



**Paulo Renato Enes
Baganha Baptista**

**O Sistema de Posicionamento Global Aplicado ao
Estudo de Litorais Arenosos**



**Paulo Renato Enes
Baganha Baptista**

**O Sistema de Posicionamento Global Aplicado ao
Estudo de Litorais Arenosos**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor em Geociências, realizada sob a orientação científica da Dra. Cristina Bernardes, Professora Associada do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

Apoio financeiro do POCTI no âmbito
do III Quadro Comunitário de Apoio

o júri

presidente

Prof. Dr. Sushil Kumar Memdiratta
professor catedrático da Universidade de Aveiro

Prof. Dr. Manuel João Lemos de Sousa
professor catedrático aposentado da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Prof^ª. Dr^ª. Ana Paula Ribeiro Ramos Pereira
professora associada da Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa

Prof. Dr. João Manuel Alveirinho Dias
professor associado da Faculdade de Ciências do Mar e do Ambiente da Universidade do Algarve

Prof^ª. Dr^ª. Cristina Maria de Almeida Bernardes
professora associada da Universidade de Aveiro (Orientadora)

Prof. Dr. Óscar Manuel Fernandes Cerveira Ferreira
professor auxiliar da Faculdade de Ciências do Mar e do Ambiente da Universidade do Algarve

Prof^ª. Dr^ª. Maria Luísa Machado Cerqueira Bastos
investigadora principal da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

agradecimentos

A presente dissertação foi desenvolvida no âmbito do projecto RIMAR (POCTI/CTA/1743/95), tendo contado com o apoio de várias instituições e grupos de investigação. O autor pretende demonstrar o seu agradecimento às várias entidades e pessoas pelo papel relevante que desempenharam ao longo deste trabalho.

Ao Observatório Astronómico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, as excelentes condições de acolhimento que foram proporcionadas, e ao Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, a disponibilização de meios técnicos e logísticos para a realização dos trabalhos de campo.

À Prof^a. Doutora Cristina Bernardes, na qualidade de orientadora científica, a total disponibilidade, os conhecimentos transmitidos e as inúmeras provas de amizade ao longo destes anos.

À Prof^a. Doutora Luísa Bastos, o reconhecimento por todos estes anos de interacção e pela oportunidade de iniciar investigação em zonas litorais. Na qualidade de co-orientadora científica, a transmissão de conhecimentos no domínio da Geodesia Espacial.

Ao Prof. Doutor Lemos de Sousa, na qualidade de co-orientador científico, a cedência de diversos elementos bibliográficos e o total apoio sempre manifestado.

Ao Prof. Doutor Alveirinho Dias, as sugestões dadas que em muito contribuíram para melhorar o presente trabalho.

Ao Prof. Doutor Óscar Ferreira, a transmissão de conhecimentos científicos que contribuíram de forma decisiva para melhorar a qualidade do manuscrito. A sua total disponibilidade e amizade demonstradas não serão esquecidas.

Ao Prof. Doutor Rui Taborda, a sua perspicácia e os seus conhecimentos em hidrodinâmica. Agradeço a cedência de vários programas informáticos e a disponibilidade para a leitura crítica de alguns capítulos da tese.

Ao amigo Telmo Cunha, o seu empenho pessoal em apresentar soluções de engenharia para a resolução de questões técnicas. Agradeço ainda o seu apoio no desenvolvimento de alguns programas de informática.

Ao Prof. Doutor Veloso Gomes, a análise crítica de vários aspectos tratados neste trabalho e a amizade sempre demonstrada.

Ao Prof. Doutor Gaspar Soares de Carvalho, a disponibilização de diversos elementos bibliográficos da sua biblioteca particular.

À Prof^a. Doutora Helena Granja, a profícua troca de ideias sobre as questões do litoral e a análise crítica de alguns aspectos tratados nesta dissertação.

À Cristina Gama, ao Carlos Coelho e ao Joaquim Barbosa, a troca de ideias e de informações sobre as questões do litoral.

Ao Director do Instituto Hidrográfico, a cedência de dados de agitação marítima, ao abrigo do projecto RIMAR.

Ao Director da Companhia Portuguesa de Produção de Electricidade, a cedência de dados de caudal do rio Douro, no aproveitamento hidroeléctrico de Crestuma-Lever.

Ao Eng. Brogueira Dias, a cedência de dados de agitação marítima por estimativa visual da torre de radar da Administração de Portos do Douro - - Leixões. Agradeço também ao Eng. Coutinho, ao Eng. Pedro Neves e ao Eng. Miguel Lázaro, a cedência de material diverso sobre a evolução histórica da restinga do Douro.

Ao Prof. Doutor Mike Weber, as facilidades logísticas proporcionadas pela Estação Litoral da Aguda para a realização de trabalhos de campo e a cedência de diverso material bibliográfico sobre a praia da Aguda.

A todos os amigos e colegas que colaboraram na realização dos trabalhos de campo, nomeadamente ao Américo Magalhães, à Ana Soares, ao saudoso Sr. Brandão, ao Fernando Pereira, à Marlene Antunes, à Marta Diogo, ao Rui Fernandes, à Sónia Rey, à Teresa Cunha e ao Tiago, a especial dedicação que manifestaram. Agradeço ainda ao Rui Fernandes a sua disponibilidade para desenvolvimento de programas informáticos e à Sónia Rey a recolha e tratamento de amostras de sedimentos.

Ao técnico do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, Sr. Graça e ao ex-técnico do mesmo departamento, Sr. Sousa que, dentro das suas possibilidades e disponibilidades, contribuíram para a realização dos trabalhos de campo.

Aos docentes do Departamento de Matemática Aplicada da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, o apoio ao longo destes anos.

À D. Isabel, a amizade e o apoio sempre dispensado. À D. Esmeralda Miguel, o reconhecimento pela total disponibilidade que sempre manifestou.

À Eduarda Jesus, pela presença incondicional ao longo destes anos e por tudo aquilo que não se consegue agradecer.

palavras-chave

Monitorização, praias arenosas, restinga, tómbolo, *DGPS*, morfodinâmica, linha de costa, agitação marítima.

resumo

O estudo do litoral português, sob o ponto de vista das relações entre as morfologias presentes em praias arenosas e os processos físicos que condicionam a dinâmica litoral, não seria tão pertinente, não fosse o facto de, actualmente, ser inequívoca uma tendência para o esgotamento de recursos sedimentares a que se associa a erosão da costa.

O desenvolvimento dos conhecimentos sobre a dinâmica litoral depende, em grande parte, da disponibilidade de diversas fontes de dados que permitam retratar a tendência evolutiva a diferentes escalas temporais e possibilitem a previsão da evolução futura.

O objectivo principal da presente dissertação prende-se com o desenvolvimento de metodologias de monitorização adequadas a litorais arenosos, que se caracterizem pela eficiência e precisão na obtenção de informação georreferenciada relativa à morfologia de corpos arenosos.

É aplicada uma técnica de geodesia espacial, o Sistema de Posicionamento Global (GPS), para a obtenção dessa informação, a partir da qual são criados modelos de elevação do terreno. A metodologia é desenvolvida de forma a permitir a monitorização das variações de curta escala temporal induzidas em litorais arenosos, considerando segmentos litorais relativamente extensos, da ordem dos quilómetros, a custos relativamente reduzidos.

Essa metodologia é aplicada a vários segmentos litorais situados entre a foz do rio Douro e as praias do litoral da laguna de Aveiro, que se caracterizam pela sua elevada dinâmica, tendo também em atenção o interesse que a presente abordagem tem no contexto da gestão do litoral.

A utilização de outras fontes de informação, nomeadamente de agitação marítima, quando utilizadas em conjunto com as obtidas pela presente metodologia, contribuem para a caracterização morfodinâmica e permitem uma análise interpretativa das tendências evolutivas observadas.

keywords

Survey, sandy beaches, sand spits, tombolo, *DGPS*, morphodynamic, coastline, wave data.

abstract

The study of the Portuguese littoral zone under the scope of the relationship between the morphologies that are present in the sandy beaches and the physical processes that control the littoral dynamics is a relevant subject. Nowadays in unequivocal the tendency to a progressive break-down of the sedimentary resources in the shores which are related with the coastal erosion.

The improvement of the knowledge about the littoral dynamic is dependent of the availability of several kinds of data which provide information about the present day evaluative tendency and permit to design scenarios about the future behaviour.

The main goal of this thesis is to develop monitoring methodologies for sandy beaches survey, with high precision and efficiency.

It is adopted one spatial geodesy technique named the Global Positioning System (GPS), which permit to obtain geo-referenced information useful to generate digital elevation models. The developed methodology is adapted to the establishment of regular survey programs in coastal stretches with several kilometers with low costs.

The methodology was applied in several Portuguese coastal stretches located between the Douro river and the Aveiro lagoon beaches. These selected stretches are characterized by its high dynamic behaviour, associated in some cases with several problems of coastal erosion.

It was taken into account the interest of this methodological approached in the littoral management.

By using other fonts of information, named tide gauge data, it is possible to characterize the morphodynamic behaviour of the stretches under study and evaluate the future trends.

ÍNDICE GERAL

Agradecimentos	
Resumo	
Abstract	
Índice Geral.....	xi
Índice de Figuras.....	xix
Índice de Tabelas.....	xxix
Lista de Símbolos.....	xxxiii
Lista de Acrónimos.....	xxxv

I. INTRODUÇÃO

1. Motivação.....	3
2. Perspectiva científica.....	4
3. Objectivos.....	5
4. Estrutura da tese.....	6
5. Metodologias utilizadas.....	7
6. Zonas de estudo.....	7

PARTE I – MORFOLOGIAS PRESENTES EM LITORAIS

ARENOSOS:

METODOLOGIAS DE MONITORIZAÇÃO

II. MORFOLOGIAS PRESENTES EM LITORAIS ARENOSOS:

CONCEITOS E DEFINIÇÕES

1. Introdução.....	15
2. Nomenclatura.....	15
2.1 Componente transversal da praia.....	16
2.2 Componente longitudinal da praia.....	25
2.3 Morfologias na dependência de escalas espaciais e temporais.....	27
3. Conceito de equilíbrio litoral.....	30
4. Caracterização do litoral.....	32
4.1 Exposição à agitação marítima.....	33

4.2 Domínio hidrodinâmico.....	34
4.3 Estado morfodinâmico da praia.....	35
4.4 Vulnerabilidade morfológica.....	38
5. Súmula.....	39

III. MONITORIZAÇÃO DAS MORFOLOGIAS PRESENTES EM LITORAIS ARENOSOS:

TÉCNICAS E METODOLOGIAS

1. Introdução.....	43
2. Representações da superfície da Terra - considerações gerais.....	43
2.1 Cartografia antiga.....	45
2.2 Técnicas de posicionamento.....	46
2.2.1 Geodesia clássica.....	46
2.2.2 Geodesia espacial.....	48
2.3 Técnicas de observação.....	51
2.3.1 Fotogrametria.....	53
2.3.1.1 Obtenção de informação planimétrica.....	54
2.3.1.2 Obtenção de informação altimétrica – DEM.....	55
2.3.2 Sensores activos a bordo de plataformas aerotransportadas.....	56
2.3.2.1 Sistemas <i>laser</i> aéreo de varrimento.....	56
2.3.2.2 Sistema RADAR de abertura sintética.....	58
2.3.3 Sensores a bordo de satélites.....	59
2.3.3.1 Sensores passivos.....	60
2.3.3.2 Sensores activos.....	61
3. Discussão.....	62
4. Súmula.....	65

IV. DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIAS GPS PARA MONITORIZAÇÃO DE LITORAIS ARENOSOS

1. Introdução.....	69
2. Aquisição de dados.....	69
2.1 Sistema DGPS antena-simples transportada pelo operador.....	70
2.2 Sistema DGPS multi-antena adaptado a um veículo tipo moto-quatro.....	71
3. Tratamento de dados GPS.....	74
3.1 Processamento.....	74

3.2 Rotinas de análise e filtragem das posições obtidas	75
3.2.1 Análise de ficheiros de posições <i>GPS</i>	75
3.2.2 Rotina para filtragem das posições.....	77
3.3 Conversões de <i>data</i>	77
4. Validação da metodologia	80
4.1 Exactidão do método	80
4.2 Precisão dos métodos.....	81
4.3 Repetibilidade	84
5. Geração de modelos de elevação do terreno	85
5.1 Características da superfície do terreno	86
5.2 Densidade da informação recolhida.....	86
5.3 Métodos de interpolação.....	90
6. Discussão.....	94
7. Súpula.....	95

PARTE II – APLICAÇÕES DAS METODOLOGIAS

DESENVOLVIDAS:

CASOS DE ESTUDO

V. ENQUADRAMENTO GERAL:

SECTOR FOZ DO RIO DOURO – CABO MONDEGO

1. Introdução.....	101
2. Oceanografia	101
2.1 Agitação marítima	101
2.1.1 Agitação modal.....	101
2.1.2 Temporais.....	103
2.2 Marés	104
2.3 Nível médio do mar	104
3. Geomorfologia do litoral entre a foz do rio Douro e o Cabo Mondego	106
4. Dinâmica do litoral entre a foz do rio Douro e o Cabo Mondego no séc. XX e início do séc. XXI.....	106
4.1 Deriva litoral.....	106
4.2 Fontes sedimentares.....	107

4.2.1 Contributo fluvial	107
4.2.2 Contributo da plataforma continental	108
4.3 Obstáculos ao transporte sedimentar fluvial e litoral	108
4.3.1 Variações do nível do mar	109
4.3.2 Intervenções antrópicas nas redes hidrográficas e seus impactes	109
4.3.3 Intervenções antrópicas no litoral e seus impactes	110
4.4 Resposta do litoral	111
5. Súmula	113

VI. CARACTERIZAÇÃO DA AGITAÇÃO MARÍTIMA AO LARGO PARA O PERÍODO DE ESTUDO

1. Introdução	117
2. Dados utilizados	117
2.1 Instrumentais	117
2.2 Estimativa visual	118
3. Caracterização da agitação marítima	121
3.1 Distribuição dos parâmetros de agitação	121
3.1.1 Alturas e períodos de onda	121
3.1.2 Rumos	123
3.2 Temporais	124
4. Súmula	129

VII. EVOLUÇÃO RECENTE DA RESTINGA DO RIO DOURO NO CONTEXTO HIDRODINÂMICO DO SEU ESTUÁRIO

1. Introdução	133
2. Antecedentes	133
3. Zona de estudo	135
4. Métodos	137
4.1 Morfologia e volumetria	137
4.2 Hidrodinâmica	138
5. Resultados	139
5.1. Variabilidade morfológica e volumétrica	139
5.2. Hidrodinâmica	143
6. Discussão	145
7. Súmula	147

