

Praias arenosas oceânicas do estado de São Paulo (Brasil): síntese dos conhecimentos sobre morfodinâmica, sedimentologia, transporte costeiro e erosão costeira

Celia Regina de Gouveia Souza¹

Resumo: *O presente trabalho apresenta uma síntese do estado da arte sobre os estudos desenvolvidos em praias arenosas oceânicas de São Paulo, dentro do contexto da Geomorfologia Costeira. Esses estudos envolvem uma gama de temas, destacando-se: monitoramento praias (perfilagens periódicas), granulometria (parâmetros texturais), assembleia de minerais pesados e índices relacionados, dinâmica sedimentar, balanço sedimentar, transporte costeiro (métodos morfo-sedimentológicos e modelagens de ondas), variações espaço-temporais da linha de costa (retroanálises em produtos de sensores remotos), classificação morfodinâmica, erosão costeira e risco associado, e estudos sobre sensibilidade ao derramamento de óleo. São apresentados, para os sete setores morfodinâmicos que compõem a costa paulista, alguns resultados relacionados a quatro temas mais abrangentes, a saber: classificação morfodinâmica das praias, comportamento granulométrico (parâmetros texturais) das praias, transporte costeiro longitudinal (células de deriva litorânea) e erosão costeira (indicadores, causas e classificação de risco).*

Palavras-chave: *praias arenosas, morfodinâmica, sedimentologia, transporte costeiro, erosão costeira, São Paulo.*

Abstract: *This paper presents an overview about the state-of-art of studies on oceanic sandy beaches from the State of São Paulo, within the Coastal Geomorphology point of view. These studies embrace a sort of thematic issues, in special: beach profile monitoring, textural (grain size) parameters, heavy minerals assemblage and related indices, beach sedimentary dynamics, beach sedimentary budget, sediment transport patterns (morpho-textural and wave modeling methods), long term shoreline changes (remote sensing analyses), morphodynamic classification, coastal erosion and associated risk, and environmental sensitivity for oil spill. Some results related to morphodynamic classification, grain size parameters behavior, longshore drift patterns, and coastal erosion (indicators, causes and risk assessment) are showed for the seven morphodynamic sectors that this coast is comprised.*

Key-words: *sandy beaches, morphodynamics, sedimentology, coastal transport, coastal erosion, São Paulo.*

INTRODUÇÃO

A Geomorfologia Costeira é um ramo da Geomorfologia que trata das feições costeiras, em especial das praias. Envolve o estudo de temas específicos ligados à forma e aos materiais

¹ Graduação em Geologia pela Universidade de São Paulo, mestrado em Oceanografia Química e Geológica pela Universidade de São Paulo e doutorado em Geologia Sedimentar pela Universidade de São Paulo. Pesquisadora científica-nível VI do Instituto Geológico da Secretaria do Meio Ambiente-SP e professora colaboradora do Programa de Pós-graduação do Departamento de Geografia Física da FFLCH-USP. E-mail: celiagouveia@gmail.com

dessas feições, às mudanças que elas sofrem no tempo e no espaço, aos processos sedimentares envolvidos na sua gênese e evolução, bem como a sua relação com os mecanismos geológicos e as variações do clima e do nível relativo do mar.

A atual fisiografia costeira de São Paulo (Figura 1) resulta de um encadeamento de eventos geológicos, geomorfológicos e climáticos, que determinaram a evolução do seu embasamento ígneo-metamórfico e a gênese das planícies costeiras e das praias atuais.

De maneira resumida, essa evolução passou pelas seguintes etapas principais: (a) diversos ciclos orogênicos entre o Arqueano e o Proterozóico superior; (b) efeitos da implantação da Bacia do Paraná, entre o Paleozóico e o Mesozóico; (c) abertura e evolução do Oceano Atlântico Sul, que determinaram a ruptura do supercontinente Gondwana, a deriva continental, a formação e o preenchimento da Bacia de Santos, e o soerguimento da margem continental atlântica (Jurássico-Paleógeno); (d) importante tectonismo rúptil (iniciado no Paleoceno) acompanhado de variações climáticas e oscilações do nível relativo do mar (Paleógeno-Pleistoceno), que resultaram no soerguimento da Serra do Mar e posterior denudação e recuo erosivo (até 40 km a partir da Falha de Santos); (e) e, finalmente, variações climáticas e oscilações do nível relativo do mar (Quaternário-atual), controlando o preenchimento e a evolução das planícies costeiras e a formação das praias atuais (texto baseado em vários autores, entre eles Almeida e Carneiro, 1998 e Souza e Souza, 2004).

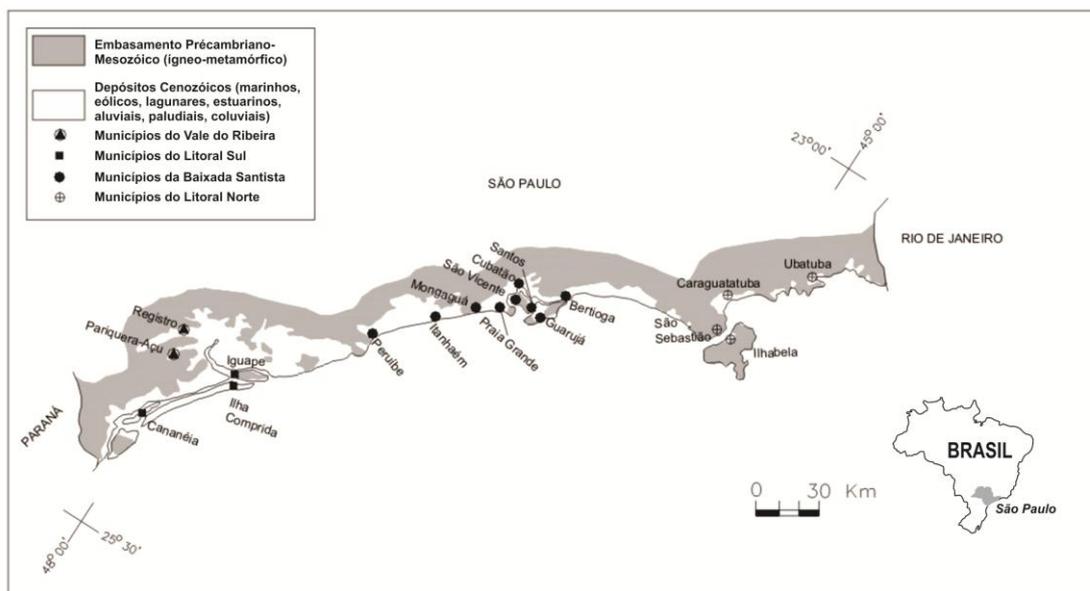


Figura 1. O litoral paulista: distribuição espacial do embasamento ígneo-metamórfico e dos depósitos cenozoicos (planícies costeiras quaternárias), que no Litoral Sul englobam também a Fm. Pariqueira-Açu, do

Paleógeno (fonte: Souza, 2003). As sedes municipais estão indicadas conforme os setores costeiros definidos no Plano Estadual de Gerenciamento (SMA, 2000).

A atual linha de costa de São Paulo tem cerca de 430 km de praias arenosas oceânicas, cujas características variam bastante ao longo do litoral, principalmente em função das diferenças geomorfológicas da zona costeira (Souza; Suguio, 1996; Souza, 1997).

O objetivo deste trabalho é apresentar um panorama sobre o estado da arte da Geomorfologia Costeira em São Paulo, mostrado a partir de uma síntese dos conhecimentos existentes sobre as praias arenosas oceânicas, no que se refere à sua classificação morfodinâmica, aos aspectos sedimentológicos, aos mecanismos de transporte costeiro e à erosão costeira.

Área de Estudo

Aspectos geomorfológicos

Pode-se dizer que a descrição mais antiga sobre a variabilidade morfológica do litoral paulista e de suas praias está nas publicações da antiga Comissão Geográfica e Geológica do Estado de São Paulo (hoje Instituto Geológico de São Paulo), sobre a expedição de “Exploração do Littoral” (C.G.G., 1915, 1920).

O compartimento litorâneo paulista foi originalmente denominado por Ab’Saber e Bernardes (1958) como Província Fisiográfica do Litoral.

Anos depois, Almeida (1964) o renomeou de Província Costeira, termo que tem sido utilizado até o presente. O autor ainda dividiu essa província em duas zonas: Serrania Costeira e Baixada Litorânea (terrenos com elevação não superior a 70 metros acima do nível médio do mar, dispostos à beira-mar).

Ponçano *et al.* (1981) subdividiram a Província Costeira em três zonas: Serrania Costeira (Serra do Mar até o sul da Baixada Santista e Serra de Paranapiacaba no Litoral Sul), Baixada Litorânea (planícies costeiras) e Morraria Costeira (morros isolados ou conjuntos de morros dispersos nas planícies costeiras).

A Serrania e a Morraria costeiras condicionam o alinhamento NE-SW da linha de costa paulista, delimitando as planícies costeiras e os arcos praias.

De maneira geral, como observado na Figura 1, a fisiografia costeira paulista apresenta comportamento bastante distinto entre os setores sul e norte. No Litoral Sul a Serrania

Costeira (Serra de Paranapiacaba) se encontra até muitas dezenas de quilômetros afastada da linha de costa, as praias são longas e abertas para o oceano, com rara presença de ilhas, e as planícies costeiras são amplas, exibindo um grande sistema estuarino-lagunar associado à maior bacia hidrográfica do litoral (Rio Ribeira de Iguape). Em direção à Baixada Santista até o Litoral Norte, a Serra do Mar vai paulatinamente se aproximando da linha de costa e assumindo amplitudes topográficas maiores. Por isso, as planícies costeiras e as bacias de drenagem vão ficando cada vez mais restritas, a linha de costa mais recortada, formando enseadas e baías, e as praias menores e mais abrigadas, assumindo tipos como praias de enseada (*headland-bay beaches*) e praias de bolso (*pocket beaches*).

Deffontaines (1935) reconheceu duas regiões bem definidas: a costa oeste (de Santos à divisa com o Paraná) e de costa leste (Santos à divisa com o Rio de Janeiro), com características de costa retilínea e costa recortada, respectivamente.

Freitas (1947, 1951a, 1951b, 1960a, 1960b) fez considerações sobre essa morfologia costeira e atribuiu-lhe origem relacionada a condicionantes tectônicos e erosivos.

Almeida (1964) interpretou essas variações morfológicas como devidas principalmente à erosão diferencial das rochas do embasamento cristalino.

Fúlfaro e Coimbra (1972) compartimentaram o litoral paulista em duas áreas morfológicamente distintas. A área ao norte, situada entre a divisa com o Estado do Rio de Janeiro e a Ponta da Boracéia (Bertioga), caracteriza-se por apresentar planícies costeiras estreitas e praias de bolso (*pocket beaches*) com comprimentos variando de 2 a 4 km, separadas por pontões do embasamento cristalino. A área sul, da Ponta da Boracéia até a divisa com o Paraná, compreende planícies costeiras e praias mais contínuas, separadas por pequenos pontões do embasamento cristalino.

Fúlfaro e Ponçano (1974) sugeriram que grandes estruturas tectônicas e erosão a partir da rede de drenagem fluvial teriam condicionado a esculturação do relevo costeiro, reconhecendo três grandes compartimentos com basculamentos de blocos diferenciados: sul, central e norte. Esses autores classificaram o litoral sul como costa de emersão e o litoral norte como costa de submersão, tendo como base a classificação de costas de Jonhson (1919).

Sugio e Martin (1978), considerando os limites mais importantes do embasamento pré-cambriano e usando critérios dimensionais das planícies costeiras, reconheceram quatro unidades morfológicas, a saber: Cananéia-Iguape, Itanhaém-Santos, Bertioga-Ilha de São

Sebastião e Caraguatatuba-Ubatuba. Esses autores corroboraram a classificação de costa proposta por Fúlfaro e Ponçano (1974) e explicaram as variações morfológicas por meio de uma suposta flexura continental, além de diferenças na dinâmica de sedimentação e nas atividades tectônicas.

Ross e Moroz (1997), no Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (1:250.000), dividiram as “planícies litorâneas” em cinco unidades morfológicas, a saber: Iguape/Cananéia, Praia Grande/Peruíbe, Santista, Bertiooga e Litoral Norte.

Mais recentemente, Ab’Saber (2000) retomou trabalhos antigos, propondo uma subdivisão do litoral paulista em oito setores, assim denominados: Lagunar-Estuarino de Cananéia-Iguape/Baía de Trepandé; Maciço da Juréia/Rio Verde; Praia Grande/Itanhaém/Peruíbe; Baixada Santista; Ilhas de São Vicente e Santo Amaro; sul do Litoral Norte; Ilha e Canal de São Sebastião; e norte do Litoral Norte.

Aspectos climáticos

A circulação atmosférica no sul da América do Sul é controlada por perturbações atmosféricas, dentre as quais o Anticiclone Tropical Atlântico Sul (ATAS), um centro de alta pressão quente e estacionário (ventos predominantes de oeste), e os anticiclones migratórios frios como o Anticiclone Polar Atlântico (APA), responsáveis pela incursão e migração de sistemas frontais ou frentes frias (ventos de sul) (Nimer, 1989; Fonzar, 1994; Nogués-Paegle; Mo, 1997; Satyamurti *et al.*, 1998).

Outra perturbação atmosférica importante é a Zona de Convergência Tropical (ZCAS). Esta é uma faixa semipermanente de condensação e nebulosidade, de direção NW-SE, que é intensificada pela convergência de calor e umidade provenientes da região central da América do Sul e determina a estacionariedade de frentes frias na região Sudeste do Brasil.

Na costa do Estado de São Paulo o ATAS origina a Massa Tropical Atlântica, que atua durante o ano todo e está associada aos ventos alísios de direção E e NE (Monteiro, 1973). Esses ventos geram ondas provenientes do quadrante NE no litoral S/SE do Brasil. O APA é representado pela Massa Polar Atlântica (PA), pela Massa Polar Velha (PV) e pela Frente Polar Atlântica (FPA). Durante a PA atuam ventos de SW-S-SE, que mudam para E e NE durante a influência da PV. A FPA, também conhecida como frente fria ou sistema frontal, é

provocada pelo choque entre os sistemas tropicais e polares, sendo mais rigorosa no inverno, mas podendo ocorrer durante o ano todo.

Em relação ao regime climático, o Estado de São Paulo se encontra em uma faixa de transição onde ocorre o confronto entre os climas controlados pelos sistemas tropicais e extratropicais (polares), além dos fenômenos frontológicos (Monteiro, 1973; Sant'anna Neto, 1994). De acordo com esses autores, as variações na fisiografia costeira, já destacadas anteriormente, contribuem muito para a distribuição das chuvas, em especial aquelas de caráter orográfico.

Monteiro (1973) caracterizou as diferenças climáticas ao longo do litoral paulista, propondo sua compartimentação em três subunidades: litoral sul, litoral central e litoral norte. O litoral sul (Cananéia a Peruíbe) é controlado por massas tropicais e polares, caracterizado por grande variação de pluviosidade, forte participação das massas polares e passagens frontais, e distribuição quantitativa das chuvas variando de acordo com a topografia. O litoral central (Itanhaém a Maresias) é controlado por massas tropicais e polares, apresentando clima úmido na face oriental, e subtropical na porção ocidental, com aumento de participação das massas polares onde a Serra se aproxima da costa (orientação W-E). Este fato, aliado à direção oposta das correntes perturbadas de sul, faz com que a região de Bertioga seja uma das áreas de maior pluviosidade do Brasil (cerca de 4.000 mm/ano). O litoral norte (São Sebastião a Ubatuba) é controlado por massas tropicais e equatoriais, com clima úmido e sujeito à menor participação das massas polares (30-40%) sendo, portanto, menos frio. A maior proximidade da Serra do Mar em relação à costa é responsável pela acentuada pluviosidade (efeito orográfico), mesmo no inverno.

Sant'anna Neto (1994), analisando três anos com situações climáticas diferentes (1881-habitual; 1983-chuvoso; 1985-seco), obteve praticamente os mesmos resultados de Monteiro (1973).

Aspectos oceanográficos

No que se refere aos dados sobre o clima de ondas no litoral de São Paulo, os levantamentos sistemáticos são escassos.

Os primeiros estudos remontam à década de 1960 e foram feitos na Ilha do Bom Abrigo, na região de Cananéia/Ilha Comprida (Geobras, 1966).

Anos depois o CTH-USP/DAEE (1973) efetuou novo levantamento nessa mesma área.

Por ocasião dos estudos para a futura instalação de uma usina nuclear na região da atual Estação Ecológica Juréia-Itatins, foram realizadas medições sistemáticas sobre o clima de ondas e correntes costeiras nas praias do Una, Rio Verde e Juréia, com coletas de dados entre 1982 e 1985 (Bomtempo, 1991).

Outras medições, porém de curta duração (poucos meses) foram efetuadas na região de Santos, São Vicente e Guarujá (Hidroconsult, 1974/1975); CTH-USP/DAEE, 1976; Sondotécnica, 1977; Alfredini, 2003), como parte de estudos para o plano de dragagem do Porto de Santos e a construção do emissário submarino de Santos-São Vicente.

Há ainda uma referência de levantamentos na região da Praia Grande, feitos para a construção dos emissários submarinos (Leal Neto; Accetta, 1995).

Em todos esses estudos fica evidente a predominância de ondulações do quadrante SE ao longo do ano todo, estando as ondas de SSW-S-SSE associadas à passagem de frentes frias, e as de ESE-E-ENE à atuação de tempo bom. As alturas médias significativas predominantes estão entre 0,5 e 2 m, e os períodos médios ao redor de 9 segundos.

Os ventos locais não parecem desempenhar papel importante nas modificações das ondas que atingem a costa do Estado, conforme verificado por CTH-USP/DAEE (1973), Tessler (1988), Bomtempo (1991), Souza (1997) e Souza *et al.* (2012a). A única exceção parece ser o Canal de Sebastião, onde a agitação marítima é determinada por ondas influenciadas por ventos locais.

As condições de maior energia de ondas e ventos ocorrem quando se associam sistemas frontais e ciclones extratropicais (centros de baixa pressão com ventos intensos de leste), gerando eventos extremos como as marés meteorológicas positivas ou ressacas (Fonsar, 1994; Satyamurti *et al.*, 1998). Essas perturbações atmosféricas geram ondas dos quadrantes SW, S e SE, com alturas até superiores a 5 m.

Campos *et al.* (2010) analisaram séries históricas (1951-1990) de dados dos campos de vento, pressão em superfície e elevação do nível do mar no Porto de Santos e concluíram que as ressacas ocorrem devido à evolução e persistência de sistemas de baixa pressão (ciclones extratropicais) no oceano, juntamente com um anticiclone agindo sobre o continente, por um período da ordem de dias, e com ventos acima de 8 m/s (ou 17 nós) agindo sobre o oceano próximo à costa. Esses autores observaram também que, em geral, dois dias antes de o evento ser sentido em Santos, a frente fria associada se localizava sobre

o litoral do Paraná e de São Paulo; no dia anterior ao evento, a frente já havia passado por Santos e se deslocava para o Rio de Janeiro; e no dia de máxima elevação do nível do mar em Santos (pico da ressaca) a frente fria já se encontrava sobre o Espírito Santo. Os resultados mostraram também que o período de maior atividade dos eventos de ressaca ocorre entre o outono e o inverno (abril a agosto).

Estudos recentes e ainda inéditos efetuados no âmbito do “Programa de Monitoramento do Perfil Praial” para averiguação de possíveis impactos das obras de dragagem de aprofundamento do Porto de Santos (Souza *et al.*, 2012a), revelaram algumas características importantes sobre os eventos de ressaca ocorridos na baixada Santista entre 1960 e 2011: (a) atuação de centros de alta pressão na região SE brasileira, que se associam à rápida migração de centros de baixa pressão (ciclones extratropicais), com sistemas frontais formados na costa argentina; (b) maior frequência (76,4%) nos meses de outono-inverno (abril a setembro), destacando-se o mês de maio com o maior número de eventos, seguido do mês de setembro; (c) predominância em ciclos de maré de sizígia (49,4%); (d) direção dominante de ventos de SSW (22% dos eventos); (e) velocidade dos ventos dominantes entre 5,1-7,0 m/s (44% dos eventos); (f) altura da maré previsual igual ou superior a 1,3 m (74%); (g) altura máxima de ondas significativas (no oceano aberto) com valores superiores a 3,0 m nos eventos mais intensos (24,4%); (h) direção de ondas predominante de S (51%); (i) atuação do fenômeno *El Niño* em cerca de 70% dos eventos, com predominância nas fases de fraca intensidade (49,4%).

Outro agente importante no afeioamento das praias é o nível relativo do mar (NM) e suas variações, que podem ser de escala diária, semanal, mensal, sazonal, decadal/interdecadal e de longo período (>100 anos) (Mesquita, 1995).

O regime de marés no litoral paulista é do tipo micromarés, predominantemente semi-diurno, mas com ocorrência de desigualdades diurnas (Mesquita, 1995). As oscilações mensais (sizígia e quadratura) e diárias (preamar e baixamar) são aproximadamente iguais em toda a costa de São Paulo (marégrafos em Cananéia, Santos e Ubatuba), variando de 1,2 m na sizígia a 0,25 m na quadratura no marégrafo de Cananéia, onde a série histórica é a mais antiga de São Paulo (a partir de 1954) e a mais contínua do Brasil. As oscilações sazonais apresentam flutuações da ordem de 20-30 cm de amplitude, mas chegam a atingir 50 cm em Cananéia. Os máximos níveis ocorrem nos meses de abril-maio, e os mínimos nos meses de verão (dezembro-janeiro) e em setembro-outubro.

