de inferir os rumos do transporte sedimentar. Foi calculado o índice somatório iZTR proposto por Hubert (1962) e de modo análogo para os minerais com estabilidade química semelhantes, iMET para minerais moderadamente estáveis e iINS para minerais instáveis.

Com o mesmo propósito de se identificar o sentido do transporte sedimentar foi calculado um índice baseado nas razões entre minerais. Utilizou-se minerais com estabilidade semelhante, mas com equivalente hidráulico distinto (**i1**): Turmalina x 100 / (Zircão + Rutilo + Turmalina).

Também foi realizada contagem dedicada para pares de minerais, previamente definidos, de acordo com a sua disponibilidade, com o intuito de refletir características de proveniência e dispersão como proposto por Morton e Hallsworth (1994). Para esse trabalho os pares de minerais escolhidos foram: Rutilo x Zircão (iRZ) para proveniência e Turmalina x Zircão (iTZ), para transporte.

Foram realizadas análises de escalonamento multidimensional não-métrica (nMDS), análise de similaridade (ANOSIM) e perfil de similaridade (SIMPER) no software PRIMER 7, com o intuito de comparar a composição mineralógica e a distribuição da abundância relativa entre cada amostra. As datas de 1994 e 2011 foram utilizadas como fator comparativo, com proposto por Verhaegen *et al.* (2018).

Para fins de interpretação a área de estudo foi dividida em cinco subáreas identificadas como (1) Itapoá, trecho que vai desde a desembocadura da baía da Babitonga até a desembocadura do rio Saí-mirim; (2) Ilha do Saí, formada entre os rios Saí-mirim e Saí-guaçu; (3) Brejatuba, que vai desde a desembocadura do rio Saí-guaçu até o promontório rochoso denominado morro do Cristo; (4) Praia Central de Guaratuba (PG) e (5) Praia de Caieiras (C).

Resultados

Ao longo de todo o arco praias, tanto no município de Itapoá como no de Guaratuba, onde havia dunas, a largura da praia – perpendicular à linha de costa - era maior em comparação aos locais que não possuíam. Diversos autores (Suguio e Tessler, 1984; Judge *et al.* 2003; Mendes, 2010) afirmam que as dunas auxiliam no suprimento de sedimentos. Logo, sua ausência deixaria a praia susceptível a déficit de sedimento, o que causa erosão, como constatado em diversas áreas.

1) Granulação sedimentar

As amostras coletadas em 1994 são constituídas por areia fina, muito bem selecionada e bem selecionada de Itapoá à Barra do Saí e Guaratuba. Em Brejatuba, por areia média moderadamente selecionada, com as maiores granulações em suas extremidades, na desembocadura do rio Saí-guaçu e próximo ao morro do Cristo (Figura 10).

Nas amostras de 2011, a predominância de areia média ocorreu de

Itapoá à Barra do Saí e na praia Central de Guaratuba, com o grau de seleção variando entre moderadamente selecionado e bem selecionado. Brejatuba mostrou as maiores granulações, como nas amostras de 1994, com areia média e pontos com areia grossa próximo ao morro do Cristo. Caieiras, ao lado direito da desembocadura da baía de Guaratuba, teve predominância de areia média.

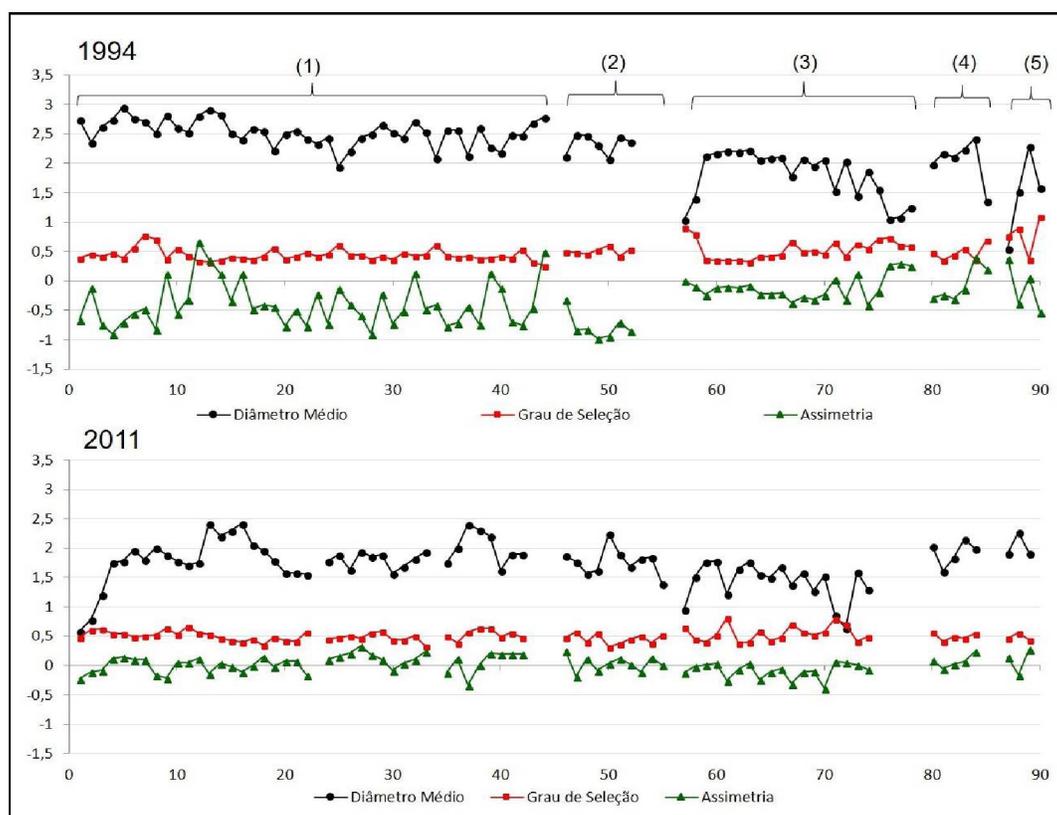


Figura 10 - Dados de parâmetros estatísticos sedimentológicos, Diâmetro médio, Grau de Seleção e Assimetria, para os anos de 1994 e 2011, em escala phi (Φ) no eixo vertical. As subáreas delimitadas representam (1) Itapoá, (2) Ilha do Saí, (3) Brejatuba, (4) Praia central de Guaratuba e (5) Praia de Caieiras, no eixo horizontal.

De modo geral, os resultados encontrados comparando as amostras de 1994 com as de 2011, quanto aos padrões texturais, indicam um aumento da granulação na face praial, passando de areia fina para areia média em diversos locais. Observou-se que assimetria foi predominantemente negativa, com maior

variação em 1994. Na praia de Brejatuba foram encontrados diferentes graus de granulação e seleção nas duas datas.

O mapa vetorial (Figura 11) foi baseado nos pressupostos de McLaren e Bowles (1985) e sugere a atuação de células de deriva litorânea tanto em 1994 como 2011 no trecho de Itapoá.

Em Brejatuba, também houve inversão do sentido do rumo do transporte, mas somente no ano de 1994.

Tanto a praia central de Guaratuba, como a praia de Caieiras apresentaram padrões semelhantes nas duas datas amostradas. A praia central de Guaratuba mostrou que possui inversões no sentido do transporte e Caieiras não, sendo a resultante para quadrantes de Norte.

2) Minerais pesados

A análise de abundância dos minerais pesados, nas amostras de 1994, indicou

concentrações maiores de zircão, hornblenda e epidoto e menores de turmalina, ferrosilita, rutilo, cianita, silimanita, apatita, oxi-hornblenda, estauroлита, cassiterita, monazita e granada. As amostras de 2011 mostraram os minerais zircão, turmalina, rutilo e hornblenda com as maiores concentrações. Dados referentes a índices de estabilidade mineralógica são apresentados na Figura 12. Em 1994, em Itapoá, trecho 1, observa-se que houve uma distribuição equitativa entre os três índices mineralógicos apresentados.

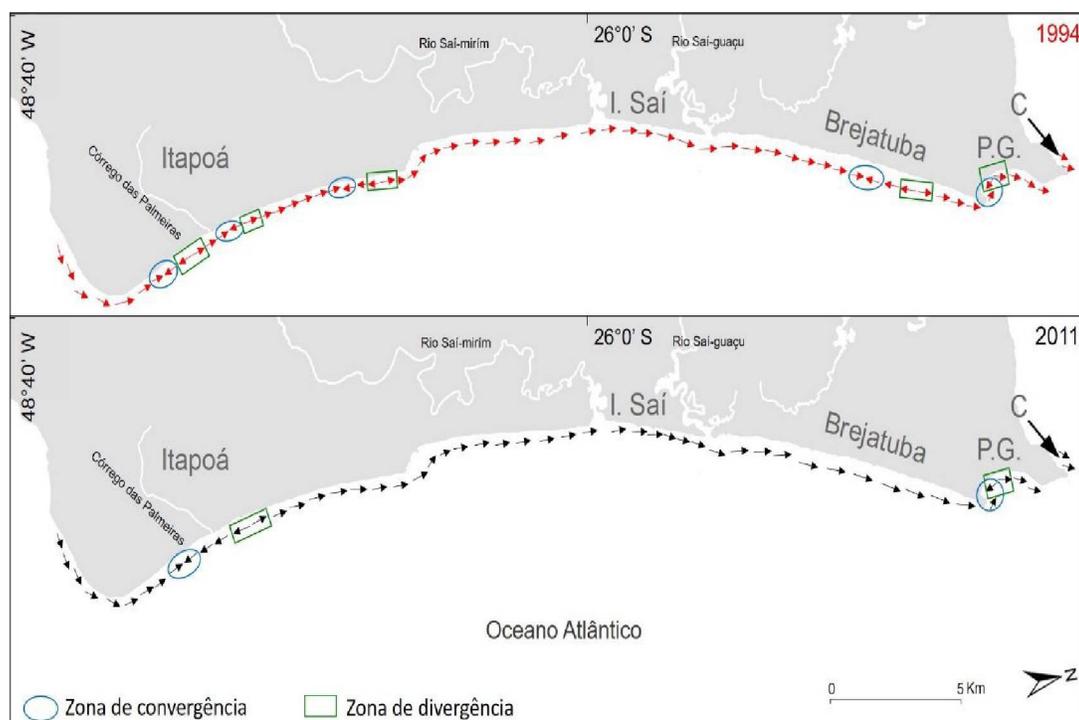


Figura 11 - Mapa com os vetores de tendência do transporte sedimentar, confeccionado a partir de parâmetros estatísticos de distribuição granulométrica, utilizando o *plugin* GiSedTrend no *software* QGIS, para os anos de 1994 e 2011.

Esse padrão foi observado apenas nesse trecho. Em todos os outros houve predominância do índice formado por

minerais ultraestáveis, o *iZTR*, alternando com o índice de minerais instáveis, o *iINS*.