VIII. IMPACTE DE UMA OBRA DE PROTECÇÃO ÀS ACTIVIDADES DE UMA COMUNIDADE PISCATÓRIA:

FORMAÇÃO DE UM TÔMBOLO NO LITORAL DA AGUDA

1. Introdução	151
2. Antecedentes	151
3. Zona de estudo	152
4. Métodos	154
4.1 Morfologia e volumetria	154
4.2 Critério de formação de tómbolos	155
5. Resultados	156
5.1 Alterações morfológicas	156
5.2 Variabilidade volumétrica	158
6. Discussão	160
7. Súpula	161

IX. EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA NO LITORAL DA LAGUNA DE AVEIRO

1. Introdução	165
2. Antecedentes	165
3. Zonas de estudo.....	166
4. Métodos	169
4.1 Critério para a quantificação da evolução da linha de costa.....	169
4.2 Estimativa de erros associados às observações.....	170
4.2.1 Estimativa do erro associado ao perfil de repouso	172
4.2.2 Estimativa do erro associado à estabilização do perfil da duna.....	174
5. Evolução da linha de costa no período 2000/2003.....	175
5.1 Caracterização dos segmentos em estudo.....	175
5.1.1 Segmento praia de Maceda – praia do Furadouro	175
5.1.2 Segmento praia do Furadouro – praia do Torrão do Lameiro	176
5.1.3 Segmento praia da Costa Nova – praia da Vagueira	177
5.1.4 Segmento praia da Vagueira – praia do Areão	180
5.1.5 Segmento praia do Areão – praia do Poço da Cruz.....	182
5.2 Síntese dos resultados	184
5.3 Tendências de evolução.....	186
6. Factores condicionantes e associados à evolução da linha de costa	188

6.1 Factores condicionantes da evolução da linha de costa – Análise do impacte de temporais	188
6.2 Factores associados à evolução da linha de costa – Análise da erosão litoral	193
6.2.1 Método.....	194
6.2.2 Dados utilizados	195
6.2.3 Resultados	198
7. Súmula	200

X. MORFODINÂMICA DA PRAIA EMERSA NO LITORAL DA LAGUNA DE AVEIRO: SEGMENTO VAGUEIRA - POÇO DA CRUZ

1. Introdução	205
2. Antecedentes	205
3. Zona de estudo	206
4 Métodos	207
4.1 Variáveis morfológicas.....	208
4.2 Escalas temporais de reacção morfológica	211
5. Caracterização morfológica e volumétrica.....	212
5.1 Volumes sedimentares da praia	212
5.2 Declives da face da praia	213
6. Índices de vulnerabilidade morfológica.....	215
7. Escalas temporais de reacção morfológica	216
7.1 Comportamento sazonal	216
7.2 Comportamento longilitoral.....	221
8. Índices morfodinâmicos.....	222
8.1 Previsores morfodinâmicos	222
8.1.1 Domínio hidrodinâmico	222
8.1.2 Estado morfodinâmico da praia.....	223
8.2 Descritores morfodinâmicos.....	224
9. Caracterização da exposição à agitação	227
10. Discussão	228
10.1 Variabilidade morfológica e volumétrica	228
10.2 Índices de vulnerabilidade morfológica.....	229
10.3 Escalas temporais de reacção sedimentar	230
10.4 Índices morfodinâmicos.....	231
11. Súmula	231

XI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

1. Introdução	235
2. Síntese das principais conclusões	236
3. Desenvolvimentos futuros	241

APÊNDICE I - SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL:**CONSIDERAÇÕES GERAIS**

1. Introdução	247
2. Estrutura do sinal	247
3. Modos de posicionamento	249
4. Processamento.....	250
5. Precisão	251

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	253
---	------------

GLOSSÁRIO	269
------------------------	------------

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo I

Figura 1.1: Localização geográfica das zonas de estudo: <i>a)</i> Restinga do rio Douro (Fotografia: Piqueiro); <i>b)</i> Tómbolo da praia da Aguda (Fotografia: Carlos Miguel); <i>c)</i> Segmento Maceda – Torrão do Lameiro (Fotografia: C. Bernardes); <i>d)</i> Segmento Costa Nova – Poço da Cruz (Fotografia: C. Bernardes). Esquema adaptado de Veloso Gomes <i>et al.</i> (2002).	8
--	---

Capítulo II

Figura 2.1: Perfil transversal de praia. PM MV: Preia-Mar de Maré Viva; BM MV: Baixa-Mar de Maré Viva; NMM: Nível Médio do Mar; ZH: Zero Hidrográfico.	16
---	----

Figura 2.2: Cúspides. <i>a)</i> Representação esquemática de cúspides em planta com indicação das ordens de grandeza passíveis de ser assumidas por estas formas; <i>b)</i> Cúspides - México.....	25
--	----

Figura 2.3: Sistemas lomba-canal rítmicos. <i>a)</i> Representação esquemática de um sistema lomba-canal rítmico com indicação das ordens de grandeza passíveis de ser assumidas por estas formas; <i>b)</i> Sistemas lomba-canal rítmicos - Nova Zelândia.	26
--	----

Figura 2.4: Barras transversais rítmicas. <i>a)</i> Representação esquemática de barras transversais rítmicas com indicação das ordens de grandeza passíveis de ser assumidas por estas formas <i>b)</i> Barras transversais rítmicas (S. Pedro de Maceda–Furadouro - Portugal).....	26
--	----

Figura 2.5: Exemplos de morfologias presentes na componente longilitoral das praias do litoral da laguna de Aveiro. <i>a)</i> Barras transversais rítmicas; <i>b)</i> Cúspides; <i>c)</i> Sistema lomba-canal; <i>d)</i> Sistema lomba-canal rítmico.....	27
---	----

Figura 2.6: Relação entre as escalas temporais e espaciais de Larson e Kraus (1995) e as várias ordens das morfologias presentes no litoral.....	29
--	----

Figura 2.7: Elementos definidores das relações geométricas presentes em baías e promontórios. Adaptado de Short e Masselink (1999).....	34
---	----

Figura 2.8: Classificação adoptada para praias do tipo meso e macro-mareal, com base na relação entre os índices RTR e Ω (adaptado de Masselink e Turner, 1999).	37
--	----

Capítulo III

Figura 3.1: Representação do litoral entre o rio Ave e a Laguna de Aveiro, incluindo o rio Douro. Carta de 1583 – Comissão Municipal Infante, 1994.	46
--	----

Figura 3.2: <i>a)</i> Estação total. <i>b)</i> Estação total na crista de uma duna - praias do litoral da laguna de Aveiro.	47
--	----

Figura 3.3: Representação esquemática da constelação GPS.	49
--	----

Figura 3.4: <i>a)</i> Dois modelos de receptores <i>GPS</i> . <i>b)</i> <i>DEM</i> para a praia do Areão, no litoral da laguna de Aveiro, obtido a partir de perfis realizados por <i>GPS</i>	51
--	----

Figura 3.5: Espectro electromagnético com indicação dos domínios mais utilizados em detecção remota. Domínios dos sensores definido com base no CCRS (2005).	52
Figura 3.6: <i>a)</i> Representação esquemática de um voo com objectivos fotogramétricos. <i>b)</i> Pormenor de uma fotografia aérea da costa ocidental portuguesa.	54
Figura 3.7: <i>a)</i> Mecanismo de varrimento por feixe cónico do sistema <i>ALS</i> em plataforma aerotransportada. <i>b)</i> Pormenor de imagem obtida por <i>ALS</i>	57
Figura 3.8: <i>a)</i> O movimento da aeronave simula uma antena de grandes dimensões. <i>b)</i> Pormenor de imagem <i>SAR</i>	59
Figura 3.9: <i>a)</i> Satélite <i>SPOT</i> . <i>b)</i> Fusão de duas imagens <i>HRV</i> no litoral da laguna de Aveiro (Extraído de Teodoro, 2004).....	60
Figura 3.10: <i>a)</i> Satélite <i>ERS - 1</i> . <i>b)</i> Imagem <i>SAR</i> do rio Tamisa - Reino Unido.....	61

Capítulo IV

Figura 4.1: Sistema antena <i>GPS</i> transportada pelo operador.	70
Figura 4.2: Representação da variação de inclinação de um bastão adaptado a um veículo moto-quatro, em duas das componentes da atitude do veículo. <i>a)</i> Componente de inclinação lateral definida pelo ângulo α entre a superfície do terreno e um plano de referência; <i>b)</i> Componente de mergulho definida pelo ângulo β entre a superfície do terreno e um plano de referência.	71
Figura 4.3: Sistema multi-antena <i>GPS</i> adaptado a veículo moto-quatro. <i>a)</i> monitorização de uma crista de berma de praia; <i>b)</i> monitorização do limite da baixa-mar.....	72
Figura 4.4: Variação da distância entre as bases das duas antenas <i>GPS</i> instaladas no veículo moto-quatro, calculada a partir dos ficheiros de posição para cada uma delas.	73
Figura 4.5: Exemplo de uma antena <i>GPS</i> e respectivo bastão, com indicação da localização do centro de fase da antena e das bases da antena e do bastão a que costumam estar referidas as coordenadas.	75
Figura 4.6: Representação gráfica de uma rede de perfis para análise da qualidade dos resultados na componente altimétrica. <i>a)</i> Representação planimétrica da rede de perfis, na qual foi seleccionado, a vermelho, o ponto de controlo a analisar; <i>b)</i> Representação, a vermelho, das cotas das duas posições mais próximas da intersecção dos perfis que foram seleccionados em <i>a</i>	76
Figura 4.7: Representação das diferenças altimétricas entre pares de pontos pertencentes a perfis distintos que se interceptam num nó, a uma distância mínima de 0.5 m.....	76
Figura 4.8: Modelo de geóide, referido ao NMM, calculado para a Foz do Douro. N: Ondulação do geóide.....	79
Figura 4.9: Representação esquemática dos testes realizados. <i>a)</i> Levantamento com estação total. <i>b)</i> Levantamento com <i>DGPS</i> . Para cada posição calculou-se a distância (<i>dt</i>) relativamente a uma estaca de referência.	80

Figura 4.10: Representação do teste de comparação dos resultados obtidos pelos sistemas multi-antena e antena-simples com <i>DGPS</i> estático.....	82
Figura 4.11: Representação de redes de perfis realizadas pelas metodologias desenvolvidas e respectivas diferenças na componente altimétrica. <i>a)</i> Rede de perfis realizada pelas metodologias da antena-simples (+) e multi-antena (o). <i>b)</i> Diferenças obtidas entre os dois sistemas na componente altimétrica.	83
Figura 4.12: Superfície representativa do <i>DEM</i> para a rede de dados obtida a partir do sistema antena-simples transportado pelo observador e indicada na Figura 4.11 <i>a)</i>	83
Figura 4.13: Estação de referência local (<i>P0</i>) instalada sobre uma estaca, na praia do Areão.	85
Figura 4.14: Representação esquemática de uma interpolação a partir de uma rede de perfis predefinida. <i>a)</i> Época de monitorização em que foi definida a rede de observação. <i>b)</i> Monitorização efectuada posteriormente, com base na mesma rede de perfis.	87
Figura 4.15: Representação, a azul, de uma rede de perfis, realizada a Sul da Vagueira, em Março de 2002, na qual foi seleccionada uma zona em que se intensificou a densidade de perfis (indicada a vermelho).....	88
Figura 4.16: Representação de 6 níveis de densidade da rede de perfis. <i>a)</i> Densidade média adoptada nos trabalhos de campo; <i>b)</i> Densidade representada em <i>a)</i> mais os perfis indicados a vermelho; <i>c)</i> Perfis longitudinais representativos da secção em estudo; <i>d)</i> Perfis transversais representativos da secção em estudo; <i>e)</i> Perfis transversais não representativos da secção em estudo; <i>f)</i> Perfis longitudinais não representativos da secção em estudo.	89
Figura 4.17: Representação de uma rede de perfis e respectiva interpolação. <i>a)</i> Rede de perfis cinemáticos e pontos de controlo. <i>b)</i> Mapa de contorno obtido pela interpolação, pelo método da mínima curvatura, relativamente à rede de perfis representada em <i>a)</i>	92
 Capítulo VI	
Figura 6.1: Comparação entre as médias mensais da altura significativa da onda obtida a partir de estimativa visual e as médias mensais da altura significativa da onda ao largo obtida a partir da bóia ondógrafo de Leixões, no período compreendido entre Junho de 2001 e Dezembro de 2002. <i>a)</i> Aplicação da equação 6.1 aos dados de estimativa visual; <i>b)</i> Aplicação da equação 6.2 aos dados de estimativa visual.	120
Figura 6.2: Relação entre as médias diárias obtidas por métodos instrumentais e de observação visual, relativamente à altura significativa da onda, para o período compreendido entre Junho de 2001 e Dezembro de 2002. O valor obtido para o coeficiente de correlação é significativo a 0.01.....	120
Figura 6.3: Agitação marítima ao largo de Leixões, considerando todos os registos disponíveis para o período compreendido entre Junho de 2001 e Setembro de 2003. O valor obtido para o coeficiente de correlação indicado em <i>d)</i> é significativo a 0.01.....	122
Figura 6.4: Variação da altura significativa da onda e do período de pico da onda entre Junho de 2001 e Setembro de 2003.....	122

Figura 6.5: Distribuição mensal da agitação marítima ao largo de Leixões por rumos, entre Junho de 2001 e Maio de 2003.....	123
Figura 6.6: Altura significativa média da onda e máxima altura significativa da onda para cada um dos temporais registados no decurso do período de estudo. As datas referem-se ao pico de cada temporal.....	126
Figura 6.7: Duração e frequência dos temporais registados no período de estudo. As datas referem-se ao pico de cada temporal.....	126
 Capítulo VII	
Figura 7.1: Estudo baseado em dados cartográficos, evidenciando a variação de limites da restinga, entre 1854 e 1998. Adaptado de APDL.....	134
Figura 7.2: Diferentes situações da restinga do rio Douro nos seis meses seguintes às cheias de Dezembro de 1909. Fonte: APDL.....	134
Figura 7.3: Evolução da restinga do rio Douro entre 1955 e 1996, com base em fotografia aérea vertical. As setas, nos esquemas, indicam a posição da meia laranja na marginal do Porto. Fonte: Carvalho (1999).....	135
Figura 7.4: Vistas aéreas sobre a restinga do rio Douro. Fotografia de Piqueiro, Março/2004.....	136
Figura 7.5: Vista aérea da restinga, em 1995, com identificação de alguns elementos presentes na foz do Douro. 1: Molhe de Felgueiras; 2: Molhe Touro; 3: Meia Laranja; 4: Molhe Luís Gomes de Carvalho. Adaptado de Jesus (2003).	136
Figura 7.6: Critério adoptado para a avaliação das variações de largura da restinga. <i>a)</i> Representação em planta dos locais seleccionados para a determinação da largura da restinga; <i>b)</i> Para o perfil <i>AB</i> indicado em <i>a)</i> apresenta-se um corte esquemático, relativo às larguras determinadas nas épocas de observação <i>t</i> ₁ , <i>t</i> ₂ e <i>t</i> ₃	137
Figura 7.7: Relação geral entre a amplitude de maré e a altura da onda de acordo com Hayes (1979). Fonte: Morang e Parson (2002).	138
Figura 7.8: Configuração da restinga em Junho e Setembro de 2001, e mapa de contornos, em Dezembro de 2001.....	139
Figura 7.9: Configuração da restinga em Março de 2002, e mapas de contornos relativos aos meses de Maio, Setembro e Dezembro de 2002.	140
Figura 7.10: Mapas de contornos relativo ao ano de 2003.....	141
Figura 7.11: Mapas de contornos relativo aos anos de 2004 e 2005.....	142
Figura 7.12: Variação sazonal da área e volume da restinga durante o período considerado para este estudo.	143
Figura 7.13: Relação entre a amplitude da maré e a altura da onda, considerando as médias mensais para ambas as variáveis, nos anos de 2001 a 2004.....	144