Para as variações do NM de longo termo, segundo Mesquita (2003) e Harari *et al.* (2007), a série histórica do marégrafo de Cananéia indica que a taxa de elevação no último século foi de 40 cm/século. Entretanto, após analisar a variabilidade vertical do local onde esse marégrafo está instalado, Mesquita (2008) identificou valores de tendência de abaixamento vertical de -0,38 cm/ano. Portanto, levando em consideração esse fenômeno e os valores de tendência de elevação registrados, de 0,567 cm/ano, a taxa real de elevação do NM para o marégrafo de Cananéia seria da ordem de 18,7 cm/séc.

Esse valor é bem próximo ao da taxa média global calculada para todo o século XX, que é de 17 cm/séc. (entre 1,2 e 2,2 cm/ano) (IPCC-SREX, 2012).

Em termos de projeções futuras, embora não haja publicações específicas sobre o assunto, podem ser utilizados alguns resultados obtidos por Mesquita *et al.* (2007) e Mesquita (2008), para Cananéia. Esses autores calcularam um período de retorno de 200 anos para que ocorram níveis extremos máximos de 320 cm em relação ao NM médio atual (que é de cerca de 180 cm). Em outras palavras, na costa paulista, o NM poderá estar 2,60 m acima do atual por volta de 2210.

Síntese da Evolução dos Estudos sobre Praias Arenosas no Estado de São Paulo

A compilação bibliográfica apresentada aqui engloba essencialmente estudos originais e de maior expressão, nos quais as praias foram tratadas segundo conceitos e temas do âmbito da Geomorfologia Costeira (vide Muehe, 1994 e Souza *et al.*, 2005). A busca foi feita nos sítios mais importantes da web, em especial nas bases de dados e portais científicos do Estado de São Paulo, bem nas bibliotecas das instituições de pesquisa onde esses estudos têm sido historicamente mais desenvolvidos.

Os estudos sistemáticos pioneiros sobre as praias do Estado de São Paulo são de Ruy Osório de Freitas, que realizou coletas de sedimentos em praias dos municípios de Praia Grande (Freitas, 1951a), Guarujá (Freitas, 1951b), São Sebastião (Freitas, 1953, 1960a), Caraguatatuba e Ubatuba (Freitas, 1960a, 1960b). O autor estudou a granulometria, a composição mineralógica, a textura superficial dos grãos e a maturidade textural das areias, e teceu considerações sobre as condições físicas de sedimentação (em especial utilizando a assimetria), o controle tectônico e a paleogeografia da costa.

Na década seguinte, Bigarella *et al.* (1966) estudaram e compararam as areias das praias com as dos depósitos marinhos adjacentes da planície costeira, nas ilhas do Cardoso e Comprida e em Caraguatatuba e Ubatuba, também estabelecendo interpretações sobre a gênese e processos sedimentares dessas praias.

Barcelos (1975) realizou estudos sedimentológicos nas praias da Ilha Comprida e fez inferências sobre o sentido principal da corrente de deriva litorânea (para norte). Também nesse ano, no outro extremo do litoral paulista, Marconi e Abraão (1975) efetuaram análises granulométricas em 15 praias de Ubatuba. Na costa central, Pires Neto e Oliveira (1976) estudaram algumas praias dos municípios de Bertioga e São Sebastião, quanto à declividade e granulometria. Ponçano (1976) caracterizou o transporte costeiro regional entre a Ilha Comprida e a Baía de Santos, por meio de interpretações de produtos de sensores remotos, concluindo que o mesmo se dava preferencialmente para norte.

Na década de 1980 se destacam os trabalhos de Giannini (1987), na praia de Peruíbe, e Tessler (1988), na praia oceânica da Ilha Comprida. Ambos realizaram estudos sobre aspectos sedimentológicos e teceram algumas interpretações sobre o sentido principal da corrente de deriva litorânea, para norte em ambas as praias. Souza e Furtado (1987) definiram a planície de maré arenosa de Caraguatatuba, exemplo único na linha de costa de São Paulo, descrevendo seus aspectos sedimentológicos, geomorfológicos e genéticos.

A década de 1990 foi marcada por um salto no número de trabalhos nas praias paulistas, incluindo inovações nos temas abordados, conforme descrito a seguir.

(a) Souza (1990): efetuou a caracterização morfológica e sedimentológica das praias ao fundo da Enseada de Caraguatatuba, Martim de Sá e Massaguaçu, estudando os seus perfis emersos e submersos e expandindo as análises para a plataforma continental interna até a boca da Enseada de Caraguatatuba e a planície costeira. Integrou vários métodos para obter interpretações sobre as correntes de deriva litorânea atuantes nessas praias e o transporte de sedimentos de fundo na Enseada de Caraguatatuba e suas relações com o Canal de São Sebastião; desenvolveu os estudos na planície de maré de Caraguatatuba.

(b) Bomtempo (1991): efetuou levantamentos sobre o clima de ondas e as correntes costeiras geradas por elas nas praias do Rio Verde e Una (Iguape), fazendo inferências sobre o transporte costeiro (predominante para norte, mas com inversões).

(c) Menezes (1994): estudou o comportamento granulométrico das praias da Estação Ecológica Juréia-Itatins (praias do Rio Verde, Itacolomi, Una e Guaraú).

(d) Ponçano *et al.* (1994): elaboraram uma carta em escala 1:500.000 (para a Carta Geotécnica do Estado de São Paulo), apresentando os principais rumos de possíveis correntes costeiras nas praias paulistas. Os autores se basearam principalmente em observações visuais de variações morfológicas e granulométricas das praias, levando em consideração os indicadores geomórficos de transporte costeiro definidos por Taggart e Schwartz (1988).

(e) Barros (1996): estudou a dinâmica das praias de Itamambuca, Puruba e Fazenda (Ubatuba), por meio de perfilagem praial mensal realizada entre maio/1993 e junho/1994. Obteve dados texturais e morfológicos e relacionou a ocorrência de episódios erosivos à atuação de frentes frias e episódios construtivos a condições de tempo bom.

(f) Cazzoli (1997): estudou a dinâmica das praias de Cibratel e Suarão (Itanhaém) por meio de perfilagem praial mensal entre abril/1994 e maio/1995. Obteve dados texturais e morfológicos e calculou o balanço sedimentar no período, fazendo inferências sobre a direção da deriva litorânea em condições de tempo bom e na passagem de frentes frias, e da deriva principal (para norte).

(g) Souza (1997): estudou quase todas as praias do Estado de São Paulo com extensão $\geq 0,5$ km, por meio de duas campanhas de perfilagem praial realizadas no inverno/1992 e no verão/1993, e sob condições meteorológicas-oceanográficas em geral distintas. Dentre os temas desenvolvidos destacam-se: análise de indicadores de morfodinâmica e geomórficos de transporte costeiro interpretados em várias séries temporais de fotografias aéreas; variações morfológicas e texturais das praias sob diferentes condições meteorológicas-oceanográficas; estabelecimento da primeira classificação morfodinâmica para as praias do Estado de São Paulo (Souza; Suguio, 1996); desenvolvimento de um método morfo-textural para identificação de células de deriva litorânea; caracterização das células de deriva litorânea nas praias paulistas, para as situações amostradas; aplicação do método de McLaren e Bowles (1985) de transporte costeiro, e comparação de ambos os métodos; identificação e sistematização de indicadores de erosão costeira em cada perfil praial amostrado; avaliação das prováveis causas naturais e antrópicas da erosão costeira em São Paulo, incluindo uma avaliação da elevação do NM pela Regra de Brunn (Brunn, 1988).

A partir de 2000 se multiplicaram os estudos nas praias paulistas, incluindo temas inéditos como: risco à erosão costeira, evolução da linha de costa (retroanálises, com ou sem cálculo

do balanço sedimentar de longo período), sensibilidade ao derramamento de óleo, avaliação de impactos de intervenções antrópicas, e modelagens de ondas e de transporte costeiro.

A Tabela 1 traz uma síntese da compilação bibliográfica efetuada, apresentada por setor costeiro, na qual são indicados os principais temas envolvidos nos estudos e os respectivos autores principais ou responsáveis pelas pesquisas originais.

Tabela 1. Síntese dos principais estudos sobre Geomorfologia Costeira desenvolvidos no Litoral Sul, na Baixada Santista e no Litoral Norte de São Paulo.

| Litoral Sul | | | |
|-------------------------------|---|-----------------------------------|---------------------------------------|
| MUNICÍPIO | PRAIA | PRINCIPAIS TEMAS ABORDADOS | AUTOR (ANO) |
| CANANÉIA (Ilha do Cardoso) | Ararapira-sul | 1, 2, 3, 4A, 5, 6, 7 | MIHALY (1997) |
| | Ararapira, Cambriu | 8 | SMA (2002), SOUZA (2001, 2007, 2009a) |
| | Todas as praias | 2, 4B, 9 | WIECZOREK (2006) |
| ILHA COMPRIDA | Ilha Comprida (todo arco) | 2, 4A, 10 | BARCELOS (1975) |
| | Toda a costa | 4A | PONÇANO (1976) |
| | Ilha Comprida (todo arco) | 2, 6, 7, 10 | TESSLER (1988) |
| | | 4A | PONÇANO et al. (1994) |
| | Ilha Comprida (todo arco), Praia do Leste | 1, 2, 3, 4A, 4B, 6, 10 | SOUZA (1997) |
| | | 8 | SMA (2002), SOUZA (2001, 2007, 2009a) |
| | Ilha Comprida (todo arco) | 2, 4B, 6, 7, 10 | NASCIMENTO JUNIOR (2006) |
| | Ilha Comprida-sul | 1, 2, 3, 4A, 6 | MARQUEZ (2007) |
| | Ilha Comprida (todo arco) | 5, 15 | FARINACCIO (2008) |
| | | 2, 4A, 4B, 5, 7, 10 | GUEDES (2009) |
| | | 2, 4B, 9 | ROMERO (2008) |
| IGUAPE | Rio Verde | 12, 4B | BOMTEMPO (1991) |
| | Toda a costa | 4A | PONÇANO (1976) |
| | Juréia, Rio Verde, Itacolomi | 4A | PONÇANO et al. (1994) |
| | | 1, 2, 3, 4A e 4B, 6, 11 | SOUZA (1997) |
| | | 8 | SMA (2002), SOUZA (2001, 2007, 2009a) |
| | Juréia | 2, 4B, 6, 7 | BENTZ (2004) |
| | Todas as praias | 2, 4B, 9 | ROMERO (2008) |

**Baixada
 Santista**

| MUNICÍPIO | PRAIA | PRINCIPAIS TEMAS ABORDADOS | AUTOR (ANO) |
|--------------|---|----------------------------|---------------------------------------|
| PERUÍBE | Toda a costa | 4A | PONÇANO (1976) |
| | Peruíbe (todo arco) | 2, 10 | GIANNINI (1987) |
| | Una | 4B, 12 | BOMTEMPO (1991) |
| | Peruíbe (todo arco) | 4A | PONÇANO et al. (1994) |
| | Una, Guaraú, Peruíbe (todo arco) | 1, 2, 3, 4A e 4B, 6, 11 | SOUZA (1997) |
| ITANHAÉM | Una | 8 | SMA (2002), SOUZA (2001, 2007, 2009a) |
| | Peruíbe (todo arco) | 2, 4B, 6, 7 | BENTZ (2004) |
| | Todas as praias | 4B, 13 | ARAÚJO (2005) |
| | Toda a costa | 2, 4B, 9 | ROMERO (2008) |
| | Itanhaém (todo arco) | 4A | PONÇANO (1976) |
| MONGAGUÁ | Cibratel, Suarão | 4A | PONÇANO et al. (1994) |
| | Itanhaém (todo arco) | 1, 2, 3, 4A, 4B, 6, 11 | SOUZA (1997) |
| | Todas as praias | 1, 2, 3, 4A, 14 | CAZZOLI (1997) |
| | Toda a costa | 4B, 13 | ARAÚJO (2000) |
| | Todas as praias | 8 | SMA (2002), SOUZA (2001, 2007, 2009a) |
| PRAIA GRANDE | Todas as praias | 4B, 13 | GOIS (2004) |
| | Toda a costa | 4A | ARAÚJO (2005) |
| | Todas as praias | 4A | ROMERO (2008) |
| | Toda a costa | 1, 2, 3, 4A, 4B, 6, 11 | PONÇANO (1976) |
| | Todas as praias | 2, 3, 4A, 6 | PONÇANO et al. (1994) |
| SÃO VICENTE | Todas as praias | 8 | SOUZA (1997) |
| | Toda a costa | 2, 4B, 9 | SMA (2002), SOUZA (2001, 2007, 2009a) |
| | Gonzaguinha, Itararé, Capitão | 4A | FARINACCIO (2008) |
| | Gonzaguinha, Itararé, Capitão | 1, 2, 3, 4A, 4B, 6, 11 | ROMERO (2008) |
| | Itararé | 8 | SOUZA (1997) |
| SANTOS | Gonzaguinha, Itararé | 4B, 13 | PONÇANO et al. (1994) |
| | Itararé | 5, 15 | SOUZA (1997) |
| | Itararé | 2, 4B, 9 | SMA (2002), SOUZA (2001, 2007, 2009a) |
| | Itararé | 11 | SILVEIRA et al. (2011) |
| | Itararé | 1, 2, 3, 4A, 4B, 6, 11 | SOUZA et al. (2012a) |
| GUARUJÁ | Todas as praias | 4A | PONÇANO et al. (1994) |
| | Toda a costa | 1, 2, 3, 4A, 4B, 6, 11 | SOUZA (1997) |
| | Guaiúba, Tombo, Astúrias, Pitangueiras, Enseada, Pernambuco/Mar Casado, Perequê, São Pedro, Iporanga | 8 | SMA (2002), SOUZA (2001, 2007, 2009a) |
| | Todas as praias | 4B, 13 | SILVA (2003) |
| | Guaiúba, Tombo, Astúrias, Pitangueiras, Enseada, Pernambuco/Mar Casado, Perequê, São Pedro, Iporanga | 5, 15 | FARINACCIO (2008) |
| BERTIOGA | Góes | 2, 4B, 9 | PERINOTTO, R.R.R (2010) |
| | Todas as praias | 11 | SILVEIRA et al. (2011) |
| | Toda a costa | 1, 2, 3, 4A, 4B, 6, 11 | SOUZA et al. (2012a, 2012b) |
| | Enseada (Bertioga), São Lourenço, Itaguapé, Guaratuba, Enseada | 2, 10 | FREITAS (1951b) |
| | Enseada (Bertioga), São Lourenço, Itaguapé, Guaratuba, Enseada, São Lourenço, Itaguapé, Guaratuba, Boracéia | 4A | PONÇANO et al. (1994) |

Litoral Norte

| MUNICÍPIO | PRAIA | PRINCIPAIS TEMAS ABORDADOS | AUTOR (ANO) |
|---|--|---|--|
| SÃO SEBASTIÃO | Porto Grande, Deserta, Fazenda, Partida, Olaria, Barro, Tatueiro, Figueira, Enseada, Baía de Caraguatatuba, Piratininga, Maringá | 2, 10 | FREITAS (1953) |
| | Várias praias Toda a costa | 2 4A | PIRES NETO & OLIVEIRA (1976) PONÇANO et al. (1994) SOUZA (1997) |
| | Boracéia, Juquehy, Baleia, Boiçucanga, Maresias, Santiago, Toque-Toque Pequeno, Guaecá, Barequeçaba, Balneário, São Francisco, Cigarras, Enseada | 1, 2, 3, 4A, 4B, 6, 11 | |
| | Boracéia, Juréia, Uma, Juqueh, Sahy, Baleia Cambury-Camburizinho, Boiçucanga, Maresias, Santiago, Toque-Toque Pequeno, Guaecá, Barequeçaba, Balneário, Conchas, Cidade, Pontal da Cruz, São Francisco, Cigarras, Enseada | 8 | SMA (2002), SOUZA (2001, 2007, 2009a) |
| | As Ilhas Todas as praias | 2, 4A 2, 4B, 9 | ANTONELI (2004) PINCINATO (2007) SILVEIRA et al. (2011) |
| ILHABELA | Boracéia, Juquehy, Baleia, Boiçucanga, Maresias, Santiago, Toque-Toque Pequeno, Guaecá, Barequeçaba, Balneário, São Francisco, Cigarras | 11 | |
| | Todas as praias | 2, 4B, 9 | LIMA (2005) |
| CARAGUA-TATUBA | Porto Grande, Deserta, Fazenda, Partida, Olaria, Barro, Tatueiro, Figueira, Enseada, Baía de Caraguatatuba, Piratininga, Maringá | 2 e 10 | FREITAS (1960a) |
| | Curral, Praia Grande, Perequê, Barreiros, Armação, Itaguaçu, Saco da Capela | 8 | SMA (2002), SOUZA (2001, 2007, 2009a) |
| CARAGUA-TATUBA | Caraguatatuba (Enseada-São Sebastião), Martim de Sá, Massaguaçu | 1, 2, 3, 4A, 5, 8 | SOUZA (1990) |
| | Toda a costa | 4A | PONÇANO et al. (1994) SOUZA (1997) |
| | Caraguatatuba (Enseada-São Sebastião), Martim de Sá e Massaguaçu, Mocoóca, Tabatinga | 1, 2, 3, 4A, 4B, 6, 11 | SMA (2002), SOUZA (2001, 2007, 2009a) |
| | Massaguaçu Massaguaçu, Tabatinga Massaguaçu | 8 2, 4B, 9 2, 3, 5, 8, 14 5 2, 3, 8, 13 | PINCINATO (2007) NUBER (2008) SOUZA & LUNA (2010) ROGACHESKI (2010) |
| UBATUBA | Maranduba, Sapê, Lagoinha, Dura, Lázaro, Perequê-Mirim, Santa Rita, Enseada, Toninhas, Grande, Tenório, Itaguá, Iperoig, Perequê-Açu, Itamambuca | 2 | MARCONI & ABRAHAO (1975) |
| | Toda a costa | 4A | PONÇANO et al. (1994) SOUZA (1997) |
| | Caçandoca, Maranduba, Sapê, Lagoinha, Fortaleza, Vermelha de Fortaleza, Dura, Domingas Dias, Lázaro, Enseada, Toninhas, Grande, Tenório, Vermelha do Sul, Itaguá, Iperoig, Perequê-Açu, Barra-Seca, Vermelha do Norte, Itamambuca, Félix, Prumirim, Puruba, Ubatumirim-Estaleiro, Almada, Brava do Almada, Fazenda-Bicas | 1, 2, 3, 4A, 4B, 6, 11 | |
| | Fazenda, Puruba, Itamambuca | 1, 2, 3, 4A | BARROS (1996) |
| | Caçandoca, Maranduba, Sapê, Lagoinha, Fortaleza, Vermelha de Fortaleza, Dura, Domingas Dias, Lázaro, Enseada, Toninhas, Grande, Tenório, Vermelha do Sul, Itaguá, Iperoig, Perequê-Açu, Barra-Seca, Vermelha do Norte, Itamambuca, Félix, Prumirim, Puruba, Ubatumirim-Estaleiro, Almada, Brava do Almada, Fazenda-Bicas | 8 | SMA (2002), SOUZA (2001, 2007, 2009a) |
| | Itamambuca Sununga Todas as praias | 1, 11 1, 2, 3, 4A, 5, 14 2, 4B, 9 | HURTADO et al. (2004) MARTINS (2006) ROCHA (2008) SOUZA & LUNA (2009) |
| Maranduba, Grande, Barra Seca, Ubatumirim-Estaleiro | 5 | | |

Legenda dos Principais Temas Abordados

| | | |
|--|---|--|
| 1 Monitoramento Praia (perfilagem) | 6 Evolução da Linha de Costa (retroanálise, sensoriamento remoto – últimas décadas) | 12 Monitoramento de Ondas |
| 2 Granulometria (parâmetros texturais) | 7 Evolução Costeira (Quaternário) | 13 Modelagem de Ondas |
| 3 Dinâmica Sedimentar (variabilidade temporal do perfil praia) | 8 Risco à Erosão Costeira | 14 Balanço Sedimentar |
| 4A Transporte Costeiro - interpretação | 9 Sensibilidade Ambiental (derrame de óleo) | 15 Impactos ambientais (intervenções antrópicas) |
| 4B Transporte Costeiro - aplicação de métodos | 10 Mineralogia (minerais pesados) | |
| 5 Erosão Costeira (sentido amplo) | 11 Morfodinâmica (classificação do estado modal) | |

No total foram selecionados 47 estudos, a maioria de cunho local, mas alguns de abrangência regional e até estadual.

Os municípios com menor número de estudos são Cananéia (praias da Ilha do Cardoso), com apenas 6 trabalhos, e Ilhabela, com 5 (Figura 2). Ilha Comprida apresentou o maior número, totalizando 14 referências. Na sequência estão Peruíbe, Itanhaém, Santos, São Sebastião e Ubatuba, com 12 trabalhos cada.

