

DAVID CANABARRO SAVI

EFEITO DA CONSTRUÇÃO DE UM QUEBRAMAR
SOBRE OS PROCESSOS MORFODINÂMICOS E SEDIMENTARES
NA ENSEADA DOS ANJOS, ARRAIAL DO CABO, RJ.

CCMN/IGEO

2003

EFEITO DA CONSTRUÇÃO DE UM QUEBRAMAR
SOBRE OS PROCESSOS MORFODINÂMICOS E SEDIMENTARES
NA ENSEADA DOS ANJOS, ARRAIAL DO CABO, RJ.

David Canabarro Savi

Universidade Federal do Rio de
Janeiro, Departamento de Geografia,
Curso de Mestrado em Geografia.

Dieter Muehe

Professor Doutor

Rio de Janeiro

2003

FOLHA DE APROVAÇÃO

EFEITO DA CONSTRUÇÃO DE UM QUEBRAMAR SOBRE OS
PROCESSOS MORFODINÂMICOS E SEDIMENTARES NA ENSEADA
DOS ANJOS, ARRAIAL DO CABO, RJ.

David Canabarro Savi

Dissertação submetida ao corpo docente da (CCMN/IGEO) da Universidade
Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como parte dos requisitos à obtenção do grau de
Mestre.

Aprovada por:

Prof. Dieter Muehe - Orientador

Prof. Antônio Paulo Faria

Prof. Cleverson Guizan Silva

Prof. Eliane Gonzalez Rodriguez

Rio de Janeiro

2003

FICHA CATALOGRÁFICA

Savi, David Canabarro.

Efeito da construção de um quebra-mar sobre os processos morfodinâmicos e sedimentares na enseada dos anjos, Arraial do Cabo, RJ/ David Canabarro Savi. Rio de Janeiro: UFRJ/IGEO, 2003.

120 p.; il.

(Dissertação) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 120p, 2003. Orientador: Dieter Muehe.

1. Geomorfologia Costeira. 2. Processos Morfodinâmicos. 3. Dissertação de Mestrado UFRJ/ IGEO. 4. Dieter Muehe
I. Título.

À Felipe Liebermann,
pelo privilégio de sua amizade.

**Pelo fogo a Natureza
se renova integralmente.**

AGRADECIMENTOS

Agradeço o apoio indispensável do meu orientador Dieter Muehe¹ e sua equipe, em especial os colegas Guilherme Fernandez² e Rosuíta Roso³. .

Meu reconhecimento as autoridades do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM) em 1999 que possibilitaram esta empreitada, são eles: Exmo. Vice-Almirante Napoleão Bonaparte Gomes, Capitão-de-Fragata Henrique Stankiewicz Machado e Dr^a Eliane Gonzalez Rodriguez.

Vários colegas ajudaram decisivamente na realização deste trabalho, alguns deles foram: Renato Braz Sue, Orildo Lima e Silva, CT Lúcia Artusi, Paulino F.S. Neto, Roberto Carlos G. Romano, Cataryne C. Cruz e Divisão de Geologia (IEAPM), Rogério Candella, Tânia Ocimoto, Jaqueline S. Boente e Divisão de Física (IEAPM), Ricardo Gaelzer, Odara R. Baptista, Roberto Carlos S. Ribeiro, Mônica Rebeche, Wanderson F de Carvalho, Carlos E. F. Leite, José E. A. Gonçalves, Sávio H.C. Campos, M^a Fátima A. W. Moreira, Joelson F. Veiga, Divisão de Telemática (IEAPM), Ricardo Telles e Divisão de Engenharia de Apoio (IEAPM), Elisio Gomes Filho, CC Warley G. Santana e Divisão de medidas acústicas do CASOP, CMG Roberto Fernandes (DHN), CAHO Turma -2002 (DHN), CT M^a Fernanda L. Rezende (CHM), Ronaldo Fialho (Prefeitura de Arraial do Cabo), Paulo Silva, Cláudia Pessoa (Secretaria de Obras de Arraial do Cabo), Bartira Correia de Mello (Geosoft Latinoamérica LTDA), Mirna F. de Alencar, Sr. Reinaldo Martins Fialho (Historiador local), e todos que direta ou indiretamente contribuíram para este trabalho.

PS.: Para minha esposa Laís Vieira Ramalho, por sua dedicação e apoio, grande parte do mérito pela realização deste trabalho. Ao IEAPM este trabalho, que tenho orgulho de

entregar como coroamento dos dois anos de estudo e pesquisa em Geomorfologia Costeira.

1. Professor Doutor e Orientador – UFRJ, IGEO, Laboratório de Geografia Marinha.
2. Doutorando - UFRJ, IGEO, Laboratório de Geografia Marinha.
3. Mestranda - UFRJ, IGEO, Laboratório de Geografia Marinha.

RESUMO

SAVI, David Canabarro. Efeito da construção de um quebra-mar sobre os processos morfodinâmicos e sedimentares na Enseada dos Anjos, Arraial do Cabo, RJ. Orientador: Dieter Muehe. Rio de Janeiro: UFRJ/IGEO; 2003. Dissertação (Mestrado em Geografia).

O presente trabalho estuda as implicações morfodinâmicas causadas pela construção de um quebra-mar para a proteção das embarcações no Porto do Forno, Enseada dos Anjos, Arraial do Cabo, RJ, Brasil. Para o entendimento das variações ocasionadas pelo quebra-mar foram levantados dados anteriores e posteriores a sua construção como fotos, cartas náuticas e outras informações. Do material levantado resultaram vários estudos e informações, a seguir: coleta, análise e comparação de sedimentos, produção de mapa granulométrico e faciológico, perfis de praia, parâmetros morfodinâmicos, digitalização e análise batimétrica, análise da variação da linha de costa em diferentes épocas, estudo do equilíbrio em planta, análise de refração de ondas e avaliação de marcas de ondulação. As conclusões foram convergentes, tendo os processos e parâmetros ratificados resultados e quantificadas modificações. Isto indicou que o quebra-mar alterou vários processos naturais. Eles incluem a distribuição da energia de ondas, a dinâmica da sedimentação e granulometria, efeitos localizados de erosão e acresção, inoperabilidade de atracadouros, mudança nas correntes marinhas, alterações batimétricas e finalmente o impacto na paisagem da enseada.

ABSTRACT

SAVI, David Canabarro. Effect of a jetty pier construction on the morphodynamic and sedimentary processes in dos Anjos Inlet, Arraial do Cabo, RJ, Brazil. Orientador: Dieter Muehe. Rio de Janeiro: UFRJ/IGEO; 2003. Dissertação (Mestrado em Geografia).

The present work studies the morphodynamic implications caused by the construction of a jetty to protect the crafts in do Porto do Forno, dos Anjos Sound, Arraial do Cabo, RJ, Brazil. To understand the variations caused by the jetty pier, we raised previous and later data to its construction such as photography, bathymetric charts , and other information. Several studies and information resulted from the material raised, like: sampling, sediment comparison and analysis, production of grain-size and sedimentary facies map, beach profiles, morphodynamic parameters, bathymetric digitalization and analysis, analysis of the variation of the coastal line at different times, study of the balance in plant, waves refraction analysis and evaluation of ripple marks. The conclusions were convergent, and the processes and parameters ratified the results and quantified the modifications. This indicated that the jetty altered several natural processes. They include the distribution of the wave energy gradient, the sedimentation and grain-size dynamics, erosion and acrescion local effects, inoperability of anchorage sites, change in the marine currents, bathymetric alterations and finally the impact on the sound scenario.

LISTA DE SIGLAS

ACAS	Água Central do Atlântico Sul
AP	Antes do Presente
CCMN	Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza
CHM	Centro de Hidrografia da Marinha
DGPS	Diferencial Global Position System
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
EDS	Equação de Declividade Suave
IEAPM	Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira
IGEO	Instituto de Geociências
INPE	Instituto Nacional de Pesquisa Espacial
IPqM	Instituto de Pesquisa da Marinha
MC	Meridiano Central
MEPPE	Modelo de Equilíbrio em Planta de Praias de Enseada
PNGC	Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro
RN	Referência de Nível
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UTM	Universal Transversa de Mercator
Ma	Milhões de anos

LISTA DE FIGURAS	Pág.
Figura 1. Desenho esquemático das zonas de praia.....	06
Figura 2. Características morfológicas dos seis estados de praia.....	08
Figura 3. Localização do município de Arraial do Cabo, RJ.....	15
Figura 4. Foto aérea da Enseada dos Anjos, Arraial do Cabo, RJ.....	16
Figura 5. Foto da Enseada dos Anjos, mostrando a marina de pesca e o cais do Porto do Forno, Arraial do Cabo, RJ.....	17
Figura 6. Imagem Landsat da cidade de Arraial do Cabo, RJ.....	20
Figura 7. Fotos do primeiro Porto de Arraial do Cabo, (A e B).....	23
Figura 8. escoamento da produção de sal no Porto do Forno.....	24
Figura 9. Emissário desaguardo na Praia dos Anjos. A, vista aérea; B, emissário fechado pela berma.....	25
Figura 10. Pier em forma de Y utilizado pela Tayo e depois pelo IEAPM.....	27
Figura 11. Modernização do Porto do Forno, Arraial do Cabo, RJ.....	27
Figura 12. Foto aérea mostrando instalações e enrocamento do IEAPM.....	28
Figura 13. Pier do IEAPM em ruínas. A, vista aérea; B, foto do pier já demolido..	29
Figura 14. Foto aérea mostrando a marina da Praia dos Anjos.....	31
Figura 15. Foto aérea do flanco norte mostrando o aumento dos barcos fundeados.....	31
Figura 16. Foto da Praia dos Anjos mostrando antiga homogeneidade das ondas ao longo da enseada (1953).....	32
Figura 17. Foto do Porto mostrando as dunas migratórias ao fundo (A e B).....	33
Figura 18. Desenho esquemático dos perfis na Praia dos Anjos.....	35

Figura 19. Posicionamento da malha granulométrica utilizada na Praia dos Anjos, Arraial do Cabo, RJ.....	40
Figura 20. Perfil central da Praia dos Anjos.....	46
Figura 21. Transtornos causados pelo carreamento de areia na Praia dos Anjos (A, B e C).....	48
Figura 22. Perfil Sul da Praia dos Anjos.....	49
Figura 23. Perfil Norte da Praia dos Anjos.....	50
Figura 24. Comparações entre os perfis Central e Sul da Praia dos Anjos.....	51
Figura 25. Modelo de perfil de equilíbrio em planta da Praia dos Anjos (A sem o quebra-mar e B com o quebra-mar).....	62
Figura 26. Comparação da linha de costa de 2002 com anos anteriores (A, 1976; B, 1985; C, 1995; e D, 2002).....	63
Figura 27. Resultados da Batimetria da Praia dos Anjos.....	65
Figura 28. Seis edições (recortes) da Carta Náutica 1503, em extratos da Praia dos Anjos (1936, 1941, 1974, 1986, 1989 e 1991).....	66
Figura 29. Variação batimétrica da Praia dos Anjos, entre as cartas 1936 e 1996...	67
Figura 30. Teor de carbonato da Praia dos Anjos (A); Granulometria com carbonato (B1); Granulometria sem carbonato (B2).....	76
Figura 31. Faciologia da Praia dos Anjos, com e sem carbonato.....	79
Figura 32. Simulação de Refração de ondas na Praia dos Anjos, utilizando o modelo Mike 21, com ventos de “E”.....	81
Figura 33. Simulação de Refração de ondas na Praia dos Anjos, utilizando o modelo Jonswap, na presença do quebra-mar e com ventos de “E”.....	82
Figura 34. Simulação de Refração de ondas na Praia dos Anjos, utilizando o	

modelo Jonswap, na ausência do quebra-mar e com ventos de “E”.....	83
Figura 35. Simulação de Refração de ondas utilizando o programa Pierson, na presença do quebra-mar e com ventos de “NE” na Praia dos Anjos.....	84
Figura 36. Simulação de Refração de ondas utilizando o programa Pierson na ausência do quebra-mar e com ventos de “NE” na Praia dos Anjos.....	85
Figura 37. Fotos de marcas de ondulação no perfil Sul da Praia dos Anjos (1° seqüência)	87
Figura 38. Fotos de marcas de ondulação no perfil Sul da Praia dos Anjos (2° seqüência)	88
Figura 39. Fotos de marcas de ondulação no perfil Norte da Praia dos Anjos (2° seqüência)	88
Figura 40. Fotos de marcas de ondulação no perfil Norte da Praia dos Anjos, (3 ° seqüência)	88

LISTA DAS TABELAS	Pág.
Tabela 1. Valores médios de Ω (ômega).....	09
Tabela 2. Escala granulométrica de Wentworth.....	45
Tabela 3. Valores calculados de Regime de Fluxo para a Praia dos Anjos....	53
Tabela 4. Valores calculados de Impacto de Promontórios para a Praia dos Anjos.....	54
Tabela 5. Valores calculados de Parâmetro de Bancos para a Praia dos Anjos.	55
Tabela 6. Valores calculados de Δ (delta) para a Praia dos Anjos...	57
Tabela 7. Valores calculados de Ω (ômega) para a Praia dos Anjos..	58
Tabela 8 Avaliação do método expedito de nivelamento dos perfis.....	59
Tabela 9. Valores granulométricos para a Praia dos Anjos.....	70
Tabela 10. Correlação de teor de carbonatos com mediana e F_i médio.....	75

SUMÁRIO

	Pág.
1. Introdução	01
1.1. Trabalhos Anteriores	12
2. Objetivos e Justificativa	13
3. Área de Estudo	14
3.1. Introdução	14
3.2. Caracterização Fisiográfica	18
3.2.1. Geologia / Geomorfologia	18
3.2.2. Clima	19
3.2.3. Parâmetros Oceanográficos	21
3.2.3.1. Ondas	21
3.2.3.2. Marés	21
3.3. Evolução Histórica	22
4. Material e Método	34
4.1. Trabalhos de Campo	34
4.2. Procedimento de laboratório	42
4.3. Espacialização dos dados	43
5. Resultados	44
6. Discussão	89
7. Conclusões	97
8. Referência	99

1. INTRODUÇÃO

O Brasil tem mais de 8000 Km de costa, ainda mais se consideradas as saliências e reentrâncias litorâneas. Nesta região se desenvolve uma variedade de ambientes, revestidos de grande importância econômica e natural. No entanto, no decorrer das últimas décadas, os processos de exploração e ocupação do litoral puseram em risco os recursos ali existentes.

A paisagem natural litorânea vem sendo descaracterizada ao longo do tempo pela especulação imobiliária, implantação desordenada das atividades econômicas e instalação de infra-estrutura urbana. Atualmente, os ecossistemas costeiros se encontram em adiantada fase de degradação e notável fragilidade, requerendo cuidados urgentes e específicos.

A atividade humana pode afetar, com variável magnitude, as características dos fluxos naturais, desviando, bloqueando, represando ou reforçando seus efeitos. A urbanização da orla e sua influência nos fluxos naturais é uma das questões mais prementes da morfodinâmica costeira. Um exemplo desta preocupação é o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), que visa equacionar o problema.

O PNGC (Lei 7661/88) tem como objetivo a promoção do desenvolvimento sustentável na zona costeira de acordo com a Política Nacional de Meio Ambiente (Lei 6938/81) e Política Nacional de Recursos do Mar (Lei MP/80). Para isto utiliza instrumentos de gestão específicos como o zoneamento ecológico, o sistema de informações, o plano de gestão e o monitoramento.

Ao longo da recente história brasileira, várias obras portuárias foram implementadas para o escoamento e o recebimento de recursos (naturais e econômicos)

necessários ao desenvolvimento do país. Algumas destas obras tiveram importantes conseqüências ao ambiente adjacente.

Muitas vezes as atividades humanas, apesar de terem grande envergadura, não interferem nos processos naturais, em especial, os que dizem respeito à dinâmica costeira. Outras vezes, pequenas intervenções humanas trazem grandes conseqüências à dinâmica costeira como, por exemplo, o represamento de rios caudalosos, a construção de guias corrente, a construção de quebra-mares e piers .

A construção do quebra-mar do Porto do Forno em Arraial do Cabo (RJ), propiciou maior proteção aos navios e barcos atracados ou fundeados no interior da Enseada dos Anjos. No entanto, o quebra-mar somado à construção do próprio porto, alterou, de modo irreversível, a paisagem da enseada e em medida variável os processos morfodinâmicos, razão deste trabalho.

Em função do grau de exposição às ondas, o litoral pode ser classificado como protegido, semi-exposto e exposto. A praia dos Anjos é do tipo protegida, com características secundárias do tipo semi-exposta. Não tem influência fluvial, o transporte eólico dos sedimentos é, provavelmente unidirecional e sazonal. Historicamente, foi uma das primeiras praias ocupadas pela colonização portuguesa (BERANGER, 1962).

Analisando este mesmo ambiente, a Praia dos Anjos, sobre o enfoque da paisagem, observa-se a enseada com água azul e zona de arrebentação e surfe gradacionais crescentes para o flanco sul, a linha de costa e sua zona de espraiamento , dunas frontais com alguma mobilidade, e intensa atividade econômica traduzidas pelas obras portuárias, marinas, piers e urbanização, caracterizando o ambiente enquanto paisagem cultural (TROLL, 1997). O modelamento da linha de costa é normalmente resultado da interação da ação das ondas com a topografia submarina (batimetria),

conjugada com a ocorrência de feições geomorfológicas particulares: os promontórios, que influenciam o transporte de sedimentos, criando pequenas células de circulação; a foz dos rios na costa, gerando molhes hidráulicos que também alteram o fluxo litorâneo; feições tectônicas como grandes falhamentos, que muitas vezes retificam a linha de costa e finalmente a variação do nível médio do mar que na maior parte do litoral brasileiro apresentou elevação nos últimos anos (PIRAZOLLI, 1986).

Morfodinâmica da praia

A praia é por excelência um fragmento da superfície terrestre onde as convergências da atmosfera, litosfera e hidrosfera se desencadeiam de forma peculiar, representando de uma só vez a interface tríplice das esferas, em condições particulares.

Ao analisar a interface do mar com a superfície terrestre (hidrosfera com litosfera) observa-se uma franja de intersecção, que pode variar de centímetros a centenas de metros, ou mesmo em um local específico pode-se verificar variações sazonais no prisma praial, da ordem de dezenas de metros, relativos aos mais variados elementos, marés de sizígia, efeitos de ventos caracteristicamente sazonais, aumento da descarga hídrica continental, etc. Na presença de tormentas, soma-se as duas esferas anteriores a ação da atmosfera (3^a esfera), que, nestas condições, pode estender a franja de interferência até os limites do pós-praia ou beira mar (HUGGETT, 1995).

A interface da litosfera com a atmosfera resultaria num variado carreamento de sedimentos ora ao mar, ora à terra (MUEHE *et al.*, 1996). Estes eventos são percebidos pelo movimento de dunas migratórias, que alimentam toda dinâmica dos campos de dunas e planícies arenosas, ambientes adjacentes ao pós-praia. Contudo, a amplitude das respostas aos fluxos naturais das interfaces está estreitamente relacionada ao gradiente e

de arrebentação está localizada na profundidade a partir da qual mudanças nos bancos não são detectadas até a arrebentação (HALLERMEIER, 1981). Esta profundidade, denominada profundidade de fechamento do perfil, alcança entre 5 e 20 metros, variando de acordo com o aumento da altura e período da onda. A zona de surfe se estende do ponto de quebra ou área da arrebentação ao ponto onde a onda quebra sobre a face da praia, onde inicia o espraiamento (praia). Esta é a mais variável das três zonas e consiste de um amplo alcance do processo dinâmico conferindo o tipo da arrebentação e a corrente de deriva resultante. A zona de espraiamento é relativamente estreita e se estende do ponto de colapso da onda ao limite superior da ação do espraiamento (SHORT, 2000). O pós-praia inicia após o alcance máximo da onda, e termina na planície costeira ou após as dunas frontais no campo de dunas.

O perfil transversal de uma praia varia com o ganho ou a perda de areia, de acordo com a energia das ondas, ou seja, de acordo com as alternâncias entre o tempo bom (engordamento) e o tempo ruim (erosão), alguns com a própria duração temporal da medição do perfil, normalmente, porém, estão associados à variações sazonais de maior duração (DOLAN & FERM, 1967), e em escala temporal maior e até mesmo geológica, tem relação direta com a variação do nível do mar (LEATHERMAN, 1990). Métodos mais ou menos sofisticados de análises classificatórias têm sido empregados para caracterizar a variabilidade de um perfil de praia (MUEHE, 1994). Um modelo de variabilidade espacial da praia e zona de surfe, desenvolvido na “escola australiana de geomorfologia” reconhece seis estados ou estágios morfodinâmicos diferentes (Figura 2); dois extremos (dissipativo e refletivo) e quatro estados intermediários: banco e calha longitudinal, banco e praia de cúspides, banco transversal e terraço de baixa mar (MUEHE, 1994).

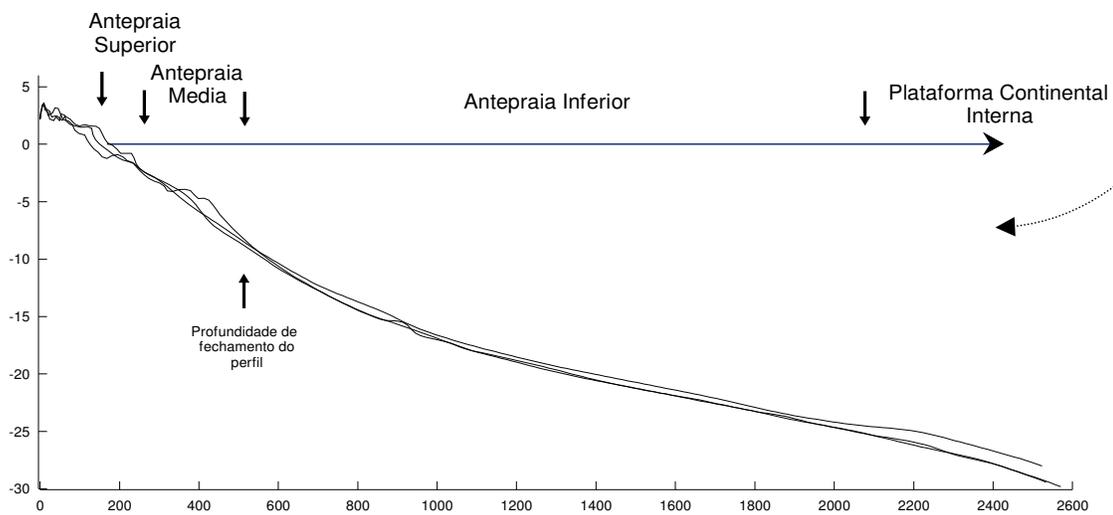
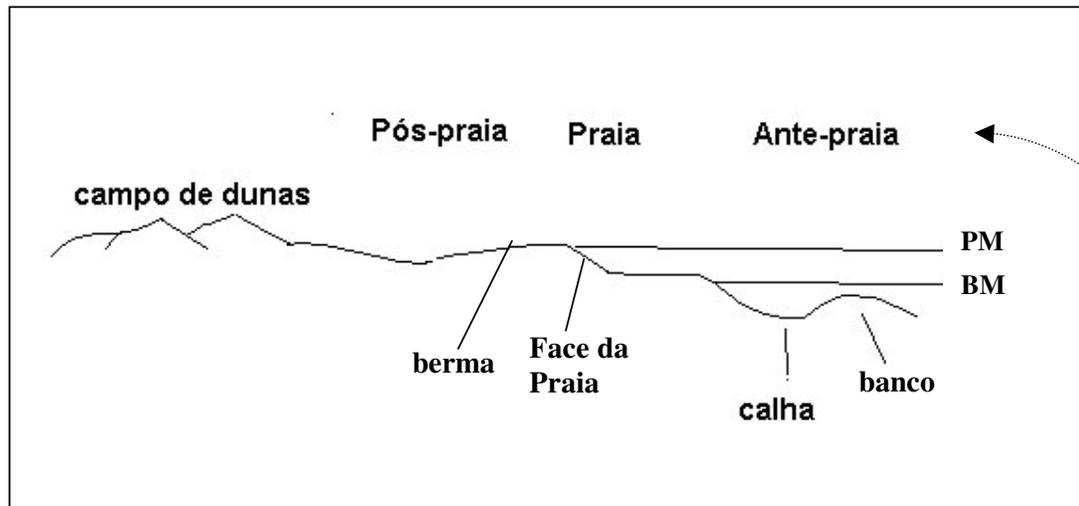


Figura 1. Desenho esquemático de uma praia, mostrando A, as suas três zonas (de espraiamento, Surfe e arrebatção); B, antepraia superior (zona de surfe e arrebatção), antepraia média (da antepraia superior a profundidade de fechamento de perfil) e antepraia inferior (da profundidade de fechamento de perfil ao limite com a plataforma continental interna). Esquema proposto por Muehe.

A morfodinâmica de praia envolve uma mútua interação de ondas (maré e correntes) com a topografia de praia, como aqueles processos de onda modificam a topografia, esta por sua vez modificará as ondas e assim por diante. O processo envolve interações de camada-limite entre movimento orbital e correntes translatórias e o sedimento da praia, que produz o transporte de sedimento na forma de bancos migratórios e sedimentos em suspensão. O transporte por sua vez, produz com o tempo características de meso-escala como bancos longitudinais, calhas e retrabalhamento da face de praia, e principalmente o equilíbrio do gradiente de praia, da base da onda ao limite do espriamento.