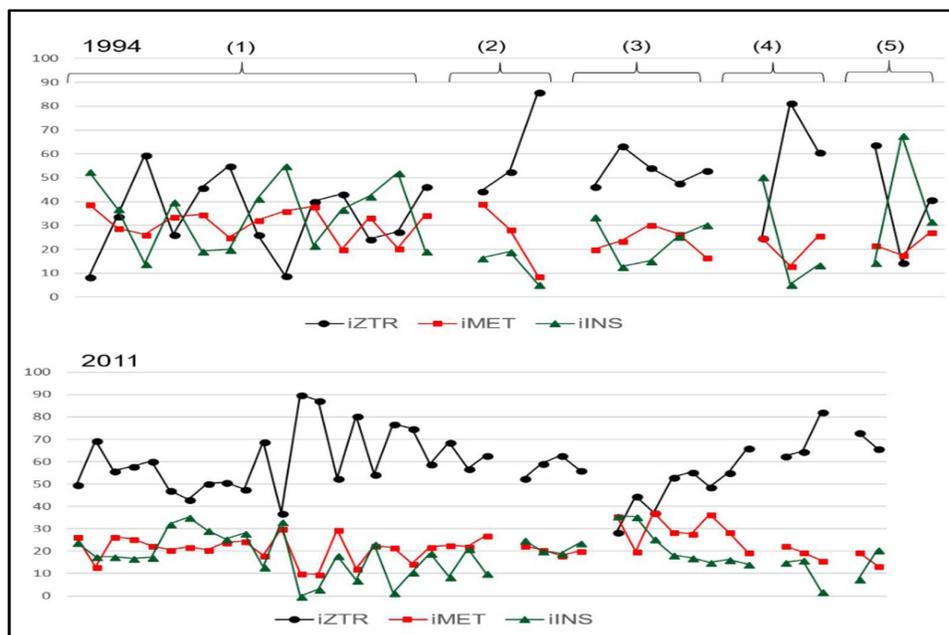


Figura 12 - Variação dos índices de minerais pesados ultraestáveis (iZTR), metaestáveis (iMET) e instáveis (iINS), para os anos de 1994 e 2011, em porcentagem (%) no eixo vertical. As subáreas delimitadas representam (1) Itapoá, (2) Ilha do Saí, (3) Brejatuba, (4) Praia central de Guaratuba e (5) Praia de Caieiras, no eixo horizontal.

Em 2011, a relação entre os índices em todos os trechos foi díspar, com a predominância do iZTR, chegando até a 90% da amostra.

A Figura 13 mostra o resultado dos índices mineralógicos. Em 1994, o iTZ, mostrou maiores variações nos trechos de Itapoá e em Brejatuba, sugerindo inversões do sentido da deriva nessas duas áreas. De maneira geral as maiores variações ocorreram em 2011, ocorrendo quase todos os trechos, com exceção da ilha do Saí e de Caieiras.

O índice iRZ, também obteve as maiores variações em 2011, sugerindo fontes alternativas de sedimento.

1) Variação temporal: nMDS, ANOSIM e SIMPER

O nMDS utilizando os anos como fator mostrou claramente a formação de dois grupos, um com as amostras de

1994 e outro com as amostras de 2011. O nível de stress encontrado, 0,17, indicou um bom ajuste entre a configuração bidimensional e a distribuição real dos dados. Observou-se apenas uma área de sobreposição entre os anos, com os pontos 31, 45 e 49 de 1994 assemelhando-se às amostras de 2011. Essa análise indica que distribuição relativa composicional dos dados foi distinta entre as duas datas (Figura 14).

A mesma variação entre a composição dos minerais pesados foi evidenciada no ANOSIM, também utilizando o ano como fator. Ao nível de significância de 0,1%, apresentou um valor de R Global em torno de 0,4.

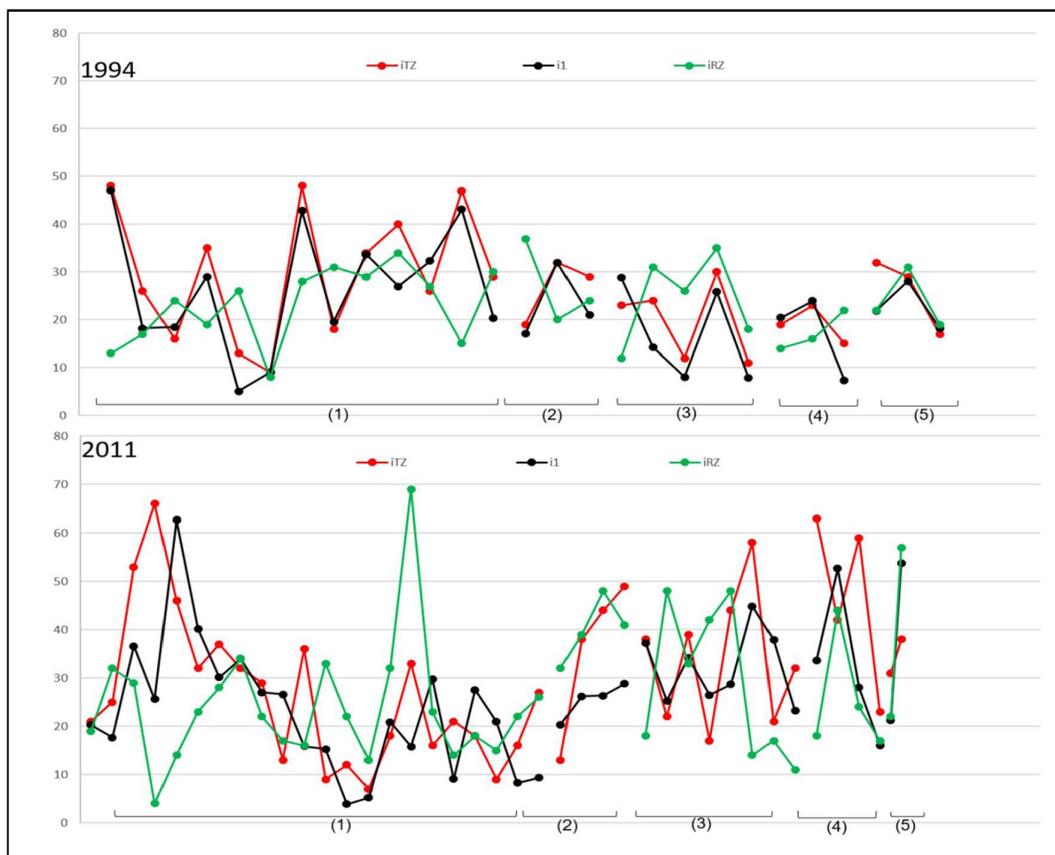


Figura 13 Variação dos índices de minerais pesados iTZ, i1 e iRZ, para os anos de 1994 e 2011, em razão percentual, no eixo vertical. As subáreas delimitadas representam (1) Itapoá, (2) Ilha do Sai, (3) Brejatuba, (4) Praia central de Guaratuba e (5) Praia de Caieiras, no eixo horizontal.

Valores diferentes de zero indicam que há diferenças significativa entre os grupos, e valores <1 indicam sobreposição entre os tipos de minerais entre os grupos.

O SIMPER, indicou a abundância média de cada mineral, com a correspondente contribuição percentual dos minerais para a similaridade entre as amostras e o percentual acumulado dos

minerais, até 70%, ordenados por ordem de maior contribuição. Em 1994, houve a predominância de zircão (17,2%), hornblenda (14,5%), epidoto (13,6%), turmalina (10,3%), rutilo (8,8%) e ferrosilita (8,5%). Em 2011, houve predominância de zircão (20%), rutilo (14%), turmalina (13,5%), hornblenda (10%), cianita (8,6) e silimanita (8,15%).

Ligieski, 2016), coincidindo com os pontos onde foram identificadas as inversões no sentido do transporte do sedimento.

Um padrão semelhante foi encontrado por Giannini et al. (2004), que também por meio de análises granulométricas e mineralógicas, sugeriu células de deriva litorânea na Ilha do Mel-PR, com duas zonas de convergência e uma de divergência. Esses autores explicaram a erosão que vem ocorrendo na ilha nos últimos 50 anos, quando o istmo arenoso passou por um processo erosivo na ordem dos 150 metros.

As altas taxas do índice iRZ, principalmente em 2011, em alguns pontos desse trecho de Itapoá sugerem uma proveniência de diversas fontes.

Souza e Angulo (2003) afirmam ainda que a dinâmica sedimentar da costa do município de Itapoá também é influenciada pela desembocadura da Baía da Babitonga. Eles identificaram feições submersas, próximas a desembocadura, que foram interpretadas como um delta de maré vazante. Os bancos de areia que formam o lobo desse delta são áreas rasas que estimulam a arrebatagem de ondas, provocando o transporte de sedimento e uma troca de material entre as feições praia-delta.

O trecho 2, denominado Ilha do Saí, é altamente dinâmico, sofrendo influência direta das desembocaduras dos rios Saí-mirim e Saí-guaçu. Souza (1999) identificou um processo de migração continuada da desembocadura do rio Saí-mirim, para o sentido norte, através de fotografias aéreas entre 1957 e 1995. Segundo a autora, as variações na morfologia ocorrem em função da migração de um esporão arenoso; quando há uma ruptura no istmo, o fechamento da desembocadura antiga, ocorre pela própria deriva litorânea, num processo continuado.

O mesmo padrão de direção de deriva foi encontrado nesse estudo, tanto pelos parâmetros estatísticos granulométricos,

como pelos índices iZTR, iTZ e i1, indicando que sentido do transporte é para norte e não há inversões nesse trecho.

O trecho 3 ou Brejatuba mostrou uma inversão no sentido da deriva em 1994, próximo ao promontório rochoso Morro do Cristo. Essa inversão também foi confirmada pelos índices iZTR e iTZ. Em 2011 não foi identificado nenhum padrão de inversão da deriva. Observou-se que mesmo com uma inversão de deriva no ano de 1994, essa praia encontra-se estável quanto a variação volumétrica sedimentar (Freitas, 2009) e quanto a variação da linha de costa (Bessa 2003), confirmando uma mobilidade praial em equilíbrio.

A subárea praia central de Guaratuba (PC) ou trecho 4, assim como o trecho 1, apresentou dois sentidos de transporte de sedimentos nas duas datas, sugerindo a ocorrência de um padrão de circulação interno. Essa praia foi objeto de estudo de Ramos (2018), a qual foi classificada como praia em formato de “gancho”. O autor salienta que ela tem um padrão de circulação peculiar e que apresentou um déficit de sedimento entre os anos de 2011 e 2018.

Bessa (2003), identificou um setor dessa praia como sendo de alta vulnerabilidade. Esse mesmo setor coincide com os pontos de inversão de deriva encontrados nesse estudo. Segundo ele, o fator que mais influenciou na classificação de alta vulnerabilidade foi a intensa atividade humana nessa parte da praia, durante as suas campanhas amostrais, com uso de máquinas de terraplenagem para regularização da praia, com o objetivo de escoamento das águas de galerias pluviais e esgotos.

A praia de Caieiras, ou trecho 5 não evidenciou fortes alterações granulométricas ou no índice mineralógico iTZ, o que indicaria uma deriva homogênea, porém ela mostrou alterações nos índices iZTR e iRZ

indicando possíveis fontes de proveniência. Segundo Angulo e Araújo (1996), essa praia foi classificada como associada à desembocadura da baía de Guaratuba, apresentando uma dinâmica dominada por ondas e correntes de maré, o que justificaria as alterações nos índices mineralógicos.