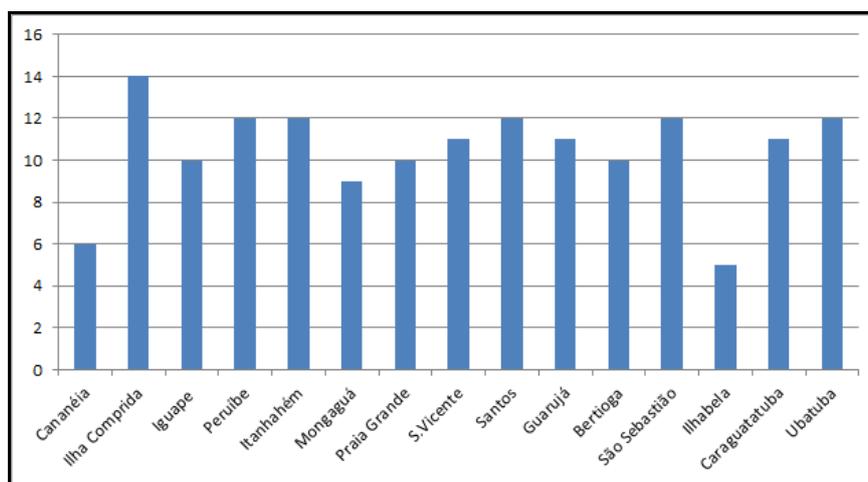


Figura 2. Número de referências por município.

Em relação aos temas abordados nessas pesquisas, sem dúvida, a granulometria (33 trabalhos) e o transporte costeiro (29 referências) são os mais desenvolvidos (Figura 3). A erosão costeira (15 citações) tem sido o terceiro tema mais abordado nas praias, o que prova que esse processo tem chamado a atenção dos pesquisadores. Apesar disso, o seu tratamento como um risco costeiro ainda está muito aquém das expectativas (5 citações). Na sequência estão os temas sobre dinâmica sedimentar (13) e monitoramento praias (11). Os temas menos estudados são o monitoramento de ondas (1) e análise de impactos ambientais devidos a intervenções antrópicas na linha de costa (1). Para este último é necessária uma ressalva, pois as intervenções antrópicas e suas consequências nas praias são citadas na maioria dos trabalhos compilados. A classificação morfodinâmica das praias (3) também está entre os temas pouco abordados.

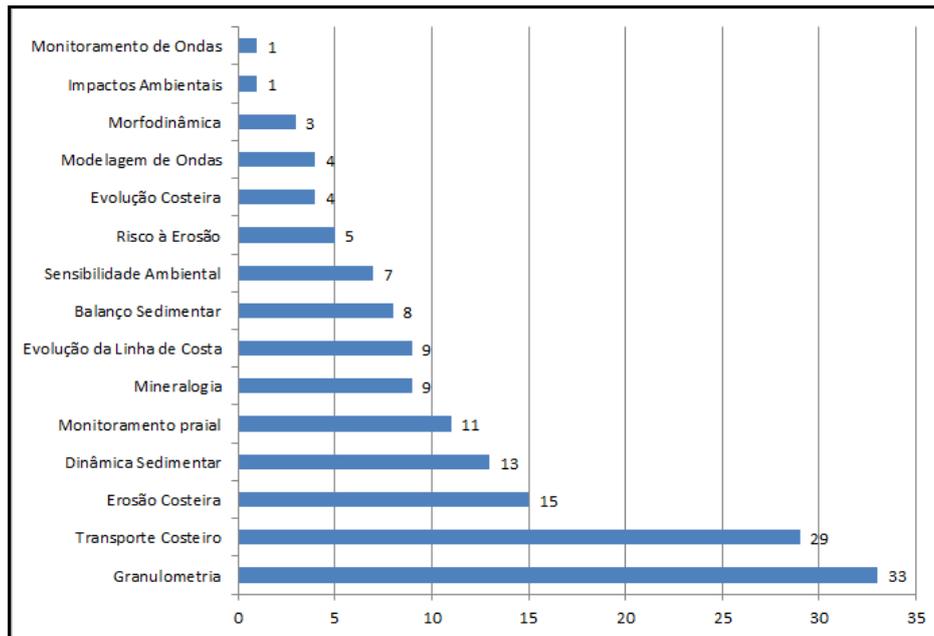


Figura 3. Temas mais estudados nas praias de São Paulo (referência ao número de trabalhos compilados).

Classificação Morfodinâmica das Praias Paulistas

Conceitos importantes

A morfologia de uma praia em um determinado tempo é função da característica dos sedimentos, das ondas imediatas e antecedentes, das condições de maré e de vento, e do estágio de praia antecedente. Entretanto, durante um longo período de tempo, uma dada praia tende a exibir um estágio modal recorrente ou predominante.

O conceito de estágio ou estado morfodinâmico ou modal da praia é usado para designar a assembléia completa das formas deposicionais e a sua relação com os processos hidrodinâmicos (Short, 1979, 1999; Sazaki, 1980 *apud* Carter, 1988; Wright; Short 1984; Masselink; Short, 1993).

Diferentes modelos sequenciais de evolução de praias arenosas têm sido propostos, destacando-se os das escolas de Geomorfologia Costeira americana (Sazaki, 1980 *apud* Carter, 1988) e australiana (Wright; Short, 1984; Short, 1979).

Sazaki (1980 *apud* Carter, 1988) estabeleceu um modelo baseado nas características ambientais principais das praias, segundo três estágios ou estados morfodinâmicos - dissipativo, reflexivo (ou refletivo) e intermediário (Tabela 2). Esse modelo é bastante útil

quando dados sobre o clima de ondas não estão disponíveis, como é o caso predominante das praias do Estado de São Paulo.

Tabela 2. Classificação de estados morfodinâmicos de praias arenosas segundo Sasaki (1980) (fonte: modificado de Souza, 1997).

| PARÂMETROS | ESTADO MORFODINÂMICO | | |
|--|--------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| | DISSIPATIVO | INTERMEDIÁRIO | REFLEXIVO |
| ONDAS | | | |
| Tipo de Quebra | deslizante | deslizante/mergulhante | mergulhante/frontal |
| Número de Quebras | > 3 | 1-3 | 1 |
| Refletividade | baixa | - | alta |
| Nível Relativo de Energia | alto | médio | baixo |
| Ângulo de Incidência | normal à costa | médio (0-10°) | oblíquo (10-45°) |
| CORRENTES | | | |
| Horizontais | grandes giros | pequenos giros | unidirecional |
| Costa afora | correntes de retorno intensas | correntes de retorno médias | fluxo rumo sotamar |
| MORFOLOGIA | | | |
| Barras | múltiplas, paralelas | em crescente | sem barras |
| Declividade média | < 2° | 2-4° | > 4° |
| Cúspides e irregularidades da linha de costa | embaixamentos rítmicos / aperiódicos | cúspides de surfe | cúspides de espraiamento |
| Perfil Praial | plano | Transicional (berma) | em degraus (berma) |
| TRANSPORTE DE SEDIMENTOS | | | |
| Longitudinal | baixo | médio | alto |
| Costa-adentro / Costa-afora | alto | médio | baixo |
| Modo Dominante | suspensão | misto | carga de fundo |
| Granulometria | fina | média | grossa |
| Atividade Eólica | alta | média | baixa |

Short (1979, 1999) e Wright *et al.* (1979) estabeleceram uma classificação morfodinâmica para as praias da Austrália, sugerindo seis estágios: dissipativo, reflexivo (ou refletivo) e quatro estágios intermediários (banco e cava longitudinais, banco e praia rítmicos, banco transversal e corrente de retorno, crista e canal/terraço de maré baixa). Uma revisão, em português, sobre os modelos da escola australiana pode ser encontrada nos trabalhos Hoefel (1998) e Calliari *et al.* (2003).

Inicialmente, os estágios praias eram distinguidos conforme a razão entre a forma das ondas e a declividade da praia, dada pelo parâmetro dimensionador do surfe "*surf scaling parameter*" (ϵ) (Guza; Inman, 1975 e Guza; Bowen, 1977 *apud* Short, 1979), tal que: $\epsilon = a_b \cdot \sigma^2 / g \cdot \tan^2 \beta$, onde a_b é a amplitude da onda na arrebentação ($H_b/2$), σ é a frequência angular da onda incidente ($2\pi/T$), g é a aceleração da gravidade, e $\tan \beta$ é a declividade do perfil praias.

Posteriormente, Wright e Short (1984) introduziram a relação entre as características do clima de ondas e dos sedimentos, por meio do parâmetro de Dean (1973 *apud* Wright; Short, 1984), conhecido como Ω (adimensional). Este parâmetro é dado pela expressão: $\Omega = H_b / (\omega_s \cdot T)$, onde H_b é a altura da onda na arrebentação, ω_s é a velocidade média de decantação dos sedimentos da face da praia e T é o período da onda.

Assim, integrando os modelos das escolas americana e australiana, tem-se o seguinte resumo sobre os três estados morfodinâmicos principais:

- ✓ No estado dissipativo a zona de surfe se apresenta larga, com baixo gradiente topográfico e elevado estoque de areia, que se acumula na forma de bancos longitudinais paralelos à linha de costa. A elevada energia das ondas incidentes é transformada em "*wave setup*" (sobreelevação do nível médio da água causada pela ação de ondas – transporte costa-adentro) e em fluxos de corrente de retorno (transporte costa-afora). Essa energia também pode ser transferida para a zona próxima à costa, como ondas de infragravidade (período > 30'), como as ondas de borda (*edge waves*) e estacionárias (*standing waves*), que podem alterar os processos sedimentares normais atuantes na praia, como as relações entre erosão e deposição e a deriva litorânea (Souza, 1997), e parecem ser responsáveis, junto com outros mecanismos, pela formação das barras de deriva litorânea (USACE, 2002). Os valores de ϵ são superiores a 20, podendo chegar a 200 (Short, 1979), e de $\Omega > 5,5$ (Wright; Short, 1984).
- ✓ No estado reflexivo, a zona de surfe é caracterizada por ser estreita a inexistente e ter elevado gradiente. O estoque de areia da praia se encontra em sua porção emersa ou subaérea. A energia das ondas incidentes pode ser aprisionada por refração/reflexão, formando ondas de borda (*edge waves*), de longo período, as quais podem gerar cúspides praias e correntes de retorno (USACE, 2002). Os valores

para os parâmetros relacionados ao clima de ondas são: $\varepsilon < 2,5$ (Short, 1979) e $\Omega < 1,5$ (Wright; Short, 1984).

- ✓ No estado intermediário as praias apresentam características entre os estágios acima, ora tendendo para um ou outro tipo.

Masselink e Short (1993) e Masselink e Turner (1999) ampliaram esses conceitos e passaram a considerar também os efeitos relativos das ondas e marés na morfologia das praias (Figura 2). Assim, combinando os modelos pré-existentes com o conceito de Davis e Hayes (1984 *apud* Masselink e Short (1993) sobre variação relativa das marés, estabeleceram o Parâmetro de Variação Relativa da Maré (*Relative Tide Range* - RTR), dado pela expressão: $RTR = MSR/H_b$, onde MSR é a variação da maré de sizígia (metros) e H_b a altura significativa das ondas na arrebentação (metros). Altos valores de RTR indicam o domínio de marés e baixos valores expressam a dominância de ondas. De acordo com esses autores, com o aumento do RTR, praias reflexivas gradam para praias de terraço de maré baixa com ou sem correntes retorno (*rip currents*); praias intermediárias com bancos gradam para praias com morfologia de correntes de retorno/bancos no nível de maré baixa; praias dissipativas com bancos submersos gradam para praias dissipativas sem barras; e praias dissipativas sem bancos ou correntes de retorno gradam para praias ultradissipativas ($RTR > 7$). Quando $RTR > 15$ a praia inicia a transição para uma planície de maré ($RTR \gg 15$).

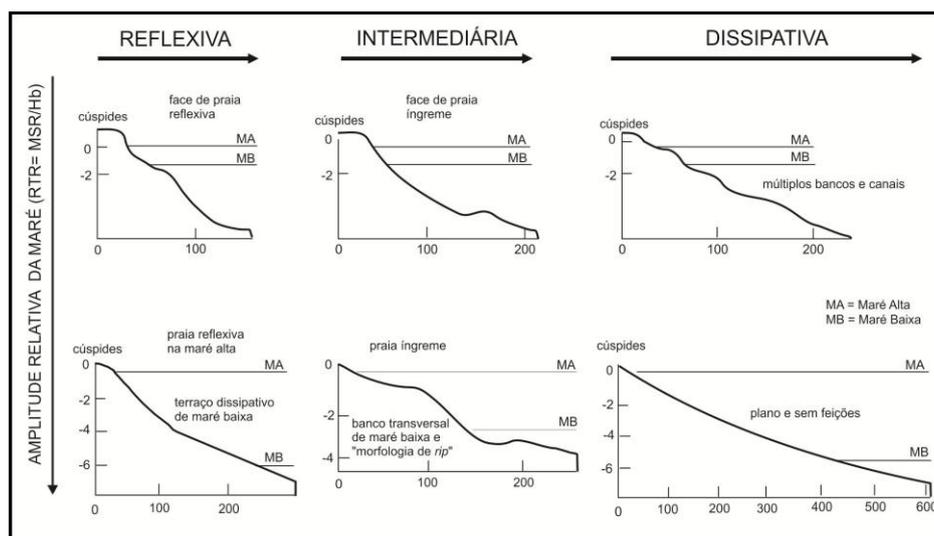


Figura 2. Classificação dos estados morfodinâmicos de praias definidos por Short (1999), modificada por Masselink; Short (1993) e Masselink; Turner (1999) (fonte: Souza *et al.*, 2005).

Estado morfodinâmico das praias de São Paulo

Souza e Suguio (1996, 2003) e Souza (1997, 2001) estabeleceram uma compartimentação morfodinâmica para o litoral paulista (Figura 4, Tabela 3), tendo como princípio os trabalhos de Sasaki (1980 *apud* Carter, 1988), Short (1979, 1999) Wright *et al.* (1979), Wright e Short (1984), Masselink e Short (1993) e Masselink e Turner (1999), e introduzindo ainda os conceitos de “alta energia relativa” (costas mais expostas à atuação de ondas) e “baixa energia relativa” (costas abrigadas, em fundo de baías e enseadas). A ausência de dados sobre o clima de ondas no litoral paulista não permitiu estabelecer os parâmetros ϵ e Ω .

Essa classificação foi feita com base em: trabalhos de campo realizados durante o inverno/1992 e o verão/1993; fotointerpretação de 11 conjuntos de fotografias aéreas das décadas de 1960, 1970, 1980 e 1990; e dados levantados por meio de questionários aplicados aos guarda-vidas responsáveis pelos Postos de Salvamento existentes ao longo do litoral paulista (18^o Grupamento de Bombeiros do Estado de São Paulo).

Monitoramentos continuados nas praias paulistas, realizados a partir da década de 2000, têm confirmado os resultados obtidos originalmente.

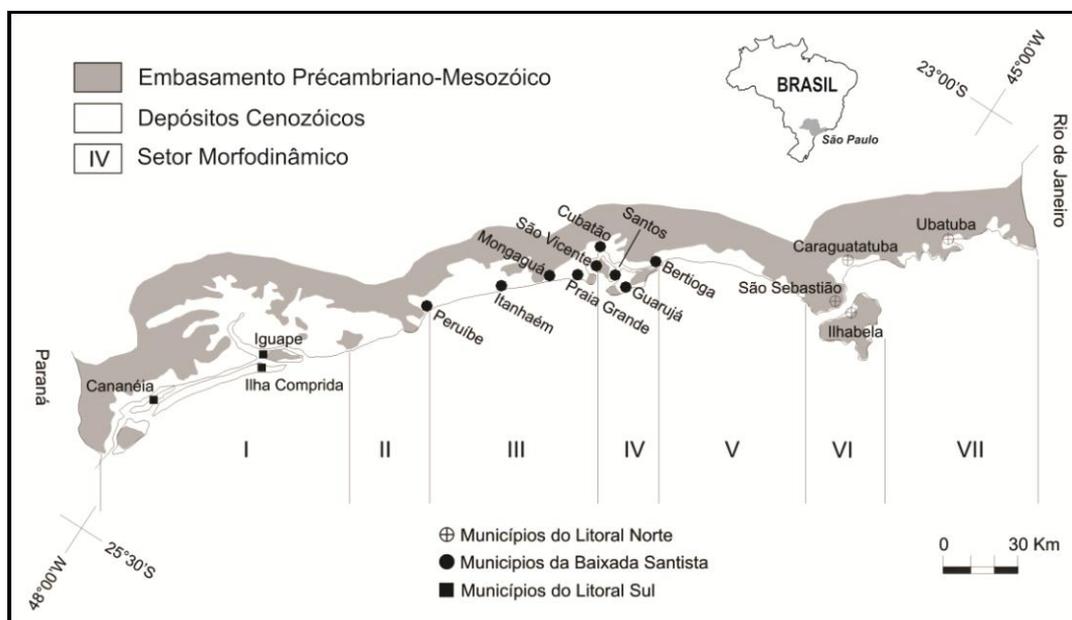


Figura 4. Compartimentação morfodinâmica do litoral paulista (Souza; Suguio, 1996; Souza, 1997; 2007).

Tabela 3. Classificação morfodinâmica das praias paulistas (modificado de Souza, 1997).