Figura 7.14: Caudais médios mensais lançados no aproveitamento hidroeléctrico de Crestuma – Lever, entre Maio de 2001 e Maio de 2003. Fonte: CPPE. 145

Figura 7.15: Relação entre a variabilidade volumétrica sazonal e os domínios hidrodinâmicos inferidos para o período em estudo, com base no diagrama de Hayes (1979). As linhas a tracejado indicam lacunas de dados de agitação marítima. 146

Capítulo VIII

Figura 8.1: Implantação do quebramar preconizada no Estudo Prévio do IHRH. Fonte: IHRH (1999). 152

Figura 8.2: Vista aérea sobre a praia da Aguda. *a)* Antes da construção do quebramar. Fotografia: Piqueiro, 1999. *b)* Após a construção do quebramar. Fotografia: Carlos Miguel, 2003. 153

Figura 8.3: Litoral da praia da Aguda com indicação do segmento em estudo e sua divisão em quatro zonas. 154

Figura 8.4: Principais factores que condicionam as alterações morfológicas da praia adjacente a um quebramar. 155

Figura 8.5: Alterações que ocorreram na linha de praia no litoral da Aguda na sequência da construção do quebramar. *a)* Linha de praia anterior à construção do quebramar (Fevereiro de 2001). Indica-se a posição do quebramar relativamente a essa linha; *b)* Linha de praia após a construção do quebramar (Julho de 2004). 156

Figura 8.6: Evolução do segmento de praia adjacente ao quebramar da Aguda, no decurso do ano de 2002. H: altura referida ao nível médio do mar. 157

Figura 8.7: Evolução do segmento de praia adjacente ao quebramar da Aguda no decurso do ano de 2003. H: altura referida ao nível médio do mar. 157

Figura 8.8: Evolução do segmento de praia adjacente ao quebramar da Aguda no decurso do ano de 2004. H: altura referida ao nível médio do mar. 158

Figura 8.9: Volumes calculados para as quatro zonas em estudo ao longo do período em observação. 159

Capítulo IX

Figura 9.1: Segmentos em estudo no litoral da laguna de Aveiro, a Norte do porto de Aveiro. Está indicado o tipo de contacto presente entre a praia e a costa, no ano de 2000. 167

Figura 9.2: Segmentos em estudo no litoral da laguna de Aveiro, a Sul do porto de Aveiro. Está indicado o tipo de contacto presente entre a praia e a costa, no ano de 2000. 168

Figura 9.3: Representação esquemática dos critérios adoptados para o cálculo dos deslocamentos da linha de costa, considerando um caso de recuo da linha de costa. 169

Figura 9.4: Representação de dois casos típicos de erosão pela agitação marítima na alta praia com formação de escarpas de erosão e deslizamentos subsequentes. *a)* Situação em que ocorre erosão da duna frontal (adaptado de Carter *et al.*, 1990); *b)* Situação em que

apenas ocorre erosão da praia emersa; c) Valores angulares de repouso e de instabilidade da face do cordão dunar frontal.....	171
Figura 9.5: Exemplos ilustrativos de erosão na praia emersa. a) Ilustração do caso referido na Figura 9.4 a, com um exemplo do segmento compreendido entre a praia do Areão e a praia do Poço da Cruz, em Outubro de 2000 (perfil pós – temporal). b) Ilustração do caso referido na Figura 9.4 b, com um exemplo do segmento compreendido entre a praia do Areão e a praia do Poço da Cruz, em Outubro de 2000 (perfil – pós – temporal).	172
Figura 9.6: Estimativa do erro associado a dois levantamentos consecutivos da base da duna frontal. Levantamentos efectuados a 25 de Maio e 6 de Junho de 2000. LT: lado de terra; LM: lado do mar.	173
Figura 9.7: Estimativa do deslocamento sofrido pela base de uma duna frontal na sequência de um processo de estabilização. Levantamentos efectuados a 13 de Fevereiro e 10 de Maio de 2001. LT: lado de terra; LM: lado de mar.	174
Figura 9.8: Evolução da linha de costa no segmento praia de Maceda – praia do Furadouro. Indica-se o tipo de contacto entre a praia e a costa. Valores negativos de deslocamento representam recuo da linha de costa.....	176
Figura 9.9: Variação da posição da base do cordão dunar frontal no segmento praia do Furadouro-praia do Torrão do Lameiro. Indica-se o tipo de contacto entre a praia e a costa. Valores negativos de deslocamento representam recuo da linha de costa.	177
Figura 9.10: Variação da posição da base do cordão dunar frontal e do dique arenoso presentes no segmento praia da Costa Nova – praia da Vagueira, em três períodos de monitorização. Indica-se o tipo de contacto entre a praia e a costa. Valores negativos de deslocamento representam recuo da linha de costa.....	178
Figura 9.11: Variação da posição das bases do cordão dunar frontal e do dique arenoso no segmento praia da Costa Nova - praia da Vagueira durante o Inverno marítimo de 2000/2001. Indica-se o tipo de contacto entre a praia e a costa. Valores negativos de deslocamento representam recuo da linha de costa.....	179
Figura 9.12: Variação da posição das bases do cordão dunar frontal e do dique arenoso presentes no segmento praia da Vagueira – praia do Areão em três períodos de monitorização. Indica-se o tipo de contacto entre a praia emersa e a costa. Valores negativos de deslocamento representam recuo da linha de costa.....	180
Figura 9.13: Distância entre a base do alinhamento definido pelo cordão dunar frontal presente em Fevereiro de 2001 e a base do dique de areia edificado nesse ano.	181
Figura 9.14: Variação da posição da base do cordão dunar frontal no segmento praia da Vagueira – praia do Areão durante o Inverno marítimo de 2000/2001. Indica-se o tipo de contacto entre a praia emersa e a costa. Valores negativos de deslocamento representam recuo da linha de costa.	182
Figura 9.15: Variação da posição da base do cordão dunar frontal no segmento praia do Areão – praia do Poço da Cruz em três períodos de monitorização. Indica-se o tipo de contacto entre a praia e a costa. Valores negativos de deslocamento representam recuo da linha de costa. i.c.: início de construção.....	183

Figura 9.16: Variação da posição da base da duna frontal no segmento praia do Areão – praia do Poço da Cruz no decurso do Inverno marítimo de 2000/2001. Indica-se o tipo de contacto entre a praia e a costa. Valores negativos de deslocamento representam recuo da linha de costa.....183

Figura 9.17: Valores de deslocamento da linha de costa em cada segmento litoral considerado no litoral da laguna de Aveiro. M./F.: Segmento praia de Maceda-praia do Furadouro; F./T.L.: Segmento praia do Furadouro-praia do Torrão do Lameiro; C.N./V.: Segmento praia da Costa Nova-praia da Vagueira; V./A.: Segmento praia da Vagueira-praia do Areão; A./P.C.: Segmento praia do Areão-praia do Poço da Cruz.....184

Figura 9.18: Áreas expostas por erosão do cordão dunar frontal em cada segmento litoral considerado no litoral da laguna de Aveiro. M./F.: Segmento praia de Maceda-praia do Furadouro; F./T.L.: Segmento praia do Furadouro-praia do Torrão do Lameiro; C.N./V.: Segmento praia da Costa Nova-praia da Vagueira; V./A.: Segmento praia da Vagueira-praia do Areão; A./P.C.: Segmento praia do Areão-praia do Poço da Cruz.....185

Figura 9.19: Tipo de contacto entre a praia emersa e a costa. *a)* Extensão longilitoral do cordão dunar frontal, do dique de areia e dos galgamentos relativamente ao comprimento de cada um dos segmentos monitorizados. *b)* Percentagens relativas de cordão dunar frontal, dique arenoso e galgamento. C.N./V.: Segmento praia da Costa Nova-praia da Vagueira; V./A.: Segmento praia da Vagueira-praia do Areão; A./P.C.: Segmento praia do Areão-praia do Poço da Cruz.186

Figura 9.20: Taxas de recuo da linha de costa de acordo com dados de vários autores. Para o período 1947/90, dados de Ferreira (1993); para o período de 1990/98, dados de Caetano (2002); para o período de 2000/03, dados obtidos neste trabalho. C.N./V.: praia da Costa Nova – praia da Vagueira; V./A.: praia da Vagueira – praia do Areão; A./P.C.: praia do Areão – praia do Poço da Cruz.....188

Figura 9.21: *a)* Altura significativa média e máxima altura significativa para cada temporal identificado no decurso do período de estudo. *b)* Duração e frequência dos temporais identificados no decurso do período de estudo. Estão indicados os valores de recuo da linha de costa em alguns dos segmentos do litoral de Aveiro, durante o período de estudo. C.N./V.: Segmento praia da Costa Nova – praia da Vagueira; V./A.: Segmento praia da Vagueira – praia do Areão; A./P.C.: Segmento praia do Areão – praia do Poço da Cruz.190

Figura 9.22: Perfis topográficos realizados no Areão. (Dados fornecidos por Sónia Rey).....196

Figura 9.23: Perfis batimétricos realizados no Areão. (Dados fornecidos por Sónia Rey).....197

Figura 9.24: Representação da relação entre a erosão do litoral e a média das alturas significativas da onda, para cada um dos Invernos marítimos considerados.199

Capítulo X

Figura 10.1: Segmento praia da Vagueira - praia do Poço da Cruz, em finais de 2003. Indicam-se as zonas onde existia um cordão dunar frontal e as zonas onde foi edificado um dique de areia. Indica-se também a localização aproximada dos dois novos esporões.207

Figura 10.2: Abordagem metodológica utilizada.208

Figura 10.3: Representação esquemática de três abordagens possíveis na definição do limite interno dos DEM usados para o cálculo da variação de volume da praia emersa durante o período em que decorreram as campanhas de observação. São consideradas secções dos DEM, indicando-se, a ponteados, a área de cálculo relativamente ao instante $t1$ e, a cinzento, a área de cálculo relativamente ao instante $t2$. a) Limite interno definido para cada época, em função da evolução da linha de costa; b) Idêntico a <i>a</i> , mas com um limite superior que corresponde ao limite médio de espraio da onda; c) Limite interno comum a todas as épocas de observação.....	209
Figura 10.4: Variação de volumes sedimentares da praia emersa, adoptando vários critérios para o estabelecimento do limite interno. a) Variação sazonal do volume sedimentar médio; b) Variação longilitoral do volume sedimentar médio. BDC: Base da Duna Comum (caso <i>c</i> da Figura 10.3); BDV ($0 < H < 4$): Base da Duna Variável e limite superior à cota de 4 m (NMM) (caso <i>b</i> da Figura 10.3); BDV ($H > 0$): Base da Duna Variável e sem limite superior (caso <i>a</i> da Figura 10.3).	210
Figura 10.5: Variação sazonal dos volumes sedimentares. a) Troço de 4 km entre a praia do Areão – praia do Poço da Cruz; b) Troço de 2.75 km entre praia da Vagueira – praia do Areão.	212
Figura 10.6: Variação longilitoral dos volumes sedimentares. a) Período compreendido entre Novembro de 2001 e Outubro de 2002; b) Período compreendido entre Novembro de 2002 e Janeiro de 2004. Representam-se, esquematicamente, os esporões e o sentido predominante da deriva litoral. (N): Norte; (S): Sul; (V): Vagueira; (PC): Poço da Cruz.	213
Figura 10.7: Variação sazonal dos declives da face da praia. a) Troço de 4 km, entre o Poço da Cruz e o Areão, onde ainda estão presentes dunas frontais; b) Troço de 2.75 km, entre o Areão e a Vagueira, onde está presente um dique de areia.	214
Figura 10.8: Variação longilitoral dos declives da face da praia. a) Período compreendido entre Novembro de 2001 e Outubro de 2002; b) Período compreendido entre Novembro de 2002 e Janeiro de 2004. Representam-se, esquematicamente, os esporões e o sentido predominante da deriva de Norte para Sul. (N): Norte; (S): Sul; (V): Vagueira; (PC): Poço da Cruz.	214
Figura 10.9: Índice de vulnerabilidade morfológica. a) Novembro de 2001 a Novembro de 2002; b) Novembro de 2002 a Janeiro de 2004.	215
Figura 10.10: Índice do momento. a) Novembro de 2001 a Novembro de 2002; b) Novembro de 2002 a Janeiro de 2004.	216
Figura 10.11: a) Variação sazonal dos volumes sedimentares absolutos médio, máximo e mínimo; b) Coeficientes de correlação entre o volume máximo, médio e mínimo e a altura significativa da onda ao largo. Altura significativa média da onda anterior a cada campanha de observação: H 1: um dia; H 7: sete dias; H 15: quinze dias; H 30: trinta dias; H 5>en: cinco dias mais energéticos do mês anterior; H 3M: trinta dias do terceiro mês anterior.	216
Figura 10.12: a) Variação da média do volume sedimentar no sector em estudo, de acordo com a sua altura acima do NMM; b) Coeficientes de correlação entre os volumes sedimentares obtidos, em cada campanha, por intervalo altimétrico e a altura significativa da onda ao largo. Altura significativa média da onda anterior a cada campanha de observação: Hs 1: um dia; Hs 7: sete dias; Hs 15: quinze dias; Hs 30: trinta dias; Hs	

5>en: cinco dias mais energéticos do mês anterior; Hs 3M: trinta dias do terceiro mês anterior.217