Bessa (2003) afirma que Caieiras está sob influência do delta de maré vazante da baía de Guaratuba, sendo que pequenas variações na configuração deste delta provocam mudanças significativas na morfologia e na mobilidade dessa praia. O autor salienta que apesar da linha de costa ter sofrido um recuo entre 1954 e 1997, a praia de Caieiras possui uma vulnerabilidade baixa, além de possuir cordões de dunas bem desenvolvidos.

Conclusão

Conclui-se que o sentido do transporte sedimentar paralelo à costa entre a desembocadura da baía da Babitonga e a baía de Guaratuba, é orientado para norte, onde os sedimentos são conduzidos no sentido das correntes de deriva litorânea.

Quando analisamos de forma geral, esse é o movimento resultante do transporte, mas quando a área é analisada de forma mais refinada é possível identificar outros rumos de transporte sedimentar, formando células de deriva atuantes em diversos trechos da área de estudo, nas datas analisadas.

Agradecimentos

A Prof^ª. Dr^ª. Maria Cristina Souza pela orientação, e a toda equipe do LECOST – Laboratório de Estudos Costeiros.

Referências

ANGULO R.J. 2004. Mapa do Cenozóico do litoral do estado do

Paraná. Boletim Paranaense de Geociências. 55: 25-42

ANGULO R. J.; ARAÚJO A. D., 1996. Classificação da costa paranaense com base na sua dinâmica, como subsídio à ocupação da orla litorânea. Boletim Paranaense de Geociências. 44: 7-17.

ANGULO R.J. e SOUZA M.C. 2004. Mapa geológico da planície costeira entre o rio Saí-Guaçu e a baía de São Francisco, litoral norte do estado de Santa Catarina. Boletim Paranaense de Geociências. 55:09-23.

ANGULO R.J., LESSA G.C., SOUZA M.C. 2009. The Holocene Barrier Systems of Paranaguá and Northern Santa Catarina Coasts, Southern Brazil. In: Dillenburg S.R. e Hesp P.A. (eds.). Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil. Ed. Springer. 380p.

BIGARELLA J.J., BECKER R, D., MATOS A., WERNER A. 1978. A Serra do Mar e porção oriental do estado do Paraná. Um problema de segurança ambiental e nacional (contribuição à geografia, geologia e ecologia regional). Governo do estado do Paraná, Secretaria do Estado de Planejamento – Associação de Defesa e Educação Ambiental. (ADEA). Curitiba. 248 p.

BESSA Jr. O. 2003. Interferência entre a ocupação urbana e a dinâmica natural no litoral sul do Paraná. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geologia Ambiental. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 143 p.

BRIESE P.R.M. 2016. Evolução da linha de costa de praias do município de Itapoá-SC. Uma análise relacionada à erosão costeira utilizando ferramentas geotecnológicas. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental Universidade do Vale do Itajaí. Itajaí. 121p.

FOLK R.L., WARD W.C. 1973. Brazos River Bay: Study of the significance of grain size parameters. Journal of Sedimentary Petrology, 27(1):3-27.

- FREITAS T.G. 2009. Variação morfosedimentar e sua relação com a praia Brejatuba, Guaratuba-PR. Monografia, Curso de Oceanografia, Universidade Federal do Paraná, 93p.
- GAO, S., COLLINS, M. 1994. Analysis of grain size trends, for defining sediment transport pathways in marine environments. *Journal of Coastal Research*, 10: 70-78.
- GIANNINI P.C.F., ANGULO R.J., SOUZA M.C., KOGUT J.S., DELAI M.S. 2004. A erosão na costa leste da Ilha do Mel, baía de Paranaguá, estado do Paraná: Modelo baseado na distribuição espacial de formas deposicionais e propriedades sedimentológicas. *Revista Brasileira de Geociências*. 34(2):231-242.
- HUBERT J.F. 1962. A zircon-turmaline-rutile maturity index and the dependence of de composition of heavy mineral assemblages with the gross composition and texture sandstone. *Journal of Sedimentary Petrology*, 32(3): 440-450.
- JUDGE E.K., OVERTON M.F., FISHER J.S. 2003. Vulnerability indicators for coastal dunes. *Journal of de Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*. 270-278.
- KOMAR P.D. 1976. *Beach Process and Sedimentation*. Prentice Hall, 429 p.
- LIGIESKI M.L.M. 2016. Quantificação da erosão costeira e balanço sedimentar das praias do município de Itapoá-SC. Monografia. Curso de Geologia. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 49p.
- MCLAREN P. E BOWLES D. 1985. The effects of sediment transport on grain-size distributions. *ournal of Sedimentary Petrology*, 55(4): 457-470.
- MANGE M. A., WRIGHT D. T. 2007. High-resolution Heavy Mineral Analysis (HRHMA): A Brief Summary. In: Mange, M. A., Wright, D. T. (Coordenadores), *Heavy Minerals in Use*. Oxford: Elsevier, p. 433-436.
- MENDES V.R. 2010. Sedimentologia e morfoecologia ao longo do sistema praia-duna de Peruíbe, SP: Uma avaliação da influência da ocupação antrópica recente. Monografia. Curso de Geologia. Universidade de São Paulo, 58p.
- MORTON A.C., HALLSWORTH C.R. 1994. Identifying provenance-specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones. *Sedimentary Geology*, 90: 241-256.
- PORPILHO D. 2012. Análise de sedimentologia, variação da linha de costa e perfil praial de Itapoá-SC, Brasil. Monografia do curso de Oceanografia. Universidade do Vale do Itajaí. Itajaí. 84p.
- RAMOS E.A.P. 2018. Influência da estabilização da linha de costa na dinâmica natural do arco da praia ed Guaratuba-PR. XXI Seminário do Programa de Pós-Graduação em Geologia. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 76-80.
- RIBEIRO J.S., SOUSA P.H.G.O. VIERA D.R. SIEGLE E. 2013. Evolução da praia de Massaguaçu, SP, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*. v.13. p.253-265.
- SHORT A.D. 1999. *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. Book Ed. Jonh Wiley 7 Sons Ltd. England. 379 p.
- SOUZA D.R. 2004. Minerais pesados na plataforma continental interna adjacente ao litoral ao centro-norte de Santa Catarina. Monografia, Curso de Oceanografia, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí. 103p.
- SOUZA D.R. 2007. Distribuição dos minerais pesados ao longo do curso inferior do rio Itajaí-Açu/SC e sua correlação sedimentar com planície costeira, praia e plataforma continental interna adjacente. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 200p.
- SOUZA M.C. 1999. Mapeamento da planície costeira e morfologia e dinâmica das praias do Município de Itapoá,

- Estado de Santa Catarina: Subsídios à ocupação. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 204p.
- SOUZA M. C. e ANGULO R. J. 2003. Decadal and interannual variations of coastline and beach volumes in Itapoá (Santa Catarina, Brazil). *Journal of Coastal Research, Florida*, v.17.
- SUGUIO K. e TESSLER M.G. 1984. Planícies de cordões litorâneos quaternários do Brasil: origem e nomenclatura. Pp: 15-25. In: Lacerda L. D., Araújo D.S.S., Cerqueira R. e Turcq B. (eds). *Restingas brasileiras: Origem, Estrutura e Processos*. Universidade Federal Fluminense, 477p.
- VERHAEGEN J., WELTJE G.J., MUNSTERMAN D. 2018. Workflow for analysis of compositional data in sedimentary petrology: provenance changes in sedimentary basin from spatio-temporal variation in heavy-mineral assemblages. *Geological Magazine*, 1-20.
- VERMEESCH P., RESENTINI A. GARZANTI E. 2016. An R package for statistical provenance analysis. *Sedimentary Geology*, 336: 14-25.
- WRIGHT L.D., SHORT A.D.1984. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis. *Marine Geology*,56: 93-18.

8. RESULTADOS COMPLEMENTARES

8.1. Minerais pesados nos rios

Em 1994, foram amostrados apenas os dois maiores rios com deságue na área de estudo, o rio Saí-mirim e o rio Saí-guaçu. Em 2011, além desses dois rios, também foram coletadas amostras da calha do córrego da Palmeira, e mais um ponto do rio Saí-mirim (FIGURA 15).

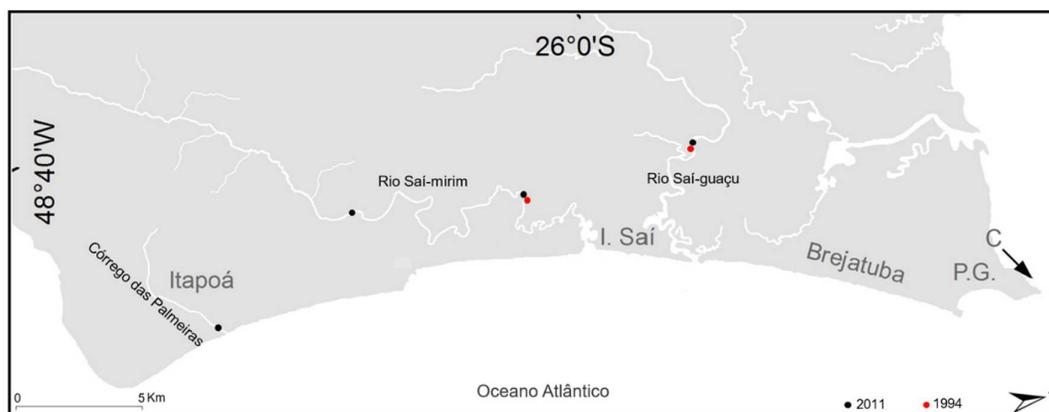


FIGURA 15 – PONTOS AMOSTRADOS NOS RIOS E CÓRREGOS NOS ANOS DE 1994 E 2011.

No rio Saí-mirim houve um aumento na contagem de zircão, turmalina, rutilo, estauroлита, granada, cianita e silimanita; e uma diminuição do epidoto, apatita, ferrosilita e hornblenda. Foi registrada a ocorrência, em 2011, da monazita, titanita e andaluzita, o que não ocorreu em 1994.

O rio Saí-guaçu mostrou um aumento do zircão, estauroлита e silimanita; uma diminuição da turmalina, rutilo, epidoto e hornblenda. Foi registrada a ocorrência, somente em 2011, da monazita. Já apatita foi identificada somente em 1994.

Quando comparamos as amostras dos rios nas datas de 1994 e 2011, observou-se pouca variação no que diz respeito à assembleia de minerais pesados identificados como um todo. As maiores alterações foram identificadas nas proporções entre os minerais. Esse padrão foi observado tanto para rio Saí-guaçu como para o rio Saí-mirim (FIGURA 16).