A relação entre o estado da praia e as características das ondas e dos sedimentos foi estabelecida por Wright e Short *in* MUEHE (1998a), utilizando o parâmetro Ômega de DEAN (1973), através da equação, que relaciona os seguintes fatores: altura da onda na arrebentação (H_b), a velocidade mediana de decantação dos grãos (ω_s) e o período da onda (T) (MUEHE, *op cit*).

$$\Omega = \frac{H_b}{\omega_s T}$$

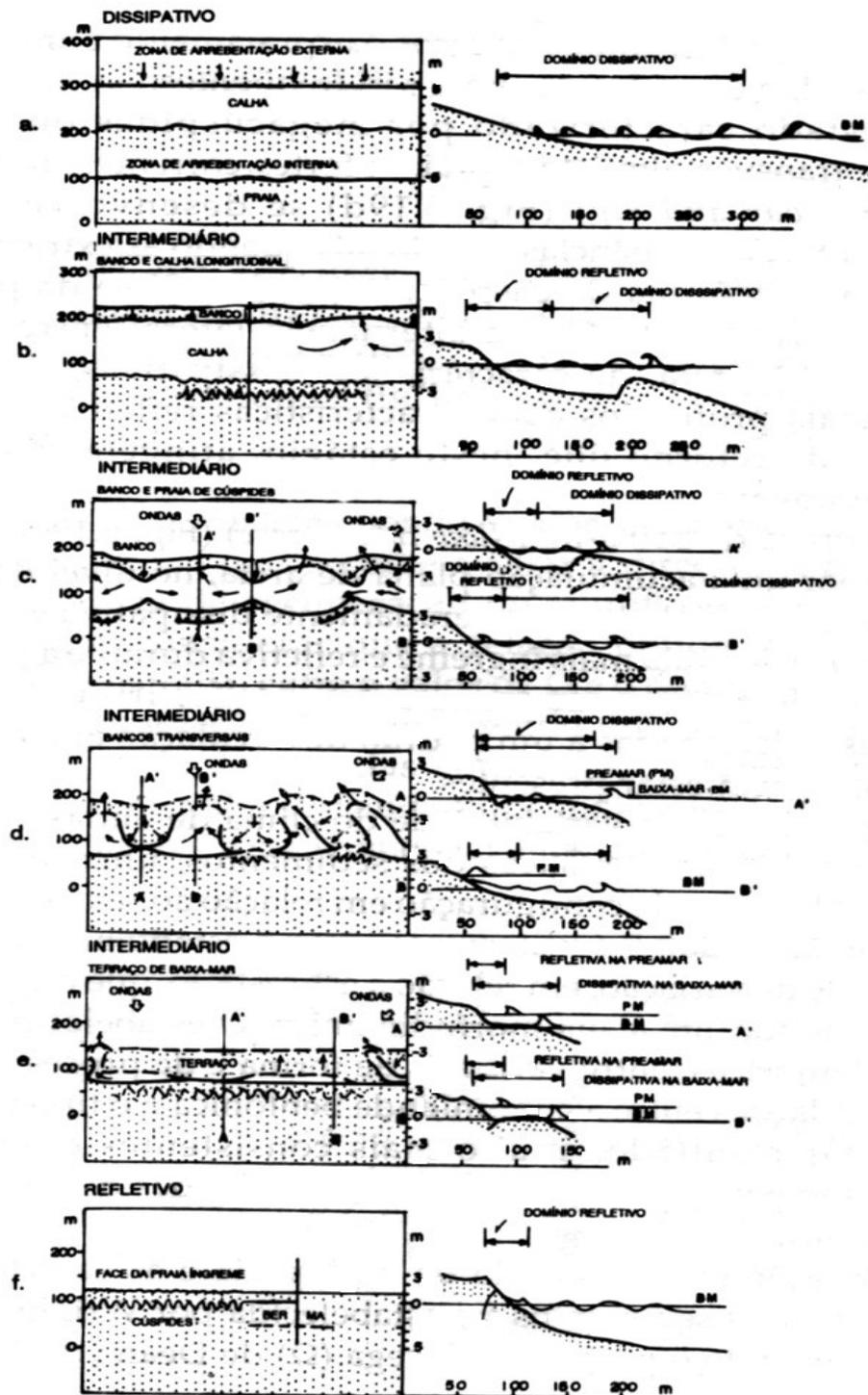


Figura 2. Características morfológicas dos seis estados de Praia (Muehe, 1994). a, dissipativo; b, banco e calha longitudinal; c, banco e praia de cúspides; d, bancos transversais; e, terraço de baixa-mar; f, refletivo.

Os valores resultantes dos estados relacionados ao parâmetro (Ω) de Dean são mostrados na Tabela 1:

Tabela 1. Valores médios de $\hat{\Omega}$ e desvio padrão para cada um dos estados morfológicos .

Estado	$\bar{\Omega}$	Desvio padrão
Refletivo	$\leq 1,5$	-
Terraço de baixa mar	2,40	0,19
Bancos transversais	3,15	0,64
Banco e Praia de cúspides	3,50	0,76
Banco e calha longitudinal	4,70	0,93
Dissipativo	$> 5,5$	-

Este parâmetro apresenta alguns problemas, a correspondência entre o estado observado em praias do Rio de Janeiro e o determinado através deste parâmetro de DEAN (1973) (Ω) apresentou graus de acerto geralmente insatisfatórios, com algumas exceções (MUEHE, 1998a.).

Outra forma de relacionar o estado morfodinâmico às condições oceanográficas é através do modelo de McARDLE & McLACHLAN (1992), que substituiu os parâmetros da onda e do sedimento por parâmetros do clima de espraiamento da onda na face da praia, conhecido por *Swash climate* (MUEHE, 1998a).

As praias dissipativas ocorrem sob condições de ondas altas ($> 2,5$ m) e de elevada esbelteza, com períodos de onda preferencialmente curtos, e areia de granulometria fina ($< 0,2$ mm), com $\Omega > 6$ (SHORT, 2000). São caracterizadas por uma zona de espraiamento amplo e de baixo gradiente, que se estende do pé da duna à zona

de maré baixa e pode ser maior que 100 metros de extensão, em marés baixas. Esta zona é usualmente plana podendo apresentar ocasionalmente cúspides espaçadas extensamente durante a maré alta. A zona de surfe mede de dois a mais de 100 metros de extensão e contém no mínimo de 2 a 5 bancos e calhas paralelas. A escarpa das dunas, face da praia, linha de praia, calhas e bancos são paralelas ao longo da praia com uma variação mínima na morfologia (SHORT, 2000). As praias dissipativas tendem a ter morfologia estável e exibem mudanças mínimas na linha de praia (SHORT & HESP, 1982).

Praias refletivas são consideradas de baixa energia, embora não ocorram necessariamente em ambientes de ondas baixas. Ocorrem com $\Omega < 1$, encontrado pela combinação de ondas baixas e/ou períodos longos e sedimentos grossos. Contudo, podem ser encontradas em ambientes com areia fina a média e ondas menor do que 1 m. São caracterizadas por apresentar uma praia e uma zona de espraiamento relativamente estreita, com cúspides comumente presentes (SHORT, 2000). A berma da praia é elevada e apresenta baixo estoque de areia na zona submarina (MUEHE, 1994). A zona de espraiamento é relativamente íngreme, com o gradiente dependendo do tamanho do sedimento (grão). Não apresentam bancos ou zona de surfe, e as ondas não quebram até alcançarem a base da praia (SHORT, *op. cit.*).

As praias intermediárias são o tipo mais comum e estão caracterizadas entre as de alta energia (dissipativa) e de baixa energia (refletiva) (WRIGHT & SHORT, 1984). A característica mais óbvia deste estado é a presença de uma zona de surfe segregada horizontalmente, com bancos e correntes de retorno. Ocorrem com Ω entre dois e cinco. Estas condições são favoráveis pelo extenso alcance das condições ambientais, com ondas moderadas à altas (0,5 a 2,5 m), areia fina à média e longos períodos de onda

(SHORT, 2000). As praias intermediárias são classificadas em quatro estados: banco e calha longitudinal, banco e praia de cúspides, banco transversal e terraço de baixa mar (MUEHE, 1994; SHORT, *op. cit.*).

Morfodinâmica da antepraia

A antepraia, como citado anteriormente, é a zona submersa, compreendida entre a praia (espraiamento) e a plataforma continental interna. A antepraia superior (zona de surfe até arrebentação) e a antepraia média (da arrebentação até a profundidade de fechamento do perfil) compreendem as zonas onde ocorrem os processos morfodinâmicos principais, que resultam na configuração da praia.

A batimetria, na medida em que espelha a topografia do fundo marinho, é responsável pela concentração e dispersão da energia das ondas na linha de costa (SWIFT *et al.*, 1985). Assim valas, calhas ou canhões submarinos paralelos ao fluxo concentram ortogonais, enquanto bancos paralelos e alto fundos dispersam as ortogonais, na medida que, estruturas deste tipo recebem obliquamente as frentes de ondas. Há atenuação, incremento ou ambas para uma frente de ondas.

A distribuição granulométrica em uma enseada é conseqüência dos fluxos que ocorrem na mesma, havendo na literatura modelos para a dispersão granulométrica para depósitos de condições variadas (SUGUIO & MARTIN, 1978).

A modelagem de propagação de ondas foi explorada exhaustivamente nas últimas décadas. Atualmente, há uma série de programas disponíveis para essas análises, sendo que os parâmetros de entrada não diferem significativamente. Neste trabalho, foram utilizados os programas Jonswap, Mike 21 e Pierson-Moskowitz.

As marcas de ondulações são marcas características sobre a areia, formadas por fluxos da água e são provavelmente as feições sedimentares mais discutidas e descritas (EVANS, 1941). Através das marcas de ondulações é possível interpretar o tipo, direção e velocidade das correntes formadoras, refletindo as condições hidráulicas de sua formação (TANNER, 1967). Alguns dados são de grande importância para o estudo das marcas de ondulação: altura e comprimento de onda, orientação das cristas, granulometria entre crista e calha, entre outras. A altura das marcas de ondulação é definida como a elevação de uma crista sobre a cava adjacente. O comprimento de onda é a distância medida entre as cristas. A variação da altura aumenta quando a velocidade do fluxo aumenta e vice-versa. Já a orientação das cristas é descrita pela direção do topo das cristas das ripples (TANNER, *op. cit.*). As marcas de ondulação são sub-divididas em várias classes morfológicas e genéticas, como simétricas e assimétricas, quanto ao tamanho, ripples, meso-ripples e mega-ripples, geradas por ondas, correntes ou marés (KOMAR, 1976).

TRABALHOS ANTERIORES

Nenhum trabalho geomorfológico feito especificamente sobre a Praia dos Anjos foi encontrado, exceto SILVA (1985) que publicou trabalho sobre a sedimentação e morfologia do fundo da plataforma continental interna, nas proximidades da Ilha de Cabo Frio, RJ. Ampliando as áreas de influência, CARVALHO (1990) apresentou sua dissertação de mestrado sobre a morfologia e sedimentação interna entre Saquarema e Cabo Frio. GUERRA (1992) estudou a margem continental de Cabo Frio. Trabalhos geológicos foram realizados sem tecer, no entanto, comentários sobre geomorfologia costeira, entre outros, FONSECA (1993), que tratou da geologia de Cabo Frio, e LIMA

(1976), que tratou da geologia dos maciços alcalinos do estado do Rio de Janeiro. Vários autores estudaram a margem continental brasileira, onde citavam alguns dados sobre a região de Cabo Frio e Arraial do Cabo, a exemplo, ROCHA *et al.* (1975), ZEMBRUSCKI (1979), ZEMBRUSCKI *et al.* (1972) e FRANCISCONI *et al.* (1992). MARTIN & SUGUIO (1989) e MUEHE *et al.* (1989), escreveram sobre a evolução do cordão litorâneo. TURQ *et al.* (1999) escreveram sobre a evolução das lagoas e cordões arenosos.

2. OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

O objetivo do presente trabalho é a caracterização da influência da construção de um quebra-mar sobre a morfodinâmica da praia e antepraia de uma enseada, no caso a enseada dos Anjos em Arraial do Cabo, RJ, utilizando as técnicas da geomorfologia costeira.

A Praia dos Anjos abriga o único porto da região dos lagos com 18 anos de registros maregráficos. A construção do quebra-mar do Porto do Forno resultou na mudança da distribuição da energia das ondas ao longo do arco, oferecendo em uma pequena enseada, a variação de ambientes de praia abrigada à semi-exposta, conferindo aspectos extremamente didáticos à área de estudo.

3. ÁREA DE ESTUDO

3.1. INTRODUÇÃO

O município de Arraial do Cabo (Figura 3) está localizado a 165 km à leste da cidade do Rio de Janeiro, apresentando 8 praias. A praia dos Anjos está localizada na enseada dos Anjos (Figura 4), onde pode-se observar um porto, uma marina e um molhe adjacente ao porto (Figura 5).

Esta área tem características peculiares, possui uma enseada restrita, com arco praial de aproximadamente 1200 m e corda de 1075 m, onde foi construído um quebra-mar de rochas que fecha a entrada da enseada em cerca de 30% da seção transversal. Na enseada, um porto com canal de acesso dragado, uma marina, enrocamento e emissário no flanco sul (dentro do perfil ativo da praia) constituem as intervenções humanas diretas sobre o local. Esta área serve de fundeadouro natural desde 1500 para todo o tipo de embarcações. Todas as paisagens refletem também transformações temporais e conservam testemunhos de tempos passados. Mas enquanto as paisagens naturais só variam em ritmo secular ou geológico (exceto os eventos episódicos), as paisagens econômicas mudam relativamente depressa (TROLL, 1997).

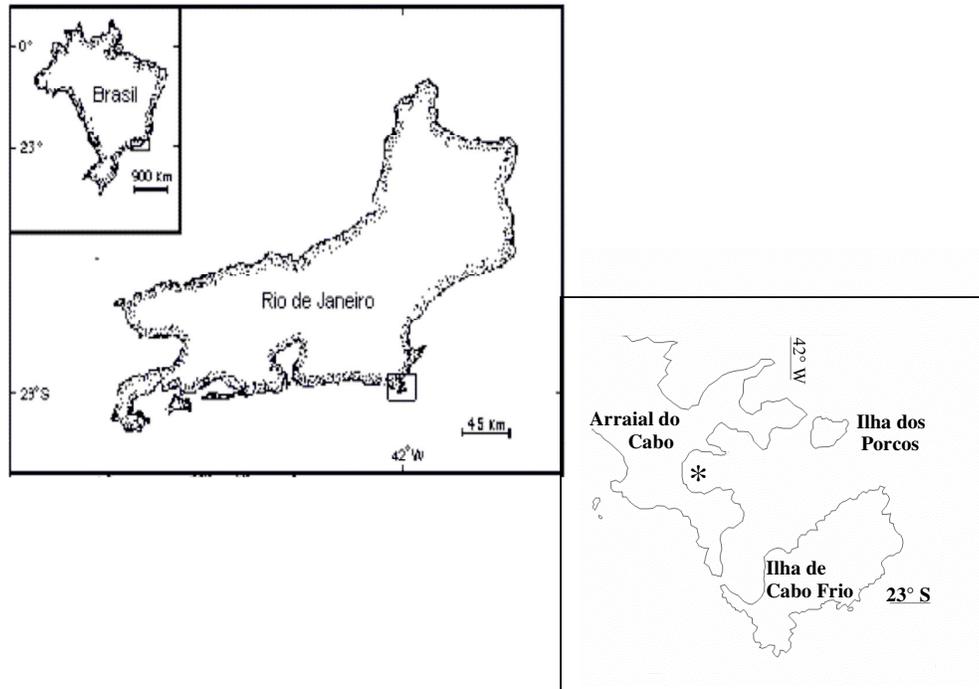


Figura 3. Localização do município de Arraial do Cabo, RJ. Em destaque (*) a área de estudo - Praia dos Anjos.



Figura 4. Foto aérea (2002) mostrando a enseada dos Anjos, a marina com seus 3 atracadouros, o porto do Forno e o quebra-mar. Fonte Arquivo da Divisão de Cultura; acervo da Prefeitura Municipal de Arraial do Cabo; fotógrafo Ronaldo Miranda Fialho.



Figura 5. Foto da Praia dos Anjos (1997) mostrando a marina de pesca (com os 3 atracadouros) e o cais do Porto do Forno (com um navio atracado). Fonte Divisão de Documentação do IEAPM; fotógrafo Sérgio Roque Machado.

3.2. CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA

3.2.1. Geologia / Geomorfologia

A cidade de Arraial do Cabo, sede, situado nas coordenadas 23°00'S e 042°00'W, se localiza numa planície costeira flanqueada por dois promontórios rochosos (Figura 6). O contorno da costa tem a forma de uma península, entrecortada por praias circundadas por costões rochosos. A parte continental é constituída predominantemente por ortognaisses com bandeamento gnáissico de orientação NW-SE, subhorizontal com idade transamazônica (entre 1870 e 2070 Ma). Fonseca (1993) a denomina de província ortognaissica do fragmento tectônico Cabo Frio, e MACHADO FILHO *et al.* (1983), de Complexo Cabo Frio.

A Ilha de Cabo Frio é constituída por um imenso batólito de rochas alcalinas, hipoabissais, exceto o flanco SE-S onde afloram brechas tectônicas e o embasamento cataclasado. Estas rochas alcalinas são datadas entre 49 e 71 Ma (AMARAL *et al.*, 1967), e em conjunto com as rochas do embasamento continental somado ao duplo tómbolo, que conecta as rochas ao continente, formam o CABO FRIO (Figura. 6).

Vários modelos tectônicos foram desenvolvidos para explicar essas litologias, que devido ao objetivo do trabalho não trataremos aqui.

A plataforma continental interna é recoberta por areias, com um depocentro lamoso bem caracterizado nas proximidades da Ilha de Cabo Frio (SAAVEDRA & MUEHE, 1994). Esta região, comparada com as adjacentes à plataforma continental, sofre um pronunciado adelgaçamento, perfeitamente visível no comportamento da isóbata de 50 m, e evidenciado pelo fenômeno da ressurgência com a proximidade e

mobilidade de volumes de águas profundas – Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (DHN, 1985).

Algumas evidências sugerem que as planícies de crista de praia, que se estendem de Arraial do Cabo a Saquarema e de Arraial do Cabo a Cabo Frio, são formadas por dois cordões arenosos distintos gerados recentemente nas duas últimas transgressões marinhas. O mais interno, Pleistocênico, formado provavelmente há 120.000 anos A.P., represou a água rasa formando a lagoa de Araruama. E o outro cordão, mais recente – holocênico, com idades de 5.300 anos A.P. Entre os dois cordões formou-se outro sistema de lagunas intracordões. Nas proximidades de Arraial do Cabo, o cordão holocênico cavalga o pleistocênico, formando um único cordão (MARTIN & SUGUIO, 1989) (Figura 6).

A Enseada dos Anjos está inserida no macrocompartimento Bacia de Campos (MUEHE, 1998 b), subdivisão da região Oriental ou Leste do litoral brasileiro, onde é descrita com ventos predominantes de nordeste, com clima quente, semi árido (BARBIERI, 1984), com extenso campo de dunas, e areias provenientes da plataforma continental interna.

3.2.2. *Clima*

As características climáticas da região são peculiares por apresentar condições de clima semi-árido quente (BSh) numa pequena extensão (BARBIERI, 1984). Os ventos de tempo bom (N, NE e E) são predominantes durante o ano pela ação da Massa Tropical Atlântica, com 55,8% de incidência. Ocorre uma inversão por influências de frentes frias vindas do sul e do sudoeste, as quais geram ventos que representam 22% de incidência total da região. A intensidade dos ventos sul e sudoeste é grande, mas sua

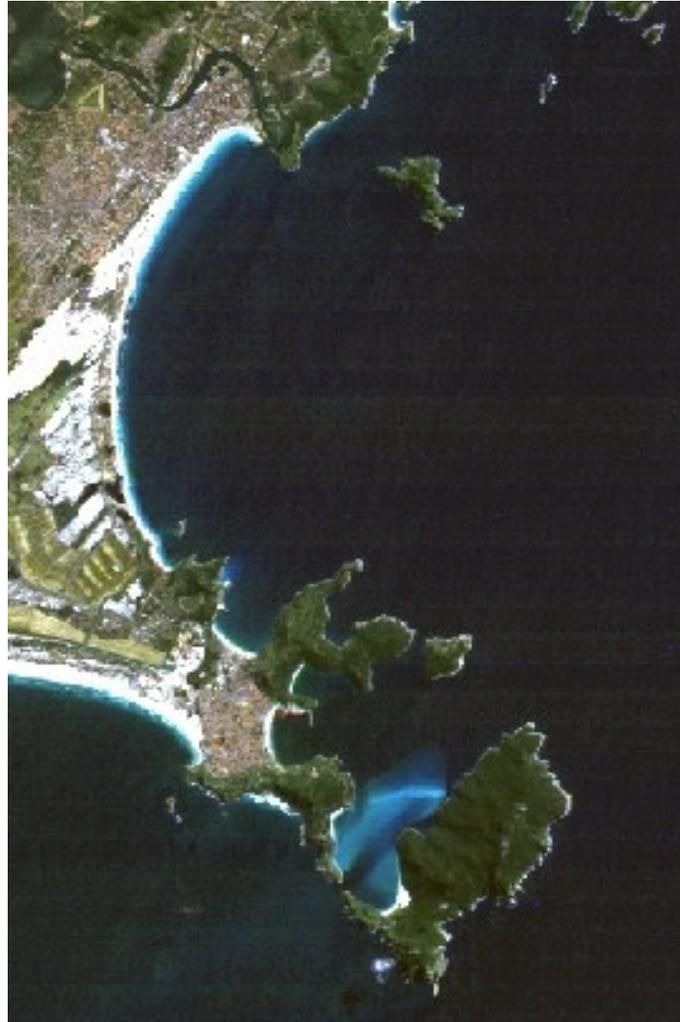


Figura 6. Imagem de satélite (2002) mostrando o cabo Frio (Arraial do Cabo e Ilha de Cabo Frio) Fonte INPE.

incidência é pequena nos registros meteorológicos da área, isto é, embora em menor frequência, os ventos do quadrante sul sopram com grande intensidade castigando severamente a região. O clima de ondas acompanha as características eólicas, onde as ondas de tempo bom possuem menor energia que as de tempestades (SAAVEDRA & MUEHE, 1994).

3.2.3. *Parâmetros Oceanográficos*

3.2.3.1. Ondas

O clima de ondas da região é reflexo dos ventos predominantes e do marulho. Apesar do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM) dispor de um ondógrafo com dados adquiridos continuamente, o fato de sua posição estar nas proximidades do Focinho do Cabo, não foi favorável para o registro das ondulações na Praia dos Anjos. Por isso foi utilizado o modelo W-Watch (INPE), que geralmente acusava ondulações de nordeste com alturas variáveis entre 0 e 2,5 metros, com razoável correlação com as observações de campo.

3.2.3.2. Marés

A maré na enseada dos Anjos é descrita como assimétrica, semi-diurna com desigualdade (CHM/DHN, comunicação pessoal). Os registros do marégrafo do Porto do Forno remontam os últimos 18 anos e indicam que o nível do mar, neste período, permaneceu estável. A amplitude de maré é de aproximadamente 1 metro.

3.3. EVOLUÇÃO HISTÓRICA

A localização privilegiada da Praia dos Anjos na costa brasileira, entre seus principais portos e as rotas internacionais, associada à geomorfologia ímpar de ser uma enseada limitada por dois grandes promontórios e protegida, a frente destes, pela Ilha de Cabo Frio, conferiu à enseada o título de fundeadouro natural preferido dos nautas desde o século XVI. Inicialmente chamada Praia da Rama, depois, possivelmente por influência francesa, Praia D'Anjou, e finalmente Praia dos Anjos sua denominação atual.

As características citadas impregnaram a evolução histórica e morfodinâmica da enseada pelas construções de várias obras em seu interior:

- Entre os séculos XV a XVIII a enseada dos Anjos serviu como ponto de embarque de imensas quantidades de pau-brasil, e outras madeiras nobres.
- A partir dos séculos XIX e XX foi usado para o escoamento de sal, as salinas da região foram exploradas desde o Brasil imperial até os dias atuais. Em 1928 por decreto de Washington Luís (18460 de 08/11/1928) foi construído o primeiro porto, pela empresa *Perynas S.A.* (Figura 7 A e B), a partir de então, as obras foram sendo modernizadas e ampliadas (Figura 8).
- Em 19 de janeiro de 1930 houve uma tormenta histórica na cidade, conhecida como temporal da vaca, com níveis pluviométricos gigantesco, ocasionando um empoçamento de água em toda depressão do estádio à base da encosta do Pontal, como conseqüência, levou a construção de um valão para escoamento que desaguava entre o centro e o sul da enseada dos Anjos, aproveitado depois como canal de esgoto e dreno pluvial da cidade (Figura 9).

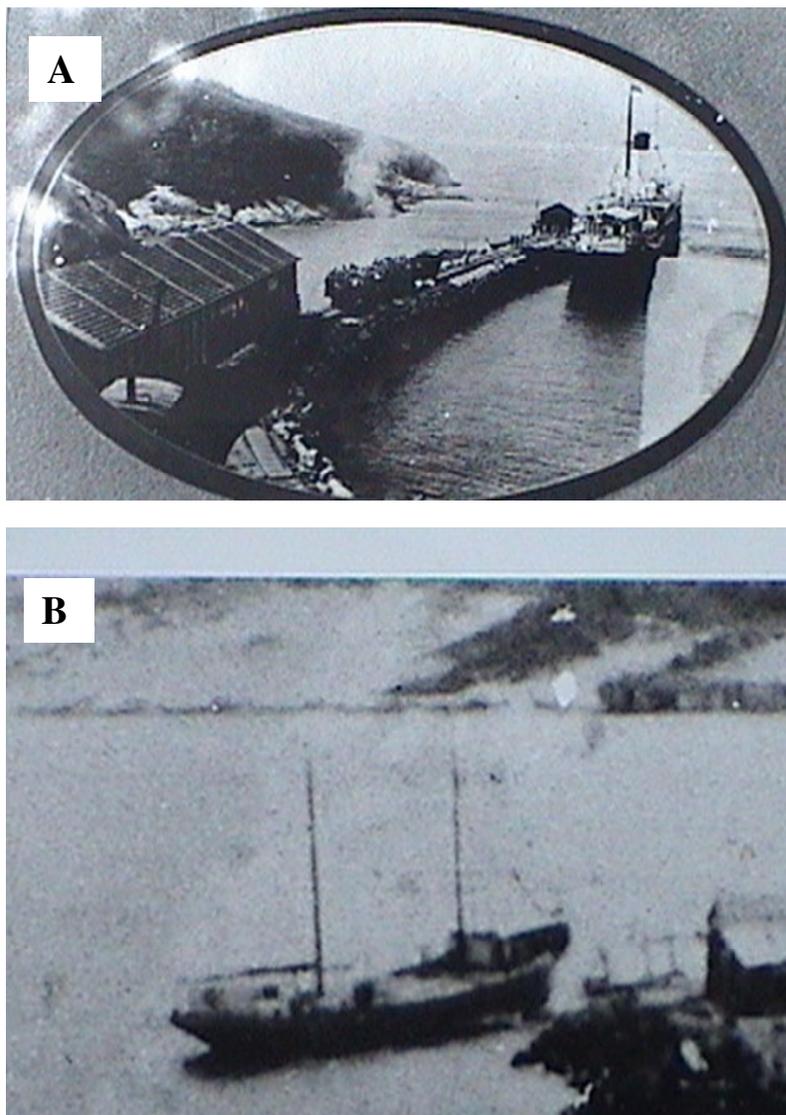


Figura 7. Foto do primeiro porto (atual Porto do Forno) da cidade de Arraial do Cabo, RJ (década de 30), usado para escoamento de sal. Ainda na ausência do quebra-mar. A, vista de frente; B, vista de cima do morro do Forno. Fonte Arquivo da Divisão de Cultura; acervo da Prefeitura Municipal de Arraial do Cabo; fotógrafo Ronaldo Miranda Fialho.

