UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS

DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA E RECURSOS NATURAIS

CURSO DE OCEANOGRAFIA

ANA CLAUDIA J. MARCONDES

# VULNERABILIDADE EROSIVA DA PRAIA DO NENEL, ILHA BELA (ILHA DO BOI), VITÓRIA-ES

VITÓRIA

2005

ANA CLAUDIA J. MARCONDES

# VULNERABILIDADE EROSIVA DA PRAIA DO NENEL, ILHA BELA, VITÓRIA-ES

Monografia apresentada ao curso de graduação em Oceanografia da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do tíituto de Bacharel em Oceanografia.

Profª . orientadora: Dra. Jacqueline Albino

VITÓRIA
2005.

Universidade Federal do Espírito Santo
Centro De ciências Humanas e Naturais
Graduação em Oceanografia

# VULNERABILIDADE EROSIVA DA PRAIA DO NENEL, ILHA BELA, VITÓRIA-ES

ANA CLAUDIA J. MARCONDES

Prof. Drª Jacqueline Albino
Orientador – DERN/CCHN/UFES

Prof. Dr Alex Cardoso Bastos
Examinador Interno – DERN/CCHN/UFES

Prof. Msc Luiz Machado Filho
Examinador Interno DERN/UFES

VITÓRIA

2005.

# AGRADECIMENTOS

Aos colegas que me acompanham nas idas ao campo, mesmo sob chuva. São eles: Victor, Karol (Cara-de-lagosta), Carú, Pablo, Bruno, Nélio, Tessa e Artur da Biologia, Marcela, Ívia, Brunelli, Mineiro, Larissa, Daniel, Tiago, Artur, Pião, Valéria e seus pimpolhos, John e até a minha mãe. Obrigada por tudo!

Ao Walace, por ter garantido os momentos mais divertidos do departamento, e por ter sido uma espécie de Chapolin Colorado, aquele cara que sempre aparece quando se pergunta: “E agora, quem poderá me ajudar?”;

Aos companheiros de laboratório pela orientação e por terem tornado o ambiente bastante descontraído e agradável;

À todos os colegas e funcionários do DERN, pela ajuda sempre que foi necessária;

À Jacqueline Albino, pela orientação que permitiu a elaboração desta monografia.

# RESUMO

O trabalho objetiva o estudo sobre a vulnerabilidade erosiva da Praia do Nenel, Ilha Bela, Vitória-ES, baseado na identificação dos processos morfodinâmicos atuais e no recuo da costa por efeito de uma elevação provável do nível do mar. Para isso foram levantados dados topográficos de perfis praiais, dados oceanográficos e dados sobre os sedimentos por ocasião de eventos climáticos de alta energia. Os resultados revelaram tratar-se de uma praia abrigada e refletiva, que apesar de sua baixa vulnerabilidade erosiva quando comparada com praias expostas e dissipativas, apresenta-se vulnerável a fenômenos erosivos de curta duração, como a passagem de frentes frias e também de médio e longo prazo, com riscos de perda da maior parte do seu volume sedimentar e de destruição de alguns terrenos à beira mar, já que há o predomínio de transporte transversal dos sedimentos. Os resultados ainda sinalizaram ser a ilha merecedora de planejamento quanto ao seu uso e ocupação.

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama geral do perfil de praia (Albino, 1999, adaptado de Davis, 1985).....14

Figura 1 - Diagrama geral do perfil de praia (Albino, 1999, adaptado de Davis, 1985).....14 ..... 15

Figura 2 - Diagrama geral do perfil de praia (Albino, 1999, adaptado de Davis, 1985). ..... 18

Figura 3 - : O perfil de tempo bom é comparado com o perfil de tempestade. Fonte: (Komar, 1983) traduzido.25

Figura 4 - Seqüência típica de configuração de um perfil de praia segundo Sonu & Van Beek (1971)..... 27

Figura 5 - Sucessivos perfis e zonas de surfe de praias dissipativas, intermediárias e refletivas (Short & Wright, 1985) ..... 28

Figura 6 - Correlação entre a declividade da face praial e a característica granulométrica dos sedimentos em função da exposição às ondas (Wiegel, 1954, APUD Muehe, 2001) ..... 32

Figura 7 - A resposta erosiva de uma elevação do nível do mar de acordo com Bruun (1962). Na figura, “S’ ” indica a elevação do nível do mar; “R” é o recuo da linha de costa; “Z” a altura da feição emersa somada com a profundidade de fechamento e “X” a extensão do perfil até a profundidade de fechamento. Fonte: Davis (1985). ..... 33

Figura 8 -Localização da área de estudo no município de Vitória, Espírito Santo, Brasil. À direita: fotografia aérea da Ilha do Boi em 09/05/78. Os números na figura indicam: 1 - praia da Esquerda; 2 – praia da Direita; 3 – Ilha da Galheta de Dentro e 4 – ilha da Galheta de Fora (figura fornecida pelo Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo – IDAF) ..... 35

Figura 9 - Perfis topográficos levantados na Praia do Nenel (Praia da Direita) – Ilha do Boi. Carta topográfica fornecida pela SEMMAM. Eqüidistância entre as curvas de nível de 1 metro. ..... 41

Figura 10 - Imagens do Satélite Góes exibidas no site do CPTEC/INPE no início das duas etapas do monitoramento. A imagem à esquerda, referente ao dia 1/10, mostra o avanço da frente polar sobre a região sudeste e a imagem à direita, referente ao dia 18/10, mostra o encontro de duas frentes gerando um sistema frontal bastante complexo. 47

Figura 11 - Resultados de campo e de laboratório referentes ao Perfil 1. 1) Perfil topográfico; 2) Granulometria do sedimento dos 4 subambintes amostrados. ..... 53

Figura 12 - Resultados de campo e de laboratório referentes ao Perfil 2. 1) Perfil topográfico; 2) Granulometria do sedimento dos 4 subambintes amostrados. ..... 56

Figura 13 - Resultados de campo e de laboratório referentes ao Perfil 3. 1) Perfil topográfico; 2) Granulometria do sedimento dos 4 subambintes amostrados. ..... 59

Figura 14 - Correlação entre a inclinação da face praial e a característica granulométrica dos sedimentos (Wiegel, 1964, APUD Muehe, 2001) ..... 64

Figura 15 - Perfil topográfico sobre a Estação P2 realizado por Albino em 2000 e 2001..... 65

Figura 16 - Recuo erosivo da costa devido à elevação relativa do nível do mar em 0,3, 0,5 e 0,9m. ..... 67

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - A tabela abaixo apresenta a classificação granulométrica , de selecionamento dos grãos (ϕ), e da assimetria gráfica, todos em valores de Fi (ϕ), descritos por Folk (1968). ..... 44

Tabela 2 - Dados meteoceanográgicos dos dias de amostragem. Fonte: (1) CPTEC/INPE; (2) DHN e (3) observados em campo. Hb = altura da onda na arrebentação; T= período e á = ângulo de incidência da onda. ..... 48

Tabela 3 - Teores médios (%) de carbonato em cada Estação em todas as campanhas realizadas. ..... 50

Tabela 4 - Variação volumétrica ($m^3$) acumulada de cada estação e da praia nos dias de maior erosão e deposição constatada pelos perfis topográficos..... 59

Tabela 5 - Parâmetro dimensionador do surfe (ª ) calculado para as 3 estações..... 63

Tabela 6 - Recuos erosivos da linha de costa em três situações de aumento do nível do mar; 0,3, 0,5 e 0,9m66

**SUMÁRIO**

**1. INTRODUÇÃO ..... 15**

**1.1 Apresentação e justificativa ..... 15**

**1.2 Objetivos ..... 16**

1.2.1 OBJETIVO GERAL ..... 16

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS ..... 16

**2 O AMBIENTE PRAIAL ..... 17**

**2.1 Definição e limites da praia ..... 17**

2.1.1 ZONAÇÃO MORFOLÓGICA ..... 17

2.1.2 ZONAÇÃO HIDRODINÂMICA ..... 18

**2.2 Fatores atuantes na caracterização e mobilidade praial ..... 19**

2.2.1 ONDAS ..... 19

2.2.1.1 Refração e difração de ondas ..... 20

2.2.1.2 Tipos de arrebentação ..... 20

2.2.2 CORRENTES GERADAS POR ONDAS ..... 21

2.2.2.1 Corrente longitudinal ..... 21

2.2.3.2 Correntes de retorno ..... 22

2.2.3 SEDIMENTOS ..... 23

2.2.3.1 Fonte e composição ..... 23

2.2.3.2 Distribuição granulométrica ao longo do perfil da praia .....23

**2.3 Variabilidade praial ..... 24**

2.3.1 ASPECTOS GERAIS..... 24

2.3.2 VARIABILIDADE DA PRAIA COM O AUMENTO DA ENERGIA DAS ONDAS 24

2.3.3 MODELO DE SONU E VAN BEEK (1971)..... 26

2.3.4 ESTADO MODAL DE UMA PRAIA..... 27

**2.4 Uso da praia: limites de proteção costeira..... 30**

2.4.1 A ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR E A LEI DE BRUUN (1962)..... 32

**3. ÁREA DE ESTUDO..... 34**

**3.1 Localização..... 34**

**3.2 Clima ..... 36**

3.2.2 PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA..... 36

3.2 3 PRINCIPAIS ELEMENTOS DA CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA ..... 36

**3.3 Oceanografia ..... 37**

**3.4 compartimentação geomorfológica do litoral do Espírito Santo..... 37**

**3.5 Caracterização da praia da direita, Ilha do Boi, vitória - ES ..... 38**

**4. METODOLOGIA..... 40**

**4.1 levantamentos preliminares ..... 40**

**4.2 Obtenção de dados topográficos..... 40**

**4.3 Obtenção de dados oceanográficos ..... 41**

**4.4 Análise sedimentológica ..... 42**

4.4.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA ..... 42

4.4.2 TEORES DE $CACO_3$ ..... 45

**4.5 Determinação do estado modal da praia ..... 45**

**4.6 Determinação de um possível recuo da costa com a elevação do nível do mar45**

**5. RESULTADOS E DISCUSSÃO ..... 47**

**5.1 Condições Metereológicas e Oceanográficas ..... 47**

**5.2 Caracterização morfodinâmica ..... 49**

5.2.1 ESTAÇÃO PRAIAL P1 ..... 49

5.2.3 ESTAÇÃO PRAIAL P3 ..... 56

**5.3 Processos costeiros e transporte de sedimentos na praia ..... 59**

**5.4 Tipologia e grau de vulnerabilidade erosiva ..... 61**

**5.4 Recuo da praia a uma possível elevação relativa do nível do mar ..... 65**

**7. REFERÊNCIAS ..... 71**

**PRANCHA A ..... 76**

**PRANCHA B ..... 77**

**PRANCHA C ..... 78**

**PRANCHA D ..... 80**

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 APRESENTAÇÃO E JUSTIFICATIVA

Os ambientes costeiros, localizados na estreita faixa de contato da terra com o mar, são regiões de intensa entrada de energia e, conseqüentemente, são caracterizados por freqüentes mudanças morfológicas que agem dissipando a energia incidente e protegendo a terra contra a ação erosiva do mar (Brown, 1999). Quando nestes ambientes o processo de transporte de sedimento é alterado por destruição da vegetação e construção de edificações, provoca-se desequilíbrios no balanço sedimentar e, conseqüentemente, na estabilidade da linha de costa, gerando riscos potencialmente elevados de perdas por erosão (Muehe, 2001).

Assim, tanto para o estabelecimento de uma zona de proteção costeira contra fenômenos erosivos, quanto no de preservação da paisagem, limites mínimos englobando a zona marinha e terrestre foram apresentados por Muehe (2001). Os critérios adotados consideraram o alcance do processo morfodinâmico atual, a tendência erosiva baseada em taxas de erosão anual e o efeito de elevação do nível relativo do mar.

O critério morfodinâmico considera a capacidade de mobilização dos sedimentos do fundo marinho por ação das ondas, seu deslocamento ao longo de um perfil perpendicular à costa e a resposta morfológica da porção emersa do litoral aos critérios de erosão, transporte e acumulação resultante desse processo sedimentar. Entretanto, a amplitude dessas respostas depende do grau de exposição do segmento costeiro, ou seja, se é uma praia exposta, semi-exposta ou protegida.

Albino (1999) destaca ainda que a intensidade erosiva e/ou de recuo depende da adaptação dependendo de sua tipologia e uso e ocupação.

Short & Wright (1983) classificaram as praias arenosas, do ponto de vista morfológico e hidrodinâmico, em 6 tipos – dissipativo, reflectivo e em 4 tipos intermediários aos dois – dos quais os extremos dissipativo e refletivo, respectivamente, caracterizam as praias mais expostas e as mais protegidas. A proteção de uma praia, ou seja, a filtragem dos eventos de grande energia por obstáculos como promontórios, assim como a disponibilidade de sedimento grosso, indicam, segundo Wright & Short (1987), uma praia de baixa vulnerabilidade à erosão por condições climáticas e, portanto, de baixa variabilidade temporal. As mesmas caracterizam

também o máximo de refletividade e, de acordo com Brunn (1962), as praias refletivas são também menos vulneráveis a uma elevação do nível do mar que os outros tipos de praias arenosas devido a altura relativamente alta do perfil.

Dentro deste contexto a presente pesquisa propôs estudar a morfodinâmica e avaliar o recuo da praia em função de uma provável subida relativa do nível do mar de uma praia urbana e protegida e discutir a adequação da ocupação diante ao seu grau de vulnerabilidade erosiva.

A praia escolhida foi a praia do Nenel, ou praia da Direita, como é conhecida, situada na Ilha Bela, mais conhecida como Ilha do Boi, um bairro residencial nobre de Vitória. Trata-se de uma praia abrigada, supostamente estável, entretanto, com pequeno estoque de areia e onde a urbanização se deu a uma distância muito reduzida da linha do mar, a pouco mais de 20 m de distância do nível médio de alcance da maré alta, sobre a vegetação de restinga.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é identificar a vulnerabilidade erosiva da Praia do Nenel frente a um evento de alta energia.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Classificar a tipologia e o grau de exposição

- Descrever os processos morfodinâmicos atuantes na praia

- Determinar a faixa de segurança da praia e prever os impactos considerando os efeitos de uma elevação relativa do nível do mar.

# 2 O AMBIENTE PRAIAL

## 2.1 DEFINIÇÃO E LIMITES DA PRAIA

Antes de prosseguir uma discussão sobre a praia e os processos atuantes sobre ela, é necessário definir alguns termos que são utilizados neste trabalho, já que, até hoje, não é totalmente padronizada a nomenclatura utilizada para designar morfologicamente os sub-ambientes praiais.

Komar (1976) define a praia como uma acumulação de sedimento inconsolidado (areia ou cascalho) que estende do limite médio de maré baixa até alguma mudança fisiográfica como um rochedo, campo de dunas ou uma vegetação permanente. O termo litoral é mais abrangente, incluindo, além da porção emersa descrita acima, também a porção submersa até uma profundidade onde o sedimento é menos transportado ativamente pelas ondas superficiais. Esta profundidade é imprecisa, mas atualmente é definida por muitos autores como a profundidade de fechamento do perfil que posteriormente será detalhada, mas situa-se geralmente a menos de 15 m.

### 2.1.1 Zonação morfológica

A figura 1 ilustra as terminologias que são adotadas neste trabalho extraída de Albino (1999) a partir da adaptação da zonação proposta por Davis (1985).

Como **Pós-praia (*Backshore)*** define-se a parte da praia coberta pela água apenas durante as tempestades e que, conseqüentemente, está acima do nível de maré alta. Esta região é constituída por uma porção praticamente plana de inclinação suave denominado berma. Algumas praias possuem mais de um berma em níveis levemente diferentes, separados por uma escarpa. A zona *pós praia* é limitada por uma mudança abrupta na inclinação na crista do berma.

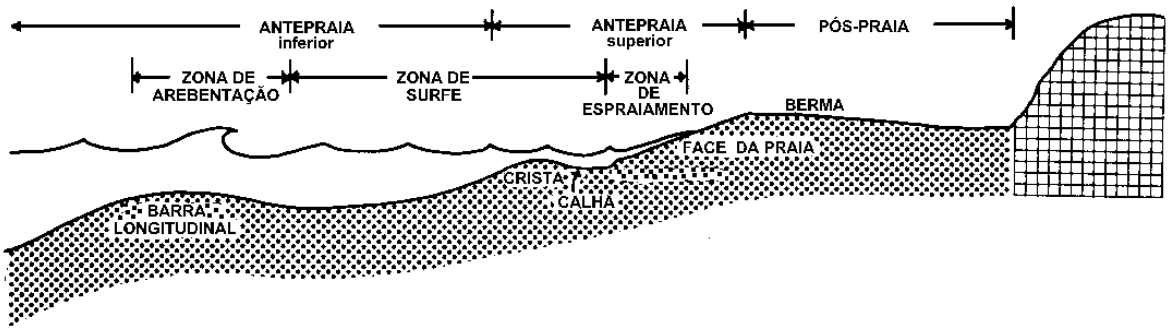



Figura 2 - Diagrama geral do perfil de praia (Albino, 1999, adaptado de Davis, 1985).

O termo **Antepraia superior (*Foreshore)*** limita-se pela altura máxima de maré alta e pela mínima de maré baixa. Nesta porção está localizada a **face da praia**, que é uma seção inclinada da praia onde ocorre o espraiamento. Sobre uma inclinação bem suave, esta localização é melhor reconhecida pelas mudanças na textura e composição do sedimento, que é tipicamente marcada por uma concentração de fragmentos de conchas ou por sedimentos mais grossos.

A zona descrita como **antepraia inferior** (***Nearshore)*** é caracterizada por uma parte do perfil submerso, entre o nível de maré baixa até os bancos de areia. Esta região é dominada por processos da zona de arrebentação e de surfe.

Para designar a porção mais distante da costa (e também mais plana do perfil) que se estende do limite do final do banco longitudinal até a margem da plataforma continental, Komar (1976) utilizou o termo **zona *offshore***.

### 2.1.2 Zonação hidrodinâmica

Hidrodinamicamente distinguem-se em uma praia a zona de arrebentação, a zona de surfe e a zona de espraiamento.