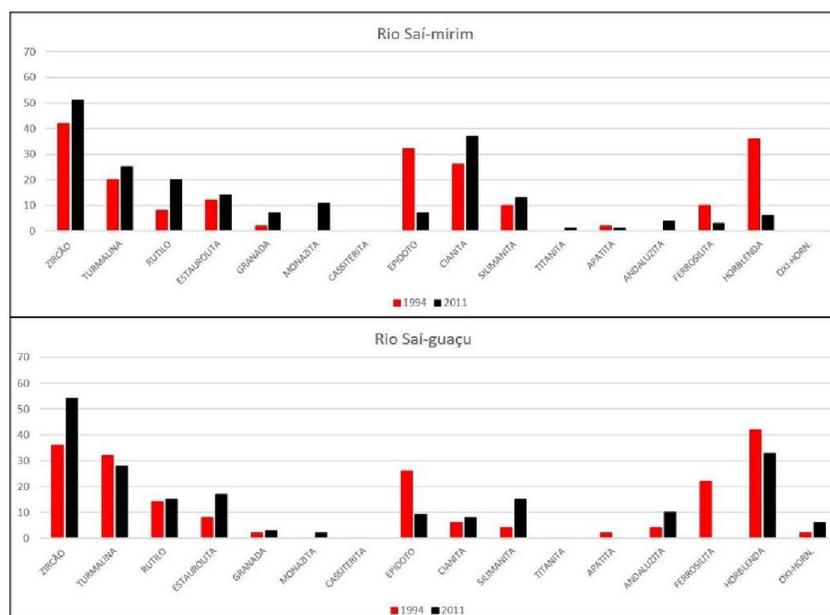


FIGURA 16 - OCORRÊNCIA DOS MINERAIS PESADOS IDENTIFICADOS, NOS RIOS SAÍ-MIRIM E SAÍ-GUAÇU, NOS ANOS DE 1994 E 2011. O EIXO (Y) É REPRESENTADO PELA QUANTIDADE DE MINERAIS EM GRÃOS, E O EIXO (X) PELA ABUNDÂNCIA DE MINERAIS ENCONTRADO NAS AMOSTRAS

Quando se analisa as amostras dos rios e córregos de forma comparativa (FIGURA 17), observa-se que há um padrão semelhante, tanto na distribuição quanto na proporção dos minerais nos rios Saí-mirim e o córrego da Palmeira e o Terceira Pedra. Com altas ocorrências de minerais ultra estáveis e principalmente os moderadamente estáveis (silimanita e cianita). Já o rio Saí-guaçu é caracterizado pela alta incidência de minerais ultra estáveis e instáveis (hornblenda e oxi-hornblenda), sugerindo que, apesar da proximidade, esses rios podem ter contribuições mineralógicas (fontes) de origens distintas.

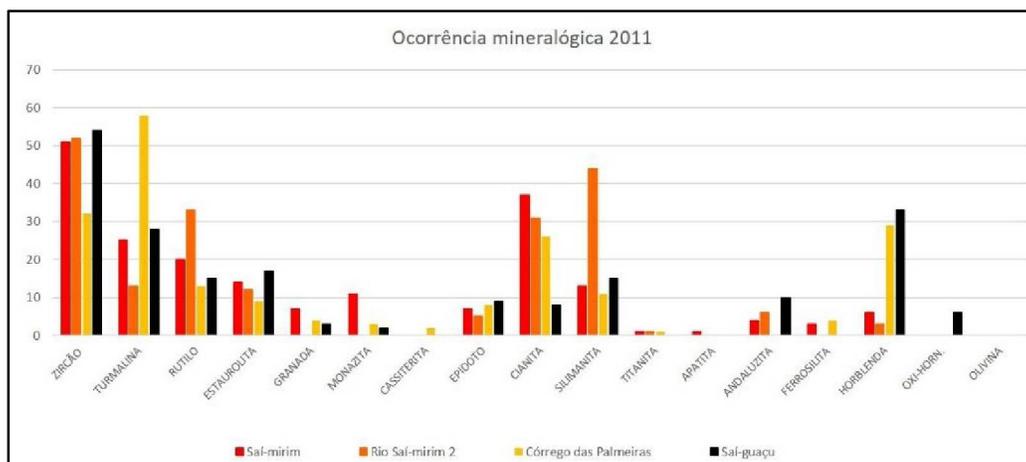


FIGURA 17 - OCORRÊNCIA DOS MINERAIS PESADOS IDENTIFICADOS NOS RIOS E CÓRREGOS NA AMOSTRAGEM DE 2011. O EIXO (Y) É REPRESENTADO PELA QUANTIDADE DE MINERAIS EM GRÃOS, E O EIXO (X) PELA ABUNDÂNCIA DE MINERAIS ENCONTRADO NAS AMOSTRAS.

A Tabela 2 mostra o perfil de similaridade (SIMPER) entre as amostras dos rio Saí-mirim nas duas datas, com indicação da abundância média de similaridade para cada mineral, com a correspondente contribuição percentual dos minerais para a similaridade entre as amostras e o percentual acumulado entre todos os minerais, ordenados por ordem de maior contribuição. Os minerais mais abundantes nesse grupo foram o zircão, a cianita, a silimanita, a turmalina e o rutilo.

TABELA 2 - TABELA COM AS AMOSTRAS DO GRUPO SAÍ-MIRIM, SIMILARIDADE MÉDIA DE 79,91.

Minerais	Abundância Média	Contribuição %	Percentual acumulado
Zircão	3,35	19,12	19,12
Cianita	2,87	16,38	35,5
Silimanita	2,7	13,66	49,17
Turmalina	2,34	12,45	61,62
Rutilo	2,4	12,18	73,8

A Tabela 3 mostra o perfil de similaridade (SIMPER) entre as amostras do rio Saí-guaçu nas duas datas, com indicação da abundância média de similaridade para cada mineral, com a correspondente contribuição percentual dos minerais para a similaridade entre as amostras e o percentual acumulado entre todos os minerais, ordenados por ordem de maior contribuição. Os minerais mais abundantes nesse grupo foram o zircão, hornblenda, rutilo, turmalina e epidoto.

TABELA 3 - TABELA COM AS AMOSTRAS DO GRUPO SAÍ-MIRIM, SIMILARIDADE MÉDIA DE 70,62

Minerais	Abundância Média	Contribuição %	Percentual acumulado
Zircão	3,41	21,06	21,06
Hornblenda	2,92	14,86	35,92
Rutilo	2,19	13,14	49,06
Turmalina	2,3	11,32	60,38
Epidoto	2,09	10,77	71,16

A Tabela 4 mostra o perfil de similaridade (SIMPER) para a amostra do córrego das Palmeiras no ano de 2011, como foi uma única amostra não foi possível indicar a similaridade média, mas sim a contribuição percentual de cada mineral e o percentual acumulado entre todos eles, ordenados por ordem de maior contribuição. Os minerais mais abundantes nessa amostra foram a turmalina, zircão, hornblenda e cianita.

TABELA 4 - TABELA COM OS PRINCIPAIS COMPONENTES DO CÓRREGO DAS PALMEIRAS

Minerais	Abundância Média	Contribuição %	Percentual acumulado
Turmalina	-	29	29
Zircão	-	16	45
Hornblenda	-	14,5	59,5
Cianita	-	13	72,5

A Figura 18 mostra o resultado da análise de escalonamento multidimensional não-métrica (nMDS) evidenciando no espaço bidimensional, de forma que as distâncias entre os pontos correspondam da melhor forma possível às dissimilaridades relativas entre as amostras dos rios. O nível de stress encontrado, 0,01, indica um bom ajuste entre a configuração bidimensional e a distribuição real dos dados. Foram utilizadas todas as amostras dos rios, nas duas datas.



FIGURA 18 - ANÁLISE DE ESCALONAMENTO MULTIDIMENSIONAL NÃO-MÉTRICA (NMDS), PARA OS RIOS SAÍ-MIRIM EM 1994 (SM 94), EM 2011 (SM D 11), E O RIO SAÍ-MIRIM MAIS AFASTADO DA DESEMBOCADURA (SM 11). O CÓRREGO DAS PALMEIRAS FOI IDENTIFICADO COMO (R PAL 11). O RIO SAÍ-GUAÇU EM 1994 (SG 94) E EM 2011 (SG D 11)

CAPÍTULO 3

9. DISCUSSÃO

Nesse estudo as maiores variações, tanto nos parâmetros granulométricos como nos minerais pesados, ou nas inversões do sentido da deriva litorânea, foram encontrados no trecho 1, na subárea denominada Itapoá. Diversos estudos já relataram que o município de Itapoá teve um recuo da linha de costa, em diversos trechos, nas últimas cinco décadas (SOUZA, 1999; PORPILHO, 2012; BRIESE, 2016; LIGIESKI, 2016).

É um município que também apresentou um alto crescimento demográfico, e teve uma ocupação do uso do solo modificada. Na Figura 19 é possível observar que a urbanização foi intensa entre os anos de 1978 e 2015 e, que áreas como solo exposto (sem cobertura vegetal), vegetação costeira (incluindo as restingas), e região praial diminuíram consideravelmente.

Isso gera conflito de uso do solo, uma vez que o ambiente praial é uma área dinâmica, em que se alternam períodos de construção e desconstrução da morfologia do perfil, por diversos motivos, tais como intensidade das ondas, estações do ano ou eventos a nível global como o El Niño.

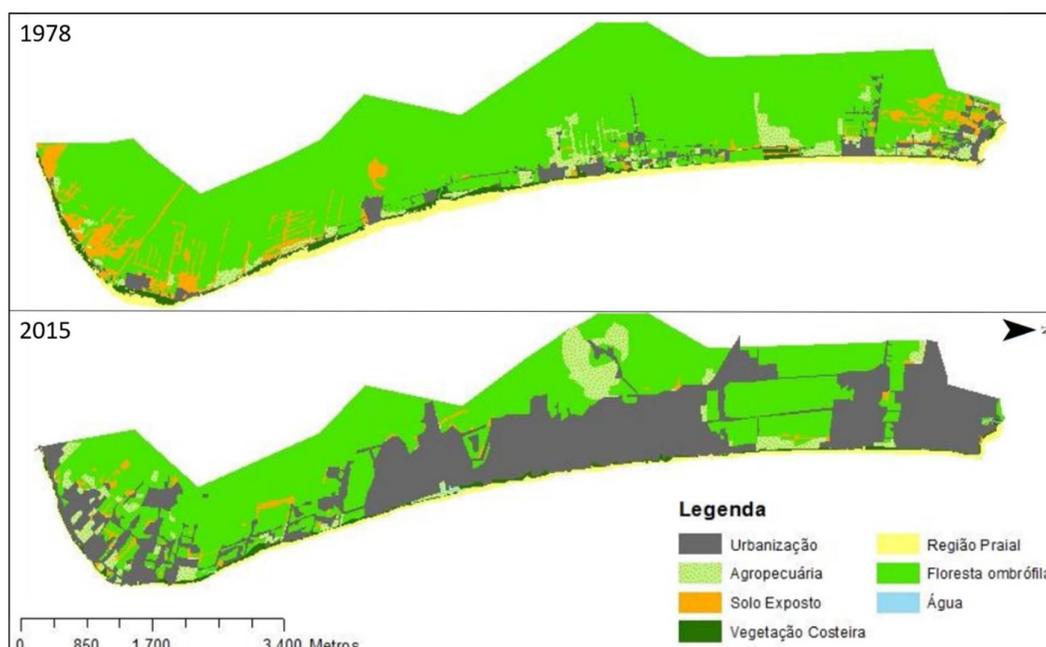


FIGURA 19 - - CLASSIFICAÇÃO DO USO DO SOLO NO MUNICÍPIO DE ITAPOÁ ENTRE OS ANOS DE 1978 E 2015. FONTE: MODIFICADO DE BRIESE (2016).