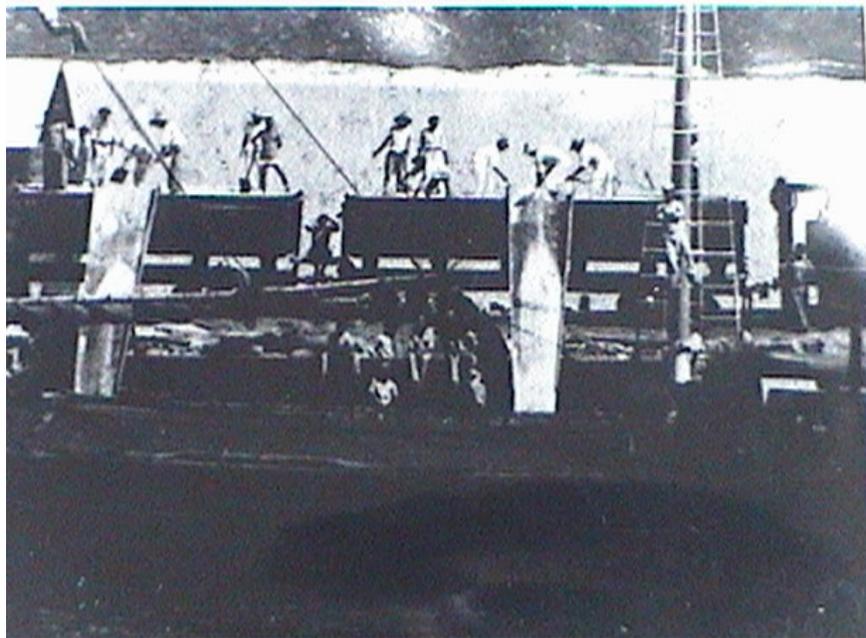


Figura 8. escoamento da produção de sal no Porto do Forno (1930), Arraial do Cabo, RJ. Fonte Arquivo da Divisão de Cultura; acervo da Prefeitura Municipal de Arraial do Cabo; fotógrafo Ronaldo Miranda Fialho.



Figura 9. Praia dos Anjos com destaque para o emissário desaguando no mar A (1993), vista aérea; B (2002) Emissário fechado pela berma da praia. Fonte Divisão de Documentação do IEAPM; fotógrafo Sérgio Roque Machado.

- Em 1936 foi lançada a primeira edição da Carta Náutica 1503, com a batimetria da Praia dos Anjos e constando o primeiro porto.
- Em 1959 fixou-se na enseada a indústria de pesca *Tayo*, do Japão, que comercializava carne de baleia, começando a operar em março de 1960. Para tanto, montou suas estruturas no extremo sul da enseada, com um pier em forma de Y, para atracação de seus pesqueiros e grandes rampas e outras construções no pós-praia (Figura 10).
- Entre 1955 e 1958 foi construída a planta industrial da Companhia Nacional de Álcalis, inaugurada a partir de 1959, tendo em 1960 sua primeira produção, implementando então a operação portuária, que passou a escoar barrilha.
- Em 1955 iniciou-se a construção do quebra-mar do Porto do Forno, concluído em 1959.
- Em 1960 a embarcação *Netuno*, com água aberta, ao arribar para varação na Praia dos Anjos, colide com as pedras do quebra-mar indo encalhar no centro do arco praial, onde se encontra soterrada pelo aporte sedimentar, carta de 1974 à atual (processo nº 4029 do anuário de jurisprudência de 1961 do Tribunal Marítimo) .
- Em 1963 a fábrica *Tayo* encerrou suas atividades.
- Em 1965 o porto foi modernizado (Figura 11).
- Em 1971 foi criado o projeto *Cabo Frio*, vinculado ao Instituto de Pesquisa da Marinha (IPQM), sediado na Praia dos Anjos, que em 1975 ocupou as instalações da fábrica *Tayo*, utilizando o pier como atracadouro de suas embarcações. A partir de 1985 passou à denominação de Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM) (Figura 12).



Figura 10. Enseada dos Anjos(1990) com destaque para o pier em forma de “Y”, utilizado pela empresa Tayo desde 1959 para atracação de pesqueiros. Fonte Divisão de Documentação do IEAPM.



Figura 11. Modernização do Porto do Forno (1965), Arraial do Cabo, RJ. Presença do quebra-mar, protegendo o local de atracação dos navios. Fonte Arquivo da Divisão de Cultura; acervo da Prefeitura Municipal de Arraial do Cabo; fotógrafo Ronaldo Miranda Fialho.



Figura 10. Enseada dos Anjos(1990) com destaque para o pier em forma de “Y”, utilizado pela empresa Tayo desde 1959 para atracação de pesqueiros. Fonte Divisão de Documentação do IEAPM.



Figura 11. Modernização do Porto do Forno (1965), Arraial do Cabo, RJ. Presença do quebra-mar, protegendo o local de atracação dos navios. Fonte Arquivo da Divisão de Cultura; acervo da Prefeitura Municipal de Arraial do Cabo; fotógrafo Ronaldo Miranda Fialho.



Figura 13. Pier do IEAPM. A, Foto aérea do pier em ruínas 1992; B, Foto do pier já demolido 1995. Fonte Divisão de Documentação do IEAPM.

- Em 1981 houve a expansão do quebra-mar do Porto do Forno, tendo sua extremidade posicionada bem avante do cais do anel onde terminava antes. Além disto foi feito um enrocamento na berma do IEAPM (Figura 12). O pier do IEAPM a partir de então só foi utilizado para carga e descarga rápida, não tendo condições de pernoite para as embarcações. Em 1991, devido ao novo regime de ondas ocasionado pela expansão do quebra-mar, o pier do IEAPM começou a ruir (Figura 13).
- Entre 1990/92 foram construídas 3 marinas no flanco norte da praia, entre o porto e a praia, para abrigar os barcos que fundeavam na área (Figura 14).
- Em 1993, conforme relato dos moradores, foram feitas tentativas de recuperação do flanco sul da praia em forte processo erosivo. Inúmeras cargas de caminhões de areia foram colocados, que em menos de um ano, foram retirados pelo mar e o local retornou a situação inicial.
- Em 1995 o pier do IEAPM foi explodido, para segurança dos banhistas, pois já estava condenado e desmoronando pouco a pouco.
- Em 1996, na tentativa de despoluir a praia, foram feitas obras para mudar a declividade do emissário de esgoto, invertendo o seu curso. Trechos tipo eclusas foram construídas e potentes bombas de recalque foram instaladas para enviar o fluxo do esgoto para a estação de tratamento. No entanto, com aumento da ocupação da cidade, em feriados ou férias, ou fortes chuvas (pouco freqüentes), as eclusas e bombas não dão vazão, e ocorre o transbordamento do esgoto na Praia dos Anjos.
- Vários estudos têm sido realizados para modificações no porto e na enseada da Praia dos Anjos, no entanto, até o momento permanece a situação de 1997, exceto pelo



Figura 14. Foto aérea da Praia dos Anjos mostrando os 3 atracadouros no flanco Norte da praia. Fonte Arquivo da Divisão de Cultura; acervo da Prefeitura Municipal de Arraial do Cabo; fotógrafo Ronaldo Miranda Fialho.

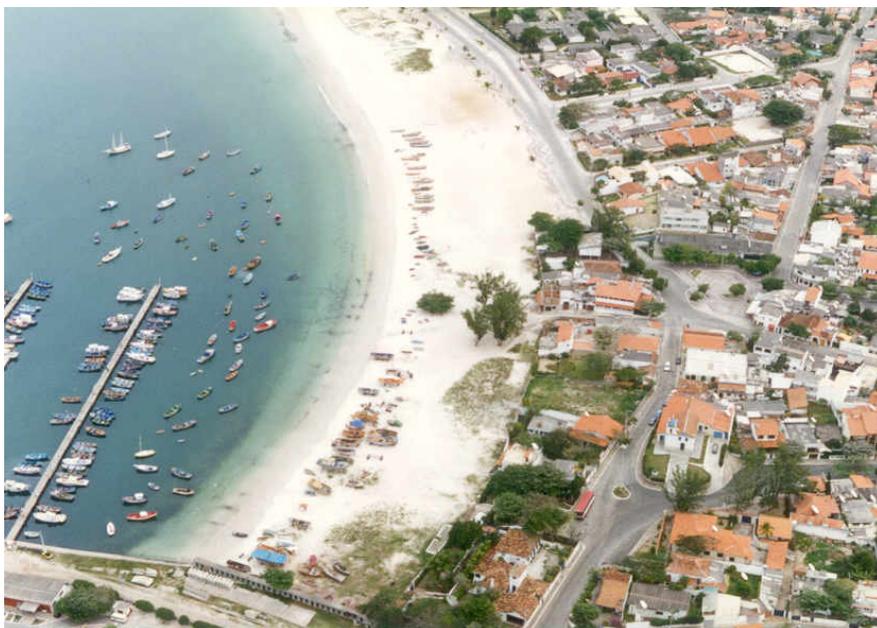


Figura 15. Foto aérea do flanco Norte da praia dos Anjos (1999), mostrando o aumento dos barcos próximo aos atracadouros. Fonte Divisão de Documentação do IEAPM.



Figura 16. Foto de 1953 da praia dos Anjos mostrando ao fundo as ondas quebrando desde o flanco Norte até o flanco Sul. Fonte Arquivo da Divisão de Cultura; acervo da Prefeitura Municipal de Arraial do Cabo; fotógrafo Ronaldo Miranda Fialho.

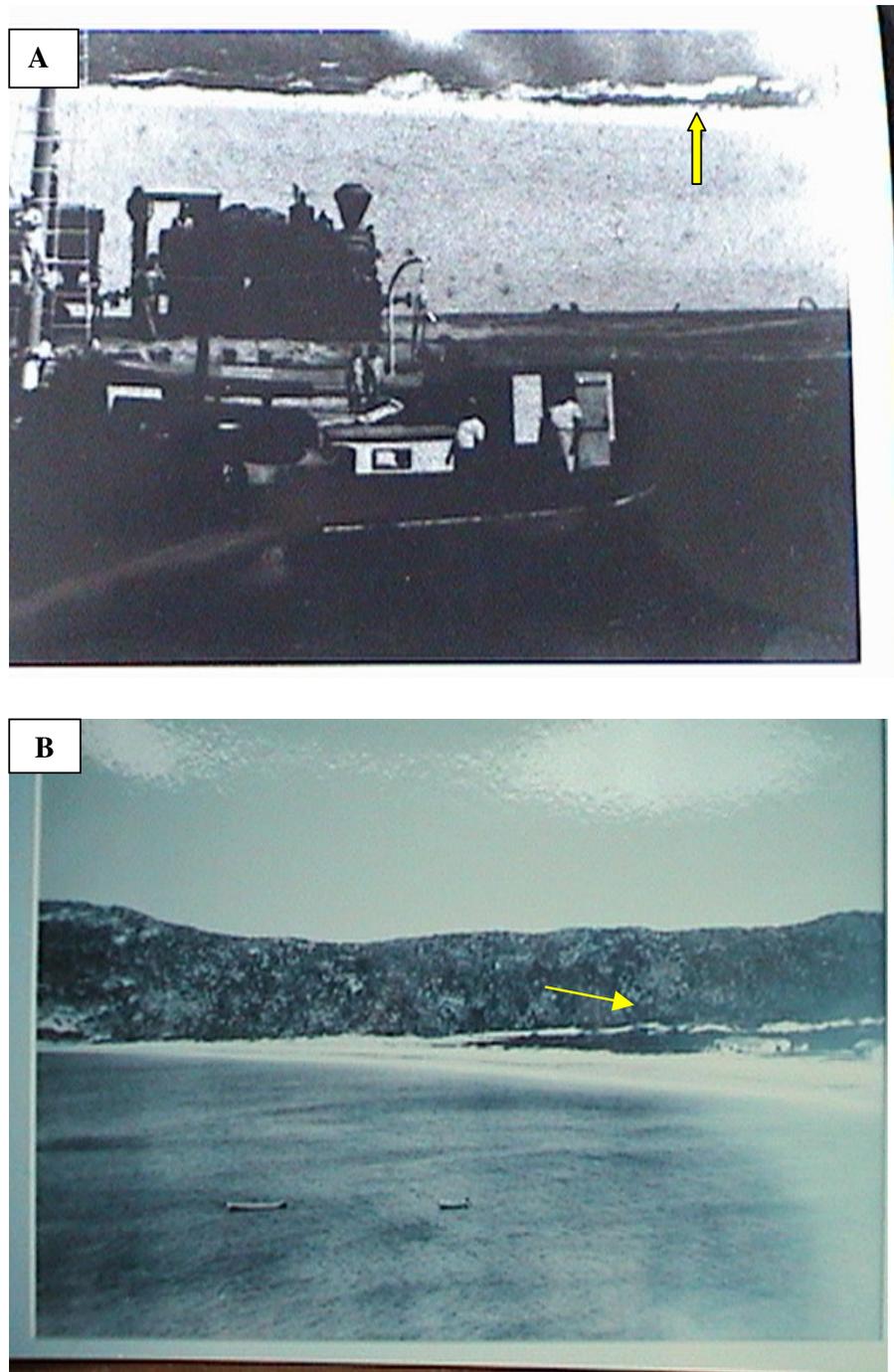


Figura 17. Foto do Porto do Forno (A e B década de 30), mostrando ao fundo as dunas migratórias na base do promontório do Pontal do Atalaia, Arraial do Cabo, RJ. Fonte Arquivo da Divisão de Cultura; acervo da Prefeitura Municipal de Arraial do Cabo; fotógrafo Ronaldo Miranda Fialho.

aumento do número de barcos que no momento reflete a situação que motivou a construção das marinas (Figura 15).

As seqüências das figuras acima ilustram a transformação da enseada, podendo ser observado nas primeiras, o clima de ondas homogêneo da praia, com as ondas de tamanho igual, ao longo da enseada (Figura 16). As dunas migratórias na base do promontório do Pontal do Atalaia aparecem ao fundo (Figura 17 A e B).

Esta evolução histórica foi revisada e retificada pelo historiador cabista Sr. Reinaldo Martins Fialho.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Trabalhos de campo

Método de demarcação e levantamento de perfis transversais à praia.

O primeiro perfil realizado na praia dos Anjos foi o central (perfil 1), a princípio seria o único, pois ficava livre da sombra do molhe. No entanto, no campo foi observado que as ondas maiores ficavam mais ao sul, próximo ao Hotel Ressurgência, que levou ao estabelecimento de um segundo perfil no flanco sul (perfil 2). Um terceiro perfil foi finalmente demarcado no flanco norte (perfil 3), defronte ao Museu Oceanográfico, na parte de baixa energia da enseada (Figura 18).

Foi determinada a orientação de cada perfil, buscando estabelecer uma direção perpendicular à linha de praia. Esta definição foi realizada por meio de aproximações, através da direção geral do escarpamento da pós-praia e do mergulho da face da praia, com o auxílio de bússola.

Após a definição da direção do perfil foram cravados piquetes de madeira, com 1,0 m de comprimento e 6,5 cm de diâmetro, demarcando o início de cada perfil. O

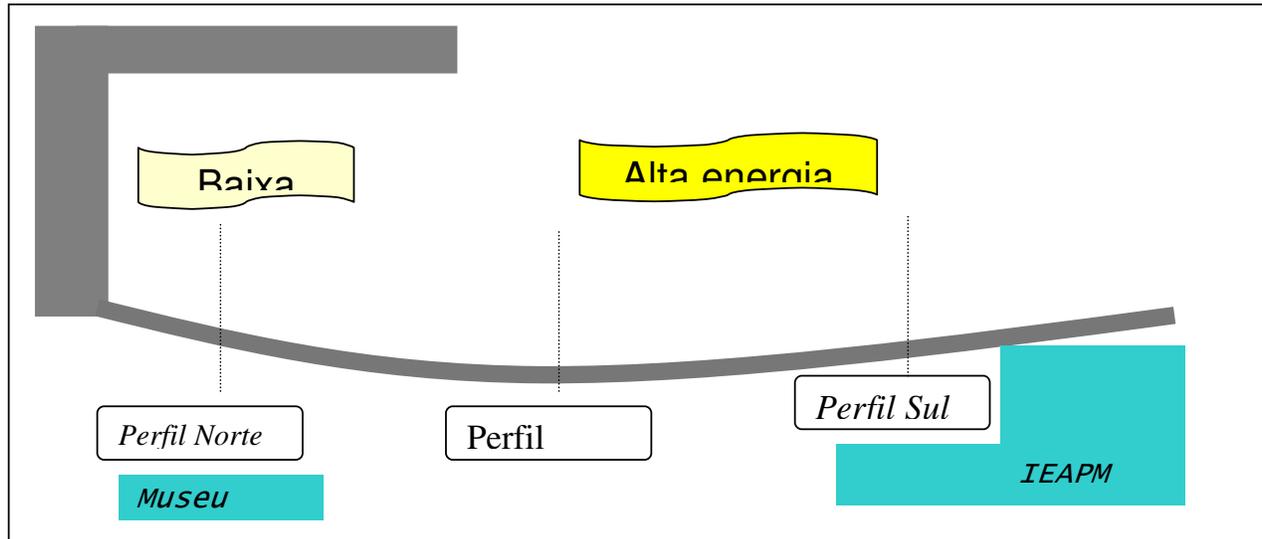


Figura 18. Desenho esquemático dos perfis na Praia dos Anjos, Arraial do Cabo, RJ.

posicionamento dos piquetes ao longo do perfil foi feito por meio de um nível topográfico. Este conjunto de piquetes, além de fixar a direção do perfil, teve sua altura definida a partir da determinação aproximada do nível médio do mar, através do nivelamento topográfico em combinação com a curva de maré de previsão horária fornecida pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) para o Porto do Forno, Arraial do Cabo. Esta metodologia foi definida em um método expedito (BIGARELLA *et al.*, 1961; MUEHE *et al.*, no prelo) para o estabelecimento de cotas em locais distantes de referências de nível, utilizando a previsão de marés.

Depois da fixação dos marcos topográficos, foi realizado um nivelamento topográfico, desde o reverso do cordão litorâneo até o ponto limite de visada, mar adentro, para a caracterização, tanto da porção emersa do perfil, quanto da praia e porção submersa. Posteriormente foi feito o nivelamento entre os perfis para amarração ao mesmo *Datum* vertical.

O levantamento dos perfis foi realizado regularmente, buscando intervalos mensais durante o período de março de 2000 a novembro de 2001, através de nivelamento topográfico e eventualmente complementado, na praia, pelo método de balizas (EMERY, 1961).

Medição de parâmetros morfodinâmicos.

Em cada um dos perfis de praia foram realizadas observações dos parâmetros: altura (H_b), período (T) e obliquidade (α_b) da onda na arrebentação. A altura da onda foi medida com o auxílio de mira topográfica, levada até ao ponto próximo do refluxo da onda, onde o observador lê a altura na intersecção da linha imaginária, ligando o horizonte à crista da onda com a mira. O período foi determinado pela contagem do tempo de onze seqüências de arrebentações das ondas, dividido por dez; no caso de ondas arrebentando em múltiplas linhas, considerou-se a arrebentação mais externa. Para a determinação do estado de praia, por ocasião do levantamento foi feita a observação direta e comprovação com a equipe. Procurou-se caracterizar a onda

significativa considerando a tendência natural ao intuitivamente descrever o estado do mar.

Para caracterizar o regime de espraiamento-refluxo da onda (*swash climate*) na face da praia, ou o regime de espraiamento foram realizadas as medidas propostas por McARDLE & McLACHLAN (1992): distância do espraiamento (medida entre o refluxo máximo da onda, na base da face da praia e o alcance máximo de espraiamento), duração e velocidade do espraiamento, período do espraiamento-refluxo (intervalo de tempo correspondente ao ciclo espraiamento-refluxo) e o gradiente da praia.

Para caracterizar o regime de fluxo foi utilizada a relação entre a duração do espraiamento (T_s) e o período da onda (T), estabelecido por KEMP & PLINSTON (1968):

$T_s / T < 0,5$	Fase baixa
$0,5 < T_s / T < 1,0$	Fase média
$T_s / T > 1,0$	Fase alta

Na fase baixa, o fluxo de espraiamento e refluxo se completam antes da chegada de uma nova onda. Na fase média, o ciclo é interrompido pela chegada de uma nova onda, antes de completar o refluxo, gerando turbulência na parte inferior da face da praia. Na fase alta, não ocorre o refluxo, pois a frequência de chegada das ondas é muito maior que o tempo para completar o ciclo de espraiamento-refluxo. Neste caso, o escoamento da água acumulada na face da praia tem que ocorrer por percolação e fluxo lateral.

Para os perfis transversais foi utilizado o modelo de planilha do Laboratório de Geografia Marinha do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

Modelo de Equilíbrio em Planta de Praias de Enseada – MEPPE

O MEPPE é um software que auxilia no processo de análise do modelo parabólico de equilíbrio das praias de enseada. O MEPPE, desenvolvido por alunos da Universidade do Vale do Itajaí – SC, se utiliza do modelo parabólico desenvolvido por HSU *et al.* (1987) e baseia-se em relações entre características geométricas da praia em planta e o ângulo de incidência das ondas na praia. Através do modelo parabólico é possível determinar se a praia está em equilíbrio estático ou dinâmico.

A principal vantagem do sistema MEPPE apresenta-se na comparação frente ao processo de cálculo e desenho da linha de costa realizado manualmente. Através do MEPPE o cálculo é acelerado pela utilização do processamento computacional, usando o mouse para plotar a localização do promontório, extremidade da praia e direção predominante de ondas.

Batimetria

A batimetria foi realizada pela WARS, Microars Consultoria e projetos Ltda. em dezembro de 1996 para o Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM), tendo coberto toda a enseada dos Anjos até a distância de 1200 m perpendicular ao centro do arco da praia. As linhas de sondagem perpendiculares à praia tiveram um espaçamento de 25 m entre si. As linhas de controle ortogonais às primeiras tiveram espaçamento de 300 m, e a plotagem dos pontos das linhas em função da escala

gráfica 12,5m entre si (dados retirados da carta batimétrica referida). As profundidades foram relacionadas ao nível de redução da DHN para o local. O posicionamento foi submétrico com DGPS em tempo real, a projeção plana coordenada UTM, *Datum* Córrego Alegre, MC = - 45°.

Amostragem de sedimento – Granulometria

A amostragem de sedimento foi realizada no dia 08 de fevereiro de 2001. A malha inicial foi composta de 34 pontos, cobrindo toda a enseada com espaçamento aproximado de 125 metros. Para a amostragem foi utilizado uma draga tipo Gibbs de arrasto, GPS manual – Garmin, bote inflável com motor de popa e sacos plásticos pré-etiquetados para acondicionamento das amostras. Uma campanha de amostragem complementar foi realizada no dia 20 de novembro de 2002 em mais 13 pontos sendo seis destes amostrados na face da praia, adensando a malha já existente (Figura 19). A metodologia, nesta segunda etapa foi a mesma, mas com o emprego do GPS – Magellan.

Refração de ondas

A estimativa do campo de onda em águas rasas de Arraial do Cabo, RJ, foi obtida através da aplicação de um modelo de refração – difração espectral REF DIF S KIRBY (1998).

Os espectros são estimados com base em duas metodologias clássicas, Jonswap e Pierson-Moskowitz além disso também usamos o modelo Mike 21. A formulação de

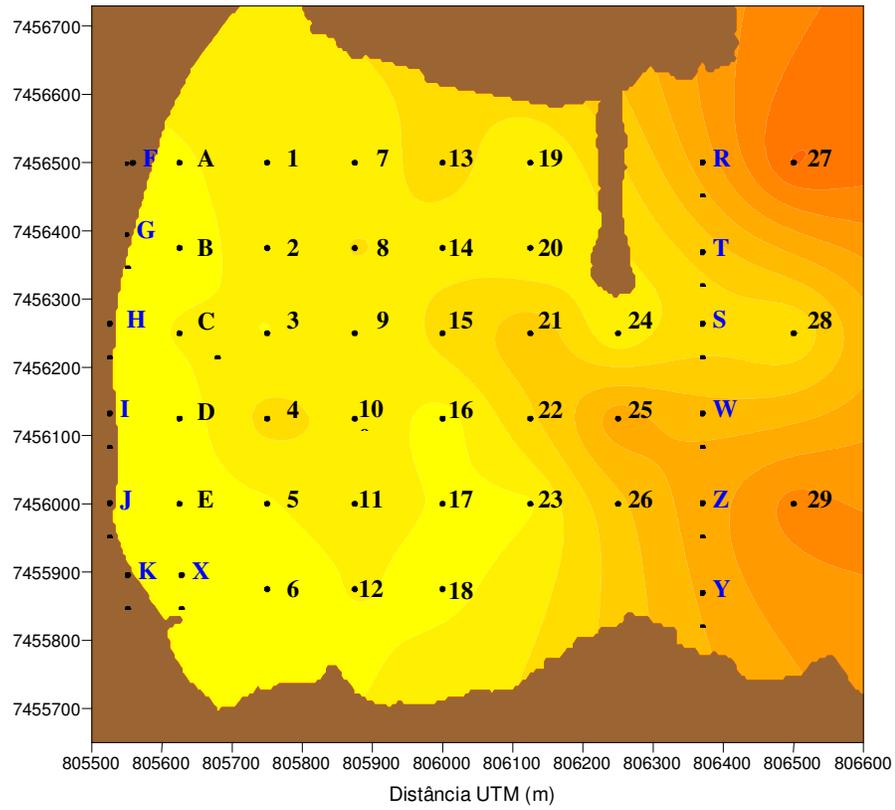


Figura 19. Malha amostral granulométrica utilizada na Praia dos Anjos, Arraial do Cabo, RJ. Letras azuis 2ª campanha; letras e nº em preto 1ª campanha.

Jonswap utiliza parâmetros calculados a partir da bóia oceanográfica localizada na baía de Campos, RJ e apresentando também, um espalhamento direcional calculado segundo GODA (1985). A inicialização com espectro Pierson-Moskowitz utiliza um modelo unidirecional calculado com base na formulação dos autores, e um outro com espalhamento direcional. No modelo Mike 21, a área utilizada foi restrita à enseada dos Anjos, com ondas de Leste de 2 m e espaçamento de 10 m, com resultados mais localizados e na direção de maior efeito sobre a enseada, tendo em vista que, as direções próximas ao Leste (Ne) são refratadas e para as demais a enseada é protegida.

As simulações foram feitas no modelo Jonswap e Pierson-Moskowitz com a presença e ausência do quebra-mar, com o intuito de estudar a influência deste na distribuição de energia ao longo da enseada dos Anjos.