| ID-RAIA | NOME DA PRAIA | MUNICÍPIO | ORIENTAÇÃO DA PRAIA | COMPRI-MENTO DA PRAIA (km) | DECLIVIDADE MÉDIA (ESTIRÂNCIO) (Graus) | CARACTERÍSTICAS TEXTURAIS (ESTIRÂNCIO) | FEIÇÕES SEDIMENTARES CARACTERÍSTICAS | SETOR MORFO-DINÂMICO | ESTADO MORFODINÂMICO PREDOMINANTE |
|---------|-----------------------|-------------------|---------------------|----------------------------|--|--|---|----------------------|-----------------------------------|
| Pr 01 | Fazenda-Elicas | Ubatuba | NW | 4 | 3,0 | AMF / MBS | Barras longitudinais, perfil plano | VII | Db-I |
| Pr 02 | Almada | Ubatuba | NS | 0,2 | 3,0 | AF / MS | Perfil plano | VII | Db-I |
| Pr 03 | Brava do Almada | Ubatuba | NE | 0,3 | 5,1 | AG / MS | Berma, cúspides | VII | Ra-I |
| Pr 04 | Ubatubamirim | Ubatuba | NW | 3,7 | 3,0 | AMF / B-MS | Barras longitud., cúspides, perfil plano | VII | Db-I |
| Pr 05 | Puruba | Ubatuba | NE | 1,4 | 4,5 | AG / M-BS | Berma, cúspides | VII | Ra |
| Pr 06 | Prumirim | Ubatuba | NE | 1,4 | 4,5 | AG-AM / MS | Berma, cúspides | VII | I-Ra |
| Pr 07 | Félix | Ubatuba | NE | 1 | 4,5 | AM-AG / BS-MS | Berma, barras longitudinais | VII | I-Ra |
| Pr 08 | Itamambuca | Ubatuba | NE | 2 | 4,5 | AM-AG / MS | Berma, cúspides | VII | Ra-I e Db |
| Pr 09 | Vermelha do Norte | Ubatuba | NE | 1 | 4,5 | AM-AG / BS | Berma, cúspides | VII | Ra-I |
| Pr 10 | Barra Seca | Ubatuba | EW | 0,5 | 5,1 | AF / BS | Berma | VII | Rb-I |
| Pr 11 | Perequê-Açu | Ubatuba | NE | 1,8 | 4,5 | AF / BS | Perfil plano | VII | Db |
| Pr 12 | Iperoig | Ubatuba | NS | 1,4 | 5,1 | AMF-AG / MS-PS | Berma | VII | Rb |
| Pr 13 | Itaguaí | Ubatuba | NW | 1,9 | 5,1 | AMF-AG / MS-PS | Berma | VII | Rb |
| Pr 14 | Vermelha do Sul | Ubatuba | NE | 0,2 | 10,0 | AM-AG / MS | Berma, cúspides | VII | Ra |
| Pr 15 | Tenório | Ubatuba | NE | 0,4 | 3,0 | AF-AM / BS | Barras longitudinais, perfil plano | VII | I-Db |
| Pr 16 | Praia Grande | Ubatuba | NE | 1,8 | 4,5 | AF-M / BS | Barras longitudinais, perfil plano | VII | I-Ra |
| Pr 17 | Toninhas | Ubatuba | NE | 1,5 | 4,5 | AF-AM / MS | Berma, cúspides | VII | I-Rb |
| Pr 18 | Enseada | Ubatuba | EW | 1,4 | 3,0 | AF / MS | Barras longitudinais, perfil plano | VII | Db-I |
| Pr 19 | Lázaro | Ubatuba | NW | 1,3 | 3,0 | AF-MF / PS | Barras longitudinais, perfil plano | VII | Db-I |
| Pr 20 | Domingas Dias | Ubatuba | NW | 0,5 | 9,0 | AMG-AM / PS | Perfil plano, berma incipiente | VII | Rb |
| Pr 21 | Dura | Ubatuba | NW | 1,5 | 3,0 | AF / MBS-MS | Barras longitudinais, perfil plano | VII | Db |
| Pr 22 | Vermelha de Fortaleza | Ubatuba | NS | 0,6 | 4,5 | AG / MS | Berma, cúspides | VII | Rb-I |
| Pr 23 | Fortaleza | Ubatuba | NS | 1,5 | 5,1 | AM / MS | Berma, cúspides | VII | Rb-I |
| Pr 24 | Lagoinha | Ubatuba | NE | 2,7 | 4,5 | AM-AF / MS | Berma, barras longitudinais | VII | Db-I |
| Pr 25 | Sapê | Ubatuba | NE | 1 | 4,5 | AF / MS | Barras longitudinais, perfil plano | VII | Db-I |
| Pr 26 | Maranduba | Ubatuba | NE | 2 | 4,5 | AF / MS | Barras longitudinais, perfil plano | VII | Db |
| Pr 27 | Caçandoca | Caraguatatuba | NW | 0,3 | 10,0 | AM / MS | Berma, cúspides | VII | Rb |
| Pr 28 | Tabatinga | Caraguatatuba | NE | 1,9 | 4,5 | AF-AM / MS | Berma, barras longitudinais | VII | I-Rb |
| Pr 29 | Mocooca | Caraguatatuba | NE | 1,2 | 10,5 | AM / MS | Berma, cúspides | VII | I-Ra |
| Pr 30 | Massaguaçu | Caraguatatuba | NE | 7,3 | 8,5 | AG-AM / MS-BS | Berma, cúspides | VII | Ra-I e Da |
| Pr 31 | Martim de Sá | Caraguatatuba | NE | 1,5 | 4,5 | AM / MS | Berma, cúspides | VII | I-Rb |
| Pr 32 | Caraguatatuba | Caraguatatuba | NS | 11,5 | 5,1 | AF-AM / MBS-MS | Barras longitudinais, cúspides, berma | VII | Db-I |
| Pr 33 | Enseada | Carag./S. Sebast. | NS | 2,1 | 0,0 | AMF / BS | Sandwaves, pequenos canais de maré | VII | UD |
| Pr 34 | Cigarras | São Sebastião | NS | 0,4 | 5,2 | AM / MS | Barras longitudinais, cúspides | VII | I-Rb |
| Pr 35 | Curral | Ilhabela | NE | 0,5 | 5,3 | AM / PS | Berma, cúspides | VI | M |
| Pr 36 | Praia Grande | Ilhabela | NE | 0,45 | 10,0 | AG / PS | Berma, cúspides | VI | M |
| Pr 37 | Perequê | Ilhabela | NE | 0,8 | 5,0 | AMG / PS | Embaixamentos | VI | M |
| Pr 38 | Barreiros | Ilhabela | NS | 0,6 | 3,0 | AG / MPS | Perfil plano | VI | M |
| Pr 88 | Itaguaçu | Ilhabela | WSW | 0,7 | 7,3 | AG-AM / MPS | Berma, cúspides | VI | M |
| Pr 89 | Saco da Capela | Ilhabela | NS | 0,9 | 7,2 | AG-AM / MPS | Berma | VI | M |
| Pr 39 | Armação | Ilhabela | NS | 0,8 | 4,0 | AG-AM / MPS | Perfil plano | VI | M |
| Pr 40 | São Francisco | São Sebastião | NW | 1,2 | 5,2 | AG-AF / MS-PS | Berma | VI | M |
| Pr 41 | Pontal da Cruz | São Sebastião | NE | 0,5 | 5,2 | AG-AF / MS-PS | Berma | VI | M |
| Pr 42 | Cidade | São Sebastião | NE | 0,3 | 5,2 | AG-AF / MS-PS | Berma | VI | M |
| Pr 43 | Conchas | São Sebastião | NE | 0,02 | 5,2 | AG-cascalho biodetrítico/MPS | Perfil plano | VI | Db |
| Pr 44 | Balneário | São Sebastião | EW | 0,3 | 5,2 | AM-AF / MS-PS | Barras longitudinais, perfil plano | VI | Db |
| Pr 45 | Barequecaba | São Sebastião | NW | 1,1 | 1,6 | AMF / PS | Barras longitudinais, perfil plano | V | Db |
| Pr 46 | Guaecá | São Sebastião | NW | 2,2 | 5,0 | AM-AF / MS-BS | Berma, barras longitudinais | V | I-Ra |
| Pr 47 | Toque-Toque Pequeno | São Sebastião | NW | 1 | 5,0 | AG / MS | Berma, cúspides | V | I-Ra |
| Pr 48 | Santiago | São Sebastião | NW | 0,9 | 5,0 | AM / MS | Barras longitudinais | V | I-Ra |
| Pr 49 | Mareias | São Sebastião | EW | 3,5 | 3,9 | AM / MBS | Barras longitudinais, cúspides | V | I |
| Pr 50 | Boicucanga | São Sebastião | NW | 1,6 | 5,0 | AG / BS | Berma, cúspides | V | Ra-I |
| Pr 51 | Camburizinho | São Sebastião | NW | 0,15 | 5,0 | AG / MS | Berma, cúspides | V | Ra-I |
| Pr 52 | Cambury | São Sebastião | NW | 0,3 | 5,0 | AM-AG / MS | Berma, cúspides | V | I-Ra |
| Pr 53 | Baleia | São Sebastião | NW | 2,2 | 5,0 | AF / MBS | Barras longitudinais, perfil plano | V | I-Db |
| Pr 54 | Sahy | São Sebastião | NW | 0,4 | 5,0 | AM / MS | Berma, cúspides | V | I-Ra |
| Pr 55 | Juquehy | São Sebastião | EW | 3,5 | 3,9 | AF-AM / BS | Berma, cúspides | V | I-Ra |
| Pr 56 | Una | São Sebastião | EW | 0,4 | 3,9 | AM / MS | Berma | V | I-Ra |
| Pr 57 | Juréia | São Sebastião | EW | 0,2 | 3,9 | AM-AG / MS | Berma | V | Ra-I |
| Pr 58 | Boracéia | Bert./S. Sebast. | NE | 7,8 | 1,6 | AMF / MBS | Barras longitudinais, perfil plano | V | Da-I |
| Pr 59 | Guaratuba | Bertioga | NE | 7,2 | 1,6 | AMF-AF / MBS | Barras longitudinais, perfil plano | V | Da-I |
| Pr 60 | Itaguairé | Bertioga | NE | 3 | 1,6 | AMF-AF / MBS | Barras longitudinais, perfil plano | V | Da-I |
| Pr 61 | São Lourenço | Bertioga | NE | 4,9 | 1,6 | AF / MBS | Barras longitudinais, perfil plano | V | Da-I |
| Pr 62 | Bertioga | Bertioga | NE | 11 | 1,6 | AMS / BS | Barras longitudinais, perfil plano | V | Da-I |
| Pr 63 | Iporanga | Guarujá | NS | 0,9 | 2,0 | AMS / MBS | Barras longitudinais, perfil plano | IV | Db-I |
| Pr 64 | São Pedro | Guarujá | NE | 1,3 | 2,4-5 | AG-AM / MS-BS | Berma, cúspides | IV | I-Ra |
| Pr 65 | Perequê | Guarujá | NS | 2,4 | 2,0 | AMF / MBS | Barras longitudinais, perfil plano | IV | Db-I |
| Pr 66 | Pernamb./Mar Casado | Guarujá | NE | 1,5 | 2,0 | AF-AMF / MBS-MS | Cúspides, perfil plano | IV | I-Ra |
| Pr 67 | Enseada | Guarujá | NE | 5 | 2,0 | AF-AMF / MBS | Barras longitudinais, perfil plano | IV | I-Ra |
| Pr 68 | Pitangueiras | Guarujá | NE | 1,8 | 2,0 | AF / MBS | Barras longitudinais, perfil plano | IV | I-Da |
| Pr 69 | Astúrias | Guarujá | NW | 0,5 | 2,0 | AF / MBS | Barras longitudinais, perfil plano | IV | Db-I |
| Pr 70 | Tombo | Guarujá | NE | 0,9 | 2,4-5 | AM / MS | Berma, cúspides | IV | I-Ra |
| Pr 71 | Guaiúba | Guarujá | NW | 0,5 | 2,4-5 | AF / BS | Barras longitudinais, cúspides | IV | I-Db |
| Pr 90 | Góes | Guarujá | EW | 0,2 | 4,2 | AF / MS (atual/rotação praial) | Berma, cúspides (rotação praial) | IV | Rb-I |
| Pr 72 | Santos | Santos | NW | 5,2 | 1,4 | AF-AM / MBS-BS | Barras longitudinais, perfil plano | IV | I-Db |
| Pr 73 | Itararé | São Vicente | NE | 2 | 2,0 | AF-AMF / MBS | Barras longitudinais, perfil plano | IV | Db-I |
| Pr 74 | Gonzaguinha | São Vicente | EW | 1 | 2,6 | AF / MBS | Perfil plano | IV | Rb e Db |
| Pr 75 | Capitão | São Vicente | NS | 0,02 | 2,4-5 | AM / MS | Berma | IV | Rb |
| Pr 76 | Praia Grande | Praia Grande | NE | 24 | 2,0 | AF-AMF / MBS | Barras longitud., cúspides, perfil plano | III | Da-I |
| Pr 77 | Itanhaém | Itanhaém | NE | 20 | 2,0 | AMF / MBS | Barras longitud., cúspides, perfil plano | III | Da-I |
| Pr 78 | Peruibe | Peruibe | NE | 25 | 2,0 | AMF / MBS | Barras longitudinais, perfil plano | III | Da-I |
| Pr 79 | Guaraú | Peruibe | NE | 1,2 | 1,1 | AF / MBS | Barras longitudinais, perfil plano | II | Db |
| Pr 80 | Una | Iguape/Peruibe | NE | 16,5 | 1,1-3,7 | AF / MBS | Barras longitudinais, perfil plano | II | Da-I |
| Pr 81 | Itacolomi | Iguape | NE | 0,5 | 3,7 | AM / MBS-BS | Berma e cúspides | II | I |
| Pr 82 | Rio Verde | Iguape | NE | 3,6 | 3,7 | AM / MBS-BS | Berma e cúspides | II | I |
| Pr 83 | Juréia | Iguape | NE | 19 | 2,0 | AF / MBS | Barras longitudinais, perfil plano | II | Da |
| Pr 84 | Leste | Iguape | NE | 2 | 2,0 | AF-AMF / BS | Barras longitud., e transv., perfil plano | I | Da |
| Pr 85 | Ilha Comprida | Ilha Comprida | NE | 72 | 2,0 | AF / MBS | Barras longitud., embaiam., perfil plano | I | Da |
| Pr 86 | Cambriú | Cananéia | NS | 1,5 | 2,0 | AF / BS | Barras longitudinais, perfil plano | I | Db-I |
| Pr 87 | Aratapira | Cananéia | NE | 20 | 2,0 | AF / MBS | Barras longitud., embaiam., perfil plano | I | Da |

Legenda

AMF: Areia muito fina; AF: Areia fina; AM: Areia média; AG: Areia Grossa; AMG: Areia muito grossa.
MBS: Muito bem selecionada; BS: Bem selecionada; MS: Moderadamente selecionada; PS: Pobrememente selecionada; PMS: Muito pobrememente selecionada.

Db: Dissipativo de baixa energia; Da: Dissipativo de alta energia; Rb: Reflexivo de baixa energia; Ra: Reflexivo de alta energia; I: Intermediário; UD: Ultradissipativo; M: Misto (reflexivo/dissipativo de baixa energia).

Os compartimentos ou setores morfodinâmicos estabelecidos para as praias de São Paulo compreendem:

Setor I – Praia de Ararapira (Cananéia – divisa com o Estado do Paraná) à Praia da Juréia (Iguape);

Setor II – Praia do Rio Verde (Iguape) à Praia do Guaraú (Peruíbe);

Setor III – Praia de Peruíbe à Praia Grande;

Setor IV – Praia do Capitão (São Vicente) à Praia do Iporanga (Bertioga);

Setor V – Praia da Enseada de Bertioga à Praia de Barequeçaba (São Sebastião);

Setor VI – Praias do Canal de São Sebastião;

Setor VII – Praia das Cigarras à Praia do Cambury (divisa com o Estado do Rio de Janeiro).

Como se pode observar, o litoral paulista apresenta todos os estados morfodinâmicos de praias.

Considerando a frequência de cada estado em relação ao número total de praias investigadas (90 arcos praias), observa-se que predominam as praias dissipativas de baixa energia com tendências intermediárias (Db-I=14,4%), seguidas pelas praias intermediárias com tendências reflexivas de alta energia (I-Ra=13,3%), mistas (M=11,1%), dissipativas de baixa energia (Db=7,8%) e reflexivas de baixa energia (Rb=5,5%). Os estados I-Db, I-Da, I-Rb, Rb-I e Da perfazem 4,4% cada. As praias com morfodinâmica variável no mesmo arco praias ocorrem com frequências inferiores a 3,3%. Apenas uma praia foi classificada como ultradissipativa (UD = 1,2%), a Praia da Enseada (São Sebastião), localizada ao sul da Enseada de Caraguatatuba. Nesse local se desenvolve a única planície de maré arenosa de linha de costa oceânica de São Paulo; sua origem está associada à zona de sombra de influência de ondas que se forma atrás da Ilha de São Sebastião (Souza; Furtado, 1987; Souza, 1990).

Quando se analisam os estados morfodinâmicos em relação à sua distribuição espacial (comprimento das praias) ao longo do litoral, os resultados são diferentes. As praias Da-I cobrem 119,4 km de praias, o que corresponde a 34,1% da linha de costa arenosa de São Paulo. A seguir estão as praias: Da, que totalizam 113 km de praias e perfazem 32,3% da costa; Db-I, que correspondem a 9,4% (33,1 km de faixas de praia no total); I-Ra, somando apenas 4,3% (15,1 km); e os demais estados perfazendo distribuições inferiores a 3% cada. Essas diferenças são devidas à grande heterogeneidade fisiográfica da costa paulista, com pequeno número de praias muito extensas no Litoral Sul e ao sul da Baixada Santista, e inúmeras praias de extensão diminuta entre o norte da Baixada Santista e o Litoral Norte.

Setores Morfodinâmicos I e III

De maneira geral o Setor I (municípios de Cananéia, Ilha Comprida e Iguape) e o Setor III (Peruíbe, Itanhaém, Mongaguá e Praia Grande) apresentam praias dissipativas de alta energia e de orientação NE-SW, portanto abertas para os sistemas de ondas de maior energia provenientes de S-SSE. As planícies costeiras e a plataforma continental associadas são amplas e de baixos gradientes topográficos.

Nesses setores estão presentes os arcos praias mais extensos do litoral paulista, formando dois segmentos retilíneos e quase ininterruptos com cerca de 70 km de extensão cada: a Praia da Ilha Comprida e as praias de Peruíbe, Itanhaém, Mongaguá e Praia Grande juntas. Também nesses setores, em especial no Setor I, ainda é possível observar a presença de paleodunas e dunas bem desenvolvidas, como na Ilha Comprida (Figura 5) e na Praia da Juréia. Na Ilha Comprida os depósitos eólicos que compõem o sistema praia-duna ocorrem principalmente como franjas de areia eólica e dunas frontais exibindo morfologias em cordão, terraço, rampa e *nebkas* (montículos de areia depositados em meio à vegetação), além de algumas formas barcanóides e parabólicas de localização restrita (Nascimento Jr., 2006; Guedes, 2009). Segundo estes autores os depósitos eólicos próximos à praia começaram a se formar a partir da Pequena Idade do Gelo (1450-1850), quando as condições de vento se intensificaram na região. Esses depósitos estão em completa associação com o crescimento mais moderno da ilha devido aos mecanismos de deriva litorânea, com sentido predominante para NE no setor centro-norte da ilha, e com sentido

inverso na sua extremidade sul (Souza, 1997; Nascimento Jr., 2006; Souza *et al.*, 2008; Guedes, 2009).



Figura 5. Praia da Ilha Comprida próximo à localidade de Pedrinhas: presença de dunas frontais sobre terraços marinhos holocênicos, morfodinâmica dissipativa e erosão acelerada (foto: Celia R. de G. Souza, 28/11/2002).

Dependendo das condições meteorológicas e das diferenças na energia de ondas, as praias dos dois setores morfodinâmicos podem assumir temporariamente estados morfodinâmicos intermediários (Souza, 1997), como também destacado por Marquez (2007) para a porção sul da Praia da Ilha Comprida.

Por outro lado, a erosão acelerada nos segmentos centro-sul das praias da Ilha Comprida, da Juréia e de Itanhaém (Figura 6), tem provocado nesses locais a modificação permanente do estado morfodinâmico da praia, passando a predominar o intermediário (Souza, 1997), situação esta também observada por Nascimento Jr. (2006) para a Ilha Comprida e Bentz (2004) na Praia da Juréia.



Figura 6. Praia de Itanhaém (Suarão-norte): morfodinâmica intermediária devido à erosão acelerada (foto: Celia R. de G. Souza, 09/10/2007).

Setor II

O Setor II (limite entre os municípios de Iguape e Peruíbe) está encaixado em uma irregularidade da linha de costa formada pela presença do Maciço da Juréia-Itatins, o qual segmenta os Setores I e III.

Embora a orientação da linha de costa e a largura e o gradiente da planície costeira e da plataforma continental se mantenham próximos àqueles dos setores vizinhos, aqui, a presença desse maciço rochoso explica as praias do tipo embaiadas ou de enseada, de morfodinâmica intermediária, ora com tendências dissipativas de alta energia (Praia do Una) e de baixa energia (praias do Guaraú-Guarauzinho e do Arpoador), ora com tendências reflexivas (praias do Itacolomi e do Rio Verde - Figura 7) (Souza, 1997; Souza; Souza, 2004).



Figura 7. Praia do Rio Verde (Peruíbe): morfodinâmica intermediária com tendências reflexivas (foto: Celia R. de G. Souza, 10/03/2003).

Setor IV

Neste setor (municípios de São Vicente, Santos e Guarujá), a linha de costa muda radicalmente de direção, formando um grande embaçamento costeiro de orientação N-S representado pelas baías de Santos e de São Vicente.

A expressiva presença do embasamento ígneo-metamórfico junto à linha de costa e a evolução geológica dessa área, muito ligada com a Zona de Falha de Cubatão (Rio Cubatão), determinaram a formação de um bloco abatido sobre o qual se desenvolveu o complexo Estuário Santista, que se encontra encaixado entre a Serra do Mar e as ilhas de São Vicente e Santo Amaro (Guarujá), separadas do continente e entre si por canais de maré que deságuam nas baías. Neste setor as planícies costeiras são estreitas.

As praias no interior das baías de São Vicente e Santos seguem orientações gerais EW e possuem morfodinâmica predominante dissipativa de baixa energia (Figura 8). Alterações no estado morfodinâmico ocorrem em situações de maior ondulação, como durante e logo após a entrada de frentes frias (Souza *et al.*, 2012a). Também, devido a processos erosivos intensos, a Praia do Gonzaguinha-Milionários (São Vicente) passou de dissipativa de baixa energia para intermediária com tendências dissipativas (Souza, 2001, 2007, 2008) (Figura 9).



Figura 8. Praia de Santos (extremo oeste/Canal 1): morfodinâmica dissipativa de baixa energia (foto: Celia R. de G. Souza, 23/05/2011).



Figura 9. Praia do Gonzaguinha, em São Vicente (extremo oeste), morfodinâmica intermediária com tendências dissipativas de baixa energia; notar a fraca corrente de retorno na porção central e as amplas cúspides praias (foto: Celia R. de G. Souza, 19/08/2010).

No Guarujá, a maior parte das praias tem orientação NE-SW e apresenta estados intermediários com tendências dissipativas (Figura 10). Praias de bolso, com tendências reflexivas também estão presentes, como as praias do Tombo, de São Pedro e do Góes. Esta última apresenta características mistas entre os estados reflexivo e dissipativo de baixa energia, o que pode estar associado ao fenômeno de rotação praial que a mesma sofreu recentemente (Souza, 2011). Esse fenômeno representa um realinhamento da praia causado pela transferência de sedimentos de uma extremidade para a outra da mesma, devido à inversão da deriva litorânea resultante (Figura 11).



Figura 10. Praia da Enseada (Guarujá): intermediária com tendências dissipativas de alta energia; notar as barras de deriva litorânea segmentadas e as correntes de retorno associadas (foto: Celia R. de G. Souza, 18/01/2009).



Figura 11. Extremidade leste da Praia do Góes (Guarujá): à esquerda, antes da rotação praial (08/01/2010); à direita, após a rotação praial (13/03/2010), com o soterramento da ponte de acesso à praia (fotos: Celia R. de G. Souza).

Setor V

O Setor V, que compreende as praias dos municípios de Bertioga e de São Sebastião até a entrada do Canal de São Sebastião, é caracterizado pela presença de uma planície costeira estreita, porém praticamente contínua, que vai ficando cada vez menor em direção ao canal. A linha de costa é interrompida por morros isolados do embasamento e orientada segundo a direção geral ENE-WSE.

Em Bertioga as praias são geralmente do tipo praia de enseada, de morfodinâmica dissipativa com tendências intermediárias, mas se tornam mais reflexivas e de alta energia em São Sebastião.

As representações mais expressivas de praias em estados reflexivo de alta energia e intermediário estão neste setor, respectivamente como as praias de Boiçucanga (Figura 12) e de Maresias (Figura 13).