Souza e Angulo (1999), em estudos também no município de Itapoá-SC, encontraram uma correlação positiva entre o processo de erosão, à que as praias do município estão submetidas, com a ocorrência do El Niño. No entanto, pela ausência de dados em períodos normais e de La Niña, não tiveram como afirmar que os valores de recuo sejam resultado exclusivo do El Niño. Possivelmente seria um agente intensificador de um processo que já está ocorrendo, por conta de uma ocupação inadequada.

Entre as duas amostragens, especificamente nos anos de 1997 e 1998, ocorreu um fenômeno El Niño, que segundo Oliveira e Satyamurty (1998) foi um dos episódios de maior intensidade do último século, como verificado na Figura 3. A região sul do país recebeu, em média, 50 mm/mês de chuva a mais que o normal entre os meses de outubro/97 - maio/98 (Oliveira e Satyamurty 1998).

A porção sul do trecho de Itapoá, próxima a desembocadura da baía da Babitonga, é um trecho que está com déficit de sedimento há muitos anos, e onde foram constatadas as maiores alterações no sentido das correntes de deriva litorânea tanto no ano de 1994 como no ano de 2011. Segundo Angulo (1993), praias associadas a desembocaduras de estuário e baías (como esse trecho, e também a Praia de Caieiras) seriam instáveis, apresentando variação na linha de costa da ordem de centenas a milhares de metros.

Estudos como o de Angulo e Araújo 1996, Bessa Jr. 2003 e Briese 2016 identificaram questões problemáticas relacionadas a urbanização e erosão costeira. Fernandez e Muehe (2006) salientam a importância de um monitoramento contínuo para identificar a atuação destes fenômenos globais na dinâmica das praias da costa brasileira, no sentido de ampliar as correlações entre eventos catastróficos e as variações sedimentares das praias numa escala maior de tempo.

Muehe (2006) diz ainda que uma das principais causas da erosão costeira é a interferência antrópica nos processos costeiros seguido da urbanização. Mas o autor salienta que não é a urbanização em si que promove a erosão, mas sim as construções localizadas dentro da faixa de respostas dinâmica das praias frente às intempéries hidrodinâmicas, que tende a ser retomada pela ação marinha sobre a área construída.

A Figura 20 mostra fotos tiradas durante a coleta no ano de 2011 em que foram verificadas várias construções dentro da faixa de areia praial, no trecho 1. As imagens “A” e “B” mostram construções residenciais que por conta do recuo da linha de costa, expuseram as edificações a ação das ondas, na figura “A” ainda é possível identificar parte da praia com uma cobertura de aterro.

A foto “C” mostra um muro de estrutura rígida, que foi construído com o intuito de proteger o calçadão, já parcialmente destruído. A imagem “D” mostra uma escada de acesso à praia também parcialmente destruída por conta dos níveis de energia local. A imagem “E” mostra resquícios de construção que já foram destruídas pela ação das ondas.

As imagens “F” e “G” mostram os tipos de obras de contenção, como gabiões e enrocamentos, que são realizadas, tanto pela população como pelos órgãos competentes, numa tentativa de barrar o avanço do mar.



FIGURA 20 - IMAGENS CAPTADAS DURANTE A COLETA DE 2011, NA ÁREA ITAPOÁ OU TRECHO 1, QUE MOSTRAM O RECUO DA LINHA DE COSTA. (FONTE: A AUTORA).

Observou-se a possibilidade de tais obras terem impacto na composição mineralógica das praias, uma vez que em pontos próximos a esses locais, a composição mineralógica de pesados é abundante em minerais ultraestáveis.

Quando comparamos as duas datas, observou-se uma variação entre a proporção de minerais pesados. Houve um aumento do zircão, a turmalina e o rutilo, principalmente no trecho de Itapoá.

Especula-se que a ação direta das ondas nesses enrocamentos causaria um intemperismo nessas rochas, que por sua vez atuariam como fonte de sedimentos; e que essa mesma ação hidrodinâmica resultaria numa dissolução dos minerais mais instáveis quimicamente. Levantou-se o questionamento se o estudo de minerais pesados seria adequado à pesquisas de proveniência e transporte em praias com alto nível de antropização, já que o aumento considerável do zircão, da turmalina e do rutilo (Figura 12) estão sendo atribuídos a erosão das rochas, das obras de contenção localizadas dentro do perfil praial.

Com relação aos vetores de tendência de transporte sedimentar, as localidades nas quais foram identificadas divergência de vetores de transporte coincidiram com os pontos de comportamento erosivos em Itapoá e na praia Central de Guaratuba. Padrões semelhantes foram encontrados por Giannini (2004) na Ilha do Mel-PR e por Novak (2016) em praias em Pontal do Paraná-PR. A exceção foi Brejatuba, em 1994, que mostrou vetores divergentes, mas que não possui comportamento erosivo.

Bessa (2003) observou tendências de deriva litorânea orientada para o sul na praia de Guaratuba e em pontos da praia de Brejatuba, sugerindo a atuação das ondas incidentes de nordeste ou leste.

Freitas (2010) identificou influência do rio Saí-guaçu na praia de Brejatuba, tanto nos padrões texturais sedimentológicos como na morfologia do perfil praial.

A variação dos parâmetros sedimentológicos e alterações na linha de costa é um processo natural, que ocorre devido à forças hidrodinâmicas, principalmente quando essa é intensificada por agentes atmosféricos, podendo ser acelerado pelas atividades humanas próximas a linha e costa.

Programas de monitoramento e análises de risco são fundamentais, sendo ideais na prevenção de possíveis problemas. Nesse contexto o monitoramento praial seve como uma das ferramentas no gerenciamento urbano e desenvolvimento sustentável da zona costeira.

A mobilidade dos sedimentos encontrada nas praias arenosas ajusta-se às forças hidrodinâmicas, tais como ondas e correntes de deriva, num processo contínuo de retroalimentação. Áreas como praias são ambientes sensíveis e susceptíveis a reajustes

em seus estados de equilíbrio, podendo facilmente uma praia mudar sua morfologia em decorrência de fenômenos tais como: a ocorrência de tempestades, a incidência de sistemas frontais com agitação marítima associada, ocorrência de marés meteorológicas, ou a intensificação destes processos em função da ocorrência de fenômenos como El Niño e La Niña.

Apesar de terem as suas desembocaduras próximas, distantes por menos de três quilômetros, os rios Saí-mirim e Saí-guaçu apresentaram uma composição distinta, sugerindo receber sedimentos provenientes de rochas com ambientes tectônicos diferentes. A análise qualitativa dos minerais pesados nos rios Saí-mirim e do córrego das Palmeiras sugerem uma contribuição sedimentar de rochas com origens metamórficas, enquanto que a composição do rio Saí-guaçu indicaria fontes de rochas graníticas.

Analisando a Figura 21 é possível inferir que o rio Saí-mirim e o córrego das Palmeiras receberiam influência dos domínios das Sequência Morro Inglês, e que o rio Saí-guaçu receberia influências sedimentológicas tanto da Sequência Morro Inglês como também da Sequência Rio das Cobras.

Cury (2009) diz que nessa área os terrenos metamórficos são caracterizados por unidades do embasamento compostas por variedades de rochas gnáissicas, colocadas lado a lado com unidades metassedimentares e graníticas por processos de falhamento.

Acredita-se que a contribuição mineralógica dos rios é palpável observado com o aumento de minerais metaestáveis nas adjacências da desembocadura do córrego das Palmeiras. E também por só encontrarmos o mineral oxí-hornblenda no rio Saí-Guaçu e em pontos ao seu entorno. Constatou-se também que as inversões do sentido da deriva litorânea, em Itapoá, ocorreram próximas a desembocadura do córrego das Palmeiras, sugerindo que além de atuar como fonte de sedimento, esse rio influencia na dinâmica costeira.

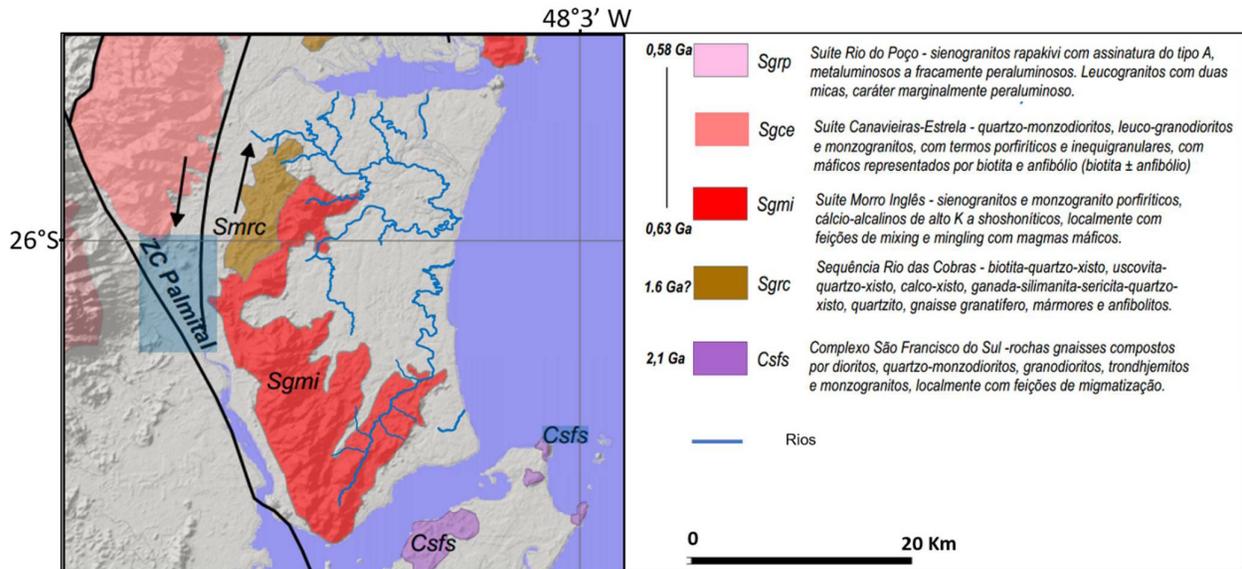


FIGURA 21 – MAPA GEOLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO, COM OS RIOS ANALISADOS NESSES TRABALHOS SOBREPOSTOS. MODIFICADO DE CURY (2009).

10. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises dos parâmetros granulométricos, de minerais pesados e estatística realizada nesse estudo permitiu fazer algumas inferências:

As amostras coletadas em 1994 possuem granulação areia fina, muito bem selecionada e bem selecionada de Itapoá à Barra do Saí e Guaratuba. Em Brejatuba a granulação é de areia média moderadamente selecionada, com as maiores granulações em suas extremidades, na desembocadura do rio Saí-guaçu e próximo ao morro do Cristo; e areia fina na sua porção central. Observou-se que em Brejatuba foram encontrados diferentes graus de granulação e seleção nas duas datas.

Nas amostras de 2011, a predominância da granulação areia média ocorreu de Itapoá à Barra do Saí e na praia Central de Guaratuba, com o grau de seleção variando entre moderadamente selecionado e bem selecionado. Brejatuba mostrou as maiores granulações, como nas amostras de 1994, com areia média e pontos com areia grossa próximo ao morro do Cristo. Caieiras, ao lado direito da desembocadura da baía de Guaratuba, teve predominância de areia média apenas em 2011 e areia fina em 1994.