Ao aproximar-se de águas progressivamente mais rasas, as ondas incidentes tendem a instabilizar-se até um ponto no qual quebrará. A **zona de arrebentação (B*reaking Zone*)** é

aquela porção do perfil praial caracterizada pela ocorrência deste processo, que apresenta o modo de dissipação energética da onda sobre a praia. A forma com a qual a onda quebra depende da declividade da praia, da altura e do comprimento da onda.

A presença da **zona de surfe (Surfe Zone)**: é primeiramente uma função da inclinação da praia, e por isso, está diretamente relacionado com o tipo de quebra, e depende, secundariamente, da amplitude de maré. Praias de baixa declividade são caracterizadas por extensas zonas de surfe. Durante este percurso, grande parte da energia é transferida para a geração de correntes – longitudinais e transversais à praia (*rips*) (Hoefel, 1998). Em contraste, praias inclinadas raramente possuem zona de surfe e predominantemente refletem a energia das ondas. (Komar, 1976).

A **zona de espraiamento (Swash Zone)** pode ser explicada como sendo aquela região da praia delimitada entre a máxima e mínima excursão dos vagalhões sobre a face praial. Nesta, as correntes longitudinais não se desenvolvem. Os processos de espraiamento são importantes no transporte de sedimentos de uma praia, uma vez que os processos de fluxo e refluxo dos vagalhões determinariam, em última estância, se o sedimento seria armazenado na praia, ou retornados à zona de surfe, com chances de ser, então, transportados. Comumente, observam-se nesta porção do perfil feições rítmicas de expressão longitudinal à costa, como cúspides.

## 2.2 FATORES ATUANTES NA CARACTERIZAÇÃO E MOBILIDADE PRAIAL

### 2.2.1 Ondas

As ondas geradas pelo vento são umas das principais fontes de energia que governam as mudanças da praia. Quando uma onda quebra, dependendo da inclinação da praia, alguma energia pode voltar para o mar (quanto menor for o ângulo de inclinação da praia, menor é a energia refletida) mas boa parte é dissipada. Parte desta é usada para fraturar rochas e minerais transformando-os em partículas menores, mas a maior parte da energia deve ser usada para movimentar sedimentos e aumentar a altura e, conseqüentemente, a energia potencial da forma da praia (Brown, 1999)

Os processos que causam mudanças morfológicas na costa são os de transporte de sedimentos. Estas mudanças irão continuar indefinidamente até que eventualmente a entrada de energia seja dissipada sem qualquer transporte de sedimento (Peyhick, 1986). Portanto,

mudanças na morfologia ocorrem sempre que ocorre uma mudança na entrada de energia e a função da zona costeira é de, justamente, dissipar esta energia.

#### 2.2.1.1 Refração e difração de ondas

Enquanto a onda se move em direção às águas mais rasas, transformações importantes se tornam mais pronunciadas antes dela alcançar a linha de costa. Entre estas transformações, relacionadas com a variação batimétrica, o ângulo de incidência das ondas e a irregularidade geomorfológica da região costeira, podemos citar a refração e a difração das ondas (Brown, 1999)

A onda sofre **refração** ao passar obliquamente de águas mais profundas para mais rasas, nas quais ela se propaga com velocidades diferentes. Neste processo, as cristas das ondas são curvadas até se tornarem paralelas aos contornos submarinos e da linha de costa. Por exemplo, com a chegada de um trem de ondas em uma baía margeada por promontórios, as ondas “tocam” primeiro o fundo próximo aos promontórios, onde está mais raso, e isso resulta na convergência dos raios de ondas (os raios de onda indicam a direção de propagação da onda). Ao mesmo tempo, sobre a baía, ocorre a divergência dos raios. Onde os raios de onda convergem, a energia das cristas de ondas é contida dentro de uma pequena área, o que resulta em maiores alturas das ondas; onde os raios de onda divergem a energia é dispersa e a altura da onda diminui. O resultado deste processo é que haverá uma força erosiva maior sobre os promontórios, enquanto que sobre a baía haverá deposição de sedimentos.

Já a **difração** é a propriedade que a onda possui de contornar um obstáculo ao ser parcialmente interrompido por ele. Isso acontece pois os pulsos, ao passarem por uma barreira, têm as direções dos raios de onda alterados e contornam o obstáculo. Quando a onda se propaga por um orifício entre duas barreias, a difração será mais acentuada quanto menor for a largura do orifício e quanto maior for o comprimento de onda.

#### 2.2.1.2 Tipos de arrebentação

Dependendo da declividade da praia, da altura e do comprimento da onda, as ondas podem quebrar basicamente de 4 modos, segundo a classificação de Galvin (1968, *apud* Hoefel, 1998),

apesar de que vários tipos intermediários freqüentemente podem ser vistos e de que mais de um tipo pode ser visto na mesma praia e no mesmo local (Brown, 1999):

1- Deslizante *(spillng)*: é caracterizado pela espuma e pela turbulência na crista da onda, também conhecidos como “carneirinhos”. Usualmente este inicia-se a alguma distância da praia e são características de uma linha de costa de inclinação suave., por isso, a energia da onda é dissipada gradualmente.

2- Mergulhante (*plunging)*: é a forma clássica muito querida pelos surfistas. As cristas se enrolam, espiralam e mergulham com uma força considerável, dissipando sua energia em uma pequena área e, por isso, pode ter grande efeito erosivo. Este tipo de arrebentação ocorre em praias de declividade moderada e usualmente estão associadas com longos *swells* gerados em tempestades distantes..

3- Frontal (c*ollapsing*): similar às mergulhantes, exceto que as ondas são menos inclinadas e ao invés das cristas se espiralarem, a face frontal colapsa. Este tipo ocorre em praias de declividade moderada a alta e sobre condições de vento moderados. Representam a transição entre os tipos mergulhante e ascendente

4- Ascendente (s*urging)*: são encontradas em praias bastantes íngremes e são formadas tipicamente por ondas pequenas e longas e as faces frontais e as crista, desta maneira, resistem sem quebrar enquanto a onda desliza sobre a face da praia.

### 2.2.2 Correntes geradas por ondas

#### 2.2.2.1 Corrente longitudinal

As correntes longitudinais (*longshore currents*) são correntes paralelas à costa que transportam sedimentos colocados em suspensão pelas ondas incidentes, potencialmente podendo movê-los ao longo de vários quilômetros através do processo de meso-escala temporal conhecido deriva litorânea (*litoral drift*). Tipicamente, estas correntes crescem em intensidade da costa em direção ao mar, atingindo um máximo aproximadamente no meio da zona de surfe, a partir de onde passam a decrescer. Em praias interrompidas por obstáculos naturais ou artificiais os efeitos da deriva litorânea são visivelmente notados, embora sejam igualmente importantes para o balanço de sedimentos de praias não interrompidas. Já em praias semi-fechadas como

as praias de bolso, a deriva litorânea tende a ser fraca ou negligível em comparação ao transporte normal à costa.

A direção da corrente longitudinal está associada com a direção dos ventos que são responsáveis pelo clima de ondas na região. Assim foi verificado por Bittencourt *et al* (2000) em seus estudos na costa da Bahia. Eles constataram que a deriva para sul produzida pelas ondas vindas de NE associadas aos ventos alísios, por serem as mais freqüentes, forneciam grande influência sobre a dispersão de sedimento nesta região. Entretanto, regularmente, a deriva litorânea mostrou uma direção prevalecente de sul para norte, que estava relacionada com o avanço da Frente Polar Atlântica que é responsável pelas ondas vindas de S e SE. Os autores também verificaram que a dispersão do sedimento ao longo da costa da Bahia era também regulada pela orientação do litoral. A deriva litorânea era mais forte em alguns trechos onde a direção da linha de costa favorecia a chegada das ondas formando expressivos ângulos de incidência.

2.2.3.2 Correntes de retorno

As correntes de retorno (*rips currents*) são caracterizadas por fluxos estreitos, posicionados normal ou obliquamente em relação à costa, que atravessam a zona de surfe em direção ao mar. Sua origem pode estar associada às correntes longitudinais convergentes nas proximidades da praia e tendem a desaparecer logo após a zona de surfe em direção ao mar, formando células de circulação e, como é mais comumente aceito, são originadas pelas variações longitudinais na altura da arrebentação que, por sua vez, são produzidas pelas ondas de borda (*edge waves*). Diferentemente das ondas incidentes, estas são ondas estacionárias por formarem alternativamente uma crista e uma cava em pontos fixos, os anti-nós, e, entre estes pontos, os nós, pontos onde a superfície da água se mantém em nível constante. Os fluxos longitudinais à praia desenvolver-se-ão a partir dos pontos de maior elevação da superfície média (os anti-nós) em direção àqueles de menor elevação (os nós), nos quais devem convergir e formar as correntes de retorno propriamente ditas (Pethick, 1986).

A presença destas correntes pode ser notada pelas variações topografias rítmicas sobre a face da praia, denominadas cúspides. A intensidade, o tamanho e o espaçamento das correntes de retorno e, conseqüentemente das cúspides, variam em função do clima de onda incidente.

Ondas altas produzem correntes fortes e pouco espaçadas, enquanto ondas mais baixas produzem correntes numerosas, porém, fracas (Davis, 1985).

Assim como as correntes longitudinais, as correntes de retorno são efetivas no transporte de sedimentos e desempenham um papel importante nas zonas de surfe em que ocorrem, apesar de não serem necessariamente erosivas (Short, 1985).

### 2.2.3 Sedimentos

#### 2.2.3.1 Fonte e composição

O sedimento de uma praia pode ser composto de qualquer material que seja disponível em quantidades significantes e que possua características apropriadas (como tamanho e durabilidade) a permanecer sobre as condições hidrodinâmicas da praia (Komar, 1976). Os grãos de quartzo, derivados do intemperismo principalmente das rochas continentais, transportadas através dos rios, são amplamente difundidos em relação aos outros materiais devido a sua durabilidade física e química (Davis, 1985). Sedimentos carbonáticos compostos por fragmentos de moluscos, de algas calcárias, foraminíferos e por outros organismos de estrutura carbonática são importantes especialmente nos trópicos, onde a produtividade biológica é intensa (Komar, 1976). Além dos sedimentos trazidos pelos rios e da produção biológica, existe outras fontes de sedimento para a praia como a formação de precipitados químicos, a erosão de falésias e de costões rochosos e o material de atividades vulcânicas, que podem compor quase todo o sedimento do litoral de ilhas vulcânicas, (Kennet, 1982 e Brown, 1999).

#### 2.2.3.2 Distribuição granulométrica ao longo do perfil da praia

A inter-relação entre o tamanho do grão do sedimento e a morfologia do perfil de praia é, de uma forma geral, bem conhecida. Muitos estudos têm sido conduzidos para investigar a variação espacial do sedimento ao longo do perfil. Para isso, todos os modelos assumem que diferentes diâmetros de grão mostram um grau distinto de variabilidade espacial, que induz a conclusão que cada tamanho de sedimento responde diferentemente a mesma hidrodinâmica (Medina *el al*, 1994).

As maiores partículas de areia de qualquer praia são encontradas no ponto de mergulho, onde observações indicam ser o ponto de máxima turbulência. A próxima maior partícula é encontrada no topo do berma de verão: após a agitação do ponto de mergulho, o material grosso é aprisionado em suspensão e carregado pelo espraiamento até o limite da face da praia e sobre o berma, onde não consegue retornar. A areia mais fina é encontrada nas dunas, pois esta é transportada pelo vento, que age seletivamente sobre os grão mais leves. Na porção submersa, o sedimento se torna menor com o aumento da profundidade (Bascom, 1951).

## 2.3 VARIABILIDADE PRAIAL

### 2.3.1 Aspectos gerais

O perfil transversal de uma praia varia com o ganho ou perda de areia de acordo com a energia das ondas. Uma técnica importante para determinar o balanço sedimentar da praia é o acompanhamento de um perfil praial que traça a forma transversal superficial da praia. A superposição dos perfis ao longo do tempo permite determinar os ganhos e perdas de areia. Vários trabalhos têm sido publicados mostrando a variabilidade temporal do perfil de praia, entre eles podendo-se citar Bascom (1951), Bruun (1962), Sonu & Van Beek (1971), Davis & Fox (1975), Albino (1988 e 1996), Medina *et al*.(1994) e Santos (2003), e a interpretação destes perfis de praia no mundo inteiro e têm mostrado que as praias tipicamente passam por variações morfológicas a cada mudança climática e hidrodinâmica.

### 2.3.2 Variabilidade da praia com o aumento da energia das ondas

Condições de tempo bom e a chegada de ondas suaves resultam na acumulação de areia e no crescimento da praia. Sob essas condições de tempo e onda, o perfil de praia resultante é côncavo visto de fora, com um berma extensa e face da praia íngreme (Figura 2). Esta configuração se refere ao perfil de construção e é melhor desenvolvida durante as ondas de baixa energia de verão e é a forma da praia que é mais familiar aos turistas (Komar, 1983).

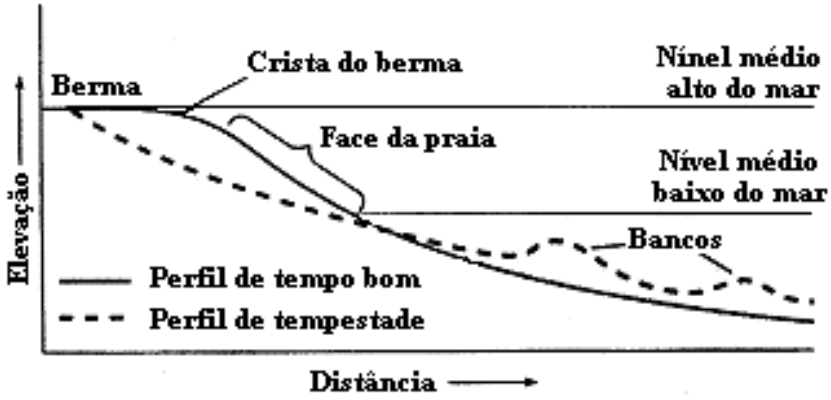



Figura 3 - : O perfil de tempo bom é comparado com o perfil de tempestade. Fonte: (Komar, 1983) traduzido.

Quando as condições climáticas mudam, normalmente durante as tempestades, ventos fortes acumulam água contra a costa e criam o empilhamento das ondas, gerando uma certa elevação do nível do mar. Áreas costeiras planas são particularmente suscetíveis a tais inundações, especialmente se esta coincide com uma maré alta de sizígia, quando o aumento do nível do mar se dará entre 2 a 10 metros acima do normal. Então, sob o efeito da tempestade, a energia da zona de surfe aumenta e a areia da face da praia é muito pequena para permanecer sob aquela turbulência. Conseqüentemente, esta é movida em direção ao mar por correntes de retorno, ou por outras correntes normais à costa até que alcance águas calmas o suficiente para depositar-se sobre o fundo. Isto geralmente resulta na formação de um banco ou barra (uma característica de tempestade); enquanto o banco cresce em função da perda da praia, isto influencia as ondas e eventualmente induzem estas a quebrar. Enquanto a energia da onda é dissipada sobre a barra, a água sobre a face da praia se torna menos turbulenta; o que parece permitir que a praia alcance outro ponto de equilíbrio, que está em balanço com as ondas de tempestade. Quando o suprimento de areia é muito grande, o resultado é freqüentemente a formação de três ou mais bancos; quando pequeno, a praia é privada do bancos e a pós-praia é atacada (Bascon, 1951).

Durante a tempestade a praia não apenas é erodida, mas o tamanho médio dos grãos aumenta de uma forma geral. Isto faz sentido porque a alta energia das ondas e as correntes normais à costa seletivamente transportam a areia fina para fora da costa, deixando o sedimento mais grosso sobre a praia. Depois da tempestade, o reaparecimento do tempo calmo faz a areia fina ao longo da barra voltar à berma, reconstruindo o perfil. Ainda que o diâmetro médio do

sedimento da praia permaneça o mesmo, a praia se torna inclinada com a deposição e mais plana com a erosão.

### 2.3.3 Modelo de Sonu e Van Beek (1971)

Sonu e Van Beek publicaram que 2 parâmetros são necessários para definir o perfil de praia. O primeiro trata-se do volume de sedimento contido no perfil; o segundo deve ser a configuração da superfície. A examinação de 1341 perfis observados em 6 meses de monitoramento na Carolina do Norte indicou que as distinções entre as formas dos perfis resultaram principalmente da determinação: (1) se esta configuração era curvada para cima, para baixo, ou se era linear; (2) se o perfil possuía um berma e, se possuía, (3) se o berma era localizado na parte mais baixa, intermediária ou mais elevado da praia.

Das 12 combinações possíveis destas alternativas, 6 ocorreram com numerosa freqüência (Figura 3). Estas consistem em 3 configurações sem berma, isto é, perfil côncavo (A), linear (B) e convexo (C), e de 3 configurações com berma, isto é, perfil côncavo com berma baixo (A’) perfil linear com berma intermediário (B’) e perfil convexo com um berma alto (C’). Aproximadamente 90% de todos os perfis observados puderam ser classificados dentro destas 6 configurações.

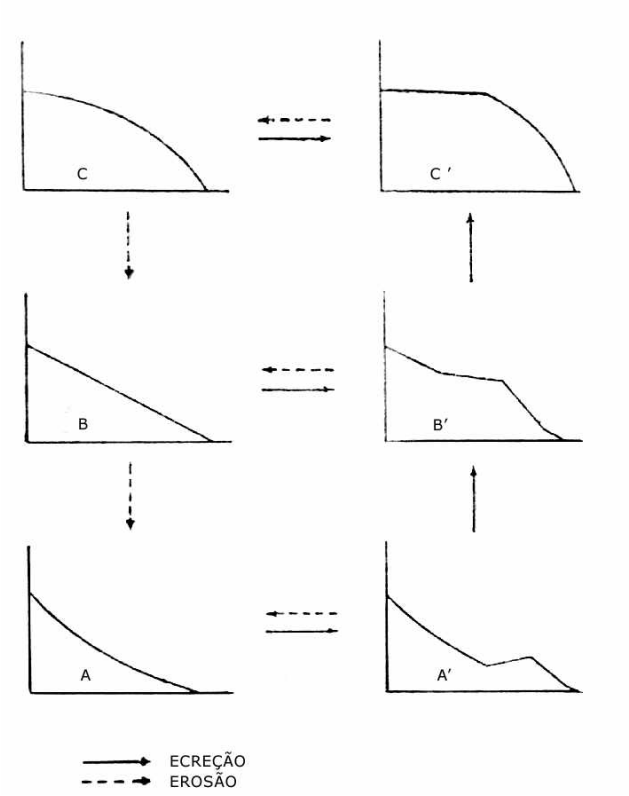



Figura 4 - Seqüência típica de configuração de um perfil de praia segundo Sonu & Van Beek (1971).

