

LEONARDO AZEVEDO KLUMB OLIVEIRA

**ALTERAÇÕES MORFOLÓGICAS DA PRAIA DO MORRO,
GUARAPARI – ES EM UMA ESCALA DE DÉCADAS.**

**VITÓRIA
JULHO 2011**

LEONARDO AZEVEDO KLUMB OLIVEIRA

ALTERAÇÕES MORFOLÓGICAS DA PRAIA DO MORRO,
GUARAPARI – ES EM UMA ESCALA DE DÉCADAS.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientadora: Dra. Jacqueline Albino

VITÓRIA
JULHO 2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPIRITO SANTO

ALTERAÇÕES MORFOLÓGICAS DA PRAIA DO MORRO, GUARAPARI – ES EM
UMA ESCALA DE DÉCADAS.

LEONARDO AZEVEDO KLUMB OLIVEIRA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Geografia da
Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do
título de Mestre em Geografia.

Julgada em:

Prof (a) Dr

Prof.(a) Dr (a)

Prof.(a) Dr.(a)

SUMÁRIO

I INTRODUÇÃO	01
1.1 – Apresentação	01
1.2 – Objetivos	04
1.2.1 – Geral	04
1.2.2 – Específicos	04
1.3 - Evolução e Aplicação da Geomorfologia Costeira	04
1.3.1 - Geomorfologia no Brasil	10
1.4.1 - Localização e Aspectos Geomorfológicos.....	13
1.4.2 - Aspectos Climáticos e Oceanográficos.....	16
1.4.3 - Aspectos Históricos e Socioeconômicos.....	19
II METODOLOGIA	19
2.1 - Embasamento Teórico Metodológico.....	19
2.1.1 - Morfodinâmica e Escalas de Abordagem.....	19
2.1.2 - Processos Costeiros.....	21
2.1.3 - Correntes Costeiras e ajuste Morfodinâmico em Enseada.....	22
2.1.4 - Evolução Costeira.....	30
2.2 - Materiais e Métodos.....	33
2.2.1 Morfodinâmica e Processos Costeiros.....	33
2.2.2 – Granulometria.....	34
2.2.3- Determinação da Tipologia Atual.....	35
2.2.4 -Determinação da Deriva e transporte longitudinal.....	36
2.2.5 - Determinação do estado de equilíbrio da enseada.....	37
2.2.6 - Evolução da Linha de costa.....	38
2.2.7 - Variação da Linha de Costa nos Últimos 40 anos.....	38
III RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
3.1 - Morfodinâmica e Processos Costeiros.....	39

3.1.1 – Granulometria	39
3.1.2 – Topografia	42
3.1.3 – Tipologia	46
3.1.4 - Correntes e Transporte longitudinal	48
3.1.5 – Integração dos dados e discussão.....	50
3.2 – Alteração da Praia em Planta.....	52
3.2.1 – Alteração da linha de praia nas ultimas décadas.....	54
3.2.2 – Alterações da Praia ao longo das décadas.....	58
IV CONCLUSÃO	60
V REFERÊNCIAS	61
VI ANEXO I	70

Agradecimentos

Dissertar é um crime que se pratica em grupo. É inconcebível a elaboração de um trabalho de mestrado sozinho. Assim, é com satisfação que agradeço a todos os que me ajudaram em mais esta etapa, em especial:

Aos seres cósmicos invisíveis, porém perceptíveis;

Aos meus pais, Roberto e Aura, arquitetos da rede de proteção da corda bamba da vida;

Aos familiares, irmãos, irmãs e sobrinhos pelo incentivo direto e indireto em tudo;

A grande Amiga Jacqueline, pela paciência, bom senso e por nossas interessantíssimas discussões sobre todas as coisas, corajosamente mais uma vez como minha orientadora!

Aos amigos e parceiros de profissão que colaboraram com os campos e tratamento de dados: André, Leandro, Tobias Dutra, Xuxa e Marcel;

Ao IDAF pelo fornecimento das fotografias aéreas;

À CEPEMAR pela compreensão e tempo disponibilizado para fechamento da dissertação;

E a todos os demais que participaram desta construção...

Resumo

A variação da linha de costa ocorre em diversas escalas temporais e sua melhor compreensão se dá pela análise integrada dos diversos processos atuantes na costa em sua escala de eventos. No município de Guarapari (ES), características naturais a nível regional e local somaram-se a problemas decorrentes de ocupação e uso da orla marítima de forma desordenada, acarretando processos acentuados de erosão costeira, com conseqüente perda dos serviços naturais e qualidade ambiental. Neste aspecto, este trabalho se propôs a avaliar as alterações da linha de costa da Praia do Morro (Guarapari – ES), balneário sobremaneira freqüentado por turistas, que apresenta estado erosivo significativo. A análise das variações ocorreu de forma a contemplar escala interdecadal e anual. A obtenção dos dados foi realizada através de aerofotos, nas quais foram utilizadas técnicas de geoprocessamento, aplicação de modelos computacionais de predição de enseada e métodos de obtenção de dados morfodinâmicos *in loco*, este último em um período de 1 ano de monitoramento. As maiores taxas de erosão no intervalo interdecadal se manifestaram na extremidade NE do arco, entre 1970 e 1980; entretanto, para o intervalo de 1970 a 2007, as taxas de erosão mantiveram-se basicamente constantes. Ao final, foi possível encontrar validação metodológica entre as diferentes escalas abordadas, e inferir diagnósticos com base nos resultados obtidos.

Palavras-chave: erosão costeira, linha de costa, morfodinâmica

Lista de Figuras

FIGURA 1.4.1	LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA PRAIA DO MORRO, MUNICÍPIO DE GUARAPAR.....	14
FIGURA 1.4.2	MAPA GEOLÓGICO ESQUEMÁTICO DA REGIÃO DE GUARAPARI, COM DESTAQUE PARA PRAIA DO MORRO.....	16
FIGURA 1.4.3	A) IMAGEM LANDSAT TM5 (1999) DA BACIA HIDROGRÁFICA DE GUARAPARI. FONTE: IEMA, 2009; B) PLUMA SEDIMENTAR PROVENIENTE DO ESTUÁRIO. FONTE: INPE, EXTRAÍDA DE TOFFOLI, 2006.....	17
FIGURA 1.4.4	CARTA NÁUTICA DA REGIÃO DE GUARAPARI, COM DESTAQUE PARA PRAIA DO MORRO.	17
FIGURA 1.4.5	REGIME DE VENTOS EM CONDIÇÕES NORMAIS NA COSTA DO ESPÍRITO SANTO.....	18
FIGURA 1.4.6	CLIMA DE ONDAS EM GUARAPARI SOB CONDIÇÕES DE TEMPO BOM (A) E TEMPESTADE (B) EM EVENTOS DE TEMPESTADE	18
FIGURA 2.1	REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO MODELO PARABÓLICO POR SILVESTER & HSU 1993.....	28
FIGURA 2.2	ILUSTRAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DO MEPPE. NA IMAGEM NOTA-SE A DELIMITAÇÃO DOS PONTOS-CONTROLE NECESSÁRIOS À APLICAÇÃO DO MODELO PARABÓLICO.....	29
FIGURA 2.3	PRAIA EM EQUILÍBRIO ESTÁTICO.....	29
FIGURA 2.4	APLICAÇÃO DO MODELO PARABÓLICO EM ENSEADAS COM ESTUÁRIOS. BALNEÁRIO CAMBORIU, SC	29
FIGURA 2.5	LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES NA PRAIA DO MORRO – ES.....	34
FIGURA 2.6	GRÁFICO DE “A”(WS) EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO MEDIANO GRANULOMÉTRICO DOS SEDIMENTOS (CURVA SUPERIOR), OU DA VELOCIDADE DE DECANTAÇÃO (LINHA RETA).....	35
FIGURA 2.7	IMAGEM AÉREA DA PRAIA DO MORRO COM DESTAQUE PARA OS PONTOS DO MODELO PARABÓLICO.....	37
FIGURA 3.1	HISTOGRAMAS REPRESENTATIVOS DA GRANULOMETRIA DO BERMA E FACE PRAIAL DE P1 E P2	41
FIGURA 3.2	HISTOGRAMAS REPRESENTATIVOS DE GRANULOMETRIA DE BERMA E FACE PARA P3, P4, P5.....	42
FIGURA 3.3	VARIAÇÃO TOPOGRÁFICA DO PERFIL P1 DA PRAIA DO MORRO – ES.A LINHA TRACEJADA REPRESENTA O NÍVEL SEM A CALÇADA.....	43
FIGURA 3.4	VARIAÇÃO TOPOGRÁFICA PERFIL P2 PRAIA DO MORRO – ES. A LINHA TRACEJADA REPRESENTA O NÍVEL SEM A CALÇADA.....	44
FIGURA 3.5	VARIAÇÃO TOPOGRÁFICA PERFIL P3 ,PRAIA DO MORRO – ES. A LINHA TRACEJADA REPRESENTA O NÍVEL SEM A CALÇADA.....	44
FIGURA 3.6	VARIAÇÃO TOPOGRÁFICA DE P4, PRAIA DO MORRO – ES. A LINHA	

	TRACEJADA REPRESENTA O NÍVEL SEM A CALÇADA	45
FIGURA 3.7	VARIAÇÃO TOPOGRÁFICA P5, PRAIA DO MORRO – ES. A LINHA TRACEJADA REPRESENTA O NÍVEL SEM A CALÇADA	45
FIGURA 3.8	COMPORTAMENTO DA CORRENTE LONGITUDINAL NA PRAIA DO MORRO,PELO MÉTODO PROPOSTO POR TAGGART E SCHWARTZ, MODIFICADO POR SOUZA (1998).....	49
FIGURA 3.9	FORMA EM PLANTA DA LINHA DE COSTA DE ACORDO COM PONTOS CONTROLE ESCOLHIDO PARA A PORÇÃO SW.....	52
FIGURA 3.10	FORMA EM PLANTA DA LINHA DE COSTA DE ACORDO COM PONTOS CONTROLE ESCOLHIDO PARA A PORÇÃO NE.....	52
FIGURA 3.11	DETERMINAÇÃO E SOBREPOSIÇÃO DAS LINHAS DE ESPRAIAMENTO ENTRE OS ANOS AVALIADOS.....	54
FIGURA 3.12	TRANSECTOS PARA ANÁLISE DISTRIBUIDOS AO LONGO DA LINHA DE COSTA.....	55
FIGURA 3.13	VARIAÇÃO DA POSIÇÃO DA LINHA DE COSTA (M) ENTRE 1970-1980 E 1970-2007	55
FIGURA 3.14	TAXA VARIAÇÃO ANUAL (M/ANO) POR TRANSECTO DA ÁREA ESTUDADA	56

Lista de Tabelas

TABELA 2.1	SÍNTESE DAS ABORDAGENS DOS ESTUDOS DE PRAIA. BASEADO EM SHORT, 1999.....	20
TABELA 2.2 COORDENADAS DAS 5 ESTAÇÕES AMOSTRAIS. DATUM: UTM WGS84-24S.....	33
TABELA 2.3	ASSOCIAÇÕES ENTRE ESTADO PRAIAL E Ω . ADAPTADO DE WRITH et al. (1985).....	36
TABELA 3.1	COMP. MÉDIO, ALTURA E INCLINAÇÃO DA FAIXA EMERSA DA PRAIA DO MORRO.	42
TABELA 3.2	ESTADOS MODAIS SEGUNDO MODELO DE DEAN (1977) PARA CONDIÇÕES DE TEMPO BOM E TEMPESTADE.....	47

Lista de Fotografias

FOTO 1 E 2: SANGRADOUROS DE AGUA DA CHUVA NAS AREIAS NA PRAIA	12
FOTO 3 E 4: MUROS EM MAL ESTADO DE CONSERVAÇÃO	12
FOTO 5 A 8: PRAIA DO MORRO APÓS PASSAGEM DE FRENTE FRIA PROLONGADA.....	13

I INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

Praias são importantes depósitos de material inconsolidado que margeiam corpos d'água. Praias marinhas apresentam demasiada importância no que tange a oferta de bens e serviços, na esfera social e natural. O uso recreativo de praias de balneários é um dos principais atrativos do ambiente, e movimentam cifras de milhões em todo o mundo. Ainda, sua função de proteção das terras emersas contra eventos de tempestade justifica a busca pelo adequado tratamento e atenção necessária a estes ambientes.

Aproximadamente 50% da população mundial vive em margens costeiras (GOLDBERG, 1994); as praias arenosas totalizam 13% (COLEMAN 1976). Estima-se que 75% das praias arenosas encontram-se em processo de erosão (BIRD, 1985), as quais recebem 65% do turismo mundial (BRASIL, 2008), contextualizando um cenário de usos múltiplos e conflitos.

Processos de erosão são geralmente resultantes de um estado morfodinâmico atual da praia, em termos de adaptação de sua forma em relação às suas características naturais. Tais características seriam seu grau de exposição ao clima de ondas, balanço sedimentar e as forças principalmente envolvidas nos processos. Em praias de enseada, seu estado morfodinâmico responde e se adapta às forças de forma planar, apresentando diferentes graus de exposição e assimetria da linha de costa. Em vista disso, diferentes respostas adaptativas moldam um cenário que pode ser indicativo de processos evolutivos pretéritos, assim como contribuem para a previsibilidade de eventos futuros.

O elevado grau de intervenção antrópica nas regiões costeiras também há de ser considerado, à medida que a costa conta com um histórico de exploração e transformação, o que resulta muitas vezes em processos de erosão de praia. Neste aspecto, a erosão "antrópica" se daria basicamente devido à construção de

estruturas (calçadas, estradas e muros) sob a faixa ativa da praia, ocasionando assim uma erosão de forma instantânea no prisma praial. Cumpre salientar que esta erosão ocorre sentido continente-oceano, contrário de uma erosão natural, oceano-continente, uma vez que o recuo não é diretamente causado pelo efeito das ondas, mas sim a partir do berma praial, sentido oceano.

A perda de área disponível em praias arenosas é prejudicial sob diversos aspectos para a economia local, em destaque a diminuição de demanda de usuários e debilitação das funções de proteção da costa contra eventos de tempestades e variações do nível marinho.

Baseando-se em Bird (1996, p.146), que destaca a importância de estudos preliminares da morfodinâmica atual da praia, e em Carter (1988, p.8) que defende a inferência de seu comportamento evolutivo na escala geomorfológica para compreensão dos eventos do presente, este trabalho visa a utilizar os conceitos, métodos e modelos utilizados em geomorfologia costeira na intenção de determinar o padrão evolutivo da praia nas últimas décadas, seu estado atual e prever seu estado de equilíbrio.

Em um cenário social de progressiva evolução tecnológica, Walken e Hall (2011) colocam, de maneira oportuna, que a ciência costeira vem utilizando modelos geomorfológicos para analisar a evolução da linha de costa e prever cenários futuros. O incremento tecnológico vem contribuindo para mitigar as limitações e erros destes modelos para que se aproximem cada vez mais do real. A importância da modelagem dos sistemas naturais se reflete na agilidade e eficiência de soluções possíveis a impactos ambientais assim como previsibilidade e contenção de impactos futuros (DING e WANG, 2011).

Em termos gerais, os trabalhos relacionados ao comportamento e as variáveis envolvidas no sistema praial vêm historicamente representando tentativas de respostas e soluções previsíveis às necessidades da sociedade, as quais remontam desde finalidades bélicas até a contemporaneidade da gestão costeira, solução de conflitos entre os atores sociais envolvidos e previsibilidade de respostas hidrodinâmicas à obras de engenharia.

A contribuição da ciência costeira se apresenta de forma multi, inter e quiçá transdisciplinar, dada a complexidade das variáveis que compõem tal cenário. A necessidade da contínua aplicação do legado deixado por pesquisadores pioneiros se faz sentir à medida que a zona costeira se torna mais valorada e valorizada por parte dos distintos segmentos da sociedade. Como no passado, a ciência se adapta aos novos paradigmas sociais e continuará a fazê-lo, até que se mudem os paradigmas, ou, que se mude a ciência.

A fim de melhor estruturar a idéia desta dissertação, propõe-se a divisão do trabalho em quatro capítulos; no capítulo um, Introdução, é apresentado, de maneira geral, a temática principal, seguida dos objetivos do trabalho. Ainda, apresenta-se um breve histórico sobre a evolução da geomorfologia costeira e seus modelos propostos, assim como os fatores motivadores de seu desenvolvimento; por último, expõe-se a área de estudo proposta em seus aspectos físicos e sócio-econômicos, no intuito de familiarizar o leitor com a região estudada.

No capítulo dois é apresentada a metodologia do trabalho, a qual abrange um embasamento metodológico - no qual são abordados os conceitos e teorias pertinentes aos métodos – seguidos dos materiais e métodos propriamente ditos.

O capítulo três representa os resultados obtidos juntamente com a discussão, feita em nível de cada tema abordado. Neste capítulo são expostos e interpretados os dados e informações geradas através dos métodos escolhidos. Ao final, faz-se uma validação entre os métodos utilizados.

No capítulo quatro, é apresentada a conclusão final desta dissertação, na expectativa de encontrar coerência entre os métodos escolhidos e resultados obtidos, de forma a contribuir como bibliografia base e estudo de caso à temática da geomorfologia e gestão costeira.

1.2 Objetivos

1.2.1 Geral

Determinar as alterações morfológicas da Praia do Morro na escala de décadas.

1.2.2 Específicos

- i. Determinar o estado morfodinâmico e os processos costeiros atuais da praia;
- ii. Determinar a alteração linha de costa da Praia do Morro nas últimas décadas e inferir possíveis causas de sua retração;
- iii. Determinar o estado de equilíbrio da Praia com base em seu modelo planar de praia de enseada;
- iv. Avaliar a adequação e calibração dos modelos na elucidação das alterações da linha de costa;

1.3 Evolução e aplicação da geomorfologia costeira

A preocupação com o estudo do ambiente praiar e seus processos destacou-se principalmente durante a Segunda Guerra Mundial, quando as praias foram sobremaneira utilizadas como áreas de desembarque de tropas, tanto por via aérea quanto marítima (HARDISTY, 1990). Short (1999, p.16) coloca que a dificuldade encontrada na logística de desembarque nas zonas de surfe e espraiamento foi o gatilho motivador dos primeiros trabalhos desenvolvidos em relação àquele ambiente.

Naquele período, destacaram-se os trabalhos de Evans (1939) e Shepard (1950), em relação à formação e morfologia das barras de antepraia, parâmetro fundamental para a compreensão da dinâmica na zona de surfe. Evans desenvolveu pesquisas

sobre as correntes costeiras de retorno e a morfologia das barras submersas formadas após eventos de tempestade. Percebeu assim, que a formação do número de barras estaria relacionada à quantidade de diferentes eventos efêmeros de alta energia, intercalados com processos de baixa energia de ondas. Shepard observou que com o fim da tempestade a barra migraria e seria incorporada novamente ao berma praias (HARDISTY, 1990). Destacam-se também na vanguarda dos estudos das correntes de retorno os trabalhos de Jhonson (1919), e Bagnold (1940) (SHORT, 1999 p. 14).

Ainda na logística da Grande Guerra, as variações topográficas das praias em resposta aos eventos meteorológicos tornaram-se nuances de alta prioridade. Bascom (1951) publicou estudos relacionados à energia de onda incidente, o perfil de praia e o diâmetro do sedimento. De acordo com o autor, à medida que as praias sofrem erosão ou acreção, o gradiente de inclinação da face praias no ponto de referência irá mudar consideravelmente, basicamente por causa da esbeltez de onda (relação entre a altura – H_b – e o comprimento – L –) da onda. Dessa forma, uma praia que sofre erosão apresentará tendência a um baixo gradiente de inclinação, enquanto uma praia que recebe um acréscimo de sedimento tenderá a ficar mais íngreme.

Bascom (1951) constatou que grãos maiores são encontrados em pontos de máxima turbulência e o tamanho dos grãos tende a decrescer com o decréscimo da turbulência. Finalmente, o autor concluiu que a declividade da praia é relacionada ao diâmetro médio dos grãos e à quantidade de energia da onda que atinge o determinado ponto.

Os anos do pós-guerra seguiram-se em continuidade às pesquisas, entretanto sob uma perspectiva mais acadêmica e com vistas à questões evolutivas do ambiente costeiro, bem como sob a premissa da necessidade de previsão de potenciais cenários futuros. Destaca-se à época os trabalhos de Bruun (1962), Sonu & Van Beek (1971) e Davis & Fox (1978).

Bruun (1962), considerando a hipótese da subida do nível do mar em função do aquecimento global, e não obstante a aumento de nível marinho por eventos de

tempestades, propôs um modelo o qual pode ser considerado como o provável comportamento dos perfis praias em relação a tais situações.

O modelo indica que a erosão do berma causada pela elevação do nível do mar, corresponderia a um acúmulo de sedimentos na antepraia desenvolvendo um perfil adaptado ao novo nível marinho.

Este equilíbrio se daria na mesma proporção, isto é, o berma erodido estaria mais recuado e alto que o anterior, na mesma proporção que a antepraia estaria mais recuada e alta. Assim a profundidade da antepraia em relação à nova topografia do perfil emerso seria a mesma¹.

Assim, o então denominado “modelo de Bruun” sugere que praias que adquiriram um ‘perfil de equilíbrio’ - aqui compreendido como perfil de certa constância em uma determinada praia sem ganhos ou perdas significativas de sedimento ao longo de um dado período -, iriam, em uma suposta elevação do nível marinho, erodir sedimentos do berma que seriam transferidos para o fundo marinho adjacente, mantendo assim a proporcionalidade do perfil anterior ao aumento do nível do mar (BIRD, 1996, p.79).

Nos anos de 1970, Sonu e Van Beek (1971) analisaram as propriedades geométricas da praia (largura, estoque de sedimento e configuração) e atribuíram estas feições como resultado da distribuição do excesso do depósito sedimentar em sua zona de pós-praia, mais especificamente no berma. Tal depósito se moveria para cima no declive da praia durante processos de construção, mas diminui em tamanho e eventualmente desaparece em eventos de erosão.