Marcas de ondulação (ripple marks)

As medições das marcas de ondulação foram feitas através de mergulho autônomo (2 mergulhadores), utilizando-se, como referência, uma moldura de alumínio de 55,5 x 25 cm, com uma bússola, fixada em um dos vértices. Também foi utilizado régua plástica transparente (40 cm) para a medição das marcas de ondulação e um cabo graduado – para medir a distância das marcas até a face da praia, dentro do perfil. Para fotografar as marcas de ondulações utilizou-se máquina fotográfica Canon estanque.

As seqüências de fotos foram realizadas nos perfis extremos, por serem mais significativos. As marcas de ondulação foram medidas a partir de uma distância fixa dos piquetes (RN), 19,35 m no perfil Sul e 47,80 m do primeiro degrau do Museu, no perfil Norte. A partir destes pontos na berma da praia os mergulhadores levaram o cabo graduado mar adentro, até os pontos de medições das marcas de ondas, tendo assim a

distância do RN até a berma e a distância da berma até o ponto onde foi medido as marcas de ondulação, ambos a profundidade de 2,5 m.

4.2. Procedimento de laboratório

Análise dos sedimentos

As análises granulométricas dos sedimentos foram realizadas no laboratório de geologia do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira, sob a responsabilidade da Capitão-Tenente Lúcia Artusi e pelos técnicos Roberto Carlos Guimarães Romano e Paulino Ferreira da Silva Neto. As análises foram efetuadas com carbonato e após a eliminação do carbonato.

No laboratório as amostras foram lavadas sucessivamente com água destilada para a retirada dos sais solúveis, para evitar a agregação dos grãos. Após este processo, as amostras foram colocadas em estufas para secagem completa. As amostras com areias quartzosas puras ou biodetríticas permanecem na estufa à uma temperatura entre 105 e 110°C por 4 a 6 horas, e as amostras com sedimentos síltico-argilosos em temperaturas entre 50 e 60 °C por até 12 horas. Após a secagem do material, as amostras foram quarteadas em um quarteador mecânico do tipo Jones, e depois pesados.

Após a pesagem do material (sedimentos grossos e finos) as amostras são separadas. Para isto usou-se o método de via úmida, mediante uma peneira de 0,062mm. O material arenoso retido na peneira foi colocado novamente para secar e o material fino foi passado para uma proveta graduada, onde foram submetidos ao processo de pipetagem, ou seja, análise granulométrica das lamas. O material de granulometria mais grossa foi submetido ao processo de agitação por cerca de 15 a 20 minutos em vibrador

elétrico, onde se iniciou o peneiramento. Após a separação em classes de tamanho, o material é novamente pesado para realizar os cálculos de análise granulométrica.

No caso da análise sem carbonato, o procedimento é o mesmo, sendo que o sedimento passa pelo processo de dissolução dos grãos carbonáticos, onde uma parte da amostra é pulverizada em almofariz, pesada, tratada com ácido clorídrico, lavada para eliminação dos resíduos carbonáticos, e então são secados e pesados novamente. A diferença entre as duas pesagens fornece o peso real sem carbonato.

4.3. Espacialização dos dados

Batimetria

Os dados batimétricos foram espaçados em função da escala gráfica de 12,5 metros entre si. Estes dados foram digitalizados e georeferenciados através do software Digger, e as isóbatas calculadas e plotadas pelo programa Oasis montaj.

Comparação temporal das seis edições da carta Náutica 1503 foram realizadas para avaliar as modificações das obras sobre a água, da batimetria e linha de costa. Com o auxílio do programa Oasis montaj, foi elaborado um mapa das diferenças entre a batimetria de 1996 digitalizada a partir do levantamento batimétrico realizado pela WARS e a primeira edição da carta 1503 datada de 1936, a qual por não possuir mais folha de bordo, teve apenas os dados batimétricos da carta considerados, isto é verificado na diferença de rugosidade dos mapas, devido à diferença de densidade de dados com 3675 pontos contra 32 pontos. Os dados de profundidade constantes na enseada (1936) foram digitalizados e comparados com a mesma coordenada para a

batimetria de 1996, razão pela qual a figura não está ajustada até a linha de costa, pois não houveram dados para a extrapolação.

Dados granulométricos

Os dados resultantes da análise dos sedimentos foram plotados pelo programa Oasis montaj, utilizando a escala granulométrica de WENTWORTH, 1922 (Tabela 8); para os mapas faciográficos foi utilizado o mesmo programa, mas com a classificação de SHEPARD (1954).

Refração de onda

Os dados de refração de onda para a enseada dos Anjos foram desenvolvidos a partir de modelos de refração, utilizando eventos do quadrante leste, por ser a direção de maior penetração de frente de onda possível ($\theta = 90^\circ$) devido à orientação da enseada; e $\theta = 45^\circ$ que é a direção predominante. Foi utilizado o programa de simulação da refração de ondas *Mike 21* e também foram feitas comparações com o modelo REF DIF S KIRBY (1998) inicializados com espectros *Jonswap* e *Pierson-Moskowitz*, utilizado pelo IEAPM.

5. RESULTADOS

Perfis topográficos transversais

O perfil Central em uma primeira comparação temporal (maio, julho e setembro/2000) ficou quase inalterado na parte emersa (Figura 20), de 0 a 65 m, sendo

Tabela 2. Escala granulometrica de Wentworth, 1922.

Diâmetro da Partícula		Denominação das Classes
Em mm	Em \emptyset	
>256	<-8	Matacão (Boulders)
256 a 64	-8 a -6	Pedra (Cobbles) – Bloco
64 a 32	-6 a -5	Seixo muito grosso (Gravel Verv Coarse)
32 a 16	-5 a -4	Seixo Grosso (Gravel Coarse)
16 a 8	-4 a -3	Seixo Médio (Gravel Medium)
8 a 4	-3 a -2	Seixo Fino (Gravel Fine)
4 a 2	-2 a -1	Seixo muito Fino (Gravel Verv Fine)
2 a 1	-1 a 0	Areia muito Grossa (Sand Very Coarse)
1 a ½	0 a 1	Areia Grossa (Sand Very Coarse)
¼ a ¼	1 a 2	Areia Média (Sand Medium)
¼ a 1/8	2 a 3	Areia Fina (Sand Fine)
1/8 a 1/16	3 a 4	Areia muito Fina (Sand Very Fine)
1/16 a 1/32	4 a 5	Silte Grossa (Silte Coarse)
1/32 a 1/64	5 a 6	Silte Média (Silte Medium)
1/64 a 1/128	6 a 7	Silte Fina (Silte Fine)
1/128 a 1/256	7 a 8	Silte muito Fina (Silte Very Fine)
1/256 a 1/512	8 a 9	Argila Grossa (Clay Coarse)
1/512 a 1/1024	9 a 10	Argila Média (Clay Medium)
< 1024	>10	Argila Fina (Clay Fine)

Obs.: Escala Fi $\emptyset = -\log_2 d$ (mm)

D = Escala de Wentworth

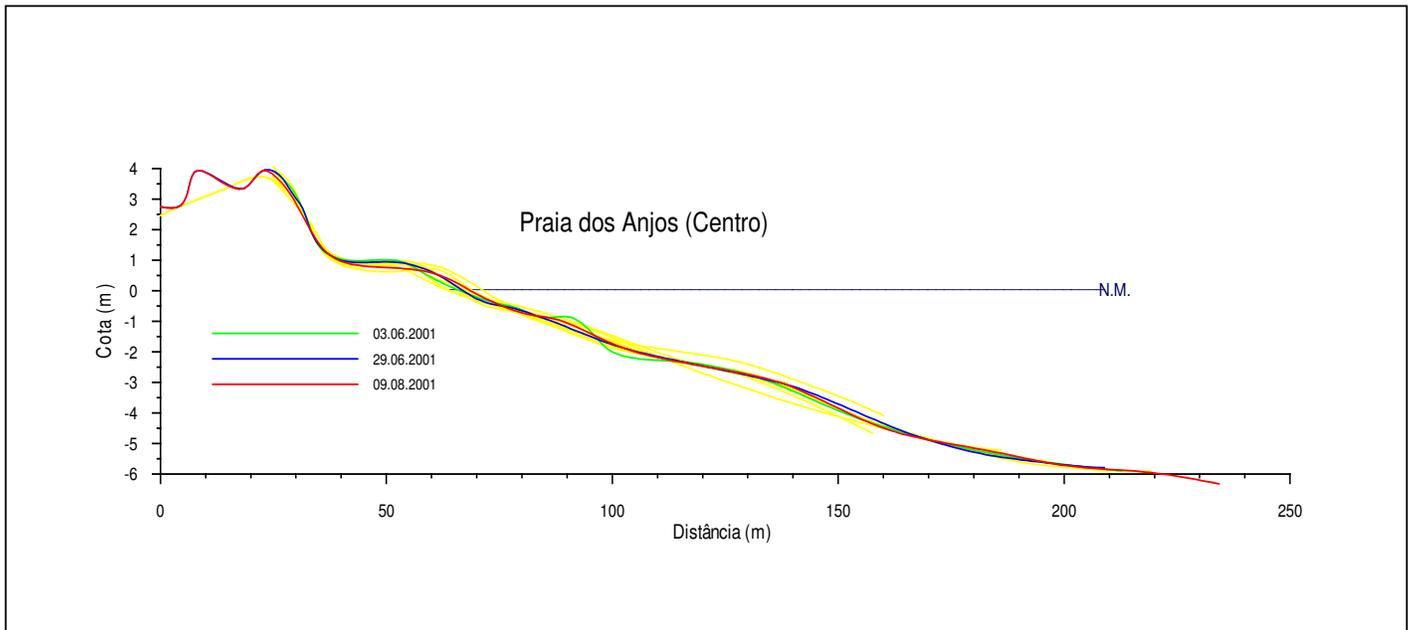


Figura 20. Perfil Central (Cota x Distância) da Praia dos Anjos, Arraial do Cabo, RJ. As linhas amarelas mostram a variação dos primeiros perfis (anteriores a data de 03/junho/2001).

constituído por uma face de praia pouco íngreme, crista de berma (1 m) e berma curta (35 m) com a elevação da duna frontal iniciando dos 30 m para o “0” (crista da duna – 3,5 m); muito embora fosse época de ventos do quadrante leste, os quais carregam as areias em direção a avenida Luiz Corrêa (pós-praia), ocasionando pequenos bancos e dunas, que causam transtornos ao trânsito (atolando veículos de passeio e soterrando a base dos portões de frente à avenida – Figura 21 A, B e C).

No passado, antes da ocupação urbana, as dunas migratórias citadas acima se deslocavam da praia dos Anjos para a praia Grande, como mostram as fotos antigas de Arraial do Cabo (Figura 17 A e B), contornado o Pontal do Atalaia o qual serviu como antepara e guia para estas areias.

A parte submersa apresentou poucas variações, havendo um engordamento relativo no perfil de setembro, dos 65 aos 150 metros mar adentro. A declividade oscilou pouco, ao redor de 3%, a partir dos 150 m ela sofre um incremento, chegando aos 200 m, em torno de 5%, atingindo uma profundidade média de 6 m.

Nos perfis do flanco Sul (Figura 22) as variações foram maiores que no perfil Central, no entanto foram bem compartimentadas acompanhando uma tendência geral, variando no máximo um metro entre os perfis.

Nos perfis do flanco Norte (Figura 23) não foram observadas alterações, exceto pela face da praia, que de maio para agosto recebeu um aumento do aporte de sedimentos, suavizando o gradiente, provavelmente devido aos fortes ventos de agosto.

Na comparação entre os perfis, pode-se avaliar a diferença de comportamento morfodinâmico ao longo do arco da Praia dos Anjos (Figura 24). Nesta, os perfis mais expostos Central e flanco Sul apresentam a partir da profundidade de 3 m convergência de comportamento. O perfil do flanco Sul se apresenta convexo enquanto o perfil

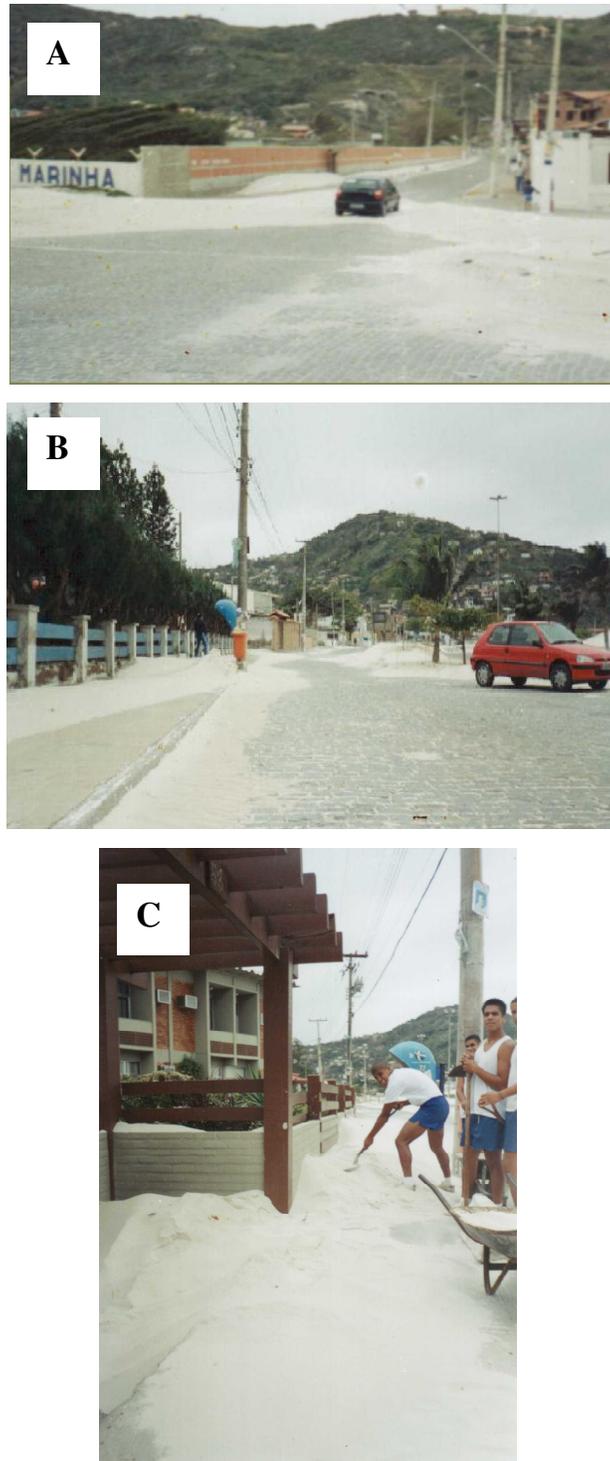


Figura 21. Transtornos causados na Praia dos Anjos pelos fortes ventos do quadrante leste. A – areia invadindo as ruas próximas a praia; B – invadindo calçadas; C – e soterrando a base dos portões. Fotos tiradas pelo autor em outubro de 2002.

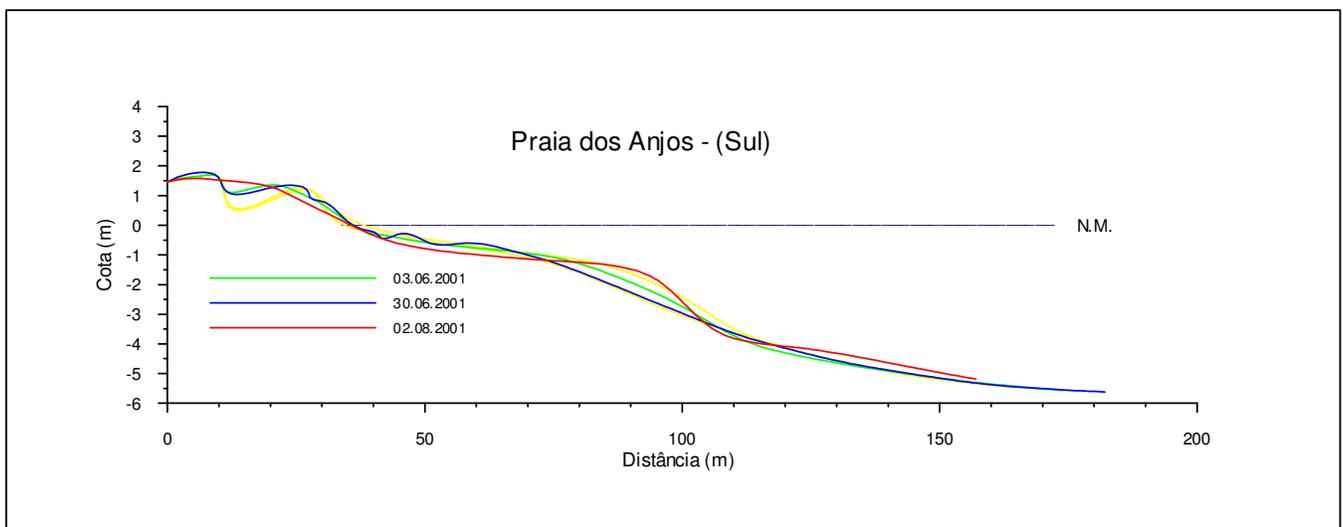


Figura 22. Perfil Sul (Cota x Distância) da Praia dos Anjos, RJ. As linhas amarelas mostram a variação dos primeiros perfis (anteriores a data de 03/junho/2001).

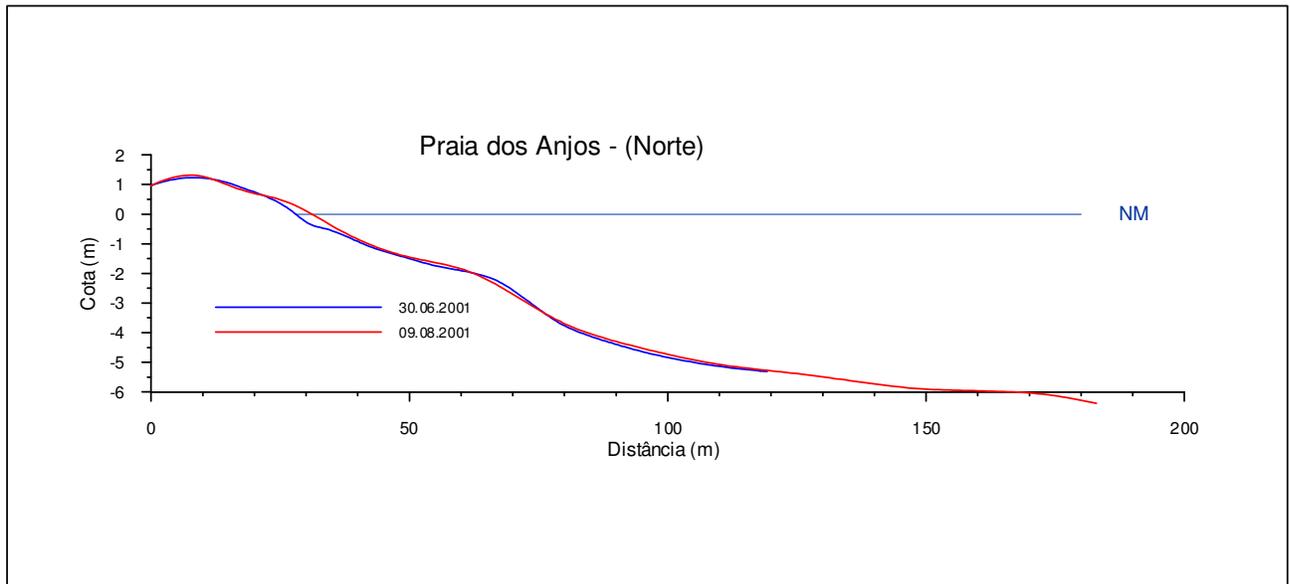


Figura 23. Perfil Norte (Cota x Distância) da Praia dos Anjos, RJ.

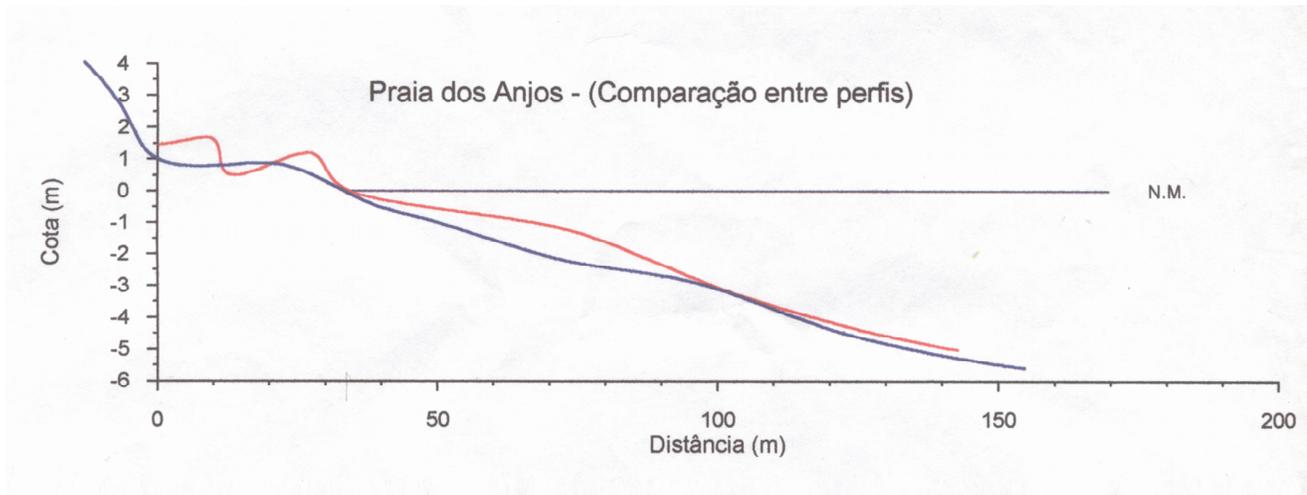


Figura 24. Comparações entre os perfis Central (azul) e Sul (vermelho) da Praia dos Anjos, Arraial do Cabo, RJ.

Central quase reto, resultando em variação de gradiente não esperada, pois teoricamente, o perfil Central deveria apresentar um gradiente menor que o do flanco Sul, exposto a um ambiente de maior energia. O perfil do flanco Norte é razoavelmente estável, pouco mutável.

A própria mutabilidade dos perfis levantados ao longo do tempo reflete o comportamento diferenciado no arco praial, enquanto no flanco norte a praia é nitidamente de características refletivas (de interior de baía, protegida pelo quebra-mar), do centro para o flanco sul apresenta características intermediárias crescentes em direção ao sul.

Em termos gerais, o transporte de sedimentos ocorre em direção a praia, em direção ao mar e longitudinalmente paralelo a costa. Em Arraial do Cabo não foi observado o transporte longitudinal, mas foi observado o transporte em direção à praia.

Foram detectadas marcas de ondas (Ripple marks) contínuas e variadas durante as medições dos perfis, o que suscitou sua inclusão na segunda parte do trabalho (morfodinâmica da antepraia).

Parâmetros morfodinâmicos

No regime de fluxo (Tabela 3), o arco praial variou de fase baixa ($R_f < 0,5$) ao norte, fase alta ($R_f > 1,0$) no Central e fase média ($0,5 < R_f < 1,0$) no Sul.

O parâmetro impacto de promontórios (Tabela 4) demonstra que, apesar de ser uma pequena enseada limitada por dois contrafortes rochosos, sua circulação resultou em normal ($\delta' > 18$), não sendo afetada pelos mesmos.

O parâmetro de bancos apresentou para todos os dados o resultado de praia refletiva sem bancos submarinos ($B^* < 20$) (Tabela 5).

Tabela 3. Regime de Fluxo para a Praia dos Anjos, Arraial do Cabo, RJ.

Perfil Central		Perfil Sul		Perfil Norte	
Data	Ts/T	Data	Ts/T	Data	Ts/T
abr/00	0,806452	fev/01	0,481928	jul/01	0,410959
jul/00	0,615385	mai/01	1,774194	ago/01	0,477778
set/00	0,882353	jun/01	0,724638	out/01	0,440324
jan/01	2,307692	jul/01	0,348837	nov/01	0,596774
mai/01	0,689655	ago/01	0,731707	Média	0,481459
jun/01	0,60241	out/01	0,385417	Min	0,410959
ago/01	1,370968	nov/01	0,777551	Max	0,596774
out/01	0,569196	out/02	0,714286		
nov/01	1,830986	Média	0,74232		
Media	1,075011	Min	0,348837		
Min	0,569196	Max	1,774194		
Max	2,307692				

Ts=duração do espraçamento na face da praia

T=período da onda

Ts/T<0,5 = fase baixa

0,5<Ts/T<1,0 = fase media

Ts/T>1,0 = fase alta

Tabela 4. Impacto de Promontórios para a Praia dos Anjos,
Arraial do Cabo, RJ.

$$g' = \frac{SI^2}{100} \cdot CI \cdot Hb$$

	Valores
SI	1200
CI	1075
Hb	0,523
g'	25,613

g' = impacto de promontórios
 SI = comprimento da linha do arco praial
 CI = comprimento da corda do arco praial
 Hb = altura da onda na arrebentação

g' > 18 = Circulação normal
 8 < g' < 18 = Circulação sub-intermediária
 g' < 8 = Circulação celular

Tabela 5. Parâmetros de Bancos para a Praia dos Anjos, Arraial do Cabo, RJ.

$$B^* = \frac{X_s}{g \cdot \tan(b)} \cdot T^2$$

	01/abr/00	21/fev/01	30/jun/01
	Central	Sul	Norte
Xs	36,67	58,78	25,18
g	9,81	9,81	9,81
beta	2,654	2,867	3,226
T	6,2	8,3	7,3
B*	2,0989	1,7376	0,855

	09/ago/01	02/ago/01	09/ago/01
	Central	Sul	Norte
Xs	19,2	65,263	11,25
g	9,81	9,81	9,81
beta	1,969	2,807	4,149
T	6,2	8,2	7,2
B*	1,4818	2,0189	0,3051

B* = parâmetros de bancos

Xs = distância entre a base da face da praia e o local em que o gradiente da zona de arrebenção tende a zero (largura da antepraia superior)

g = aceleração da gravidade

b = gradiente da antepraia superior

T = período da onda

B* < 20 = praia refletiva (sem bancos submarinos)

20 < B* < 50 = um banco submarino

50 < B* < 100 = dois bancos submarinos

100 < B* < 400 = três bancos submarinos

B* > 400 = mais de três bancos submarinos

O parâmetro delta (Δ) (Tabela 6), proposto por MUEHE (1998a), apresentou resultados com grandes variações em uma mesma faixa (refletiva), tendo como exceção o perfil sul sazonal de inverno como terraço de baixa-mar.