Os caminhos de transição entre os perfis também foram reconhecidos. Pela Figura 3, observa-se que a acresção do perfil é associada com a formação de um berma e sua movimentação para cima do perfil. A erosão foi associada com a redução do tamanho de um berma existente e, na sua ausência, na redução do depósito sedimentar ao longo do perfil, tornando-o côncavo.

### 2.3.4 Estado modal de uma praia

Os estudos desenvolvidos pela escola australiana culminaram com o desenvolvimento de um modelo evolutivo baseado na descrição de seis estados, ou tipos morfodinâmicos, de praias arenosas. Esses estados, descritos por Short e Wright (1983), são dependentes de dois fatores principais: do nível de energia da onda (que controla o limite da zona de espraiamento) e do tamanho do grão (que influencia o transporte de sedimento). Segundos os autores, as praias podem ser classificadas em: dissipativa, refletiva e em 4 tipos intermediários (Figura 4).

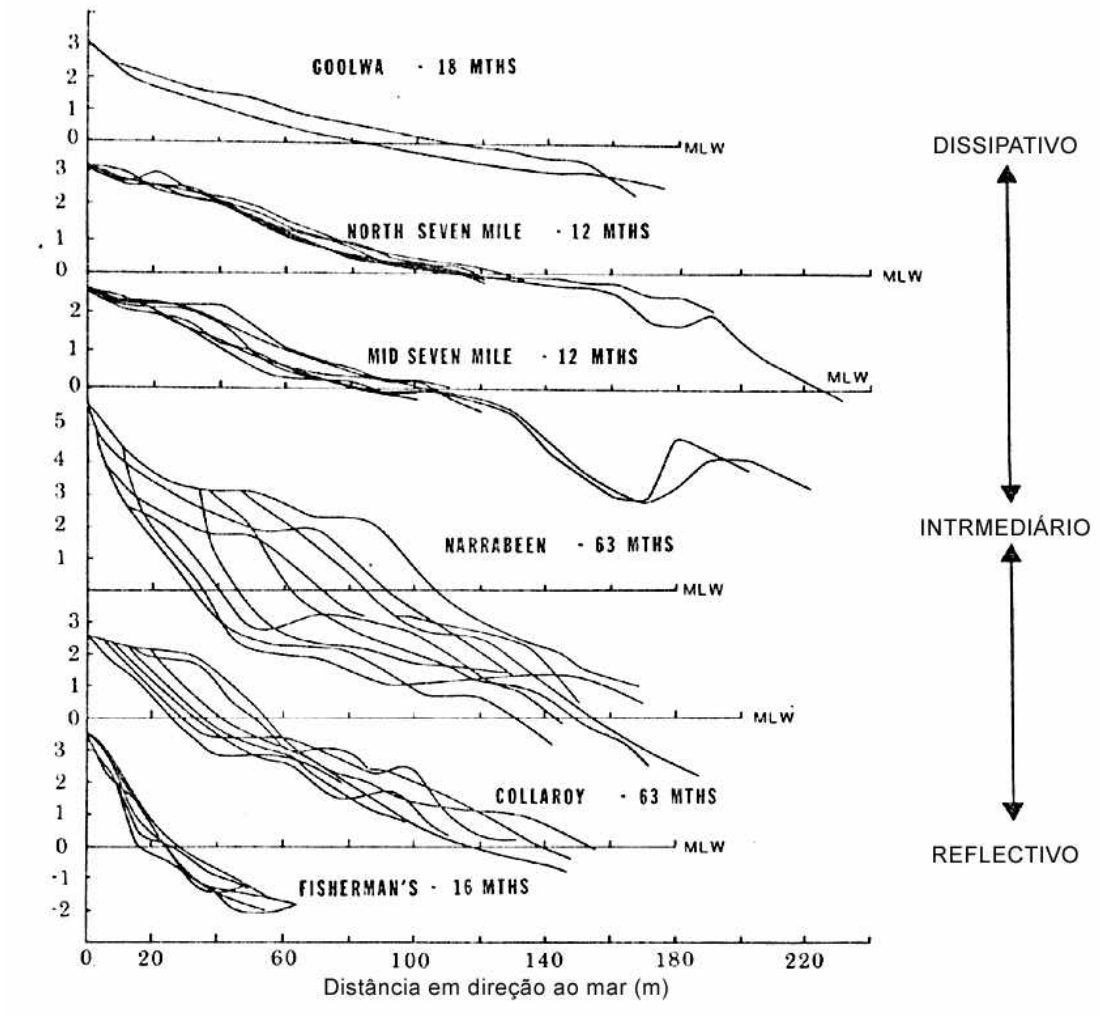



Figura 5 - Sucessivos perfis e zonas de surfe de praias dissipativas, intermediárias e refletivas (Short & Wright, 1985)

O estado **dissipativo** é a combinação de ondas altas (> 2,5m) com areia fina (Md < 0,2mm), que resulta em uma praia caracterizada por declividade suave e por uma zona de surfe bastante extensa (200 a 500m). Nesta porção, duas a cinco barras discretas podem estar presentes. A arrebentação é deslizante e a progressiva dissipação da energia de onda ao longo de uma larga porção do perfil promove a excitação de oscilações estacionárias de infra-gravidade, que passam a dominar a porção anterior, em relação à face praial, da zona de surfe. Normalmente não ocorrem correntes de retorno muito persistentes. Variabilidade espacial e temporal: As praias dissipativas são relativamente estáveis ambos espacialmente, devido serem uniformes ao longo da costa, e temporalmente, devido ao ajustamento relativamente menor das condições persistentes de altura de onda, também auxiliada pelo tamanho fino dos grãos.

Os quatro tipos a seguir representam o estado **intermediário**, ou seja, a transição entre o dissipativo e refletivo, conseqüentemente, as características dos tipos intermediários são areia média e altura de onda moderada. Quando a altura modal das ondas excede 2m, o tipo persistente é o de Banco e cava longitudinais, quando as ondas estão entre 1,5 a 2m predominam os Bancos e praias rítmicos, entre 1,5 a 1m aparece o tipo Banco transversal e *rip*, e sob baixa energia, ondas menores que 1m, o tipo Crista canal/terraço de maré baixa prevalece. Devido às ondas serem raramente estáveis nos níveis acima, as praias mudam de um estado para outro em resposta das variações das condições de ondas. Estas são praias de maior variabilidade tanto temporal, devido estas variações energéticas, quanto espacial, devido à forma das cúspides e dos bancos.

BANCO E CAVA LONGITUDINAIS. Neste estágio o relevo banco-cava é bem mais pronunciado que no estágio dissipativo. As ondas incidentes inicialmente quebram progressivas no banco para reformar-se na cava e avançar sobre a praia até nova quebra, desta vez de forma bastante abrupta e turbulenta, do tipo mergulhante. Assim, a porção proximal do perfil exibe uma refletividade localizada, não observada na porção distal em relação à terra. Cúspides praiais de larga escala são comumente observadas na face praial, porém, sem qualquer expressão subaquosa. Correntes de retorno incipientes podem ser notadas.

BANCO E PRAIA RÍTMICOS. Morfologicamente este estágio diferencia-se pelo caráter rítmico do banco (em crescente) e também da face praial. Na medida que os bancos crescentes migram em direção ao mar, se tornam altamente rítmicos em planta e formam os bancos alternativamente com os canais das correntes de retorno. Na medida que os bancos se aproximam da praia, a atenuação das ondas e a refração na zona de surfe resultam na erosão e escarpamento da face da praia à sotamar dos canais das correntes de retorno e na deposição à sotamar dos bancos em crescente, por meio disso, produzindo características rítmicas na linha de costa conhecidas como mega-cúspides praiais, cujo espaçamento pode chegar a 500m em praias mais expostas.

BANCO TRANSVERSAL E *RIP*. Ciclos de acresção fazem com que as protuberâncias dos bancos em crescente soldem-se à paria, formando bancos transversais regularmente interrompidos por correntes de retorno muito desenvolvidas, que apresentam perigo aos banhistas. Os bancos são relativamente baixos, particularmente na maré baixa, enquanto que os canais das correntes de retorno são relativamente fundos e cortam transversamente os

bancos com uma inclinação que dependerá obliqüidade da onda incidente. As correntes de retorno promovem a erosão das reentrâncias, que se alternam com mega-cúspides praiais.

CRISTA CANAL/TERRAÇO DE MARÉ BAIXA. Este estágio de baixa energia é caracterizado por um perfil relativamente plano na maré baixa, precedido por uma face praial bastante íngreme na maré alta. Assim, na maré alta a praia é tipicamente refletiva, enquanto que na maré baixa assume caráter dissipativo. Apesar da grande deposição de sedimentos junto à porção proximal do perfil, ainda podem ser observadas correntes de retorno, mesmo que fracas.

Praias **refletivas** são formadas normalmente em áreas de baixa energia (altura da onda < 1m), muitas vezes abrigadas, e de areia muito grossa (Md > 0,6mm = 0,75$\phi$), podendo ser encontrada também em áreas mais expostas, de alta energia, onde o sedimento é composto por cascalho. A praia é relativamente alta, contendo normalmente um berma e cúspides bem desenvolvidas, enquanto que a face da praia apresenta-se bastante inclinada. A arrebentação é ascendente ou mergulhante, não havendo zona surfe nem bancos, e o fluxo é predominantemente normal à costa. Como o extremo dissipativo, o extremo refletivo é relativamente uniforme ao longo da costa, exceto pelas cúspides.

Em regiões costeiras expostas, as condições refletivas são usualmente de vida curta pois as praias refletivas possuem alta sensibilidade à erosão e são rapidamente erodidas com o retorno das ondas maiores. Portanto, estas praias só podem existir como estado modal em áreas abrigadas onde o sedimento grosso é disponível. Sob estas condições, a filtragem dos eventos de grande energia pelos promontórios e pelo embaiamento resulta em praias modalmente refletivas que também exibem baixa variabilidade temporal.

## 2.4 USO DA PRAIA: LIMITES DE PROTEÇÃO COSTEIRA

A primeira unidade geomorfológica da linha de costa a reagir a qualquer variação energética e/ou eustática é a praia devido estar localizada na estreita faixa de contato da terra com o mar. Assim, as praias possuem a capacidade de adaptação, protegendo a terra contra a ação erosiva do mar. Entretanto, como dito anteriormente, nem todas as praias têm um estoque de sedimento suficiente para responder morfologicamente a uma elevação do nível do mar por transferência de sedimento do berma para a antepraia inferior. A degradação ambiental por destruição da vegetação costeira e construção de edificações sobre a orla pode ainda intervir

no processo de transporte sedimentar, tanto eólico quanto marinho, provocando desequilíbrios no balanço sedimentar e conseqüentemente na estabilidade da linha de costa (Muehe, 2001).

Assim, tanto para o estabelecimento de uma zona de proteção costeira contra fenômenos erosivos, quanto no de preservação da paisagem, limites mínimos englobando a zona marinha e terrestre foram apresentados por Muehe (2001). O limite dinâmico da praia subaérea será o do alcance máximo do processo deposicional de sedimentos provenientes da praia, independente de o processo ser por ação das ondas ou do vento. No primeiro caso, o limite será a porção mais interiorizada do berma mais elevada e no segundo caso, o do transporte eólico, o limite será a base do flanco do reverso das dunas frontais. Os critérios adotados consideraram o alcance do processo morfodinâmico atual, a tendência erosiva baseada em taxas de erosão anual e o efeito de elevação do nível relativo do mar.

O critério morfodinâmico considera a capacidade de mobilização dos sedimentos do fundo marinho por ação das ondas, seu deslocamento ao longo de um perfil perpendicular à costa e a resposta morfológica da porção emersa do litoral aos critérios de erosão, transporte e acumulação resultante desse processo sedimentar. Entretanto, a amplitude dessas respostas depende do grau de exposição do segmento costeiro, ou seja, se é uma praia exposta, semi-exposta ou protegida.

A inferência mais simples do grau de exposição é a utilização da relação entre a inclinação da face praial e a característica granulométrica dos sedimentos expressos em termos de diâmetro mediano ou em velocidade de decantação (Figura 5). A classificação de exposto, semi-exposto e protegido, assim obtida, fornece uma idéia da agressividade do clima de ondas em termos de erosão e da capacidade de mobilização dos sedimentos da zona submarina (antepraia).

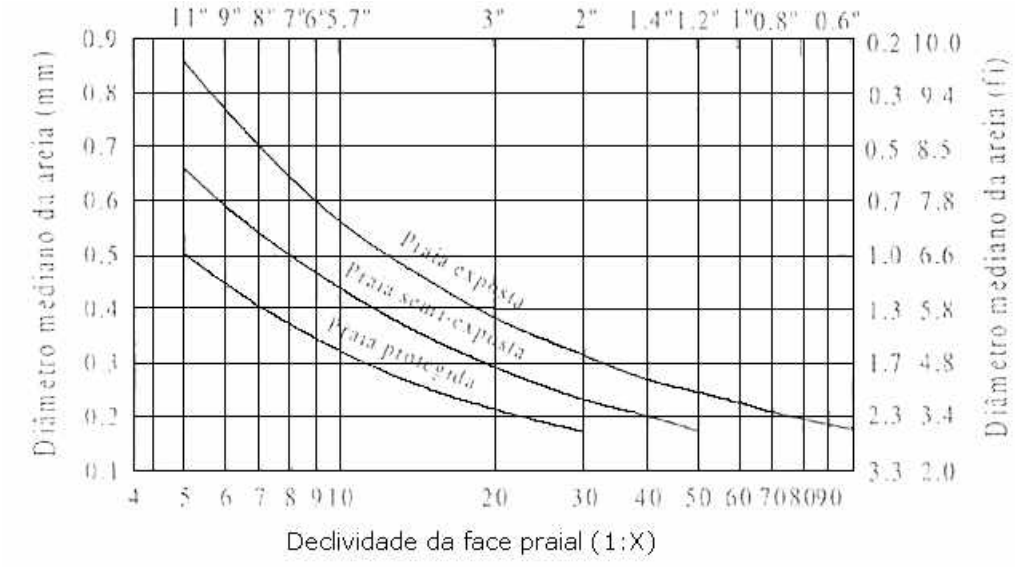



Figura 6 - Correlação entre a declividade da face praial e a característica granulométrica dos sedimentos em função da exposição às ondas (Wiegel, 1954, APUD Muehe, 2001)

### 2.4.1 A elevação do nível do mar e a Lei de Bruun (1962)

A definição de um limite em função de uma elevação relativa do nível do mar é uma variável a ser considerada haja vista o incremento do descongelamento das geleiras durante a década de 90 e a tendência histórica de elevação da temperatura atmosférica (Muehe, 2001). Examinando as flutuações do nível do mar no início do século passado (entre 1900 e 1950) foi notado um aumento médio de 2m, equivalente a 1,2mm por ano, entretanto, esse aumento não é distribuído igualmente em todas as regiões do mundo. Os países mais afetados têm sido os do hemisfério norte, entre eles o Canadá, os países escandinavos, os EUA e a Rússia. Com respeito a um aumento do nível do mar nas próximas centenas de anos há, de um modo geral, uma concordância de opinião entre os cientistas do mundo de que a Terra está em seu caminho para outro período interglacial, o que afetará o balanço hidrológico mundial (Bruun, 1962).

Tal consideração não é de aceitação fácil, pois os impactos decorrentes desta elevação se manifestam em escalas de tempo (décadas a séculos) superiores aos típicos horizontes de planejamento, entretanto, as mudanças no nível do mar podem por em perigo áreas costeiras, que freqüentemente são as áreas mais densamente populadas do mundo.

O ajustamento de uma linha de costa a uma elevação do nível do mar depende das características geomorfológicas e a abundância de sedimentos da mesma, podendo os efeitos variar entre erosão (praias arenosas), nenhum (costão rochoso) e inundação (áreas baixas freqüentemente ocupadas por manguezais ou marismas). O primeiro caso é freqüentemente chamado de lei de Bruun (Figura 6).

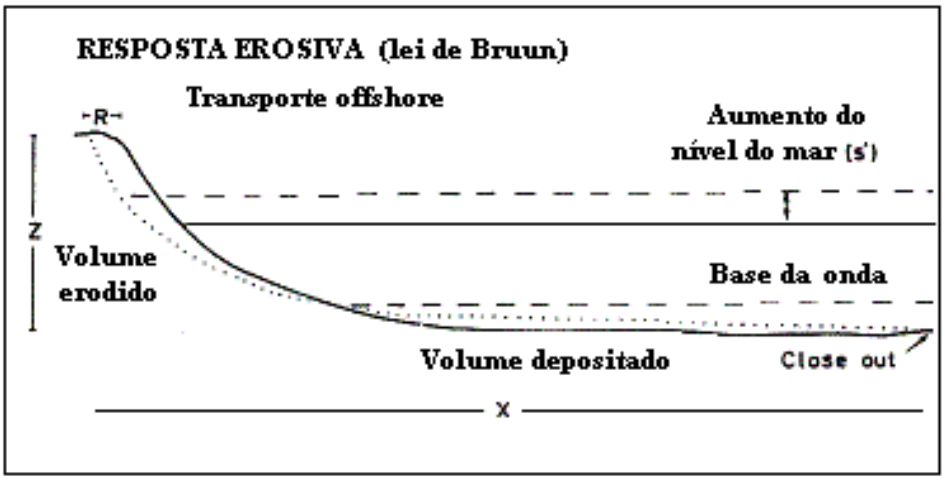



Figura 7 - A resposta erosiva de uma elevação do nível do mar de acordo com Bruun (1962). Na figura, “S’ ” indica a elevação do nível do mar; “R” é o recuo da linha de costa; “Z” a altura da feição emersa somada com a profundidade de fechamento e “X” a extensão do perfil até a profundidade de fechamento. Fonte: Davis (1985).

Em praias arenosas, o grau de recuo depende, ainda, da tipologia morfodinâmica. Praias dissipativas com menor declividade sofrem grande recuo a retroterra. Já praias refletivas tendem a recuar menos, tendo como responda este equilíbrio proposto por Bruun (1962).