Devido a este comportamento característico do berma surgiu um modelo de transição de perfil,(ANEXO I a) o qual relaciona as configurações morfológicas que o perfil praias pode assumir em relação à erosão e construção. Estudando vários perfis praias chegaram a uma matriz de combinações mais freqüentes de feições de praia, sendo de grande importância o estado modal antecedente.

¹ Entretanto, acredita-se que, segundo Albino (1999), a possibilidade de adaptação do perfil praias diante da alteração do nível do mar irá variar de praia para praia, uma vez que nem todas as praias possuem estoque de sedimento na porção emersa e/ou ausência de correntes ativas na antepraia para possibilitar a adaptação.

Davis & Fox (1978), perceberam que a variação do perfil praiial obedece às estações do ano, com a formação de perfil de concavidade voltada para cima ou perfil de inverno, e convexidade voltada para baixo ou perfil de verão, durante o verão (KOMAR, 1998, P.19). Entretanto, observaram que não somente as estações do ano ditam a ciclicidade dos perfis praiiais e formação de barras, mas também os processos gerados por eventos de tempestades e clima de ondas (ângulo incidente, altura e período).

A partir de então seguiram-se diversos trabalhos correlacionando os elementos topográficos, oceanográficos e sedimentológicos à dinâmica de praia. Foram introduzidos conhecimentos sobre o comportamento das ondas e correntes em águas rasas, o comportamento hidráulico dos grãos de quartzo e suas respostas topográficas (King, 1972; Komar, 1976, 1977 e 1983).

Ainda na década de 1970, um grupo de pesquisadores ligado à universidade australiana, iniciou estudos objetivando a compreensão da dinâmica na zona de surfe e sua responsabilidade nas feições da praia adjacente (Short, 1975; Wright *et al*) ,e Wright & Short (1983, 1984). Neste último, são apresentados seis estados morfodinâmicos de praias: o dissipativo e o refletivo e quatro intermediários.

Em conjunto os estados intermediários formam uma seqüência cíclica de transferência do aporte sedimentar da praia para a zona submersa, durante as fases de alta energia das ondas e, da zona submersa para praia durante fases de menor energia.

Os extremos são representados pelo estados dissipativo e refletivo . As condições ambientais mais propícias para a ocorrência do estado dissipativo são ondas grandes (>2.5 m) e sedimentos finos (de diâmetro médio – Md. – < 0.2 mm), dessa forma, essas praias caracterizadas pelos pequenos gradientes tanto na face praiial como na zona de surfe, são mais encontradas em regiões expostas com sedimentos finos em abundância. Já o estado refletivo é produzido por ondas pequenas (<1 m) e sedimentos grossos (Md. > 6 mm) e gerando uma praia relativamente alta, geralmente contendo berma, e estreita, com uma face praiial

íngreme, sendo encontrado em regiões protegidas (em baías e estuários, por exemplo) (ANEXO I)

Além das ondas incidentes, de caráter oscilatório, os pesquisadores admitem a existência de ondas de diferentes frequências, de caráter quase-oscilatório (*ondas estacionárias e ondas de borda*) na definição da morfologia das praias. A interação das ondas incidentes e as de caráter quase-oscilatório com as correntes de retorno, longitudinais e correntes de marés, desenvolvem um complexo fluxo o qual dá origem a diferentes comportamentos morfodinâmicos. Wright *et al.* (1986, 1987) e Short (1991) salientam ainda a importância das amplitudes da maré e dos fluxos associados no desenvolvimento de praias dissipativas e refletivas.

Na década de 80, os processos responsáveis pelas variações (erosão ou construção) no perfil da praia receberam mais atenção nos estudos sobre a morfodinâmica costeira. Dentre esses trabalhos destaca-se o realizado por Komar (1983), que então sumariza os diversos agentes que desempenham um papel na erosão costeira. Diferentes tipos de onda com diferentes características passam a ser incorporados aos estudos do ambiente praias, assim como os agentes meteorológicos responsáveis por sua formação.

Nos anos seguintes, mais atenção foi dada às correntes longitudinais e sua competência em transportar sedimentos. Estas correntes seriam responsáveis pelo balanço sedimentar em praias, assim como estariam diretamente relacionadas a estabilidade do sistema. Em termos de parâmetros de transporte sedimentar por correntes longitudinais, destacam-se as obras de McLaren & Bowes (1985) e Taggart & Schwartz (1988).

Ainda nos anos 80 destaca-se a percepção da resposta em planta das praias em relação a seu grau de exposição às ondas incidentes predominantes. Verificou-se que a linha de costa, uma vez analisada em sua forma planar (*i.e* observada de cima para baixo) responde de forma assimétrica de acordo com a entrada de ondas. A presença de promontórios rochosos adjacentes às praias seriam responsáveis pela difração e refração das ondas, formando praias arqueadas e embaiamentos. Tais feições poderiam ser classificadas em modelos e equações, e estariam relacionadas

ao transporte sedimentar e ao grau de estabilidade da praia. Neste contexto destacam-se os trabalhos de Hsu *et al*(1987) e Hsu & Evans (1989).

Os anos 1990 se caracterizaram pelo desenvolvimento e percepção da importância do gerenciamento costeiro a fim de remediar, mitigar e evitar ações de irresponsabilidade em relação ao uso dos bens e serviços costeiros. A geomorfologia passa então a servir como ferramenta de diagnóstico e previsão de cenários, considerados então como base para a tomada de decisões políticas. Tais previsões seriam facilitadas pela intensificação dos estudos da evolução dos ambientes praias através do uso de imagens orbitais e sub-orbitais. Ressalta-se para o contexto os trabalhos de Cowell & Thom (1994), e Camfield e Morang (1996), os quais estudaram a fundo a questão da evolução da linha de costa através uso de geoprocessamento.

Os conflitos de uso intensificaram-se à medida que as intervenções antrópicas tornaram-se mais frequentes e as obras de engenharia, uma opção de amortecimento dos impactos causados à costa. A percepção da importância de praias saudáveis em balneários para o turismo e demais formas de lazer, pesca, aquicultura, proteção, portos, entre outros culminaram no empenho para desenvolvimento de planos de gestão costeira os quais buscavam integrar os aspectos físicos dos processos costeiros com as áreas naturais adjacentes, e às questões sociais e econômicas. Neste ínterim, evidenciam-se as abordagens de Carter (1988), Clark (1996), Bird (1996) e Cicin-Sain (1998).

A partir da década de 2000, geomorfologia costeira integra-se mais notadamente às vigentes tecnologias de sensoriamento remoto, Sistemas de Informação Geográfica e softwares de modelagem das forças costeiras os quais são utilizados na evolução dos ambientes e no uso frequente de obras de intervenção (engordamento, portos, píers). Ainda, aparecem projetos de gestão aliados a legislação recente, com aparato legal e incentivo governamental. Sobressaem-se aí as pesquisas de Dean & Dalrymple (2002) e Chen *et al* (2002).

1.3.1 A geomorfologia no Brasil

Muehe (2005, p.253) coloca que a preocupação em disciplinar o uso do espaço costeiro no Brasil é relativamente recente, e ainda, que os constantes problemas resultantes das intervenções humanas no balanço sedimentar da costa foram e são o foco da demanda por estudos mais detalhados sobre os processos e dinâmica costeira.

A significativa popularização dos espaços litorâneos, mais notadamente nas décadas de 1960-70 (MUEHE 2005, p.253) otimizou o surgimento de conflitos entre os usos da zona costeira, e dessa forma, as respostas naturais da linha de costa transformam-se em problemas sociais à medida que a ocupação humana aparece indisciplinada.

Embora Villwock *et al* (2005) atribuam a realização dos primeiros trabalhos sobre geomorfologia em áreas costeiras no Brasil ao início do século XIX, representando uma fase descritiva até meados do século XX, foi a partir de 1950 e 1960 que deu-se início a fase moderna de investigação da costa brasileira, com trabalhos mais aprofundados de cunho interpretativo.

Nesta fase destacam-se os trabalhos de Kowsmann, 1970, o qual descreveu de forma pioneira no Brasil as mudanças morfodinâmicas da Praia de Copacabana relativas a passagem de frentes frias, assim como a formação de correntes de retorno e cúspides praias (HOEFEL, 1998, 75).

Muehe, em 1979, estabeleceu correlações entre diversas variáveis costeiras, tais como granulometria, morfologia de praia, e comprimento do arco, ao realizar perfis ao longo de nove arcos praias na costa do Rio de Janeiro. Neste estudo, observou que a variabilidade do perfil relacionava-se diretamente com o comprimento do arco e tamanho médio dos sedimentos (HOEFEL, 1998, 76).

Hoefel (1998, p.19) aponta como principais obstáculos aos estudos sistemáticos em praias no Brasil a dificuldade de acesso aos equipamentos necessários e a pequena difusão destes estudos no meio acadêmico. Para ela, a maior parte dos estudos

realizados entre 1970 a 1987 enfatiza as relações entre alterações morfológicas em praias e seus aspectos sedimentológicos.

Nos anos seguintes os estudos de geomorfologia costeira no Brasil seguiram uma fundamentação acadêmica multidisciplinar, basicamente com integração das áreas geológica, geográfica e oceanográfica. Hoefel (1998, p. 77) destaca neste aspecto, autores como Muehe (1979, 1981, 1989, 1991), Angulo (1981), Bittencourt (1987), Albino (1991, 1992), e Calliari e Klein (1993).

Cumprе salientar a contribuição para o gerenciamento costeiro no Brasil com a inserção da questão da capacidade de suporte de praias para o turismo, com a perspectiva do conforto e sua relação com os aspectos físicos atuantes. Nesta ótica destaca-se o trabalho de Polette e Raucci, (2003). Ainda, na questão do planejamento costeiro e políticas públicas, vale evidenciar Robert Moraes (2007).

1.4 Área em estudo

De acordo com o Instituto Jones dos Santos Neves (2010) o estado do Espírito Santo vem apresentando nas últimas décadas grande crescimento socioeconômico e industrial, o que contribui para um incremento populacional, principalmente nas áreas costeiras.

O município de Guarapari localizado no setor sudeste do estado, tradicionalmente reconhecido por suas praias, recebe cada vez mais demanda turística, e conseqüentemente, necessita adequar sua oferta. Apresenta uma população fixa de 105.000 habitantes (IBGE, 2010), porém no verão, devido ao fluxo de turismo o número sobe para aproximadamente 500.000 (PMG, 2009).

A Praia do Morro, uma das mais procuradas para banho do município, apresenta uma feição erosiva já acentuada. Com uma faixa arenosa relativamente de curta largura se comparada a padrões de praias de balneário que suportam alta demanda turística e sedimentos predominantemente finos, apresenta-se sob forte impacto de uma urbanização transgressiva à medida que as construções a beira-mar

encontram-se muito próximas a linha de costa, interferindo no balanço sedimentar das inúmeras variáveis constituintes do sistema praiar. O reflexo da urbanização também se manifesta com a presença de diversos sangradouros ao longo da praia, (FOTO 1 e 2) assim como muros do calçadão em mal estado de conservação (FOTO 3 e 4), fatores que contribuem para perda de estoque sedimentar da faixa ativa da praia.

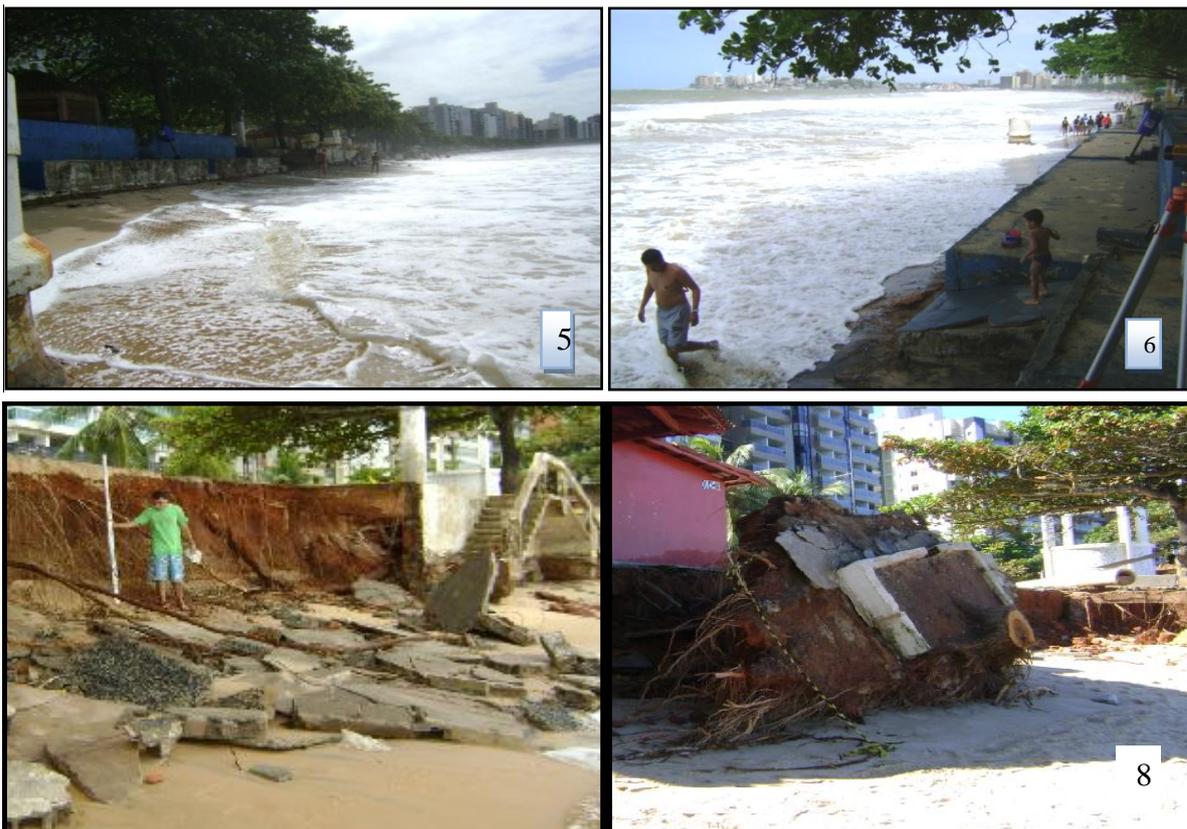


Fotos 1 e 2: Sangradouros de água da chuva nas areias da praia. Fotos do autor, JAN e ABRIL/2010.



Fotos 3 e 4: Muros em mal estado de conservação. Fotos do autor, OUT/2009.

Em abril de 2010, após a passagem de uma frente fria de alta magnitude de energia de onda o aumento relativo do nível do mar na orla ocasionou forte impacto erosivo à praia, a qual teve boa parte de seu calçadão destruído pela ação das ondas e espraiamento (FOTOS 5 a 8). Este evento acelerou as obras já previstas de reurbanização da orla, entretanto, não foram previstas alterações em seu volume de areia.



Fotos 5.a.8 a: Praia do Morro após passagem de frente fria prolongada. Fotos: Leonardo Klumb, abril 2010.

1.4.1 Localização e aspectos geomorfológicos

A área de estudo deste trabalho compreende o arco praiial da Praia do Morro, situado entre dois promontórios rochosos do embasamento cristalino. A praia está localizada no município de Guarapari, no setor sudeste do estado do Espírito Santo (FIGURA 1.4.1). A faixa litorânea em questão se dispõe entre as coordenadas $20^{\circ}39'18.35''$ S – $40^{\circ}28'24.65''$ W e $20^{\circ}39'44.46''$ S - $40^{\circ}29'43''$ W, com uma extensão de aproximadamente 3 km, e orientação NE - SW.

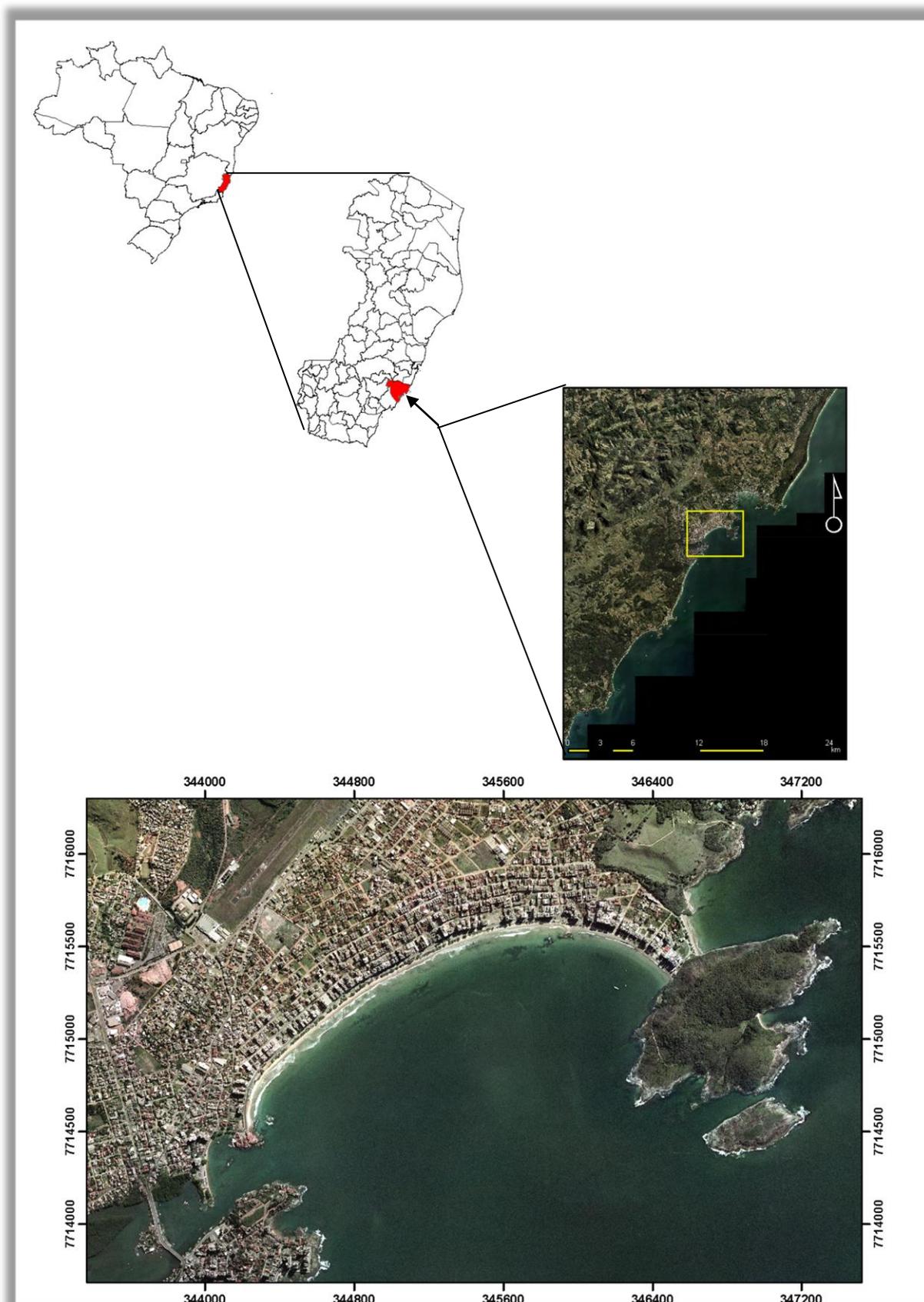


Figura-1.4.1: Localização geográfica da Praia do Morro, Município de Guarapari, ES. Fonte: Mosaico imagens aéreas IEMA 2007.Datum: WGS84 24S.

Martin *et al* (1996) dividiu a costa do estado quanto ao desenvolvimento da planície costeira em 6 setores. Setor 1, da Bahia a Conceição da Barra, com pobre desenvolvimento da planície; Setor 2, que compreende a planície deltaica do rio Doce, de Conceição da Barra a Barra do Riacho, planície costeira bem desenvolvida e farta disponibilidade de sedimentos; Setor 3, da Barra do Riacho a Vitória, com pequeno aporte continental e aporte marinho vulnerável à erosão; Setor 4, da Baía de Vitória ao rio Itapemirim, o qual corresponde à área de estudo deste trabalho; Setor 5, do rio Itapemirim ao rio Itabapoana, com plataforma estreita e alta energia de ondas e setor 6, que corresponde a planície fluvial do rio Itabapoana, caracterizado por disponibilidade de sedimentos fluviais.

O setor 4, compreende áreas de afloramento cristalino pré-cambriano que entram em contato direto com depósitos quaternários costeiros, os quais são resultantes de processos Pleistocênicos/holocênicos trans-regressivos. A área apresenta um litoral bem recortado, com a formação de praias de enseada entre os promontórios.

Na região de Guarapari, o embasamento pré-cambriano aparece na porção serrana do interior do município, e nos afloramentos cristalinos que se encontram aos sedimentos de areias quaternárias depositados nas praias. Albino *et al.* (2001), complementam, caracterizando a região como de pequeno aporte continental, plataforma continental estreita, alta energia de ondas e uma baixa troca sedimentar entre a praia emersa e antepraia. As praias da região possuem feições refletivas, intermediárias e dissipativas, de acordo com o clima característico de ondas.

A figura 1.4.2 representa um mapa esquemático da geologia da região litorânea de Guarapari, com destaque para Praia do Morro, o qual ilustra a composição sedimentar e geomorfologia da área de estudo.