Figura 10.13: *a)* Variação dos volumes sedimentares no trecho compreendido entre as praias do Poço da Cruz e do Areão Norte (0 a 4 km) e no trecho compreendido entre as praias do Areão Norte e da Vagueira (4 a 7 km), para o período de Novembro de 2001 a Outubro de 2002; *b)* Idêntico a *a* para o período de Novembro de 2002 a Janeiro de 2004; *c)* Coeficientes de correlação entre o volume médio calculado para dois trechos em estudo e a altura significativa da onda ao largo, para o período de Novembro de 2001 a Outubro de 2002. Altura significativa média da onda anterior a cada campanha de observação: H 1: um dia; H 7: sete dias; H 15: quinze dias; H 30: trinta dias; H 5>en: cinco dias mais energéticos do mês anterior; H 3M: trinta dias do terceiro mês anterior; *d)* Idêntico a *c* para o período de Novembro de 2002 a Janeiro de 2004.218

Figura 10.14: *a)* Variação sazonal do declive médio, máximo e mínimo da face da praia. *b)* Coeficientes de correlação entre o declive médio, máximo e mínimo e a altura significativa da onda ao largo. Altura significativa média da onda anterior a cada campanha de observação: H 1: um dia; H 7: sete dias; H 15: quinze dias; H 30: trinta dias; H 5>en: cinco dias mais energéticos do mês anterior; H 3M: trinta dias do terceiro mês anterior.219

Figura 10.15: *a)* Variação do declive da face da praia no trecho compreendido entre as praias do Poço da Cruz e do Areão Norte (0 a 4 km) e no trecho compreendido entre as praias do Areão Norte e da Vagueira (4 a 7 km), para o período de Novembro de 2001 a Outubro de 2002. Na zona com o dique arenoso não foram recolhidos dados no mês de Março de 2002. *b)* Idêntico a *a*, para o período de Novembro de 2002 a Janeiro de 2004; *c)* Coeficientes de correlação entre o declive da face da praia e a altura significativa da onda ao largo. Altura significativa média da onda anterior a cada campanha de observação: H 1: um dia; H 7: sete dias; H 15: quinze dias; H 30: trinta dias; H 5>en: cinco dias mais energéticos do mês anterior; H 3M: trinta dias do terceiro mês anterior; *d)* Idêntico a *c*, para o período de Novembro de 2002 a Janeiro de 2004.220

Figura 10.16: *a)* Variação longilitoral do volume médio, máximo e mínimo para o período compreendido entre Novembro de 2001 e Outubro de 2002. *b)* Coeficientes de correlação entre os volumes médio, máximo e mínimo e a altura significativa da onda ao largo. Altura significativa média da onda anterior a cada campanha de observação: H 1: um dia; H 7: sete dias; H 15: quinze dias; H 30: trinta dias; H 5>en: cinco dias mais energéticos do mês anterior; H 3M: trinta dias do terceiro mês anterior.221

Figura 10.17: *a)* Variação longilitoral do volume médio, máximo e mínimo para o período compreendido entre Novembro de 2002 e Janeiro de 2004. *b)* Coeficientes de correlação entre o volume médio, máximo e mínimo e a altura significativa da onda ao largo. Altura significativa média da onda anterior a cada campanha de observação: H 1: um dia; H 7: sete dias; H 15: quinze dias; H 30: trinta dias; H 5>en: cinco dias mais energéticos do mês anterior; H 3M: trinta dias do terceiro mês anterior.222

Figura 10.18: Resultados relativos à aplicação dos índices Relative Tide Range *versus* índice de Dean para a praia do Areão (a Sul do novo esporão do Areão), para cada um dos Invernos marítimos desde 2001 até 2004. VM: Verão marítimo; IM: Inverno marítimo.224

Figura 10.19: Resultados obtidos relativos ao *Surf Scaling Parameter*, considerando as condições de agitação ao largo de Leixões para os 30 dias anteriores a cada campanha. *a)*

Variação sazonal. b) Variação longilitoral. N: Norte; S: Sul; PC: Poço da Cruz; V: Vagueira.	225
Figura 10.20: Representação dos resultados obtidos relativos ao <i>Surf Scaling Parameter</i> , considerando as condições de agitação ao largo de Leixões para os 5 dias mais energéticos do mês anterior a cada campanha. a) Variação sazonal. b) Variação longilitoral. N: Norte; S: Sul; PC: Poço da Cruz; V: Vagueira.	225
Figura 10.21: Resultados relativos ao <i>Surf Similarity Parameter</i> , considerando as condições de agitação, ao largo de Leixões, para os 30 dias anteriores a cada campanha. a) Variação sazonal. b) Variação longilitoral. N: Norte; S: Sul; PC: Poço da Cruz; V: Vagueira.	226
Figura 10.22: Resultados relativos ao <i>Surf Similarity Parameter</i> , considerando as condições de agitação, ao largo de Leixões, para os 5 dias mais energéticos do mês anterior a cada campanha. a) Variação sazonal. b) Variação longilitoral. N: Norte; S: Sul; PC: Poço da Cruz; V: Vagueira.	227
Figura 10.23: Obliquidade da direcção média da crista das ondas, relativamente à linha de costa (Elaborado com base nos dados disponíveis das bóias ondógrafo de Sines e Leixões).	227

ÍNDICE DE TABELAS

Capítulo II

Tabela 2.1: Glossário de exemplos de morfologias de terceira ordem e respectivos processos que lhes dão origem (adaptado de Finkl, 2004).....	30
---	----

Capítulo III

Tabela 3.1: Vantagens e desvantagens das técnicas de posicionamento aplicadas ao estudo de praias.....	62
--	----

Tabela 3.2: Vantagens e desvantagens das técnicas de fotogrametria e detecção remota aplicadas ao estudo de litorais.....	63
---	----

Tabela 3.3: Precisão vertical de vários sistemas de aquisição de dados, expressa sob a forma de <i>RMSE</i> , em trabalhos realizados em praias.....	64
--	----

Capítulo IV

Tabela 4.1: Diferenças obtidas na componente altimétrica para posições situadas a menos de 0.5 m nos nós da rede de perfis.....	77
---	----

Tabela 4.2: Coordenadas de marcas de nivelamento, levantadas por <i>DGPS</i> , localizadas na Foz do Douro. As alturas referidas ao NMM foram gentilmente cedidas pelo Administração de Portos do Douro e Leixões (APDL). Todos os valores apresentam o metro como unidade de referência.....	79
---	----

Tabela 4.3: Comparação entre as distâncias obtidas pela Estação Total e as distâncias obtidas por <i>DGPS</i> cinemático em dois perfis de praia, relativamente a uma estaca de referência. <i>Stdev</i> (= desvio padrão).....	81
---	----

Tabela 4.4: Coordenadas cartesianas de quatro pontos de controlo estático, identificados na Figura 4.10, e respectivos desvios padrão, bem como as diferenças obtidas pelos sistemas antena-simples e multi-antena relativamente às anteriores.....	82
---	----

Tabela 4.5: Indica-se, a negro, as coordenadas cartesianas, em <i>WGS84</i> , da estação <i>P0</i> , localizada no Areão, relativamente ao MG-Areão. Indicam-se, a itálico, as coordenadas cartesianas, em <i>WGS84</i> , da estação <i>P0</i> , relativamente à estação do IGP-Gaia. Apresentam-se as diferenças entre as coordenadas obtidas deste modo e as que foram obtidas pela ligação com o MG-Areão.....	85
---	----

Tabela 4.6: Pormenores relativos à densidade dos perfis e resultados obtidos após interpolação pelo método <i>TIN</i>	90
---	----

Tabela 4.7: Resultados da aplicação de 6 métodos de interpolação à rede representada na Figura 4.11. Os volumes estão referidos ao NMM. Foram calculadas as diferenças volumétricas dos vários modelos gerados pelos métodos de interpolação relativamente ao método da mínima curvatura.....	93
---	----

Capítulo V

Tabela 5.1: Resumo dos valores modais obtidos para parâmetros de agitação marítima na costa ocidental portuguesa. Os rumos são relativos ao período de pico da onda. H_{s0} (altura significativa da onda ao largo); T (Período da onda); T_p (Período de pico da onda) T_s (Período significativo da onda), T_z (Período médio da onda).....	102
---	-----

Tabela 5.2: Estimativas de diversos autores para a resultante anual da deriva litoral. (*): Fonte: Magalhães (1999).....	107
--	-----

Tabela 5.3: Estimativas do material transportado junto ao fundo (T.F.) pelos principais rios que drenam para o sector em estudo, em regime natural (adaptado de Magalhães, 1999). (*): O rio Vouga não drena directamente para o mar.....	108
---	-----

Tabela 5.4: Barragens construídas nos segmentos internacional e português do rio Douro. Adaptado de Carvalho (2003).	110
--	-----

Capítulo VI

Tabela 6.1: Número total de registos efectuados pelas bóias ondógrafo. n.c.: meses não considerados neste estudo; (*) registos da bóia ondógrafo de Sines; (#) registos da bóia ondógrafo de Leixões; (-) meses sem registo em Leixões ou em que os dados não estão disponíveis para este trabalho; (+) meses com registo mas sem análise espectral. Dados do IH.....	118
---	-----

Tabela 6.2: Relações entre a altura significativa da onda e outras variáveis estatísticas da altura da onda. H_s = altura significativa da onda; H_{max} = altura máxima da onda; H_{rms} = altura média quadrática da onda; H_{med} = altura média da onda. Adaptado de Komar (1976).	119
--	-----

Tabela 6.3: Temporais identificados entre os Invernos marítimos de 2000 e 2003, com base no critério adoptado no presente trabalho. b.o. Sines: bóia ondógrafo de Sines; b.o. Leixões: bóia ondógrafo de Leixões.	125
--	-----

Tabela 6.4: Alturas significativas máximas ocorridas num temporal de rumo WNW, com registos nas bóias ondógrafo de Sines e Leixões. Máxima altura significativa da onda em Sines, com base em dados de Gama (2005) e máxima altura significativa da onda em Leixões, com base em dados de Coelho (2005).	127
--	-----

Tabela 6.5: Valores de altura significativa da onda e de duração de temporais em Leixões, a partir da extrapolação dos valores da bóia ondógrafo de Sines, no Inverno marítimo de 2000/2001.	128
---	-----

Tabela 6.6: Intervalo de tempo entre os picos dos temporais com altura significativa da onda superior a 6.0 m, identificados entre os Invernos marítimos de 2000 e 2003. Os números atribuídos aos temporais são baseados na lista completa de temporais que se encontra na Tabela 6.3. (*) Valores obtidos por extrapolação de dados de Sines para Leixões, assumindo uma relação de proporcionalidade de 1.1 entre ambos os locais.....	129
---	-----

Capítulo VIII

Tabela 8.1: Estimativa dos volumes envolvidos na transferência de sedimentos da zona do tómbolo para as praias a Sul. Consideram-se uma média de quatro camiões por hora.....	153
---	-----

Capítulo IX

Tabela 9.1: Cotas médias do topo da duna, expressa em metros acima do nível médio das águas do mar, no ano de 1999, para os segmentos litorais considerados, de acordo com os dados de Pereira (2000).....195


Tabela 9.2: Valores de erosão obtidos para cada segmento litoral considerado, em m³/ano.198

Capítulo X

Tabela 10.1: Valores obtidos para o índice *RTR*.222

LISTA DE SÍMBOLOS

a	linha litoral
C_D	Cota média do topo da duna
C_{PD}	Cota média do contacto praia/duna
$C_{PE/PS}$	Cota média do contacto praia emersa/praias submersa
D_o	Direcção média da onda
D_P	Direcção média do período de pico da onda
d_c	profundidade de fecho
E_L	Extensão longilitoral
g	aceleração da gravidade
H	Altitude ortométrica
H	Altura da onda
H_b	Altura da onda na rebentação
H_o	Altura da onda ao largo
H_{max}	Altura máxima da onda
H_{med}	Altura média da onda
H_{rms}	Altura média quadrática da onda
H_{smax}	Altura significativa máxima
H_{so}	Altura significativa da onda ao largo
\overline{H}	Altura significativa média anual
h	altitude elipsoidal
I_M	Índice do momento
I_V	Índice de vulnerabilidade morfológica
L_o	Comprimento da onda ao largo
M	Distância à meridiana
N	Altitude geoidal ou ondulação do geóide
P	Distância à paralela
P_F	Cota média do fecho do perfil
R	Taxa média de recuo da linha de costa
R_o	Distância longilitoral entre promontórios
r	índice de recorte
r	raio do sedimento
T	Período da onda
T_{Hs}	Período da onda correspondente à média dos períodos das ondas utilizadas no

	cálculo da altura significativa da onda
T_P	Período de pico da onda
T_S	Período significativo da onda
T_Z	Período médio da onda
TR	Amplitude da maré média de águas vivas
V_D	Volume erodido do cordão dunar
V_{PE}	Volume erodido da praia emersa
V_{PS}	Volume erodido da praia submersa
V_S	Volume total erodido
V_{max}	Volume máximo dos levantamentos utilizados no calculo de I_V e I_M
V_{med}	Volume médio dos levantamentos utilizados no calculo de I_V e I_M
V_{min}	Volume mínimo dos levantamentos utilizados no calculo de I_V e I_M
V_M	Volume da praia em determinado levantamento
Ω	<i>Dimensionless fall velocity index (Índice de Dean)</i>
β	Alinhamento entre promontórios
β	Obliquidade da direcção média da crista das ondas relativamente à linha de costa
β	Valor angular da tangente ao declive
ε	<i>Surf scaling index</i>
μ	Viscosidade
ξ_b	<i>Surf similarity index</i> para condições na rebentação
ρ	Densidade da água do mar
ρ_s	Densidade do sedimento
σ_H	Desvio padrão da altura significativa média anual
Φ	Ângulo de repouso da face da duna exposta ao vento
	Esporão

LISTA DE ACRÓNIMOS

APDL	Administração dos Portos do Douro e Leixões
ALS	Airborne Laser Scanning
AS	Anti-Spoofing
ATM	Airborne Topographic Mapper
BMMV	Baixa Mar de Maré Viva
CCD	Charge Couple Devices
CCRS	Canada Centre of Remote Sensing
CDMA	Code Division Multiple Access
CEHIDRO	Center of Hydrosystems Studies of Technical University of Lisbon
CEM	Coastal Engineering Manual
CNADS	Conselho Nacional do Ambiente e do Desenvolvimento Sustentável
CPPE	Companhia Portuguesa de Produção de Electricidade
DEM	Digital Elevation Model
DGPS	Diferencial Global Positioning System
DPS	Digital Photogrammetric System
DSM	Digital Surface Model
DTM	Digital Terrain Model
ERS	European Remote Sensing Satellite
GIS	Geographical Information System
GLOSS	GLObal Sea level observing System
GPS	Global Positioning System
GRS80	Geodetic Reference System 1980
HRG	Haute Résolution Géométrique
HRV	Haute Résolution Visible
HRVIR	High Resolution in the Visible and Infra-Red
IDW	Inverse Distance Weight
IFSAR	Interferometric SAR
IGP	Instituto Geográfico Português
IH	Instituto Hidrográfico
IHRH	Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos
INAG	Instituto Nacional da Água
IMU	Inertial Measurement Unit
INS	Inertial Navigation System