O parâmetro ômega (Ω), como o de bancos apresentou para todos os dados o resultado de praia refletiva quando calculado a partir da equação de Klein. No entanto, utilizando a formula clássica, identificou o flanco sul como praia intermediária (Terraço de Baixa Mar), e o flanco norte e a porção central como refletiva (Tabela 7).

Avaliação do método de nivelamento frente a poligonal maregráfica.

Após utilizar o método expedito descrito na metodologia para nivelamento dos perfis utilizando o refluxo, transportamos por nivelamento o nível médio do mar da régua do marégrafo do Porto do Forno até a praia, no perfil Norte, onde foi feita a verificação de uma diferença de 22,4 cm com a medida do marégrafo em relação ao método expedito. Este ao ser comparado com o maregrama do dia da observação mostrou uma diferença de 27,7 cm acima da previsão como o resultado real e diminuiu a diferença do RN de verificação (22,4 – 27,7 cm), agora para 5,3 cm com o método expedito a maios que o marégrafo. Este resultado demonstra a excelente aplicabilidade do método expedito para os perfis de praia (Tabela 8).

Modelo de Equilíbrio em Planta de Praias de Enseada (MEPPE).

Utilizando o programa de ajuste parabólico (MEPPE) foi gerado um modelo de linha de praia de equilíbrio sem o quebra-mar (Figura 25A) e outro com o quebra-mar (Figura 25B). Para o primeiro caso utilizou-se o promontório natural ao norte como ponto de refração de ondas (Figura 25A), foi obtido um traçado de linha de costa de equilíbrio coincidente com a linha de praia atual. Ao ajustar o modelo pelo quebra-mar como ponto de refração de ondas (Figura 25B), verificou-se um traçado de linha de

Tabela 6. Valores de Delta para a Praia dos Anjos, Arraial do Cabo, RJ.

$$D = (\text{Sen } B * D_{\text{esp}} / H_b) / T_{\text{esp}} / T$$

	01/abr/00 Central	21/fev/01 Sul	30/jun/01 Norte
B	5,098	4,893	5,316
Desp	7,600	7,000	3,780
Hb	0,200	0,500	0,050
Tesp	5,000	4,000	3,630
T	6,200	8,300	7,200
Delta	4,18	2,48	13,89

	09/ago/01 Central	02/ago/01 Sul	09/ago/01 Norte
B	4,716	4,752	6,581
Desp	8,840	6,730	3,360
Hb	0,100	0,500	0,100
Tesp	8,500	6,010	3,000
T	6,20	8,20	7,30
Delta	5,30	1,52	9,37

B = gradiente da face da praia

Desp = distância do espraiamento

Hb = altura significativa da onda na zona de arrebentação

Tesp = duração do espraiamento

T = período da onda

Estado	Delta
Dissipativo	< 0,5
Banco e Calha longitudinal	0,5 - 0,8
Bancos transversais	0,8 - 1,0
Terraço de baixa mar	1,0 - 2,0
Refletivo	> 2,0

Tabela 7. Valores de Ômega para a Praia dos Anjos, RJ.

Cálculo de ômega $\hat{\Omega} = H_b / w_s T$ (Parâmetro de Dean)			
Perfil	Central	Sul	Norte
Hb médio	30 cm	72 cm	19 cm
ws Tabela	3.35 cm/s	4.0 cm/s	3.5 cm/s
T médio	7.13 s	7.25 s	7.33 s
Ômega	1.26	2.48	0.74

Phi médio 2.35 (H) 1.99 (J) 2.41 (F)

Gráfico de correlação entre diametro (Phi) e Velocidade de decantação

$$\hat{\Omega} = 0,0225 / \text{tg}B \quad (\text{Equação de Kriebel } et \text{ al.})$$

	01/abr/00 Central	21/fev/01 Sul	30/jun/01 Norte
B	5,098	4,893	6,581
Ômega	0,25	0,26	0,20

	09/ago/01 Central	02/ago/01 Sul	09/ago/01 Norte
B	4,716	4,752	5,316
Ômega	0,272879	0,270802	0,241932

B = declividade da face da praia

Estado	Ômega	Desvio Padrão
Refletivo	<=1,5	-
Terraço de baixa mar	2,4	0,19
Bancos transversais (BT)	3,15	0,64
Banco e Praia de Cúspides (BPC)	3,5	0,76
Banco e calha longitudinal (BCL)	4,7	0,93
Dissipativo	> 5,5	-

Tabela 8. Avaliação do Método Expedito

SISTEMA - MARES MARINHA DO BRASIL BANCO NACIONAL DE DADOS
 OCEANOGRÁFICOS
 NR. DA ESTAÇÃO: 50156
 NOME: PORTO DO FORNO (ARRAIAL DO CABO, RJ)
 FUSO: +03.0 LATITUDE: 22 58 3 S LONGITUDE: 042 00 8 W
 PERÍODO DE OBSERVAÇÕES - 02/02/1982 A 04/03/1982 NR. DE COMPONENTES -
 40 NÍVEL MÉDIO = 0.66 M.

*PREVISÃO DE ALTURAS HORÁRIAS PARA O PERÍODO DE 01 DE ABRIL E 29
 DE MAIO DE 2000*

abril

HORAS *

*
 * * 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 *

DIAS*****

1 * 100 108 107 98 82 62 46 38 43 56 73 90 103
 108 101 86 66 44 24 14 17 32 54 77 *

MAIO

DIAS*****

29 * 105 100 89 74 57 43 39 46 61 78 94 105 108
 102 89 72 53 36 27 30 44 63 82 98 *

OBS.: ALTURAS EM CM EM RELAÇÃO AO NÍVEL DE REDUÇÃO (NR)

Tabela 8. Avaliação do Método Expedito (cont.).

Estação maregráfica Porto de Forno (Arraial do Cabo)					
Data	Hora	Altura	Data	Hora	Altura
01/abr/00	0:00	303	29/mai/00	0:00	328
	1:00	317		1:00	325
	2:00	313		2:00	316
	3:00	298		3:00	297
	4:00	284		4:00	284
	5:00	265		5:00	269
	6:00	252		6:00	266
	7:00	243		7:00	270
	8:00	246		8:00	280
	9:00	252		9:00	297
	10:00	270		10:00	313
	11:00	286		11:00	321
	12:00	301		12:00	330
	13:00	310		13:00	326
	14:00	312		14:00	318
	15:00	300		15:00	302
	16:00	284		16:00	287
	17:00	262		17:00	265
	18:00	240		18:00	256
	19:00	224		19:00	253
	20:00	220		20:00	264
	21:00	228		21:00	284
	22:00	248		22:00	290
	23:00	270		23:00	304

Obs. Alturas em relação ao 0 da régua.

A RN (Referência de nível)01 do perfil norte, situada no degrau superior do Museu do IEAPM, foi nivelada pelo método expedito com cota de 2,666 m; a poligonal trazida do marégrafo até o museu atribuiu ao mesmo ponto cota de 2,890 m, conferindo uma diferença de 22,4 cm a mais para a medida do marégrafo. Ao compararmos os dados de previsão com a altura registrada na hora da observação de campo verificamos uma diferença de 27,7 cm a mais do valor registrado em relação ao previsto, do qual se valeu o método expedito, então ao somar esta variação à cota do RN obtemos a nova diferença de 5,3 cm a mais do método expedito sobre o transporte do NMM do marégrafo. O método expedito pelo exposto se mostrou muito eficiente e perfeitamente aceitável.01 de Abril 16:34 = 271,5 - 199,4 (NR da régua) - 66,0 (NMM)= + 6,13 cm 29 de Maio 14:07 = 316,1 - 199,4 -66,0 = + 50,7 cm 50,7 - 23(previsão utilizada no dia 29, que serviu de base para os perfis)= 27,7 - 22,4 (1ª diferença)= 5,3 cm diferença real entre o método expedito e o transporte por nivelamento do NMM a partir do Marégrafo.

costa de equilíbrio diferente da linha de praia atual, terminando a extremidade da praia de equilíbrio na altura do Porto do Forno, demonstrando o provável desequilíbrio causado pelo quebra-mar.

A variação da linha de costa entre 1976, 1985, 1995 e 2002, pode ser observada na figura 26 A,B,C e D, a linha de costa de 2002 foi adquirida com GPS para posicionamento cinemático, e superposta georeferenciada às outras figuras; a comparação cronológica da faixa costeira demonstra visivelmente as alterações propostas, de erosão no flanco sul e acresção no flanco norte.

Batimetria

Os dados batimétricos (Figura 27) mostram que o fundo submarino da enseada dos Anjos é suave no eixo Central e no flanco Sul, apresenta uma rugosidade de pequeno porte no flanco norte, além da elevação sedimentar causada pelo molhe, e depressão do canal dragado de acesso ao porto. Devido as dimensões do porto e da enseada, bem como das condições topográficas e meteorológicas, não é incomum o encalhe de navios durante as manobras de atracação no porto (a manobra dominante no porto é a descarga), principalmente na época dos ventos fortes, pois estes são do quadrante NE, e desta forma “empurram” os navios em direção a praia, que nas operações de desencalhe ocasionam remobilização dos sedimentos de fundo.

A figura 28 mostra a representação em recortes da Praia dos Anjos, nas seis edições da Carta Náutica 1503, permitindo visualizar as modificações ocorridas na enseada ao longo do tempo: o primeiro porto 1930, o quebra-mar 1959, o pier do IEAPM 1959, o navio naufragado 1960, a ampliação do porto 1965, e finalmente a expansão do quebra-mar 1981.

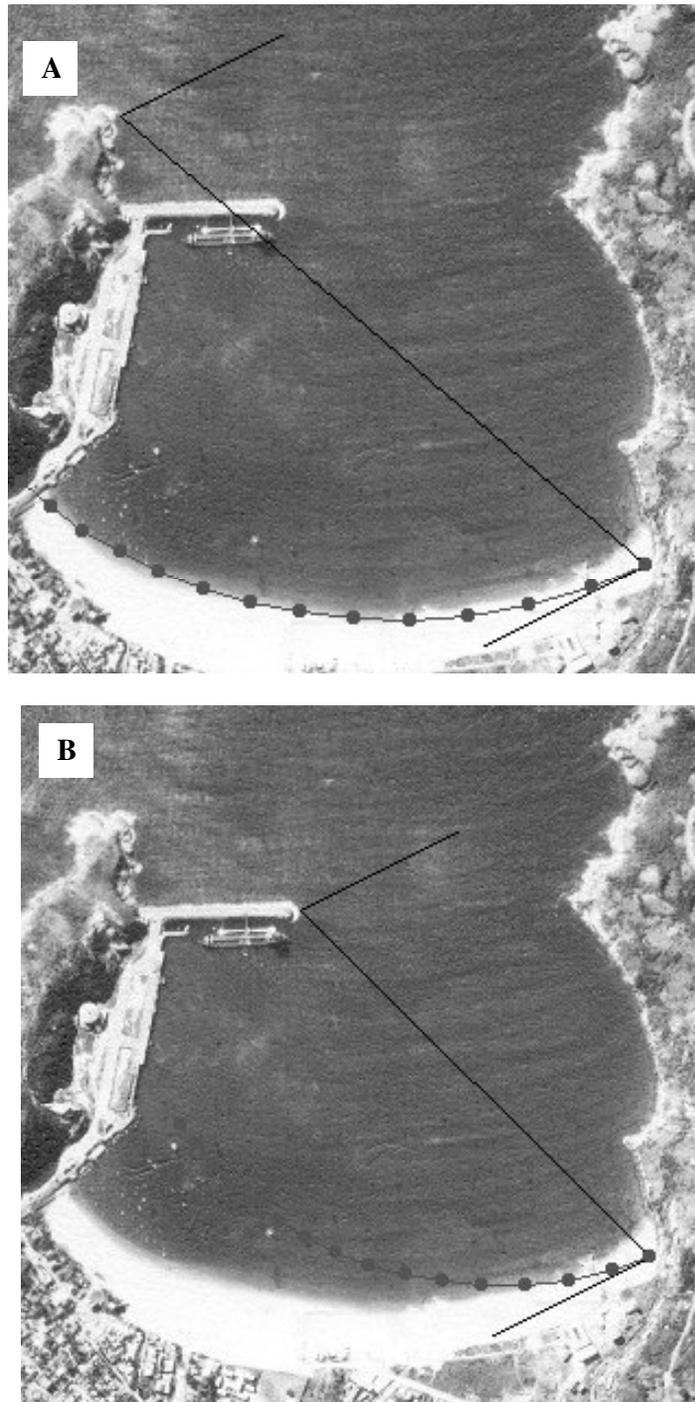


Figura 25. Modelo de Equilíbrio em Planta da Praia dos Anjos. A, sem a presença do quebra-mar; B, com a presença do quebra-mar. Foto base: levantamento aerofotogramétrico (1976), DHN.

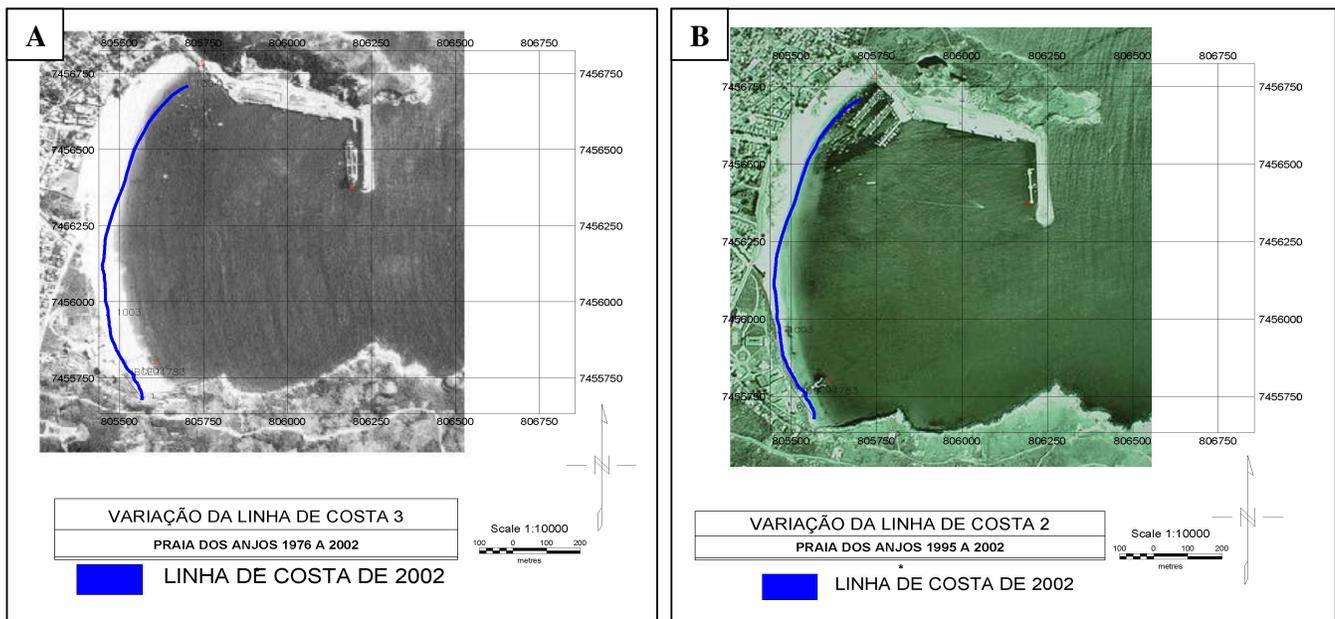


Figura 26. Variação da linha de costa: A, foto de 1976, B foto de 1995

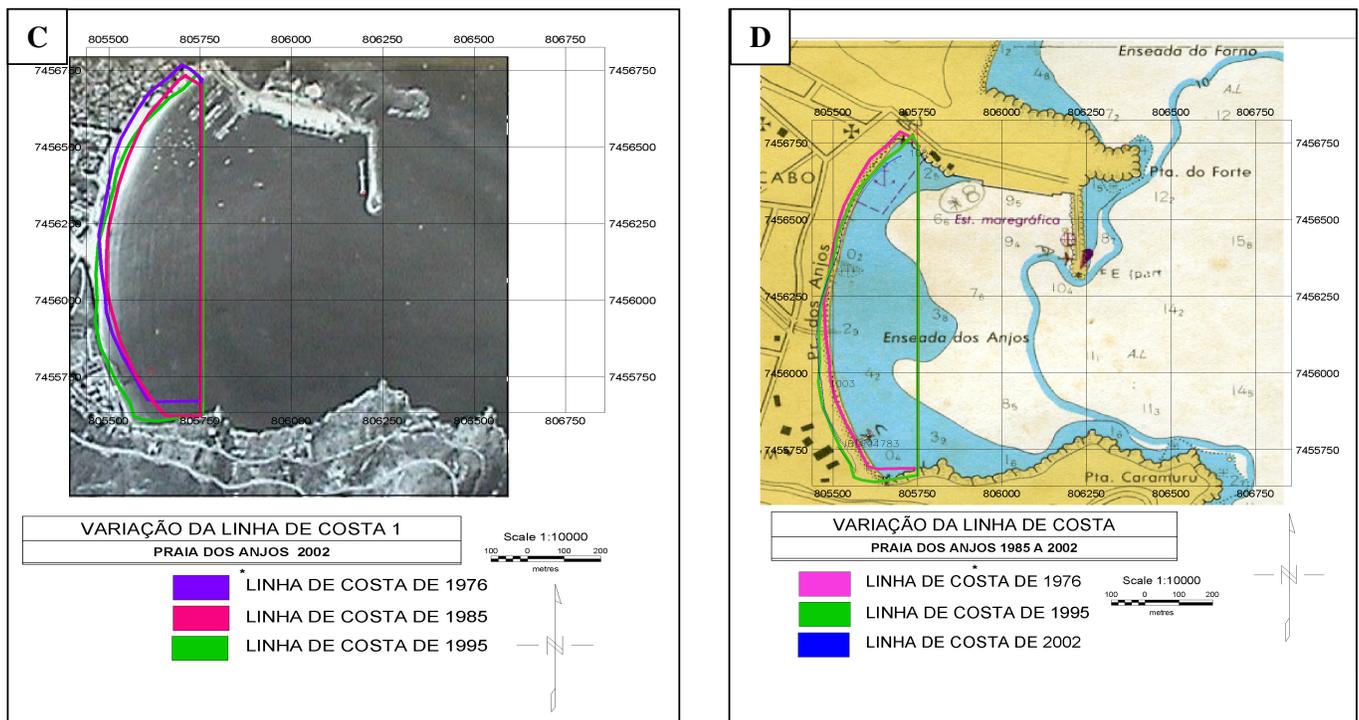


Figura 26. Variação da linha de costa: C foto de 2002 e D mapa de 1985.

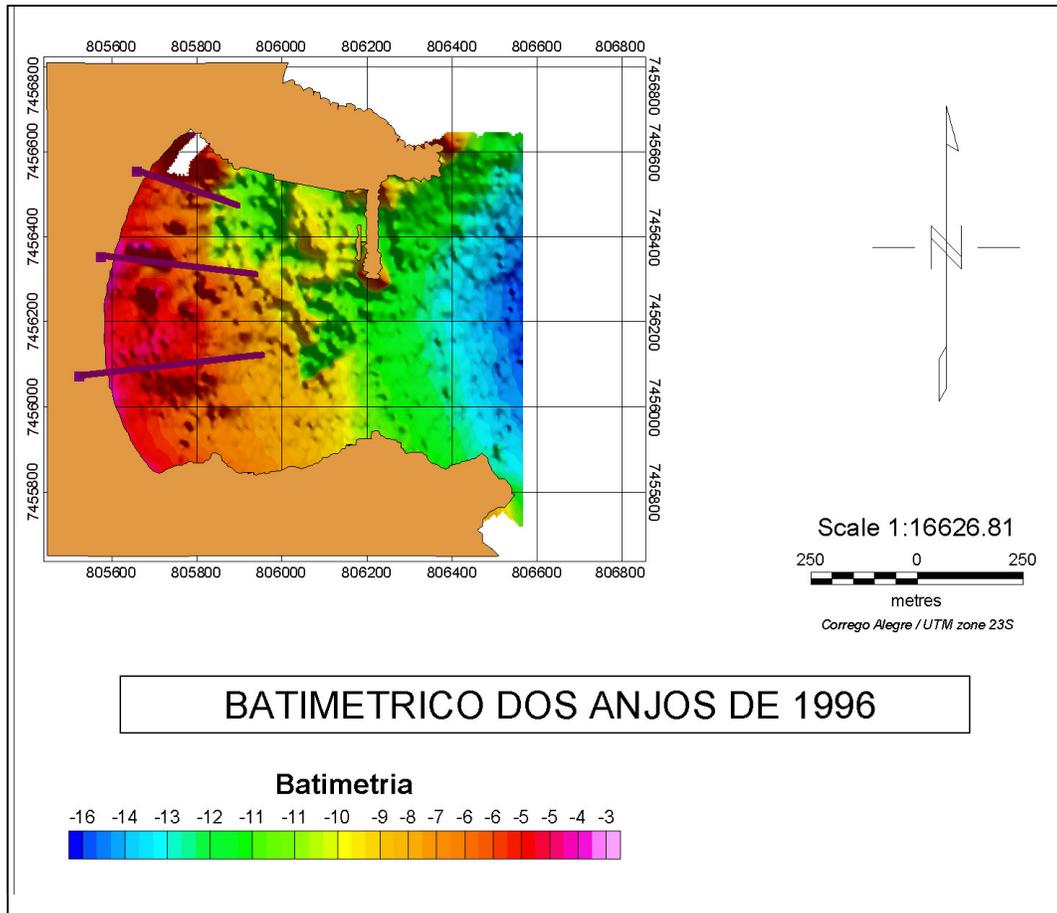


Figura 27. Batimetria da Praia dos Anjos, Arraial do Cabo, RJ, com os perfis topográficos, geo-referenciados, plotados em lilás.

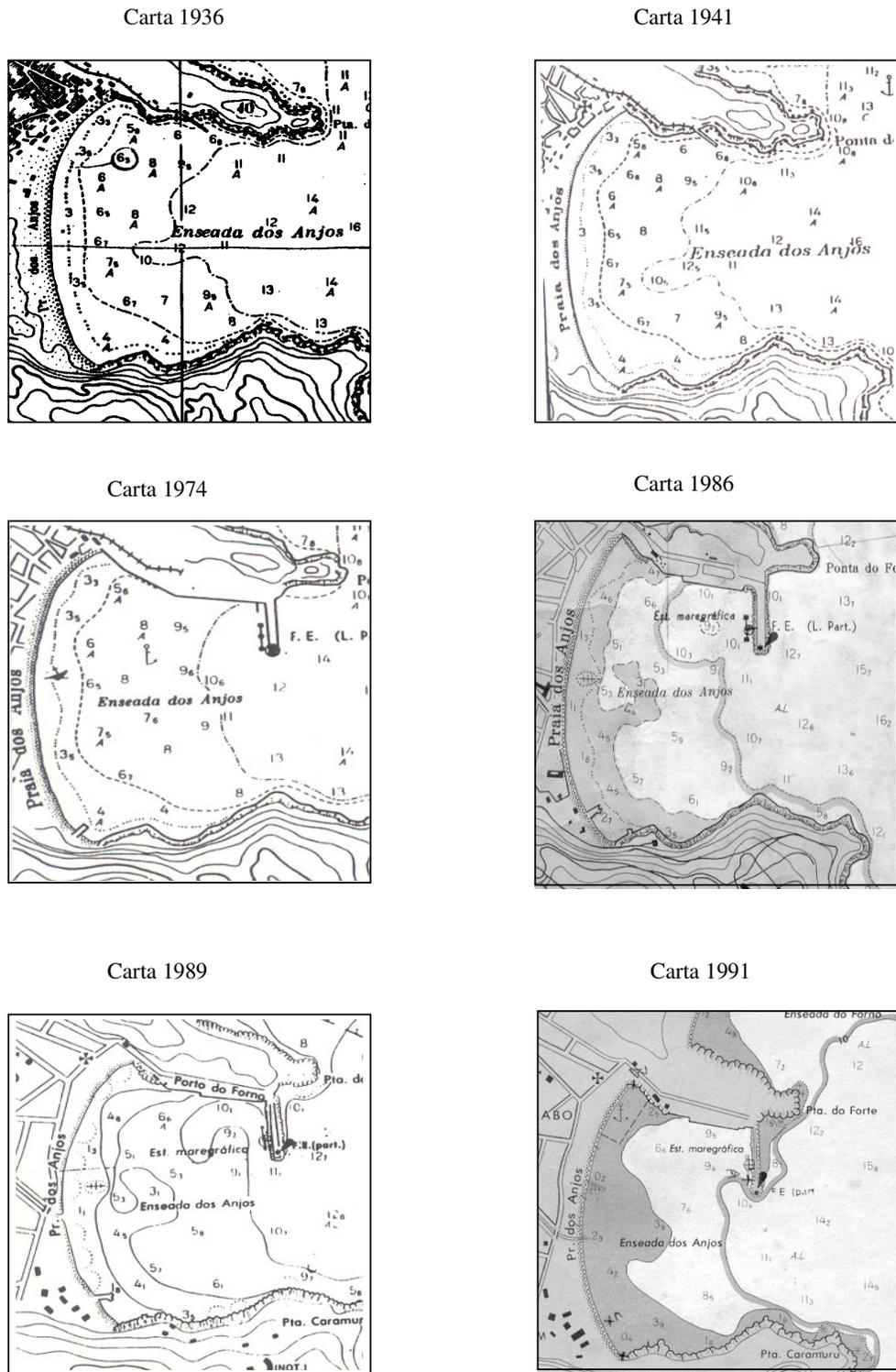
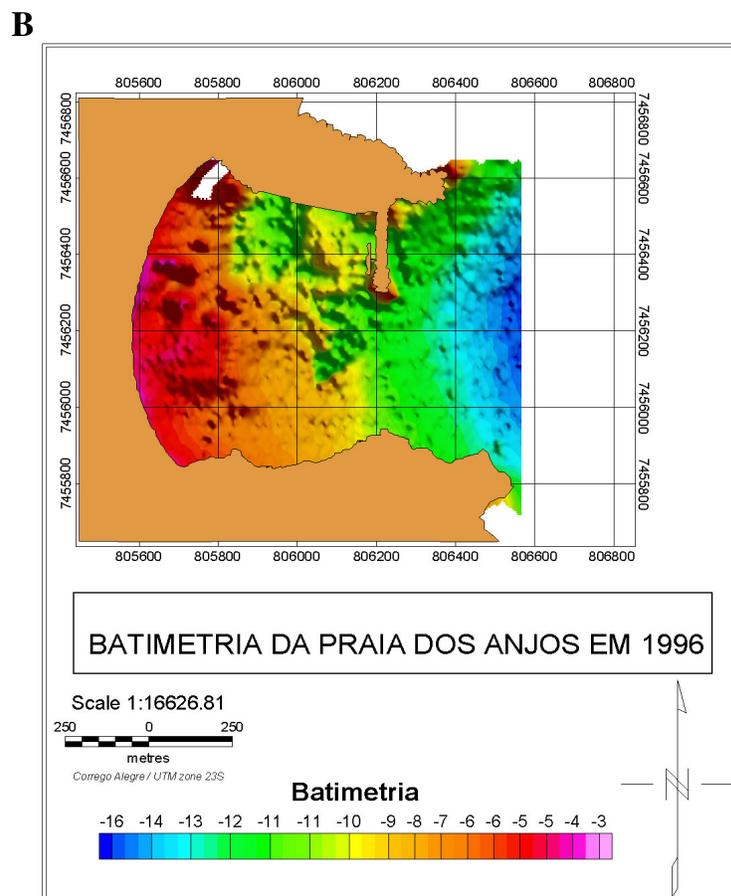
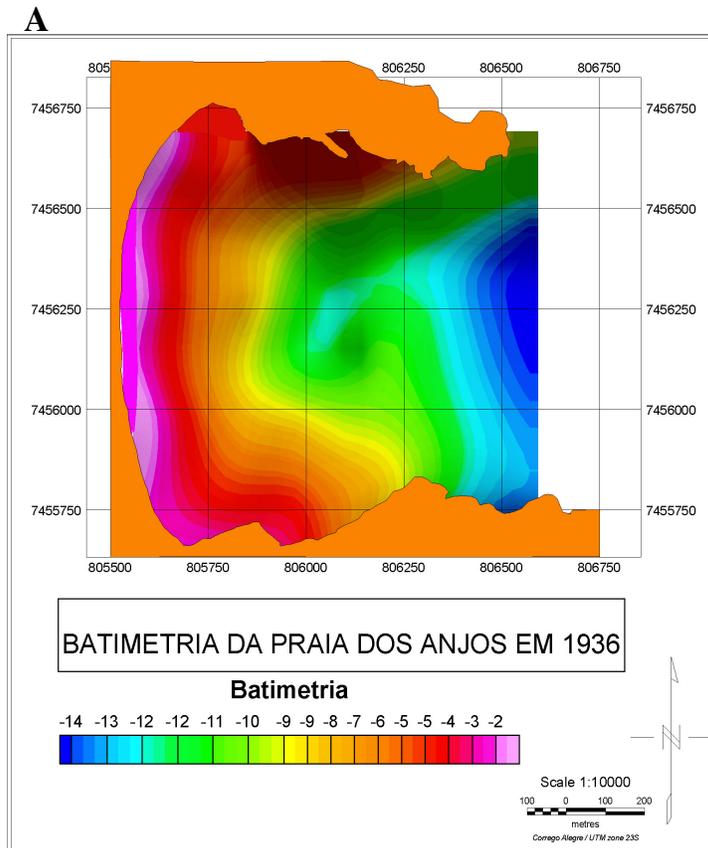


Figura 28. Extratos das seis edições da carta náutica 1503 (Praia dos Anjos) da primeira edição até a atual. (Fonte: DHN).