De modo geral, os resultados encontrados comparando as amostras nas duas datas, quanto aos padrões texturais, indicam um aumento da granulação na face praial, passando de areia fina para areia média em diversos pontos. Observa-se que assimetria foi predominantemente negativa, com mais variação em 1994.

A análise de abundância dos minerais pesados, nas amostras de 1994, indicou concentrações maiores de zircão, hornblenda e epidoto, e seguida da turmalina, ferrosilita. As amostras de 2011 mostraram os minerais zircão, turmalina, rutilo e hornblenda com as maiores concentrações. Em menores quantidades ocorreram os minerais silimanita, andaluzita, cianita, hiperstênio, estauroilita, titânita, epidoto e oxi-hornblenda.

É possível observar diferenças nos dados tanto na granulação quanto nos minerais pesados, quando analisamos as duas datas. O trecho que apresentou as maiores variações foi o de Itapoá, sua granulação aumentou, passando de areia fina para média em diversos trechos. Foi nessa área também que ocorreram as maiores variações mineralógicas, com aumento da proporção

de minerais ultraestáveis nas amostras. Apesar das diferenças quanto aos padrões sedimentológico, esse trecho mostrou padrões semelhantes quando analisado o sentido do transporte dos sedimentos, o qual foi identificado inversões do rumo da deriva litorânea em vários pontos.

O sentido do transporte sedimentar paralelo à costa na porção norte catarinense e sul paranaense é orientado para quadrantes de Norte, onde os sedimentos são conduzidos no sentido das correntes de deriva litorânea. Quando analisamos de forma geral, esse é o movimento resultante do transporte, mas quando a área é analisada de forma refinada é possível identificar outros rumos, sugerindo células de deriva atuantes em diversos trechos da área de estudo.

A assembleia mineralógica dos minerais pesados dos rios mostrou-se estatisticamente distinta entre eles. Observou-se um aumento de minerais metaestáveis nas adjacências da desembocadura do córrego das Palmeiras; e o mineral oxi-hornblenda só foi encontrado no rio Saí-Guaçu e em pontos ao seu entorno.

Para uma possível continuidade desse estudo sugere-se o monitoramento com análises sedimentológica, de tempos em tempos dessas praias, principalmente Itapoá e praia central de Guaratuba, pois são altamente antropizadas e mostraram grande variações dos parâmetros sedimentológicos, com indicativos de células de deriva litorânea.

Indica-se para pesquisas futuras o uso do sensoriamento remoto, como ferramenta complementar, o que auxiliaria na identificação e delimitação dos padrões de transportes costeiros.

Recomenda-se também uma investigação maior sobre os rios, uma vez que sua diferença composicional sugere que eles podem ser de contextos geológicos distintos, e que não necessariamente tenham a mesma participação na história da formação da planície costeira.

E cabe aqui a advertência de que, em praias com alto nível de antropização, em que tenham sido realizadas obras de engenharia dentro do perfil praiial, a utilização de minerais pesados em estudos de proveniência e dispersão não seria a metodologia mais adequada.

REFERÊNCIAS

- ADDAD, J.E. 2001. **Minerais pesados**: uma ferramenta para prospecção, proveniência, paleogeografia e análise ambiental. Edição independente, São Paulo. 81p.
- ALENCAR, A.S.; FREITAS, A.C. 2005. Reference levels of natural radioactivity for the beach sands in a Brazilian southeastern coastal region. **Radiation Measurements** 40: 76-83.
- ALVES, J.H.G.M.; ELOI, M. 2001. On the measurement of directional wave spectra at the Southern Brazilian Coast. **Applied Ocean Research**. 21: 295-309.
- ANGULO, R.J. 1992. **Geologia da planície costeira do Estado do Paraná**. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado. 334p.
- ANGULO, R.J. 1993. Variações na configuração da linha de costa no Paraná nas últimas quatro décadas. **Boletim Paranaense Geociências**. Curitiba. 41: 52-72.
- ANGULO, R.J. 1996. Problemas na terminologia de ambientes e subambientes litorâneos clásticos dominados por ondas. **Boletim Paranaense Geociências**. Curitiba. 44: 51-57.
- ANGULO, R.J. 2004. Mapa do Cenozóico do litoral do estado do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**. 55: 25-42.
- ANGULO, R.J.; ARAÚJO, A.D. 1996. Classificação da costa paranaense com base na sua dinâmica, como subsídio à ocupação da orla litorânea. **Boletim Paranaense de Geociências**. 44: 7-17.
- ANGULO, R.J.; SOUZA, M.C. 2004. Mapa geológico da planície costeira entre o rio Saí-Guaçu e a baía de São Francisco, litoral norte do estado de Santa Catarina. **Boletim Paranaense de Geociências**. 55: 09-23.
- ANGULO, R.J.; LESSA, G.C.; SOUZA M.C. 2009. The Holocene Barrier Systems of Paranaguá and Northern Santa Catarina Coasts, Southern Brazil. In: Dillenburg S.R. e Hesp P.A. (eds.). **Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil**. Ed. Springer. 380p.
- BANNA, M.M.E.; HEREHER, E.M.E. 2009. Detecting temporal shoreline changes and erosion/accretion rates, using remote sensing, and their associated sediment characteristics along the coast of North Sinai, Egypt. **Environmental Geological** 58: 1419–1427.
- BESSA, Jr. O. 2003. **Interferência entre a ocupação urbana e a dinâmica natural no litoral sul do Paraná**. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geologia Ambiental. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 143p.
- BIGARELLA, J.J.; BECKER, R.D.; MATOS A.; WERNER, A. 1978. **A Serra do Mar e porção oriental do estado do Paraná. Um problema de segurança ambiental e nacional (contribuição à geografia, geologia e ecologia regional)**. Governo do

estado do Paraná, Secretaria do Estado de Planejamento – Associação de Defesa e Educação Ambiental. (ADEA). Curitiba. 248p.

BRAUKO, K.M. 2008. **Efeitos da passagem de sistemas frontais sobre a macrofauna bêntica de praias arenosas do Paraná (Brasil)**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Sistemas Costeiros e Oceanicos, Universidade Federal do Paraná. Pontal do Paraná. 62p.

BRIESE, P.R.M. 2016. **Evolução da linha de costa de praias do município de Itapoá-SC. Uma análise relacionada à erosão costeira utilizando ferramentas geotecnológicas**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental Universidade do Vale do Itajaí. Itajaí. 121p.

CALLIARI, L.J.; FISCHLER, C.T.; BERQUIST, C.R. 1990. Heavy-mineral variability and provenance of the Virginia inner shelf and lower Chesapeake Bay. **Virginia: Virginia Division of Mineral Resources**. 124p.

CALLIARI, L.J.; KLEIN, A.H. 1993. **Características morfodinâmicas e sedimentológicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS**. Pesquisas, [S.I.], 20 (1): 48-56.

CARTER, R.W.G.; WOODROFFE, C.D. eds., 1994. **Coastal Evolution, Late Quaternary Shoreline Morphodynamics**. Cambridge, Cambridge University Press.

CARVER, R.E. 1971. **Procedures in Sedimentary Petrology**. Wiley Interscience, New York, 452p.

CEIA, F.R.; PATRÍCIO, J.; MARQUES, J.C.; DIAS, J.M.A. 2010. Coastal vulnerability in barrier islands: The high risk areas of the Ria Formosa (Portugal) system. **Ocean e Coastal Management**. 53: 478-486.

CERQUEIRA NETO, J.X. 1976. **Estudos geofísicos de pláceres ilmeníticos e monazíticos na ilha de Itaparica, Bahia**. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Ciências Naturais, Universidade Federa da Bahia, 114p.

CHANG, Y.H.; SCRIMSHAW, M.D.; LESTER, J.N. 2001. A revised grain-size trend analysis program to define net sediment transport pathways. **Computers e Geosciences**, 27: 109-114.

COUTINHO, J.M.V.; COIMBRA, A.M. 1983. Apostila sobre minerais pesados transparentes não micáceos e minerais pesados na prospecção mineral, 32p.

DOMINGUEZ, J.M.L. 2010. **Ilmenita do Rio do Campo**: APA do Pratigi. Série Arquivos Abertos, n. 34. Bahia. 73p.

FERNANDEZ, G.B.; MUEHE, D. 2006. Algumas considerações sobre o efeito do fenômeno El niño sobre feições costeiras ao longo da costa brasileira. **GEOgrafia**. Ano VIII.15: 115-128.

FREITAS, T.G. 2009. **Varição morfosedimentar e sua relação com a praia Brejatuba, Guaratuba-PR.** Monografia. Curso de Oceanografia, Universidade Federal do Paraná. 93p.

FOLK, R.L.; WARD, W.C. 1973. Brazos River Bay: Study of the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, 27 (1): 3-27.

GAO, S.; COLLINS, M. 1991. A critique of the "McLaren Method" for defining sediment transport paths. **Journal of Sedimentary Petrology**, 61: 143-146.

GAO, S.; COLLINS, M. 1994. Analysis of grain size trends, for defining sediment transport pathways in marine environments. **Journal of Coastal Research**, 10: 70-78.

GAO, S. 1996. A Fortran program for grain-size trend analysis to define net sediment transport pathways. **Computers e Geosciences**, 22 (4): 449-452.

GIANNINI, P.C.F.; LESSA, G.C.; KOGUT, J.S.; ANGULO, R.J. 1997. **Varição na assembléia de minerais pesados de testemunhos rasos na planície costeira de Paranaguá (PR).** In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO E REUNIÃO SOBRE O QUATERNÁRIO DA AMÉRICA DO SUL. Curitiba: 1997. Resumos Expandidos. Curitiba: ABEQUA, 58-62.

GIANNINI, P.C.F.; ANGULO, R.J.; SOUZA, M.C.; KOGUT, J.S.; DELAI, M.S. 2004. A erosão na costa leste da Ilha do Mel, baía de Paranaguá, estado do Paraná: Modelo baseado na distribuição espacial de formas deposicionais e propriedades sedimentológicas. **Revista Brasileira de Geociências**. 34 (2): 231-242.

GIANNINI, P.C.F.; GUEDES, C.C.F.; NASCIMENTO, D.R., JR.; TANAKA, A.P.B.; ANGULO, R.J.; ASSINE, M.L.; SOUZA, M.C. 2009. **Morphology and sedimentology of Ilha Comprida, southern São Paulo coast.** In: DILLENBURG, S.R. e HESP, P.A. ed. *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*. Berlin – Heidelberg, Springer, 177-224.

GÍLSON, J.L. 1950. Deposits of heavy mineral on the brazilian coast transactions. **Mining Engineering**, 187: 685-693.

GOBBI, E.F. 1997. **Gerenciamento costeiro: análise de caso do litoral do Paraná sob a perspectiva da engenharia costeira.** Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 167p.

HOEFEL, F.G. 1998. **Morfodinâmica das praias arenosas oceânicas – uma revisão bibliográfica.** Editora da Univali, Itajaí, 79p.

HORN FILHO, N.O.; DIEHL, F.L. 1995. **Compartimentação geológica-geomorfológica do litoral do estado de Santa Catarina, Brasil.** In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE CIENCIAS DEL MAR. 6., Mar del Plata, 1995. Resúmenes. ALICMAR, 109-109p.