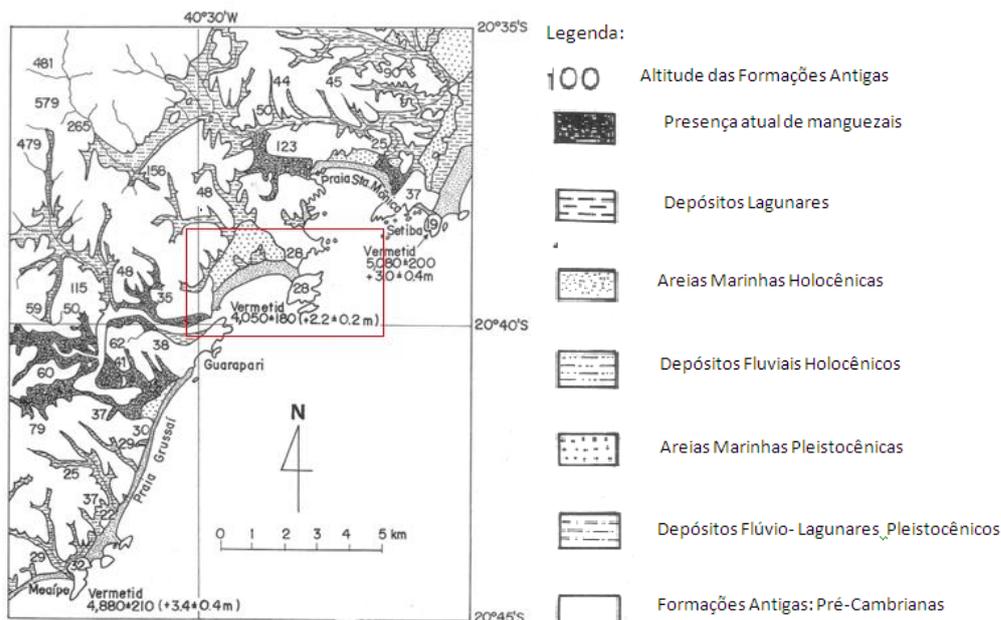


Figura 1.4.2: Mapa geológico esquemático da região de Guarapari, com destaque para Praia do Morro. Fonte: Adaptado de Martin et al (1996).

1.4.2 Aspectos climáticos e Oceanográficos

O clima desta região litorânea de acordo com classificação de Koppen é AW, o que corresponde a um clima quente e úmido, com maior incidência de chuvas durante o verão, e estação seca no outono e inverno (MARTIN, 1996). Os índices pluviométricos da região registram maior intensidade de precipitações nos meses de outubro a janeiro, enquanto de fevereiro a setembro o clima predomina de parcialmente seco a seco (EMCAPA, 1981).

Como já mencionado, o aporte fluvial desta região não é significativo. Entretanto, a região da Praia do Morro está inserida na Bacia Hidrográfica de Guarapari (FIGURA 1.4.3 a), e recebe águas provenientes do Rio Jaboti. Os demais são Rio Percão e Una.

A partir da figura 1.43 b, observa-se o fluxo de pluma de turbidez escoando pelo estuário.

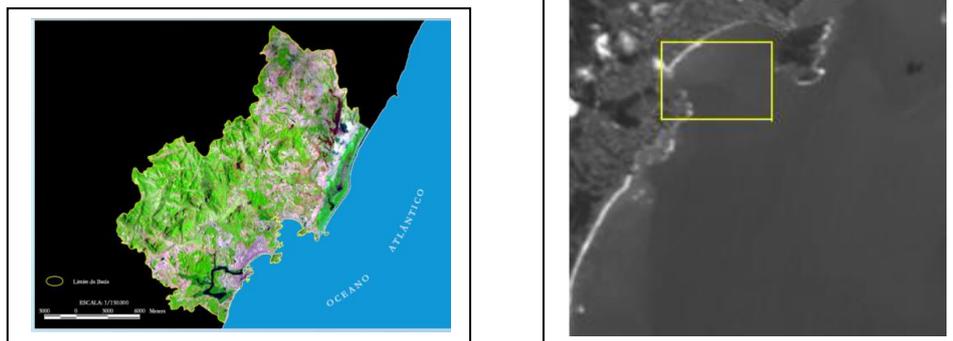


Figura 1.4.3: a) Imagem Landsat TM5 (1999) da Bacia Hidrográfica de Guarapari. Fonte: IEMA, 2009; b) Pluma sedimentar proveniente do estuário do rio Jabuti. Fonte: INPE, extraída de TOFFOLI, 2006.

A batimetria da praia (FIGURA 1.4.4) apresenta menor gradiente de profundidade em sua porção SW, caracterizando uma topografia mais plana e rasa; longitudinalmente à praia, sentido NE, há um aumento do gradiente de inclinação, caracterizando uma porção mais suavemente inclinada e funda.

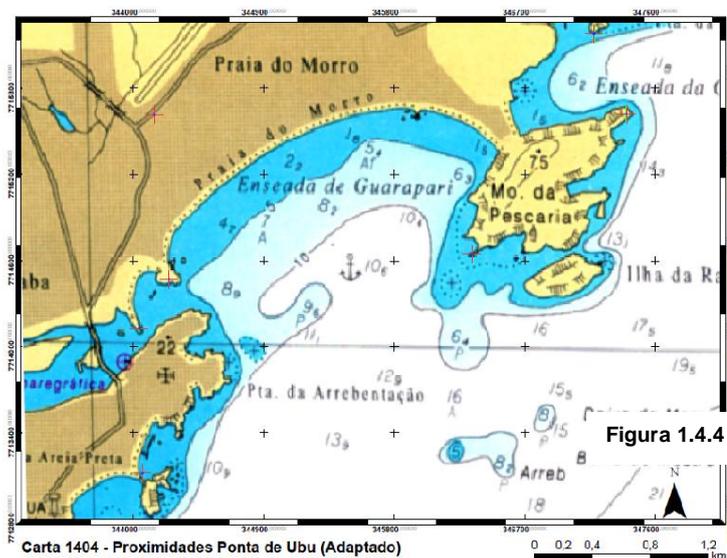


Figura 1.4.4: Carta náutica da região de Guarapari, com destaque para Praia do Morro. Fonte Dhn, disponível em: <https://www.mar.mil.br/dhn/chm/cartas/cartas.html>. 1.4.4.

Os ventos predominantes nesta região são provenientes de NE, com maior frequência e intensidade (FIGURA 1.4.5); entretanto, a região sofre influência de ventos provenientes do quadrante S-SE em períodos de frente fria, mais comumente nos meses de inverno (EMCAPA, 1981).



Figura 1.4.5: Regime de ventos em condições normais na costa do Espírito Santo. Fonte: Martin et al.(1996).

Em Guarapari, as ondas de tempo bom se aproximam da costa provenientes de E, com alturas médias de 1,5 m e períodos entre 7 – 9 segundos (CPTEC, 2010) (FIGURA 1.4.6 a). Já em condições de tempestade, que interferem diretamente na linha de costa da Praia do Morro devido a seu grau de exposição e arqueamento, as ondas se aproximam do quadrante SE, com tamanhos entre 3 e 4 m, e períodos entre 10 e 11 segundos (FIGURA 1.4.6 b).

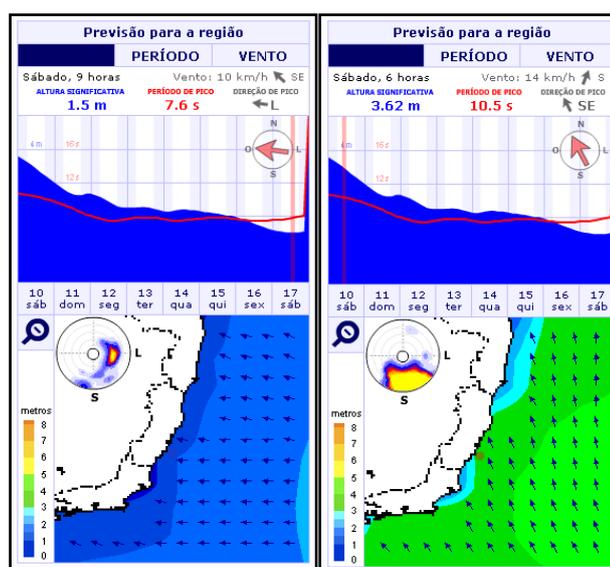


Figura 1.4.6: a) Clima de ondas na região de Guarapari em condições de tempo bom. b) em eventos de tempestades. Fonte: CPTEC, 2010.

De acordo com a Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN, 2009), o litoral do Espírito Santo tem a sua amplitude de maré variando entre 1,40 e 1,50 m. Estes valores são característicos de litoral submetido a um regime de micromaré, o qual é definido por amplitudes menores que 2m.

1.4.3 Aspectos históricos e socioeconômicos

O crescimento econômico aliado aos processos de urbanização do Município de Guarapari se consolidou através da atividade turística. Nas décadas de 1960 e 1970 deu-se início ao desenvolvimento e construção de infra-estrutura turística, trazendo à orla processos de urbanização e verticalização, até então situados na região central do município (GIRARDI; COMETTI, 2006).

A partir da década de 1970 o município sofreu um intenso crescimento imobiliário, o qual norteou a ocupação de toda a faixa litorânea. Dessa forma, a especulação fez com que a vegetação de restinga fosse completamente retirada das orlas em urbanização, dando lugar a calçadas, quiosques e loteamentos imobiliários os quais atendiam a demanda de venda terrenos com objetivo de construção de casas de veraneio (SILVA, 2003). Entre 1984 e 1985 deu-se o asfaltamento e construção do calçadão da orla de grande parte das praias da cidade, incluindo o da Praia do Morro. Já entre os anos 1990 e 2000, a orla mostrava fortes indícios de urbanização, a qual atualmente encontra-se integralmente urbanizada.

II METODOLOGIA

2.1 Embasamento Teórico Metodológico

2.1.1 Da morfodinâmica e as escalas de abordagem

O termo morfodinâmica foi primeiramente inserido na literatura com os trabalhos de Wright e Thom (1977), os quais o definiram como o ajuste mútuo entre topografia e hidrodinâmica envolvendo transporte de sedimento.

Aplicar a definição em termos mais específicos no que concerne ao ambiente praias implica em afirmar que sua topografia superficial - a saber, a zona de espraiamento, zona de surf e zona de empilhamento, será moldada de acordo com o movimento do fluido gerado por ondas, marés e demais correntes costeiras, as quais por sua vez, exercerão influência sobre tais processos (SHORT, 1999, 13).

Cowell e Thom (1994) acrescentam que as principais propriedades da morfodinâmica costeira estão nos processos de retro-alimentação entre a topografia e a hidrodinâmica, as quais impulsionam o transporte de sedimentos, conseqüentemente levando às variações morfológicas ao longo do arco praias.

Os processos morfodinâmicos ainda envolvem interações entre movimentos orbitais de onda e os sedimentos de fundo, os quais caracterizam a topografia, tais como formação de barras e calhas.

Para Short, (1999, 14) o estudo das praias envolve a observação dos eventos sob a ótica de escalas, tanto temporais como espaciais e seus diferentes focos de análise.

Sob esta égide, o autor coloca seis principais abordagens (escolas) que norteiam tais estudos: abordagem geológica, geomorfológica, de engenharia, matemática, de longa escala e de gestão costeira. A tabela 2.1 sumariza tais abordagens e sua classificação quanto à escala temporal e seu foco de análise:

Tabela 2.1: Síntese das abordagens dos estudos de praia. Baseado em Short, 1999.

Abordagem	Escala	Características	Foco de Análise
Geológica	Anos, décadas, milhões de anos	Evolução de praia	Aferição dos processos formadores do ambiente
Geomorfológica	Eventos, décadas	Evolução morfodinâmica	Aferição dos processos modeladores da costa
Engenharia	Eventos, Instantâneo	Modelagem numérica, estruturas rígidas	Aferição de respostas costeiras ao uso de estruturas de engenharia
Matemática	Instantâneo, Eventos,	Modelagem numérica,	Aferição das respostas morfodinâmicas utilizando-se de princípios físicos
Longa Escala	anos, décadas	Estabilidade da linha de costa	Estudos relativos às variações da linha de costa em longa escala temporal
Gestão Costeira	Anos, décadas	Gerenciamento costeiro	Estudos técnicos para tomada de decisões

Modificações na linha de costa são causadas por diversos agentes, em diferentes escalas espaço-temporais, desde a escala geológica estrutural, como movimentos de placas tectônicas, até escalas instantâneas e de menor escala, como as pegadas de banhistas na areia de uma praia, ou obras de engenharia costeira.

Camfield e Morang (1996) atestam que as modificações na linha de costa resultam da interação de diversos fatores, tais como variações eustáticas, isostasia, movimentos cíclicos da geomorfologia costeira e fatores antropogênicos, enquanto Cowell e Thom (1997) completam, destacando o papel das forçantes climáticas como fatores representativos da dinâmica costeira.

O retrabalhamento dos sedimentos pela ação hidrodinâmica das ondas e correntes também atuam no sentido de moldar as formas geomorfológicas percebidas no presente.

Bird (op.cit), complementa que, em praias arenosas, há tanto variações de curta-escala, como até um ano ou anos, de caráter cíclico, tais como intervalos de erosão/acreção, quanto larga escala, incluindo décadas e séculos, para as quais é necessário a utilização de imagens orbitais e sub-orbitais, no intuito de verificar eventos de progradação/recuo da linha de costa.

2.1.2 Processos Costeiros

Os processos sedimentares (erosão e deposição) que ocorrem em uma praia são produtos de fatores oceanográfico-hidrológicos, meteorológico-climáticos, geológicos e antrópicos (SOUZA, 1997).

Destacam-se entre os fatores oceanográfico-hidrológicos as ondas, marés, ventos e as então resultantes destes processos, correntes costeiras. No que tange aos fatores climáticos/ meteorológicos, sua influência se sobressai nas variações diárias do nível do mar e na atuação dos ventos, o que vem a interferir no clima de ondas e como consequência nas características destas correntes costeiras.

Ondas são geradas por ventos em oceano aberto e se propagam pelo oceano até chegarem em águas rasas, onde sofrem diversos processos. A energia de onda é dissipada basicamente pela fricção da base com o fundo, pelo vento e pela divergência de frequência entre diferentes frentes de onda. A energia de onda é função de sua velocidade e altura (PARK, 1999, p. 27). À medida que diminui sua velocidade, aproximando-se da costa, tende a aumentar sua altura e irá quebrar na praia de acordo com as características topográficas e sedimentares de cada ambiente.

Cabe salientar as inúmeras variáveis que interagem com ondas em ambientes de águas rasas, enseadas e estuários. Por serem mais confinados, suportam processos de empilhamento de água devido ao efeito de borda, assim como refração, difração e reflexão de ondas em obstáculos. Por refração, entende-se o desvio de direção sofrido pela onda ao encontrar diferentes profundidades. A energia da onda se conserva, geralmente aumentando sua altura. Difração é a propriedade que as ondas possuem de contornar obstáculos, o que basicamente governa os processos de praias de enseada entre promontórios. Reflexão de onda é seu retorno na direção oposta, uma vez encontrado um obstáculo. Há boa dissipação de energia neste processo (PARK, 1999, p. 29).

2.1.3 Correntes Costeiras e o ajuste morfodinâmico em praias de enseada

Os fatores climáticos/hidrodinâmicos são os responsáveis pelos mecanismos de ação/reação da morfologia das praias. Os fatores climáticos têm maior influência nas variações do nível do mar sazonais e na modificação do sentido de propagação das ondas, resultando numa interferência significativa no rumo das correntes costeiras.

Hoefel (1998) define dois mecanismos básicos que explicam a formação de correntes longitudinais à costa: (1) Incidência oblíqua de ondas sobre a praia; (2) Variação longitudinal da altura da arrebentação. O ângulo de incidência das ondas na praia é fator determinante da velocidade da corrente.

No trânsito das ondas em dissipação na zona de surfe, parte da energia é transferida sob forma de correntes. Isto ocorre, segundo Muehe (2005), devido a um

escoamento lateral da água empilhada por ação das ondas na zona de surfe. Estas correntes transportam sedimentos colocados em suspensão pelas ondas incidentes, potencialmente podendo movê-los ao longo de quilômetros através de um processo de meso-escala temporal alcunhado deriva litorânea (HOEFEL, 1998). Esta é o principal agente de movimentação, retrabalhamento e distribuição de sedimentos ao longo da costa (SOUZA *et al*, 2005).

Cada segmento da costa possui um determinado sentido de deriva, e da interação de vários sentidos resulta uma célula de circulação costeira (TAGGART & SCHWARTS, 1988). Cada célula pode ser subdividida em três zonas:

- i. Zona de erosão, onde se origina a corrente; geralmente local de maior energia de ondas;
- ii. Zona de transporte (*bypass*), onde os sedimentos são transferidos ao longo da costa;
- iii. Zona de deposição, onde a corrente termina, e onde há menor energia de ondas

Souza *et al* (*op.cit*) coloca que quando do encontro entre duas ou mais células, dispostas lado a lado, podem ocorrer duas situações:

- i. Convergência das correntes, onde ocorre intensa deposição (ex: difração de obstáculos e formação de tómbolos), ou formação de uma terceira corrente, de retorno;
- ii. Divergência de correntes, onde ocorre intensa erosão.

Ao longo da deriva litorânea, pode-se reconhecer um melhor grau de seleção em termos de tamanho dos grãos de areia, progressivo ao longo da deriva. Bird (1996), afirma que para uma praia com partículas de diferentes tamanhos, pode ocorrer afinamento de partículas ao longo da deriva, devido à maior facilidade de transporte dos grãos mais finos pelas correntes. Por outro lado, reconhece a possibilidade de um engrossamento dos grãos, uma vez que os grãos mais finos podem ser levados *offshore* por ação das ondas, ou entrarem nos processos de espraiamento e refluxo, sendo alocados e transitados na face da praia.

Correntes transversais à linha de costa, também conhecidas como correntes de retorno, caracterizam-se por fluxos estreitos, normais ou oblíquos em relação a costa, que atravessam a zona de surfe em direção *offshore* (HOEFEL, 1998). Enquanto na zona de surfe o transporte se dá pela corrente longitudinal, as correntes transversais são responsáveis pelo transporte na região da face, através do resultado do espriamento e refluxo da onda (MUEHE, 2005).

Em praias cujas extremidades são delimitadas por promontórios (praias de enseada), o transporte longitudinal de uma extremidade a outra caracteriza um sistema rotacional. Para Klein *et al* (2005), este comportamento cíclico de transporte de sedimentos pode ser atribuído a variações sazonais de incidência de ondas, mais especificamente na direção do trem de ondas. Tal processo pode ocorrer em escala de semanas, meses ou décadas, sem, contudo, apresentar incremento ou decréscimo líquido de sedimentos no sistema.

Dessa forma, praias de enseada têm sua forma relacionada ao grau de exposição às ondas e responde com assimetria da linha de costa e gradientes de energia.

Assim, uma linha de costa é raramente retilínea; alguns setores aparecem gentilmente curvados, outros com maior grau de arqueamento e outros perfeitamente embaiados (SILVESTER & HSU, 1993 p. 200)

A presença de promontórios nas extremidades de praias arenosas ainda exerce importante influência sobre ondas e marés, na dispersão e deposição de sedimentos, e finalmente, na evolução da linha de costa. Promontórios não apenas dissipam a energia das ondas através da mudança do eixo das ortogonais (CARTER, 1988, p.144) como promovem empilhamento de água na costa, gerando feições e processos de adaptação aos cenários originados.

Short & Masselink (1999, 230) pontuam que praias de enseada são características em costas rochosas, e que o comprimento e largura destas são basicamente dependentes do arcabouço cristalino estrutural, o qual foi afogado por transgressões holocênicas e, a partir de então, preenchido por sedimentos disponibilizados por eventos subseqüentes de regressão marinha.

A morfodinâmica das praias de enseada é basicamente controlada por padrões de refração e difração associados ao clima de ondas predominante (KOMAR, 1975). Para Silvester & Hsu (1993) o transporte longitudinal de sedimentos é responsável pela forma da praia que assume uma orientação determinada pela força e ângulo predominante de incidência das ondas.

Tan & Chiew (1994) afirmam que uma praia de enseada pode estar em equilíbrio estático ou dinâmico. Se a enseada encontra-se em equilíbrio estático com as condições hidrodinâmicas, a praia não apresentará transporte longitudinal por correntes costeiras, uma vez que a obliquidade do ângulo de incidência das ondas é tal que a ortogonal se disponibiliza paralela a linha de costa por toda a extensão da praia. Não obstante, fracas correntes podem surgir movidas pelo gradiente de energia das ondas, *i.e* de regiões de maior energia para outras de menor (SHORT & MASSELINK, 1999, 231).

Silvester (1974) *apud* Silva *et al* (2006) considera praias em equilíbrio dinâmico àquelas que contêm alguma fonte de sedimentos, como descarga fluvial por exemplo e são afetadas por ondas incidindo com determinado ângulo em relação à costa, o que condiciona à formação de correntes longitudinais.

Dessa forma, o padrão de ondas incidentes molda o formato em planta das praias de enseada, as quais, de acordo com Woodroffe (2002, p. 265) caracterizam-se por uma assimetria de forma, com uma curvatura acentuada na zona de sombra adjacente ao promontório, curvatura mais suave na região central da enseada e uma região já quase retilínea na extremidade oposta ao promontório principal.

Woodroffe (2002, 266) afirma que praias na zona de sombra tendem a apresentar características mais refletivas, enquanto praias nas zonas subseqüentes tenderiam a ser mais dissipativas, apresentando granulometria mais fina. Entretanto, Silva *et al* (2006) atribui basicamente à fonte de sedimentos as características granulométricas, não sendo portanto determinista a compartimentação textural dos sedimentos ao longo da zonação acima proposta.

Krumbein (1944) percebeu a relação da modelagem de praias de enseada com equações de espiral logarítmica, o que foi posteriormente constatado por Yasso (1965) ao analisar o padrão das formas de 4 praias de enseada na costa leste e oeste dos Estados Unidos (SILVESTER & HSU, 1993 p. 212). Entretanto, o setor relativamente retilíneo da praia de enseada não condizia com a equação da espiral; ainda, o centro da espiral não era compatível com o ponto de difração real das ondas, o que acarretava em constantes erros no modelo (SHORT & MASSELINK 1999, p.231).

De modo a aproximar as equações logarítmicas ao formato real das praias de enseada, Hsu *et al* (1987) e Hsu & Evans (1989) desenvolveram uma relação com maior abrangência aos casos reais aplicando o modelo parabólico. Este modelo é baseado em dois pontos fixos, denominados pontos-controle. O primeiro ponto controle é fixado onde ocorre a difração das ondas na entrada da enseada, e deve ser posicionado na ponta do promontório principal. O segundo pode ser outro promontório, na extremidade oposta da praia, ou um ponto fixado no início da secção retilínea da baía, no qual as ondas incidem quase normais á linha de costa (FIGURA 2.1) (SILVESTER & HSU, 1993).