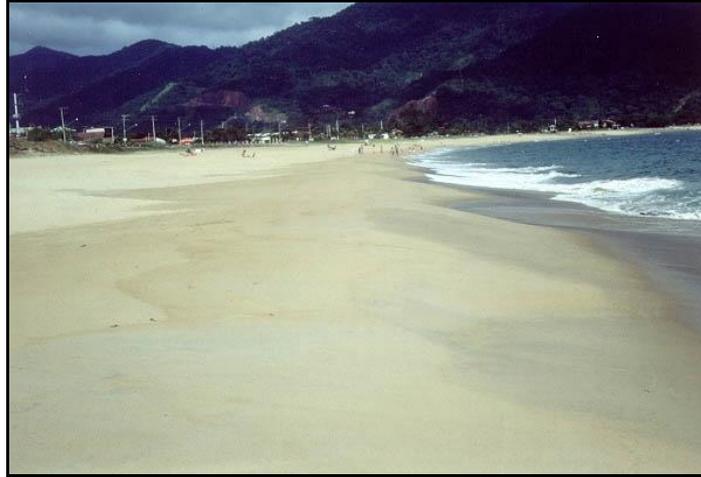


Figura 12. Boiçucanga (São Sebastião): reflexiva de alta energia; notar a ausência de zona de surfe e a morfologia rítmica de cúspides praias de espraiamento (foto: Celia R. de G. Souza, 14/09/2007).



Figura 13. Praia de Maresias (São Sebastião): estado intermediário típico, notar a morfologia rítmica, com barras de deriva litorânea segmentadas associadas a cúspides praias de surfe e correntes de retorno (foto: Celia R. de G. Souza, 14/09/2007).

Setor VI

A presença da Ilha de São Sebastião e do Canal de São Sebastião (municípios de São Sebastião e Ilhabela) resultou na formação de praias de muito baixa hidrodinâmica de ondas. As ondas geradas em mar aberto praticamente não atuam neste setor, sendo as ondas geradas pelos ventos locais (fracos a moderados) e as intensas correntes de fundo os principais agentes hidrodinâmicos. Nesse trecho de linha de costa, as planícies costeiras são quase inexistentes e a plataforma continental é estreita e inclinada.

Com isso, os perfis praias apresentam comportamento morfodinâmico singular: pós-praia e estirâncio com feições de praia reflexiva de baixa energia, e face litorânea com características de praias dissipativas de baixa energia (Figura 14). Por isso, o estado morfodinâmico dominante das praias foi classificado como “misto”. Em outras palavras, não se encaixa nos modelos morfodinâmicos clássicos. Isto se deve ao fato dessas praias de enseada, praticamente sem planície costeira, serem semi-controladas geologicamente pelo embasamento ígneo-metamórfico circundante, segundo o modelo proposto por Jackson e Cooper (1984).



Figura14. Praia da Armação (Ilhabela): morfodinâmica “mista”, com perfil emerso exibindo feições de praia reflexiva de baixa energia e perfil submerso com características de praia dissipativa de baixa energia (foto: Celia R. de G. Souza).

Setor VII

Neste setor, que engloba as praias do extremo norte de São Sebastião e dos municípios de Caraguatatuba e Ubatuba, a linha de costa é caracterizada pela presença de reentrâncias bem marcadas, formando grandes enseadas e pequenas baías. À exceção da planície costeira de Caraguatatuba, as demais são pouco desenvolvidas e encaixadas em pequenos anfiteatros, variando continuamente de tamanho. A plataforma continental é também estreita.

Por essas razões, este setor apresenta praias de enseada e de bolso, pequenas e de vários tipos morfodinâmicos, sendo mais comuns as praias dissipativas e reflexivas de baixa

energia (praias ao fundo de baías) e as praias intermediárias com tendências dissipativas e reflexivas de alta energia (praias abertas para SE). Praias dissipativas de baixa energia também estão presentes (praias de orientação NW-SE).

Outra característica deste setor é a presença de praias cujo estado morfodinâmico varia no mesmo arco praiial (praias de orientação N-S e NE-SW), a exemplo das praias de Caraguatatuba, Massaguaçu, Itamambuca (também constatado por Hurtado *et al.*, 2004) e Vermelha do Norte.

Na Praia de Caraguatatuba, por exemplo, o estado morfodinâmico varia de dissipativo de baixa energia ao norte, para reflexivo de baixa energia na porção central, até ultradissipativo ao sul (Figura 15).

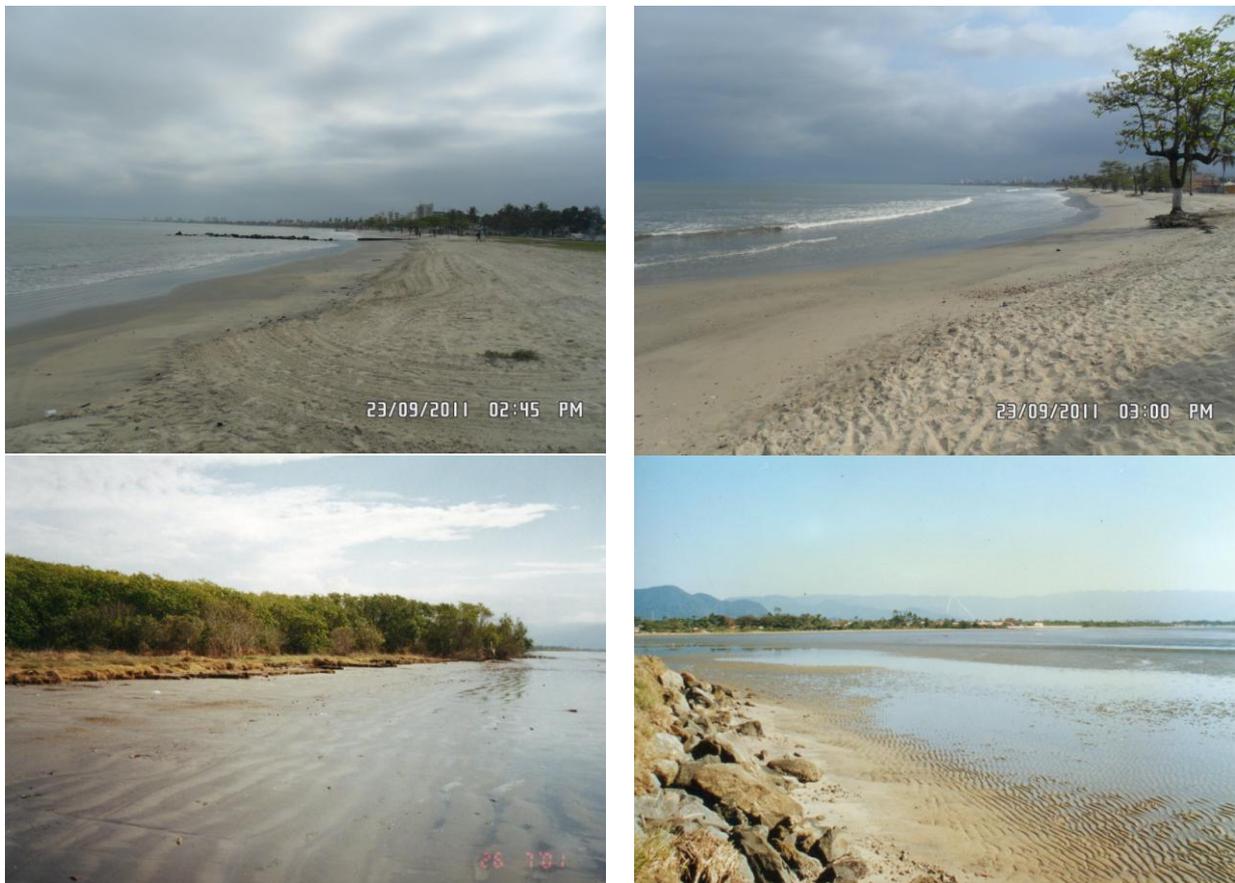


Figura 15. Praia de Caraguatatuba. Acima: (esquerda) setor norte, próximo à desembocadura do Rio Santo Antônio, exibindo morfodinâmica dissipativa de baixa energia; (direita) trecho central da praia, próximo à desembocadura do Ribeirão da Lagoa, com características reflexivas de baixa energia. Abaixo: planície de maré arenosa (limite Caraguatatuba/São Sebastião), próximo à desembocadura do Rio Juqueriquerê (esquerda) e na extremidade sul da praia (direita), ambas exibindo estado ultradissipativo (fotos: Celia R. de G. Souza).

Este último trecho, localmente conhecido como Praia da Enseada (município de São Sebastião), se estende da desembocadura do Rio Juqueriquerê até a terminação sul da praia (planície de maré de Caraguatatuba), e compreende a única praia com características ultradissipativas de São Paulo.

Em síntese, nas porções sul e centro-sul do litoral paulista predominam as praias dissipativas. Rumo ao norte, as praias vão se tornando intermediárias a dissipativas e intermediárias a reflexivas até a entrada do Canal de São Sebastião, onde as praias não têm estado morfodinâmico definido segundo os modelos clássicos. A costa norte do Estado é dominada por enseadas e baías, com praias cujos estados morfodinâmicos variam de praia para praia e até dentro do mesmo arco praial, predominando os intermediários a dissipativos e os reflexivos a intermediários. Ali ocorre a única praia ultradissipativa.

Portanto, em termos gerais, de sul para norte do litoral paulista aumenta a refletividade das praias, enquanto a dissipatividade diminui. Isso é consequência da variabilidade da fisiografia costeira, que implica na mudança de forma e direção da linha de costa, bem como na sua orientação em relação ao ataque das ondas mais energéticas ligadas aos sistemas frontais e ciclones extratropicais (SSW-S-SSE). Nestas condições as praias sofrem modificações temporárias no seu estado morfodinâmico, tal que: as praias de maior mobilidade são as intermediárias, seguidas das dissipativas e reflexivas de alta energia; as praias menos móveis são as dissipativas e reflexivas de baixa energia.

Como visto anteriormente, modificações permanentes no estado modal também podem ocorrer em determinados trechos das praias, devido à atuação de processos erosivos intensos. Neste sentido, o estado reflexivo é o extremo erosivo de estado dissipativo (Short, 1979).

Silveira *et al.* (2011) utilizaram uma série temporal de fotografias aéreas para a determinação do estado morfodinâmico das praias entre Santos e Ubatuba. Essa classificação foi elaborada com base na análise da extensão das zonas de surfe e de espraiamento das praias, bem como da presença de barras, correntes de retorno e cúspides praias. Apesar das limitações desse tipo de método, os autores apontaram acertos de 81% para 48 praias analisadas por Souza (1997) nos setores IV, V e VII. Para o Setor VI não obtiveram resultados adequados.

Características Sedimentológicas das Praias Paulistas

Conceitos Importantes

Além dos atributos morfológicos, também as características sedimentológicas (granulometria, morfoscopia, mineralogia e conteúdo biodetrítico) de uma praia estão essencialmente vinculadas ao seu estado morfodinâmico.

As características sedimentológicas de uma praia dependem de condicionantes geológico-geomorfológicos, oceanográficos, biológicos e antrópicos, dentre os quais se destacam: fisiografia costeira, clima de ondas, correntes costeiras, ventos, marés, presença de rios, tipo e composição petrográfica das rochas que afloram na região costeira (áreas-fonte dos sedimentos costeiros), presença de organismos com partes calcárias e silicosas, e intervenções antrópicas na linha de costa.

A granulometria de um sedimento é, em geral, caracterizada por meio dos parâmetros estatísticos de Folk e Ward (1957): diâmetro médio, desvio padrão, assimetria e curtose. Esses parâmetros texturais dão pistas sobre os processos sedimentares atuantes, as fontes de sedimentos, as variações de energia do meio, e o tipo de agente de transporte (Folk e Ward, 1957; Tanner, 1995).

O diâmetro médio reflete a média geral do tamanho dos sedimentos, que é afetada pela fonte de suprimento do material, pelos processos de deposição e pela velocidade das correntes. Possui correlação direta com a morfodinâmica da praia. Assim, por exemplo, grãos finos tendem a repousar em equilíbrio em perfis planos e de baixa inclinação, enquanto grãos maiores estão associados a perfis mais declivosos e irregulares (*e.g.* Komar, 1976).

O desvio padrão representa o grau de seleção do sedimento, que em geral aumenta em função do sentido de transporte, devido ao decréscimo da granulometria e da energia para jusante da corrente. A seleção pode se processar pela ação de três tipos de mecanismos diferentes: seleção progressiva (durante o transporte); seleção local (durante a deposição); ou ambas ao mesmo tempo. Nos sedimentos praias o grau de seleção é, em geral bom, porém será relativamente maior em ambientes de alta energia de ondas, do que em praias

abrigadas, onde o retrabalhamento dos sedimentos é menor. Em geral, as areias mais finas tendem a ser mais bem selecionadas do que as mais grossas.

A assimetria ou grau de assimetria de um sedimento é indicado pelo afastamento do diâmetro médio da mediana, ou seja, a posição da cauda da curva de distribuição de frequência modal. Se a assimetria for positiva a distribuição da moda do sedimento se achará desviada para o lado das partículas mais finas (maiores valores de f_i). Ao contrário, se a assimetria for negativa, a dispersão será para as partículas mais grossas (menores f_i). Os sedimentos praias comumente apresentam curvas com tendências negativas de assimetria devido à baixa percentagem de materiais grossos (Kukul, 1971). Friedman (1961) encontrou assimetrias negativas para a maior parte das praias da costa leste dos Estados Unidos. Da mesma forma, Martins (1965) também identificou assimetrias negativas predominando nas praias do Rio Grande do Sul (praias dissipativas de alta energia e intermediárias com tendências dissipativas).

A curtose retrata o grau de agudez das curvas de distribuição de frequência modal, ou seja, das dispersões (espalhamento) da moda na parte central das curvas de distribuição. Distribuições muito platicúrticas indicam sedimentos bimodais, com duas modas iguais e amplamente separadas. Distribuições leptocúrticas indicam curvas agudas, e sedimento unimodal. De acordo com Tanner (1995), que estudou inúmeras praias ao redor do mundo, a curtose é sensível à energia das ondas, sendo inversamente proporcional à mesma. Desta forma, valores platicúrticos (curtose baixa) indicam alta energia e valores leptocúrticos (alta curtose) indicam baixa energia. Souza (1997) testou a curtose como indicador de variação relativa de energia de ondas ao longo das principais praias de cada setor morfodinâmico do litoral paulista e obteve uma correlação positiva de 88%.

A morfoscopia (esfericidade, arredondamento e textura superficial) dos grãos de quartzo pode dar informações sobre a natureza da fonte (esfericidade), o grau de retrabalhamento e de maturidade dos sedimentos (arredondamento), e os mecanismos de transporte (textura superficial) (Souza, 1990).

A assembleia de minerais pesados contida num sedimento pode provir indicações diretas sobre a área-fonte, e indiretas sobre a maturidade e o meio de transporte dos grãos, bem como sobre o sentido de transporte costeiro.

Nas praias paulistas os estudos sobre as assembleias de minerais pesados ainda são poucos, tendo sido desenvolvidos por: Freitas (1951a, 1951b, 1953, 1960a, 1960b) para praias de Praia Grande, Guarujá, São Sebastião, Caraguatatuba e Ubatuba; Barcelos (1975), Tessler (1988), Nascimento Jr. (2006) e Guedes (2009) para as praias da Ilha Comprida; Giannini (1987) para as praias de Peruíbe; e Souza (1990) para praias de Caraguatatuba.

Síntese das características texturais das praias paulistas

Embora as praias de São Paulo tenham sido estudadas quanto à granulometria por praticamente todos os autores citados na Tabela 1, por questões práticas, os resultados apresentados aqui se referem ao conjunto de dados obtidos por Souza (1997). De maneira geral e, como esperado, esses resultados são semelhantes aos resultados dos demais trabalhos.

Souza (1997) analisou 1.300 amostras de areias coletadas na pós-praia, no estirâncio e na face litorânea superior, em 212 perfis monitorados nos meses de junho-julho/1992 e janeiro-fevereiro/1993, distribuídos em 85 arcos praias de extensão $\geq 0,5$ km ao longo de toda a costa de São Paulo. Os resultados foram agrupados com base nas médias dos valores dos quatro parâmetros texturais obtidos para o conjunto de todas as praias de cada setor morfodinâmico, conforme mostra a Figura 16.

Esses resultados indicam que todas as amostras apresentaram distribuições unimodais.

Em relação ao conjunto de todos os parâmetros texturais, observa-se que, assim como para a fisiografia costeira, também há variações regionais no comportamento dos sedimentos. Nos Setores I a IV predominam areias finas e muito bem selecionadas, simétricas e mesocúrticas. No Setor V as areias são principalmente muito finas a finas e muito bem selecionadas, simétricas e mesocúrticas. O Setor VI, como esperado, se mostrou anômalo em relação aos demais, apresentando areias médias e moderadamente selecionadas, simétricas a positivas e mesocúrticas. No Setor VII são mais frequentes as areias finas e médias, moderadamente selecionadas, simétricas e mesocúrticas.

As areias finas predominam nas praias de quase todo o litoral, à exceção das praias do Setor VI (areias médias) e do Setor V (areias muito finas apresentaram frequências pouco mais elevadas que as finas).

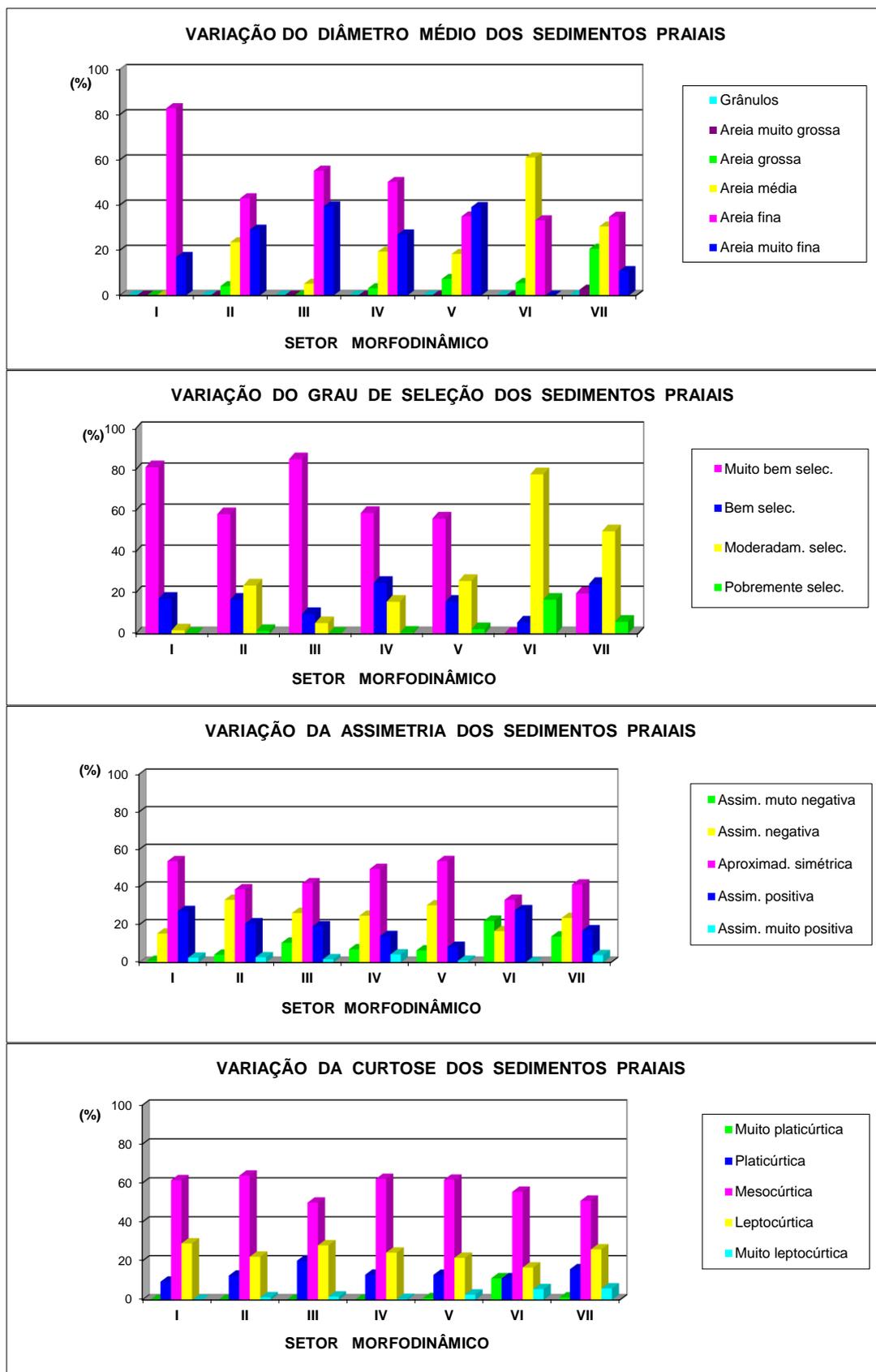


Figura 16. Distribuição percentual dos parâmetros texturais dos sedimentos em cada setor morfodinâmico (fonte: Souza, 1997, 2003).