HORN FILHO, N.O.; DIEHL, F.L.; AMIN JR., A.H. 1996. **Geologia do Quaternário da planície costeira do litoral centro-norte do estado de Santa Catarina, Brasil.** In:

CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. 39., Salvador, 1996. Anais. SBG, 5: 278-280.

HUBERT, J.F. 1962. A zircon-turmaline-rutile maturity index and the dependence of the composition of heavy mineral assemblages with the gross composition and texture sandstone. **Journal of Sedimentary Petrology**, 32 (3): 440-450.

IAPAR – INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. 1978. **Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná**. Disponível em: www.iapar.br. Acesso em: 1 de junho de 2010.

JUDGE, E.K.; OVERTON, M.F.; FISHER, J.S. 2003. Vulnerability indicators for coastal dunes. **Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering**, 270-278.

KOMAR, P.D. 1976. **Beach Process and Sedimentation**. Prentice Hall, 429p.

Le ROUX, J.P.; O'BRIEN, R.D.; RIOS, F.; CISTERNAS, M. 2002. Analysis of sediment transport paths using grain-size parameters. **Computers e Geosciences**, 28: 717-721.

LIGIESKI, M.L.M. 2016. **Quantificação da erosão costeira e balanço sedimentar das praias do município de Itapoá-SC**. Monografia. Curso de Geologia. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 49p.

LIMA, M.G.P. 2008. **Controle da erosão em praias arenosas pelo método de recifes submersos: Praia Brava de Matinhos-PR**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos, Universidade Federal do Paraná. Pontal do Paraná. 92p.

MANGE, M.A.; WRIGHT D.T. 2007. **High-resolution Heavy Mineral Analysis (HRHMA): A Brief Summary**. In: MANGE, M.A.; WRIGHT, D.T. (Coordenadores), **Heavy Minerals in Use**. Oxford: Elsevier, 433-436.

MARONE, E.; CAMARGO, R. 1994. Marés meteorológicas no litoral do estado do Paraná: O evento de agosto de 1993. **Nerítica**. 8 (2):73-85.

MARONE, E.; PRATA Jr, V.P.; KLINGUENFUSS, M. S.; CAMARGO, R. 1995. **Correntes de deriva no litoral paranaense: um caso de estudo**. In: VI Congresso Latinoamericano de Ciências do Mar. Anais, 129p.

MARONE, E.; NOERNBERG, M.A.; LAUTERT, L.; SANTOS, I.; ANDREOLI, O.; BUBA, H.; FILL, H. 2005. **Hidrodinâmica de la Bahía de Garatuba –PR, Brasil**. XXV Congreso de Ciencias del Mar Del Chile y XI Congreso Latino de Ciencias del Mar. Anais. 165-168.

McLAREN, P. 1981. An interpretation of trend in grain-size measures. **Journal of Sedimentary Petrology**, 51 (2): 611-624.

McLAREN, P.; BOWLES, D. 1985. The effects of sediment transport on grain-size distributions. **Journal of Sedimentary Petrology**, 55 (4): 457-470.

MCCAVE, I.N. 1978. Grain size trends and transport along beaches: example from eastern England. **Marine Geology**, 28: 43-51.

MELO, M.S.; SINFRÔNIO, E.A.S.; GIANNINI, P.C.F.; FACHINI, M.; VICTORINO, M.C. 2004. **Manual de procedimentos analíticos**. São Paulo: Laboratório de Sedimentologia – Universidade de São Paulo, 45p.

MENDES, V.R. 2010. **Sedimentologia e morfoecologia ao longo do sistema praia-duna de Peruíbe, SP: Uma avaliação da influência da ocupação antrópica recente**. Monografia. Curso de Geologia. Universidade de São Paulo, 58p.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. 2007. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo. Oficina de texto. 208p.

MEZZADRI, G.; SACCANI, E. 1989. Heavy mineral distribution in late quaternary sediment dispersal in sedimentary basins at active margins. **Journal of Sedimentary Petrology**, 59 (3): 412-422.

MIO, E.; GIANNINI, P.C.F. 1997. **Variação de minerais pesados transversal à planície litorânea de Peruíbe-Itanhaém, SP**. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO E REUNIÃO SOBRE O QUATERNÁRIO DA AMÉRICA DO SUL. 6. Curitiba. 1997. Resumos Expandidos. Curitiba: ABEQUA, 109-113.

MORTON, A.C.; HALLSWORTH, C.R. 1994. Identifying provenance-specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones. **Sedimentary Geology**, 90: 241-256.

MORTON A. C.; HALLSWORTH C.R. 1999. Processes controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstones. **Sedimentary Geology**, 124: 3-29.

MUEHE, D. 2006. **Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente.

NOERNBERG, M.A. 2001. **Processos Morfodinâmicos no Complexo Estuarino de Paranaguá – Paraná – Brasil: Um estudo a partir de dados in situ e Landsat –TM**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geologia Ambiental, Universidade Federal do Paraná. 180p.

NOVAK, L.P. 2017. **Risco à erosão costeira na orla dos municípios de Matinhos e Pontal do Paraná – PR, Brasil**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Paraná. 127p.

OLIVEIRA, G.S.; SATYAMURTY, P. 1998. **O El Nino de 1997/98: Evolução e impactos no Brasil**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. 10. 1998. Brasília. DF. ANAIS. Brasília: Sociedade Brasileira de Meteorologia.

PALMA, J.J.C. 1979. **Depósitos de minerais pesados**. Série Projeto REMAC, 10: 33-50.

PETERSON, C.D.; VANDERBURGH S.; ROBERTS M.C.; JOL, H.M.; PHIPPS J.; TWICHELL D.C. 2010. Composition, age, and depositional rates of shoreface deposits under barriers and beach plains of the Columbia River littoral cell, USA. **Marine Geology** 273: 62-82.

- PETTIJOHN, F.J. 1941. Persistence of heavy mineral and geologic age. **J. Geol.** 49 (2), 612-625.
- PETTIJOHN, F.J.; POTTER P.E.; SEIVER R. 1972. **Sand and sandstone**. Springer-Verlag, 2 ed, New York, 553p.
- PIANCA, C.; MAZZINI, P.L.F.; SIEGLE, E. 2010. Brazilian offshore wave climate based on NWW3 reanalysis. **Brazilian Journal of Oceanography**. 58 (1): 53-70.
- PORPILHO, D. 2012. **Análise de sedimentologia, variação da linha de costa e perfil praiado de Itapoá-SC, Brasil**. Monografia do curso de Oceanografia. Universidade do Vale do Itajaí. Itajaí. 84p.
- GDAL-SOFTWARE-SUITE. Geospatial data abstraction library. <http://www.gdal.org>, 2013
- QUADROS, C.J.L. 2002. **Variações morfológicas e volumétricas associada a incidência de sistemas frontais em duas praias arenosas do litoral paranaense**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geologia Ambiental, Universidade Federal do Paraná. 57p.
- RAMOS, E.A.P. 2018. **Influência da estabilização da linha de costa na dinâmica natural do arco da praia ed Guaratuba-PR**. XXI Seminário do Programa de Pós-Graduação em Geologia. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 76-80.
- RIBEIRO, J.S.; SOUSA, P.H.G.O.; VIERA, D.R.; SIEGLE, E. 2013. Evolução da praia de Massaguaçu, SP, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, 13: 253-265.
- SANTOS, S.M.; ROMÃO, V.M.C.; SEEBER, G.G.; CABRAL, J.J.S.P. 2010. Factors Affecting the Precision of GPS in Coastal Areas for Determination of Vertical Displacements. **Revista Brasileira de Cartografia**, 62 (2): 137-144.
- SAWAKUCHI, A.O.; GIANNINI, P.C.F.; MARTINHO, C.T.; TANAKA, A.P.B. 2009. Grain size and heavy minerals of the Late Quaternary eolin sediments from the Imituba-Jaguaruna coast, Southern Brazil: Depositional controls linked to relative sea-level changes. **Sedimentary Geology**, 222: 226-240.
- SHORT, A.D. 1985. Rip-current type, spacing and persistence, Narrabeen Beach, Australia. **Marine Geology**, 65: 47-71.
- SHORT, A.D. 1999. **Handbook of beach and shoreface morphodynamics**. Book Ed. John Wiley & Sons Ltd. England. 379 p.
- SILVA, M.A.M. 1978. Proveniência de minerais pesados em areias praias no sudeste brasileiro: de Rio Grande a Chuí, Rio Grande do Sul. **Sedimentary Geology**, 24: 133-148.
- SOARES, C.R.; BORZONE C.A.; SOUZA J.R. 1997. Variações morfológicas e sedimentológicas ao longo de um ciclo anual numa praia arenosa no sul do Brasil. **Oecologia Brasiliensis**, 3: 275-258.

- SOUZA, D.R. 2004. **Minerais pesados na plataforma continental interna adjacente ao litoral ao centro-norte de Santa Catarina**. Monografia. Curso de Oceanografia, Universidade do Vale do Itajaí. 103p.
- SOUZA, D.R. 2007. **Distribuição dos minerais pesados ao longo do curso inferior do rio Itajaí-Açu/SC e sua correlação sedimentar com planície costeira, praia e plataforma continental interna adjacente**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, 200p.
- SOUZA, M.C. 1999. **Mapeamento da planície costeira e morfologia e dinâmica das praias do Município de Itapoá, Estado de Santa Catarina: Subsídios à ocupação**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná. 204p.
- SOUZA, M.C.; ANGULO, R.J. 1999. **Variações da linha de costa ao longo das praias de Itapoá e os eventos El Niño e La Niña**. VII Congresso da ABEQUA, Porto Seguro – BA. Anais em CD ROM.
- SOUZA, M. C.; ANGULO R. J. 2003. Decadal and interannual variations of coastline and beach volumes in Itapoá (Santa Catarina, Brazil). **Journal of Coastal Research**, Florida, 35: 202-208.
- SUGUIO, K. 1973. **Introdução à sedimentologia**. Ed. Edgard Blucher e Ed. USP. São Paulo. 317p.
- SUGUIO, K. 1980. **Rochas sedimentares**. Ed. Edgard Blücher, São Paulo, 500p.
- SUGUIO, K. 1992. **Dicionário de Geologia Marinha**. T.A. Queiroz, São Paulo, 171p.
- SUGUIO, K. 2003. **Geologia Sedimentar**. Edgard Blucher. São Paulo. 400p.
- SUGUIO, K.; TESSLER, M.G. 1984. **Planícies de cordões litorâneos quaternários do Brasil: origem e nomenclatura**. Pp: 15-25. In: LACERDA, L.D.; ARAÚJO, D.S.S.; CERQUEIRA, R.; TURCQ, B. (eds). Restingas brasileiras: Origem, Estrutura e Processos. Universidade Federal Fluminense, 477p.
- TOMAZELLI, L.J. 1978. Minerais pesados da plataforma continental do Rio Grande do Sul. **Acta Geológica Leopoldensia**. 5(2):159p.
- VERHAEGEN, J.; WELTJE, G.J.; MUNSTERMAN, D. 2018. Workflow for analysis of compositional data in sedimentary petrology: provenance changes in sedimentary basin from spatio-temporal variation in heavy-mineral assemblages. **Geological Magazine**, 1-20.
- VERMEESCH, P.; RESENTINI, A.; GARZANTI, E. 2016. An R package for statistical provenance analysis. **Sedimentary Geology**, 336: 14-25.
- WRIGTH, L.D.; SHORT, A.D. 1984. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. **Marine Geology**, 56: 93-118.