O principio básico do modelo parabólico é sua aplicação em uma praia em equilíbrio estático, onde a onda predominante ataca ortogonalmente a costa refratando em um promontório qualquer, seja ele natural ou obra de engenharia, que em longa escala modela a costa até o momento que não haja mais transporte longitudinal e transversal de sedimento significativa. A configuração assumida para o modelo é uma zona de sombra onde a espiral logarítmica aproxima-se bem da forma da costa.

Para sua aplicação a praia de enseada deve seguir algumas condicionantes (HSU e EVANS, 1989):

- i. a praia deve ser predominantemente arenosa;
- ii. a onda de marulho deve ser persistente e seguir por uma direção predominante;
- iii. a praia deve seguir um regime de maré de baixa amplitude – menor que 2 metros;
- iv. deve haver um promontório que condiciona a forma da praia;

- v. em eventos de tempestades o sedimento da praia é removido e depositado na zona submersa em forma de barra, que se reintegra à praia em pouco tempo quando o marulho predominante retorna;
- vi. a onda deve chegar à praia com certa obliquidade que cause deriva litorânea.
- vii. a direção do movimento longitudinal de sedimento deve ser ditada pela onda predominante e não pela de tempestade.;
- viii. a taxa anual de deriva longitudinal é mais influenciada pelo número de tempestades que pela componente longitudinal da energia da onda.

A linha que conecta os dois pontos controle, a linha controle, possui um comprimento R_0 . O ângulo entre as ortogonais de onda incidentes e a linha controle representa a obliquidade de onda β . Uma série de linhas de comprimento R podem ser traçadas a partir do ponto de difração de ondas em direção à praia com um ângulo θ , que representa o ângulo entre a linha R e o eixo da ortogonal de ondas.

Assim, a equação do modelo parabólico proposto por Hsu et al fornece a razão $\frac{R}{R_0}$ para qualquer valor de θ , uma vez conhecido o valor de β , tal que

$$\frac{R}{R_0} = C_0 + C_1 \left(\frac{\beta}{\theta} \right) + C_2 \left(\frac{\beta}{\theta} \right)^2$$

Onde

R_0 = Linha controle, que une o ponto de difração de ondas até o final da parte retilínea da praia;

R = Raios traçados a partir do promontório e unidos ao longo da praia

β = Ângulo Beta ângulo formado entre a linha de direção de ondas predominantes e a linha R_0 ;

θ = Ângulo Teta ângulos formados entre a linha de direção predominante de ondas e os demais raios R

C_0, C_1, C_2 = coeficientes obtidos em função do ângulo beta e definidos através de testes e experimentos tabelados.

As variáveis podem visualizadas através do esquema abaixo:

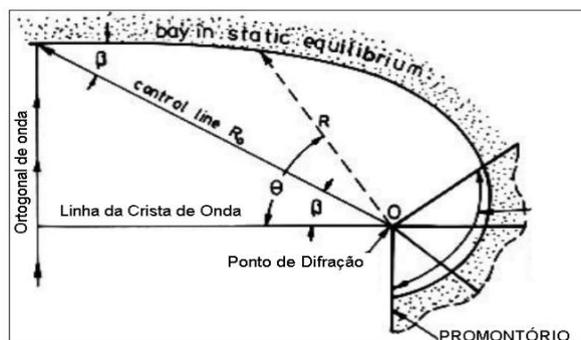


Figura 2.1: Representação esquemática do modelo parabólico por Silvester & Hsu 1993 (modificado).

Dessa forma, o modelo parabólico define a forma de uma praia de enseada de maneira adimensional, a partir da relação dos parâmetros $\frac{R}{R_0}$ em função de $\frac{\beta}{\theta}$, para diferentes valores de β (TAN & CHIEW, 1994).

Para estes autores, o modelo parabólico é funcional para definição da forma em equilíbrio estático de uma praia de enseada, entretanto, não deve desconsiderar, ou considerar separadamente, as características físicas da praia, tais como parâmetros texturais do sedimento, gradiente de inclinação e topografia de fundo.

A análise e aplicação do modelo podem ser otimizadas utilizando-se processamento computacional apto a simular graficamente o modelo parabólico para praias de enseada. Alunos da Universidade Vale do Itajaí – SC (VARGAS *et al*, 2002) desenvolveram o MEPPE (MEPBAY) (Modelo de Equilíbrio em Planta para Praias de Enseada) ,um software que auxilia na aplicação e visualização do modelo parabólico, com base em linguagem de algoritmos.

De acordo com Vargas *et al* (2002) o sistema desenvolvido oferece uma interface que permite ao usuário indicar os pontos importantes do Modelo Parabólico, a partir de uma fotografia aérea, uma imagem de satélite, ou mapa de uma praia, em planta. O aplicativo possibilita a experimentação de maneira instantânea da representação gráfica da linha de costa teórica, ou seja, onde teoricamente deveria estar a faixa de

areia da praia em relação aos pontos selecionados na figura, de acordo com o modelo.

Para tanto, o usuário deve identificar com o *mouse* os pontos controle sobre a imagem escolhida, sendo eles o ponto de difração, o ponto final da enseada, e a direção das ortogonais predominantes de onda (FIGURA 2.2).

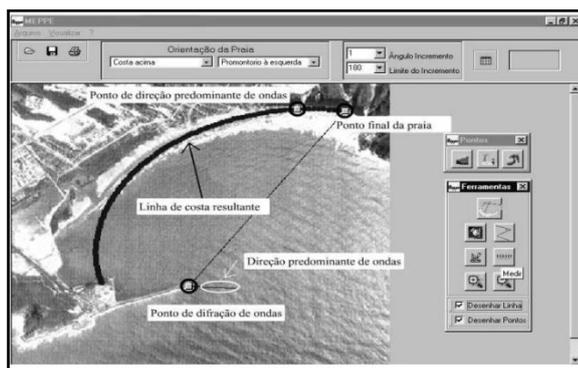


Figura 2.2: Ilustração da utilização do MEPPE. Na imagem nota-se a delimitação dos pontos-controle necessários à aplicação do modelo parabólico. Fonte: Vargas et al, 2002.

Lausman e Klein (2006) testaram a aplicação do modelo computacional para diversos casos de enseadas, no Brasil e nos Estados Unidos, em praias naturais e alteradas pelo homem, para caracterização do estado de equilíbrio em planta. As praias de Taquaras e Taquarinhas (SC) (FIGURA 2.3) são exemplos de praias delimitadas por promontório rochoso, onde os autores encontraram um ajuste quase perfeito entre a linha modelada e a real, que juntamente com evidências de deriva longitudinal pequena apontam para um estado de quase equilíbrio estático.

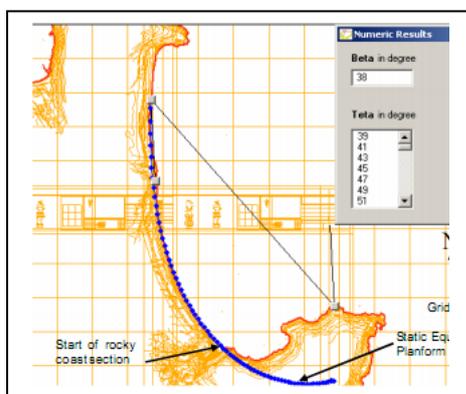


Figura 2.3: Praia em equilíbrio estático. Fonte: LAUSMAN e KLEIN, 2006.

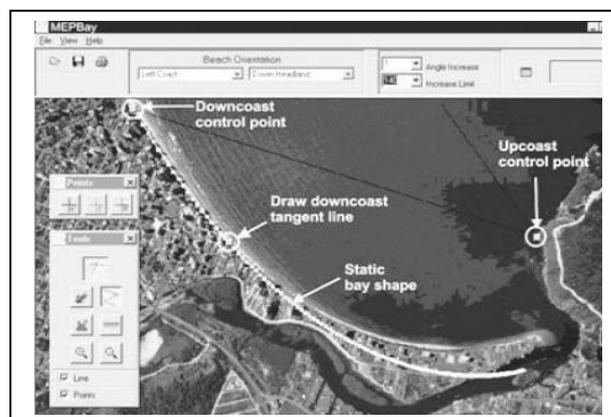


Figura 2.4. Aplicação do modelo parabólico em enseadas com estuários. Balneário Camboriu, SC. Fonte: Hsu et al (2008).

Hsu *et al* (2008) encontraram resultados diferentes ao aplicarem o modelo em enseada cuja extremidade é caracterizada pela presença de estuário nas adjacências (FIGURA 2.4). O fornecimento sedimentar nestes casos influencia a progradação da linha de costa, que de acordo com o modelo, estaria retroterra da posição que se encontra atualmente. Assim, a praia seria classificada como em estado de equilíbrio dinâmico, pois, de acordo com os autores, caso haja interrupção do *input* sedimentar, a praia entraria em nova adaptação de sua linha de costa, atpe atingir seu estado de equilíbrio estático.

2.1.4 Evolução Costeira

Tomando-se os ambientes costeiros como uns dos mais variáveis do planeta (CARTER, 1988, p.13) uma vez que resultam da sutil interação de inúmeras variáveis, a complexidade dos fenômenos atuantes na linha de costa torna-se axiomática.

A interação do arcabouço estrutural tectônico com as mudanças climáticas que culminaram em variações eustáticas e aos processos físicos e morfológicos de águas rasas resultaram na modelagem de diferentes tipos de costas, distribuídas ao longo da faixa litorânea global.

Boak & Turner (2005) salientam que uma definição de linha de costa deve considerar tanto a perspectiva espacial quanto temporal, assim como a escala de eventos a qual se deseja investigar. Destarte, Dolan *et al* (1980) definem linha de costa como a interface física entre terra e água, a qual pode ser coerentemente completada por Carter (1988, 1) como a interface entre terra, ar e água, podendo esta água ser doce ou salgada, ou, contribuição nossa, salobra.

Krueger *et al* (1998), afirmam que ao longo das escalas de tempo, as linhas de costa podem apresentar progradação, recuo ou estabilidade.

Linhas de praia que recebem maior aporte sedimentar, de variadas fontes, do que perdem por células de transporte, tornam-se mais altas e mais largas, apresentando um perfil progradacional mar adentro. Já praias que perdem mais sedimento do que recebem, por ação de agentes oceanográficos atuantes ou intervenções humanas

mal planejadas, tendem a apresentar um perfil de recuo de linha de costa (BIRD, 1996).

Costas progradantes estão relacionadas à desembocaduras fluviais de grande aporte sedimentar e baixa susceptibilidade erosiva natural, como dinâmica de ondas e correntes costeiras. Por outro lado, costas retrogradantes estariam relacionadas a um desequilíbrio no balanço sedimentar das praias arenosas em resposta a uma mudança ambiental, natural ou antropogênica, que resulta em uma readaptação de sua forma aos novos processos.

Para Douglas & Crowel (2000) a localização da linha de costa bem como sua variação ao longo do tempo é de fundamental importância tanto para engenheiros de costa quanto para gestores. Ambos necessitam de informações sobre onde a interface esteve no passado, e da previsão de onde estará no futuro (BOAK & TURNER, 2005). Mazzer e Dillenburg (2009) complementam que o estudo das variações da linha de costa nos últimos 100 é de fundamental importância para a compreensão dos processos naturais e de resposta às intervenções antrópicas.

A localização da linha de costa fornece subsídios em relação a sua re-orientação em resposta a implantação de estruturas, e quanto a largura e volume da praia (SMITH & JACKSON, 1990), e é utilizada para indicar taxas históricas de variação.

Para Crowel et al (1991), o mapeamento sistemático da linha de costa e o acompanhamento de suas mudanças representam ferramentas de grande valor para o gerenciamento costeiro, pois fornecem subsídios para o estabelecimento de faixas de recuo da zona litorânea, permitem a determinação de áreas de risco de erosão costeira e contribuem para implantação de obras de intervenção direta na linha de costa. Mazzer & Dillenburg (2009) acrescentam que determinar o comportamento da linha de costa em escalas temporais distintas pode contribuir com subsídios relevantes para o planejamento da ocupação da orla em horizontes temporais superiores a 20 anos.

Observando o caráter dinâmico e temporal que se impõe sobre tal feição costeira, e buscando a melhor forma de interpretá-la, adotam-se indicadores, que são feições

usadas para representar a posição real da linha de costa, escolhidas dependendo da informação que se pretende extrair, da disponibilidade de dados, das escalas de trabalho e erros associados ao processo de aquisição e tratamento das imagens (BROAK e TURNER, 2005).

Muitas formas costeiras podem ser identificadas em imagens sub-orbitais pela textura, forma, tonalidades e padrões, existindo ainda a possibilidade de tratamento da imagem para realce da feição, facilitando sua detecção (FRIHY, 1988). Deve-se considerar, entretanto, que a viabilidade da caracterização da posição da linha de costa leva em conta o indicador a ser escolhido, a disponibilidade dos dados e sua qualidade principalmente em termos de resolução e visibilidade das feições costeiras.

Smith e Zarillo (1990) sugerem que a posição média da linha de costa identificada a partir de fotografias aéreas pode nem sempre ser a mais adequada por conta da flutuação do volume de sedimentos na praia, com possível variabilidade temporal, devido à ocorrência de eventos de tempestades e do caráter sazonal da disponibilidade e do estoque de sedimentos.

Somam-se ainda possíveis erros e distorções do método de aquisição de imagem por sensoriamento remoto, relativamente comuns, como distorção radial causada pela lente do equipamento, relevo, inclinação da aeronave e a variação na escala da imagem por mudança na altitude do voo (MOORE, 2000).

Dentre os principais indicadores na análise da mudança da linha de costa, Smith e Zarillo (1990), e Zhang *et al.* (2002), discutem a aplicação da linha de maré alta, onde segundo eles, torna-se facilmente identificada devido a uma mudança de tom do sedimento que ocorre no local onde a água atinge seu ponto máximo. Hoeke *et al.* (2001) entretanto, discordam da utilização desse indicador pois segundo eles, essa marca pode não ser nítida, e em alguns casos sequer aparecer como uma zona de transição ou simplesmente não aparecer na fotografia aérea. Fischer (2005) considera a linha da água como a feição menos confiável já que é suscetível às variações de curto período; sendo porém considerada como bom indicador em

praias arenosas de baixa declividade e areias fina por Absalonsen e Toldo Jr. (2006).

2.2 Materiais e Métodos

2.2.1 Morfodinâmica e Processos Costeiros

Foram definidas 5 estações amostrais onde foram levantados perfis topográficos transversais, escolhidos de acordo com a extensão e forma do arco praial (TABELA 2.2; FIGURA 2.5). Para cada perfil, foram feitas coletas de sedimentos do berma, e face praial, assim como medidos dados de altura de ondas, período e ângulo de incidência. As coletas ocorreram de 2 em 2 meses, com início em outubro de 2008 à agosto de 2009. O levantamento topográfico foi realizado pela metodologia de perfilagem subaérea (MUEHE, 1996).

Tabela 2.2: Coordenadas das 5 estações amostrais. Datum: UTM WGS84-24S

Estação	Coordenadas UTM	Coordenadas Geográficas	Referencias	Azimute
P1	0344432 7714991	20°39'27" 40°29'35"	Ed Condom. Praia do Morro.	168°
P2	0344780 7715280	20° 39'18" 40° 29'23"	Ed. Meliá Turquesa	160°
P3	0345200 7715544	20° 39'10" 40° 23'08"	Ed. Sandra n 938	182°
P4	0345760 7715675	20° 39'05" 40° 28'48"	Ed. Andréia Luiza e Crep Lanches.	24°
P5	0346276 7715604	20° 39'08" 40° 28'32"	Ed. Bem Hur Andrade N 306	58°

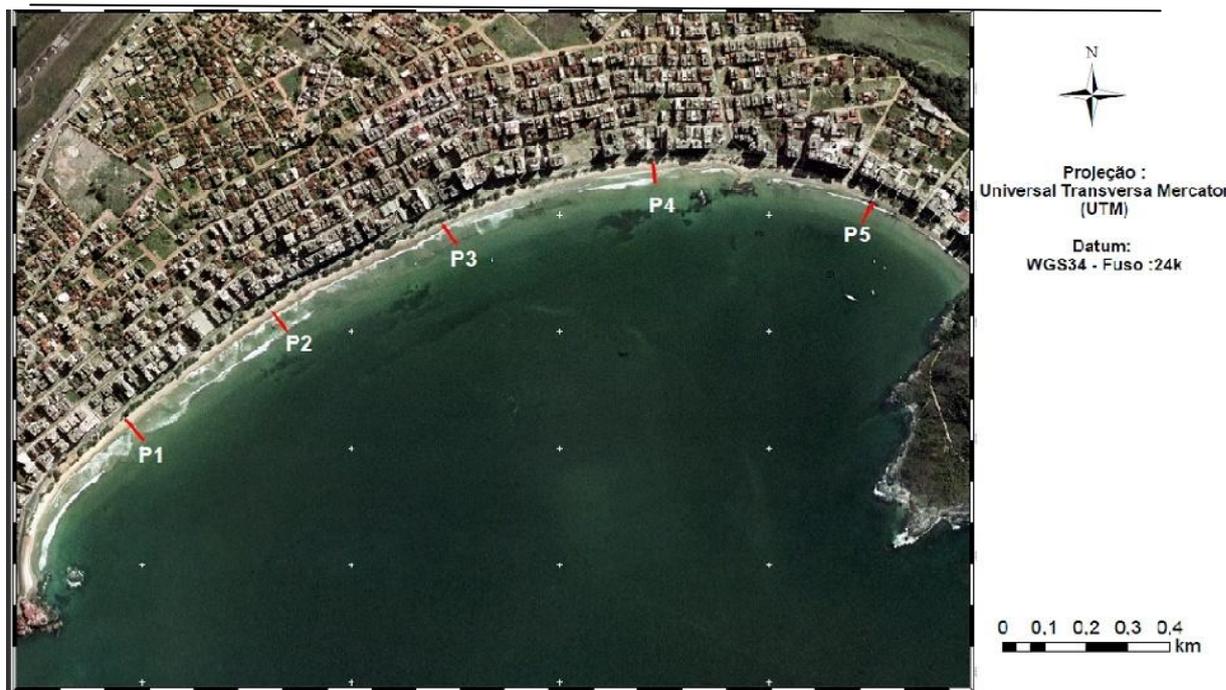


Figura 2.5: Localização das estações na Praia do Morro – ES. Fonte: IEMAS (2007) modificado.

2.2.2 Granulometria

A análise granulométrica no laboratório consistiu na separação de uma dada amostra sedimentológica de acordo com o tamanho dos grãos, para obtenção, por interpretação dos resultados, de informações sobre o sedimento, bem como sobre a hidrodinâmica de seu local de deposição. A separação granulométrica foi feita por um processo de peneiramento a seco, de acordo com método de Folk (1968).

Com os dados obtidos através da percentagem do peso retido acumulado em cada fração, foram obtidos percentis, os quais aplicam-se ao método estatístico proposto por FOLK & WARD (1957). Os resultados da distribuição dos sedimentos segundo classes e tamanhos foram inseridos no *software* Gradistat para o cálculo dos parâmetros estatísticos descritos por Folk e Ward (1957).

Os resultados obtidos através do programa são indicativos das condições ambientais, baseados nos parâmetros texturais das amostras analisadas. Tais parâmetros são basicamente o diâmetro, o desvio padrão, a assimetria e a curtose.

2.2.3 Determinação da tipologia praial atual

Para determinação da tipologia da praia foi utilizado o método de superposição de perfis, e a partir de então, feita uma comparação visual dos perfis topográficos plotados com o modelo e aplicação do parâmetro de Ω Dean (1973):

$$\Omega = \frac{Hb}{ws * T}$$

No qual Hb é a altura da onda na arrebentação, ws é a velocidade de decantação do grão na face da praia e T é o período do trem de ondas.

Neste trabalho foram calculados valores para tipologia da praia em condições de tempo bom e tempestade.

Para determinação da variável ws , foi utilizado modelo de decantação de grãos na face da praia elaborado por Muehe (2002):

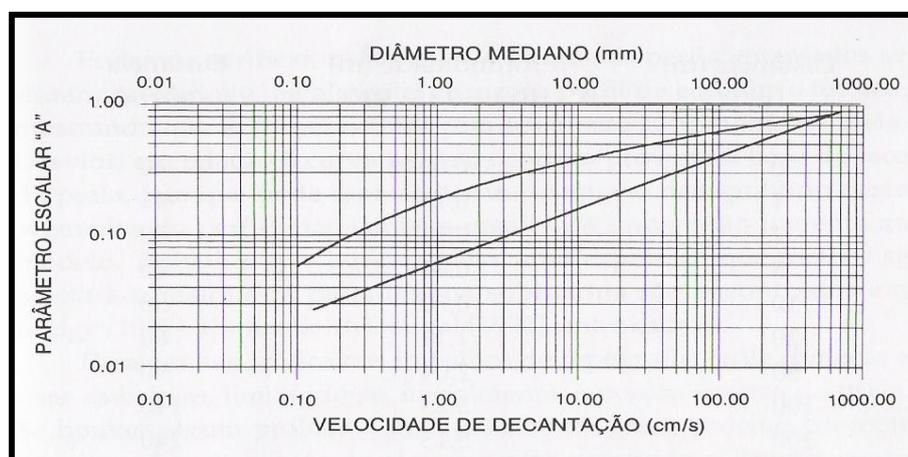


Figura 2.6: Gráfico de "A"(ws) em função do diâmetro mediano granulométrico dos sedimentos (curva superior), ou da velocidade de decantação (linha reta). Fonte: Muehe, (2002).