IOC	International Oceanographic Commission
LADAR	Laser Detection and Ranging
Laser	Light amplification by stimulated emission of radiation
LBT	Longshore Bar and Trough
LIDAR	Light Detection and Ranging
LTT	Low Tide Terrace
MCS	Minimum Curvature spline
N	Norte
NaN	Natural Neighbor
NeN	Nearest Neighbor
NMM	Nível Médio do Mar
NNE	Nor-nordeste
NNSS	Navy Navigation Satellite System
NNW	Nor-noroeste
NW	Noroeste
OTF	On The Fly
PMMV	Preia Mar de Maré Viva
PRN	Pseudo Random Noise
RADAR	Radio Detection and Ranging
RADARSAT	RADAR Satellite
RBB	Ritmic Bar and Beach State
RMSE	Root Mean Square Error
RTK	Real Time Kinematic
RTR	Relative Tide Range
S	Sul
SA	Selective Availability
SABS	South African Bureau of Standards
SAR	Synthetic Aperture RADAR
SE	Sudeste
SPOT	Systeme Probatoire de l'Observation de la Terre
SSE	Sul-sudeste
SSW	Sul-sudoeste
SW	Sudoeste
TBR	Transverse Bar and Rip State
TIN	Triangular Irregular Network

TOPEX	The Ocean Topography EXperiment
VIM	Vocabolário Internacional de Metrologia
W	Oeste
WGS84	World Geodetic System, 1984
WNW	Oeste-noroeste
ZH	Zero Hidrográfico

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO GERAL

Se vi mais longe foi por ter ficado aos ombros de gigantes

Isaac Newton

I. INTRODUÇÃO

1. Motivação

Portugal é um país privilegiado sob o ponto de vista da relação entre a dimensão do território e a extensão do litoral. O litoral, sendo o ponto de encontro entre a litosfera e a hidrosfera proporciona, não descurando as interações destes domínios com a atmosfera e a biosfera, inúmeras fontes de riqueza para os vários sectores da sociedade humana.

O interesse que a proximidade ao mar sempre despertou traduziu-se, ao longo dos séculos, numa tendência de fixação das populações nessas áreas. Actualmente, as zonas litorais continuam a ser uma fonte de atracção, em virtude da riqueza que geram em vários sectores de actividade, como sejam as actividades portuárias, certos tipos de indústria e o turismo, a que se associam outros, nomeadamente o urbanismo, o comércio e os serviços.

A importância que o litoral assume naquilo que deve ser considerado como qualidade de vida das populações, obriga a um cada vez maior conhecimento sobre a forma como ele responde aos ciclos naturais de evolução e à maior ou menor influência que as actividades humanas têm nessa evolução.

O estudo do litoral português no que concerne às relações entre as morfologias presentes e os processos físicos que lhes dão origem não seria tão pertinente, não fosse o facto de ser inequívoca a tendência recente, tal como acontece em muitas outras faixas litorais do globo, particularmente no último século, para uma redução significativa de alguns dos seus recursos.

O esgotamento de recursos sedimentares, a par de uma tendência progressiva de migração, para o lado de terra, do limite entre a litosfera e a hidrosfera, bem patente nos litorais arenosos, traduz-se numa redução da parte emersa do território, colocando problemas em vários sectores da sociedade.

O conhecimento científico existente a cada momento é condicionado pelos desenvolvimentos tecnológicos até então operados. Num passado ainda recente, as únicas fontes de informação que permitiam quantificar ou, pelo menos, avaliar a tendência evolutiva do limite entre a litosfera e a hidrosfera eram a cartografia antiga e, mais recentemente, a fotografia aérea.

No campo, a recolha de dados era, e ainda é, frequentemente feita com recurso a métodos taquiométricos, ou mesmo a medições com fita métrica. Muito embora os resultados obtidos possam traduzir, de forma inequívoca, tendências evolutivas, existem limitações inerentes aos métodos utilizados ou à forma como foram ou têm sido implementados.

A era actual pode ser considerada como a era da ciência instrumental, a qual coloca à disposição dos investigadores tecnologias sofisticadas, como é o caso das tecnologias satelitárias, caracterizadas pela produtividade que se revela, frequentemente, na facilidade de recolher elevado volume de informação.

Sendo Portugal conhecido como um país ainda com poucos recursos financeiros e graves problemas de erosão de praias, particularmente em alguns segmentos da sua costa ocidental, importa implementar novas metodologias de aquisição de informação, capazes de tirar partido dessas tecnologias, e o façam a custos relativamente baixos, de forma a permitir a monitorização regular de segmentos particularmente vulneráveis. Importa também que a implementação dessas tecnologias tenha por base a definição de critérios precisos de monitorização, baseados em conceitos teóricos bem estabelecidos e inequívocos. Finalmente, é importante que os resultados obtidos contribuam para aumentar o conhecimento científico, o qual é fundamental para compreender o porquê das tendências que se esboçam e sirvam como instrumento de apoio à gestão do litoral.

2. Perspectiva científica

Diversas perspectivas complementares podem ser tidas em consideração no estudo da dinâmica inerente a litorais. Essas perspectivas podem ser agrupadas em pelo menos quatro grandes domínios, nomeadamente o das Geociências, o da Física, o da Matemática e o da Engenharia. Um aspecto fundamental no âmbito de investigação de cada um deles são as respectivas escalas temporal e espacial de estudo dos fenómenos.

A perspectiva das geociências é, por definição, interdisciplinar, encerrando em si vários domínios científicos, entre os quais se podem referir a Geologia, a Geomorfologia a Geografia Física, a Geodesia e a Geofísica, envolvendo escalas temporais de estudo que podem variar entre o instante e os milhões de anos.

A perspectiva física está vocacionada para o estudo dos processos litorais com base em modelos físicos que recorrem a dados reais, e envolvem a parametrização rigorosa das interacções entre diversas variáveis actuantes no litoral. Normalmente, são consideradas as interacções que ocorrem à escala do instante, embora numa tentativa de estender a escala para eventos de maior duração.

Uma outra perspectiva, própria da matemática, baseia-se no estabelecimento de modelos numéricos que permitem simular as condições vigentes em situações onde a ausência de dados de campo limita o estudo dos processos.

A perspectiva de engenharia refere-se, basicamente, à previsão de mudanças nos sistemas litorais que ocorrem à escala das décadas. Recorre à simulação das condições naturais em laboratórios e recorre a modelos numéricos onde, posteriormente, são inseridas as intervenções propostas com vista à previsão da sua funcionalidade e estabilidade. A perspectiva de engenharia

reconhece a necessidade crescente de incorporar o saber de outras áreas, nomeadamente da Geologia e da Ecologia, de forma a aumentar a sua capacidade de previsão.

O presente trabalho apresenta uma perspectiva interdisciplinar, no âmbito das geociências, recorrendo a técnicas de geodesia, nomeadamente à Geodesia Espacial e a conceitos de geomorfologia sobre a dinâmica litoral, associados à morfodinâmica de praias. Pretende-se, com base na utilização de técnicas de geodesia espacial, determinar a posição de elementos morfológicos presentes na parte emersa de litorais arenosos. Essa informação constitui o suporte para a definição de modelos representativos da superfície do terreno, a partir dos quais se procede à caracterização morfodinâmica de alguns segmentos litorais, às escalas mensal e sazonal.

3. Objectivos

Os principais objectivos deste trabalho são:

- Contribuir para uma clarificação de alguns conceitos teóricos relacionados com a nomenclatura e terminologia adoptadas no estudo das morfologias presentes em litorais arenosos;
- Apresentar o estado da arte relativamente às várias técnicas e metodologias que podem ser utilizadas para a obtenção de informação relativamente à posição de elementos morfológicos presentes em litorais arenosos, bem como os níveis de precisão que lhes estão associados;
- Desenvolver metodologias de aquisição de informação georreferenciada, vocacionadas para monitorização de litorais arenosos, com base na aplicação de uma técnica de geodesia espacial, o Sistema de Posicionamento Global (*GPS*);
- Validar as metodologias desenvolvidas no que diz respeito à precisão, exactidão e repetibilidade;
- Desenvolver métodos de monitorização de litorais arenosos, em particular da praia emersa, que tirem partido das metodologias desenvolvidas para estudos de morfodinâmica;
- Estudar as variações sazonais ocorridas em diversos contextos litorais, de extensão quilométrica, que se caracterizem pela sua particular vulnerabilidade a fenómenos de erosão;
- Contribuir, com base nos resultados obtidos pelas metodologias desenvolvidas e aplicadas aos vários contextos litorais, e recorrendo a outro tipo de dados, tais como os de agitação marítima, de marés, de caudal fluvial e de sedimentologia, para uma análise interpretativa dos comportamentos observados.

4. Estrutura da tese

Tendo como ponto de partida a abordagem proposta e os objectivos definidos, este trabalho foi organizado em duas partes. A primeira parte introduz o leitor em aspectos teóricos relacionados com litorais arenosos e nos desenvolvimentos metodológicos que foram realizados com o objectivo de monitorizar esses litorais. A sua estrutura é a seguinte:

- É feita, inicialmente, uma introdução teórica à nomenclatura e respectiva terminologia adoptadas, relativamente às morfologias presentes em litorais arenosos, em associação a várias escalas temporais e espaciais. São também abordados alguns conceitos relacionados com o equilíbrio de litorais arenosos e classificação de praias (capítulo II);
- Apresenta-se, de seguida, o estado da arte relativamente às metodologias de monitorização de litorais arenosos, tendo em conta os desenvolvimentos tecnológicos operados recentemente (capítulo III);
- No final desta primeira parte apresentam-se os resultados relativos ao desenvolvimento de duas metodologias vocacionadas para a monitorização de litorais arenosos, baseadas na utilização de *GPS*, e sua validação com base em técnicas independentes (capítulo IV);

Após cumprimento deste último propósito, é feita a transição para a segunda parte da tese, na qual se procede à aplicação das metodologias desenvolvidas:

- Efectua-se, inicialmente, um enquadramento geral do sector onde se inserem as zonas de estudo, o qual se situa entre a foz do rio Douro e o Cabo Mondego, tendo em conta vários aspectos relacionados com a oceanografia, a geomorfologia e a dinâmica litoral (capítulo V);
- Procede-se, seguidamente, a uma caracterização das condições de agitação marítima ao largo para o período a que corresponde o presente estudo, o qual integra observações de campo entre Setembro de 2000 e Janeiro de 2004 (capítulo VI);
- Analisa-se a variabilidade morfológica e volumétrica sazonal a inter-anual assumida pela restinga do rio Douro no contexto das condicionantes hidrodinâmicas responsáveis por essa variabilidade (capítulo VII);
- Caracteriza-se o impacte da construção de um quebramar destacado no litoral da vila da Aguda, com base em dados relativos à evolução morfológica e volumétrica de um segmento de praia emersa, adjacente ao local onde o referido quebramar foi implantado (capítulo VIII);

- Apresenta-se a evolução recente da linha de costa no litoral da barreira arenosa da laguna de Aveiro. Interpreta-se essa evolução com base na análise de registos de temporal e quantifica-se a erosão litoral (capítulo IX);
- Efectua-se a caracterização morfodinâmica, com base em vários índices propostos na literatura, de um segmento litoral particularmente vulnerável à erosão, o qual se localiza entre as praias da Vagueira e do Poço da Cruz, no litoral da laguna de Aveiro (capítulo X).

5. Metodologias utilizadas

Tendo em conta a importância que uma monitorização regular das variações ocorridas nas morfologias de litorais arenosos assume em estudos de geomorfologia, mais concretamente em morfodinâmica, é proposta uma nova metodologia de monitorização que se caracteriza pelo seu carácter inovador. Esta metodologia consiste num sistema multi-antena *GPS*. Este sistema caracteriza-se pela elevada produtividade em termos de eficiência e rapidez, a relativo baixo custo, na monitorização de segmentos litorais de praia emersa com vários quilómetros de extensão.

A aproximação quantitativa ao estudo dos fenómenos pretende melhorar a visão actual sobre a dinâmica litoral, útil em diversos domínios científicos, como é o caso da geomorfologia, da geologia e da engenharia costeira e também fornecer informação útil para os gestores do litoral e decisores políticos.

6. Zonas de estudo

Foram seleccionadas três zonas situadas na costa ocidental Portuguesa (Figura 1.1). Essas zonas foram escolhidas, tendo em atenção a relevância que a sua caracterização morfológica e morfodinâmica representa no contexto da gestão do litoral. Neste âmbito foram consideradas a restinga do rio Douro, a praia da Aguda e as praias do litoral da laguna de Aveiro.

A restinga do rio Douro é um corpo arenoso com cerca de 1 km de extensão que apresenta uma dinâmica elevada, a qual é, essencialmente, induzida pelas condições de agitação marítima vigentes, pela maré e pelas variações de caudal do rio.

A elevada dinâmica desta forma arenosa e a sua tendência de migração para o interior do estuário, esboçadas no último século, têm colocado questões de segurança às populações ribeirinhas, o que motivou o estabelecimento de um programa de monitorização regular, cujo interesse foi redobrado em virtude da actual construção dos molhes do Douro (Figura 1.1 *a*).