A figura 29 demonstra, através da diferença da superfície batimétrica de 1996 em relação a 1936, uma intensa variação de profundidade da enseada, com áreas de acreção sedimentar e outras de erosão. As áreas de erosão são resultado, em alguns lugares, de dragagens, principalmente na área adjacente ao porto. A presença do quebra-mar causou uma ponta de sedimentação em sua retaguarda, resultando acreção em direção a praia devido a proteção à ondulação de NE e E; na parte frontal, ou anterior do quebra-mar exposta diretamente as ondulações houve erosão. O flanco sul da enseada, na base do promontório do Pontal do Atalaia, apresentou acreção provavelmente refletindo a circulação da enseada, onde as ondulações penetram pelo sul contornando a enseada no sentido horário e perdendo competência (represadas pelo quebra-mar) e retornando pelo flanco norte

Parâmetros granulométricos

A análise granulométrica dos sedimentos de fundo forneceu os resultados dos parâmetros granulométricos estatísticos expressos na Tabela 9. Todas as amostras foram analisadas com e sem carbonato, evidenciando também como é a distribuição granulométrica do carbonato, e o teor de carbonato ao longo da enseada.

Para melhor entendimento espacial a enseada de estudo foi dividida em três zonas longitudinais, paralelas à linha de costa, de orientação, aproximadamente, norte-sul. A primeira inicia-se no espriamento e termina após a marina, no limite raso do porto, sendo denominada Zona Rasa; sua batimetria varia entre 0 e 6 m aproximadamente. Do início do porto até o “cais do anel” foi definido uma segunda zona, cuja batimetria varia entre 6 e 11m, denominada Zona Intermediária. E finalmente, do cais do anel até a ponta da Fortaleza, com batimetria entre 11 e 17 m (aproximadamente a boca da enseada), foi denominada de Zona Profunda.

Tabela 9. Dados Granulométricos, incluindo posição de coleta, mediana, média, teor de carbonato e classificação de Shepard dos sedimentos.

IDNT	ZON	ID	X-UTM	Y-UTM	DATE	TIME	Md	Mz	SD	SKi	K'G	%CaC	Md	Mz	SD	SKi	K'G	Casc.	Areia	Lama	Casc.	Areia	Lama	%
							(ccarb)					O3	s/carb	s/carb	s/carb	s/carb	s/carb	C/	C/	C/	S/	S/	S/	CaCo ³
A	23K	A	805625	745650	8-Feb-01	23:08:23	3,05	2.96	0,41	-0,24	0,64	9,1	3,06	2.97	0,36	-0,31	0,62	0,03	95,79	4,18	0	97,54	2,46	9,15
B	23K	B	805625	745637	8-Feb-01	23:09:18	3,01	2.88	0,46	-0,31	0,57	7,9	3,07	2.98	0,34	-0,29	0,63	0,41	95,71	3,88	0	97,83	2,17	7,88
C	23K	C	805625	745625	8-Feb-01	23:09:34	2,97	2.89	1,22	-0,65	0,86	10,8	3,03	2.95	0,28	-0,49	0,48	6,49	92,39	1,12	0	99,42	0,58	10,77
D	23K	D	805625	745612	8-Feb-01	23:10:08	2,89	2.83	0,37	-0,35	0,51	5,1	2,96	2.88	0,34	-0,45	0,49	0,12	99,09	0,79	0,1	99,53	0,36	5,08
E	23K	E	805625	745600	8-Feb-01	23:10:36	3,03	2.94	0,3	-0,5	0,49	3	3,07	2.99	0,24	-0,49	0,5	0,62	98,31	1,07	0	99,54	0,46	3,01
01	23K	1	805750	745650	8-Feb-01	23:10:53	2,95	2.77	0,72	-0,38	0,66	13,4	3,01	2.87	0,52	-0,26	0,61	1,22	93,39	5,39	0,16	94,65	5,19	13,41
02	23K	2	805750	745612	8-Feb-01	23:11:20	3	2.99	0,9	-0,04	0,71	12,4	2,98	2.88	0,45	-0,22	0,58	3,0	83,31	13,68	0	96,19	3,81	12,40
03	23K	3	805750	745625	8-Feb-01	23:11:45	2,78	2.69	0,66	-0,46	0,62	9,8	2,82	2.75	0,4	-0,28	0,44	3,77	94,97	1,26	0	99,22	0,78	9,75
04	23K	4	805750	745612	8-Feb-01	23:12:04	2,57	1.21	2,26	-0,8	0,66	23,8	2,77	2.69	0,46	-0,29	0,47	16,27	82,81	0,92	0	99,3	0,7	23,79
05	23K	5	805750	745600	8-Feb-01	23:12:22	2,89	2.82	0,38	-0,34	0,48	8,7	2,93	2.87	0,33	-0,34	0,48	1,3	97,3	1,4	0	99,31	0,69	8,72
06	23K	6	805750	745580	8-Feb-01	23:12:35	3,1	3.08	0,24	-0,15	0,72	4	3,11	3,1	0,21	-0,06	0,72	0,08	98,4	1,52	0	98,9	1,1	4,01
07	23K	7	805875	745650	8-Feb-01	23:12:52	3	2.93	0,61	-0,06	0,7	11,2	3,04	2.94	0,5	-0,12	0,66	0,05	91,83	8,12	0	91,87	8,13	11,23
08	23K	8	805875	745637	8-Feb-01	23:13:35	3,01	3.23	2,6	0,21	0,8	20,9	3,01	3,2	1,22	0,47	0,78	6,35	69,79	23,86	0,05	82,63	17,32	20,88
09	23K	9	805875	745625	8-Feb-01	23:13:47	2,49	2.48	0,76	-0,3	0,63	10,2	2,56	2.56	0,47	-0,08	0,47	2,96	95,84	1,2	0	99,36	0,64	10,16
10	23K	10	805875	745612	8-Feb-01	23:14:03	2,5	1.89	1,74	-0,72	0,76	18,5	2,63	2,6	0,45	-0,15	0,47	12,14	87,34	0,52	0,26	99,4	0,34	18,53
11	23K	11	805875	745600	8-Feb-01	23:14:14	2,29	2.32	0,81	-0,23	0,75	14,2	2,56	2.56	0,48	-0,1	0,47	3,96	95,33	0,72	0	99,59	0,41	14,19
12	23K	12	805875	745580	8-Feb-01	23:14:23	3,07	2.97	0,39	-0,34	0,65	10,6	3,09	3,01	0,35	-0,29	0,71	0,5	97,5	2,0	0	98,25	1,75	10,60
13	23K	13	806000	745650	8-Feb-01	23:14:35	2,5	1.79	2,17	-0,59	0,73	26,7	2,72	2.67	0,71	0	0,59	12,82	79,08	8,11	0,95	91,24	7,81	26,69
14	23K	14	806000	745612	8-Feb-01	23:14:59	2,65	2.55	1,27	-0,37	0,73	16,4	2,7	2,7	0,65	0,04	0,56	5,04	89,09	5,86	0,12	93,71	6,17	16,36
15	23K	15	806000	745625	8-Feb-01	23:15:13	2,24	1.82	1,49	-0,4	0,63	23,2	2,2	2,14	0,75	-0,09	0,43	7,09	87,96	4,95	0	96,64	3,36	23,17
16	23K	16	806000	745612	8-Feb-01	23:15:41	2,61	2.59	0,5	-0,16	0,49	5,66	2,6	2,6	0,44	-0,04	0,44	1,4	97,21	1,39	0	99,39	0,61	5,66
17	23K	17	806000	745600	8-Feb-01	23:15:52	2,63	2.61	0,51	-0,18	0,49	9,7	2,71	2,67	0,42	-0,12	0,42	2,71	95,77	1,52	0	99,25	0,75	9,69
18	23K	18	806000	745580	8-Feb-01	23:16:05	3,01	2.89	0,41	-0,43	0,54	7,7	3,06	2.95	0,37	-0,41	0,6	0,07	98,17	1,76	0	99,07	0,93	7,68
19	23K	19	806125	745650	8-Feb-01	23:16:23	2,72	2.69	0,66	0,09	0,58	9,6	2,71	2.69	0,58	0,12	0,55	0,41	91,28	8,31	0	93,85	6,15	9,60
20	23K	20	806125	745637	8-Feb-01	23:17:42	2,45	2.49	0,64	-0,11	0,55	11,4	2,49	2.53	0,49	0,03	0,46	1,03	95,71	3,26	0	98,29	1,71	11,38
21	23K	21	806125	745625	8-Feb-01	23:18:13	2,03	1.3	1,66	-0,64	0,49	38,3	2,3	2.32	0,62	-0,05	0,56	15,71	83,39	0,89	0	98,31	1,69	38,28
22	23K	22	806125	745612	8-Feb-01	23:18:26	2,74	2	2,15	-0,62	0,77	28,3	2,91	2.77	0,63	-0,18	0,58	12,77	78,48	8,75	0,32	93,59	6,09	28,27
23	23K	23	806125	745600	8-Feb-01	23:18:39	2,36	2.44	0,53	0,06	0,54	8,6	2,44	2.49	0,47	0,07	0,48	0,92	98,0	1,08	0	99,5	0,5	8,60
24	23K	24	806250	745625	8-Feb-01	23:18:51	2,31	2,3	0,65	-0,18	0,61	11,1	2,39	2,43	0,47	0,05	0,5	0,85	98,22	0,93	0	99,36	0,64	11,10
25	23K	25	806250	745612	8-Feb-01	23:19:31	2,08	1,84	1,09	-0,4	0,56	56,9	2,27	2,23	0,69	-0,17	0,55	3,73	95,59	0,69	0	99,13	0,87	56,91
26	23K	26	806250	745600	8-Feb-01	23:19:44	2,16	2,01	0,93	-0,28	0,49	37,4	2,44	2,44	0,59	-0,13	0,52	0,65	98,24	1,12	0	99,29	0,71	37,41
27	23K	27	806500	745650	8-Feb-01	23:19:55	1,06	1,09	1,64	-0,05	0,45	91	1,93	1,85	1,02	-0,15	0,47	11,78	86,67	1,55	0,1	98,05	1,85	90,95

Tabela 9. Dados Granulométricos, incluindo posição de coleta, mediana, média, teor de carbonato e classificação de Shepard dos sedimentos

IDNT ZON	ID	X-UTM	Y-UTM	DATE	TIME	Md	Mz (ccarb)	SD	SKi	K'G	%CaCO3	Md s/carb	Mz s/carb	SD s/carb	SKi s/carb	K'G s/carb	Casc. C/	Areia C/	Lama C/	Casc S/	Areia S/	Lama S/	% CaCO ₃
28 23K	28	80650 0	74562 50	8-Feb- 01	23:20: 24	2,57	2,46	0,88	-0,16	0,56	20,8	2,67	2,61	0,61	-0,12	0,49	0,38	94,39	5,23	0	97,22	2,78	20,80
29 23K	29	80650 0	74560 00	8-Feb- 01	23:20: 47	1,33	1,32	0,99	-0,01	0,52	73,9	2,92	2,74	0,75	-0,43	0,66	1,89	97,05	1,07	1,19	94,51	4,3	73,95
F 23K	F	80554 3	74564 99	20/11/ 02		2,95	2,41	0,98	-0,8	0,66	10,32	2,99	2,87	0,58	-0,66	0,69	0,39	99,29	0,32	0,04	99,64	0,32	10,32
G 23K	G	80551 2	74563 74	20/11/ 02		2,76	2,04	1,32	-0,75	0,4	15,33	2,87	2,27	1,08	-0,77	0,63	2,8	96,98	0,23	0,42	99,33	0,25	15,33
H 23K	H	80546 7	74562 50	20/11/ 02		2,45	2,35	0,71	-0,34	0,57	5,74	2,47	2,4	0,62	-0,3	0,56	0,39	99,25	0,36	0	99,97	0,03	5,74
I 23K	I	80544 8	74561 25	20/11/ 02		0,03	0,09	0,66	0,66	0,54	41,01	0,21	0,23	0,79	0,27	0,7	9,1	90,86	0,04	1,08	98,77	0,15	41,01
J 23K	J	80545 4	74560 08	20/11/ 02		2,04	1,99	0,64	-0,16	0,52	7,12	2,08	2,04	0,56	-0,12	0,51	0,18	99,74	0,08	0	99,91	0,09	7,12
K 23K	K	80548 0	74558 52	20/11/ 02		2,63	2,58	0,44	-0,21	0,5	2,44	2,58	2,55	0,42	-0,14	0,92	0,12	99,01	0,88	0	99,93	0,07	2,43
R 23K	R	80638 0	74565 00	20/11/ 02		2,38	2,19	1,23	-0,47	0,62	61,56	2,96	2,85	0,56	-0,38	0,64	6,69	92,31	1,0	3,87	93,49	2,64	61,56
S 23K	S	80638 0	74562 50	20/11/ 02		2,07	1,91	0,96	-0,27	0,5	26,93	2,29	2,28	0,69	-0,14	0,53	0,76	98,7	0,54	0,05	99,17	0,78	26,93
T 23K	T	80638 0	74563 75	20/11/ 02		1	0,99	1,04	-0,05	0,49	61,69	1,57	1,46	1,02	-0,15	0,49	3,97	95,81	0,21	0,58	98,45	0,96	61,69
W 23K	W	80638 0	74561 25	20/11/ 02		0,86	0,92	1,19	0,01	0,49	52,27	1,53	1,45	0,99	-0,1	0,44	6,47	93,52	0,01	0,3	99,25	0,45	52,27
Z 23K	Z	80638 0	74560 00	20/11/ 02		0,85	0,9	1,23	-0,01	0,53	70,42	1,76	1,61	1,13	-0,2	0,45	7,27	92,19	0,55	0,74	98,38	0,89	70,42
Y 23K	Y	80638 0	74558 75	20/11/ 02		2,23	2,23	0,64	-0,09	0,51	61,12	2,62	2,6	0,41	-0,09	0,45	0,51	99,08	0,41	0	99,3	0,7	61,12
X 23K	X	80562 5	74558 75	20/11/ 02		3,1	3,07	0,18	-0,43	0,62	3,24	3,1	3,06	0,18	-0,44	0,62	0,0	99,46	0,54	0	99,51	0,49	3,25

O teor de carbonato na zona rasa (Figura 30, A) apresentou teores entre 0 e 10% no flanco Sul e centro da praia, aumentando para 10 a 20% no flanco Norte. Na zona intermediária o teor variou entre 20 e 50% com os maiores valores representados por um possível canal de acesso ao porto, vindo de sudeste e terminando no meio da enseada, como uma ponta para noroeste (possivelmente associado as dragagens). Na zona profunda ocorreu o inverso, o teor variou entre 50 e 80%, apresentando as maiores concentrações nos extremos da zona, em dois lóbulos, ficando o centro com as menores concentrações relativas. Como evidenciado pelos resultados, houve um aumento do teor de carbonato da zona rasa para a profunda, como também foi observado um aumento de teor do flanco Sul para o flanco Norte, nas três zonas.

O diâmetro médio granulométrico com carbonato (Figura 30, B1) apresentou variação ao longo da enseada. A escala granulométrica foi expressada em “fi”, as matizes escuras estão associadas à granulometria mais grossa, enquanto que as claras, estão associadas às frações finas, ambas no intervalo da classe areia. Desta forma, foi verificado na zona rasa a presença de grãos finos no flanco sul, no centro da praia e no flanco norte, todos na classe areia fina, exceção feita por dois lóbulos, um de sedimentos grossos culminado por sedimentos mais grossos, no limite entre o flanco sul e o centro da praia, a 200 m do espraiamento; outro entre o flanco norte e o centro da praia apresentou a situação inversa, um depósito de finos entre 250 e 300 m do espraiamento. Na zona intermediária, a distribuição da zona rasa se repete, com o flanco sul apresentando, em média, menor granulometria do que o centro e o flanco norte. No centro desta zona, há um depósito mais grosso culminado por areia grossa, formando uma cunha de sedimentos mais grossos na área, com orientação noroeste-sudeste. No flanco norte, a granulometria média foi semelhante ao centro, apresentando, entretanto,

dois enclaves, um mais grosso que a média, pequeno e circular, a 500 m do espraiamento; e outro, mais fino que a média, elíptico e alongado, em direção ao flanco sul, a 600 m do espraiamento. Na zona profunda, a granulometria apresentou aumento em relação a zona intermediária, principalmente nos extremos; no flanco Sul, a base da cunha descrita na porção central do zona anterior, se estende num grande depósito de areia

média, com um lóbulo de areia grossa. Na porção central houve predominância da granulometria mais fina da zona intermediária, aumentando o tamanho de grão para ambos os flancos. Desta forma, no flanco norte, foi observada a maior concentração de grossos do mapa, em três faixas diagonais noroeste-sudeste, aumentando a espessura e a granulometria em direção ao fundo.

O diâmetro médio granulométrico sem carbonato (Figura 30, B2), mostrou menor variação que as anteriores. Na zona rasa foi encontrada areia fina no flanco sul, no centro da praia e no flanco norte. Na zona intermediária, o flanco sul e o flanco norte apresentaram granulometria semelhante, sendo que no sul foi encontrado uma lente de sedimentos mais finos. A porção central apresentou granulometria mais grossa em relação aos flancos. Na zona profunda houve uniformidade da granulometria do flanco sul para o flanco norte.

Qualitativamente, os sedimentos analisados são constituídos essencialmente de quartzo, bem arredondados, ocorrem biodetritos carbonáticos em locais específicos como acima da face da praia e em profundidade na boca da enseada, raramente são encontrados outros minerais como feldspato e pirobólios bastante arredondados; os resultados granulométricos estão apresentados na tabela 9.

Foram feitos ainda dois mapas facirológicos com e sem carbonato (Figura 31), utilizando a classificação de Shepard (SHEPARD,1954) que criou um gráfico triangular com seus extremos correspondendo a 100% de cascalho, areia e lama, o diagrama se divide além das três zonas extremas em mais 12 zonas intermediárias, que interpolam as quantidades percentuais dos extremos.

Com esta classificação o mapa facirológico da enseada com carbonato identificou três classes: areia, areia cascalhosa e areia lamosa (Figura 31, A); no mapa facirológico sem carbonato foi identificada somente a classe areia (Figura 31, B).

A conclusão sobre a distribuição dos carbonatos é um trabalho a parte, o teor mostra um aumento gradativo da praia para a boca da enseada, onde se concentram os maiores valores (Figura 30); a correlação entre teor x mediana e teor x fi médio associa os maiores teores as frações mais grossas (Tabela 10); o resultado da faciologia com e sem carbonato (Figuras 31 A e B) usando a classificação de Shepard indica que os carbonatos foram responsáveis pelos depósitos de areia lamosa e cascalhosa, isto é com classes mais finas e mais grossas que a classe dominante areia.

Refração de ondas

A simulação da refração de ondas, utilizando o software *Mike 21* mostrou que para um evento de leste com altura de onda de 2 m, ocorre uma notável atenuação da onda em direção à praia, chegando a uma altura máxima de 1,4 m na zona central da praia (Figura 32).

Tabela 10. Correlação entre o teor de Carbonato, phi médio e mediana.

amostra	CaCO3	mediana	media	
1	13	2,9504	2,773	
2	12	3,0043	2,99	
3	10	2,7759	2,69	
4	24	2,5709	1,212	
5	9	2,8902	2,401	
6	4	3,1039	3,076	
7	11	3,034	2,927	
8	21	3,0094	3,232	
9	10	2,4898	2,475	
10	19	2,4958	1,895	
11	14	2,2924	2,317	
12	11	3,0712	2,972	
13	27	2,5037	1,787	
14	16	2,6491	2,552	
15	23	2,2421	1,822	
16	6	2,6106	2,591	
17	10	2,6346	2,614	
18	8	3,0148	2,888	
19	10	2,7243	2,691	
20	11	2,4515	2,491	
21	38	2,0335	1,229	
22	29	2,7363	2,002	
23	9	2,3607	2,44	
24	11	2,3111	2,299	
25	57	2,0771	1,842	
26	37	2,1597	2,013	
27	91	1,0559	1,091	
28	21	2,5708	2,46	
29	74	1,3357	1,323	
A	9	3,054	2,961	
B	8	3,0133	2,882	
C	11	2,9733	2,893	
D	5	2,8862	2,832	
E	3	3,0258	2,94	

Correl.r = -0,86

Correl.r = -0,77

A

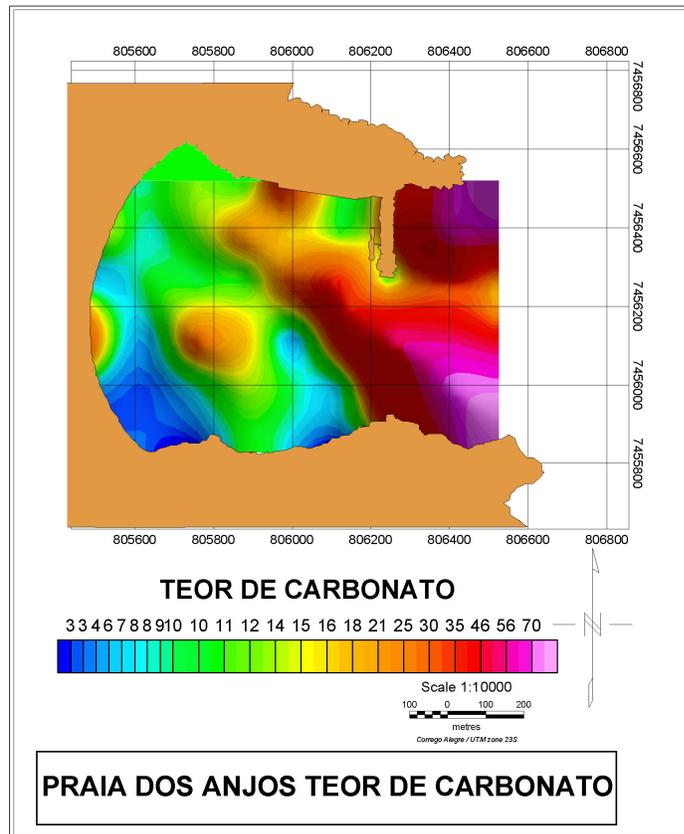
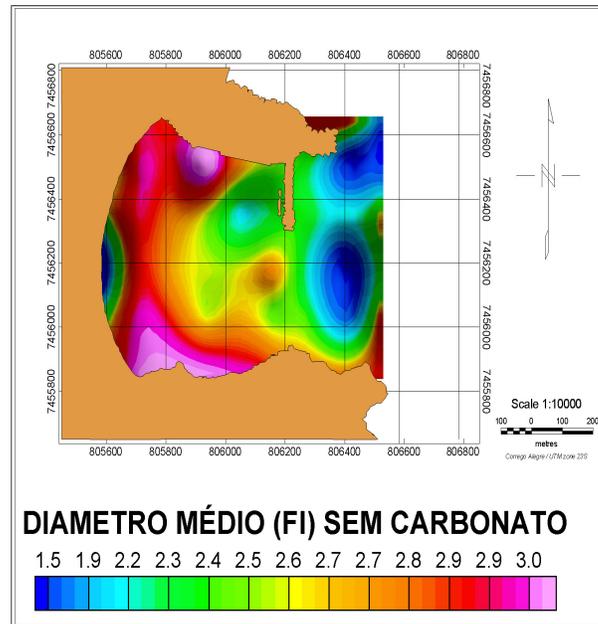


Figura 30. A, Teor de Carbonato da Praia dos Anjos, Arraial do Cabo, RJ.