# 3. ÁREA DE ESTUDO

## 3.1 LOCALIZAÇÃO

Na região Sudeste do Brasil, entre os Estados do Rio de Janeiro (21$^{o}$ 30’ S e 40$^{o}$ 96’ O) e da Bahia (18$^{o}$ 20’ S e 22$^{o}$ 56’W) está localizado o Estado do Espírito Santo. Sua extensão está limitada a leste pelo oceano Atlântico, a sul pelo Rio Itabapoana, a oeste pelas primeiras serranias da serra do Mar e a norte pelas antigas falésias esculpidas em sedimentos da Formação Barreiras (Martin *et al*, 1997).

Na faixa litorânea central/sul do Espírito Santo está Vitória, um município insular composto, além de uma área continental, por outras 34 ilhas. Inicialmente, o município era constituído por mais de 50 ilhas, porém, muitas delas já foram agregadas, por meio de aterro, à ilha maior (PMV, 2004). A Ilha Bela, mais conhecida como Ilha do Boi, é uma destas ilhas já agregadas, atualmente ligada ao bairro da Praia do Suá.

Localizada no litoral sul de Vitória, a uma latitude de 40  16’50’’ Oeste e 20  18’30’’ longitude Sul, a  Ilha do Boi, ou Ilha Bela, possui duas pequenas praias: a praia da Esquerda e a praia da Direita, cujo nome oficial é Praia do Nenel, sendo esta a praia escolhida como local de estudo do presente trabalho (Figura 7).

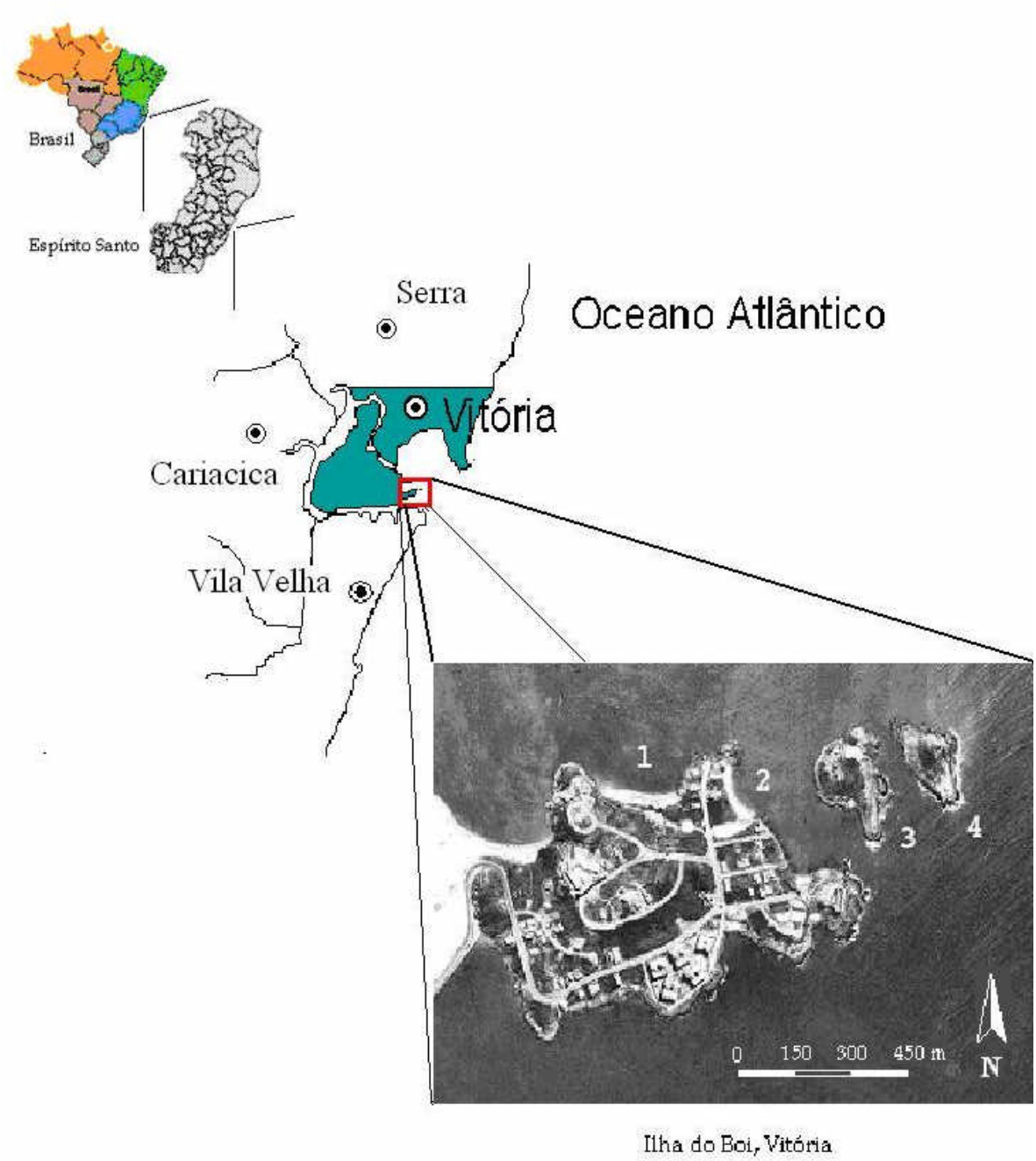



Figura 8 -Localização da área de estudo no município de Vitória, Espírito Santo, Brasil. À direita: fotografia aérea da Ilha do Boi em 09/05/78. Os números na figura indicam: 1 - praia da Esquerda; 2 – praia da Direita; 3 – Ilha da Galheta de Dentro e 4 – ilha da Galheta de Fora (figura fornecida pelo Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo – IDAF)

## 3.2 CLIMA

O clima, sendo responsável pelos regimes meteorológicos, envolvendo temperatura, precipitações, ventos, ondas, correntes litorâneas, tempestades etc., exerce grande influência sobre as características geomorfológicas das regiões costeiras. O controle da direção e poder energético das ondas que batem na linha de costa produzindo as correntes litorâneas que transportam sedimentos em diferentes sentidos, é um exemplo importante deste condicionamento relacionado com a morfodinâmica praial.

### 3.2.2 Precipitação e temperatura

O clima predominante sobre o território do Estado do Espírito Santo é caracterizado como tropical úmido. A média das temperaturas anuais varia em torno de 23°C e os índices pluviométricos anuais variam em trono de 1400mm. Vitória, capital do Espírito, possui temperatura média mensal máxima de 30,4ºC e mínima de 24ºC (prefeitura). A região encontra-se sobre o regime de chuvas de verão com estação seca de outono e inverno, mas essa época de seca pode ser perturbada por precipitações frontais de descarga polar (Martin *et al*, 1996).

### 3.2 3 Principais elementos da circulação atmosférica

Os elementos mais importantes da circulação atmosférica nesta região e, conseqüentemente, os que mais afetam os processos praiais são o **Sistema Tropical Atlântico (Ta)** e o **Sistema Polar Atlântico (Pa) (**Monteiro 1949).

O Sistema Tropical Atlântico (Ta) é proveniente do anticiclone semifixo do Atlântico Sul que atua de forma constante o ano inteiro, tendendo à instabilidade no Verão, favorecendo de chuvas intensas e prolongadas. Esta circulação, caracterizada por temperaturas mais altas tangencia o litoral leste do Brasil entre as latitudes de 10º e 40ºS com ventos NE a NW.

O Sistema Polar Atlântico (Pa**)** é caracterizada pelo aparecimento das frentes, ciclones e anticiclones móveis. Destas, será dado destaque à Frente Polar Atlântica, que, segundo Nimer (1989) é formada pelas massas que deixam o continente antártico e invadem o continente sul-americano. No Brasil, a FPA divide-se em um caminho pelo continente e outro pelo oceano Atlântico. Pelo ramo marítimo, a FPA se desloca para nordeste com ventos fortes e ondulações ciclônicas, sobretudo no mar, gerando ondas altas de SE e S, e prosseguindo em seu percurso

até o paralelo de 22º aproximadamente, onde perde a nitidez divido a influência dos ventos alísios de NE. Nesta região, onde está localizado o Espírito Santo, a frente irá estacionar em média um a dois dias, até desaparecer no oceano (Nimer, 1989).

## 3.3 OCEANOGRAFIA

As ondas do setor norte estão associadas ao ventos alísios, que sopram durante a maior parte do ano, e as do setor sul, associadas às frentes polares, embora menos freqüentes, são mais energéticas e, conseqüentemente, mais erosivas do que as do quadrante NE. Segundo Albino (2001), o clima de ondas nas proximidades do porto de Tubarão, obtidos pelo INPN (Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias), revelam que a altura significativa das ondas para o litoral pouco ultrapassa 1,5 m, sendo as alturas de 0,9 e 0,6 m as mais freqüentes. O período freqüente está em torno de 5 a 6,5 segundos, não ultrapassando 9,5 s. A amplitude de maré da região varia, em média, entre 1,40 e 1,50 m (regime de micromaré).

Em seu trabalho, Albino *et al*. (2001) verificaram que as ondas de NE chegam à costa com alturas variando entre 1,2 e 0,9m sofrendo pouca refração e atingindo à costa com praticamente a mesma direção das ondas das águas profundas, isto é, com direção NE. A partir do Porto de Tubarão e na entrada da Baía do Espírito Santo, o maior efeito de refração e dissipação das ondas são registrados. A Ponta de Tubarão protege a baía e as Ilhas do Frade e do Boi contra as ondas incidentes desenvolvendo uma área com ondas, em média, inferiores a 0,6m.

As ondas provenientes de E-SE, como são ondas desenvolvidas a partir da passagem das frentes frias, apresentam-se com alturas mais altas, entre 1,2 e 1,4m, quando alcançam a Ilha do Boi com alturas entre 0,5 e 0,8m.

Já a chegada das ondas com altos períodos e alturas provenientes de S-SE - desenvolvidas por frentes frias intensas – alcançam alturas ainda maiores que o padrão anterior, chegando nas Ilhas do Frade e do Boi entre 1,0 e 1,4m, com um leve grau de incidência para o norte. Em torno destas ilhas ocorre a difração das ondas, que irão atingir na praia alturas entre 0,2 e 0,6m.

## 3.4 COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DO LITORAL DO ESPÍRITO SANTO

Martin *et al*, 1996, propõe uma subdivisão em 6 setores levando em consideração o grau de desenvolvimento dos depósitos quaternários costeiros. São eles:

1º Setor – compreende o trecho da divisa entre os estados da Bahia e Espírito santo até a cidade de conceição da Barra, com pobre desenvolvimento das planícies costeiras ao sopé dos Tabuleiros.

2º Setor – corresponde à planície deltaica situada na foz do rio Doce entre Conceição da barra até Barra do Riacho, caracterizado pelo alto desenvolvimento da planície costeira.

3º Setor – estende-se de Barra do Riacho a Tubarão (entrada da baía de Vitória), com falésias do Barreiras e estreitos pacotes de sedimentos marinhos e/ou fluviais quaternários (exceto próximo a desembocaduras fluviais).

4º Setor – da baía de Vitória à foz do rio Itapemirim, caracterizado por promontórios rochosos, terraços cristalinos de abrasão marinha em contato direto com a linha de costa. Desenvolvimento variável de depósitos quaternários.

5º Setor – estende-se da foz do rio Itapemirim até o rio Itabapoana (que faz divisa com o Rio de Janeiro), com falésias do barreiras em contato com a linha de costa e com estreitos depósitos marinhos.

6º Setor – planície costeira do rio Itabapoana, com desenvolvimento de planícies costeiras fluvio-marinhas.

Localizada na região costeira central do Estado, caracterizada pelos afloramentos cristalinos, a Ilha do Boi, segundo esta classificação, está inserida no 4º compartimento.

## 3.5 CARACTERIZAÇÃO DA PRAIA DA DIREITA, ILHA DO BOI, VITÓRIA - ES

A ilha do Boi, bairro nobre de Vitória, possui muitas residências de luxo, um hotel (o único cinco estrelas do Estado), um clube e duas pequenas praias – a praia do Nenel (Direita) e a praia da Esquerda (Figura 2). Estas detêm o maior número de banhistas por metro quadrado da Grande Vitória por serem de pequena extensão e de águas claras e tranqüilas, próprias para mergulho (PMV, 2004).

A praia da Direita, com apenas 140m de extensão, aproximadamente, apresenta casas construídas tanto sobre a faixa de restinga quanto sobre os costões rochosos que constituem os limites da praia. Da praia, é possível observar, a menos de 300 metros, a Ilha Galheta de Dentro, onde bem próximo localiza-se outra pequena ilha: a Galheta de Fora (Figura 1).

Dados levantados mensalmente durante um ano por Albino *et al* (2001) revelaram uma pequena amplitude de variação nas alturas das ondas na zona de arrebentação, constantemente inferior a 0,5m, com exceção de um período de frente fria, quando as ondas alcançaram 0,6m. Esta regularidade nas alturas baixas das ondas indicou a manutenção do padrão de dissipação das ondas rumo à praia, cercada por promontórios. O tipo de onda da arrebentação ascendente e a alta declividade sugeririam uma praia refletiva. Os autores verificaram ainda, que a variação topográfica do perfil esteve entre 45 a 60m de extensão e obedeceu às condições metereológicas, ou seja, apresentou-se mais recuado durante o inverno e mais desenvolvido durante o verão. O sedimento da praia foi caracterizado por areia média, com moderado a bom grau de seleção, constituído por 60% de litoclasto e por 40% de carbonato, indicando efetiva contribuição marinha.

# 4. METODOLOGIA

## 4.1 LEVANTAMENTOS PRELIMINARES

Esta etapa é referente ao planejamento do campo e consistiu na obtenção de dados cartográficos para a definição exata dos pontos amostrais, e na obtenção de informações metereológicas para a determinação dos dias e horas adequados para a realização do campo.

Os dados cartográficos foram adquiridos através de cartas topográficas junto à SEMMAM (Secretaria Municipal de Meio Ambiente) nas escalas de 1:2.000 e 1:1.000 e através também de fotografias aéreas gentilmente cedidas pelo IDAF (Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo) nas escalas de 1:25.000 e 1:20.000.

Informações metereológicas e oceanográficas foram acompanhadas pela Internet nos sites do CPTEC / INPE (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e do DHN (Diretoria de Hidrologia e Navegação) e induziram a realização das campanhas amostrais em duas fases caracterizadas por um aumento da energia das ondas, entretanto, geradas por eventos climáticos distintos: a primeira nos dias 1, 3, 5 e 7 de outubro e a segunda nos dias 19, 21 e 23 do mesmo mês. Anteriormente, um campo piloto havia sido realizado no dia 16 de agosto.

## 4.2 OBTENÇÃO DE DADOS TOPOGRÁFICOS

O levantamento topográfico foi realizado ao longo de três perfis, como mostra a Figura 8, utilizando-se de um dos métodos de perfilagem aérea descritos por Komar (1976) e Muehe (1994): as Balizas de Emery. Este método consiste na determinação da diferença de altura entre dois pontos ao longo do perfil utilizando duas balizas de 1,5m, graduadas. A distância horizontal entre as balizas, é medida por meio de uma trena. O horário do término do levantamento é anotado para posterior correção da altura de maré. Adicionalmente, fotografias foram tiradas em pontos pré-estabelecidos da praia durante as idas ao campo para um acompanhamento gradativo da mudança morfológica do perfil e uma análise comparativa entre um perfil construído e um erodido.

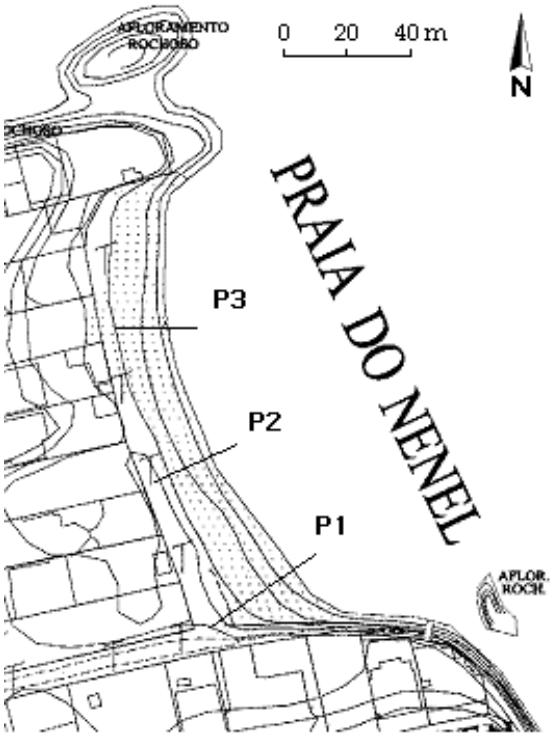



Figura 9 - Perfis topográficos levantados na Praia do Nenel (Praia da Direita) – Ilha do Boi. Carta topográfica fornecida pela SEMMAM. Eqüidistância entre as curvas de nível de 1 metro.

Uma vez levantados os perfis de praia, foram calculadas as áreas abaixo dos mesmos por meio de um planímetro, e calculado o volume dos trechos, onde se compreendia os perfis, multiplicando a área pela metade da distância entre os perfis, método descrito por Muehe (1994).

## 4.3 OBTENÇÃO DE DADOS OCEANOGRÁFICOS

Parâmetros de ondas como altura, período e direção de incidência são fundamentais para a caracterização geomorfológica da praia e foram levantados a partir de observação visual

- Altura das ondas na arrebentação (Hb): foi medida utilizando-se da baliza de Emery, colocando-a no ponto de máximo recuo da onda.

- Período das ondas (T): foi calculado cronometrando a passagem de 11 ondas na zona de arrebentação (que é a passagem de 10 comprimentos de onda) e dividindo o resultado por 10.

- Direção de incidência da chegada de ondas na praia: foi determinado utilizando uma bússola e, de frente para as ondas, a bússola foi alinhada à crista das ondas e então, registrou-se o ângulo que estas chegam à praia.

## 4.4 ANÁLISE SEDIMENTOLÓGICA

A coleta de sedimento foi realizada ao longo do perfil topográfico, em quatro regiões distintas: uma no berma, uma zona de espraiamento, uma no máximo recuo da onda e uma na zona submersa a uma profundidade de aproximadamente 1,5 m.