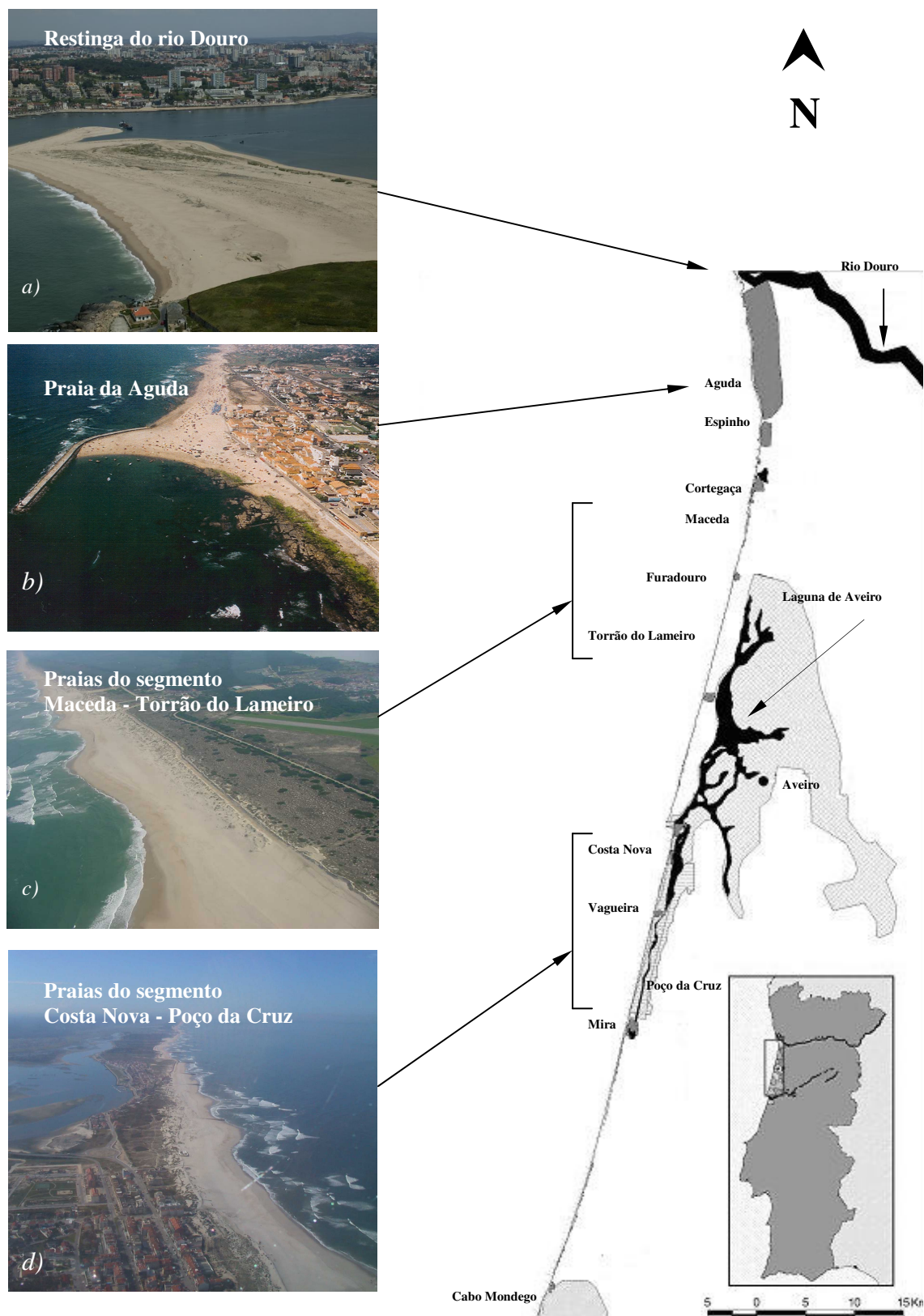


Figura 1.1: Localização geográfica das zonas de estudo: *a)* Restinga do rio Douro (Fotografia: Piqueiro); *b)* Tômbolo da praia da Aguda (Fotografia: Carlos Miguel); *c)* Segmento Maceda – Torrão do Lameiro (Fotografia: C. Bernardes); *d)* Segmento Costa Nova – Poço da Cruz (Fotografia: C. Bernardes). Esquema adaptado de Veloso Gomes *et al.* (2002).

A segunda zona em estudo, também com cerca de 1 km de extensão, consiste no segmento litoral adjacente à vila da Aguda. A protecção às actividades piscatórias foi, neste caso, determinante para a construção de uma obra de defesa costeira, a qual consiste num quebramar destacado. As alterações previstas na dinâmica da deriva litoral motivaram o estudo deste segmento, ainda antes da construção desta obra, de forma a obter um conjunto de dados que auxiliem a compreensão das alterações impostas à dinâmica sedimentar nessa zona. A formação de um tómbolo no qual se instalou uma praia em baía foi o impacte mais evidente desta obra (Figura 1.1 *b*).

A terceira zona de estudo integra algumas praias situadas na barreira arenosa adjacente à laguna de Aveiro, nomeadamente a Norte do porto de Aveiro, entre as praias de S. Pedro de Maceda e do Torrão do Lameiro (Figura 1.1 *c*), e a Sul, entre as praias da Costa Nova e do Poço da Cruz (Figura 1.1 *d*). Este sector tem sido considerado como um dos mais problemáticos da costa ocidental portuguesa, em virtude da elevada erosão que tem sido registada nos últimos anos, colocando em risco as populações locais e diversas actividades sócio-económicas.

A gravidade da situação motivou a construção de várias obras de defesa costeira, algumas delas bastante recentes. Nos últimos anos foram também realizadas várias intervenções, algumas delas efectuadas com carácter de urgência, para impedir a ligação à laguna. De referir os diques arenosos edificados ao longo do litoral, entre as praias da Costa Nova e da Vagueira e entre as praias da Vagueira e do Areão.

As questões relacionadas com a caracterização da evolução da linha de costa, com a análise do impacte de temporais sobre as praias e o cordão dunar frontal, com a quantificação da erosão litoral e a avaliação da deriva litoral, são fundamentais para melhorar o actual conhecimento da variabilidade inter-anual presente neste sector litoral. O conhecimento que advém deste tipo de análise poderá ser considerado como uma ferramenta de apoio junto dos agentes responsáveis pela gestão do litoral e dos decisores políticos, na medida em que fornece indicações sobre a resposta destes sectores face às diversas condicionantes, inclusivamente antrópicas, que o afectam.

PARTE I

**MORFOLOGIAS PRESENTES EM LITORAIS ARENOSOS:
METODOLOGIAS DE MONITORIZAÇÃO**

CAPÍTULO II

MORFOLOGIAS PRESENTES EM LITORAIS ARENOSOS: CONCEITOS E DEFINIÇÕES

*Fiquei chocado com o número elevado de falsidades
que aceitei como verdades na minha infância*

René Descartes

II. MORFOLOGIAS PRESENTES EM LITORAIS ARENOSOS: CONCEITOS E DEFINIÇÕES

1. Introdução

Segundo uma perspectiva eminentemente geomorfológica, como se pretende nesta dissertação, o estudo de litorais, particularmente de litorais arenosos, implica que sejam tidos em consideração aspectos básicos relacionados com a nomenclatura e terminologia das morfologias presentes, de forma a facilitar a interacção entre especialistas de domínios científicos afins.

Procede-se a uma sistematização de alguns termos e expressões usados no domínio da geomorfologia litoral, de forma a contribuir para o acerto de conceitos entre especialistas do litoral.

Para complementar a nomenclatura adoptada estabelecem-se as relações entre as várias escalas espaciais e temporais que se podem associar às morfologias presentes em litorais arenosos.

Apresentam-se os conceitos de equilíbrio do litoral em associação a diversas escalas temporais de estudo da dinâmica litoral, considerando algumas definições que têm sido propostas na literatura, nomeadamente de equilíbrio estático e não estático. São ainda apresentados alguns índices referidos na literatura para caracterização morfológica e morfodinâmica de praias.

2. Nomenclatura

O termo *praia* (= “*beach*” ou “*shore*”) é tradicionalmente aplicado a uma zona litoral coberta por sedimentos cuja granulometria pode variar entre a areia e o cascalho (Shepard, 1963). Ao longo deste trabalho, o termo *praia* é aplicado como sinónimo de praia arenosa, uma vez que são deste tipo as praias estudadas.

As morfologias exibidas pelas praias podem ser subdivididas em duas componentes ortogonais, uma segundo a direcção do perfil transversal, e outra segundo a direcção longitudinal, a qual pode ser representada pela planta da praia. Também os processos que dão origem às várias morfologias podem ser decompostos em duas componentes ortogonais, uma delas segundo a direcção transversal, que se relaciona com trocas transversais (transporte diabático) e outra segundo a direcção longitudinal, que se relaciona com trocas longitudinais (transporte parabático).

Um aspecto que dificulta o estudo de praias é a panóplia terminológica que lhe pode ser aplicada, a qual pode criar alguma dificuldade à interpretação dos fenómenos estudados, caso não se apresente devidamente definida. A sobreposição do mesmo significado para termos distintos ou a adopção de um mesmo termo com diversos significados resulta, por vezes, da terminologia ser utilizada por diferentes autores, que a aplicam a contextos diversos com determinadas especificidades.

No caso da nomenclatura para o perfil transversal de praia, é patente a disseminação de termos que podem gerar alguma ambiguidade ao nível do seu significado, caso não seja apresentada a definição adoptada. No léxico português surge, por vezes, essa disseminação, a qual resulta das propostas de vários autores, sendo alguns desses termos a designada “tradução à letra” dos originais anglo-saxónicos.

2.1 Componente transversal da praia

Apresenta-se, de seguida, a nomenclatura e a terminologia adoptadas neste trabalho, para o amplo domínio que se designa por *litoral*, o qual inclui um perfil de praia típico de Verão marítimo com características semelhantes às existentes nas zonas estudadas, particularmente na barreira arenosa de Aveiro (Figura 2.1).

Considera-se como *litoral* o domínio que inclui o perfil de praia, bem como uma porção mais interna, para o lado do continente, materializada por dunas ou arribas. Do lado do mar considera-se como limite a profundidade de fecho, cuja definição se apresenta mais à frente.

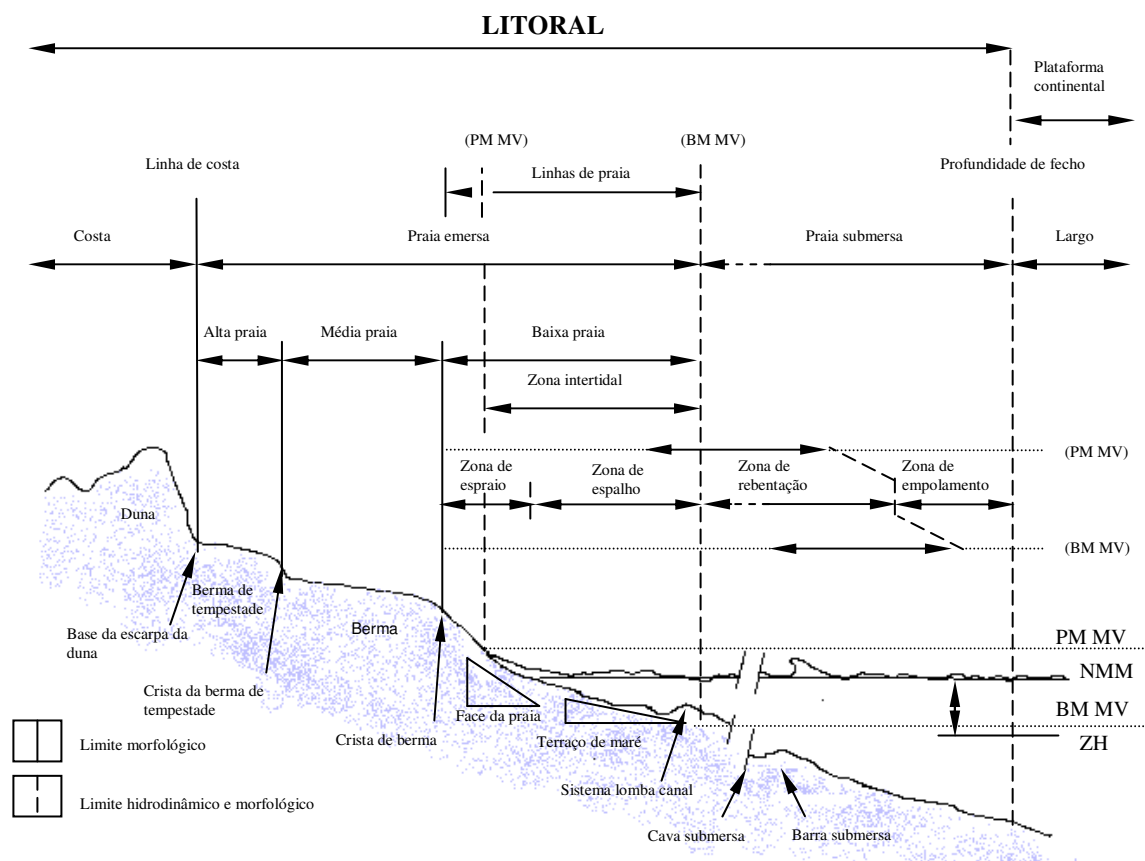


Figura 2.1: Perfil transversal de praia. PM MV: Preia-Mar de Maré Viva; BM MV: Baixa-Mar de Maré Viva; NMM: Nível Médio do Mar; ZH: Zero Hidrográfico.

Os termos ou expressões apresentados na Figura 2.1 baseiam-se na nomenclatura anglo-saxónica, tomando como referência as propostas de King (1972), Komar (1976), Short (1999), Bird (2000) e Morang e Parson (2002). Adoptam-se, sempre que possível, termos já usados por outros autores nacionais, clarificando, por vezes, o seu significado, de forma a melhor adaptar às zonas de estudo. De salientar os trabalhos de Carvalho (1985), Ferreira (1993, 1998), Teixeira (1994), Magalhães (1999), Rodrigues (2004) e Coelho (2005).

Relativamente ao perfil de praia consideram-se três limites, os quais se designam por *linha de costa*, *linha de praia* e *profundidade de fecho*. Esses limites permitem individualizar quatro domínios principais: *a costa*, *a praia emersa*, *a praia submersa* e o *largo*. Uma vez que a praia, enquanto perfil transversal que inclui um domínio emerso e outro submerso, é um meio altamente dinâmico, surge a necessidade de definir planos de referência que auxiliem a definição dos limites acima considerados. Consideram-se os planos da Preia-Mar de Marés Vivas (PM MV), da Baixa-Mar de Marés Vivas (BM MV), do Nível Médio do Mar (NMM) e do Zero Hidrográfico (ZH.), os quais se definem, de seguida, com base no glossário de termos da Tabela de Marés do Instituto Hidrográfico – I.H. (2004):

- Preia-Mar de Marés Vivas (PM MV): É o valor médio, tomado ao longo do ano, das alturas de maré de duas preias-mares sucessivas, que ocorrem quinzenalmente quando a amplitude de maré é maior (próximo das situações de Lua Nova ou Lua Cheia).
- Baixa-Mar de Marés Vivas (BM MV): É o valor médio, tomado ao longo do ano, das alturas de maré de duas baixas-mares sucessivas, que ocorrem quinzenalmente quando a amplitude de maré é maior (próximo das situações de Lua Nova ou Lua Cheia).
- Nível Médio do Mar (NMM): É o valor médio das alturas horárias da maré, relativamente a um nível de referência fixo (e.g. marca de nivelamento), resultante de séries de observações maregráficas de duração variável. Em Portugal adoptou-se, como nível de referência altimétrico, o datum de Cascais que se encontra associado ao marégrafo de Cascais.
- Zero Hidrográfico (ZH.): Superfície em relação à qual são referidas as sondas e as linhas isobatimétricas das cartas náuticas. Nas cartas portuguesas, o ZH., quando referido ao datum altimétrico de Cascais, situa-se 2.0 m abaixo do NMM.