Segundo Wright *et al* (1985) a aplicação do parâmetro ômega deve corresponder ao estado praial de acordo com os valores relacionados na tabela 2.3 abaixo:

Tabela 2.3 : Associações entre estado praial e Ω . Adaptado de Wright et al. (1985)

Estado praial	Ω médio	Desvio Padrão
Refletivo	< 1,5	-
TBM	2,4	0,19
BTR	3,15	0,64
BPR	3,5	0,76
BCL	4,7	0,93
Dissipativo	> 5,5	-

2.2.4 Determinação da direção da deriva e transporte de sedimentos a partir dos parâmetros granulométricos

Para determinação dos rumos das correntes de deriva litorânea e conseqüente transporte sedimentar, utilizou-se o método proposto por Taggart e Schwartz (1988), modificado por Souza (2007)

Tal método consiste na interpretação de cinco parâmetros: (1) largura da praia; (2) Inclinação da praia; (3) diâmetro médio dos grãos constituintes da face praial; (4) curtose (5) desvio padrão.

A relação entre áreas de barlamar (origem - erosão) e sotamar (término - deposição) de uma célula de deriva apresenta as seguintes variações (SOUZA, 2007): aumento da largura, diminuição da inclinação, afinamento dos grãos, diminuição da energia das ondas e aumento do grau de seleção dos sedimentos.

Dessa forma, utilizando-se uma matriz de comparação, cada amostra foi comparada com as duas amostras adjacentes, sendo o produto da comparação indicado com sinal (+) indicador de sotamar; ou (-) como indicador de barlamar.

Para cada um dos cinco parâmetros analisados, foi obtido um par de sinais, podendo ser (+/+), (+/-), (-/+), (-/-), uma vez que cada amostra foi comparada com suas duas adjacentes, com exceção das amostras das extremidades das praias.

O resultado final foi dado pela comparação de todos os parâmetros, e representado por outro par de sinais. Assim, se o par resultante for (+/+), significa uma predominância de processos deposicionais no local; caso for (-/-), indica predomínio de erosão no segmento considerado; (+/-) e (-/+) são indicativos de transporte (*bypass*) de sedimentos.

2.2.5 Determinação do Estado de Equilíbrio da enseada

2.2.5.1 Aplicação do Modelo Parabólico

Para a determinação da linha de costa proposta de acordo com as equações do modelo parabólico utilizou-se o software livre MEPPE (Modelo de Equilíbrio em Planta para Praias de Enseada). Como pontos controle, foram escolhidos a extremidade NE da praia, como ponto de difração, assim como sua extremidade SW e o início da porção retilínea do arco da praia, como ponto final do embaiamento (FIGURA 2.7). A ortogonal das ondas incidentes foi delimitada com ângulo normal à entrada da enseada, tangente ao Morro da Pescaria, bem como um ângulo cuja ortogonal incide proveniente de S/SE, devido aos diferentes graus de exposição da praia. Para melhor efeito de resultados, também optou-se por plotar o ponto de difração a extremidade SW da enseada, a fim de delinear a linha de praia deste setor da enseada. Os pontos podem ser observados na figura abaixo:

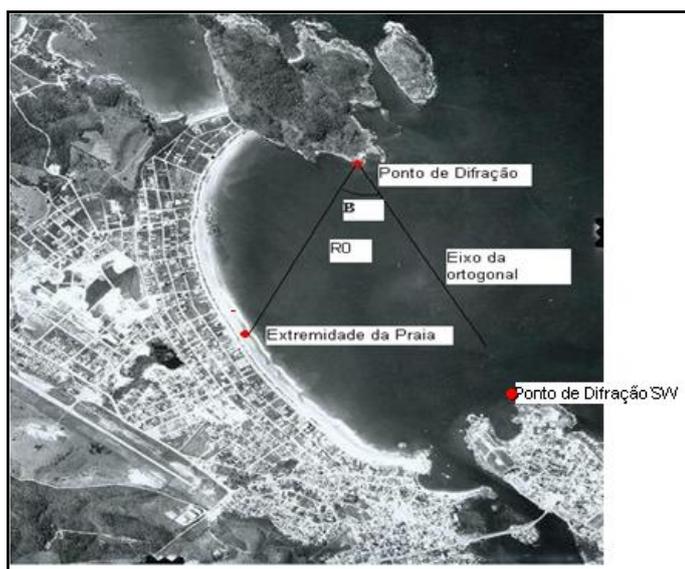


Figura 2.7: Imagem aérea da Praia do Morro com destaque para os pontos do modelo parabólico.

2.2.6 Evolução da Linha de Costa

2.2.6.1 Determinação da variação da linha de costa nos últimos 40 anos

Foram utilizadas imagens aéreas da Praia do Morro em intervalos de aproximadamente 10 e 20 anos, correspondentes aos anos de 1970, 1978 e 2007, cedidas pelo Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo – IDAF e mosaico de fotos aéreas cedidas pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente (IEMA). As mais antigas são produtos de imagens analógicas, digitalizadas com resolução de 450 dpi, em formato JPEG, introduzindo certo erro ao método. As imagens são:

- a) Foto aérea vertical monocromática para o ano de 1970, escala original 1:8.000;
- b) Foto aérea vertical monocromática para o ano de 1978, escala original 1:8.000
- c) Mosaico georreferenciado de fotos verticais para o ano de 2007.

Todo o material fotográfico foi transformado para extensão TIFF e georreferenciado no programa Arcgis 9.2 tendo como base o mosaico de 2007. A representatividade do pixel variou entre 0.7 e 1.7 metros para os mosaicos. As imagens foram referenciadas no sistema de coordenadas UTM, referência espacial WGS 1984, zona 24S. Para o georeferenciamento e retificação geométrica das demais imagens foram escolhidos dezoito pontos controle próximos da área de interesse (linha de costa), quando existentes neste montante, ou o mais próximo possível desse valor quando forem escassos.

Para tanto, de acordo com Araujo *et al.* (2009), apenas a região de interesse terá uma boa retificação, sendo que o restante da imagem pode apresentar certo grau de distorção. O erro gerado pelo processo de referenciamento da imagem é calculado pelo próprio software através índice EQM (Erro Quadrado Médio) identificado no programa pela sigla RMS.

A partir do georeferenciamento foi escolhido o indicador mais adequado à área, neste caso, a linha de preamar média (LPM), a qual é determinada pela linha de sedimentos secos/sedimentos molhados, devido a maior facilidade de visualização nas imagens. Em praias arenosas de baixa declividade e areia fina, Absalonsen e Toldo Jr. (2006), sugeriram a linha da água como geoindicador com a vantagem de

que essa não correria o risco de sumir com o passar dos tempos. A partir de então foram traçadas manualmente as linhas de costa de cada ano, sendo todas elas sobrepostas no mosaico de 2007 para fins de comparação.

Os cálculos de variação da linha de costa foram feitos quantificando área erodida ou progradada, através da ferramenta computacional Digital Shoreline Analysis System (DSAS) versão 4.2, criado por E. Robert Thieler do Serviço Geológico Americano, que funciona como uma extensão do software ArcGis® v.9.3 (THIELER et al, 2009).

O DSAS é um aplicativo que calcula uma série de parâmetros estatísticos ao longo de transectos perpendiculares à linha de costa. Entretanto, devido a escassez da serie temporal e o elevado grau de intervenção humana da Praia do Morro, foi utilizado apenas o NSM (Net Shoreline Movement), que calcula a distância entre a linha de costa mais antiga e a mais recente ao longo de cada transecto pré-determinado.

Neste trabalho foram delimitados 62 transectos ao longo do arco da Praia do Morro, com distância de aproximadamente 31 metros entre eles. A linha de base, que é utilizada na referência espacial de todos os anos, consistiu numa linha paralela a avenida litorânea da praia e distante desta em 100 metros na direção retro terra.

III RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Morfodinâmica e Processos Costeiros

3.1.1 Granulometria

De uma maneira geral a Praia do Morro é caracterizada por areias finas, com bom grau de seleção. Observa-se aumento no grau de seleção longitudinalmente à praia, de P1 para P5.

A variação granulométrica foi proporcional a hidrodinâmica das estações da praia, e seus diferentes graus de exposição. A estação P1 apresenta granulometria mais

grossa em relação às demais, ao mesmo tempo que possui maior hidrodinâmica; um afinamento dos grãos ocorre sentido NE, de acordo com a diminuição paulatina da energia de ondas neste sentido, basicamente devido ao sombreamento proporcionado pelo promontório na extremidade NE.

A granulometria das areias do berma de P1 (FIGURA 3.1) variou consideravelmente ao longo do ano, apresentando modas entre 0,5 (areia grossa) e 2 (areia média) Phi. Exceções aos meses de junho e agosto, que apresentaram um afinamento da moda (2,5 Phi). Estas variações podem estar relacionadas a maior competência hidráulica das ondas e um possível fornecimento sedimentar pela desembocadura do corpo d'água próximo a estação amostral.

As areias da face praial apresentaram pouca variação, com granulometria entre areias médias e muito finas para todos os meses amostrados. Exceção ao mês de junho, o qual demonstrou pior grau de seleção em relação aos outros meses, apresentando desde areias grossas até muito finas, o que pode estar relacionado ao incremento da energia de ondas pela passagem de sistemas frontais.

As areias do berma da Estação P2 (FIGURA 3.1) apresentaram distribuição granulométrica bastante similar ao longo do tempo, com modas em areia fina (2 Phi) para todos os meses, exceto fevereiro, o qual apresentou pior grau de seleção em relação aos demais. A granulometria da face também se mostrou praticamente homogênea, com modas entre 2,5 e 3 Phi. A baixa variabilidade granulométrica da Estação P2 é refletida na também baixa variabilidade topográfica do perfil, assim como seu comportamento no sentido de zona de transporte, o que demonstra uma menor dinâmica sazonal deste setor da praia.

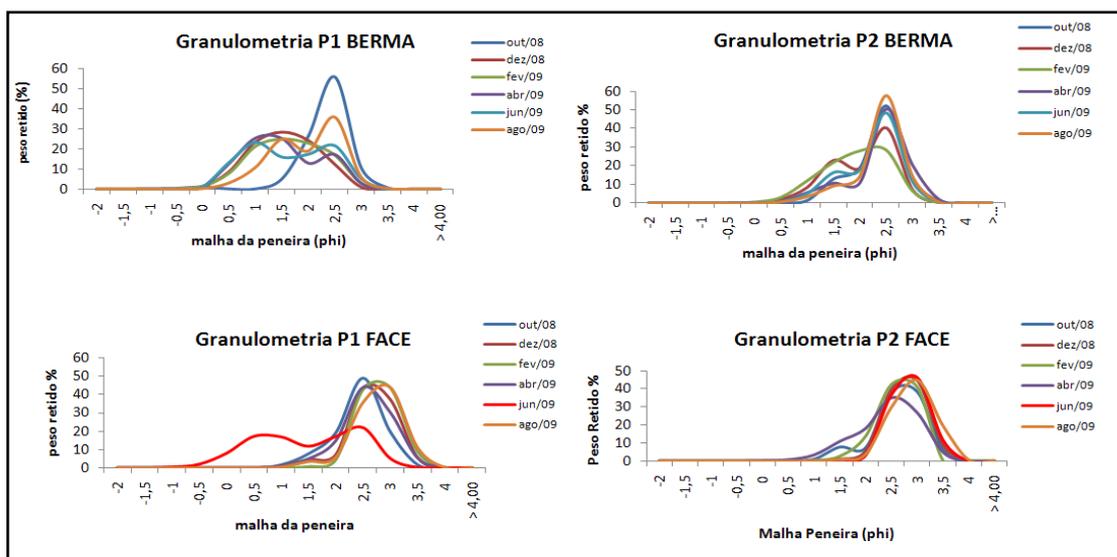


Figura 3.1: Histogramas representativos da granulometria do berma e face praial das estações P1 e P2.

A estação P3 (FIGURA 3.2) apresentou modas granulométricas para berma em torno de 2,5 Phi para todos os meses, exceto para o mês de junho, apresentando moda em 3 Phi. A granulometria da face sofreu maior variabilidade, apresentando modas entre 2 e 3,5 Phi.

A estação P4 apresentou baixa variabilidade, tanto para berma quanto para face praial, o que sugere certa estabilidade do setor em relação a sazonalidade.

A granulometria do berma apresentou características simétricas em relação a distribuição, enquanto a face apresentou assimetria positiva, indicando engrossamento dos grãos. Disto pode-se inferir uma possível retirada de material fino pelas ondas, ou depósito de grossos pelo espriamento, uma vez que mais energia é capaz de transportar material de maior equivalência hidráulica.

Em relação ao berma, o ponto P5 apresentou muito pouca variabilidade textural, apresentando distribuição simétrica ao longo de todos os meses de coleta, o que pode ser um indicador de pouca dinâmica sedimentar do perfil (FIGURA 3.2).

Quanto a face praial, apresentou assimetria negativa no verão e inverno, mantendo-se simétrica nos demais meses. Para o mês de outubro notou-se um engrossamento de grãos.

A face de P5 apresentou certa variabilidade ao longo dos meses de coleta. Isto pode estar relacionado a distribuição de sedimentos, hora provenientes da deriva longitudinal, hora do transporte transversal como agente de seleção, e também sedimentos provenientes das ondas de leste, que difratam e depositam no tómbolo.

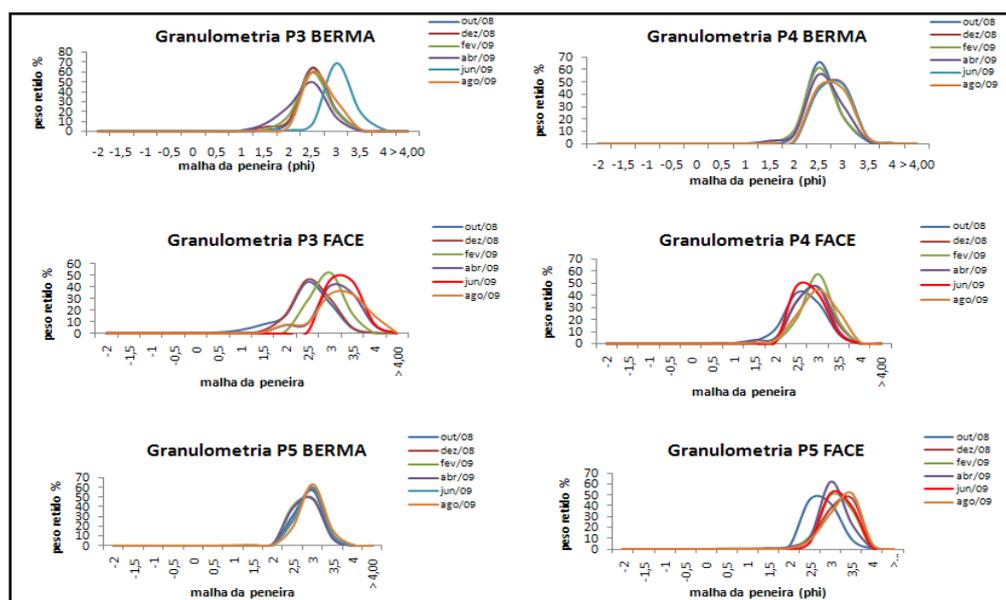


Figura 3.2: Histogramas representativos de granulometria de berma e face para P3, P4, P5.

3.1.2 Topografia

Os comprimentos médios dos perfis medidos em campo, assim como suas respectivas alturas e inclinação da praia estão mostrados na tabela 3.1 abaixo:

Tabela 3.1 Comp. médio, altura e inclinação da faixa emersa da Praia do Morro.

Perfil	Comp. Méd. (m)	Altura (m)	Inclinação da Face
1	58	2,8	01:14
2	61	2,5	01:15
3	60	2	01:18
4	62	2,5	01:21
5	57	1,3	01:30

Os perfis topográficos plotados e sobrepostos das campanhas aparecem nas figuras abaixo:

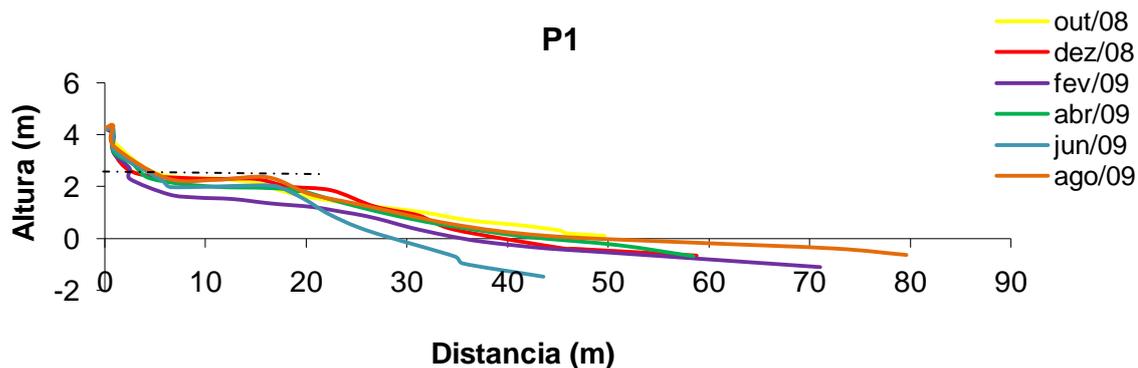


Figura 3.3: Variação topográfica do perfil P1 da Praia do Morro – ES. A linha tracejada representa o nível sem a calçada.

A variação topográfica de P1 está representada na figura 3.3. O perfil topográfico deste ponto apresentou maior variabilidade entre os meses de dezembro e junho, respectivamente meses de verão e inverno, apresentando feição mais acrescional no verão e uma tendência erosiva no inverno, notadamente pela entrada de frentes frias com respectivo incremento da energia de ondas no local.

Nos meses de outubro, abril e agosto, houve baixa variabilidade vertical no perfil. Entretanto, este apresentou recuo de extensão horizontal em abril, que pode ter ocorrido devido a entrada de uma frente fria atuante no dia da perfilagem. Já em agosto, sob condições de tempo bom, o perfil apresentou sua maior extensão horizontal emersa. Para o mês de fevereiro, o perfil apresentou uma tendência erosiva. Isto pode estar relacionado a uma diminuição do período das ondas incidentes, as quais impactam com maior frequência e agem colocando sedimentos em suspensão, sem tempo hábil para deposição no mesmo local.

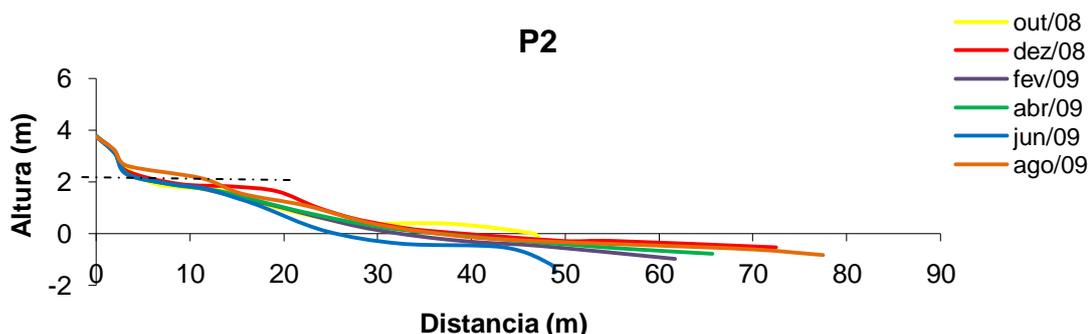


Figura 3.4: Variação topográfica Perfil P2 Praia do Morro –ES. A linha tracejada representa o nível sem a calçada.

O perfil P2 apresentou pouca variabilidade topográfica ao longo do ano (FIGURA 3.4). Notadamente a maior variação foi nos meses de dezembro e junho, que de forma semelhante a P1 atestam a influência das condições climáticas como agentes modeladores da linha de praia.

Semelhante a P1, o mês de agosto apresentou maior extensão horizontal do perfil, sob condições de tempo bom, enquanto junho, sob condições de inverno, apresentou recuo, o que sugere feição erosiva.

Para os meses de abril, fevereiro e outubro, o perfil apresentou comportamento quase homogêneo, caracterizando certa estabilidade entre os processos costeiros atuantes

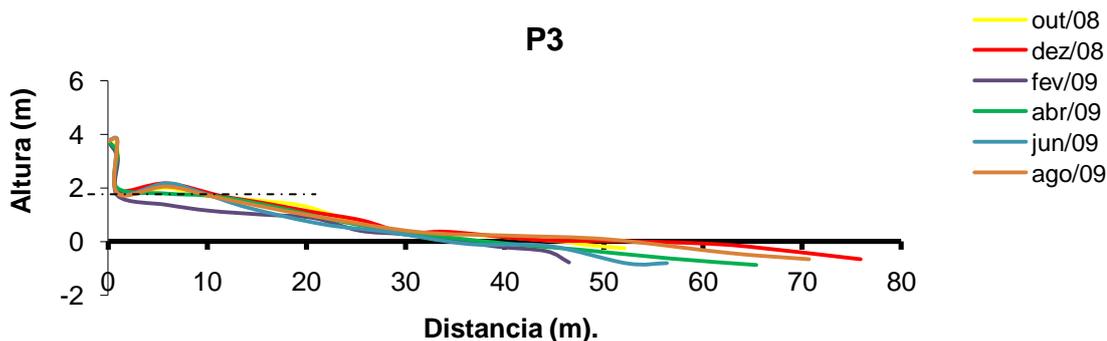


Figura 3.5: Variação Topográfica Perfil P3, Praia do Morro – ES. A linha tracejada representa o nível sem a calçada.

O perfil P3 (FIGURA 3.5) apresentou-se praticamente estável durante o ano, não apresentando variações significativas em termos de acúmulo ou perda de sedimentos nem nos meses representativos de inverno e verão.

A maior variabilidade do perfil está na extensão vertical, com destaque a maior extensão em dezembro e menor em fevereiro. Este último também caracterizou a maior variação vertical, mostrando certa tendência erosiva. Isto pode estar relacionado a uma maior altura de onda no dia da perfilagem, assim como uma diminuição do período, o que vem a facilitar processos erosivos.