Todas as amostras coletadas foram acondicionadas individualmente em sacos plásticos e devidamente identificadas para posterior análise em laboratório, onde foram submetidas à análise granulométrica e à quantificação dos bioclastos ($CaCO_3$).

### 4.4.1 Análise granulométrica

A análise granulométrica expressa a distribuição quantitativa dos sedimentos segundo classes de tamanho definidas por uma escala. A escala de tamanho proposta por Wentworth (1922) foi escolhida pelo fato de representar maior simplicidade geométrica entre os intervalos de classe. Também foi utilizado conceito “Fi” que corresponde ao logaritmo negativo de base 2 (dois) do valor da granulometria expressa em milímetros.

Antes das amostras serem tratadas, foi necessária uma prévia preparação, que consistiu em lavagem, secagem, quarteamento e pesagem. O processo de secagem foi realizado à uma temperatura média de 100º C, em estufa durante 1 (um) dia. As etapas seguintes (quarteamento e a pesagem) foram realizadas para a obtenção de uma alíquota menor, porém significativa, da amostra.

Como se trata de partículas de tamanho médio, foi utilizado apenas o peneiramento a seco. Neste processo foram utilizados 50g de sedimento que passaram por um jogo de 15 peneiras. O diâmetro das malhas em mm e em Fi ($\phi$) e a posição das peneiras de cima para baixo estão representados a seguir.

| **mm** | **f (Fi)** |
|---|---|
| 4,00 | -2 |

| | |
|---|---|
| 1,41 | -0,5 |
| 1,0 | 0 |
| 0,71 | 0,5 |
| 0,5 | 1,0 |
| 0,35 | 1,5 |
| 0,25 | 2,0 |
| 0,177 | 2,5 |
| 0,125 | 3,0 |
| 0,105 | 3,25 |
| 0,074 | 3,75 |
| 0,062 | 4,0 |

Os dados, em grama, obtidos no método de peneiramento de cada fração granulométrica foram transformados para porcentagem em relação ao total da amostra para o emprego do método de Folk & Ward (1957) que propõe a interpolação dos dados no gráfico. O eixo das ordenadas (porcentagem) é uma escala de probabilidade aritmética e o eixo das abscissas indicando o tamanho do grão em escala aritmética.

Os parâmetros estatísticos calculados estão citados abaixo, e a interpretação destes está apresentada na Tabela 4.2.

- Diâmetro Médio (Mz): indica a tendência central do tamanho médio dos grãos do sedimento;

- Mediana (Md): indica o percentil relativo a 50% da amostra;

- Desvio Padrão ($\sigma$): indica o grau de seleção do sedimento;

Tabela 1 - A tabela abaixo apresenta a classificação granulométrica , de selecionamento dos grãos (ϕ), e da assimetria gráfica, todos em valores de Fi (ϕ), descritos por Folk (1968).

| **Granulometria (Fi)** | | **Selecionamento (Fi)** | |
|---|---|---|---|
| Areia muito grossa | -1 a 0 | Muito bem selecionado | < 0,35 |
| Areia grossa | 0 a 1 | Bem selecionado | 0,35 a 0,50 |
| Areia média | 1 a 2 | Moderadamente bem selecionado | 0,50 a 0,71 |
| Areia fina | 2 a 3 | Moderadamente selecionado | 0,71 a 1,00 |
| Areia muito fina | 3 a 4 | Mal selecionado | 1,00 a 2,00 |
| Silte | 4 a 8 | Muito mal selecionado | 2,00 a 4,00 |
| Argila | > 8 | Extremamente mal selecionado | > 4,00 |

### 4.4.2 Teores de $CaCO_3$

Todas as amostras coletadas foram submetidas à quantificação dos teores de $CaCO_3$. Estes teores foram obtidos através da dissolução com ácido clorídrico de 20g dos sedimentos, previamente lavados, secados, quarteados e pesados. Após a dissolução, os sedimentos residuais foram novamente secados e pesados, obtendo-se assim, a porcentagem carbonática.

## 4.5 DETERMINAÇÃO DO ESTADO MODAL DA PRAIA

O estado modal da praia foi determinado morfodinamicamente através do parâmetro dimensionador do surfe (*surf-scaling parameter*) descrito por Short & Wright (1983):

$$ª = a_b \, ù^2 / g.\tan^2 â$$

Onde $a_b$ é a amplitude da arrebentação, ù é a freqüência em radianos da onda incidente (2ð/T; T = período), g é a aceleração da gravidade e â é a inclinação da praia. A completa reflexão pode ser esperada quando as ondas são ascendentes e ª < 1,0, entretanto, valores até 2,5 podem ainda apresentar forte reflexão. Quando valores de ª estão entre 2,5 e 20, as ondas vão se tornando mergulhantes e o estado modal da praia corresponde a um dos quatro tipos intermediários. Quando ª >20 forma-se ondas deslizantes caracterizando o estado dissipativo, cuja forma mais extrema pode alcançar valores de ª entre 30 a mais de 100.

## 4.6 DETERMINAÇÃO DE UM POSSÍVEL RECUO DA COSTA COM A ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR

A determinação da largura de segurança em praias arenosas, considerando apenas os efeitos de uma elevação do nível do mar, foi feita através da aplicação da lei de Bruun (1962), utilizando a equação:

$$R = SL / H$$

onde:

R = recuo erosivo da linha de costa devido à elevação do nível do mar (m)

S = elevação do nível do mar (m)

L = comprimento do perfil ativo (m)

H = altura do perfil ativo (m)

A altura do perfil ativo (H) pode ser determinada pela somatória da altura da feição emersa ativa (altura da duna frontal) com a profundidade de fechamento do perfil, sendo L a distância horizontal entre a elevação máxima do perfil ativo e a profundidade de fechamento.

A profundidade de fechamento do perfil é dada pela fórmula de Hallenmeir (1981, APUD Hoefel, 2004):

$$d = \cong 2H_s + 11\sigma$$

onde $H_s$ = altura média significativa das ondas e $\sigma$ = desvio padrão anual das ondas significativas.

Para o cálculo do recuo da costa devido uma elevação do nível do mar, a altura média significativa da onda foi estimada a parir de Hb obtidos em campo, já que a altura das ondas oceânicas diferem muito da onda na praia, e ainda, a pequena variação das ondas medidas na praia respaldam a confiabilidade.

A distância da costa a partir da profundidade de fechamento foi conhecida através da carta náutica do DHN, escala de 1:1500.

O recuo erosivo da linha de costa foi calculado prevendo uma elevação do nível do mar de 0,3, 0,5 e 0,9m. Estes valores foram baseados nas projeções de Harari *et al*. (2004), que estimou variações globais na elevação do nível do mar de 0,09 a 0,88m para 1990 a 2100, com um valor central de 0,48m (2,2 a 4,4 vezes a taxa observada no século XX). Segundo o autor, a melhor estimativa para uma área costeira brasileira indica um aumento de 0,4m para Cananéia (SP), neste mesmo período.

# 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 5.1 CONDIÇÕES METEREOLÓGICAS E OCEANOGRÁFICAS

Os levantamentos de campo foram realizados em três eventos, sendo os dois últimos realizados sob situações meteoceanográficas de frente fria (Figura 9).

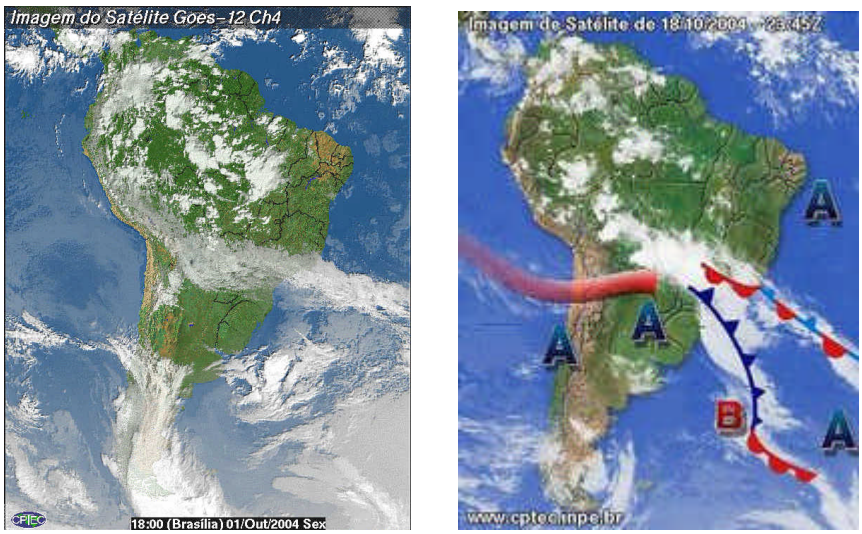



Figura 10 - Imagens do Satélite Góes exibidas no site do CPTEC/INPE no início das duas etapas do monitoramento. A imagem à esquerda, referente ao dia 1/10, mostra o avanço da frente polar sobre a região sudeste e a imagem à direita, referente ao dia 18/10, mostra o encontro de duas frentes gerando um sistema frontal bastante complexo.

O primeiro levantamento foi realizado em 16 de agosto alguns dias após passagens de frentes frias. As ondas previstas apresentavam altura de 1,8 m e direção de E. O período de ondas medido a partir da praia de 16,3 s indica condição tranqüila do mar em comparação com os outros dias analisados, contudo, os ventos de 6,9 m/s foram responsáveis pela altura de arrebentação de 0,69m, uma das mais altas medidas na praia, (tabela 5.1).

O segundo levantamento, realizado nos dias 1, 3, 5 e 7 de outubro de 2004, estava sob influência de uma frente fria que passou pela região entre os dias 2 e 5 de outubro. O sistema frontal gerou ondas de alta intensidade, com até 3 m de altura no Rio de Janeiro. No Espírito

Santo, após a dissipação, a intensidade do evento foi menor, gerando ondas oceânicas em torno de 1,3m (Tabela 2) e ventos de 5,6 m/s.

Tabela 2 - Dados meteoceanográgicos dos dias de amostragem. Fonte: (1) CPTEC/INPE; (2) DHN e (3) observados em campo. Hb = altura da onda na arrebentação; T= período e á = ângulo de incidência da onda.

| Campanhas | Ondas oceânicas (m)[1] | Ventos (m/s)[1] | Maré[2] | Hb (m)[3] | T (s)[3] | á[3] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 16/08/04 | 1,8 E | 6,9 ESE | ⮝ 1,5<br>⮟ 0,1 | 0,60 | 16,3 | SE |
| 01/10/04 | 1,3 E | 5,6 NE | ⮝ 1,3<br>⮟0,1 | 0,35 | 9,9 | Ind. |
| 03/10/04 | 1,3 E | 5,6 NE | ⮝1,2<br>⮟0,4 | 0,51 | 12 | Ind. |
| 05/10/04 | 1,3 E | 5,6 NE | ⮝1,0<br>⮟ 0,7 | 0,59 | 7,4 | NE |
| 07/10/04 | Não disponível | Não disponível | ⮝ 1,0<br>⮟ 0,6 | 0,22 | 8,2 | SE |
| 19/10/04 | 2,0 ESSE | 6,5 NE | ⮝ 1,1<br>⮟ 0,6 | 0,67 | 10 | NE |
| 21/10/04 | 1,85 SSE | 7,7 SSE | ⮝ 1,0<br>⮟ 0,6 | 0,58 | 7,1 | SE |
| 23/10/04 | 1,7 SE | 5,2 ESSE | ⮝ 1,0<br>⮟ 0,6 | 0,55 | 7,9 | SE |

Na praia as ondas variaram com a altura máxima de 0,59m e período de 7,4s no dia 05/10 e altura mínima de 0,30m e período de 8,2 s no dia 07/10.

O terceiro levantamento, realizado no dias 19, 21 e 23 de outubro de 2005 estava sob influência de um sistema complexo formado pelo encontro de uma frente quente com uma frente fria, e foi caracterizado por ondas altas, em torno de 2,0m de ESE, que já atingiam a costa desde o dia 18 com alturas ainda maiores. Na praia, as ondas apresentaram as maiores alturas registradas em campo, estando entre 0,55m e 0,67m e os mais baixos períodos, entre 7,1 e 10s, indicando intensificação das condições energéticas da praia sob influencia da passagem do sistema frontal.

A praia da Nenel , por se tratar de uma praia voltada para ENE, ladeada de promontórios e com a presença de uma ilha defronte, é suposto que ela não responda diretamente às condições oceânicas, sofrendo processos de dissipação como refração e difração. Deve salientar, por outro lado, que a direção das entradas das cristas das ondas em relação à praia coincidiu com a direção dos ventos.

## 5.2 CARACTERIZAÇÃO MORFODINÂMICA

### 5.2.1 Estação praial P1

A Estação P1, localizada na porção sul da praia (Figura 10), apresentou-se como o perfil mais extenso e menos inclinado da praia, com altura de 3m e extensão média de 35m, até a quebra da onda. A declividade média do perfil foi de 1:11m.

No primeiro levantamento de 16 de agosto, o perfil apresentou uma concavidade voltada para baixo, com o berma pouco definido, característica de um perfil construído (Sonu, 1971). Esta morfologia esteve condizente com as condições de tempo bom por ocasião da amostragem, mas apresentou uma significativa perda de sedimento até o primeiro dia do segundo período de levantamento (01/10), o que era esperado, em virtude dos eventos energéticos que ocorreram no final do inverno e início da primavera.

Durante o segundo levantamento, entre os dias 01 e 05/10, com a intensificação das condições meteoceanográficas percebidas na praia pelo aumento da altura da arrebentação e diminuição do período das ondas, o perfil continuou a erodir, como observado principalmente no dia 5 de outubro, com o recuo do berma. No dia 07 de outubro verifica-se a continuidade do processo erosivo, com recuo do berma, transporte de sedimentos para a face e morfologia do perfil alterada para concavidade para cima.

Entre os dias 3 e 7 de outubro, observou-se a formação de duas cúspides com espaçamento de aproximadamente 15 m. Estas cúspides desenvolvidas na área da Estação P1 não atingiram a Estação P2 (Prancha A – 1 e 2).

No terceiro levantamento, submetido a condições meteoceanográficas mais intensas, o perfil apresentou seu maior recuo, conforme observado no dia 19 de outubro. No dia 21 e 23 de

outubro observa-se a deposição de sedimentos sobre a face (Prancha A – 3 e 4), mostrando a seqüência de acresção descrita por Sonu & Davis (Figura 3).

Na caracterização sedimentológica das areias da praia da Estação P1, verificou-se que estas são compostas por areias mistas, silicibioclásticas, com os teores de carbonatos entre 29,81% e 37,27% durante todo o monitoramento

Tabela 3 - Teores médios (%) de carbonato em cada Estação em todas as campanhas realizadas.

| Campanha | P1 | P2 | P3 | Média/dia |
|---|---|---|---|---|
| **16/ago** | 31,65 | 30,38 | 26,74 | 29,59 |
| **1/out** | 30,46 | 30,15 | 46,41 | 36,54 |
| **3/out** | 29,81 | 32,97 | 34,07 | 32,28 |
| **5/out** | 37,27 | 35,51 | 34,13 | 35,63 |
| **7/out** | 35,18 | 31,81 | 43,04 | 35,92 |
| **19/out** | 31,22 | 26,74 | 22,44 | 26,80 |
| **21/out** | 32,19 | 43,73 | 34,64 | 36,85 |
| **23/out** | 31,05 | 29,56 | 38,47 | 33,03 |
| **Média/ponto** | **32,36** | **32,60** | **34,99** | **33,33** |

Quanto à caracterização granulométrica, as areias do berma e da antepraia foram classificadas como médias, 1,8 e 1,99 fi, respectivamente. O grau de seleção esteve em torno 0,55, indicando areias moderadamente bem selecionadas, de acordo com os limites propostos por Folk (1968) como observado na Figura 10.

Nas duas sub-feições (berma e antepraia), algumas alterações ao longo do monitoramento foram levemente percebidas pelo deslocamento do gráfico de distribuição. Sob condições de tempo bom, como em 16 de agosto e 01 de outubro, as areias do berma apresentaram fração modal em torno 2,5 fi, assimetria para o lado dos grossos e melhor grau de seleção, quando

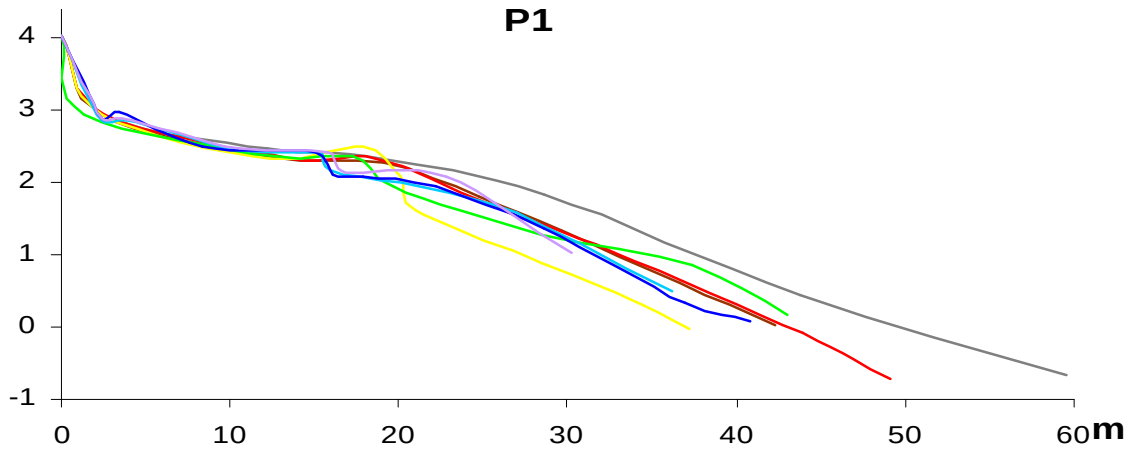
comparadas com as areias da antepraia, que também apresentaram a moda em 2,5 fi, mas com uma distribuição praticamente simétrica. Já sob condições de alta energia, como nos dias 19 e 5 de outubro, verificou-se que as areias do berma apresentaram valores em torno de 1,8 fi e moderado grau de seleção (0,62 fi), enquanto na antepraia foi confirmada a moda em torno de 2,5 fi, e uma classificação que passou de moderadamente bem (0,54 fi) para moderadamente selecionado (0,71 fi). Isto sugere a troca transversal de sedimentos entre estas duas sub-feições e que em condições mais energética as areias mais finas do berma são transportadas pelas ondas para a antepraia e, sob condições de tempo bom existe um retorno dessas areias para o berma.