Tendo em conta estes planos de referência e também critérios morfológicos e hidrodinâmicos, apresentam-se os três limites principais do perfil transversal de praia:

- *Linha de costa* [= "coastline", de acordo com Bird (2000)]. Define-se como o limite de contacto entre a costa, materializada por um cordão dunar frontal (= "*foredunes*"), ou arriba talhada nas dunas frontais (= "*foredune scarp*"), e a praia. Quando o objectivo se prende com a quantificação da evolução da linha de costa pode usar-se a crista ou a base do cordão dunar frontal como referência para essa avaliação. Essas referências constituem os *indicadores de linha de costa*. Nos casos em que estão presentes diques de areia, o que é actualmente comum no litoral de Aveiro, o contacto entre a crista ou base desses diques artificiais e a praia pode ser designado como *indicador antrópico de linha de costa*.

De referir que a expressão *linha de costa* tal como é definida tem sido usada por outros autores portugueses, nomeadamente em trabalhos onde são utilizadas técnicas aerofotogramétricas (por ex: Ângelo, 2001; Caetano, 2002; Diogo, 2004), ou de geodesia clássica (por ex: Ferreira, 1993, 1998; Boto, 1997; Pereira, 2000; Reis, 2000) para estudo das variações induzidas na praia por temporais.

- *Linha de praia* [= "*shoreline*" de acordo com Bird (2000)]. Define-se como o limite instantâneo de demarcação entre o espraio da onda e a praia emersa. Considerando a amplitude vertical existente entre os planos da PM MV e a BM MV, pode definir-se um vasto número de posições instantâneas de linhas de praia ao longo de um ciclo lunar (entre Lua Nova e Lua Cheia). Alguns autores nacionais designam este limite como linha de costa (por ex. Carvalho, 1985 e Carvalho e Granja, 1997).

Os termos "*shoreline*", "*coastline*" e, por vezes, "*coast line*" têm sido usados frequentemente como sinónimos para traduzir a separação entre os domínios continental e marinho, considerando a linha definida pelo espraio da onda (Shalowitz, 1964 *in* Morang e Parson, 2002). Normalmente não são feitas referências às condições de maré consideradas nessa definição.

O conceito de linha de praia, de acordo com essa asserção, tem sido usado, com frequência, para quantificar as variações induzidas no litoral ao longo do tempo, nomeadamente de erosão ou de acreção, com recurso à utilização de fotografia aérea ou imagens obtidas por sensores instalados a bordo de satélite, em diversas campanhas de observação. Contudo, em virtude da forte dinâmica induzida pelo espraio da onda, bem como da dificuldade de obter fotografias aéreas em condições semelhantes de maré, nem sempre esta referência é suficientemente precisa para quantificar as alterações induzidas ao litoral, em especial quando o intervalo temporal entre as observações de campo é muito reduzido (ver o item 2.3.1.1 do capítulo III).

Nesta perspectiva, fazem sentido as observações efectuadas por Carvalho (1985), de que «não é muito correcto falar em linha de costa, o que correntemente se faz», e de Carvalho e Granja (1997) «a expressão linha de costa não tem significado no terreno». Estas observações, embora pertinentes, não inviabilizam a utilização deste limite, quando, por aplicação de uma determinada metodologia de monitorização da praia, se torna possível a obtenção de informação georreferenciada, em vários períodos de observação bem definidos no tempo.

- *Profundidade de fecho* (= “*depth of closure*”). Adoptam-se os conceitos encontrados na literatura para a definição e determinação da profundidade de fecho. Esta expressão foi definida como a profundidade abaixo da qual não ocorrem mudanças do fundo marinho detectáveis, (Hallermeier, 1981a, 1981b), ou como a profundidade mínima de água, sob a qual não ocorrem mudanças significativas ou mensuráveis no fundo (Stauble *et al.*, 1993).

Um aspecto que importa salientar relaciona-se com a dependência da morfologia relativamente às condições hidrodinâmicas, uma vez que a *profundidade de fecho* se move de acordo com as condições de agitação e outras forças hidrodinâmicas (Gorman *et al.*, 1998).

A determinação da profundidade de fecho pode ser feita de forma gráfica, tendo em conta que as variações do perfil de praia são mensuráveis através das suas consequências morfológicas. Estas são reflectidas em perfis batimétricos sucessivos de um determinado local, os quais permitem a definição de uma envolvente cuja espessura diminui em direcção ao mar e cujo limite externo pode ser tomado como fronteira exterior de fecho da praia.

Essa determinação pode também ser feita de forma matemática, considerando, para isso, a fórmula de Hallermeier (1978) que relaciona a profundidade de fecho com a altura da onda e respectivo período. A profundidade de fecho, d_c , é definida pela equação:

$$d_c = 2.28H_s - 68.5 \left(\frac{H_s^2}{gT_{H_s}^2} \right) \quad (2.1)$$

em que H_s é a altura significativa da onda, T_{H_s} o período da onda correspondente à média dos períodos das ondas utilizadas no cálculo da altura significativa e g a aceleração da gravidade.

Na expressão 2.1, o primeiro termo é o principal parâmetro definidor da profundidade de fecho. O segundo termo proporciona uma pequena correcção associada à declividade das ondas. Hallermeier propôs que a estimativa da profundidade de fecho obtida pela expressão fosse utilizada em relação ao nível da maré baixa (Morang e Parson, 2002).

Para uma maior simplificação na sua aplicação, Hallermeier (1981c) propõe a relação:

$$d_c = 2\bar{H} + 11\sigma_H \quad (2.2)$$

em que \overline{H} é o valor da altura significativa média anual e σ_H é o desvio padrão da altura significativa média anual. Os resultados são semelhantes aos obtidos pela equação 2.1 se for assumida, como válida, uma distribuição normal da altura da onda ao longo do ano. Birkemeier (1985) corrigiu os coeficientes da expressão de Hallermeier com base na observação de perfis em Duck, na Carolina do Norte. As profundidades estimadas por Birkemeier são expressos pela equação:

$$d_c = 1.75H_s - 57.9 \left(\frac{H_s^2}{gT_{H_s}^2} \right) \quad (2.3)$$

Em trabalhos nacionais, Ferreira (1993) averigua os limites da profundidade de fecho com base nas expressões de Hallermeier (1978) e Birkemeier (1985), recorrendo a dados de Pires e Pessanha (1986a) sobre o clima de agitação marítima para a costa Oeste portuguesa, entre os anos de 1976 e 1980. Aquele autor compara os resultados obtidos pelas expressões matemáticas com a análise morfológica efectuada com base em perfis batimétricos, a partir dos quais averigua os limites interno (anual) e externo (secular) da profundidade de fecho (ver capítulo IX – 6.2.2). Coelho (2005) utiliza as expressões de Hallermeier (1978) e Birkemeier (1985), recorrendo aos registos da bóia ondógrafo de Leixões, entre os anos de 1981 e 2003 para proceder à mesma análise (ver capítulo IX – 6.2.2).

A partir dos três limites definidos apresentam-se, de seguida, os vários domínios que podem estar presentes num perfil transversal de praia.

- *Praia emersa* [= “*beach*” ou “*shore*”, segundo Morang e Parson (2002)]. Define-se como o domínio compreendido entre o contacto da duna frontal, ou arriba talhada na duna frontal, por acção de temporais e a baixa-mar de maré viva.

Ferreira (1998) utiliza esta expressão com o mesmo significado. A definição de praia emersa encontra paralelo na definição de *faixa costeira* proposta por Carvalho e Granja (1997), a qual é considerada como correspondente à zona entre marés e que se amplia aquando das tempestades. Teixeira (1994) utiliza a expressão *praia subaérea* com significado semelhante ao proposto e Ângelo (2001) adopta a expressão *praia em senso lato*.

Komar (1976) adopta o termo “*beach*”, e Bird (2000) prefere usar “*shore*”. De referir que nem sempre os limites, do lado do mar, referidos por estes autores são coincidentes. Morang e Parson (2002) consideram o “*low water line*”, Komar (1976) o “*mean low-tide line*” e Bird (2000) o “*low tide*”. King (1972) e Short (1999a) utilizam o termo “*beach*” mas num sentido mais abrangente, incluindo nele a praia submersa.

Para facilitar o seu estudo, a praia emersa tem sido dividida em vários subdomínios, considerando critérios morfológicos e hidrodinâmicos:

1. *Alta praia e média praia* [= "*backshore*", segundo Morang e Parson (2002)]. A *alta praia*, quando presente, é a zona da praia emersa situada entre o seu limite continental (duna, arriba talhada na duna, enrocamento, etc.) e o início de uma ruptura de pendor designado por crista da berma. A *média praia*, quando presente, é a zona intermédia da praia emersa, situada entre duas ou mais bermas existentes. O limite para o lado do mar é a crista da berma mais externa.

Carvalho (1985) adopta o termo genérico *antepraia*, o qual engloba os conceitos atribuídos à *alta praia* e à *média praia*.

Este é um caso em que várias nomenclaturas anglo-saxónicas apresentam a mesma terminologia com significados distintos. O "*backshore*" definido em Komar (1976), Bird (2000) e Morang e Parson (2002) tem significado semelhante ao apresentado, mas distinto do "*backshore*" da nomenclatura de King (1972). De acordo com King (1972), esta zona da praia prolonga-se desde o limite de espraio da onda, em condições de marés vivas, até um limite arbitrário, para o interior, que inclui a duna frontal ou arriba rochosa.

2. *Baixa praia* [= "*foreshore*", segundo Morang e Parson (2002)]. Define-se como a zona da praia emersa situada entre o limite da BM MV e a crista da berma ou, na sua ausência, o máximo espraio da onda.

Carvalho (1985) aplica a expressão *praia propriamente dita* com significado semelhante. King (1972), Komar (1976), Bird (2000) e Morang e Parson (2002) definem o "*foreshore*" com significado semelhante ao proposto.

Incluída na *baixa praia* está a designada *face da praia*, [= "*beach face*", segundo Komar (1976)], a qual se define como zona inclinada do perfil, abaixo da berma, actuada pelo espraio da onda. Por vezes também se encontra presente o *terraço de maré* (= "*low tide terrace*"), o qual é representado por uma barra longilitoral adjacente à face da praia que constitui um terraço por ocasião da baixa-mar.

3. *Zona intertidal*. É uma expressão menos abrangente que a anterior, considerando apenas limites hidrodinâmicos. Define-se como sendo a porção do perfil da praia emersa que se situa entre os limites de PM MV e BM MV.

- *Praia submersa* [= “*shoreface*” segundo Morang e Parson (2002)]. É definida como a zona da praia que se estende desde o limite da BM MV e uma variação gradual de declive que denuncia o início da plataforma continental. Tendo em conta que este limite morfológico pode ser de difícil identificação, considera-se preferível adoptar a profundidade de fecho como o limite externo da praia submersa.

Teixeira (1994) e Ângelo (2001) utilizam a expressão *praia submarina* com significado semelhante. Já Carvalho (1985) utiliza o termo *pré-praia*, a qual, segundo este autor, se situa além do limite da maré baixa, não sendo dadas indicações sobre o limite distal.

Komar (1976) aplica o termo “*inshore*” com significado semelhante ao proposto e Cowell *et al.* (1999) utilizam o termo “*shoreface*” com a definição acima adoptada, fazendo notar, contudo, que esta é válida para escalas temporais relativamente curtas, do tipo anual, mas desadequada para escalas mais amplas. King (1972) considera o presente domínio como pertencente ao designado “*offshore*”.

Além dos domínios do perfil transversal de praia, definem-se dois outros na sua fronteira:

- *Costa* [= “*coast*”, segundo o Morang e Parson (2002)]. É a porção de terra com largura indefinida que se estende desde a *linha de costa*, para o lado do continente, até se alcançar uma modificação topográfica natural. Normalmente, as dunas frontais, as arribas rochosas ou as linhas de vegetação permanente estão incluídas neste domínio.

- *Largo* [= “*Offshore*”, segundo Komar (1976)]. Define-se como sendo a zona que se prolonga para o lado do mar, desde a profundidade de fecho até ao limite da plataforma continental. Define-se como *agitação marítima ao largo* aquela que ocorre a profundidades superiores a metade do comprimento de onda. A denominação ao *largo* ocorre associada, frequentemente, ao conceito de *plataforma continental* que se apresenta de seguida.

- *Plataforma continental* [= “*continental shelf*”, segundo Morang e Parson (2002)]. Considera-se como sendo o fundo marinho que se prolonga desde o limite da praia submersa até uma profundidade onde, normalmente, ocorre um nítido aumento de declive.

Teixeira (1994) considera o limite distal da praia submarina como o início da plataforma continental, tomando como referência, para esse limite, o conceito de profundidade de fecho quando considerado à escala secular. Magalhães (1999) considera o início da plataforma no limite das marés baixas e Rodrigues (2004) considera o seu início na linha de costa.

Do ponto de vista hidrodinâmico podem ser definidos vários subdomínios, de acordo com as relações que se estabelecem entre a onda incidente e a morfologia do fundo. Komar (1976) utiliza o termo "*nearshore*", o qual assume uma conotação essencialmente energética para traduzir os processos hidrodinâmicos que ocorrem na praia submersa e se prolongam até à baixa praia. É nesta zona que ocorrem as correntes litorais. Consideram-se quatro subdomínios, "*shoaling zone*", "*breaker zone*", "*surf zone*" e "*swash zone*", que se definem de seguida. De referir que os seus limites são muito variáveis, dependendo das condições de maré e de ondulação, bem como das formas de fundo.

- *Zona de empolamento* (= "*shoaling zone*"). Segundo Short (1999a) localiza-se entre a profundidade de fecho e a zona de rebentação, estando o empolamento da onda relacionado essencialmente com variações de declive do fundo. Por vezes, também se designa por *zona de levantamento*.

- *Zona de rebentação* (= "*breaker zone*"). Segundo Komar (1976), é a zona da praia submersa onde as ondas se instabilizam e rebentam. A zona de rebentação está normalmente associada à presença de barras submersas. Em algumas praias, as ondas podem reformar-se após a primeira rebentação, dando lugar a duas ou mais zonas de rebentação. Carvalho (1985) e Ferreira (1998) usam a expressão *zona de rebentação*.

- *Zona de espalho* (= "*surf zone*"). Segundo Komar (1976) e Aagaard e Masselink (1999), é considerada como a zona onde dominam os processos induzidos pela rebentação da onda, no que diz respeito ao movimento de fluídos e ao transporte de sedimentos. No léxico português é frequente o uso da expressão "*surf zone*", embora alguns trabalhos refiram outros vocábulos. Carvalho (1985) usa a expressão *zona de ressaca* e Ferreira (1998) utiliza a expressão *zona de espalho*.