APÊNDICES

Dados granulométricos brutos de 1994.

Pontos	Diâmetro médio	Desvio Padrão	Assimetria
1	2,56	0,42	-0,57
2	2,74	0,39	-0,66
3	2,36	0,45	-0,11
4	2,62	0,42	-0,74
5	2,74	0,47	-0,9
6	2,96	0,39	-0,7
7	2,77	0,56	-1,56
8	2,72	0,77	-1,48
9	2,51	0,71	-0,82
10	2,82	0,38	0,12
11	2,61	0,55	-0,56
12	2,53	0,43	-0,32
13	2,81	0,34	0,67
14	2,92	0,33	1,36
15	2,83	0,35	0,13
16	2,52	0,4	-0,34
17	2,41	0,39	0,12
18	2,6	0,36	-0,48
19	2,55	0,42	-0,41
21	2,22	0,56	-0,44
22	2,5	0,38	-0,77

23	2,56	0,42	-0,5
24	2,42	0,48	-0,76
25	2,33	0,41	-0,22
26	2,44	0,45	-0,73
28	1,95	0,61	-0,13
29	2,21	0,44	-0,39
30	2,44	0,44	-0,58
31	2,5	0,37	-0,9
32	2,66	0,41	-0,22
33	2,53	0,37	-0,73
34	2,43	0,47	-0,52
35	2,72	0,43	0,14
36	2,54	0,44	-0,47
37	2,09	0,61	-0,41
38	2,57	0,43	-0,76
39	2,57	0,4	-0,71
40	2,13	0,41	-0,44
41	2,61	0,38	-0,74
42	2,27	0,39	0,14
43	2,18	0,42	-0,11
44	2,49	0,39	-0,68
45	2,47	0,53	-0,75
46	2,69	0,32	-0,46
47	2,78	0,26	0,5

48	2,12	0,49	-0,32
49	2,49	0,48	-0,83
50	2,47	0,45	-0,82
51	2,31	0,52	-0,98
53	2,08	0,6	-0,94
54	2,45	0,41	-0,7
55	2,37	0,54	-0,85
56	1,037	0,9102	-0,001616
57	1,406	0,8017	-0,08647
58	2,128	0,3698	-0,2299
59	2,171	0,3514	-0,1167
60	2,211	0,3539	-0,1041
61	2,196	0,3443	-0,1159
62	2,218	0,3256	-0,07324
63	2,064	0,4182	-0,2268
64	2,088	0,4143	-0,2204
65	2,106	0,4442	-0,2086
66	1,784	0,6688	-0,3724
67	2,071	0,4906	-0,2789
68	1,963	0,5105	-0,3134
69	2,058	0,4613	-0,2386

70	1,53	0,6584	0,02897
71	2,041	0,4163	-0,3077
72	1,457	0,6264	0,1276
73	1,86	0,5557	-0,4055
74	1,556	0,7068	-0,1778
75	1,057	0,7334	0,2646
76	1,082	0,6063	0,293
77	1,26	0,5881	0,2613
78	1,715	0,4991	-0,04831
79	1,988	0,4831	-0,2911
80	2,164	0,3445	-0,2286
81	2,101	0,4413	-0,3015
82	2,238	0,5472	-0,1395
83	2,422	0,3679	0,3996
84	1,365	0,7002	0,201
85	0,5517	0,7616	0,374
86	1,515	0,8966	-0,3863
87	2,295	0,36	0,05256
88	1,584	1,09	-0,5309
89	0,5932	1,115	0,4319
90	2,146	0,4389	0,06594

Dados granulométricos brutos de 2011.

Pontos	Diâmetro médio	Desvio Padrão	Assimetria
1B	0,5838	0,4789	-0,2254
2B	0,7856	0,6143	-0,112
3B	1,213	0,6184	-0,08625
3B	1,757	0,5377	0,1123
4B	1,779	0,5416	0,15
5B	1,96	0,489	0,09802
6B	1,811	0,4969	0,103
7B	2,003	0,519	-0,1618
8B	1,888	0,6372	-0,2119
9B	1,773	0,5317	0,05223
10B	1,717	0,6629	0,04785
11B	1,749	0,5572	0,1188
12B	2,417	0,5263	-0,1297
13B	2,199	0,4683	0,04223
14B	2,297	0,4233	-0,01117
15B	2,421	0,4024	-0,1034
16B	2,061	0,4447	-0,002302
17B	1,965	0,3402	0,1425
18B	1,787	0,4706	-0,01931
19B	1,575	0,4217	0,07832
20B	1,574	0,4045	0,07695
21B	1,55	0,576	-0,1604
23B	1,778	0,4465	0,1083

24B	1,889	0,4754	0,1568
25B	1,638	0,5026	0,2173
26B	1,943	0,4697	0,3303
27B	1,863	0,5544	0,1895
28B	1,885	0,5794	0,1054
29B	1,568	0,4405	-0,07825
30B	1,69	0,4387	0,04421
31B	1,824	0,5043	0,1045
33B	1,936	0,3296	0,2378
35B	1,758	0,5069	-0,1168
36B	2,009	0,3784	0,1178
37B	2,408	0,5679	-0,3396
38B	2,308	0,636	0,01444
39B	2,202	0,6345	0,2069
40B	1,621	0,4957	0,1993
41B	1,895	0,5533	0,2037
42B	1,896	0,4813	0,2012
43B	1,868	0,478	0,2461
44B	1,768	0,5667	-0,1846
45B	1,564	0,4007	0,12
46B	1,621	0,553	-0,08636
47B	2,241	0,3139	0,04354
48B	1,898	0,372	0,1132
49B	1,689	0,4519	0,03076
50B	1,813	0,4987	-0,1098
51B	1,847	0,3838	0,1305
52B	1,394	0,5186	0,00962

53B	0,955	0,653	-0,1278
54B	1,507	0,4445	-0,01578
55B	1,759	0,3907	0,005104
56B	1,772	0,5101	0,0367
57B	1,219	0,8054	-0,2548
58B	1,646	0,3876	-0,07381
59B	1,767	0,4026	0,04179
60B	1,558	0,5859	-0,2454
61B	1,499	0,4219	-0,1027
62B	1,685	0,475	-0,05023
63B	1,386	0,7047	-0,3017
64B	1,574	0,5756	-0,1079
65B	1,271	0,5196	-0,09825
66B	1,52	0,571	-0,3897
67B	0,8649	0,7953	0,05953
68B	0,6366	0,699	0,04494
69B	1,599	0,4133	0,006338
70B	1,302	0,4868	-0,06335
71B	2,026	0,5696	0,08818
72B	1,607	0,4071	-0,05391
73B	1,833	0,491	0,02922
74B	2,156	0,4608	0,05898
75B	1,989	0,5433	0,2356
76B	1,917	0,4583	0,1452
77B	2,267	0,5612	-0,1636
78B	1,917	0,4374	0,2808

79B	2,024	0,3987	0,04394	77
80B	2,11	0,3485	-0,09015	78
81B	1,989	0,3218	0,08025	79
82B	1,989	0,3218	0,08025	80
83B	1,219	0,6018	0,05598	81
84B	1,277	0,4865	-0,06007	82
85B	1,504	0,401	0,3187	83
86B	1,783	0,4932	-0,09046	84

Dados de minerais pesados em 2011.

Pontos	Zircão	Turmalina	Rutilo	Estauroilita	Epidoto	Apatita	Cianita	Silimanita	Andaluzita	Ferrosilita	Granada	Titanita	Cassiterita	Monazita	Hornblenda	Oxi-Horn.	Olivina
1	42	16	21	4	13	8	11	5	9	8	9	15	10	17	16	2	3
2	90	23	17	3	4	2	4	4	17	3	9	8	29	6	8	3	2
3	57	41	14	11	8		21	13							35		
4	69	32	24	11	4	23	17	13	9	6	10	3	13	9	19		2
5	28	74	16	15	6	3	8	12			3			1	34		
6	43	39	15				24	17		5	1				61		
7	39	25	19	3	7	41	12	13	15	16	7	4	10	15	33	4	
8	42	35	26		15	12	9	9	9	16	9	6	14	13	32	3	
9	38	27	35		16	21	18	11	17	11	2	6	15		19	3	
10	39	25	30	1	11	15	9	11	18	17	16	16	23	28	20		
11	108	23	14		13	2	6	9	5	6	10	5	6	6	16		
12	33	9	17	1	14	18	12	11	10	14	10	16	12	19	23	6	
13	155	7	18	5			2	5			8						
14	126	9	39			1	19								6		
15	61	19	11	7	1	21	8	17	6	5	18	9	4	22	17	3	
16	97	25	36	7	2		6	9						4	14		
17	57	31	16	7	2	9	13	9	11	7	12	4	6	11	23	3	
18	103	14	37	16	6		15	4		1	2					2	
19	76	41	32	14	2		11	2		2				1	19		
20	51	22	32	15	9	13	9	5	6	9	1	9	10	3	17	2	
21	86	10	25	7	11	7	6	7	8	1	9		5	21	5	1	
22	52	19	29	15		9	13	10	8	10	1	1	12	8	19		
23	92	11	15	8	3	2	5	14	5	3	21	1	6	16	11		

Dados de minerais pesados em 2011.

Pontos	Zircão	Turmalina	Rutilo	Estauroilita	Epidoto	Apatita	Cianita	Silimanita	Andaluzita	Ferrosilita	Granada	Titanita	Cassiterita	Monazita	Hornblenda	Oxi-Horn.	Olivina
1	42	16	21	4	13	8	11	5	9	8	9	15	10	17	16	2	3
2	90	23	17	3	4	2	4	4	17	3	9	8	29	6	8	3	2
3	57	41	14	11	8		21	13							35		
4	69	32	24	11	4	23	17	13	9	6	10	3	13	9	19		2
5	28	74	16	15	6	3	8	12			3			1	34		
6	43	39	15				24	17		5	1				61		
7	39	25	19	3	7	41	12	13	15	16	7	4	10	15	33	4	
8	42	35	26		15	12	9	9	9	16	9	6	14	13	32	3	
9	38	27	35		16	21	18	11	17	11	2	6	15		19	3	
10	39	25	30	1	11	15	9	11	18	17	16	16	23	28	20		
11	108	23	14		13	2	6	9	5	6	10	5	6	6	16		
12	33	9	17	1	14	18	12	11	10	14	10	16	12	19	23	6	
13	155	7	18	5			2	5			8						
14	126	9	39			1	19								6		
15	61	19	11	7	1	21	8	17	6	5	18	9	4	22	17	3	
16	97	25	36	7	2		6	9						4	14		
17	57	31	16	7	2	9	13	9	11	7	12	4	6	11	23	3	
18	103	14	37	16	6		15	4		1	2					2	
19	76	41	32	14	2		11	2		2				1	19		
20	51	22	32	15	9	13	9	5	6	9	1	9	10	3	17	2	
21	86	10	25	7	11	7	6	7	8	1	9		5	21	5	1	
22	52	19	29	15		9	13	10	8	10	1	1	12	8	19		
23	92	11	15	8	3	2	5	14	5	3	21	1	6	16	11		