Na face praial as areias variaram de 0,5 a 2,5 fi, com fração modal em 2,0 fi, sendo portanto, classificadas como areias médias, que apresentaram, ainda, moderado grau de seleção e assimetria par o lado dos grossos.

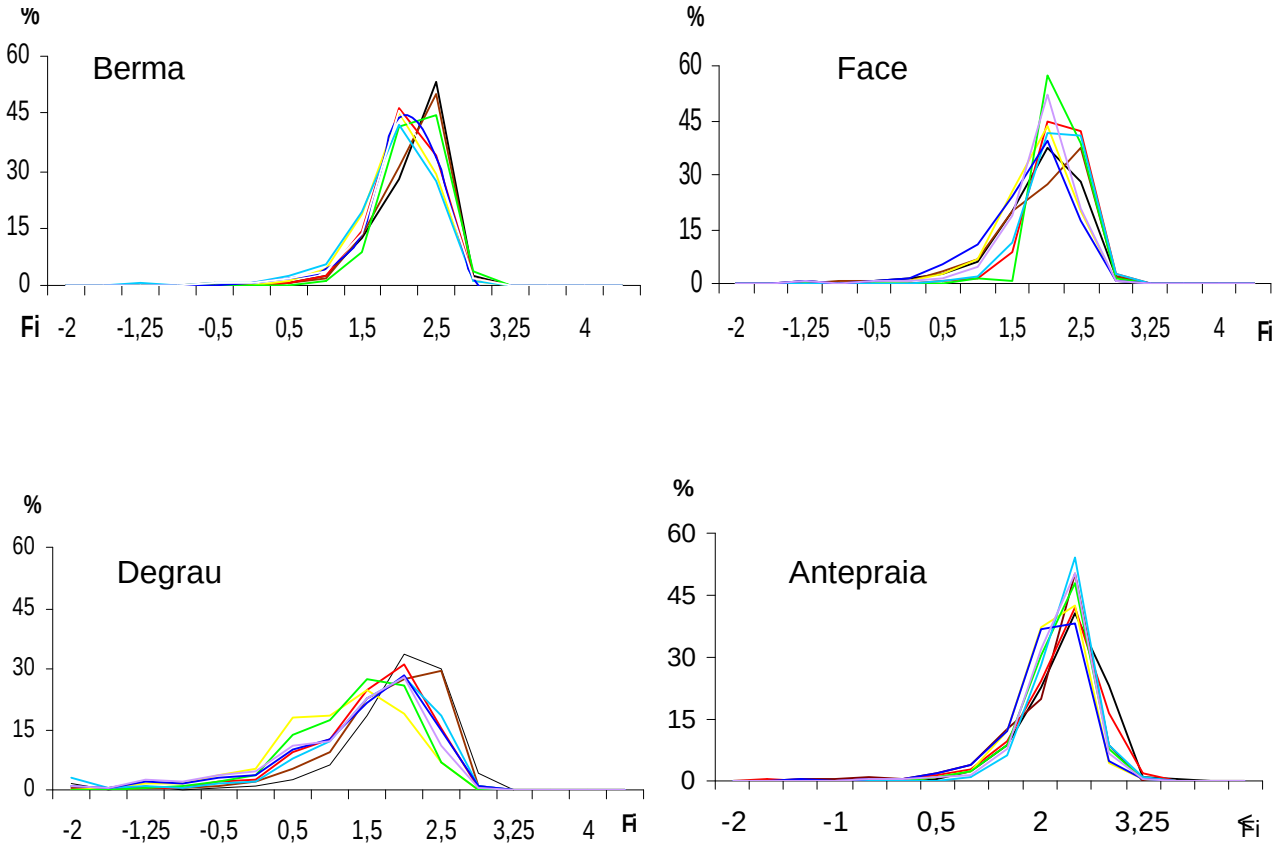
No degrau da praia observa-se o empobrecimento do grau de seleção, com um desvio padrão de 0,9fi, indicando areias moderadamente mal selecionadas. A assimetria apresenta-se forte para o lado dos grânulos. Neste sub-ambiente, os sedimentos submetidos à arrebentação das ondas frontais e fluxo das ondas é o local de maior energia e portanto, local de engrossamento dos grãos e empobrecimento de sua seleção. Sedimentos mais grossos e mal selecionados foram encontrados nos dias quando as ondas foram mais energéticas (5, 19 e 21 de outubro). No dia 5/10 foi encontrado as areias mais grossas (Mz = 0,89 fi), e os maiores teores médios de carbonatos (tabela 3), pois sabe-se que os grãos mais grossos eram, na verdade, fragmentos de concha.

A região do máximo recuo da onda, por ocasião de maré alta, deve ser deslocada para mais próxima da face, o que confere a esta ultima o empobrecimento da seleção e a marcada assimetria para o lado dos grossos. Esta situação é validada pelo recuo do berma observado na morfologia dos perfis.

**1)**


P1
4
3
2
1
0
-1
0
10
20
30
40
50
60
m

**2)**


%
Berma
60
45
30
15
0
Fi
-2
-1,25
-0,5
0,5
1,5
2,5
3,25
4
%
Face
60
45
30
15
0
-2
-1,25
-0,5
0,5
1,5
2,5
3,25
4
Fi
%
Degrau
60
45
30
15
0
-2
-1,25
-0,5
0,5
1,5
2,5
3,25
4
Fi
%
Antepraia
60
45
30
15
0
-2
-1
0,5
2
3,25
Fi

16/08 1/10 3/10 5/10 7/10 19/10 21/10 23/10

Figura 11 - Resultados de campo e de laboratório referentes ao Perfil 1. 1) Perfil topográfico; 2) Granulometria do sedimento dos 4 subambintes amostrados.

### 5.2.2 Estação praial P2

A Estação P2, estação central da praia, é a de maior declividade (1:7), possui uma altura de 4m e uma extensão pequena, de aproximadamente 25m, onde feições como berma ou cúspides não foram presentes (Figura 11).

No primeiro levantamento, dia 16 de agosto, o perfil apresentou-se linear, mas, assim como o P1, sofreu significativa perda de sedimento até 01 de outubro. Durante o segundo monitoramento foi observada uma variação topográfica muito pequena quando comparada com os outros perfis, entretanto, sob condições mais energéticas, observadas no terceiro monitoramento, apresentou forte erosão, notada facilmente pela perda de sedimento na base do cordão vegetado (Prancha B).

Assim como as areias da estação 1, a composição carbonática é de aproximadamente 32%, variando entre 26,7 no dia 19/10 e 43,7 no dia 21/10 (Tabela 3) sendo classificadas como siliciobioclásticas.

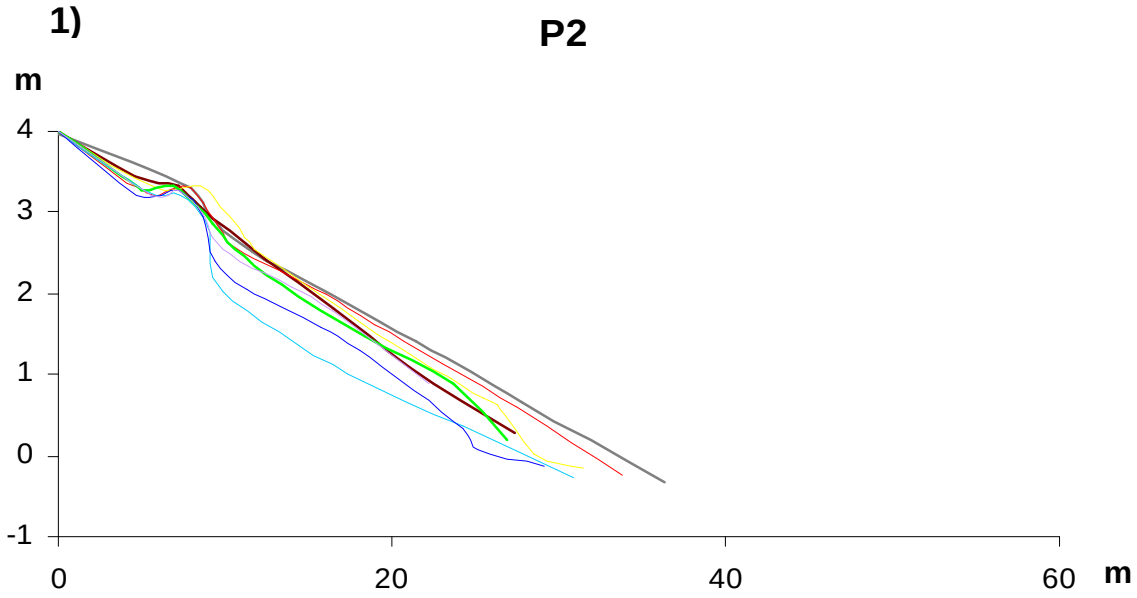
As areias do berma e da antepraia, caracterizadas por areias médias, são, como no P1, onde se verificou o melhor grau de seleção em relação aos outros sub-ambientes, e a menor variação nas distribuições ao longo das campanhas. A correlação entre as duas sub-feições de troca transversal de sedimentos finos por ocasião da hidrodinâmica observado no P1 foi encontrado também no P2, como mostra a Figura 11.

O sedimento da face apresentou durante todas as amostragens areias médias (Mz = 1,73$\phi$) e moderadamente bem selecionadas. A maior variação foi registrada no dia 21/10, quando os grãos apresentaram-se mais grossos (Mz = 1,17$\phi$) e com um menor grau de seleção ($\sigma$ 0,92), sendo classificado como moderadamente selecionados.

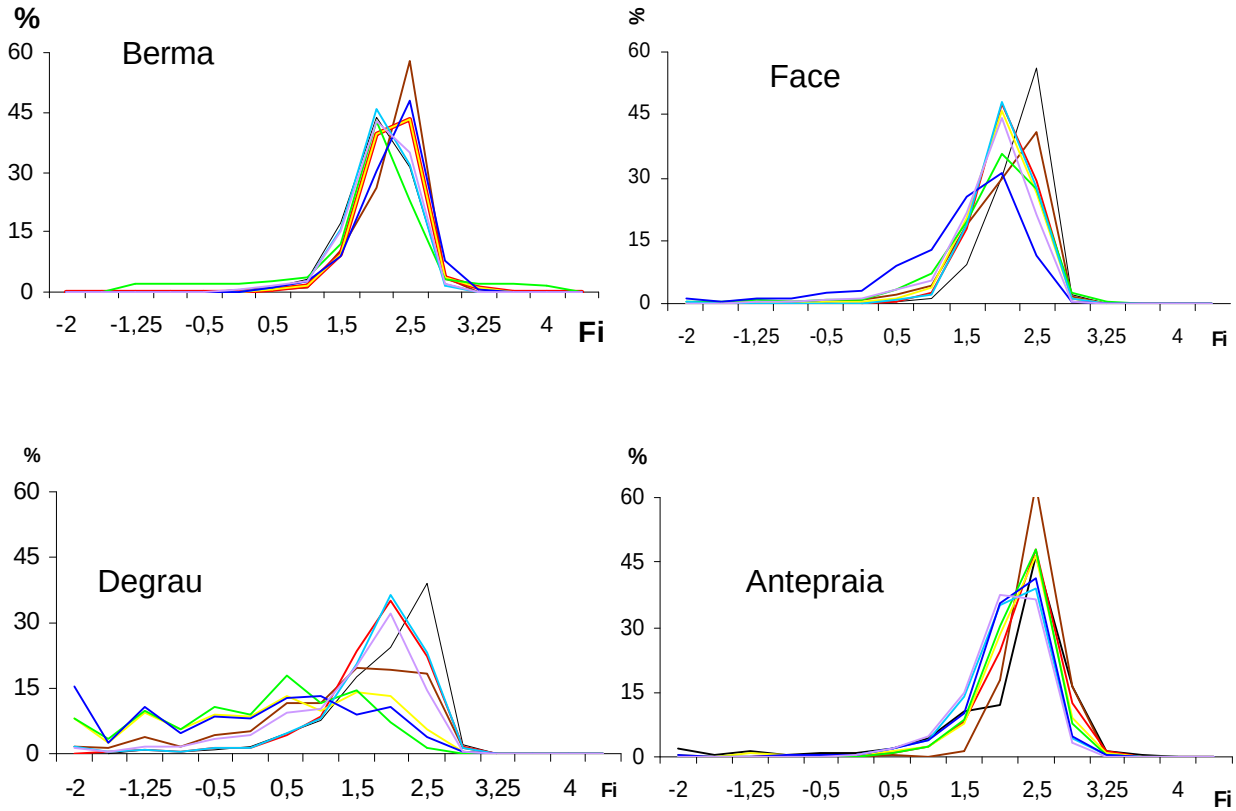
No ponto de máximo recuo da onda do P2 foi encontrado o sedimento mais distinto de toda a praia. Os resultados indicaram a granulometria mais grossa (Mz = 0,8$\phi$), o mais pobre grau de seleção ($\sigma$ 1,08) e uma distribuição praticamente simétrica. Esses valores foram mais críticos nos dias 05/10, 07/10 e 21/10, que coincidem com os mais altos teores de carbonatos devido à fração grossa ser composta pos bioclastos.

Observa-se similaridade nas distribuições texturais das areias da face e as do degrau. Nos dias que são verificadas areias mais grossas e pobremente selecionadas ou mais finas e bem selecionadas na face praial são também encontradas nas areis no degrau da praia.

1)


P2
m
4
3
2
1
0
-1
0
20
40
60
m

2)


%
Berma
60
45
30
15
0
-2
-1,25
-0,5
0,5
1,5
2,5
3,25
4
Fi
%
Face
60
45
30
15
0
-2
-1,25
-0,5
0,5
1,5
2,5
3,25
4
Fi
%
Degrau
60
45
30
15
0
-2
-1,25
-0,5
0,5
1,5
2,5
3,25
4
Fi
%
Antepraia
60
45
30
15
0
-2
-1,25
-0,5
0,5
1,5
2,5
3,25
4
Fi

16/08 1/10 3/10 5/10 7/10 19/10 21/10 23/10

Figura 12 - Resultados de campo e de laboratório referentes ao Perfil 2. 1) Perfil topográfico; 2) Granulometria do sedimento dos 4 subambintes amostrados.

### 5.2.3 Estação praial P3

A estação P3, ao norte da praia possui uma altura de 3,5m e, assim como o P2,m possui uma extensão bastante pequena, também de aproximadamente 25m, entretanto, com uma declividade de 1:10.

No primeiro levantamento, dia 16 de agosto, o perfil apresentou-se praticamente linear, salvo por uma escarpa suave do cordão vegetado (Prancha D -3). No segundo monitoramento, em 1/10 registrou-se o recuo da escarpa de aproximadamente 7m, e o perfil já apresentava um volume muito reduzido de sedimento expondo porções da rocha cristalina, onde normalmente esta fica encoberta pela areia (Prancha C - 1). No decorrer das campanhas o perfil foi reconstruindo, recobrindo a maior parte da rocha que se encontrava exposta (Prancha C - 2).

Durante o terceiro monitoramento, no dia 19/10, registrou-se a maior erosão do perfil, comprovada pela queda da lixeira que se situava sobre o cordão vegetado (Prancha C - 3), e novamente pela exposição das rochas. Contudo esta exposição ficou mais evidente e foi verificada só na face da praia como também próximo ao portão de uma das casas, onde a vegetação foi retirada (Prancha D). Nos dias que se seguiram observou-se rápida recuperação do perfil (Prancha C - 4).

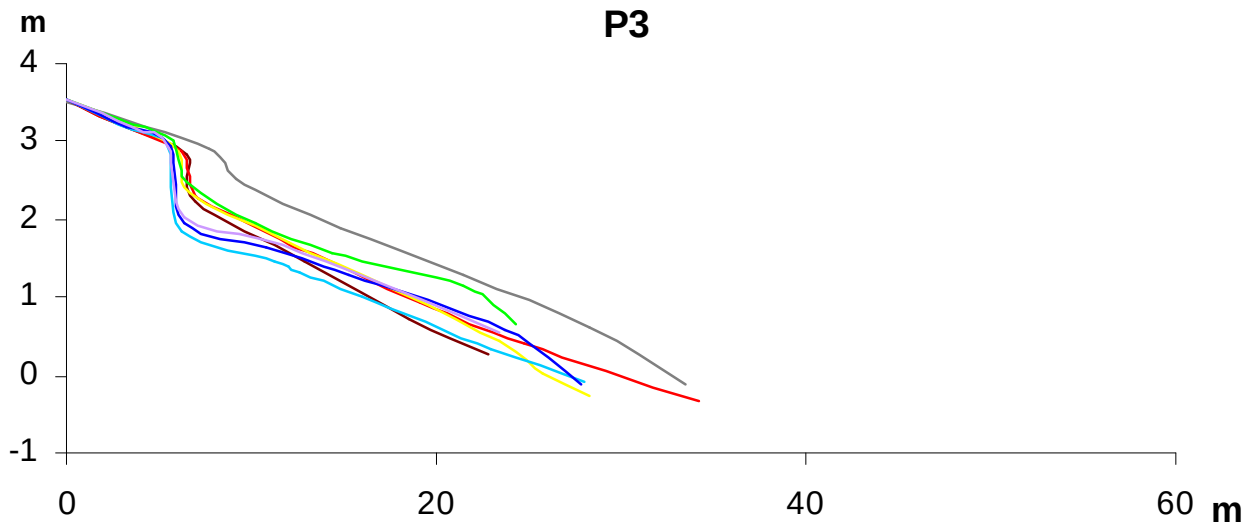
No P3, a contribuição dos bioclastos na composição das areia foi maior, com a média de 35% (Tabela 3), com valores variando entre 22,4% e 46,4%.

O sedimento do berma e da antepraia seguiu o padrão das Estações 1 e 2, sendo também composto por areias médias, as mais finas do perfil, indicando atuação do transporte transversal no deslocamento da distribuição e com pequena variação ao longo do monitoramento.