De maneira geral, as porcentagens de areias médias até muito grossas e grânulos se elevam nos setores II, IV, V, VI e VII, e numa distribuição crescente rumo ao Litoral Norte. Isso é esperado, tanto pela maior proximidade da área-fonte (rochas do embasamento junto à linha de costa), como pela relativa mais baixa energia de ondas (costas mais recortadas e mais abrigadas), que acarretam menor retrabalhamento dos sedimentos. Já nos setores I e III, justamente onde os arcos praias são longos e mais expostos, essas modas são inexistentes ou inexpressivas e a presença do embasamento é rarefeita.

Assim, o estado morfodinâmico é causa e efeito desses processos, cuja amplitude temporal deve remontar pelo menos ao Holoceno.

As areias muito bem selecionadas perfazem mais de 50% das classes dos setores I a V. Nos setores VI e VII predominam as moderadamente selecionadas. As classes moderadamente e pobremente selecionadas aumentam sempre quando há presença do embasamento e de forma gradativa do Litoral Sul para o norte. As causas para essas tendências são as mesmas explanadas para o diâmetro médio.

O índice da assimetria mostrou-se predominantemente nulo (simétrico) em todas as praias, em geral seguido pelas assimetrias negativas, exceto nos setores I e VI, onde as assimetrias positivas são mais importantes. No caso do Setor I, esse fato pode estar relacionado à maior atividade eólica que ocorre nas praias da Ilha Comprida e da Juréia. Bentz (2004), Nascimento Jr. (2006) e Guedes (2009) encontraram assimetrias mais positivas nas dunas e mais negativas nos sedimentos da face praial da Ilha Comprida e da Juréia. Giannini *et al.* (2003) também ressaltou a predominância de assimetrias positivas em dunas costeiras. É interessante notar ainda que as assimetrias positivas decrescem paulatinamente do Setor I para o Setor V, ou seja, no mesmo sentido em que a importância do retrabalhamento eólico nas praias também diminui. No Setor VI, os termos positivos (não esperados) devem estar associados às contribuições de materiais finos provenientes do Rio Juqueriquerê e da planície de maré de Caraguatatuba, transportados pela corrente longitudinal que sai da Enseada de Caraguatatuba e adentra o canal pelo seu lado continental (Souza, 1990), bem como à baixa hidrodinâmica nesse trecho.

Em relação à curtose, predominam os valores nulos (mesocúrticos), seguidos da classe leptocúrtica em todos os setores. Observando apenas o comportamento dos valores muito leptocúrticos, constata-se que há um ligeiro aumento dessa classe de sul para norte,

evidenciando então diminuição de energia relativa das ondas nesse sentido, da mesma forma que constatado para os resultados do diâmetro médio e do grau de seleção.

Em síntese, o comportamento dos parâmetros texturais também demonstrou o aumento da refletividade das praias de sul para norte, e a conseqüente diminuição da dissipatividade nesse sentido. Aliás, a própria distribuição das classes dentro de cada parâmetro textural refletiu essas tendências. Por exemplo, quanto maior a amplitude e heterogeneidade de distribuição das classes (como nos setores VI e VII), maior a refletividade das praias e vice-versa.

Todas as relações texturais encontradas estão vinculadas à variabilidade da fisiografia costeira, às diferenças de energia relativa de ondas e do grau de exposição da costa aos sistemas de maior energia provenientes do quadrante sul e, portanto, também à variabilidade nos estados morfodinâmicos dos setores costeiros.

Finalmente, os resultados obtidos indicam ainda que, de maneira geral, essas praias foram formadas a partir do retrabalhamento de sedimentos marinhos antigos, já retrabalhados em ciclos sedimentares precedentes (durante o Pleistoceno e o Holoceno). Essa ideia também foi referenciada em estudos realizados ao longo do litoral paulista, que integraram análises granulométricas, morfoscópicas e mineralógicas, dentre eles: Freitas (1951a, 1951b, 1953, 1960a, 1960b), Bigarella *et al.* (1966), Barcelos (1975), Tessler (1988), Giannini (1987), Souza (1990), Nascimento Jr. (2006) e Guedes (2009).

Transporte Costeiro Longitudinal: Células de Deriva Litorânea

Conceitos importantes

A incidência de ondas na linha de costa gera um sistema de circulação ou correntes costeiras, que pode ser dividido em quatro tipos: transporte de massa de água costa-adentro (*onshore transport*); correntes de deriva litorânea (*longshore currents*); fluxos de retorno costa-afora, que incluem as correntes de retorno e o transporte de massa de água costa-afora (*offshore transport*); e o movimento ao longo da costa das cabeças das correntes de retorno (USACE, 2003). As marés e as correntes geradas por elas interagem permanentemente com esses mecanismos.

O ângulo de incidência das ondas na praia determinará o tipo de circulação costeira. A componente paralela à praia, denominada corrente de deriva litorânea ou longitudinal, é a mais importante dentre as correntes costeiras. Ela é o principal agente de movimentação, retrabalhamento e distribuição dos sedimentos ao longo da costa.

A deriva litorânea é produto de duas componentes vetoriais, a deriva costeira, que atua na zona de surfe e tem sentido paralelo à praia, e a deriva praial, que atua no estirâncio e face da praia, definindo um padrão de transporte em forma de dente-de-serra, mas com mesmo sentido resultante da deriva costeira (Taggart e Schwartz, 1988; Komar, 1991).

A deriva litorânea resultante tem o sentido no qual a maioria dos sedimentos se move durante um longo período de tempo, a despeito da ocorrência de qualquer sentido oposto, menor ou sazonal de movimento.

Cada setor de costa com um determinado sentido de deriva litorânea resultante forma uma “célula de circulação costeira” (Noda, 1971; Jacobsen; Schwartz, 1981; Taggart; Schwartz, 1988). Cada célula consiste de três zonas: (a) zona de erosão, onde se origina a corrente (barlamar) e há maior energia de ondas; (b) zona de transporte, através da qual os sedimentos são transferidos ao longo da costa; e (c) zona de deposição ou acumulação, onde a corrente termina (sotamar), havendo diminuição de energia das ondas. Uma célula de circulação costeira pode começar e terminar ao longo de um pequeno trecho, de poucas dezenas de metros, ou pode se prolongar por quilômetros de distância (Taggart; Schwartz, 1988).

Quando duas células estão presentes, lado a lado, duas situações podem ocorrer: (i) convergência de correntes (zona de sotamar de duas células), onde haverá intensa acumulação de sedimentos; (ii) divergência de correntes (zona de barlamar de duas células), onde o processo erosivo será acentuado.

Quando duas células de deriva litorânea se encontram ou a terminação da célula se dá na extremidade da praia, há a geração de outra componente, transversal à linha de costa, a corrente de retorno. Esta é responsável pelo transporte de sedimentos para fora da praia e também é uma das principais causas de afogamentos nas praias.

Souza (1997) estabeleceu o comportamento das células de deriva litorânea para as praias paulistas em relação às amostragens realizadas em junho-julho/1992 e janeiro-fevereiro/1993. Para tanto, desenvolveu um método baseado na variação lateral de três

parâmetros texturais - diâmetro médio, grau de seleção e curtose (indicador do nível de energia), e dois parâmetros morfológicos - largura da praia e declividade no estirâncio (Souza; Suguio, 1998; Souza, 2007).

Assim, os parâmetros de cada perfil praiial são sistematicamente comparados com os seus vizinhos, por meio de uma “Matriz de Comparação”, levando em consideração a abordagem conceitual de Taggart e Schwartz (1988), tal que, da zona de barlamar para a zona de sotamar de uma célula ocorrem as seguintes modificações na praia: os sedimentos se tornam mais finos (diâmetro médio aumenta), o grau de seleção melhora (desvio padrão diminui), a energia diminui (curtose aumenta), a declividade do estirâncio diminui e a largura da praia aumenta (Figura 17).

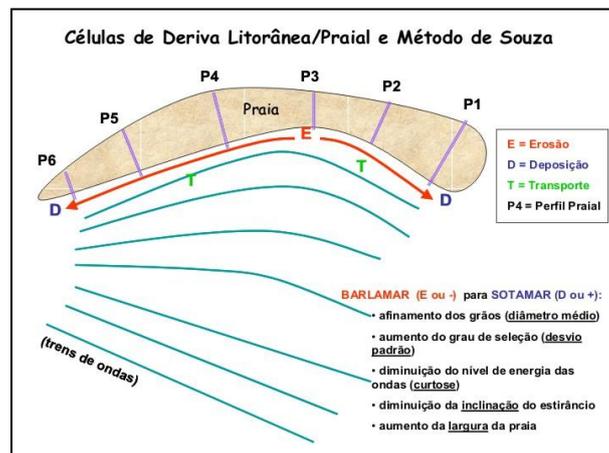


Figura 17. Esboço conceitual do método de caracterização de células de deriva litorânea de Souza (1997, 2007).

A deriva litorânea resultante corresponde à somatória das células obtidas em cada arco ou segmento praiial.

Outro método para determinar os padrões de transporte longitudinal é o de McLaren e Bowles (1985), que utilizaram diferentes mecanismos de transporte para explicar as variações possíveis do diâmetro médio, do grau de seleção e da assimetria.

As células de deriva litorânea nas praias paulistas

Souza (1997) foi pioneira na caracterização sistemática de transporte costeiro longitudinal nas praias do Estado de São Paulo.

Até essa época apenas alguns poucos trabalhos se referiam à atuação de correntes de deriva litorânea resultante nos arcos praias, porém sempre de maneira generalizada, a exemplo de Barcelos (1975), Giannini (1987), Tessler (1988), Souza (1990) e Ponçano *et al.* (1994). Esses autores se baseavam em indicadores geomórficos de transporte e algumas variações texturais e mineralógicas mais evidentes ao longo das praias.

Souza (1997) comparou seus resultados com os de Ponçano *et al.* (1994) e encontrou muitas diferenças. Em relação aos demais autores, os resultados foram congruentes no que se refere ao transporte resultante geral.

Souza (1997) também aplicou o método de McLaren e Bowles (1985) nas praias paulistas e conclui que, apesar das similaridades encontradas entre os resultados deste e do método das células, o primeiro apresenta uma resposta melhor na avaliação de transportes regionais, entre duas ou mais praias.

Bomtempo (1991), por sua vez, foi pioneiro no estabelecimento de rumos de transporte costeiro a partir de dados de medições de ondas e lançamentos de garrafas de deriva, estudando as praias do Una e do Rio Verde. Souza (1997) encontrou resultados semelhantes aos desse autor.

A partir da década de 2000, surgiram vários estudos explorando o tema de transporte costeiro nas praias paulistas, com os mais variados objetivos.

Bentz (2004), Nascimento Jr. (2006) e Guedes (2009) aplicaram o método de McLaren e Bowles (1985) e encontraram similaridades com os principais padrões obtidos por Souza (1997).

Os estudos sobre sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo realizados para todo o litoral paulista (Lima, 2005; Wieczorek, 2006; Pincinato, 2007; Rocha, 2008; Romero, 2008; Cunha 2009; Perinotto, 2010) utilizaram o Método de Souza (1990, 2007) para a caracterização do transporte costeiro nas praias.

Recentemente, esse método também foi aplicado nas praias do interior da Baía de Santos, em projeto para averiguar possíveis impactos da dragagem de aprofundamento do Porto de Santos, com resultados para 2 anos de monitoramento (Souza *et al.*, 2012a).

Estudos levando em conta a aplicação de modelos de refração de ondas foram realizados por Araújo (2000) e Rogacheski (2010).

O primeiro trabalhou nas praias de Itanhaém, utilizando dados de ondas coletados por Bomtempo (1991) nas praias do Rio Una e Verde, entre 1982-1985. Os resultados obtidos demonstraram que o transporte longitudinal resultante foi para SW, contrariando todos os estudos prévios que utilizaram dados sedimentológicos e indicadores geomórficos de transporte costeiro na região (Ponçano, 1976; Giannini, 1987; Cazzoli, 1997; Ponçano *et al.*, 1994; Souza, 1997), os quais sugeriram transporte resultante para NE, mas com pequenas inversões para SW (Souza, 1997).

Rogacheski (2010) estudou a Praia de Massaguaçu e concluiu haver diferentes rumos resultantes de deriva litorânea, quando em condições de tempo bom e tempestades; obteve resultados semelhantes aos descritos por Souza (1997) e Souza e Luna (2010).

Levando em consideração a gama de processos e as complexidades inerentes a cada praia e aos métodos aplicados, bem como o fato de que esses processos podem variar com o tempo, optou-se por apresentar aqui apenas um dos exemplos de Mapa de Células de Deriva Litorânea obtidos por Souza (1997), conforme mostra a Figura 18. Na Tabela 4 está um exemplo da Matriz de Comparação elaborada para a Praia de Bertiooga (ou Enseada de Bertiooga).

Tabela 4. Modelo de Matriz de Comparação elaborada para a Praia de Bertiooga (fonte: Souza, 1997). (INV. = inverno; VER. = verão).

| Etapas de Amost | Perfil Praia | PARÂM. TEXTURAIIS | | | MORFOLOGIA | | Resultado Final | PROCESSO E=erosão D=deposição T=transporte | SENTIDO DA DERIVA |
|-----------------|--------------|-------------------|-----------------|----------|------------|---------|-----------------|---|-------------------|
| | | Diâmetro Médio | Grau de Seleção | Curto-se | Inclinação | Largura | | | |
| INV. | 108 | - | + | - | + | + | + | D | SW |
| | 109 | +/+ | -/- | +/+ | -/+ | -/+ | -/+ | T | SW |
| | 110 | -/- | +/- | -/+ | -/- | -/+ | -/- | E | SW/NE |
| | 111 | +/- | +/- | -/+ | +/- | -/+ | +/- | T | NE |
| | 112 | + | + | - | + | - | + | D | NE |
| VER. | 336 | + | - | - | - | + | - | E | NE |
| | 335 | -/+ | +/+ | +/+ | +/+ | -/- | +/+ | D | NE/SW |
| | 334 | -/- | -/+ | -/+ | -/- | +/+ | -/+ | T | SW |
| | 333 | +/- | -/- | -/+ | +/- | -/+ | -/- | E | SW/NE |
| | 332 | + | + | - | + | - | + | D | NW |

Erosão Costeira

Conceitos importantes

Os processos sedimentares (erosão, deposição e transporte) que ocorrem em uma praia são produto de condicionantes geológicos-geomorfológicos meteorológicos/climáticos, oceanográficos/hidrológicos e antrópicos (Souza, 1997, 2009a, 2009b).

O resultado do conjunto de processos sedimentares que atuam na praia pode ser medido por meio do seu balanço sedimentar que é, em outras palavras, a relação entre as perdas/saídas e os ganhos/entradas de sedimentos nessa praia (Figura 19).

Quando o balanço sedimentar da praia for negativo, ou seja, quando a saída/perda de sedimentos for maior do que a entrada/ganho de sedimentos, haverá um déficit sedimentar, predominando assim o processo erosivo. Isto acarretará diminuição paulatina de sua largura e a retração da linha de costa.

Se o saldo for positivo, a praia tenderá a crescer em largura, pela deposição predominante de sedimentos, e a linha de costa progradará.

No balanço sedimentar nulo (igual a zero) haverá o equilíbrio do sistema praial.

A erosão em uma praia se tornará problemática quando for um processo severo, acelerado e permanente ao longo de toda essa praia ou em partes dela, ameaçando assim áreas de interesse ecológico e/ou socioeconômico (Souza *et al.*, 2005). Nessas condições o fenômeno passa a ser denominado de erosão praial, quando se refere somente às praias, ou erosão costeira, quando atinge também promontórios, costões rochosos e falésias.

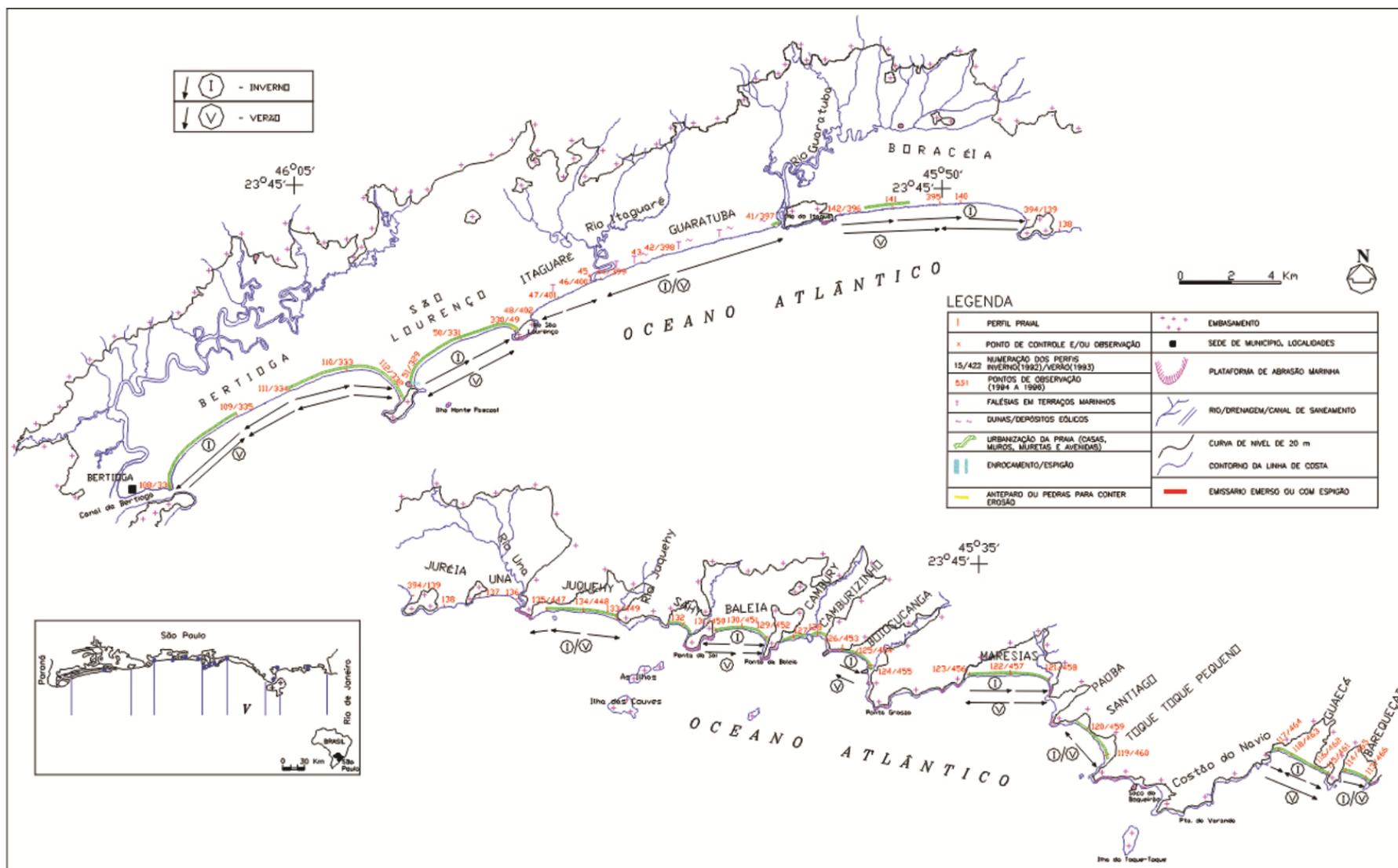


Figura 18. Células de deriva litorânea no Setor morfodinâmico V obtidas por Souza (1997).

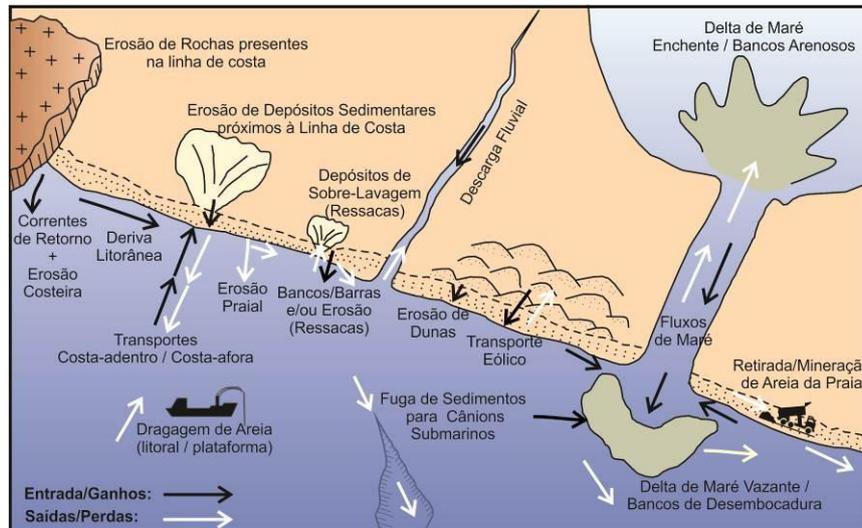


Figura 19. Esquema representativo do balanço sedimentar costeiro (modificado de Souza, 2009a, 2009b).

Embora a erosão costeira seja essencialmente produto de balanço sedimentar negativo no sistema praial, essa situação é decorrente de diversos mecanismos e fenômenos que podem ser atribuídos a processos naturais e fatores antrópicos (Souza; Suguio, 1996; Souza, 1997, 2009a, 2009c; Souza *et al.*, 2005). Em geral, ambos interagem entre si o tempo todo no condicionamento da erosão costeira, sendo frequentemente difícil identificar quais são aqueles mais ativos, ou mesmo individualizar a atuação de cada um.