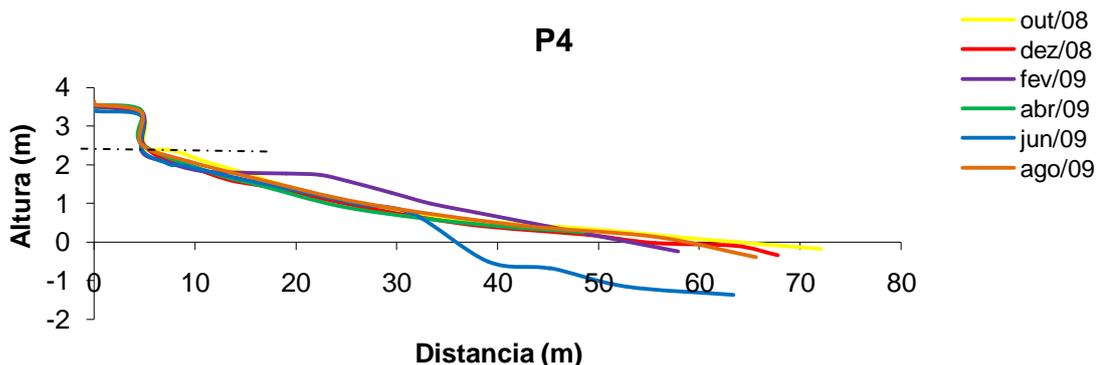


Figura 3.6: Variação topográfica de P4, Praia do Morro – ES. A linha tracejada representa o nível sem a calçada.

Com exceção dos meses de fevereiro e junho, o perfil P4 (FIGURA 3.6) não apresentou praticamente nenhuma variabilidade morfodinâmica, mantendo-se constante ao longo do ano. Notadamente em junho, pôde-se observar perfil erosivo, com aparente perda de sedimentos. Já para fevereiro, observa-se aumento do volume sedimentar na zona emersa.

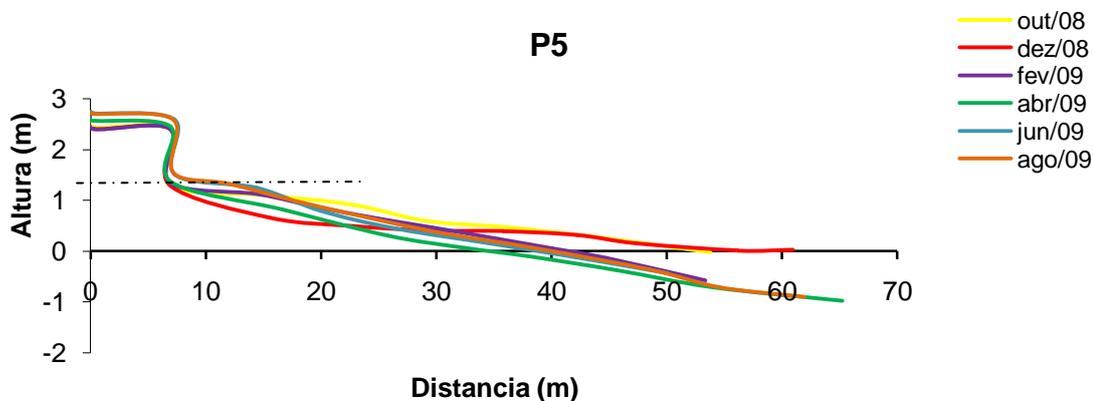


Figura 3.7: Variação topográfica P5, Praia do Morro – ES. A linha tracejada representa o nível sem a calçada.

A estação P5 (FIGURA 3.7) apresentou uma certa variabilidade topográfica. Notadamente, a maior amplitude de perfil ocorreu entre os meses de outubro e abril, respectivamente menor e maior energia de ondas registradas durante o ano.

Para o mês de dezembro, pode-se notar um incremento no volume de areia na face praial, o que pode estar relacionado ao comportamento deposicional o qual o ponto se caracterizou no mês de verão.

3.1.3 Tipologia

Com base no modelo de Dean (1977) os resultados obtidos para o cálculo da tipologia da praia, em condições de tempo bom e tempestade estão respresentados na tabela 3.2 abaixo.

Pela análise dos dados, pode-se observar que em condições de maior energia de onda, considerados como condições de tempestade, a praia apresentou unanimidade no estado dissipativo. Para condições de tempo bom, os estados modais mostraram-se intermediarios, variando entre banco e calha longitudinal e terraço de baixa mar.

CAMPANHA	ESTAÇÃO 1						ESTAÇÃO 2						ESTAÇÃO 3					
	out/08	dec/08	fev/09	abr/09	jun/09	ago/09	out/08	dec/08	fev/09	abr/09	jun/09	ago/09	out/08	dec/08	fev/09	abr/09	jun/09	ago/09
DIAMETRO MEDIO DA FACE(ϕ)	2,152	2,376	2,515	2,308	1,205	2,497	2,357	2,508	2,395	2,149	2,558	2,632	2,211	2,340	2,602	2,353	2,539	2,432
Ws (cm/s)	3,9	3,3	3,1	3,5	6	3,1	3,2	3	3,1	3,7	3,1	2,7	3,8	3,2	2,7	3,2	3,1	3,1
Ω (tempo bom)	4,2735	5,0505	5,37634	4,7619	2,77778	5,37634	5,20833	5,55555	5,37634	4,5045	5,37634	6,17284	4,38596	5,20833	6,17284	5,20833	5,37634	5,37634
Ω (tempestade)	5,7971	6,85112	7,29312	6,45963	3,76812	7,29313	7,06522	7,53623	7,29312	6,1105	7,29313	8,37355	5,94966	7,06522	8,37355	7,06522	7,29313	7,29313
ESTADO DA PRAIA (tempo bom)	BCL	BCL	DISSIP	BCL	TBM	DISSIP	BCL	DISSIP	DISSIP	BCL	DISSIP	DISSIP	BCL	BCL	DISSIP	BCL	DISSIP	DISSIP
ESTADO DA PRAIA (tempestade)	DISSIP	DISSIP	DISSIP	DISSIP	BPR	DISSIP	DISSIP	DISSIP	DISSIP	DISSIP	DISSIP	DISSIP	DISSIP	DISSIP	DISSIP	DISSIP	DISSIP	DISSIP
ESTADO PREDOMINANTE (T.BOM)	BANCO E CALHA LONGITUDINAL						DISSIPATIVO						BANCO E CALHA LONGITUDINAL/DISSIPATIVO					
ESTADO PREDOMINANTE (TEMPS)	DISSIPATIVO												DISSIPATIVO					
CAMPANHA	ESTAÇÃO 4						ESTAÇÃO 5											
	out/08	dec/08	fev/09	abr/09	jun/09	ago/09	out/08	dec/08	fev/09	abr/09	jun/09	ago/09						
DIAMETRO MEDIO DA FACE(ϕ)	2,381	2,621	2,694	2,516	2,525	2,714	2,520	2,945	2,838	2,771	2,916	2,983						
Ws (cm/s)	3,1	2,7	2,6	3,1	3,1	2,7	3,2	2,6	2,5	2,4	2,6	2,7						
Ω (tempo bom)	5,37634	6,17284	6,41025	5,37634	5,37634	6,17284	5,20833	6,41025	6,66666	6,9444	6,41025	6,17284						
Ω (tempestade)	7,29313	8,37355	8,69565	7,29313	7,29313	8,37355	7,06522	8,69565	9,04347	9,4203	8,69565	8,37355						
ESTADO DA PRAIA (tempo bom)	DISSIP	DISSIP	DISSIP	DISSIP	DISSIP	DISSIP	BCL	DISSIP	DISSIP	DISSIP	DISSIP	DISSIP						
ESTADO DA PRAIA (tempestade)	DISSIP	DISSIP	DISSIP	DISSIP	DISSIP	DISSIP	DISSIP	DISSIP	DISSIP	DISSIP	DISSIP	DISSIP						
ESTADO PREDOMINANTE (T.BOM)	DISSIPATIVO						DISSIPATIVO											
ESTADO PREDOMINANTE (TEMPS)																		

Tabela 3.2 : Estados modais segundo modelo de Dean (1977) para condições de tempo bom e tempestade.

3.1.4 Correntes e Transporte Longitudinal

Os resultados obtidos através do método Taggart e Schwartz (1988) modificado por Souza (1998) estão representados na figura 3.9, na qual aparecem os meses representativos de verão e inverno, assim como os demais meses representativos da campanha.

No verão, o extremo NE apresentou largura de perfil maior que o extremo SW, bem como menor inclinação e diminuição da granulometria, o que também pôde ser constatado para o mês de inverno. Entretanto, a variação textural entre os perfis apresentou significativa diferença entre os meses de inverno e verão.

No verão, predominavam na estação P1 (SW) areias finas (80,7%), seguido de areias médias (12,2%), enquanto para o P5 (NE) verificou-se predominância de areias muito finas (51,1%) seguido de areias finas (47,1%), e observou-se melhor grau de seleção de P1 ($\sigma 0,463$) para P5 ($\sigma 0,398$).

No inverno, em P1, predominaram areias grossas (33,8%) e médias (28%), e uma notável diminuição granulométrica para P5, que apresentou predomínio de areias finas (58,7%) e muito finas (41,1%), além de um notável melhoramento no grau de seleção, de $\sigma 0,93$ em P1, para $\sigma 0,31$ em P5.

No verão, a direção da corrente de deriva litorânea apresentou sentido SW – NE, com erosão na estação de maior energia (P1), transporte através dos pontos P2, P3 e P4, e deposição no ponto de menor energia P5, de acordo com a figura esquemática abaixo (FIGURA 3.8):

No verão, as estações P2, P3, P4 operaram como zona de *bypass*, apenas transportando o sedimento proveniente, não apresentando características de depósito ou erosão.

No período de inverno (FIGURA 3.8), os resultados mostraram P1 ainda com alta energia de ondas, comportando-se como barlamar, fornecedor de sedimentos. A estação P2 apresentou tendência de transporte, enquanto em P3

ocorreu deposição proveniente de P1. A estação P4 apresentou tendência erosiva, depositando sedimentos em P3 e P5, os quais apresentaram baixa energia de ondas.

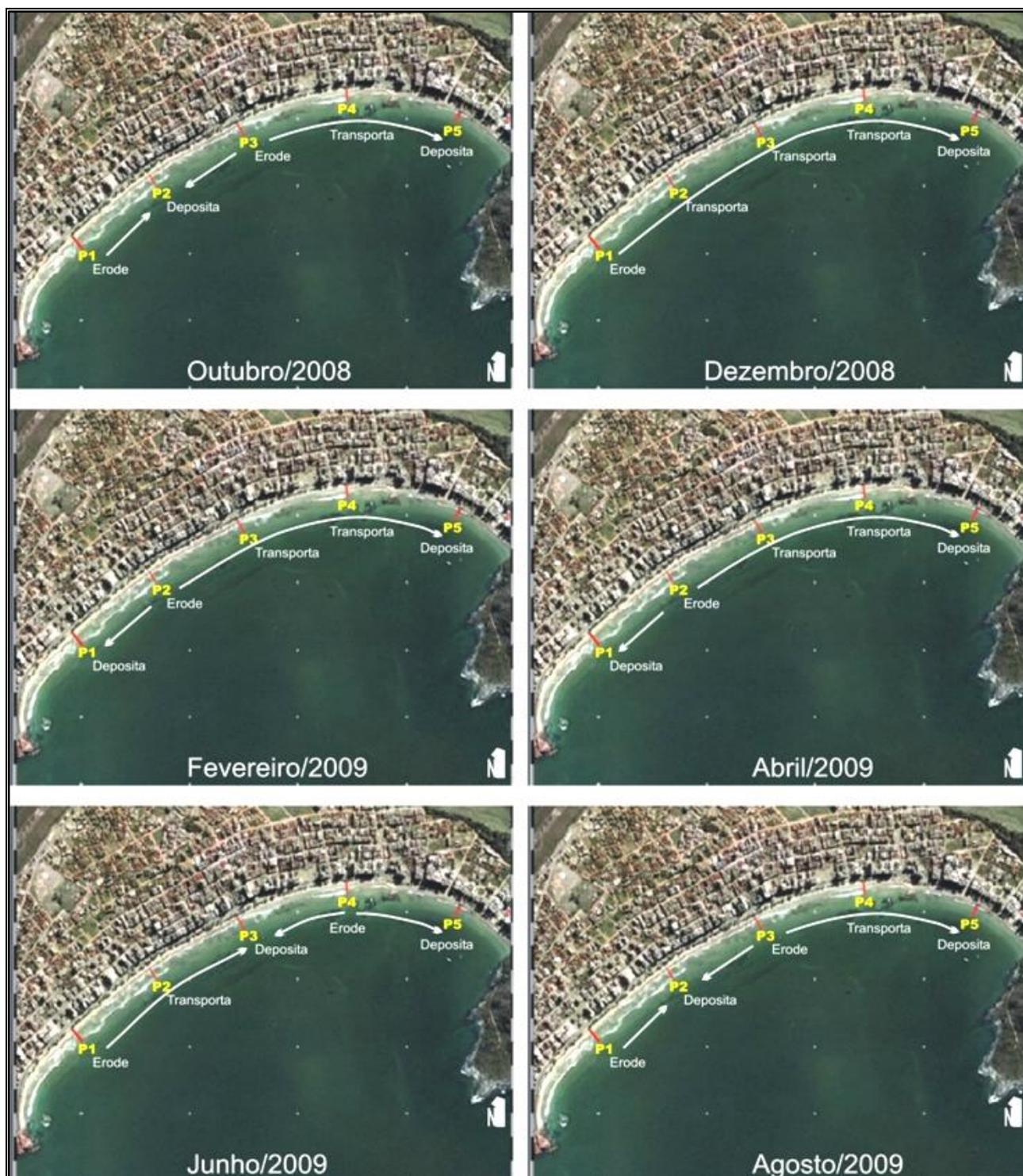


Figura 3.8: Comportamento da corrente longitudinal na Praia do Morro.

3.1.5 Integração dos dados e discussão

De maneira geral a Praia do Morro é formada predominantemente por sedimentos finos e muito finos (media 2,7 phi), com baixo gradiente de inclinação da face praial, (diminui de SW para NE). A maior granulometria das estações na porção SW da praia pode estar relacionadas ao *input* sedimentar proporcionado pelo canal do rio Jabuti, preenchendo a antepraia adjacente; o afinamento dos grãos se daria pela diferença da energia de onda, sentido NE, onde chegariam grãos mais finos.

A praia não apresentou ao longo das campanhas variações topográficas significativas entre as estações amostradas. Entretanto, foram observadas variações de volume entre os meses de verão e inverno, mais precisamente representativos de tempo bom (acresção) e frentes frias (erosão), o que pode ser indicativo de resposta sedimentar à ciclicidade dos eventos climáticos como moduladores da forma praial. Assim, a praia apresentou estados modais variando entre dissipativo, em simulações de eventos de tempestade e estados intermediários subseqüentes a este (Banco e calha longitudinal) em simulações de tempo bom, o que atesta uma característica erosiva da praia mesmo em condições de baixa hidrodinâmica. Estados modais menos erosivos foram encontrados na porção SW, como terraço de baixa mar e banco longitudinal, provavelmente pela maior granulometria da área. Cumpre observar que neste trabalho o modelo de Dean (1977) foi calibrado com as mesmas condições de onda para cada estação, cabendo basicamente aos parâmetros texturais do sedimento o resultado numérico do modelo.

O modelo utilizado de transporte longitudinal apresentou homogeneidade de deposição na estação P5, assim como predominância de erosão na estação P1, o que sugere uma tendência de transporte sentido SW – NE ao longo do ano, bem notado no mês de dezembro. Este transporte pode ser validado pela diferença significativa do gradiente de energia das ondas, o qual diminui progressivamente sentido NE. Ainda, uma possível calibração deste modelo pode ser aferida por algumas variações topográficas observadas nos perfis, as quais são consensuais aos padrões obtidos de transporte. São elas:

- i. Engordamento da face de P5 em dezembro, junho e agosto;
- ii. Engordamento da face de P1 em abril e significativa erosão em junho;
- iii. Erosão da face de P2 em abril;
- iv. Erosão significativa percebida em P4 para o mês de junho.

Dessa forma, em termos gerais a praia responde, mesmo que de baixa magnitude, aos eventos cíclicos de maior ou menor energia hidrodinâmica. Seu grau de exposição à incidência de ondas de eventos de sistemas frontais a deixa mais vulnerável a erosão nos meses de maior frequência de frentes frias, a saber, de abril a agosto. Em condições de tempo bom, a praia aos poucos volta a exibir um perfil mais acrescional, entretanto, apresentando ainda tipologia de padrões erosivos, basicamente devido às características sedimentológicas.

A curta extensão da faixa emersa da praia e seu baixo gradiente topográfico somam-se ao padrão de urbanização da orla, cujo calçadão construído sob sua faixa ativa impede a disponibilidade de volume sedimentar evidentemente necessário à recomposição do sistema. Os diversos sangradouros situados ao longo do arco praiial (FOTOS 1 e 2), intensificam a perda de volume sedimentar e conseqüente erosão da faixa emersa.

Ainda que não observado durante as campanhas, informações verbais e imagens orbitais possibilitaram deduzir a formação de mini-cúspedes ao longo do arco praiial. Relaciona-se a isto o transporte transversal pelas correntes de retorno, que podem agir no sentido de retirar sedimentos da porção emersa para submersa e suavização do gradiente, o que contribui para o aumento da vulnerabilidade de sua porção emersa.

3.2 Alteração da Praia em planta

A posição da linha de praia prevista pelo modelo Parabólico é apresentada nas figuras 3.9 e 3.10, as quais, respectivamente, representam as porções SW e NE da enseada.

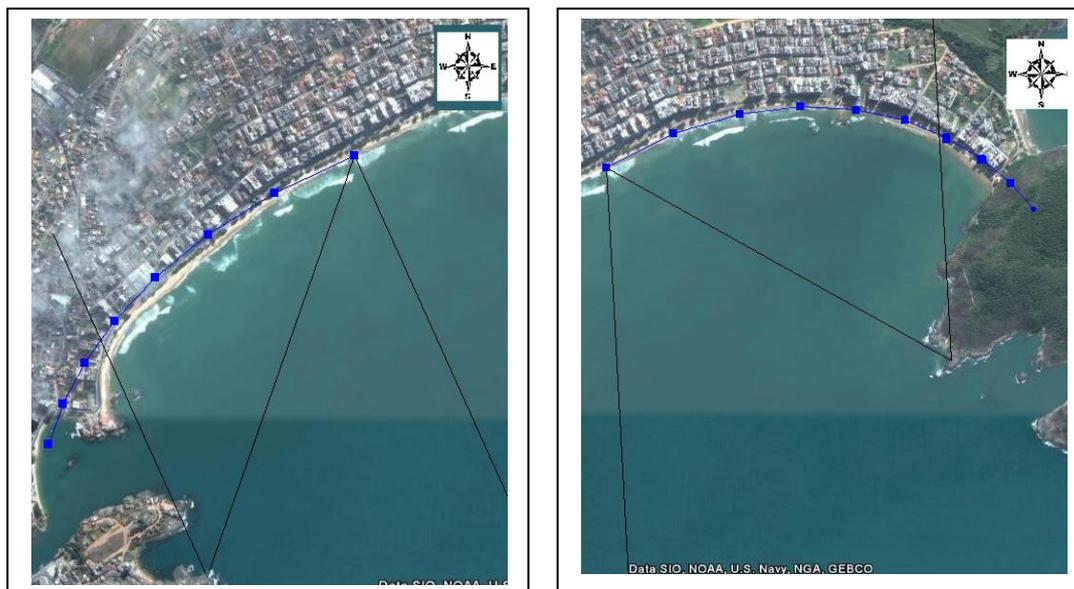


Figura 3.9 E 3.10: Forma em planta prevista da linha de costa de acordo com pontos controle escolhidos para as porções SW e NE da praia.

A assimetria da linha de costa em praias de enseada é resultante do ângulo de incidência do trem de ondas. A Praia do Morro possui a assimetria da linha de costa típica de uma praia de enseada, pois notadamente possui uma curvatura mais acentuada próximo ao promontório principal, uma seção central suavizada, e um setor mais retilíneo no qual as ondas geralmente incidem paralelas à costa.

A praia apresentou diferentes estados de equilíbrio em relação a suas extremidades. A extremidade SW mostrou-se progradante em relação a linha prevista pelo modelo. Isto pode estar diretamente relacionado à presença do estuário, fornecendo sedimentos no setor. Hsu *et al* (2008) sob condições semelhantes na praia de Balneário Comboriu (SC), e Lausman e Klein (2006) na baía de Imbituba (SC) classificaram o setor sob influencia estuarina como em equilíbrio dinâmico, pois a cessão do input sedimentar por qualquer causa natural ou intervenção antrópica forçaria a área a uma nova adaptação de sua simetria, evoluindo progressivamente

para um estado de equilíbrio estático. O fornecimento sedimentar exerce influencia sobre a adaptação da forma planar, pois não somente o grau de exposição ao clima de ondas dita sua forma, o que não é previsto para praias em equilíbrio estático.

A porção NE da enseada apresentou geometria basicamente coerente com a predição do modelo, com linha de costa prevista moderadamente retrogradante em relação à real, apresentando conseqüente tendência erosiva no setor como processo adaptativo. Para Vargas *et al* (2002), a coerência entre a geometria da linha real e prevista pelo modelo constitui um bom indicativo de estado de equilíbrio estático. O baixo fornecimento de sedimentos no setor pode ser inferido por suas características topográficas e gradiente de inclinação submerso. A deriva longitudinal predominante sentido NE encontrada neste trabalho deposita grãos de baixa granulometria no setor, o qual, de acordo com Short (1999), geralmente apresenta correntes de retorno que são capazes de transportar sedimentos para fora do sistema. Esta perda poderia equilibrar o balanço, deixando o setor neutro ao input sedimentar. Silva *et al* (2002) colocam que as características naturais do sistema praial, como granulometria, grau de exposição e gradientes de energia de onda são parâmetros que influenciam diretamente na forma da praia, sendo coerente observações individualizadas em relação aplicação de modelos.

Cumprе ressaltar que o prévio conhecimento do comportamento das ondas incidirem na enseada é de fundamental importancia para a validação dos pontos escolhidos na aplicação do modelo parabólico. Modelos de simulação de ondas em aguas rasas podem ser ferramentas adequadas para aquisição destes dados.