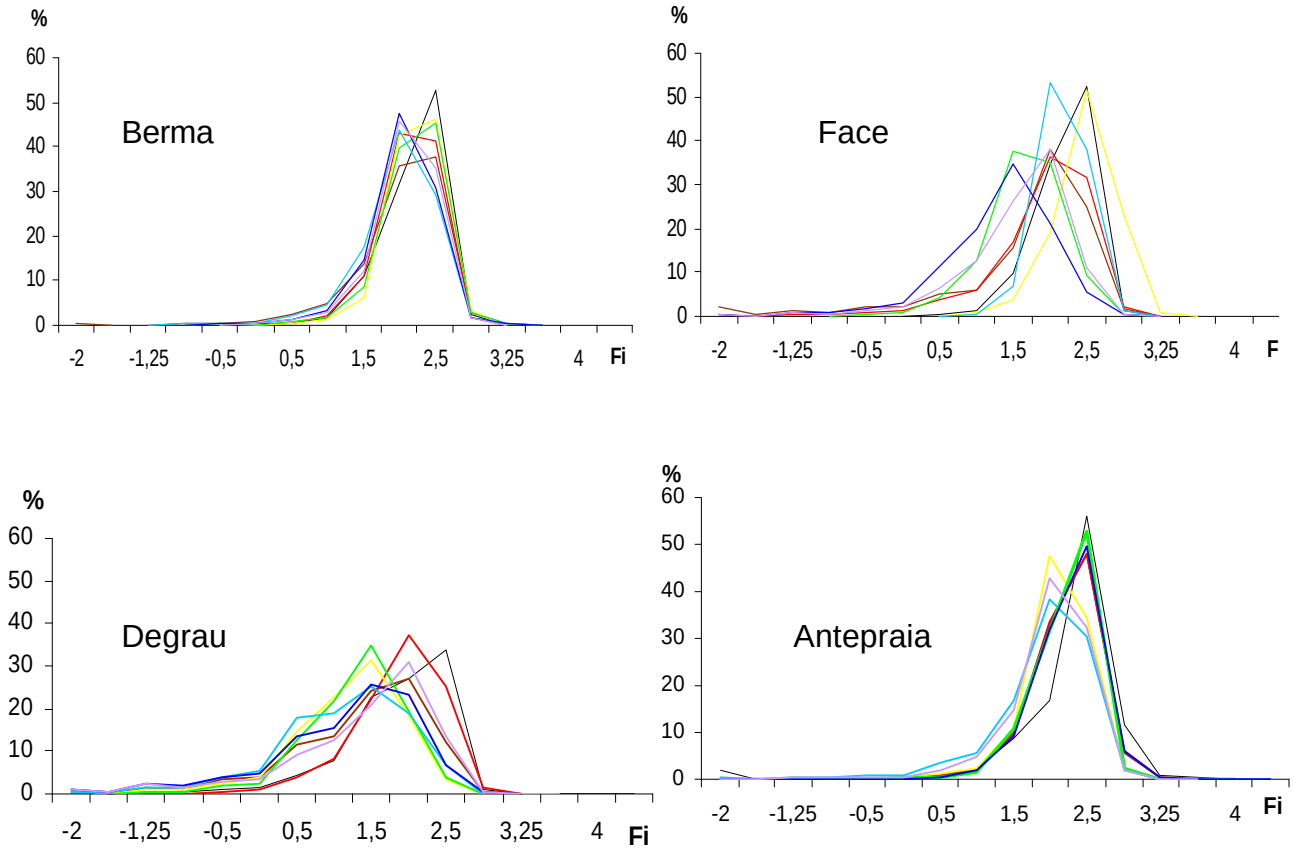
Na face praial as areias variaram de 0,5 a 2,5 fi, com uma média de 1,66 fi, sendo portanto classificadas como areias médias, e ainda, apresentaram moderado grau de seleção e assimetria para o lado dos grossos.

No degrau da praia, houve variação nos dias 19 a 23 de outubro: no dia 19, a areia média, grossa e mal selecionada voltou a receber sedimentos mais finos no dia 23.

**1)**


m
P3
4
3
2
1
0
-1
0
20
40
60
m

**2)**


%
Berma
60
50
40
30
20
10
0
-2
-1,25
-0,5
0,5
1,5
2,5
3,25
4
Fi
%
Face
F
Degrau
Fi
%
Antepraia
Fi

16/08 1/10 3/10 5/10 7/10 19/10 21/10 23/10

Figura 13 - Resultados de campo e de laboratório referentes ao Perfil 3. 1) Perfil topográfico; 2) Granulometria do sedimento dos 4 subambintes amostrados.

## 5.3 PROCESSOS COSTEIROS E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NA PRAIA

No dia 16/08 os perfis praiais encontravam-se os mais construídos, associados a condições de tempo bom. O levantamento de 01/10 indicou que boa parte deste volume (930,3m$^3$,' equivalente a 12%) foi perdido em virtude das frentes frias que ocorreram entre os levantamentos e que são comuns durante o inverno e até mesmo no início da primavera (Tabela 4).

Já no segundo monitoramento verificou-se que a praia perdeu um volume de sedimento de, aproximadamente, 172m$^3$, volume pequeno quando comparado com a erosão que ocorreu nos outros dias. Esta perda, na verdade, refere-se ao balanço entre a perda total que ocorreu na estação 1 (340,6m$^3$) e o ganho de sedimento (168,7m$^3$) nas estações 2 e 3.

A morfologia dos perfil e o balanço entre os volumes quantificados sugerem a atuação da corrente longitudinal, transportando sedimentos de sul, da Estação 1, para norte,Estação 3. Este transporte ocorreu sob condições moderadas de energia.

Tabela 4 - Variação volumétrica (m$^3$) acumulada de cada estação e da praia nos dias de maior erosão e deposição constatada pelos perfis topográficos.

| | **V. total 16/08** | **1/out** | **5/out** | **19/out** | **23/out** |
|---|---|---|---|---|---|
| Estação 1 | 3450,5 | -245,4 | -340,6 | -91,5 | +62,2 |
| Estação 2 | 1496,3 | -246,4 | +67,2 | -255,4 | +389,7 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Estação 3 | 2590,2 | -438,4 | +101,5 | -239,5 | +223,3 |
| **Total** | **7537,2** | **-930,3** | **-171,9** | **-586,5** | **+675,3** |

A significativa retirada dos sedimentos na Estação 1 foi, possivelmente, provocada pelas correntes de retorno, cuja atuação é sugerida pelas cúspides que se desenvolveram apenas neste trecho praial (Prancha A - 1 e 2). Considerando que as cúspides são formadas por empilhamento de ondas e desenvolvimento de ondas de borda, sua formação nesse trecho pode estar associada a duas situações: a primeira admite que ondas de nordeste provocariam um empilhamento de água na porção sul da praia de bolso e que, conseqüentemente, a formação de ondas de borda construiriam as cúspides. A segunda hipótese admite que ondas de sudeste, ao passar pelos obstáculos formados pela Ilha Galheta de Dentro e pelo promontório do Clube Ítalo (Prancha D - 1), sofreriam difração , divergindo os raios de onda que chegariam tanto mais espaçados quanto maior fosse a distância do obstáculo, ou seja, na região mais próxima do início da difração, no caso o P1, a convergência dos raios em relação ao P3 provocaria um empilhamento relativo nesta porção da praia, o que formariam as cúspides. Como as ondas medidas vieram de sudeste, e provavelmente não inverteram seu sentido durante este período, a segunda hipótese parece ser mais aplicada à situação verificada em campo.

Já no terceiro monitoramento, as condições precedentes à primeira campanha foram caracterizadas por ventos e ondas fortes de nordeste que resultaram em forte erosão da praia no dia 19/10, que foi equivalente a uma perda de 586,5m$^3$ em relação ao dia 5/10. A estação 1 apenas mostrou a crista do berma ligeiramente deslocada em direção à retroterra, enquanto que a estação 3 sofreu uma erosão que foi bastante evidente, não apenas por ter exposto a rocha abaixo, mas por ter avançado sobre o cordão vegetado, derrubando a lixeira acima da mesma (Prancha D – 5 e 6). Foi constatado que a vegetação costeira exerce uma função de proteção importante para a praia, pois onde esta foi retirada, como foi registrado em um trecho da Estação P3, o mar chegou bem próximo às casas, como mostra a Prancha D – 4. Já a Estação central registrou a passagem do transporte longitudinal e, portanto, apresentou uma pequena mudança morfológica, sendo o perfil de menor variabilidade temporal.

Nos dias seguintes, a frente fria que já avançava sobre a região sudeste, atingiu o litoral central do Espírito Santo. Conseqüentemente, do dia 19 ao dia 23/10, a influência da frente polar Atlântica reduziu a altura e a energia das ondas de nordeste, sendo verificado o retorno das areias da praia (675,3 $m^3$), conforme descrito por Bascon (1951) e Brunn (1962) para dinâmica de praia.

No final do primeiro monitoramento e no início do segundo, quando os perfis se encontravam côncavos e a praia menos volumosa, a granulometria esteve mais grossa e teor de carbonatos reduzido, sugerindo que, sob ondas mais altas, os menores grãos bioclásticos, por serem os mais leves, foram as principais areias mobilizadas e transferidas para a antepraia, onde se depositaram a uma profundidade provavelmente maior que aquela onde as amostras da antepraia foram retiradas (aproximadamente 1,5m), já que os teores da fração carbonática não sofreram incremento nesta feição.

A determinação do perfil de fechamento da praia, isto é, até onde a praia é passível de efetuar troca transversal entre a porção emersa e submersa, indicou a profundidade de 2,7m, para as ondas incidentes na praia. A carta náutica do DHN indica que este perfil se estende mais 80 metros da zona onde as coletas foram realizadas.

Com entrada de ondas menos energéticas, o mar mais calmo possibilitou que a areia que havia sido transferida para a antepraia reconstruísse o perfil emerso, e, no caso da Praia do Nenel, a deposição se deu com areia mais fina.

Os levantamentos indicaram que a praia é submetida predominantemente ao transporte transversal de sedimentos, sob condições de maior energia das ondas. E estas ondas incidentes desenvolvem as correntes com competência de transportar os sedimentos finos para a antepraia.

## 5.4 TIPOLOGIA E GRAU DE VULNERABILIDADE EROSIVA

De maneira geral, a praia do Nenel foi caracterizada por areias médias (1,47$\phi$) contidas em perfis relativamente bem inclinados, com declividade média de 1:9.4, onde os tipos de

arrebentação predominantes foram frontais e ascendentes, e as alturas das ondas não ultrapassaram 1m nem mesmo sob condições de alta energia.

Essas características em conjunto, segundo Short & Wright (1983), são os principais critérios para a classificação de uma praia como refletiva.

Além disso, a pequena variabilidade dos perfis topográficos, mesmo sob condições erosivas, quando comparadas com os vários perfis de diferentes tipos de praia da Figura 4, assemelhou-se bastante também com o do tipo refletivo.

A aplicação do parâmetro dimensionador do surf ( ª ), adotado por Short & Wright para classificar as praias, foi calculado para as três estações, conforme apresentado na Tabela 5, lembrando que ª < 2,5 indicam praias refletivas; ª entre 2,5 e 6, praias intermediárias e ª > 6 praias dissipativas.

Tabela 5 - Parâmetro dimensionador do surfe (ª ) calculado para as 3 estações.

| Data | ª | | |
|---|---|---|---|
| | **P1** | **P2** | **P3** |
| 16/10 | 1,1 | 0,5 | 0,8 |
| 1/10 | 1,4 | 0,6 | 0,9 |
| 3/10 | 1,2 | 0,7 | 1,3 |
| 5/10 | 3,7 | 2,0 | 2,6 |
| 7/10 | 2,1 | 0,5 | 1,7 |
| 19/10 | 3,2 | 1,8 | 2,9 |
| 21/10 | 5,9 | 2,3 | 4,8 |
| 23/10 | 1,8 | 1,7 | 4,3 |
| **Média** | **2,6** | **1,3** | **2,4** |

Os valores de ª encontrados no P1 e P3 variaram de 1,1 a 5,9, e 0,8 e 4,8, respectivamente, mostrando que nestas duas estações a tipologia da praia intercalou entre refletiva e intermediária. Já na estação P1, os valores sempre abaixo de 2,5 revelaram se tratar de uma estação sempre refletiva. A tipologia modal foi classificada como refletiva nos três locais da praia.

A classificação do grau de exposição da praia segundo a exposição às ondas foi obtida com a plotagem dos dados no gráfico proposto por Wiegel (1964, APUD Muehe, 2001), que faz a correlação entre a inclinação da face praial e a característica granulométrica dos sedimentos da praia. Os resultados, expressos na Figura 13 indicaram se tratar de uma área abrigada. Tal resultado era esperado, pois a presença das Ilhas próximas e dos promontórios protegendo a praia da força direta das ondas foi responsável por alturas de onda na arrebentação inferiores a 1m.

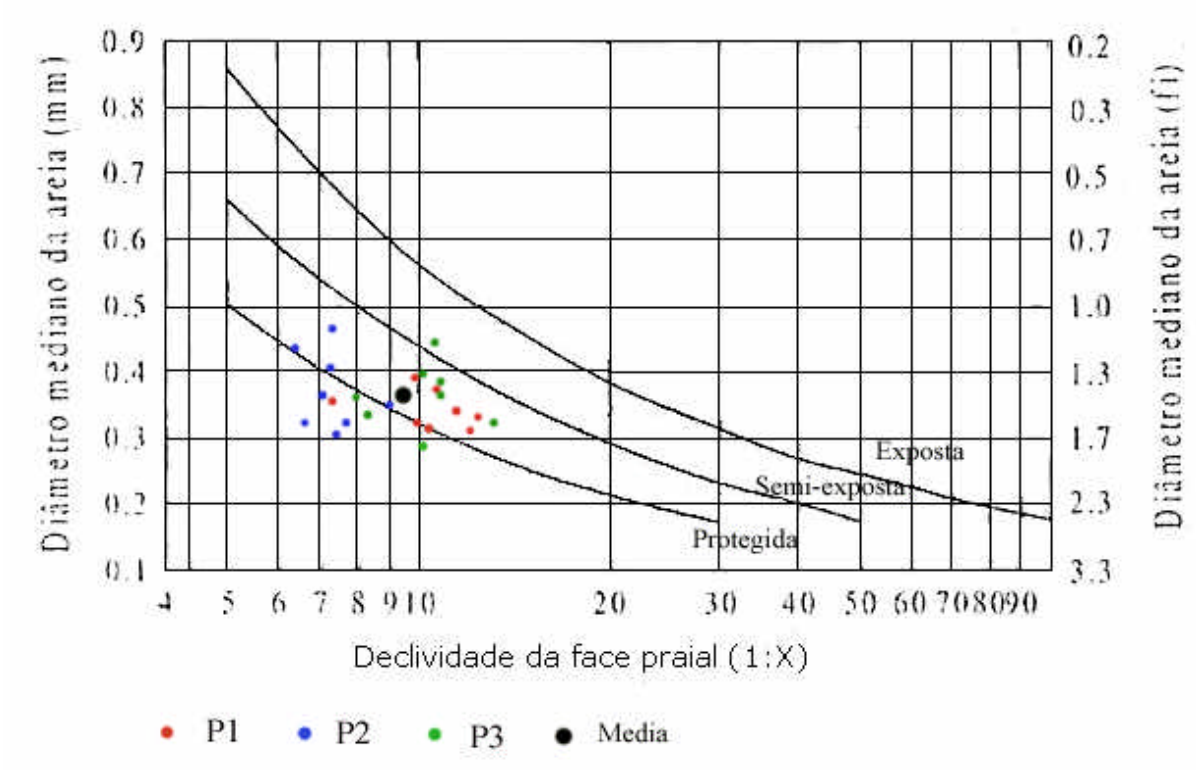



Figura 14 - Correlação entre a inclinação da face praial e a característica granulométrica dos sedimentos (Wiegel, 1964, APUD Muehe, 2001)

Apesar da Praia do Nenel ser uma praia refletiva, abrigada da exposição direta das ondas, o que lhe confere pequena vulnerabilidade erosiva, observou-se que o perfil de fechamento da praia situa-se a 2,7m de profundidade e a distância aproximada de 80m na praia. Desta forma, observa-se que este perfil pode estar alcançando uma região que é menos protegida pelos promontórios e, conseqüentemente, sobre maior influência do fluxo de ondas e marés. O fluxo da região marinha adjacente à praia deve ser intensificado pelo estreitamento e/ou desenvolvimento de uma calha devido àpresença da Ilha Galheta, defronte `a praia.

Verificou-se ainda que o componente siliciclástico nas areias é dominante, sugerindo que o aporte de sedimento marinho, representado por material carbonático, é menor mesmo quando o alcance da praia adentra na região marinha por ocasião de maior transporte transversal. Estas observações levaram a conclusão que sob condições de maior energia de ondas , o sedimento retirado da praia subaérea seria transportado para o provável canal situado além dos promontórios que, por atuação das correntes, seria transportado para fora da praia do Nenel e mais dificilmente retornaria quando as condições normais retornassem.

Se esta teoria estiver correta, a praia pode vir a sofrer um déficit no seu balanço sedimentar com o incremento das condições meteoceanográficas. Esta situação pode ser a responsável pela menor extensão da praia verificada neste monitoramento quando comparada a extensão verificada por Albino *et al.* (2001) em 2001. No referido trabalho os levantamentos do perfil, correspondente ao P2, foram realizados mensalmente por um ano (Figura 14).