De maneira resumida, as causas naturais estão associadas a um conjunto de processos que atuam nas mudanças da dinâmica costeira, de curto até longo período, e à elevação do NM de curto (ressacas) e longo período. As causas antropicamente induzidas são relacionadas a uso e ocupação inadequados da zona costeira e, em especial, da linha de costa, que provocam alterações na dinâmica costeira e redução do estoque de sedimentos.

As 20 principais causas da erosão costeira em São Paulo e no Brasil (13 delas vinculadas a processos naturais e 7 de origem antropogênica), foram sistematizadas nos trabalhos de Souza *et al.* (2005) e Souza (2009a, 2009b, 2009c).

As consequências da erosão costeira também podem ser diversas (Souza, 2009a, 2009b, 2009c), destacando-se: redução na largura da praia e ou recuo da linha de costa; desaparecimento da zona de pós-praia e até da própria praia; erosão na porção a jusante dos sistemas fluviais-estuarinos, com possível alteração da circulação estuarina; perda de propriedades e bens ao longo da linha de costa; destruição de estruturas artificiais paralelas e transversais à linha de costa; problemas e até colapso dos sistemas de esgotamento

sanitário (obras enterradas e emissários submarinos); diminuição da balneabilidade das águas costeiras; perda de recursos pesqueiros; perda do valor paisagístico da praia e/ou da região costeira; perda do valor imobiliário de habitações costeiras; comprometimento do potencial turístico da região; prejuízos nas atividades socioeconômicas ligadas ao turismo e ao lazer na praia; artificialização da linha de costa (obras de “proteção” costeira); gastos astronômicos com a recuperação de praias e a reconstrução da orla marítima.

A erosão costeira em São Paulo

Souza (1997) foi pioneira nos estudos sistemáticos sobre erosão costeira nas praias de São Paulo, bem como na identificação, sistematização e monitoramento de indicadores de erosão o Brasil (Tabela 5).

Tabela 5. Indicadores de erosão costeira nas praias de São Paulo (Souza, 1997; Souza; Suguio, 2003).

| | |
|------|--|
| I | Pós-praia muito estreita ou inexistente devido à inundação pelas preamares de sizígia (praias urbanizadas ou não). |
| II | Retrogradação geral da linha de costa nas últimas décadas, com franca diminuição da largura da praia, em toda a sua extensão ou mais acentuadamente em determinados locais dela, migração da linha de costa sobre o continente (praias urbanizadas ou não). |
| III | Erosão progressiva de depósitos marinhos e/ou eólicos pleistocênicos a atuais que bordejam as praias, sem o desenvolvimento de falésias (praias urbanizadas ou não). |
| IV | Intensa erosão de depósitos marinhos e/ou eólicos pleistocênicos a atuais que bordejam as praias, provocando o desenvolvimento de falésias com alturas de até dezenas de metros (praias urbanizadas ou não). |
| V | Destruição de faixas frontais de vegetação de “restinga” ou de manguezal e/ou presença de raízes e troncos em posição de vida soterrados na praia, causados pela erosão acentuada ou o soterramento da vegetação devido à retrogradação/migração da linha de costa sobre o continente. |
| VI | Exumação e erosão de depósitos paleolagunares, turfeiras, arenitos de praia, depósitos marinhos holocênicos e pleistocênicos, ou embasamento sobre o estirâncio e/ou a face litorânea atuais, devido à remoção das areias praias por erosão costeira e déficit sedimentar extremamente negativo (praias urbanizadas ou não). |
| VII | Frequente exposição de “terraços ou falésias artificiais”, apresentando pacotes de espessura até métrica de camadas sucessivas de aterro erodido e soterrado por camadas de areias praias/eólicas, no contato entre a praia e a área urbanizada. |
| VIII | Destruição de estruturas artificiais construídas sobre os depósitos marinhos ou eólicos holocênicos, a pós-praia, o estirâncio, as faces praias e litorânea, a zona de surfe/arrebentação e/ou ao largo. |
| IX | Retomada erosiva de antigas plataformas de abrasão marinha, elevadas de +2 a +6 m, formadas sobre rochas do embasamento ígneo-metamórfico pré-cambriano-mesozóico, em épocas em que o nível do mar encontrava-se acima do atual, durante o Holoceno e o final do Pleistoceno (praias urbanizadas ou não). |
| X | Presença de concentrações de minerais pesados em determinados trechos da praia, em associação com outros indicadores erosivos (praias urbanizadas ou não). |
| XI | Desenvolvimento de embaíamentos formados pela presença de correntes de retorno concentradas e de zona de barlamar ou centros de divergência de células de deriva litorânea localizados em local(s) |

mais ou menos fixo(s) da linha de costa.

Tendo como base uma proposta de classificação de risco que relaciona o número de indicadores de erosão identificados (perfis de monitoramento) e a sua distribuição espacial ao longo da praia (Souza; Suguio, 2003), foi elaborado um Mapa de Risco à Erosão Costeira (Figura 20), que tem sido atualizado permanentemente (SMA, 2002; Souza, 2007, 2009a, 2009b; Souza *et al.*, 2008).

Os resultados atualizados para os 90 arcos praias monitorados em São Paulo são resumidos a seguir.

- ✓ Cerca de 33% das praias paulistas estão em risco Muito Alto (*MA*), 19% em risco Alto (*A*), 29% em risco Médio (*M*), 17% em risco Baixo (*B*), e apenas 2% (2 praias) estão sob risco Muito Baixo (*MB*).
- ✓ Em relação aos setores costeiros tem-se a seguinte classificação:
Litoral Norte: *MA* = 22,5%; *A* = 24%; *M* = 28%; *B* = 22,5%; *MB* = 3%
Baixada Santista: *MA* = 52%; *A* = 13%; *M* = 22%; *B* = 13%; *MB* = 0%
Litoral Sul: *MA* = 50%; *A* = 12,5%; *M* = 25%; *B* = 12,5%; *MB* = 0%.
- ✓ Em relação aos setores morfodinâmicos tem-se a seguinte classificação:
Setor I: *MA* = 60%; *A* = 20%; *M* = 20%; *B* = 0%; *MB* = 0%
Setor II: *MA* = 50%; *A* = 0%; *M* = 50%; *B* = 0%; *MB* = 0%
Setor III: *MA* = 33%; *A* = 67%; *M* = 0%; *B* = 0%; *MB* = 0%
Setor IV: *MA* = 50%; *A* = 0%; *M* = 36%; *B* = 14%; *MB* = 0%
Setor V: *MA* = 12%; *A* = 12%; *M* = 40%; *B* = 24%; *MB* = 12%
Setor VI: *MA* = 31%; *A* = 39%; *M* = 15%; *B* = 15%; *MB* = 0%
Setor VII: *MA* = 29%; *A* = 24%; *M* = 27%; *B* = 20%; *MB* = 0%.

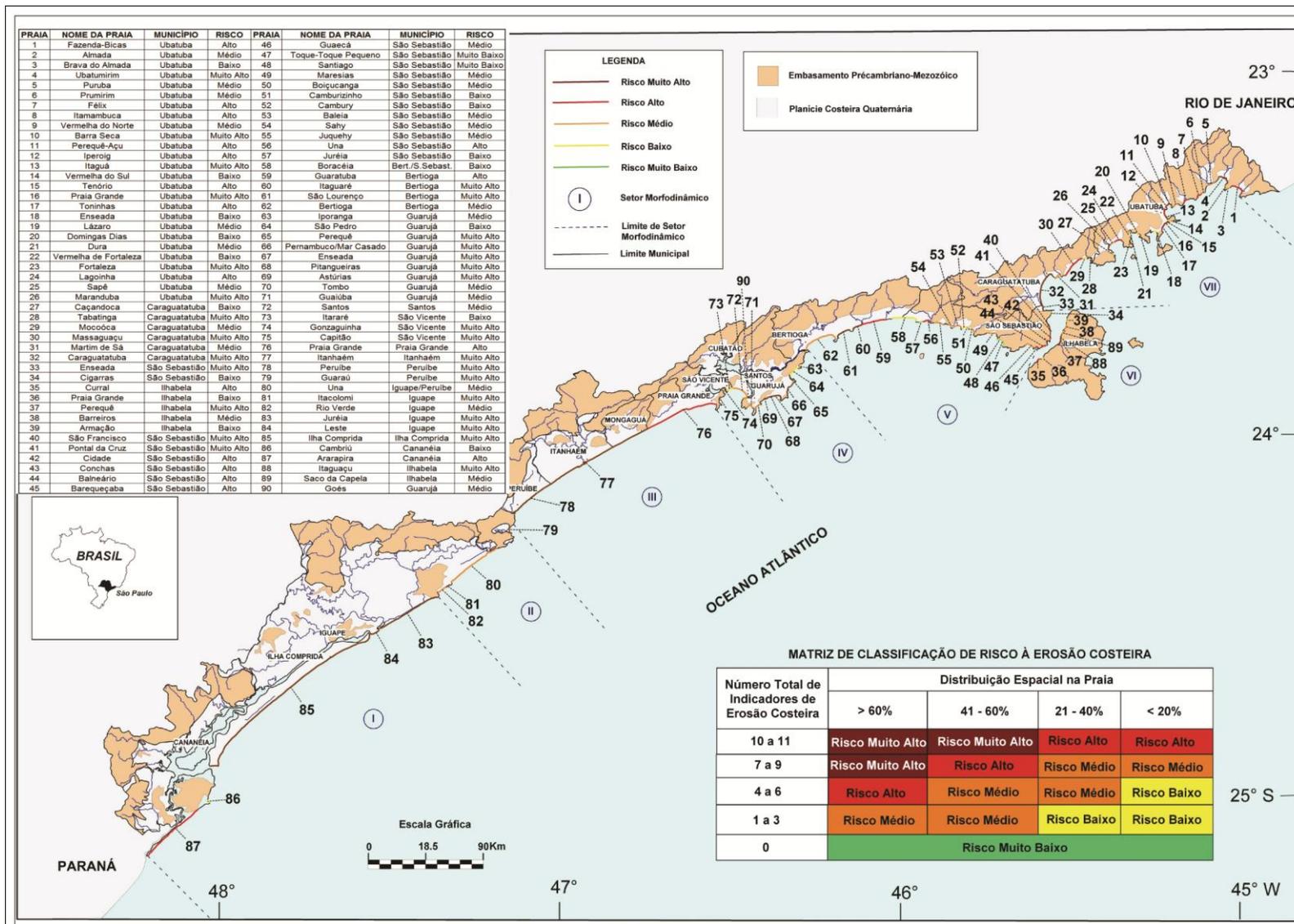


Figura 20. Mapa de Risco à Erosão Costeira (atualizado).

Portanto, os setores morfodinâmicos mais ameaçados são os setores I, II e VI, onde as praias sob riscos Muito Alto e Alto somam mais de 70% em cada um.

O Setor V é o menos ameaçado, pois predominam praias sob risco Médio e ainda ocorrem praias sob risco Muito Baixo, como Toque-Toque Pequeno e Santiago, as únicas nessa categoria no Estado de São Paulo.

Outro trabalho que também abordou o tema erosão costeira no litoral de São Paulo é o de Tessler *et al.* (2006). Os autores, entretanto, não apresentaram métodos de avaliação sistemática do processo e se referiram à sua ocorrência apenas em alguns poucos locais da costa paulista, a maioria deles associados a desembocaduras estuarinas e lagunares.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou um panorama geral sobre o estado da arte dos estudos sobre as praias de São Paulo, no contexto da Geomorfologia Costeira.

Os estudos realizados até o presente envolvem uma gama de temas, destacando-se, em ordem de decrescente de frequência: análises granulométricas; inferências e caracterizações do transporte costeiro envolvido (em especial o longitudinal), utilizando indicadores geomórficos, métodos morfo-sedimentológicos e modelagens de ondas; monitoramento praias por meio de perfilagens sistemáticas e periódicas; dinâmica sedimentar relativa aos períodos de monitoramento; balanço sedimentar; estudos sobre erosão costeira e risco à erosão; estudos sobre evolução da linha de costa de longo período, envolvendo retroanálises a partir de produtos de sensoriamento remoto, incluindo ou não o cálculo do balanço sedimentar; e estudos sobre sensibilidade ao derramamento de óleo nas praias.

O número de trabalhos desenvolvidos por município e por setor costeiro também se mostrou variável. A praia mais estudada até o momento é a de Ilha Comprida, e as menos estudadas estão na Ilha do Cardoso e na Ilhabela.

A maioria das pesquisas foi desenvolvida no âmbito da Universidade de São Paulo (Instituto Oceanográfico, Instituto de Geociências, Escola Politécnica) e do Instituto Geológico e, secundariamente, da UNESP (Instituto de Geociências-Rio Claro).

Finalmente, a avaliação feita permitiu a identificação de algumas lacunas de conhecimento, que incluem as seguintes necessidades:

- ✓ Monitoramentos sistemáticos, por meio de perfilagem praial, em diferentes condições meteorológicas-oceanográficas, para aprimorar o conhecimento sobre a dinâmica sedimentar da maioria das praias paulistas;
- ✓ Conhecimento detalhado sobre os processos oceanográficos, geológicos e geomorfológicos que regem essas praias, em especial durante a atuação de eventos extremos (tempestades e ressacas);
- ✓ Avaliações do balanço sedimentar das praias e do balanço sedimentar costeiro, incluindo as fugas de sedimentos por processos naturais e antrópicos;
- ✓ Conhecimento do clima de ondas em toda a costa paulista, por meio de medições diretas (ondógrafos/ADCPs) e/ou em trabalhos de perfilagem praial;
- ✓ Aplicação de modelagens baseadas em medições de ondas, mas com validações feitas por meio de estudos morfodinâmicos (dinâmica sedimentar) nas praias envolvidas;
- ✓ Trabalhos de retroanálise em praias, em especial naquelas sob maior risco de erosão (erosão acelerada), incluindo avaliação do balanço sedimentar de longo período e identificação das causas da erosão, visando medidas de mitigação e/ou recuperação;
- ✓ Estudos sobre os processos sedimentares que envolvem o perfil submerso das praias e da plataforma continental interna adjacente;
- ✓ Levantamentos batimétricos de detalhe em toda a costa paulista;
- ✓ Levantamentos sobre a variabilidade microclimática dos setores morfodinâmicos e estudo de suas relações com a dinâmica sedimentar das praias;
- ✓ Avaliações ou previsões sobre a elevação do NM, em escalas decadal a secular, para cada setor costeiro;
- ✓ Estudos visando à recuperação e/ou à mitigação da erosão acelerada em praias sob riscos alto e muito alto;
- ✓ Estudos visando à indicação de medidas de adaptação aos efeitos das variações climáticas atuais e da elevação do NM, incluindo a proposição de novos instrumentos legais;
- ✓ Incorporação dos conhecimentos adquiridos aos instrumentos de gestão costeira (planos diretores municipais, projetos Orla municipais, Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro, Agenda 21 etc.).

É importante ressaltar que a maioria dessas necessidades já foi apontada também para praias de outros estados brasileiros (Souza, 2009c).

AGRADECIMENTOS

À estagiária Camila A. de Brito e ao MSc. Agenor P. Souza, pelo auxílio na compilação bibliográfica e na formatação das referências bibliográficas.

Referências Bibliográficas

AB'SABER, A. N.; BERNARDES, N. O Vale do Paraíba, Serra da Mantiqueira e arredores de São Paulo. **Boletim do Conselho Nacional de Geografia**, Rio de Janeiro, 304p., 1958.

AB'SABER, A. N. Fundamentos da geomorfologia costeira do Brasil atlântico inter e subtropical. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Rio de Janeiro, v.1, n.1, p.27-43, 2000.

ALFREDINI, P. **O Clima de Agitação Ondulatória na Baía de São Vicente (SP)**. Relatório Técnico, 2003. 11p.

ALMEIDA, F. F. Os fundamentos geológicos do relevo paulista. **Boletim do Instituto Geográfico e Geológico**, São Paulo, v. 41, p.169-263, 1964.

ALMEIDA, F. F. M. de; CARNEIRO, C. D. R. Origem e evolução da Serra do Mar. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.28, nº 2, p.135-150, 1998.

ANTONELI, F. M. **Caracterização da dinâmica sedimentar atual na região d'As Ilhas, São Sebastião, litoral norte do Estado de São Paulo**. 2004. 103f. Dissertação de Mestrado, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

ARAÚJO, R. N. **O Cálculo do Transporte de Sedimentos Litorâneo: Estudo de Caso das Praias de Suarão e Cibratel, Município de Itanhaém, São Paulo**. 142f. 2000. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ARAÚJO, R. N. **A Propagação e Deformação das Ondas, a Dinâmica do Transporte Litorâneo e a Evolução de Linhas de Costa em Localidades do Litoral Paulista**. 438f. 2005. Tese de Doutorado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

BARCELOS, J. H. **Sedimentação e Sub-ambientes Depositionais da Ilha Comprida, SP.** 195f. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1975.

BARROS, M. O. de. **Dinâmica e evolução dos ambientes praias da Fazenda, do Puruba e de Itamambuca, litoral norte do Estado de São Paulo.** 1996 163f. Dissertação de Mestrado, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

BENTZ, D. **Os cordões litorâneos da planície de Una-Juréia, municípios de Peruíbe e Iguape-SP.** 2004. 108f. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2004.

BIGARELLA, J. J. *et al.* Contribuição ao estudo de sedimentos praias recentes. III. Características texturais das praias e terraços da região litorânea paulista. **Boletim da Universidade Federal do Paraná, Geografia Física**, Curitiba, v.7, 34 p., 1996.

BOMTEMPO, V. L. **Características hidráulicas e sedimentológicas do trecho do litoral sul do Estado de São Paulo.** 1991. 302 f. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1991.

BRUUN, P. The Bruun Rule of erosion by sea-level rise: a discussion on large-scale two- and three-dimensional usages. **Journal of Coastal Research**, Florida, v.4, p. 627-648, 1988.

CALLIARI, L. J.; MUEHE, D., HOEFEL, F. G.; TOLDO Jr., E. Morfodinâmica praias: uma breve revisão. **Revista Brasileira de Oceanografia**, São Paulo, v. 51, p. 63-78, 2003.

CAMPOS, R. M; CAMARGO, R. DE; HARARI, J. Caracterização de eventos extremos do nível do mar em Santos e sua correspondência com as re-análises do modelo do NCEP no Sudoeste do Atlântico Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 25, p. 175-184, 2010.

CARTER, R. W. G. **Coastal Environments: An Introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines.** Academic Press, London. 1988. 617p.

CAZZOLI, S. V. **Dinâmica Sedimentar Atual das Praias de Cibratel e Itanhaém-Suarão, Município de Itanhaém, Estado de São Paulo.** 188f. 1997. Dissertação de Mestrado, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

COMISSÃO GEOGRÁFICA E GEOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO (C.G.G.). **Exploração do Littoral. 1ª seção. Cidade de Santos à fronteira do Estado do Rio de Janeiro.** 1915.

COMISSÃO GEOGRÁFICA E GEOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO (C.G.G.). **Exploração do Littoral. 2ª seção. Cidade de Santos à fronteira do Estado do Paraná.** 1920.

CTH-USP/DAEE. **Observação das características das ondas do mar de Cananéia.** 1973. Relatório de Projeto. Laboratório de Hidráulica da Escola Politécnica -USP, DAEE, 1973, 40p.

CTH-USP/DAEE. Relatório **Final dos Estudos de Recuperação e Proteção da Praia de São Vicente.** Vol. I, 19 p. + Anexos, 1976.

CUNHA, F. P. **Mapeamento de Sensibilidade Ambiental a Derramamentos de Óleo na Região Costeira de Bertioga-SP.** 2009. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2009.

DEFFONTAINES, P. Regiões e paisagens do Estado de São Paulo. **Geografia**, São Paulo, v.1, nº 2, p 167-179, 1935.

FARINACCO, A. **Alterações relacionadas à ação antrópica na dinâmica dos processos costeiros nas planícies de Praia Grande/Mongaguá e Enseada de Caraguatatuba, SP.** 2000. Dissertação de Mestrado, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

FARINACCIO, A. **Impactos na dinâmica costeira decorrentes de intervenções em praias arenosas e canais estuarinos de áreas densamente ocupadas no litoral de São Paulo, uma aplicação do conhecimento a áreas não ocupadas.** 217f. 2008. Tese de Doutorado, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

FOLK, R. L.; WARD, W. C. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 27, p. 3-26, 1957.

FONZAR, B. C. A circulação atmosférica na América do Sul: os grandes sistemas planetários e subsistemas regionais que atingem o continente (localização e trajetórias). **Caderno de Geociências**, Rio de Janeiro, v.11, p. 11-33, 1994.

FREITAS, R. O. Geologia e Petrologia da Ilha de São Sebastião. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências-USP, **Boletim Geologia**, São Paulo, v.85, nº3, 244p., 1947.

FREITAS, R. O. Areais recentes da Praia Grande, SP. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v.23, nº2, p.163-175, 1951a.

FREITAS, R. O. Areias recentes do Guarujá, SP. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v.23, nº2, p. 177-186, 1951b.

FREITAS, R. O. Composição e granulometria da Praia de São Sebastião, SP. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, São Paulo, v.2, nº1, p. 29-36, 1953.