3.3 Alterações da linha de praia nas últimas décadas

As linhas de espraiamento referentes aos anos analisados encontram-se delineadas na figura 3.11 abaixo. Nota-se um crescente avanço da linha de costa na direção retroterra, cujos pontos de variação são apresentados no figura 3.12, em transectos e sua quantificação, demonstrada na figura 3.13.

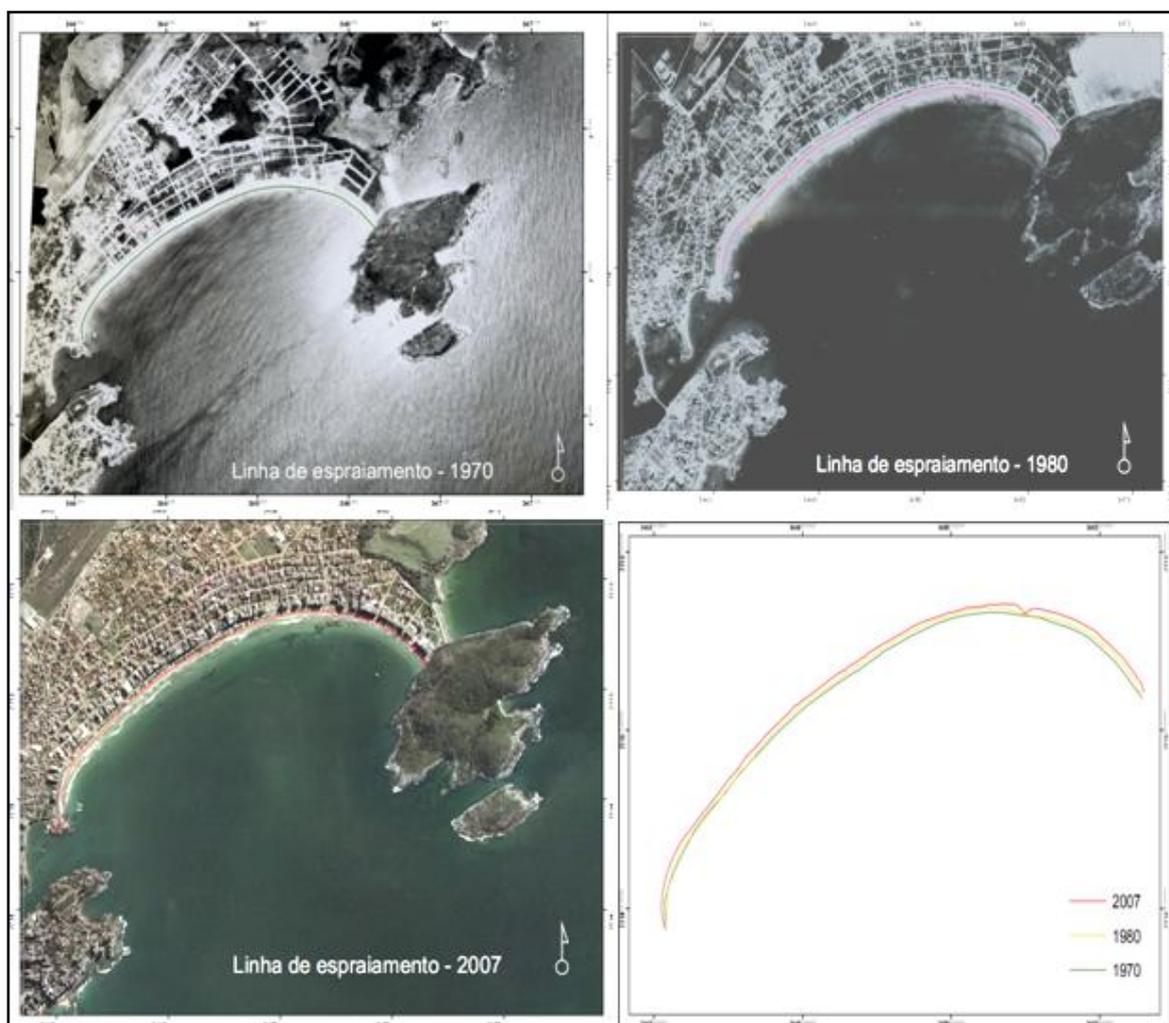


Figura 3.11: Determinação e sobreposição das linhas de espraiamento entre os anos avaliados. Fotos aéreas: IDAF E IEMA.

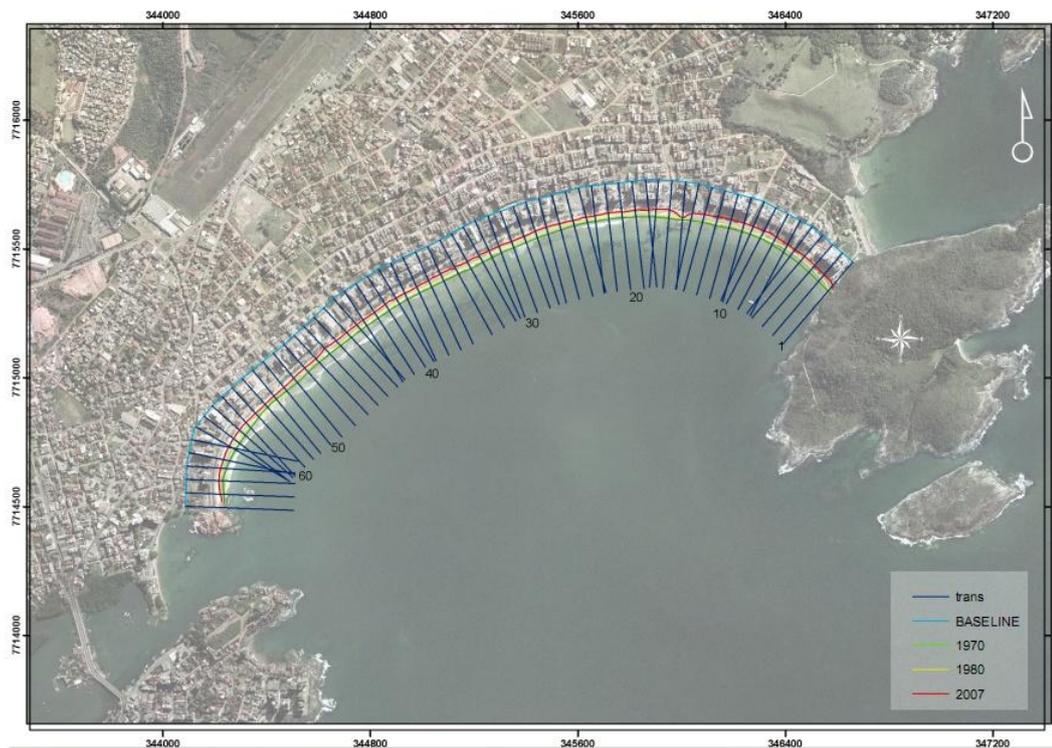


Figura 3.12: Transectos para análise distribuídos ao longo da linha de costa.

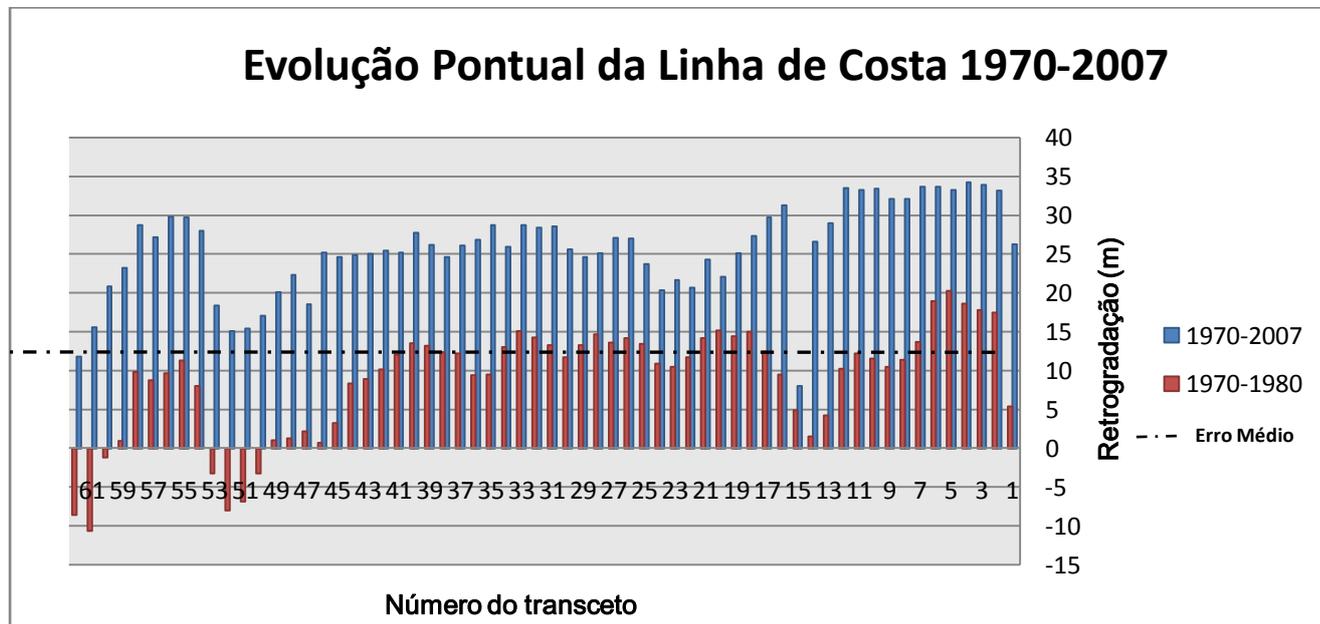


Figura 3.13 Variação da posição da linha de costa (m) entre 1970-1980 e 1970-2007.

A figura 3.14 mostra as taxa de variação anual, em metros, para o intervalo temporal analisado.

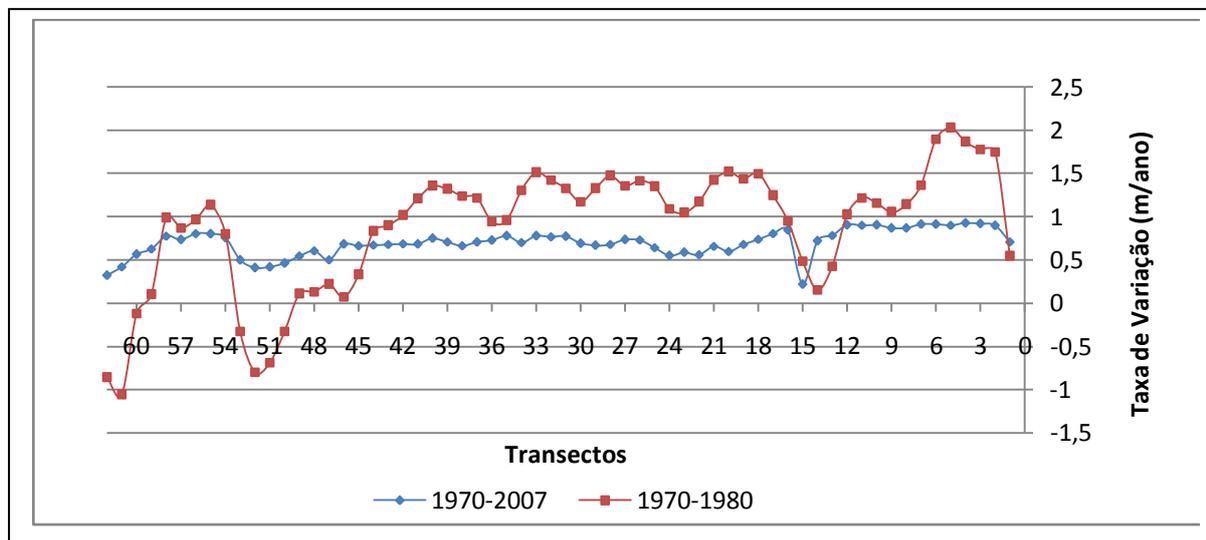


Figura 3.14: Taxa variação anual (m/ano) por transecto da área estudada.

A variação das taxas de retrogradação da costa se mostraram maiores no intervalo decadal do que no interdecadal, as quais foram basicamente constantes ao longo do intervalo.

Percebe-se que as áreas de maior variação correspondem ao intervalo decadal (1970-1980) no qual foram mais significativos nas extremidades do arco praiial (FIGURA 3.13 e 3.14) (1-10) e (54-60). Na região central, entre os transectos 13 a 50, as variações mantiveram-se basicamente constantes, apresentando um certo padrão entre os transectos 20 a 45, em relação às amplitudes de 1970 a 1980 e 1980 a 2007.

Os menores valores de variação encontram-se nos pontos 13-15, que representam a formação de um tómbolo, cuja deposição sedimentar ao longo dos anos fez com que permanecesse pouco mutável a linha de espraiamento. Valores negativos, indicativos de engordamento sedimentar (49-53) e (60-61) aparecem entre as décadas de 1970 e 1980, o que pode ser indicativo de aumento efêmero de fornecimento sedimentar por parte do rio adjacente, ou por erro de plotagem da linha.

A partir da observação dos resultados, a Praia do Morro vem apresentando ao longo das últimas décadas um processo de retrogradação de sua linha de costa. Em termos gerais, em uma escala interdecadal, pouca variação pôde ser observada em relação a assimetria do arco praial, o que seria um indicativo de estabilidade da praia em relação ao ângulo de incidência de ondas, entretanto, é notável que as taxas de variação não foram as mesmas para todos os transectos analisados, principalmente na escala de uma década. A extremidade NE foi a que apresentou maiores taxas de variação. Isto pode estar relacionado a seu grau de exposição à ondas energéticas dos quadrantes S/SE, que incidem sobre a área, e da adaptação de sua forma planar conforme observado na seção 3.2. Ainda, a menor granulometria da área, assim como seu gradiente topográfico mais plano em relação às estações amostrais ao longo do arco, seriam facilitadores de maior intrusão marinha na faixa emersa da praia. A proximidade com o promontório cristalino estaria gerando uma zona de empilhamento de água, que resultaria na formação de cúspides e transporte transversal. A menor granulometria da área facilitaria este transporte de sedimentos que seriam depositados na antepraia e a baixa hidrodinâmica da região devido ao sombreamento do promontório à ortogonais de E/NE não seria competente para realocar os sedimentos novamente na zona ativa da praia.

Segundo Short (1999) praias que apresentam estado morfodinâmico intermediário são mais susceptíveis à transferências longitudinais, as quais podem ser constantes ao longo do tempo. Isto poderia estar relacionado aos padrões constantes de variação da praia na região central do arco, a qual, de acordo com modelo de deriva obtido neste trabalho, teriam comportamento predominantemente de zona de transporte.

Mazzer e Dillemburg (2009) encontraram tendências erosivas em escalas diferentes ao analisarem as praias de enseada Solidão e Matadouro em Santa Catarina. De acordo com os autores tal resultado pode também ser decorrente de variações de alta frequência no balanço sedimentar ao longo da praia como mudanças no regime de ondas ligadas a fenômenos de “El nino” e “La nina” conforme já destacado por Souza e Ângulo (2003).

De forma coerente com este trabalho, Mazzer e Dillemburg (2009) colocam que para fins de planejamento e gerenciamento costeiro, ambas as escalas - interdecadal

anual são importantes dentro do contexto de escala histórica. Tendências de longo prazo proporcionam subsídios para predição de cenários futuros e consequente delimitação de recuos para a ocupação da faixa litorânea, expressando tendências erosivas. As variações interanuais permitem avaliar a amplitude da extensão retrabalhada em curto prazo. Isso indica que as áreas contíguas à linha de costa possuem condições de restrição a usos e atividades antrópicas, por expressarem instabilidade morfodinâmica, mesmo que essas áreas se recuperem em períodos posteriores, como parte da ciclicidade de processos morfodinâmicos.

3.4 Alterações da Praia do Morro ao longo das décadas

A Praia do Morro vem ao longo das décadas apresentando um processo de aparente retrogradação de sua linha de costa, validado por observações de campo no presente. O estado erosivo que a praia se encontra está relacionado a processos em diferentes escalas temporais, naturais e intervenções de urbanização da orla.

A Praia do Morro é uma praia de enseada, situada entre dois promontórios rochosos, que apresenta na forma planar assimetria da linha de costa, com uma curvatura mais acentuada na extremidade do promontório maior (Morro da Pescaria), suavizada e quase retilínea à medida que se afasta deste, sentido SW. De acordo com Short e Masselink (1999), praias com estas características em planta são representativas de praias de enseada, cujo ângulo de incidência das ondas principais molda o perfil planar da praia e determina a corrente longitudinal, e cujo promontório molda uma zona de sombra, com predominante deposição sedimentar. De fato, o modelo utilizado de transporte longitudinal (Taggart e Schwartz, 1988) apresentou homogeneidade de deposição na estação P5, assim como predominância de erosão na estação P1, o que sugere uma tendência de transporte sentido SW – NE ao longo do ano. Com base em Klein (2005) este transporte ainda pode ser validado pela diferença significativa do gradiente de energia das ondas, o qual diminui progressivamente sentido NE.

Carter (1988) afirma que a sensibilidade da linha de costa como elemento morfológico pode ser medida em diferentes intervalos de tempo, os quais apresentam diferentes respostas a processos costeiros de diferentes frequências.

A retrogradação da linha de praia nas últimas décadas e suas diferentes taxas de variação atestam sua escala temporal de resposta aos processos físicos atuantes. Como previsto pelo modelo parabólico, a praia aparenta um comportamento de ajuste morfodinâmico em relação à diferentes graus de exposição ao clima de ondas e suas transformações em águas rasas. As características físicas sob a perspectiva regional, tais como baixo aporte continental, planície costeira e plataforma estreita, e orientação da praia exposta a eventos energéticos de sistemas frontais são também parâmetros que exercem influência sobre seu comportamento erosivo.

Os processos de urbanização da orla e desenvolvimento urbano corroboraram para a intensificação da erosão da praia, notadamente pela ação dos diversos sangradouros e construção de calçada sobre a faixa de areia, diminuindo o estoque disponível para as trocas naturais entre praia emersa e submersa.

Vale observar que a Praia do Morro passa atualmente por um processo de reurbanização de sua orla, uma vez destruída por eventos de frente fria. A nova orla, contará com quadras esportivas, paisagismo, ciclovia e número reduzido de quiosques, assim como manutenção e diminuição dos sangradouros. Ainda não foram previstos investimentos em termos de engordamento da faixa arenosa; de qualquer forma, a reurbanização irá recuperar a estética da paisagem e poderá mitigar os efeitos sobre o balanço sedimentar, uma vez que o projeto conta com planejamento prévio com vistas ao ordenamento do uso e ocupação.

IV CONCLUSÃO

Este trabalho utilizou modelos e métodos usualmente empregados em geomorfologia costeira a fim de investigar os eventos e processos que condicionam

o ambiente praial, sob perspectiva temporal de décadas e sua validação em escala anual.

A utilização dos dados remotos a partir de modelos computacionais se mostrou congruente com as observações de campo, e ao mesmo tempo, mostraram-se complementares, de forma a validar a importância da análise do ambiente costeiro sob diferentes perspectivas na escala de eventos.

A aplicação dos modelos e métodos em geomorfologia bem como a busca por validações e incremento da acurácia na obtenção de dados tornam-se importantes ferramentas para compreensão do sistema praial. Neste ínterim, o avanço tecnológico e progresso em softwares e aplicativos contribuem para maior elucidação dos conflitos da zona costeira à medida que facilitam o planejamento urbano e ordenamento territorial.

A Praia do Morro como praia de balneário possui importante papel na oferta de bens e serviços naturais e econômicos para o município. A manutenção de seu estado de saúde é fundamental para a continuidade de seu uso como uma das mais procuradas praias para turismo. Sugere-se aqui mais estudos sobre a viabilidade de engordamento da praia, e sobre a variação sazonal da descarga sedimentar na praia pelo canal estuarino.

V REFERENCIAS

ALBINO, J. (coord.); OLIVEIRA et al. **A. Processos atuais de sedimentação marinha e praias do litoral de Vitória, ES**. Relatório (FACITEC), Vitória, 2001.

ABSALONSEN, L.; TOLDO Jr., E. E. **A Influência da inflexão costeira na Praia de Mostardas sobre as variações da linha de praia**. Pesquisas em Geociências (UFRGS), Porto Alegre, RS, v. 5, 2006.

BASCOM, W. N. **The Relationship between sand size and beach face slope**. Transaction, American Geophysical Union. v.32, n. 6, Dec, 1951.

BIRD, E.C.F. **Coastline Changes – a global Review**. John Wiley – Interscience, U.K. 1985.

_____. **Beach Management**. New York: John Wiley & Sons, 1996.

BLOTT, S.J; PYE, K. **Morphological and Sedimentological Changes on an Artificially Nourished Beach**, Lincolnshire, UK. Journal Of Coastal Research, 2004.

BOAK, E.H.; TURNER, I.L. **Shoreline Definition and Detection: A Review**. Journal of Coastal Research, v.21, n. 4, p. 688-703. 2005.

BRASIL. Ministério do Turismo. **Turismo de sol e praia: orientações básicas**. Ministério de Turismo, Coordenação Geral de Segmentação; Coordenação Geral de Jurema Monteiro. – Brasília: Ministério do Turismo, 2008.

BRUUN, P. **Sea level rise as cause of shore erosion**. Journal of waterway, Port, Coastal and ocean engineering. American society of civil engineerings, n 88, 1962.

CAMFIELD, F.E; MORANG, A. **A Defining and Interpreting Shoreline Change**. Ocean and Coastal Management, 32 (3): 129-151. 1996.

CARTER, R.W.G. **Coastal Environments: an introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastline**. London:Academic Press, 1988.

CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC). **Previsão de ondas para região de Guarapari**. Disponível em: <http://ondas.cptec.inpe.br/>. Acessado em: ABRIL 2010.

CICIN-SAIN, B; KNECHT, Robert W. **Integrated coastal and ocean management: concepts and practices**. Washington, D.C.: Island Press, 517p. 1998.

COLEMAN, J.M & MURRAY, S.P. **Coastal Sciences – recent advances and future outlook**. Science, Tecnology and modern Navy. Departament of the Navy, Arlington, 1976.