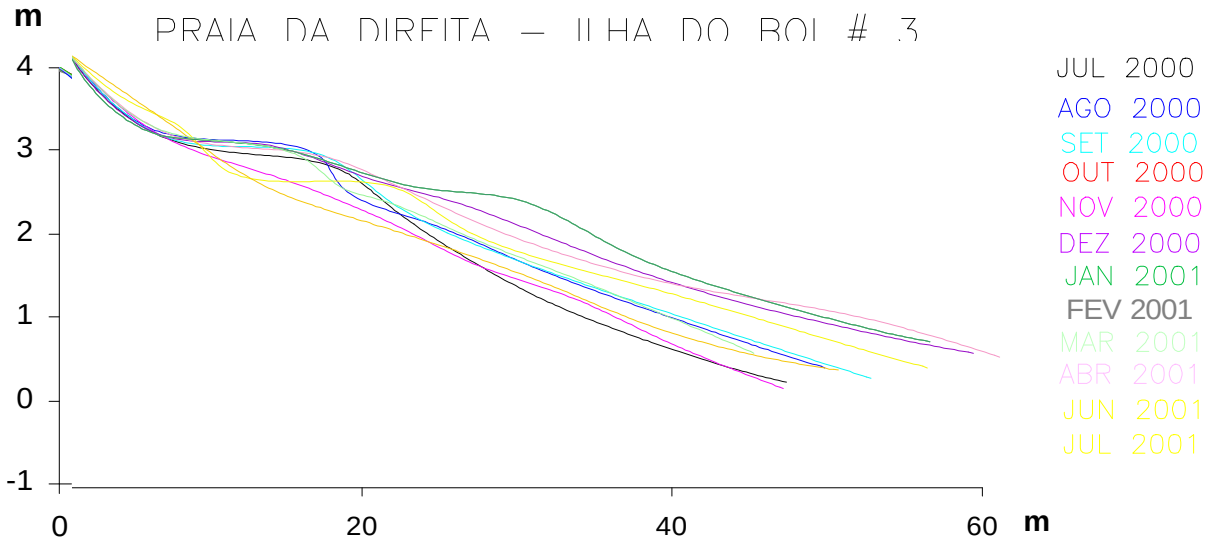



Figura 15 - Perfil topográfico sobre a Estação P2 realizado por Albino em 2000 e 2001

Nesta ocasião o perfil apresentava extensão que foi superior a 45m até mesmo durante o inverno ou primavera, o que difere da extensão entre 23 a 28m encontrada em Outubro de 2004.

## 5.4 RECUO DA PRAIA A UMA POSSÍVEL ELEVAÇÃO RELATIVA DO NÍVEL DO MAR

A aplicação da Lei de Bruun evidenciou que para uma elevação do nível do mar em 0,3 m provocaria um recuo de 4,0m da atual linha de alcance das ondas (Tabela 6). Com esta

elevação a praia apresentaria condições de adaptação, o que não resultaria em danos a ocupação, a não ser dados estéticos e de balneabilidade, face à seu estreitamento (Figura 15). Esta adaptação está condizente a tipologia refletiva da praia e a declividade da face da praia.

Tabela 6 - Recuos erosivos da linha de costa em três situações de aumento do nível do mar; 0,3, 0,5 e 0,9m

| S' (m) | P1 | P2 | P3 | media |
|---|---|---|---|---|
| **0,3** | 4,4 | 3,7 | 4,1 | **4,8** |
| **0,5** | 7,3 | 6,2 | 6,9 | **6,8** |
| **0,9** | 13,2 | 11,1 | 12,4 | 12,3 |

Já uma elevação de 0,5m, ocasionaria um recuo da praia de quase 7m. Este recuo seria responsável pelo alcance e captura dos sedimentos do cordão litorâneo, com perda de mais de 50% da vegetação de restinga, para a adaptação conforme sugerida por Brunn (1962). Pior situação seria nas proximidade da estação 3, que sob as condições do monitoramento já revelava o substrato rochoso.

Considerando o cenário mais pessimista previsto por Harari *et al*. (2004), que pronuncia uma elevação de 0,9m, a praia recuaria em torno de 12m, o que significa a perda de praticamente toda a areia da praia e perda pelo menos parcial, dos terrenos à beira mar.

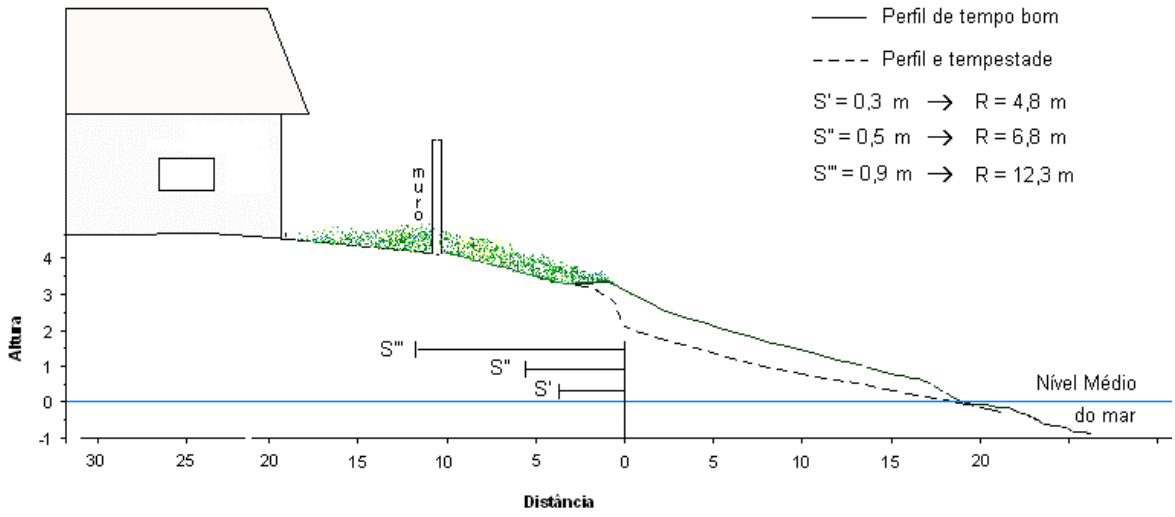



Figura 16 - Recuo erosivo da costa devido àelevação relativa do nível do mar em 0,3, 0,5 e 0,9m.

A estimativa de Bruun (1962) é aplicada em praias onde há estoque de sedimento suficiente para a adaptação morfológica. Entretanto, trata-se de uma área onde a formação cristalina está a uma profundidade desconhecida sob os depósitos de areia, mas que eventualmente fica exposta na porção norte da praia. A presença dessas rochas logo abaixo do sedimento dificulta a previsão de um recuo erosivo da linha de costa, pois a erosão sobre costões rochosos é desconsiderada por efeito de uma elevação do nível do mar.

Contudo, o alcance das ondas e a possível destruição das construções serão tanto maior quanto mais suave for a inclinação da rocha e dependerá, também, da profundidade que ela se encontra abaixo do perfil. Assim, supõe-se que as casas construídas nas proximidades da estação P3, onde a rocha está a uma altura de 1,5 a 2m do nível do mar, não sofrem os mesmos riscos que as construções situadas no restante da praia, onde esta altura é desconhecida, mas certamente é menor.

Apesar da urbanização da praia ter respeitado o limite mínimo previsto por lei, de 33m a partir da baixa mar de sizígia (Decreto - Lei nº 9760/46), esta distância revelou-se, assim como previsto por Muehe (2001), insuficiente para garantir uma segurança dos terrenos contra fenômenos erosivos a longo prazo. Desta forma, as próximas ocupações sobre a Ilha do Boi, e em outras áreas com as mesmas características da praia estudada, deveriam combinar a orientação de preservação do cordão litorâneo mais, no mínimo, um metro acima dele, considerando a orientada proposta por Muehe (2001) para a ocupação em costões rochosos.

Para a preservação da paisagem local, o objetivo geral do programa de gerenciamento costeiro deveria ser o de manter o perfil de praia protegendo tanto os processos naturais que suprem a praia com areia, quanto a capacidade de armazenamento de areia pelos próprios elementos da praia, como a vegetação. A regra mais importante é que construções deveriam ser colocadas bem atrás da linha de recuo que indica não apenas a erosão que a praia teve ao longo do tempo, mas que poderá apresentar em situações futuras prevendo eventos mais catastróficos. Assim sendo, a saúde da praia é garantida evitando prejuízos ambientais, econômicos e, conseqüentemente, sociais.

# 6. CONCLUSÕES

A partir da análise topográfica e sedimentológica e das características oceanográficas observadas em campo, constatou-se que a praia do Nenel é classificada como refletiva, abrigada da energia direta das ondas por promontórios e pelas ilhas Galheta de Dentro e Galheta de Fora, o que caracterizaria pequena vulnerabilidade tanto a eventos climáticos sazonais, como a uma possível elevação do nível do mar.

Contudo, verificou-se que sob condições mais energéticas, o transporte transversal à costa erodiu a praia subaérea, com perda dos sedimentos mais finos que foram transferidos para a antepraia. Verificou-se ainda que o componente siliciclástico nas areias é dominante, sugerindo que o aporte de sedimento marinho, representado por material carbonático, é menor mesmo por ocasião de maior transporte transversal. As observações levaram a conclusão que a praia pode vir a sofrer um déficit no seu balanço sedimentar com o incremento das condições meteoceanográficas se o sedimento retirado da praia subaérea for transportado para uma região adjacente à praia, onde está localizado o perfil de fechamento, menos protegida pelos promontórios, onde o fluxo é mais intenso. Assim, por atuação das correntes, o sedimento seria transportado para fora da praia do Nenel e retornaria mais dificilmente quando as condições hidrodinâmicas normais retornassem.

Foi constatado que uma relativamente pequena elevação do nível do mar (0,3m) não provocaria danos a não ser estéticos à praia. Entretanto, sob uma condição mais provável de subida de nível em 0,5m, a praia perderia a maior parte do volume de sedimento e, sob a hipótese mais pessimista prevista por Harari *et al*. (2004),de uma elevação de 0,9m, o mar alcançaria e destruiria parte dos terrenos à beira mar

Apesar da existência de elementos característicos de praias refletivas que sugerem baixa vulnerabilidade erosiva quando comparada com praias expostas e dissipativas, a Praia do Nenel revelou-se vulnerável a fenômenos erosivos a longo prazo, face ao pequeno volume sedimentar e pelas casas terem sido construídas sobre as dunas frontais.

Assim, para evitar efetivamente perdas por erosão, o objetivo geral do programa de gerenciamento costeiro deveria ser o de manter protegido sobre o perfil os elementos de praia, como a vegetação costeia, que contêm a capacidade de armazenamento de areia, e também o de não permitir que as construções fossem realizadas antes da linha de recuo que indica, não

apenas, a erosão sazonal, mas também, aquelas que a praia poderá apresentar em situações futuras prevendo eventos mais catastróficos

No litoral de costões rochosos, como no caso da área estudada, a preservação dos cordões não seria suficiente para a preservação da paisagem do local, e proteção das construções de alto padrão, considerando que logo abaixo do deposito arenoso praial revela-se rochas com declividade suave e que a praia apresentou-se estreita, com tendência de recuo pela retirada de sedimentos pelas correntes transversais. Esta situação salienta a necessidade do conhecimento da morfodinâmica da praia e dos processos costeiros em questão para que a aplicação dos limites para ocupação respondam aos efeitos desejados.

Desta forma as próximas ocupações sobre a Ilha do Boi e outras áreas da com as mesmas características da praia estudada deveriam combinar a orientação de preservação do cordão litorâneo mais, no mínimo, um metro acima dele, considerando a orientada proposta por Muehe (2001) para a ocupação em costões rochosos.

A adoção de práticas preventivas permitirá a manutenção da paisagem, diminuirá os custos e principalmente possibilitará o equilíbrio do balanço sedimentar costeiro.

# 7. REFERÊNCIAS

ALBINO, J., **Dinâmica praial num período de tempestade em Barra de São João – RJ**. Monografia apresentada para a conclusão do curso de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1988.

ALBINO, J. Morphodynamics and Coastal Processes on Baleia, Fruta and Sol beaches in the state of Espírito Santo, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciência**.Brasil, v. 68, p. 425-438, 1996.

ALBINO, J., **Processos de sedimentação atual e morfodinâmica das praias de Bicanga à Povoação – ES**. Tese apresentada como requisito para a obtenção do Grau de Doutor em Ciências. São Paulo, 1999.

ALBINO, J.; PAIVA, P. S.; MACHADO, G. M. V., Tipologia e vulnerabilidade erosiva das praias do litoral do Espírito Santo. **Geografares**. Brasil, v. 2, p. 63-67, 2001.

ALBINO, J.; OLIVIERA, R.; MAIA, L. P.; ALENCASTRE, K., **Processos atuais de sedimentação marinha e praial do litoral de Vitória, ES**. Relatório n. 198.2506/ 2000 FACITEC & Prefeitura Municipal de Vitória. 2001.

BASCOM, W. N., The relationship between sand-size and beach face slope. **Transactions, American Geophysical Union**. USA, v. 32, p. 866-874, 1951.

BITTENCOURT, A.C.S.P. et all, Patterns of Sediment Dispersion Coastwaise the tate of Bahía – Brazil, Salvador, 2000.

BRASIL, Decreto Lei nº 9760/46. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília,1946

BROWN, E. et al. **Waves, tides, and shallow water processes.** Editora: The Open University, 1999.

BRUUN, F. A., **Sea-Level Rise as a Cause of Shore Erosion**, American Society of Civil Engineers, v.88, p. 117-130, 1962.

CPTEC, previsão do tempo in **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. Disponível em www.cptec.inpe.br, acesso de julho a outubro de 2004.

CUNHA, S. B. & GUERRA A.J.T., **Geomorfologia: Exercícios, Técnicas e Aplicações**. 2.ed., Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2002.

DAVIS, R. A., **Coastal Sedimentary Environments**. 2nd ed. USA: Halliday Lithograph, 1985.

DAVIS, R. A. & FOX W. T., **Process-response patterns in beach and nearshore sedimentation: I. Mustang Island, Texas**. Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 45, Nº 4, p. 852-865, USA, 1975

DIRETORIA DE HIDROLOGIA E NAVEGAÇÃO, in **Carta Sinótica**. Disponível em www.dhn.mar.mil.br/chm/meteo/ prev.htm, acesso de julho a outubro de 2004;

DHN. **Carta náutica**. Escala 1: 15000, nº 1401, 1975

DUBOIS, R. N., **Seasonal changes in beach topografy and beach volume in Delaware**. USA: Department of Geography, University of Maryland Baltimore County, Catonsville. V.81, p. 79-96, 1987.

FOLK, R. L & WARD, W. C. **Brazas river bar: a study in the significance of grain size parameters.** Journal of sedimentary petrology, 27:3 – 26, 1957.

HARARI J. et al. **Estimativas e projeções das variações globais do nível do mar**. VI Simpósios de ecossistemas brasileiros, Programas e Resumos. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São Paulo, 2004.

HOEFEL, F.G., **Morfodinâmica de praias arenosas: uma revisão bibliográfica**. Editora da Universidade do Vale do Itajaí, Santa Catarina, 1998

KENNETT, J. P., **Marine Geology**. USA: Prentice Hall Inc., 1982.

KOMAR, P. D., Beach processes and erosion – An introduction. In: **CRC Handbook of Coastal Process and Erosion**. USA: CRC Press, p. 1-18, 1983.

LORANG, M. S., KOMAR, P.D., STANFORD, J.A., **Lake Level Regulation and Shoreline Erosion on Flathead Lake, Montana: A Response to the Redistribuition of Anual Wave Energy**, Journal of Coastal Research, v.92, p. 494-508, Flórida, 1993.

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

MEDINA, R.; LOSADA, M. A.; LOSADA, I. J.; VIDAL, C., Temporal and spatial relationship between grain size and beach profile. **Marine Geology**. Spain, v. 118, p.195-206, 1994.

MONTEIRO C. S. F., **Clima in Geografia do Brasil, Grande Região Sul**. Rio de Janeiro, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, v.5, p. 114-136, 1949.

MUEHE, D., **Sedimentology nd Topography of a High Energy Coastal Environment in Cabo Frio, Rio de Janeiro – Brazil**. Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1979.

MUEHE, D., Geomorfologia Costeira. In: **Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 253-308, 1994.

MUEHE, D., **Critérios Morfodinâmicos para o Estabelecimento de Limites da Orla Costeira para fins de Gerenciamento**., Rio de Janeiro, 2001.

NIMER, E., **Climatologia do Brasil**, Fundação Instituto Brasileiroo de Geografia e Estatística, 2 ed., Rio de Janeiro, p. 12-18, 1989.

PETHICK, J., **An Introdution to Coastal Geomorphology.** Lecturer in Phisical Geography, University of Hull. Edward Arnold, 1986).

PINET, P. R. **Invitation to oceanography**. Web enhanced edition. Londres: Jones and Bartlett, 1998.

PMV, Geografia da Ilha in **Prefeitura Municipal de Vitória** disponível em www.vitoria.es.gov.br/turismo/cidade/geografia.htm, acesso em 10 de junho de 2004.

SANTOS, M.M.S., **Variação morfológica e textural das areias nas praias de Meaípe e Maimbá em Guarapari – ES durante a passagem de uma frente fria**. Monografia apresentada ao curso de Especialização “Latu Sensu” em avaliação de Sistemas Ambientais do Departamento de Ecologia e Recursos Naturais da Universidade federal do Espírito Santo, 2003.

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.

SHORT, A. D., **Rip-current type, spacing and persistence, Narabeen Beach, Australia**. Mar;;ine Geology. V.65, p.47-71, 1985.

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.

WENTWORTH, C.K., **A escale of grade and class terms for clastic sediments**. Journal of Geology. USA, v. 30, 1922.

WRIGHT L. D. & SHORT A. D., **Morphodynamics of beaches and surf zones in Austrália**. Handbook of Coastal processes and Erosion, Chapter 3. CRC Press. P.35-64, 1987

**PRANCHA A**

1)

2)

3)

4)

Estação P1. 1) 01/10. 2) 07/10 (as cúspides foram destacadas); 3) 19/10 e 4) 23/10.

**PRANCHA B**

**1)**

**2)**

Estação P2. 1) 16/08; 2) 19/10 -.redução no volume de sedimento na base do cordão vegetado pela exposição das raízes.

**PRANCHA C**

**1)**

**2)**

**2)**

**4)**

Estação P3. 1) 01/10; 2) 06/10; 3) 19/10 e 4) 23/10.

## PRANCHA D

1)

2)

3)

4)

5)

Praia do Nenel sobre efeito de tempestades: 1) Entrada de ondas SE entre a Ilha Galheta de Dentro (esquerda) e o promontório sob o Clube Ítalo (direita); 2) Espraiamento de ondas de tempestade elevando-se sobre o berma; 3) Registro da praia construída (16/08); 4) Proximidade da casa com o alcance das ondas agravado pela retirada da vegetação; 5) e 6) Registro dos dias mais erodidos (19 e 20/10, respectivamente), comparar com a foto 3).