B



C

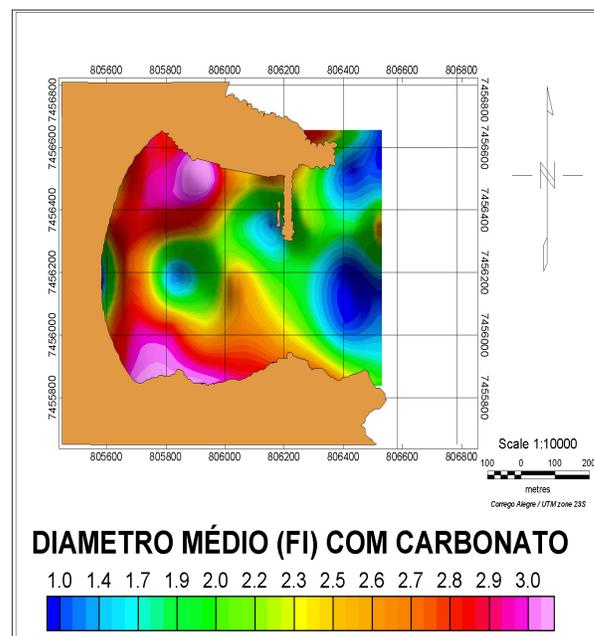


Figura 30. Granulometria da Praia dos Anjos; B, sem carbonato; C, com carbonato.

No flanco sul há uma difusão das ortogonais por conta do recorte do costão rochoso, atingindo as ondas uma altura máxima de 1,0 m., enquanto que no flanco norte, devido à presença do molhe ou quebra-mar do Porto do Forno (que estrangula a seção em 36%), ocorre a difração da frente de onda. Após ultrapassar o molhe em direção ao flanco norte aumenta o espaçamento das ortogonais, variando a altura da onda de 0,8 m na região mais próxima ao centro do arco e de zero metros no extremo norte do embaíamento.

Em diferente escala, o modelo REF DIF S KIRBY (1998) calculado para espectros direcionais de *Jonswap*, utiliza parâmetros de cálculo do espalhamento direcional medidos na Bacia de Campos. Selecionado um evento de ondulações Leste, este modelo apresentou melhor definição para esta direção do que o modelo REF DIF S inicializado pelo espectro de Pierson-Moskowitz.

A altura das ondas na simulação com o quebra-mar é de 3 m (Figura 33), sendo atenuadas ao máximo de 1,6 m na região central. No flanco sul as ondas atingem 1,2 m e no flanco norte de 0,60 m a 0 m, resultados semelhantes aos obtidos com o *Mike 21*.

Na simulação do modelo REF DIF S inicializado pelo espectro de *Jonswap*, para a mesma onda, sem o quebra-mar (Figura 34), o valor central é semelhante, variando de um máximo de 1,6 a 1,8 m, mas para os flancos há uma atenuação por igual, isto é, quase na mesma proporção, 1,2 m sendo que agora o flanco norte apresenta até alturas maiores que o flanco sul.

Uma análise comparativa dos resultados com e sem o quebra-mar (Fig. 33 e 34) demonstra que na ausência do quebra-mar ocorre surgimento de uma área de convergência de energia no flanco norte da Praia dos Anjos, e na presença do quebra-

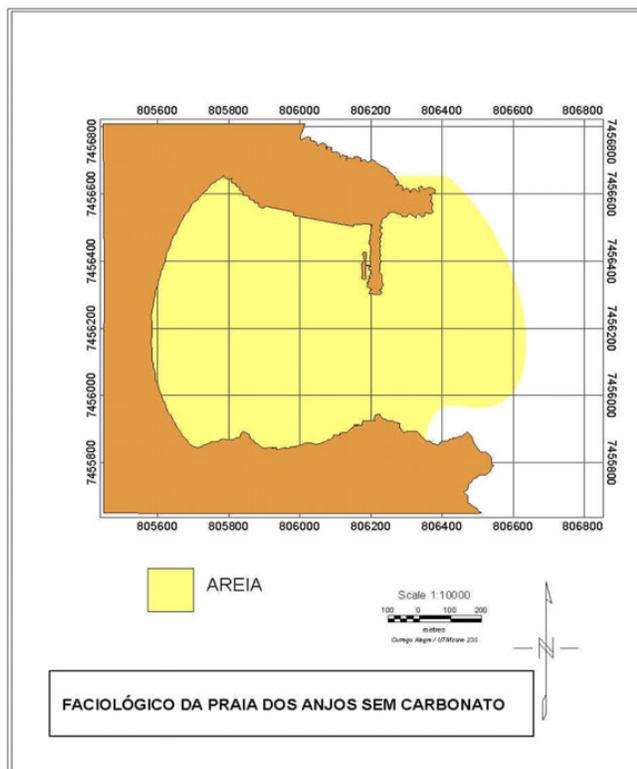
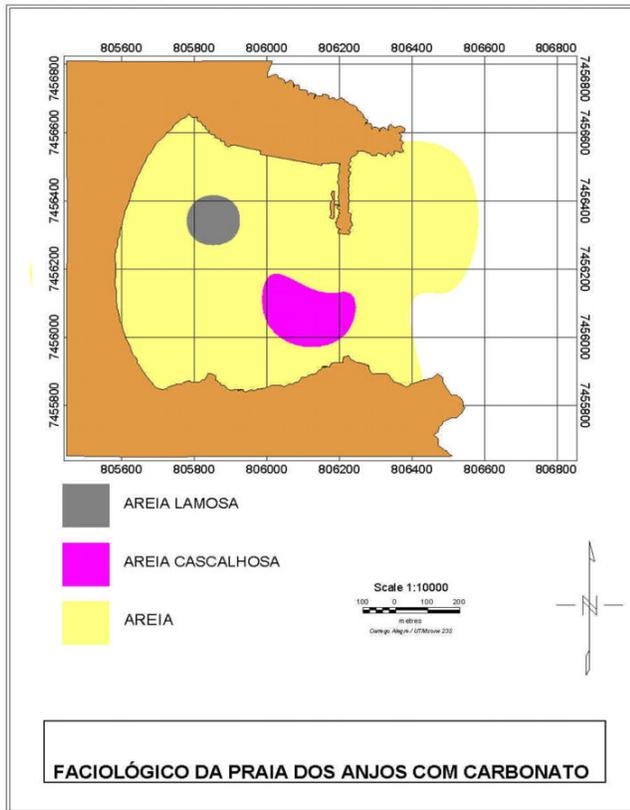


Figura 31. Faciologia da Praia dos Anjos, com e sem carbonato.

mar a zona de convergência ocorre no flanco sul da praia, ambas com altura significativa chegando a 2,5 metros.

A simulação do evento nordeste foi feita com o modelo REF DIF S inicializado com espectro de Pierson-Moskowitz, apresentou a maior energia concentrada no flanco sul e as diferenças da presença e ausência do quebra-mar não são tão significativas quanto o modelo anterior na direção leste (Figuras 35 e 36).

Marcas de ondulação (Ripples marks)

As marcas de ondas da enseada dos Anjos foram identificadas como assimétricas em relação à geometria. Quanto à dimensão foram classificadas como “ripple marks” propriamente ditas ($\lambda < 60$ cm). Pela dimensão lateral e os fatores já citados conclui-se que foram geradas por ondas de gravidade.

Perfil Sul

1ª Seqüência : marcas de onda de meso-escala medidas no perfil sul, com o “0” colocado a 19,35m do piquete, na direção do perfil a 52,40m do zero foram medidas estruturas com as seguintes características

Comprimento de Onda (λ) = 8 cm

Amplitude de Onda (h) = 0,5 cm

Profundidade.....= 2,5 metros

2ª Seqüência : marcas de onda de pequena escala a 58 m do zero do perfil sul, com as seguintes características

Comprimento de Onda (λ) = 40 cm

Amplitude de Onda (h) = 8 cm

Profundidade.....= 3,0 metros

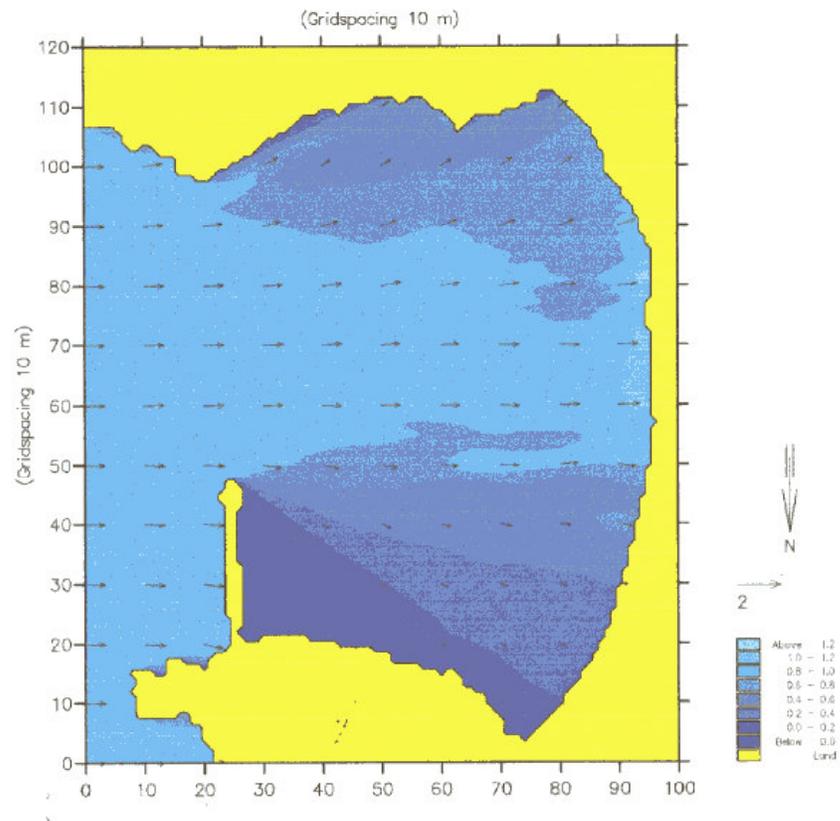


Figura 32. Refração de onda segundo o modelo *Mike 21*, com ventos de Leste, para a Praia dos Anjos, Arraial do Cabo, RJ.

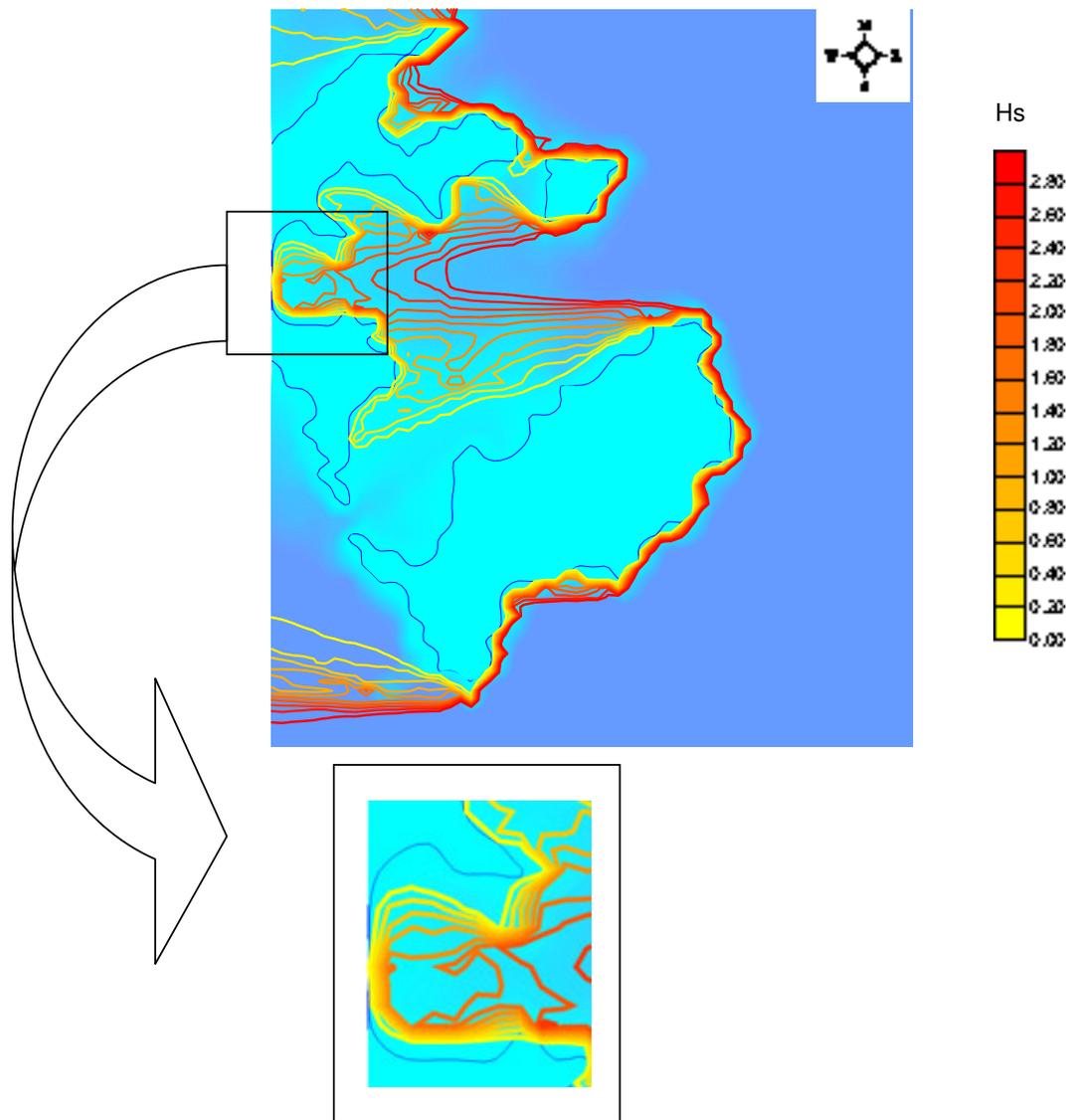


Figura 33. Refração de ondas segundo o modelo *Jonswap* para a enseada dos Anjos, Arraial do Cabo, RJ. Simulação na presença do molhe. Espectro Jonswap – 5 períodos (9-4 s); Multidirecional – Direção principal 90° Leste; HS inicial 2,90 metros.

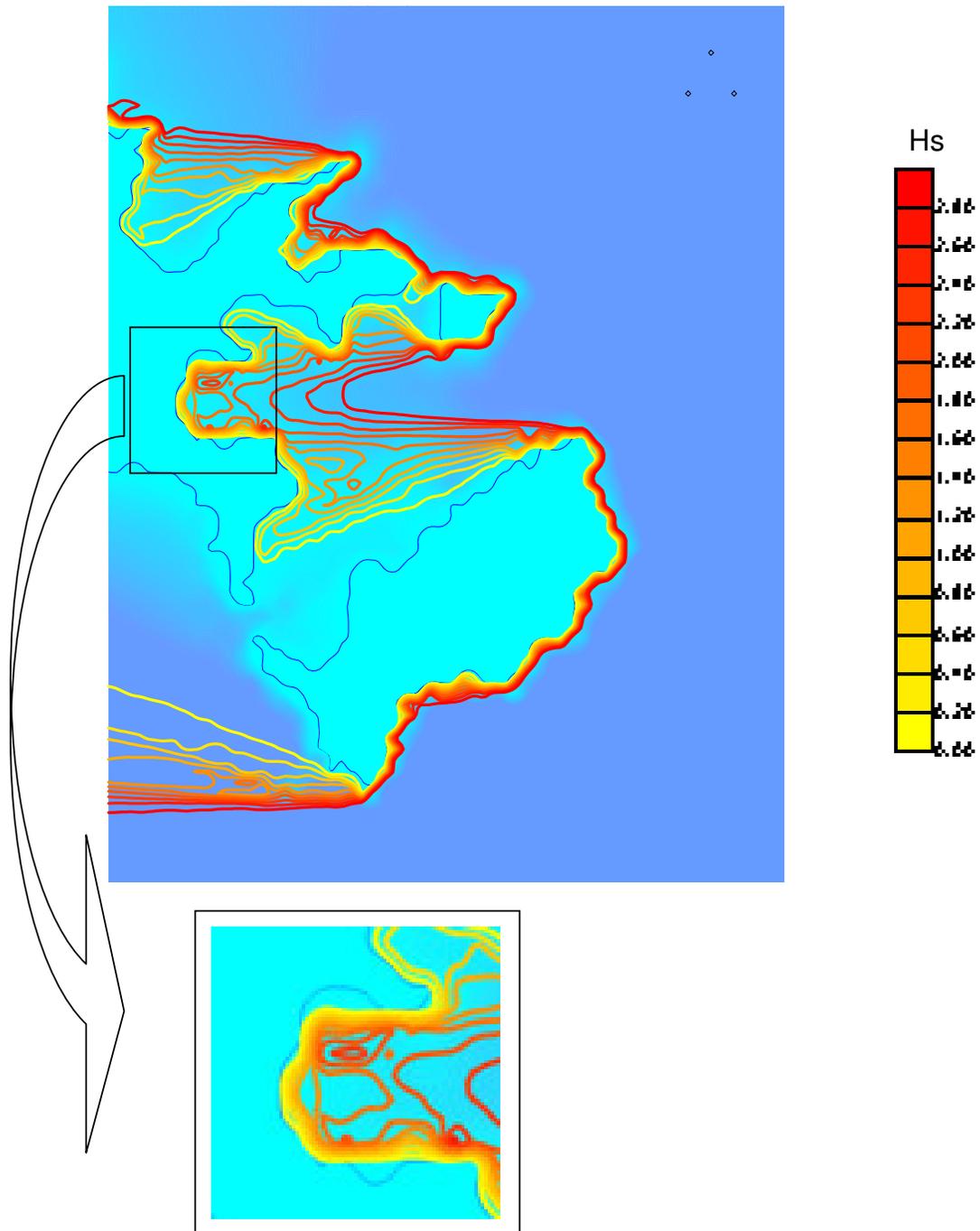


Figura 34. Refração de ondas segundo o modelo *Jonswap* para a enseada dos Anjos, Arraial do Cabo, RJ. Simulação na ausência do molhe. Espectro Jonswap – 5 períodos (9-4 s); Multidirecional – Direção principal 90° Leste; HS inicial 2,90 metros.

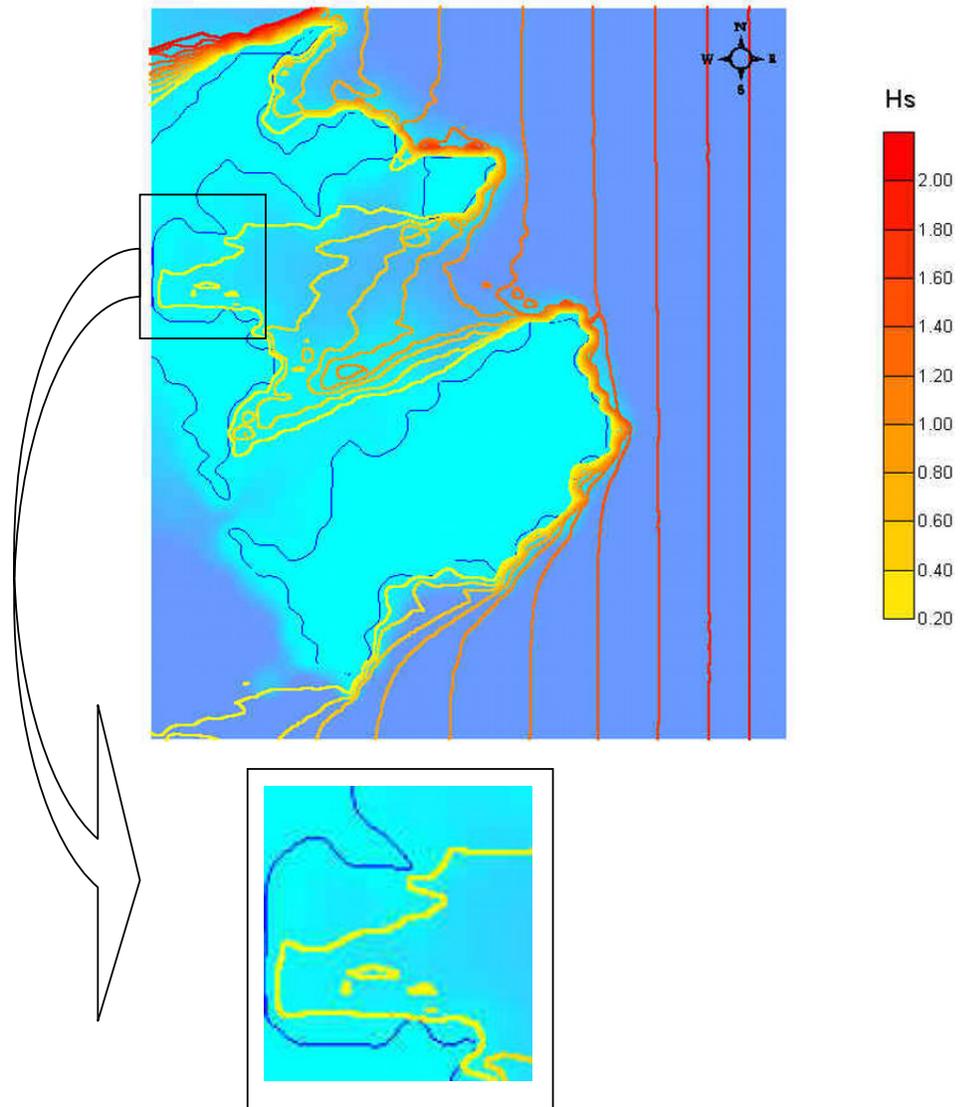


Figura 35. Refração de onda na Praia dos Anjos utilizando o programa Pierson. Simulação com quebra-mar e ventos de Nordeste.

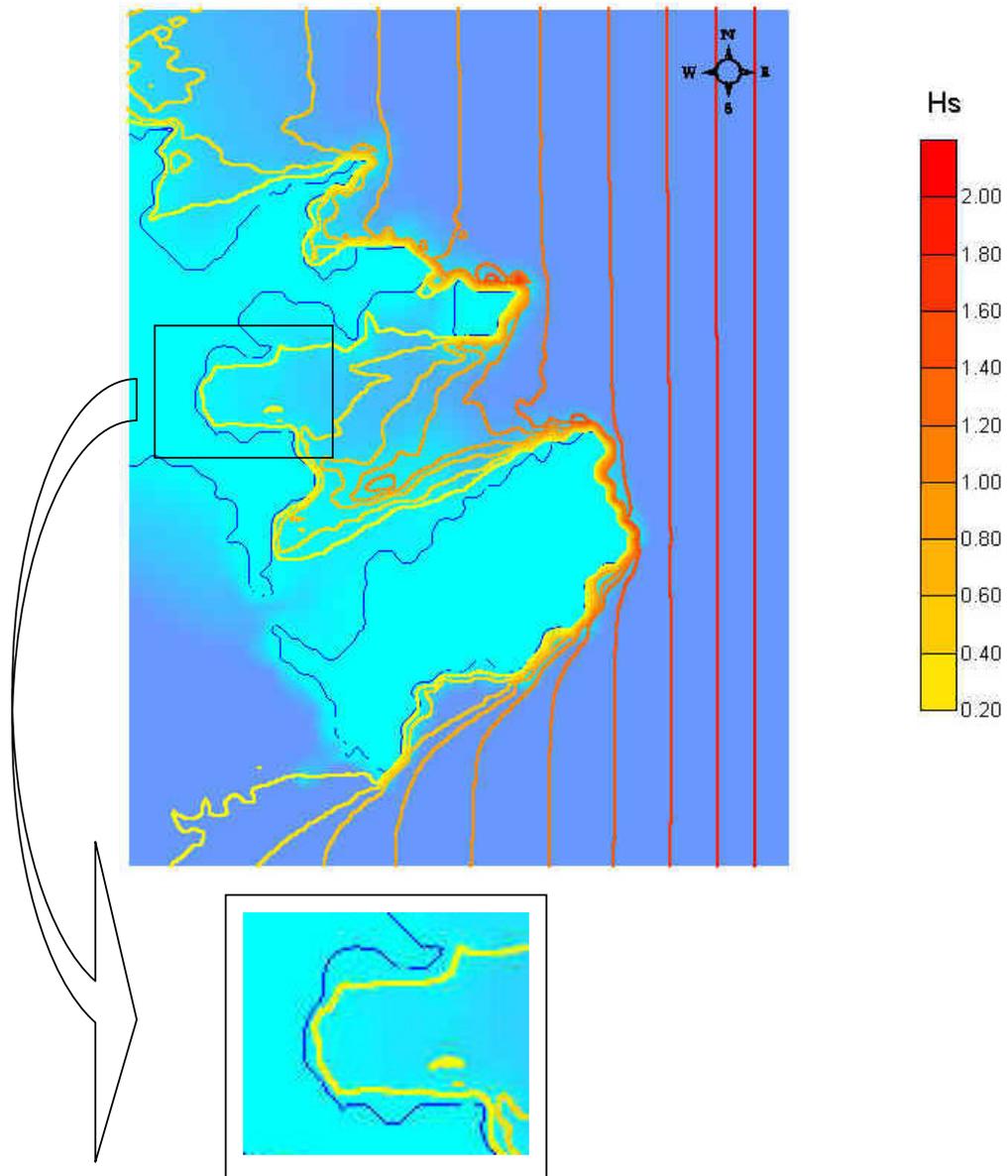


Figura 36. Refração de onda na Praia dos Anjos utilizando o programa Pierson. Simulação sem quebra-mar e ventos de Nordeste.

Perfil Norte

1ª Seqüência : marcas de onda medidas no perfil norte, com o “0” colocado a 47,80m do primeiro degrau do Museu, na direção do perfil a 24 m do zero foram medidas estruturas com as seguintes características:

Comprimento de Onda (λ) = 5,5 cm

Amplitude de Onda (h) = 1 cm

Profundidade.....= 2,0 metros

2ª Seqüência : marcas de onda medidas de pequena escala a 30 m do zero do perfil norte, com as seguintes características:

Comprimento de Onda (λ) = 8 cm

Amplitude de Onda (h) = 3 cm

Profundidade.....= 2,5 metros

3ª Seqüência : marcas de onda medidas de pequena escala a 35,80 m do zero do perfil norte, com as seguintes características:

Comprimento de Onda (λ) = 15 cm

Amplitude de Onda (h) = 4 cm

Profundidade.....= 3,0 metros

Figuras 37 a 40.



Figura 37. Foto das marcas de ondulação na Praia dos Anjos no perfil Sul, mostrando quadro com bússola (1° seqüência).



Figura 38. Foto das marcas de ondulação (ripple marks) na Praia dos Anjos, perfil Sul (2° seqüência).



Figura 39. Foto das marcas de ondulação (ripple marks) na Praia dos Anjos, perfil Norte, mostrando quadro com bússola (2° seqüência).



Figura 40. Foto das marcas de ondulação (ripple marks) na Praia dos Anjos, perfil Norte (3 ° seqüência).

6. DISCUSSÃO

Refração de ondas

A reconstituição do campo de ondas dentro da enseada dos Anjos, na presença e na ausência do quebra-mar, permite constatar uma diferenciação da distribuição de energia das ondas ao longo da enseada.