FREITAS, R. O. Mineralogia e geologia de areias de praia entre São Sebastião e Caraguatatuba. **E.E. São Carlos-USP, Geologia**, nº 12, Publicação nº 31, 82p., 1960a.

FREITAS, R. O. Mineralogia e geologia de areias de praia de Caraguatatuba à Ubatuba. **E.E. São Carlos-USP, Geologia**, nº 11, Publicação nº 30, 91p., 1960b.

FRIEDMAN, G.M. Distinction between dune, beach and river sands from their textural characteristics. **Journal of Sedimentary Petrology**, v.31, nº4, p. 514-529, 1961.

FÚLFARO, V. J.; COIMBRA, A.M. As praias do litoral paulista. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, XXVI, SBG, Belém, 1972. Resumos de Comunicações... Belém, 1972. p. 253-255.

FÚLFARO, V. J.; PONÇANO, W. L. Recent tectonic features in the Serra do Mar region, and its importance to engineering geology. In: I.A.E.G. CONGRESS, II, 1974, São Paulo. **Proceedings...**, São Paulo, 1974. v. I, p. II-7.1 a II-7.5.

GEOBRAS, S.A. **Complexo Valo Grande, Mar Pequeno e Rio Ribeira de Iguape**. 1966. Relatório GEOBRAS S.A., Engenharia e Fundações para o Serviço do Vale do Ribeira do Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo, 1966. 2v.

GIANNINI, P. C. F. **Sedimentação Quaternária na Planície Costeira de Peruíbe-Itanhaém (SP)**. 2 volumes. 1987. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

GIANNINI, P. C. F.; MACHADO, J. A.; SANTOS, E. R. Propriedades granulométricas no sistema praia-duna ao longo da costa noroeste portuguesa, de Porto a Nazaré. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 9 & CONGRESSO DO QUATERNÁRIO DOS PAÍSES DE LÍNGUA IBÉRICA, 2, Recife (PE), 2003, ABEQUA. **Anais...** Recife (PE), 2003, CD-ROM.

GOIS, J. S. de. **Análise da Evolução Morfológica da Linha de Costa com a técnica de traçadores em modelo de fundo fixo de obras costeiras.** 126f. 2004. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

GUEDES, C. C. F. **Evolução Sedimentar Quaternária da Ilha Comprida, Estado de São Paulo.** 2009. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

HARARI, J.; FRANÇA, C. A. S.; CAMARGO, R. Variabilidade de longo termo de componentes de maré e do nível médio do mar na costa brasileira. **Afro-America. Gloss News**, Edição 11, nº 1, p. 1-12, 2007 (disponível em http://www.mares.io.usp.br/aagn/aagn11/ressimgf_versao2008.pdf; acesso em 02/06/2011).

HIDROCONSULT. **Investigação e Estudos realizados para o Projeto do Sistema de Disposição Oceânica dos Esgotos de Santos e São Vicente.** Vol. I e II (Texto e Mapas). 1974/1975.

HOEFEL, F.G. **Morfodinâmica de Praias Arenosas Oceânicas: uma Revisão Bibliográfica.** Editora da Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 1998, 92 p.

HURTADO, S.N.; CAZZOLI Y GOIA, S. V.; TESSLER, M. G. Evolution and dynamic of Itamambuca beach and comparative evaluation of morphodynamic studies of beaches. **Journal of Coastal Research**, S.I. 39, nº 1, p. 568-571, 2004.

IPCC-SREX (Intergovernmental Panel on Climate Change). **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation.** In: Field, C.B., Barros, V., Stocker, T.F., Qin, D., Dokken, D.J., Ebi, K.L., Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Plattner, G.-K., Allen, Tignor, S.K.; Midgley, M.P.M. (eds.). A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582p., 2012.

JACKSON, D.W.T.; COOPER, J. A. G. Geological control on beach form: accommodation space and contemporary dynamics. **Journal of Coastal Research**, S.I. 56, p. 69-72, 1984.

JACOBSEN, E. E.; SCHWARTZ, M. L. The use of geomorphic indicators to determine the direction of net shore-drift. **Shore & Beach**, v.49, p. 38-43, 1981.

JOHNSON, D.W. **Shore Processes and Shoreline Development**. J. Wiley (ed.), 584p., 1919.

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

KOMAR, P.D. **Handbook of Coastal Processes and Erosion** (4th edition). CRC Press, 1991. 297p.

KUKAL, Z. **Geology of Recent Sediments**. Academic Press, 490p., 1971.

LEAL NETO, A.C.; ACCETA, D. Recentes medições de ondas desenvolvidas pelo INPH. In: SEMINÁRIO SOBRE ONDAS E MARÉS OCEÂNICAS, 1^o, Arraial do Cabo (RJ). **Resumos...** Arraial do Cabo, 1995. p. 28-30.

LIMA, V. M. **Mapeamento da Sensibilidade Ambiental a derrames de óleo em Ilhabela, São Paulo**. 2005. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, São Paulo, 2005.

MARCONI, A.; ABRAHÃO, I. O. Granulometria das Praias do Município de Ubatuba-SP. **Anais da Escola Superior de Agricultura- USP**, Piracicaba, vol. XXXII, p. 541-549, 1975.

MARQUEZ, M. R. K. **Morfodinâmica de um segmento da Praia da Ilha Comprida, Litoral Sul do Estado de São Paulo**. 2007. Dissertação de Mestrado, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MARTINS, C. C., **Variações Morfológicas e Sedimentares de Curto Período em Perfis Praiais, Praia da Bertioga/SP**. 191f. 2000. Dissertação de Mestrado, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

MARTINS, C. C. **Morfodinâmica de praia refletiva: estudo de caso na Praia da Sununga, litoral norte do estado de São Paulo**. 209f. 2006. Tese Doutorado, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

MARTINS, L. R. Significance of skewness and kurtosis in environmental interpretation. **Journal of Sedimentary Petrology**, v.35, p.768-770, 1965.

MASSELINK, G.; SHORT, A. D. The effect of the tide range on beach morphodynamics and morphology: a conceptual beach model. **Journal of Coastal Research**, Florida, v.9, nº 3, p. 785-800, 1993.

MASSELINK, G.; TURNER, I. L. The effect of tides on beach morphodynamics. In: Short, A. D. (ed.). **Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics**. John Wiley and Sons, 1999. p. 204-229.

McLAREN, P.; BOWLES, D. The effects of sedimentation on grain-size distributions. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 55, nº 4, p.457-470, 1985.

MENEZES, M. P. **A Reconstituição da Dinâmica Sedimentar Costeira da Estação Ecológica de Juréia-Itatins (SP) e sua Correlação com a Atividade Humana Local**. 1994. 2v. Dissertação de Mestrado, Ciências Ambientais, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

MESQUITA, A.R. Variações do nível médio do mar nas escalas decadal e interdecadal na costa sudeste do Brasil. In: SEMINÁRIO SOBRE ONDAS E MARÉS OCEÂNICAS, 1º, Arraial do Cabo (RJ). **Resumos...** Arraial do Cabo, 1995. p. 52-53.

MESQUITA, A.R. **Sea-level variations along the Brazilian coast: a short review**. **Journal of Coastal Research**, S.I. 35, p. 21-31, 2003.

MESQUITA, A. R.; HARARI, J.; FRANÇA, C. A. S. 2007. Preliminary results of extreme sea level events from Cananéia, Brazil. **Afro-America Gloss News**, Edição 11, nº 1, 2007. (disponível em http://www.mares.io.usp.br/aagn/aagn11/vii_o_mar_preliminary_results_extreme_sea_level_cananeaia.pdf; acesso em 02/06/2011).

MESQUITA, A.R. Sobre a variabilidade climática e extremos do nível do mar. **Afro-America Gloss News**, Edição 12, nº 1, 2008. (disponível em www.mares.io.usp.br/aagnaagn12Preliminary_Results_Extreme_Sea.pdf; acesso em 02/06/2011).

- MIHALY, P. **Dinâmica Sedimentar no Litoral Norte Paranaense e Extremo Sul Paulista**. 1997. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Paraná, 1997.
- MONTEIRO, C.A.F. **A Dinâmica Climática e as Chuvas do Estado de São Paulo**. São Paulo, Fapesp/USP/IGEOG, 181p., 1973.
- MUEHE, D. Geomorfologia Costeira. In: Guerra, A.J.T.; Cunha, S.B. **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos**. Ed. Bertrand S.A. São Paulo, 1994.
- NASCIMENTO Jr, D. R. **Morfologia e Sedimentologia ao Longo do sistema Praia-Duna Frontal de Ilha Comprida, SP**. 2006. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. IBGE, Rio de Janeiro, 1989. 421p.
- NODA, E. K. State-of-the-art of littoral drift measurements. **Shore & Beach**, v. 39, p. 35-41, 1971.
- NOGUES-PAEGLE, J.; MO, K. C. Alternating wet and dry conditions over South America during the summer. **Monthly Weather Review**, v.125, p. 279-291, 1997.
- NUBER, E. 2008 **Evolução Morfológica e Sedimentológica do Arco Praial de Massaguaçu, Litoral Norte do Estado de São Paulo**. 129f. Dissertação de Mestrado, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- PERINOTTO, R. R. R. **Mapeamento de sensibilidade dos ambientes costeiros da Ilha de São Vicente e região do entorno a derramamentos de óleo**. 2010. Dissertação Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2010.
- PINCINATO, F. L. **Mapeamento da sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo para a região costeira de São Sebastião e Caraguatatuba, litoral norte de São Paulo, com uso de modelagem em SIG de sistema especialista baseado em conhecimento e árvore de decisão**. 2007. Dissertação Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2007.

PIRES NETO, A. G.; OLIVEIRA, A. Granulometria de sedimentos praias do litoral centro-norte do Estado de São Paulo, entre Bertioga e São Sebastião. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v.16, nº 31, p.75-105, 1976.

PONÇANO, W. L.; FÚLFARO, V. J. Sedimentação atual do estuário e Baía de Santos: um modelo geológico aplicado a projetos de expansão da zona portuária. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 1^o, ABGE, Rio de Janeiro (RJ). **Anais...** Rio de Janeiro, 1976. v.2, p. 67-90.

PONÇANO, W. L. Características Gerais de Sedimentação e Correntes Costeiras entre Santos e Cananéia. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 16. nº 31, p. 107-111, 1976.

PONÇANO, W. L.; TESSLER, M. G.; MAHIQUES, M. M. Transporte Costeiro. In: NAKAZAWA, V. A. *et al.* (orgs.). **Carta Geotécnica do Estado de São Paulo**. Escala 1:500.000. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, v. I e II, São Paulo, 1994.

PONÇANO, W. L. *et al.* **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. Escala 1:500.000. IPT. 2v. São Paulo, 1981.

ROCHA, T. C. F. **Mapeamento da Sensibilidade Ambiental do litoral de Ubatuba-SP a vazamento de petróleo**. 2008. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro. 2008.

ROGACHESKI, C. E. **A Dinâmica Sedimentar e a Caracterização de Zonas de Erosão Acenuada (ZEA) ao Longo do Arco Praial de Massaguaçu, SP**. 2010. Dissertação de Mestrado, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

ROMERO, A. F. **Cartas SAO e Mapa de Vulnerabilidade Ambiental ao Óleo: Trecho Praia Grande - Ilha Comprida, Litoral Paulista**. 2008. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2008.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT/FAPESP, 1997.

SANT'ANNA NETO, J. L. Dinâmica atmosférica e o caráter transicional do clima na zona costeira paulista. **Revista do Departamento de Geografia Universidade de São Paulo**, São Paulo, v.8, p. 34-49, 1994.

SATYAMURTI, P.; NOBRE, C.; DIAS, P. L. S. South America. In: Karoly, D.J. & Vincent, D.J (eds.). **Meteorology of the Southern Hemisphere. American Meteorological Society**, Boston, 1998, p.119-139.

SHORT, A. D. Three dimensional beach stage model. **Journal of Geology**, v. 87, nº 5, p.553-571, 1979.

SHORT, A. D. Macro-mesotidal beach morphodynamics – an overview. **Journal of Coastal Research**, v.7, p. 417-436, 1991.

SHORT, A.D. Beaches. In: A.D. Short (ed). **Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics**. John Wiley and Sons, 1999. p. 3-20.

SILVA, G. C. **Análise Comparativa de Metodologias de Modelagem Numérica da Propagação de Ondas Aplicada à Engenharia Costeira e Portuária**. 277f. 2003. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SILVEIRA, L. F.; KLEIN, A. H. F.; TESSLER, M. G. Classificação Morfodinâmica das praias do Estado de Santa Catarina e do litoral norte do Estado de São Paulo utilizando Sensoriamento Remoto. **Brazilian Journal Aquatic Sciences Technology**, v. 152, nº 2, p. 13-28, 2011.

SMA - SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. **Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro**. Estabelece os Instrumentos, Metas e Diretrizes para a Gestão da Zona Costeira do Estado de São Paulo (inclui o texto da Lei nº 10.019/1998). São Paulo, 20p., 2000.

SMA – SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO (SMA/SP). **Informações Básicas para o Planejamento Ambiental**. Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Coordenadoria de Planejamento Ambiental, São Paulo, 84p., 2002.

SONDOTÉCNICA. **Comportamento Hidráulico e Sedimentológico do Estuário Santista**. Relatório Final. 426p. + Anexos. São Paulo, 1977.

SOUZA, C. R. de G. **Considerações sobre os Processos Sedimentares Quaternários e Atuais na Região de Caraguatatuba, Litoral Norte do Estado de São Paulo.** 314f. 1990. Dissertação de Mestrado, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

SOUZA, C. R. de G. **As Células de Deriva Litorânea e a Erosão nas Praias do Estado de São Paulo.** 1997. 2v. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

SOUZA, C. R. de G. Coastal erosion risk assessment, shoreline retreat rates and causes of coastal erosion along the state of São Paulo coast, Brazil. **Revista Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v.28, nº 2, p. 459-474, 2001.

SOUZA, C. R. de G. Morphodynamics and grain-size parameters from beaches in the State of São Paulo. In: LATIN AMERICAN CONGRESS OF SEDIMENTOLOGY, 3rd, Belém (PA), 08-11/junho/2003. **Abstracts...** Belém, 2003. p. 108-109.

SOUZA, C. R. de G. Determination of net shore-drift cells based on textural and morphological gradations along foreshore of sandy beaches. **Journal of Coastal Research**, S.I. 50, p. 620-625, 2007.

SOUZA, C. R. de G. Erosão na Praia do Gonzaguinha-Milionários (São Vicente, SP): Causas e Projeções. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA (SINAGEO), VII, E ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE GEOMORFOLOGIA, II, Belo Horizonte (MG), 2008. **Anais...** Belo Horizonte, 2008. CD-ROM.

SOUZA, C. R. de G. A Erosão nas Praias do Estado de São Paulo: Causas, Consequências, Indicadores de Monitoramento e Risco. In: Bononi, V. L. R. & Santos Junior, N. A. (Orgs.). **Memórias do Conselho Científico da Secretaria do Meio Ambiente: A Síntese de Um Ano de Conhecimento Acumulado**, Instituto de Botânica, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo, 2009a. p. 48-69.

SOUZA, C. R. de G. Erosão Costeira. In: **Desastres Naturais: Conhecer para Prevenir.** Tominaga, L. K., Santoro, J. & Amaral, R. (orgs). Instituto Geológico, São Paulo, 2009b. p. 71-84 (também disponível em http://www.igeologico.sp.gov.br/ps_down_outros.asp).

SOUZA, C. R. de G. A erosão costeira e os desafios da gestão costeira no Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada/Journal of Integrated Coastal Zone Management**, Lisboa, v. 9, nº 1, p. 17-37, 2009c.

SOUZA, C. R. de G. Rotação praias na Praia do Góes (Guarujá, SP, Brasil). In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIAS DO MAR - COLACMAR, XIV, Balneário Camboriú (SC), 30/10 - 04/11/2011. **Boletim de Resumos Expandidos...** Balneário Camboriú, 2011. CD-ROM.

SOUZA, C. R. de G.; FURTADO, V. V. Exemplo de desenvolvimento de planície de maré na região da Enseada de Caraguatatuba. In: SIMPÓSIO DE ECOSISTEMAS DA COSTA SUL E SUDESTE BRASILEIRA, 1º, Cananéia (SP). **Publicação ACIESP** (Academia de Ciências do Estado de São Paulo), São Paulo, v. 54-II, nº 2, p. 337-352, 1987.

SOUZA C. R. de G.; LUNA, G. C. Taxas de retrogradação e balanço sedimentar em praias sob risco muito alto de erosão no município de Ubatuba (Litoral Norte de São Paulo). **Quaternary and Environmental Geosciences**, Curitiba, v.1, nº 1, p. 25-41, 2009b.

SOUZA, C. R. de G.; LUNA, G. C. Variação da linha de costa e balanço sedimentar de longo período em praias sob muito alto risco de erosão no município de Caraguatatuba (Litoral Norte de São Paulo). **Revista de Gestão Costeira Integrada/Journal of Integrated Coastal Zone Management**, Lisboa, v. 10, nº 2, p. 179-199, 2010. (também disponível em <http://www.aprh.pt/rgci/revista10f2.html>).

SOUZA, C. R. de G.; SOUZA, A. P. Geologia e Geomorfologia da Área da Estação Ecológica Juréia-Itatins. In: MARQUES, O. A. V. & DULEBA, W. (eds.). **Estação Ecológica Juréia-Itatins. Ambiente Físico, Flora e Fauna**. Capítulo 2, Holos Editora, Ribeirão Preto, 2004. p.16-33.

SOUZA, C. R. de G.; SUGUIO, K. Coastal erosion and beach morphodynamics along the state of São Paulo (SE Brazil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v.68, p. 405-424, 1996.

SOUZA, C. R. de G.; SUGUIO, K. Método Morfo-sedimentológico para a identificação de células de deriva litorânea. **Geosul**, Florianópolis, Edição Especial, v.14, nº 27, p. 243-247, 1998.

SOUZA, C. R. de G.; SUGUIO, K. The coastal erosion risk zoning and the São Paulo state plan for coastal management. **Journal of Coastal Research**, S.I. 35, p. 530-592, 2003.

SOUZA, C. R. de G.; LUNA, G. C.; SOUZA, A. P. Causas da erosão na Ponta da Praia de Santos (SP, Brasil). In: WORKSHOP ANTROPICOSTA, II, Montevideo. **Libro de Resúmenes/Livro de Resumos...** Montevideo, 2012b. p. 35.

SOUZA, C. R. de G.; SOUZA, A. P.; FERREIRA, R. S. Monitoramento praias antes e durante as obras de dragagem do Porto de Santos, São Paulo (Brasil). In: Barragán Muñoz, J. M. (coord.). CONGRESO IBEROAMERICANO DE GESTIÓN INTEGRADA DE ÁREAS LITORALES, I, Cádiz. **Libro de Comunicaciones y Pósters...** Cádiz, 2012a. CD-ROM.

SOUZA, C. R. de G. *et al.* Praias Arenosas e Erosão Costeira. In: Souza, C. R. de G. *et al.* (eds.). **Quaternário do Brasil**, Holos Editora, Ribeirão Preto, 2005. p.130-152.

SOUZA, C. R. de G. *et al.* "Restinga": **Conceitos e Empregos do Termo no Brasil e Implicações na Legislação Ambiental**. Secretaria do Meio Ambiente, Instituto Geológico, São Paulo, 2008. 104p. (também disponível em http://www.igeologico.sp.gov.br/ps_down_outros.asp).

SUGUIO, K.; MARTIN, L. Quaternary marine formations of the state of São Paulo and southern Rio de Janeiro. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COASTAL EVOLUTION QUATERNARY, São Paulo, IGCP/IGUSP/SBG, 1978. **Special Publication...** São Paulo, 1978. nº 1, 55p.

TAGGART, B. E.; SCHWARTZ, M. L. Net shore-drift direction determination: a systematic approach. **Journal Shoreline Management**, v. 3, nº 4, p. 285-309, 1988.

TANNER, W. F. **Environmental Clastic Granulometry**. Department of Environmental Protection, Florida Geological Survey. Special Publication nº 40, 142p. 1995.

TESSLER, M. G. **Dinâmica Sedimentar Quaternária no Litoral Sul Paulista**. 2 volumes. 1988. Tese de Doutorado, Instituto Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1988.

TESSLER, M. G. *et al.* Erosão e Progradação do Litoral do Estado de São Paulo. In: Muehe, D. (Org.). **Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro**. 1ª edição, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2006. p. 297-346.

USACE - U.S Army Corps of Engineers. Longshore Sediment Transport. In: U.S Army Corps of Engineers. **Coastal Engineering Manual**. Manual n° EM 1110-2-1100, Part III, Chapter 2. Washington, DC., 2002. (<http://chl.erdc.usace.army.mil/Media/4/5/7/cem07.pdf>; acesso em 28/04/2011).

WIECZOREK, A. **Mapeamento de Sensibilidade a Derramamento de Petróleo do Parque Estadual da Ilha do Cardoso-PEIC e Áreas do Entorno**. 2006. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2006.

WRIGHT, L. D.; SHORT, A. D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. **Marine Geology**, v. 56, p. 93-118, 1984.

WRIGHT, L. D. *et al.* Morphodynamics of reflective and dissipative beach and inshore systems: Southern Australia. **Marine Geology**, v. 32, p.105-140, 1979.