CROWELL, M.; *et al.* Historical shoreline change: error analysis and mapping accuracy. *Journal of Coastal Research*, 7(3), 1991.

COWEEL, P.J; THOM, B.G **Morphodinamics of coastal evolution**. In. Carter, R.W.G. E Woodroffe, C.D. Eds. *Coastal Evolution*. Cambrige University Press. 2ed. 1994.

DEAN, R. G. **Equilibrium Beach Profiles: Characteristics and Applications**. *Journal of Coastal Research*. USA, v. 7, p. 53-84,. 1991.

DEAN, Robert G.; DALRYMPLE, Robert A. **Coastal processes: with engineering applications**. Cambridge, UK: New York: Cambridge University Press, 2004.

DIRETORIA de Hidrografia e Navegação. **Tábua de Marés**. Terminal de Ubu. Disponível em: <www.dhn.mar.mil.br>. Acesso em: 06 mai 2009.

DOUGLAS, B.C. and CROWELL, M. Long-term shoreline position prediction and error propagation. *Journal of Coastal Research*, 2000.

DOLAN, R.; HAYDEN, B.P.; MAY, P.; MAY, S.K. **The Reliability of Shoreline Change Measurements from Aerial Photographs**. *Shore and Beach*, v.48, n.4, p. 22-29. 1980.

EMCAPA. **Representação Gráfica da Frequência, direção e velocidade do vento em Vitória, Conceição da Barra e Regência, no Espírito Santo**. Relatório. 1981.

FISCHER, A. **Morfodinâmica do “saco do laranjal”:** costa noroeste do estuário da **Laguna dos Patos** – RS. Dissertação de mestrado – Engenharia Oceânica, Fundação Universidade Federal do Rio Grande. 2005.

FINKL, C.W; WALKER, H.J. **Beach Nourishment**. In: CHEN, J. **Engineered coasts**. Dordrecht [Netherlands]; Boston, Mass.: Kluwer Academic Publishers, 2002.

FRIHY, O.E. **Nile Delta shoreline changes: aerial photographic study of a 28-year period**. *Journal of Coastal Research*, v. 4, n. 4, p. 597-606. 1988.

FOLK, R. **Petrology of Sedimentary rocks**. Hemphill Publishing Company. Austin, Texas. 1968.

FOLK, R; WARD, W. **Brazos River Bar: A study in the significance of grain size parameters**. *Journal of sediment petrology*, 1957.

GIRARDI, G; COMETTI, R.S. **Dinâmica do uso e ocupação do solo no litoral sul do estado do Espírito Santo, Brasil**. Instituto Milênio – RECOS, 2006.

GOLDBERG, E.D. **Coastal Zone Space – Prelude to Conflict?** Paris, UNESCO, 1994.

HALLERMEIER, R.J. **A profile zonation for seasonal sandbeaches from wave climate**. In: *Coastal Engineering*, 1981.

HARDISTY, J. **Beaches: Form and Process**. Unwin Hyman, London, 1990.

HOEFEL, F. G.; **Morfodinâmica de Praias Arenosas: uma Revisão Bibliográfica.** Itajaí: Univali. 1998.

HOEKE, R.K.; ZARILLO, G.A., and SYNDER, M., **A GIS Based Tool for Extracting Shoreline Positions from Aerial Imagery(BEACHTOOLS)** Coastal Engineering Technical Note IV. Washington, DC: US Army Corps of Engineers, 12p. 2001.

HSU, J.R *et al.* **New characteristics of equilibrium shaped bays.** Proceedings 8th Internacional Conference of Coastal Engineering. 1987.

HSU, J.R *et al.*, **Static bay beach concept for scientists and engineers: A review, Coast.** Eng. doi:10.1016/j.coastal. eng. 2009.09.004. 2009.

HSU, J.R.C.; EVANS, C. **Parabolic bay shapes and applications.** Proceedings, Institution of Civil Engineers, v. 87, n. 2, p. 557–570. 1989.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo demográfico 2000: agregados preliminares.** Rio de Janeiro, 2010.

KLEIN, A.H. da F.*et al.* **Beach sediment distribution for a headland bay coast.** *Journal of Coastal Research*, SI(42), 285-293. West Palm Beach (Florida). ISSN 0749-0208. 2005.

KOMAR, P. D.; **Selective Longshore Transport Rates of Different Grain-Size Fractions within a Beach.** *Journal of Sedimentary Petrology*. USA, v. 47, p. 1976.

_____. **Relative quantities of suspension versus bed-load transport on beaches.** *Journal of Sedimentary Petrology*, 48, 1977.

_____. **Nearshore currents and sand transport on beaches.** In: Johns, B. *Physical Oceanography Coastal Shelf Seas*. Elsevier, Amsterdã. 1983.

_____. **Beaches Processes and Sedimentation**. 2nd ed. USA: Prentice Hall Inc., 1998.

KRUGER, C et al. **Monitoramento do recuo da progradação da linha de costa usando o sistema de posicionamento global (GPS)**. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Florianópolis, Brasil. 1998.

KING, C.A.M., . **Dynamics of beach accretion in South Lincolnshire, England**. In: COATES, D.R. (ed.), Coastal Geomorphology. Binghampton, New York: State University of New York, 1972.

KRUMBEIN, W.C., **Shore Processes and Beach Characteristics**. U.S. Army Corps of Engineers, Beach Erosion Board Technical Memorandum v. 3, p. 47. 1944.

LARSON, M. **Equilibrium Profile of a Beach with Varying Grain Size**. Proceeding of coastal sediments New York: American Society of Civil Engineers. pp 905-919 v. 91. 1991.

LAUSMAN, R.F; KLEIN, A.H.F; STIVE, M.J.F. **Uncertainty in the application of parabolic bay shape equation: a case of study**. 2006.

MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J.M. **As flutuações de nível do mar durante o Quaternário superior e a evolução geológica de “deltas brasileiros”**. Boletim IG-USP. Publicação especial 15. São Paulo. USP. 186p. 1993.

MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J. M.; ARCHANJO, J. D. **Coastal quaternary formations of the southern part of the state of Espírito Santo**. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 68, p. 389-404. 1996.

MAZZER, A.M; DILLEMBURG , S. **Variações temporais da linha de costa em praias arenosas dominadas por ondas do sudeste da Ilha de Santa Catarina (Florianópolis, SC, Brasil)**. Pesquisas em Geociências, 36 (1): 117-135, 2009.

MOORE, L.J. **Shoreline mapping techniques**. Journal of Coastal Research, 16(1), 111–124. 2000.

MORAES, Antonio Carlos Robert . **Contribuições para a Gestão da Zona Costeira do Brasil**. Elementos para uma Geografia do Litoral Brasileiro. 2ª. ed. São Paulo: Annablume, 2007. v. 01. 232 p.

MUEHE, D. **Critérios Morfodinâmicos para o Estabelecimento de Limites da Orla Costeira para fins de Gerenciamento**. Revista Brasileira de Geomorfologia, Volume 2, Nº 1. 2001.

MUEHE, D. **Critérios Morfodinâmicos para o Estabelecimento de Limites da Orla Costeira para fins de Gerenciamento**. Revista Brasileira de Geomorfologia, Volume 2, Nº 1. 2001.

MUEHE, D. **Geomorfologia Costeira**. In: GUERRA, A. J.T.; CUNHA, S. B. (Org.). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 6. Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

MILL, G.N. **Avaliação do Transporte de sedimentos na aérea de afundamento do recife artificial marinho Victory 8B, Guarapari – ES**. Monografia de Graduação apresentada ao Departamento de Oceanografia e Ecologia da UFES. 2006.

MORAES, A. C. R. **Contribuições para a Gestão da Zona Costeira do Brasil: Elementos para uma Geografia do Litoral Brasileiro**. São Paulo: Hucittec, 1999.

POLETTE, M. ; [RAUCCI, G.](#) . **Methodological Proposal for Carrying Capacity Analysis in Sandy Beaches: A Case Study at the Central Beach of Balneário Camboriú - SC - Brazil**. Journal of Coastal Research **JCR**, Itajaí - SC - Brazil, v. 35, p. 94-103, 2003.

PREFEITURA MUNICIPAL DE GUARAPARI. **Notícias**. Disponível em: <http://www.guarapari.es.gov.br/turismo>. Acesso em: 23/04/2009.

SHORT, A.D. **Handbook of beach and shoreface morphodynamics**. London: John Wiley & Sons Ltd. 1999.

SHORT, R.; HSU, J.R.C., **Coastal Stabilization: Innovative Concepts**, PrenticeHall, Inc. 1993.

SHORT, A.D.; MASSELINK, G. **Embayed and Structurally Controlled Beaches**. In: SHORT, A.D. **Handbook of Beaches and Shoreface Morphodynamics** 1999.

SHORT, A.D.; WRIGHT, L.D. **Physical variability of sandy beaches**. In: **Sandy beaches as ecosystems: 1st International Symposium on Sandy Beaches**, South Africa: McLachlan, A.; Erasmus, T. (Ed.), p. 17-21, 1983.

SILVA, A. **Cultura de Guarapari**. Guarapari, ES: Ed. Independentes, 2003.

SILVESTER, R.; HSU, J. R. C. **Coastal Stabilization**. In: **Advanced Series on Ocean Engineering**. London: World Scientific. v. 14, 1993.

SMITH, G.L.; ZARILLO, G.A. **Calculating long-term shoreline recession rates using aerial photographic and beach profiling techniques**. *Journal of Coastal Research*, n.6, v.1, p.111–120, 1990.

SMITH, A.W.S. and JACKSON, L.A.,. **The variability in width of the visible beach**. *Shore and Beach*, 60(2), 7–14. 1992.

SONU, C. J.; VAN BEEK, J. L., **Systematic beach changes on the outer banks**, North Carolina. *Journal of Geology*. USA, v. 79, p. 416-425, 1971.

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

SOUZA, C.R.G et al. **Praias Arenosas e Erosão Costeira**. In: SOUZA, C. R. G. Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. Instituto de Geociências. . Quaternário do Brasil. Ribeirão Preto: Holos, 2005.

SOUZA, M.C. & ANGULO, R.J.. **Decadal and interannual variations of shoreline and beach volumes in Itapoá (Santa Catarina, Brazil)**. Journal of Coastal Research, 35 : 202-208. 2003

SPAYBROOK *et al.* **Beach nourishment: an ecologically sound coastal defence alternative? A review**. Aquatic Conservation : Marine and Freshwater ecosystems.2006.

TAGGART, B.E; SCHWARTZ, M.L. **Net shore drift direction determination: a systematic approach**. Journal of shoreline management, 3(4), 285-309. 1988.

TAN, S.K; CHIEW, Y.M. **Analisis of embayed beaches in static equilibrium**. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, Vol. 120, No. 2, 1994.

THIELER, E.R.; HIMMELSTOSS, E.A.; ZICHICHI, J.L.; MILLER, T.L. **Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 3.0: An ArcGIS Extension for Calculating Shoreline Change**: U.S. Geological Survey Open-file Report 1304. 2005.

TOFFOLI, M.R. **Análise da estrutura tridimensional de correntes na região de afundamento do Victory 8B**. Monografia de graduação apresentada ao Centro de Ciências Humanas e Naturais, para obtenção do grau de oceanógrafo. 2006.

VARGAS, A.; RAABE, A.L.A.; KLEIN, A.H.F. **Sistema Computacional para Aplicação do Modelo Parabólico de Praias de Enseada**. Revista Brasileira de Geomorfologia, Ano 3, n.1, p.11-19, 2002.

WALKDEN, M.J & HALL, J.W. **A Mesoscale Predictive Model of the Evolution and Management of a Soft-Rock Coast.** Journal of Coastal research, maio 2011.

WANG, P. *et al.* **Modeling Regional-Scale Sediment Transport and Medium-Term Morphology Change at a Dual-Inlet System Examined with the Coastal Modeling System (CMS): A Case Study at Johns Pass and Blind Pass, West-Central Florida.** Journal of Coastal Research, Florida, 2011.

WENTWORTH, C. **A scale of grade and class term for clastic sediment.** Journal of Geology, 1922.

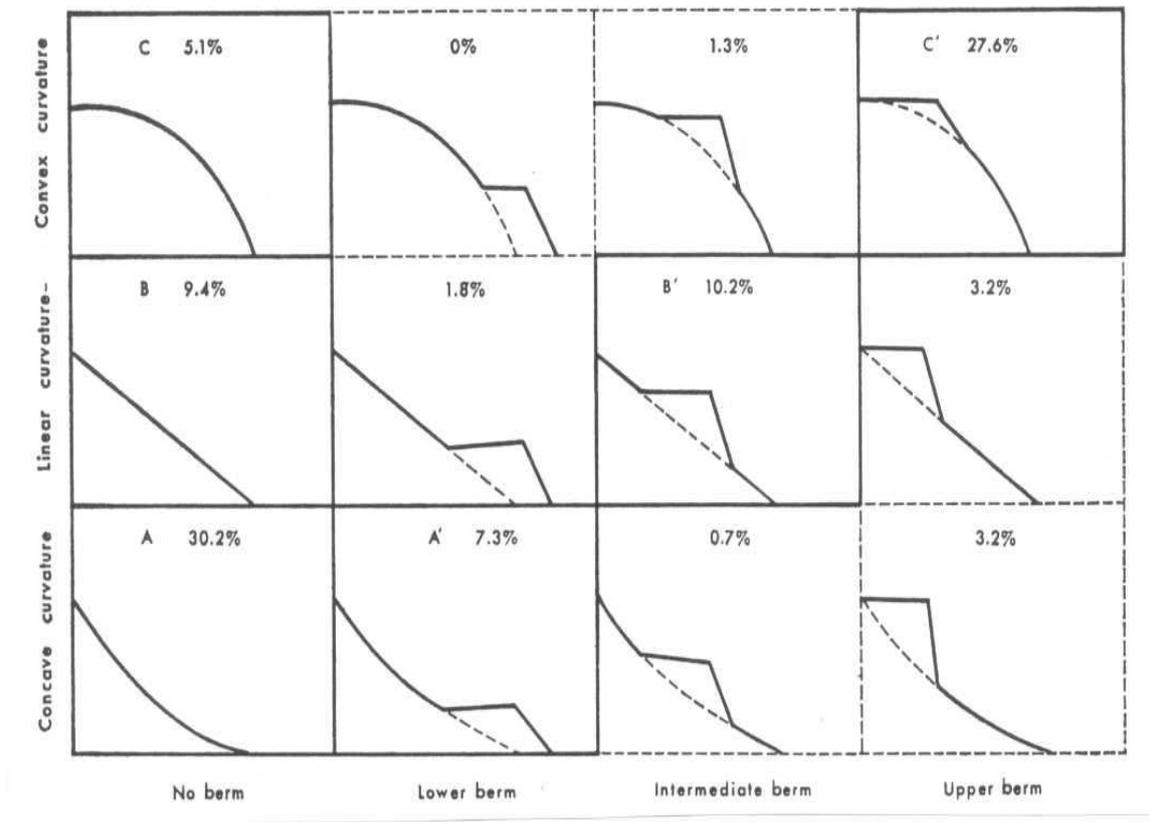
WOODROFFE, C. D. **Coasts: form, process and evolution.** Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2003.

WRIGHT, L.D & THOM, B.G. **Coastal depositional landforms, a morphodynamic approach.** Progress in physical geography. 1977.

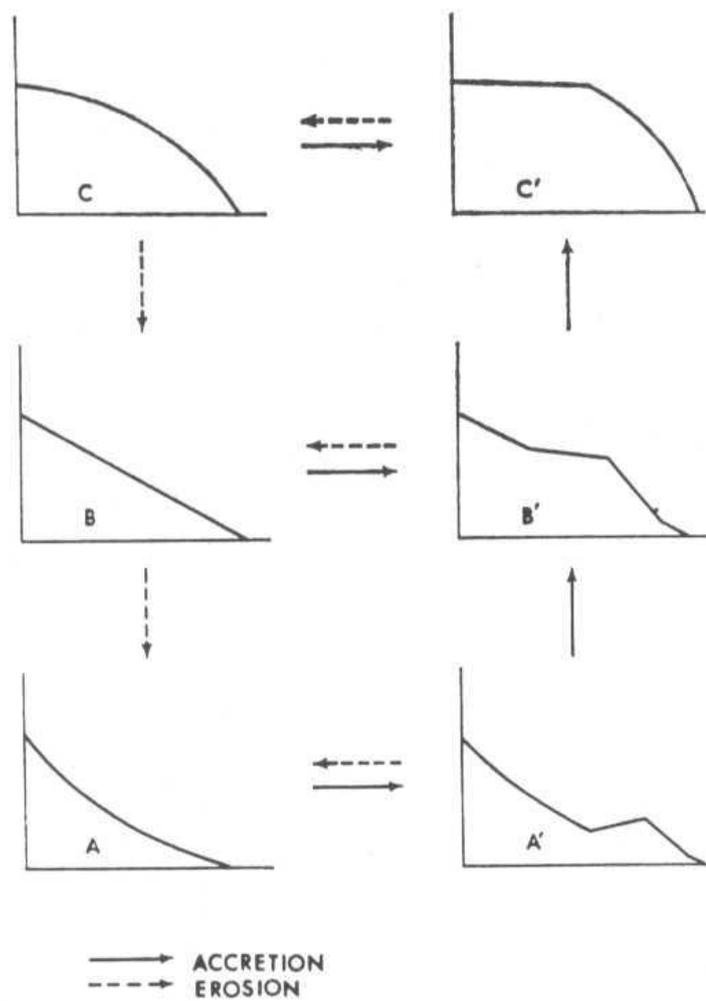
WRIGHT, L.D; & SHORT, A.D. **Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis.** Marine Geology, 56: 93-118. 1984.

ZHANG, K.; HUANG, W.; DOUGLAS, B.C., and LEATHERMAN, S.P. **Shoreline position variability and long-term trend analysis.** Shore and Beach, n.70, v.2, p.31–35, 2002.

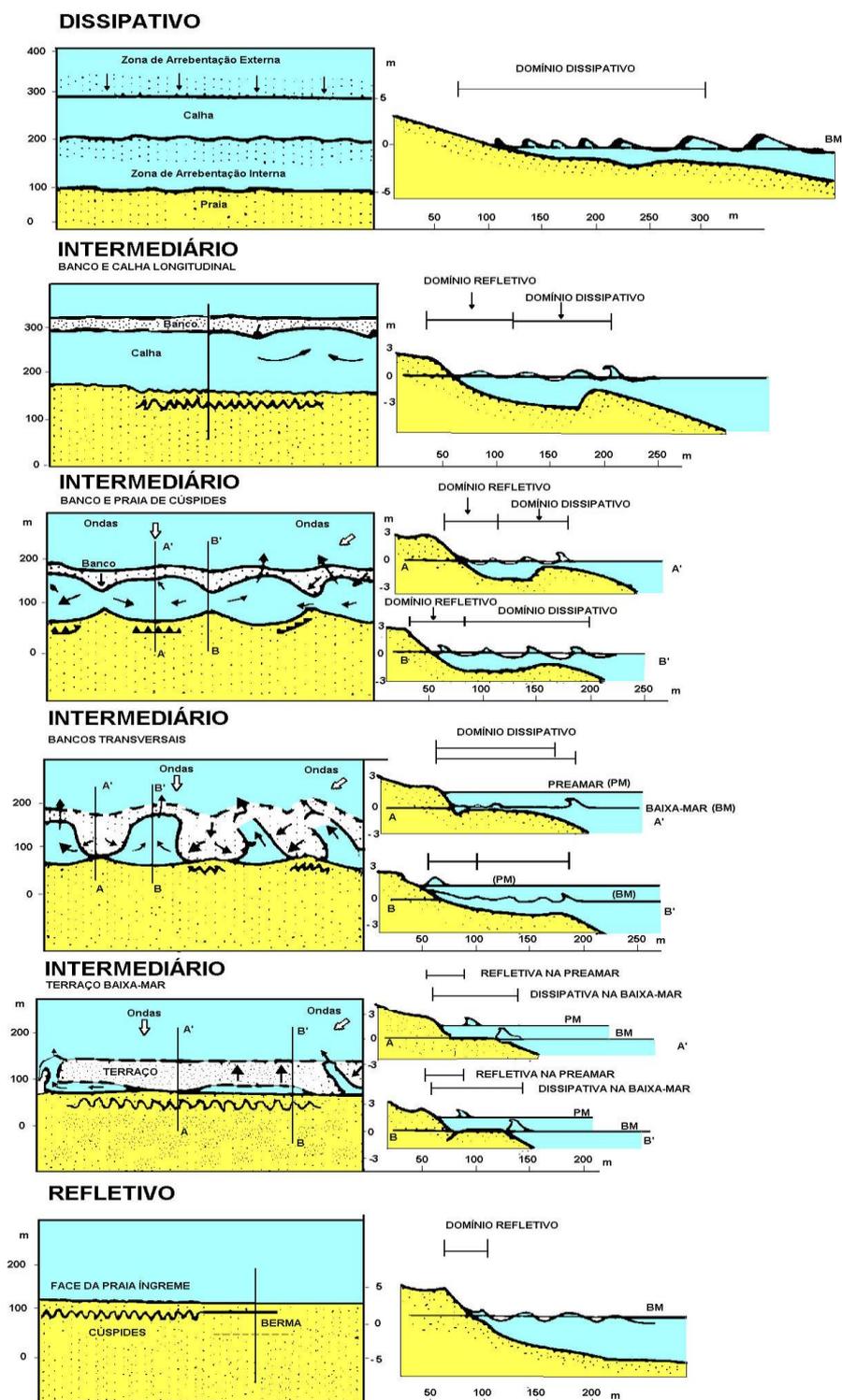
**VI ANEXO I – Figuras para Ilustração do Item 1.3: Evolução e
Aplicação da Geomorfologia Costeira**



a) Modelo de transição de perfil de Sonu e Van Beek, 1971.



b) Perfil de Inverno e Perfil de Verão segundo Davis e Fox (1978).



Adaptado de Wright & Short, 1984, apud Muehe, 1995

c) Estados morfodinâmicos de praia proposto por Wright e Short (1984)