O estudo da distribuição espacial das alturas significativas de ondas na Praia dos Anjos mostra que, na ausência desta estrutura (quebra-mar), o campo de ondas é mais homogeneamente distribuído. Além disso, observa-se também, na sua ausência, o aparecimento de áreas de convergência de energia no canto esquerdo da praia (flanco Norte), fato este, não observado nas simulações realizadas com a presença do quebra-mar, o que sugere que esta estrutura afeta realmente o padrão de propagação das ondas dentro da enseada (FISCH, 1996).

O modelo Mike 21 ratifica o efeito de sombra causado pelo quebra-mar na difração da frente de onda, e a atenuação da altura da onda resultante no flanco Norte, tendo em sua extremidade altura significativa próxima de zero. Simultaneamente demonstra a concentração da energia de ondas, refletida nas suas alturas significativas que atingem o ápice do centro para o centro-sul do arco praiial.

O modelo Pierson-Moskowitz, com direção de ondas de NE, corrobora com os resultados anteriores e define a formação de um foco estável erosivo no flanco sul. O foco estável erosivo da praia devido a concentração de energia de ondas é citado com frequência em geomorfologia costeira (SPERANSKI e CALLIARI 1999), foco dos raios de onda, significa concentração de energia em uma área relativamente pequena. Tal fenômeno aparece frequentemente em diagramas de refração de ondas.

Granulometria

O efeito do quebra-mar sobre a granulometria é expressivo, a distribuição dos sedimentos na enseada foi substancialmente alterada pela construção e expansão do quebra-mar do Porto do Forno; para perceber a extensão das mudanças é preciso entender como foram trabalhados os índices granulométricos.

Os gráficos e mapas traçados sobre a granulometria neste trabalho utilizaram a média granulométrica, como parâmetro, pelo entendimento que, este dado é de fácil compreensão e racionalização entre os demais. Também foram tabulados mediana, desvio padrão, assimetria e curtose gráfica, além da quantificação percentual entre cascalho, areia e lama (Tabela 9), para o estabelecimento da faciologia sedimentar.

Quatro das medidas acima descritas definem as características das amostras de sedimento, analisadas do ponto de vista de distribuição granulométrica. Elas podem ser resumidas da seguinte maneira: a tendência central é bem caracterizada pelo diâmetro médio. O grau de seleção ou desvio padrão e a assimetria indicam as relações entre média e mediana e, finalmente a curtose descreve o grau de agudez dos picos das curvas de distribuição de frequências (SUGUIO, 1973).

Os resultados granulométricos expostos nos mapas se concentraram em quatro classes: 30 amostras de areia fina, 10 amostras de areia média, 4 amostras de areia grossa e 3 amostras de areia muito fina. Também demonstraram uma inversão sedimentar, na medida em que os sedimentos mais grossos concentraram-se no fundo, enquanto os mais finos concentraram-se nas zonas mais rasas e batidas. Sendo este um sistema sem aporte fluvial, muito antigo com idades de 5300 anos **A.P.** (MARTIN & SUGUIO, 1989), e com o transporte eólico unidirecional, isto é, os grãos são retirados do pós-praia, mas não são devolvidos à ante-praia, nós podemos sugerir que, as areias

fornecidas pela plataforma continental interna conforme o modelo de evolução descrito na caracterização fisiográfica, na faixa da zona de surfe e espriamento foram trabalhadas milhares de anos, reduzindo seu diâmetro. E na zona de arrebenção, o diâmetro dos grãos são maiores (areia média), pois são menos trabalhados e além disso teriam chegado à menos tempo no sistema, tal hipótese explicaria a diferença nos diâmetros granulométricos. Isto é respaldado por MARTIN & SUGUIO (1989), que chamam a atenção para o excepcional grau de arredondamento dos sedimentos do Cabo Frio, provavelmente resultado do retrabalhamento das ondas por longo tempo.

Os mapas faciológicos foram muito ilustrativos, a faciologia com carbonato provavelmente resulta da dragagem do porto onde foi retirado sedimento do canal de acesso e lançado na parte rasa (Figura 31). A faciologia sem carbonato ao mostrar apenas uma classe (Figura 32), evidencia que a dragagem atingiu um depósito rico em carbonato, visto que, a mesma amostra não revelou distinção de classe ao ser retirado o carbonato.

A distribuição dos carbonatos correlacionadas as Figuras 28, 29 e 30 com a Tabela 10, indicam que realmente o carbonato na enseada estava associado a partículas mais grossas que acrescido de seu comportamento hidrodinâmico especial nos leva ao seguinte modelo: O carbonato refletiria a entrada das ondas na enseada, quando avança em direção à praia, a energia das ondas leva as partículas grossas (pelas características hidrodinâmicas) ao pós praia; quando em partículas finas é carregado pelas ondas de refluxo em direção a boca da enseada, onde perde competência e deposita junto aos grossos que chegam transportados pelas ondas. Isto resulta então, em baixos teores nas zonas de espriamento e surfe, pois as partículas finas em ambientes de maior energia

seriam carreadas para as zonas mais profundas, que com menor energia propiciariam a sedimentação.

A faciologia nos mostra através da variação do carbonato o local provável da retirada e depósito dos sedimentos por ocasião da dragagem.

Na maioria das vezes, as praias são compostas por areias, mas lamas (silte e argila) podem cobrir parte da zona submarina defronte à praia, principalmente quando há presença de desembocaduras fluviais (MUEHE, 1994).

A ausência de desembocadura fluvial já citada, é provavelmente fator preponderante na ausência de lamas na enseada, apesar de ser uma praia protegida, e no flanco Norte a baixa energia serem fatores favoráveis a sedimentação dos finos, aliada a fonte dos sedimentos ser a plataforma continental interna, ainda cabe salientar a baixa à nula influência do emissário nos sedimentos da enseada. A conexão dos promontórios de Arraial do Cabo (antigas ilhas) ao continente se deu por transgressões e regressões marinhas iniciadas a 123000 anos, constituindo a feição geomorfológica de duplo tómbolo (TURCQ *et al.*, 1999), comprovando que os sedimentos marinhos de Arraial do Cabo são milenares.

Marcas de ondulação

As ripples originadas pelas ondas tem suas principais características associadas a altura, período e comprimento da onda geradora (BUCHER, 1919).

MUEHE (1994) confirma a afirmação, dizendo que a altura significativa, média de 1/3 das ondas mais altas, é adequada para a avaliação da capacidade de transporte de sedimentos, apresentando boa relação com a geometria (comprimento e altura) de marcas de ondulação (ripples marks).

Pelo exposto, baseando-se nos resultados apresentados, confirma-se que as alturas de ondas do flanco Sul são maiores que as do flanco Norte, na Praia dos Anjos, visto que as ripples geradas no Norte apresentam dimensões menores que a do Sul, comparadas em mesma profundidade. As ripples ainda caracterizam, como citado na discussão granulométrica, o transporte de sedimentos em direção a face da praia.

As ripples então, ratificam a variação da energia da onda ao longo do arco praiial, já visto nos outros processos, e indicam o transporte de sedimento perpendicular a costa, em direção a face da praia, já visto anteriormente.

Perfis topográficos

Os perfis topográficos demonstraram os efeitos de ventos fortes (NE – agosto a novembro), não acusaram variações devidos a ventos do quadrante Sul. Mostraram ainda, gradação dos efeitos morfodinâmicos ao longo da enseada, isto é, o perfil Sul apresentou invariavelmente as maiores modificações, sendo acompanhado com menor amplitude pelo perfil Central, enquanto o perfil Norte se manteve inalterado na parte submersa, mas registrou em pequena escala, os efeitos dos ventos fortes, na parte emersa (menor amplitude). As variações dos perfis transversais à praia resultam da energia das ondas a que estes estão submetidos (MUEHE, 1996). Segundo HALLERMEIER (1981), o efeito da sazonalidade sobre os perfis também é variável em seus segmentos, atingindo as maiores amplitudes na parte emersa e diminuindo a amplitude em direção ao mar.

Nos locais em que o regime de ondas se diferencia em tempo bom (engordamento da praia) e em tempo de tempestade (erosão da praia) há o desenvolvimento de perfis sazonais típicos de acumulação e erosão (SHEPARD, 1954;

MUEHE, 1998a). Estas variações geralmente ocorrem em períodos cíclicos característicos e isto pôde ser observado também na Praia dos Anjos. Entretanto, os perfis também variaram instantaneamente ao receber a entrada de tormentas do quadrante NE, erodindo a praia, que logo após, retornou ao perfil de tempo bom. KOMAR (1976) e MUEHE (1998a) também descrevem este processo como uma das causas das variações de perfis.

A maior variação de volume registrada nos perfis da Praia dos Anjos ocorreu no perfil Sul, com 1 metro de amplitude na parte submersa. Um estudo da variabilidade de perfil realizado na Praia de Ipanema – RJ (MUEHE & DOBEREINER, 1977) também registrou variações de acúmulo de sedimento tanto na praia (2,6 m) quanto na zona de surfe (2,2 m). Ao compararmos os perfis da praia dos Anjos verifica-se que o flanco Sul ao apresentar tais variações de amplitude indica características de praia intermediária, enquanto o flanco Norte apresenta características de praia refletiva. O estado refletivo identifica praias com pouca ou nenhuma zona de surfe, berma da praia elevada e estoque de areia baixo na zona submarina; o estado intermediário é caracterizado pela presença de bancos e calhas, múltiplas arrebentações, gradiente da face da praia variável (MUEHE, 1994).

Parâmetros morfodinâmicos

O estabelecimento de relações empíricas entre as variáveis de forma e processo se fez necessário, uma vez que, as praias podiam variar amplamente de configuração, em relação ao seu estado mais freqüente ou modal. Assim surgiram vários parâmetros como o Ω de Dean, o regime de fluxo de KEMP & PLISTONE (1968), parâmetro de impacto de promontórios, Δ de MUEHE (1998a) e parâmetro de bancos de SHORT &

AAGAARD (1993), que foram utilizados para a classificação mais precisa do estado morfodinâmico (modal) da praia. Cada um destes parâmetros foi desenvolvido e aplicado em praias regionais, e abarca elementos distintos da morfodinâmica. Portanto, a utilização de uma série se torna mais apropriada, pois permite a comparação de indicadores de estado morfodinâmico, e aponta qual elemento da praia de estudo melhor a define.

O parâmetro de Dean é atualmente o mais utilizado na comunidade internacional, no entanto apresenta baixa diagnosticidade para caracterização do estado praiado das praias do Rio de Janeiro (MUEHE, 1998a), apesar disso a sua utilização na Praia dos Anjos foi muito boa discriminando o flanco Sul como estado modal de praia intermediária, a baixa correlação provavelmente está ligada a morfologia da plataforma continental brasileira distinta da australiana.

Na praia dos Anjos, o parâmetro Δ de Muehe foi o que melhor demonstrou as diferenças morfodinâmicas entre os extremos do arco praiado, classificando o flanco Norte e a porção central como refletivo e o flanco Sul ora como intermediário, terraço de baixa mar e ora como refletivo caracterizando a sazonalidade do perfil.

Modelo de Equilíbrio em Planta para Praias de Enseada

A utilização do MEPPE na praia dos Anjos corrobora a impressão visual da influência do quebra-mar, onde os resultados apresentados indicam o desequilíbrio ou equilíbrio dinâmico que ocorre na enseada. Ao considerarmos o quebra-mar como ponto de difração das ondas, obtivemos uma linha de costa em equilíbrio dinâmico, tendendo a erosão no sul e acresção no norte da enseada, ao desconsiderarmos a existência do quebra-mar e utilizarmos a ponta da fortaleza (extremidade do promontório ao norte da enseada) como difrator das ondas, o modelo apresentou uma linha de costa

perfeitamente ajustada à existente, demonstrando para esta situação o equilíbrio estático. A comparação com os demais resultados demonstra a boa aplicabilidade do programa na enseada de estudo, e o bom resultado do modelo parabólico (HSU *et al.*, 1987), além da facilidade no manuseio e interpretação dos resultados gerados pelo programa.

A erosão do flanco sul da enseada é uma realidade, constatada pelo enrocamento de proteção construído pelo IEAPM naquele local, como pela análise da linha de costa nas fotos mais recentes (Fig. 26).

A foto utilizada para o traçado do MEPPE é de 1976, ao compararmos com a foto de 2002 que inclusive apresenta o traçado da linha de costa de 1976 (Fig.26), verifica-se a perfeita aplicabilidade do modelo nesta área provando a retrogradação da linha de costa no flanco sul; no entanto em relação ao flanco norte, a taxa de progradação da linha de costa foi menor do que o estimado no modelo.

Batimetria

O levantamento batimétrico utilizado neste trabalho foi realizado pelo Wars em dezembro de 1996. Ao compararmos com a carta náutica 1503 (DHN), as diferenças observadas são referentes a diferença temática da representação, isto é, o levantamento batimétrico da marina ao ser representado na carta náutica reduz as informações à uma densidade operacional, utilizando a menor profundidade da área. Isto leva geralmente a idéia de um fundo mais raso que o real, que é desejável para a segurança da navegação. Isto não ocorre nos estudos de dinâmica costeira, que necessita dados de relevo do fundo, para análise com modelos de refração de ondas, correntes e fluxo de sedimentos.

A batimetria da enseada reflete uma rampa de mergulho suave, aproximadamente um grau, com interferências causadas pelo quebra-mar e pelas dragagens do porto, que alteram, localizadamente a batimetria da enseada.

7. CONCLUSÕES

- A refração de ondas demonstrou claramente a interferência do quebra-mar na distribuição da energia da onda na enseada, e sua concentração no flanco Sul, resultando em processo erosivo.
- A granulometria foi representada por quatro classes, segundo Wentworth, indicando bom selecionamento. A distribuição das classes também indicou um bom selecionamento, 64% de areia fina, 21% de areia média, 8,5% de areia grossa e 6,5% de areia muito fina. As frações mais grossas foram encontradas em profundidade, enquanto as mais finas próximas a praia. A classificação textural de Shepard resultou na identificação de areia como classe única nas análises sem carbonato, e em mais duas classes com pequena extensão nas análises com carbonato, areia lamosa e areia cascalhosa .
- As marcas de ondulação ratificaram a variação de energia resultante da altura das ondas, crescente do norte para o sul da enseada, e indicou também, que o transporte sedimentar se deu ortogonal à linha de costa.
- Os perfis topográficos transversais à praia caracterizaram um arco praiial com comportamento morfodinâmico variável da extremidade Norte à extremidade Sul, com a praia ora respondendo como totalmente refletiva, ora refletiva ao Norte e intermediária ao Sul.
- Os perfis também indicaram razoável mobilização de sedimentos no flanco Sul e quase nenhuma mobilização no flanco Norte.

- Os parâmetros morfodinâmicos ratificaram os perfis, caracterizando o estado morfodinâmico da praia como refletiva e ocasionalmente intermediária no flanco Sul.
- O modelo de equilíbrio em planta para praia de enseada indicou que a enseada se encontra em equilíbrio dinâmico, tendendo a erodir o flanco Sul e assorear o flanco Norte.
- A batimetria revelou um relevo de rampa em direção à praia, com pouca declividade, inicialmente. Esta situação foi alterada pela elevação topográfica na retaguarda do quebra-mar, em direção à praia, e no flanco Sul, na altura do quebra-mar, pela entrada do aporte sedimentar; e ainda pelo rebaixamento da área do porto e canal de acesso devido às dragagens, verificado pelo mapa de variação batimétrica.

8. REFERÊNCIAS

AMARAL, G.; BUSHEE, J.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; REYNOLDS, J.H. Potassium – argon ages of alkaline rocks from southern Brazil. **Geoch et Cosm. Acta**, v. 31, 1967.

BARBIERI, E.B. Cabo Frio e Iguaba Grande, dois microclimas distintos a um curto intervalo espacial. In: LACERDA, L.D. de; ARAÚJO, D.S.D. de; CERQUEIRA, R.; TURCQ, B.C. **RESTINGAS: Origem, Estrutura, Processos**. Niterói : UFF, 1984. P. 3-12.

BERANGER, A.F. **Dados históricos de Cabo Frio**. Cabo Frio : PROCAF, 1962. 107 p.

BIGARELLA, J.J.; SALAMUNI, R.; MARQUES FILHO, P.L. Método para avaliação do nível oceânico à época da formação dos terraços de construção marinha. **Boletim Paranaense de Geografia**, v. 4,5, 1961.

BUCHER, W. On ripples and related sedimentary surface forms and their paleogeographic interpretations. **American Journal Science**, v. 47, p. 149-210, 241-269, 1919.

CARVALHO, V.M.S.G. de. **Morfologia e sedimentação da plataforma continental interna entre Saquarema e Cabo Frio – RJ**. 1990. 90 p. Dissertação (Mestrado em

Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

DHN. Atlas oceanográfico – Atlântico Sul, Costa Sudeste do Brasil, v.1, 1985.

DEAN, R.G. Heuristic models of sand transport in the surf zone. In: CONFERENCE OF ENGINEERING and DYNAMICS, 1973, Sydney. **Proceedings of Conference of Engineering and Dynamics**. Sydney, 1973, p. 1-7.

DOLAN, R.; FERM, J.C. Temporal precision in beach profiling. **The Professional Geographer**. v. XIX, n. 1, p. 12-14, 1967.

EMERY, K.O. A simple method of mechanical analysis of sands. **Limnology and Oceanographic**, v. 6, p. 90-93, 1961.

EVANS, O.F. The classification of wave-formed ripple marks. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 11, p. 37-41, 1941.

FISCH, C.I. **Refração-difração do espectro de ondas oceânicas superficiais: aplicações à região de Arraial do Cabo, RJ**. 1996. 33 p. Monografia (Bacharelado em Oceanografia) – Instituto de Geociências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

FONSECA, A. do C. **Esboço geocronológico da região de Cabo Frio, Estado do Rio de Janeiro**. 1993. 184 p. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

FRANCISCONI, O.; LEYDEN, R.; KOWSMANN, R.O.; Arcabouço estrutural preliminar da margem continental sul brasileira. Rio de Janeiro : CPRM, 1992, 32 p. (Relatório CPRM).

GODA, Y. **Random seas and design of maritime structures**. Tokio : University of Tokio Press, 1985. 323 p.

GUERRA, J.V. **Minerais pesados como indicadores de paleo-drenagem e direção de transporte de sedimentos na plataforma continental interna entre Saquarema e Arraial do Cabo – RJ**. 1992. 104 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

HALLERMEIER, R.J. A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate. **Coastal Engineering**, Amsterdam, v. 4, p. 253-277, 1981.

HSU, J.R.C.; SILVESTER, R.; XIA, Y.M. New characteristics of equilibrium-shaped bays. In: CONFERENCE ON COASTAL & OCEANIC ENGINEERING, 8., 1987, Australia. **Proceedings 8th Australia Conference on Coastal & Oceanic Engineering**, Australia, 1987, p. 140-144.

HUGGETT, R.J. Terrestrial spheres. **Geology an Evolutionary approach**, 1995, p. 3-27.

KEMP, P.H.; PLINSTON, D.T. Beaches produced by waves of low phase difference. **Journal Hydraul. Div.**, v. 94, n. 4, 1968, p. 1183-1195.

KOMAR, P.D. **Beach process and sedimentation**. New Jersey : Prentice-Hall, 1976. 429 p.

LEATHERMAN, S.P. Modelling shore response to sea-level rise on sedimentary coasts. **Progress in Physical Geography**. v. 14, n. 4, p. 447-464, 1990.

LIMA, P.R.A. dos S. Geologia dos maciços alcalinos do Estado do Rio de Janeiro. In: SEMINÁRIO DE ESTUDOS GEOLÓGICOS DA UFRRJ, I,II,III., 1976, Itaguaí, **Coletâneas de trabalhos geológicos do I,II e III Seminário de estudos geológicos da UFRRJ**. Rio de Janeiro : UFRRJ, 1976, v. 2, p. 205-259.

MACHADO FILHO, L.; RIBEIRO, M.W.; GONZALEZ, S.R.; SCHENINI, C.A.; SANTOS NETO, A.; TEIXEIRA, W.; CASTRO, H.E.F. Geologia. Rio de Janeiro, 1983. (Projeto Radambrasil, v. 1).

MARTIN, L.; SUGUIO, K. Excursion route along the brazilian coast between Santos (State of São Paulo) and Campos (North of State of Rio de Janeiro). In: International Symposium on global changes in South America during the quaternary. 1989. São

Paulo. **Proceedings of International Symposium on global changes in South America during the quaternary.** São Paulo: INQUA. 1989. n. 2, p. 68-121.

McARDLE, S.B.; McLACHLAN, A. Sand beach ecology: swash features relevant to the macrofauna. **Journal of Coastal Research.** Florida, v. 8, n. 2, p. 398-407, 1992.

MUEHE, D. Lagoa de Araruama: Geomorfologia e sedimentação. **Caderno de Geociências**, v. 10, p. 53-62, 1994.

MUEHE, D. Geomorfologia costeira. In: CUNHA, Sandra Batista da; GUERRA, Antônio José Teixeira. **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações.** Rio de Janeiro : Bertrand Brasil, 1996. p. 191-238.

MUEHE, D. Estado morfodinâmico praias no instante da observação: uma alternativa de identificação. **Revista Brasileira de Oceanografia.** Rio de Janeiro. v. 46, n. 2, p. 157-169, 1998.

MUEHE, D. O litoral brasileiro e sua compartimentação. In: CUNHA, Sandra Batista da; GUERRA, Antônio José Teixeira. **Geomorfologia do Brasil.** Rio de Janeiro : Bertrand Brasil, 1998. p. 273-349.

MUEHE, D.; DOBEREINER, C. Dinâmica do fundo marinho ao longo do pier de Ipanema, Rio de Janeiro. **Anais da Academia Brasileira de Ciências.** Rio de Janeiro, v. 49, n. 2, p. 281-285, 1977.

MUEHE, D.; CORRÊA, C.H.T.; IGNARRA, . Avaliação dos riscos de erosão dos cordões litorâneos entre Niterói e Cabo Frio. In: SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA APLICADA. 3., 1989. Nova Friburgo. **Anais do 3º Simpósio de Geografia Aplicada**. Nova Friburgo, 1989, p. 368-383.

MUEHE, D.; RIBEIRO, A.Y.; BENTES, A.M.L. Resultados preliminares do balanço de sedimentos em dunas frontais sob regime de vento predominante da terra para o mar. In: SIMPÓSIO DE OCEANOGRAFIA DA USP, São Paulo, **Anais do Simpósio de Oceanografia da USP**, São Paulo, 1996, v. 3, p. 200-201.

MUEHE, D.; ROSO, R.H.; SAVI, D.C. Avaliação de método expedito de determinação do nível do mar como datum vertical para amarração de perfis de praia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 1, (no prelo).

PIRAZOLLI, P.A. Secular trends of relative sea-level changes indicated by tide-gauge records. **Journal of coastal Research**, Florida, v. S1, p.1-26, 1986.

ROCHA, J.da; MILLIMAN, J.D.; SANTANA, C.I.; VICALVI, M.A. Southern Brazil. **Contr. Sedimentology**, Stuttgart, v. 4, p. 117-150, 1975.

SAAVEDRA, L.B.F.; MUEHE, D. Dinâmica sedimentar da plataforma continental interna entre a Ilha de Cabo Frio e o Cabo Búzios, RJ. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 36., 1994, **Anais do 36º Congresso Brasileiro de Geologia**. 1994, v. 1, p. 370-371.

SHEPARD, F.P. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 13, p. 79-81, 1954.

SHORT, A.D. **Beach morphodynamics**. Sydney, 2000, 172 p.

SHORT, A.D.; HESP, P.A. Wave, beach and dune interactions in Southeastern Australia. **Marine Geology**. Amsterdam, v. 48, p. 259-284, 1982.

SHORT, A.D.; AAGAARD, T. Single and multi-bar beach change models. **Journal of Coastal Research**, Florida, v. SI, n. 15, p. 141-157, 1993.

SILVA, A.C. da. **Sedimentação e morfologia do fundo da plataforma continental interna nas proximidades da Ilha do Cabo Frio – RJ**. 1985. 189 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SPERANSKI, N.; CALLIARI, L. Efeito do foco estável e a erosão costeira localizada. In: CONGRESSO ABEQUA, 7., 1999, Porto Seguro. **Resumos eletrônicos do VII Congresso da ABEQUA**, Porto Seguro : ABEQUA, 1999. 1 CD.

SUGUIO, K. **Introdução a Sedimentologia**. São Paulo : Edgard Blucher Ltda. 1973. 316 p.

SUGUIO, K. **Dicionário de Geologia Marinha**. São Paulo : T.A. Queiroz, 1992. 171 p.

SUGUIO, K.; MARTIN, L. Formações quaternárias marinhas do litoral paulista e sul fluminense (quaternary marine formations of the State São Paulo and southern Rio de Janeiro). In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COASTAL EVOLUTION IN THE QUATERNARY, 1978, São Paulo. **Special Publication**. São Paulo : SBG/IGUSP, 1978, n. 1, p. 55.

SWIFT, D.J.P.; NIEDERODA, A.W.; VINCENT, C.E.; HOPKINS, T.S. Barrier island evolution, Middle Atlantic shelf, USA, Part I: shoreface dynamics. **Marine Geology**. Amsterdam, v. 53, p. 331-361, 1985.

TANNER, W.F. Ripple Mark indices and their uses. **Sedimentology**. Amsterdam, v. 9, p. 89-104, 1967.

TROLL, C. A paisagem geográfica e sua investigação. **Espaço e Cultura**, n. 4, p. 1-7, jun. 1997.

TURCQ, B.; MARTIN, L.; FLEXOR, J.M.; SUGUIO, K.; PIERRE, C.; TASAYACO-ORTEGA, L. Origin and evolution of the quaternary coastal plain between Guaratiba and Cabo Frio, State of Rio de Janeiro, Brazil. **Environmental Geochemistry of Coastal Lagoon Systems**. Rio de Janeiro, v. 6, p. 25-46, 1999.

ZEMBRUSCKI, S.G. Geomorfologia da margem continental sul brasileira e das bacias oceânicas adjacentes. In: Geomorfologia da margem continental brasileira e das áreas

oceânicas adjacentes. Rio de Janeiro, PETROBRAS, CENPES, DINTEP, 1979. 177 p.
Série Projeto REMAC, n. 7, p. 129-177.

ZEMBRUSKI, S.G.; BARRETO, H.T.; PALMA, J.J.C.; MILLIMAN, J.D. Estudo preliminar das províncias geomorfológicas da margem continental brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26., 1972, Belém. **Anais do XXVI Congresso de Geologia**. Belém : SBG, 1972, v. 2, p. 187-209.

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

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