- *Zona de espraio* (= "*swash zone*"). Segundo Komar (1976) e Short (1999) constitui uma zona relativamente restrita, alternadamente coberta pelo avanço do espraio da onda ("*swash*") e exposta pela ressaca da onda ("*backwash*"). No léxico português tem sido usada a expressão *zona de espraio* (Ferreira, 1998), bem como a expressão *zona do jacto da rebentação* (Carvalho, 1985).

O perfil transversal de praia inclui algumas formas que importa assinalar, como sejam as bermas, os terraços de maré e as cavas e barras submersas, cuja definição se apresenta de seguida, de acordo com Morang e Parson (2002).

- *Berma* (= “*berm*”). Forma arenosa, geralmente plana, formada por intermédio de eventos energéticos que produzem acreção na praia. As variações sazonais da energia da onda podem induzir a produção de bermas na alta praia durante marés vivas ou eventos de maior energia. Estas são, mais tarde, abandonadas e substituídas por outras mais activas na média praia durante eventos de menor energia.

- *Crista da berma* (= “*berm crest*” ou “*berm ridge*”). É o limite externo da berma. Ocorre sob a forma de uma quebra de declive que materializa a passagem de uma zona plana, na alta ou média praia, para uma zona com pendor mais acentuado, dirigido para o mar, na baixa praia.

- *Sistemas lomba-canal* (= “*ridge and runnel*”). Formas que ocorrem em praias onde há grande disponibilidade sedimentar. As lombas formam-se normalmente a partir de barras submersas que são acrecionadas à baixa praia por efeito conjugado da ondulação e da maré. Os canais são zonas preferenciais de escoamento quando a maré está a descer. Helena Granja (*comunicação pessoal*) refere a expressão “*banco-regueira*” para designar estas formas.

- *Barra submersa* (= “*longshore bar*”). Forma arenosa correspondente a uma elevação que se desenvolve normalmente ao longo da costa e que pode ou não estar exposta durante a baixa-mar. Em algumas praias podem formar-se várias barras a diferentes profundidades. Forma-se pela interacção da onda com o fundo topográfico.

- *Cava submersa* (= “*longshore trough*”). Forma arenosa correspondente a uma depressão que se desenvolve normalmente ao longo da costa em associação com uma barra submersa, podendo existir várias no perfil de praia.

Acima do limite da alta praia estão as dunas frontais que constituem, frequentemente, o designado cordão dunar frontal:

- *Duna frontal* (= “*foredune*” ou “*frontal dune*”). Forma arenosa gerada por processos eólicos e que ocorre, geralmente, segundo uma direcção paralela à linha de praia.

A nomenclatura do perfil transversal de praia constitui apenas um dos aspectos da classificação terminológica de praias. Esta inclui também formas identificáveis quando a praia é vista em planta, ou seja, segundo uma perspectiva longitudinal. Apresentam-se, de seguida, algumas morfologias típicas da componente longitudinal.

2.2 Componente longitudinal da praia

Consideram-se morfologias associadas à componente longitudinal, aquelas que se repetem ao longo da componente longitudinal do plano da praia e que são geradas, essencialmente, por processos parabólicos. As principais morfologias associadas à componente longitudinal são as cúspides e a sucessão rítmica de correntes de fuga (= “*rip currents*”) e morfologias associadas (Figuras 2.2 a 2.4). Seguem-se as definições desses termos e expressões com base em Morang e Parson (2002).

- *Cúspides* (= “*cusps*”). Formas rítmicas presentes na face da praia que produzem formas recortadas (Figura 2.2). O comprimento destas formas é normalmente da ordem das dezenas de metros. Ferreira (1993) utiliza a expressão *lobos de praia* e define-os como sendo uma série de pequenas saliências da praia, em cunha, convexas para o mar, separadas por cavas em semicírculo, possuindo espaçamento quase regular. A formação destas formas tem sido associada à presença de ondas em cunha (= “*edge waves*”).

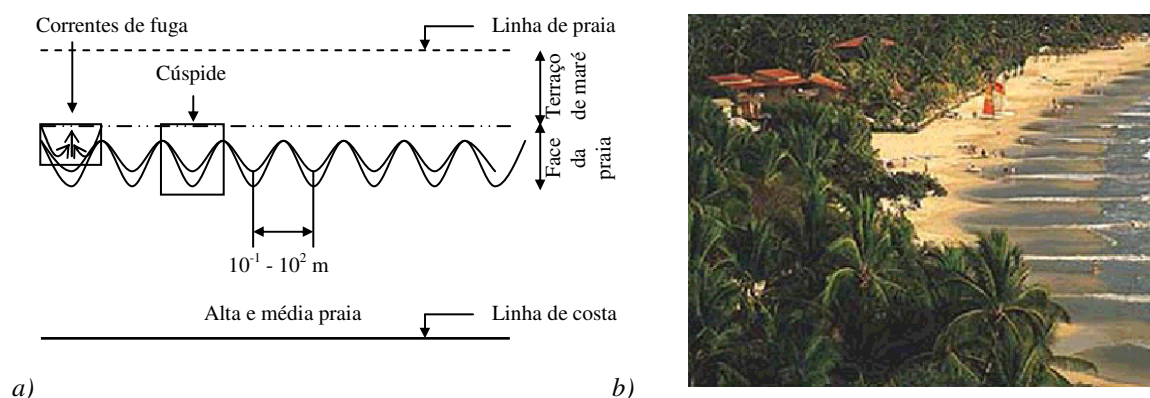


Figura 2.2: Cúspides. a) Representação esquemática de cúspides em planta com indicação das ordens de grandeza passíveis de ser assumidas por estas formas; b) Cúspides - México.

- *Sistema lomba-canal rítmico* (= “*ridge and runnel and associated rip currents*”). Os sistemas lomba-canal presentes na componente transversal do perfil de praia, quando associados a correntes de fuga, podem induzir uma ritmicidade longitudinal (Figura 2.3). O comprimento destas formas é variável entre as dezenas e as centenas de metros.

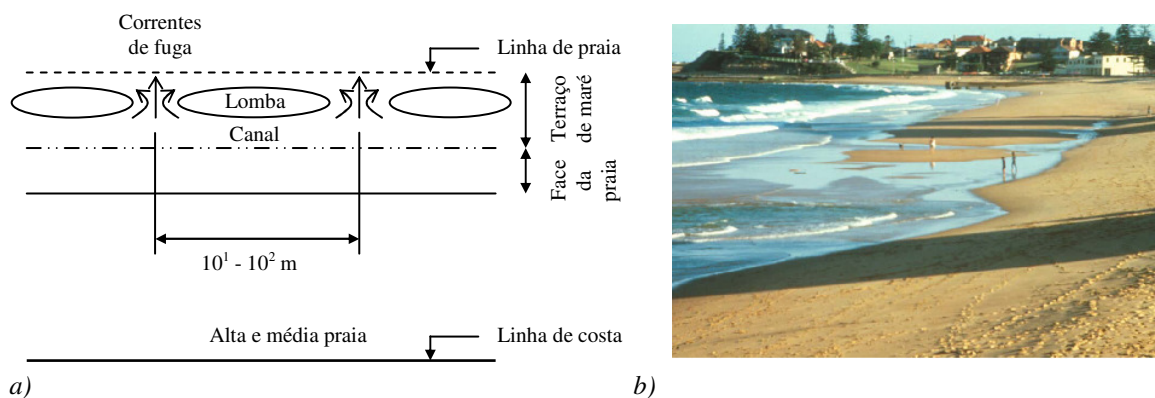


Figura 2.3: Sistemas lomba-canal rítmicos. a) Representação esquemática de um sistema lomba-canal rítmico com indicação das ordens de grandeza passíveis de ser assumidas por estas formas; b) Sistemas lomba-canal rítmicos - Nova Zelândia.

- *Barras transversais rítmicas* (= “*transverse bar and rip*”). São formas geradas pela sucessão rítmica de correntes de fuga e barras transversais, normalmente bem visíveis na baixa praia (Figura 2.4). Estas formas têm maiores dimensões que as anteriores, sendo normalmente de ordem quilométrica. Dubois (1985) designou estas formas de “*shoreline rhythm*”. As definições mais recentes das formas de praia indicam a expressão “*transverse bar and rip*” (Short, 1999). Ferreira (1993) utiliza a expressão “*formas rítmicas de grande amplitude*” para designar estas formas de praia.

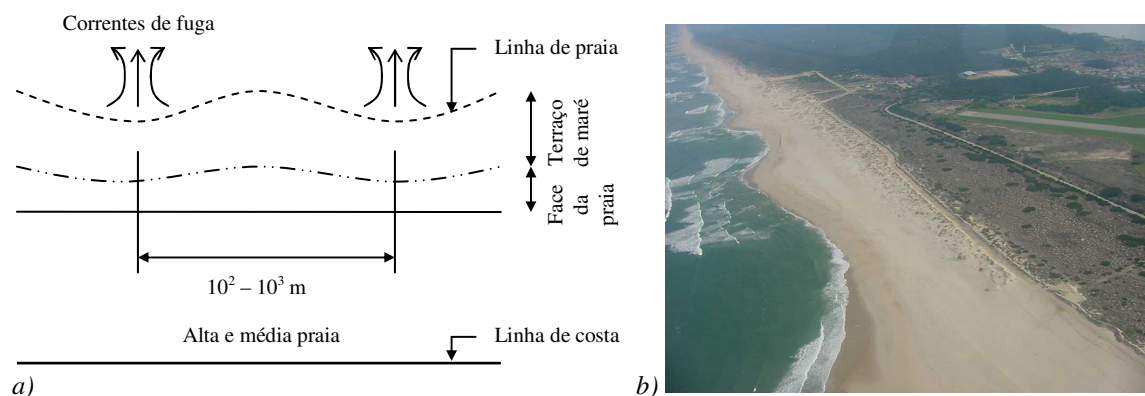


Figura 2.4: Barras transversais rítmicas. a) Representação esquemática de barras transversais rítmicas com indicação das ordens de grandeza passíveis de ser assumidas por estas formas b) Barras transversais rítmicas (S. Pedro de Maceda-Furadouro - Portugal).

Na Figura 2.5 apresentam-se exemplos de morfologias associadas à componente longilitoral presentes nas praias do litoral de Aveiro.

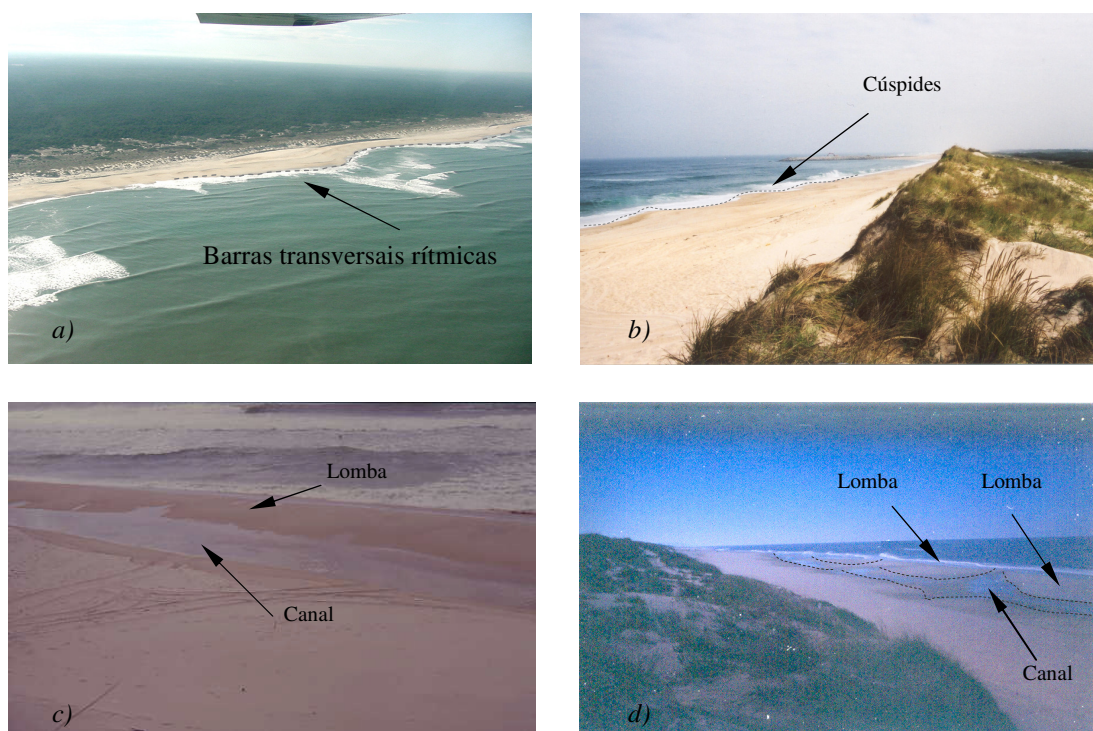


Figura 2.5: Exemplos de morfologias presentes na componente longilitoral das praias do litoral da laguna de Aveiro. *a)* Barras transversais rítmicas; *b)* Cúspides; *c)* Sistema lomba-canal; *d)* Sistema lomba-canal rítmico.

2.3 Morfologias na dependência de escalas espaciais e temporais

As várias morfologias presentes no litoral apresentam uma dinâmica própria, a qual está associada a processos de transporte sedimentar. Essa dinâmica pode ser analisada em diversas escalas temporais, desde a instantânea, que envolve o movimento que ocorre ao nível do grão, até ao movimento dos grandes corpos arenosos para escalas consideravelmente superiores.

Larson e Kraus (1995), assumindo uma abordagem de engenharia costeira, estabelecem relações entre várias escalas temporais e espaciais no estudo das variações morfológicas da praia e apresentam as compatibilidades assim como as incompatibilidades entre essas escalas. Estes autores apresentam as seguintes escalas:

i) *mega-escala*: descreve as variações ocorrentes em períodos variáveis, entre décadas e séculos, a que se associam sectores costeiros extensos;

ii) *macro-escala*: integra escalas temporais representativas de variações sazonais ou anuais e distâncias da ordem dos quilómetros a dezenas de quilómetros;

iii) *meso-escala*: considera uma escala temporal de horas a dias e escalas espaciais de metros a quilómetros;

iv) *micro-escala*: integra escalas temporais de segundos a minutos e escalas espaciais entre milímetros e centímetros.

Larson e Kraus (1995), embora definam várias escalas espaço - temporais para análise da dinâmica litoral, não apresentam as morfologias que lhes podem estar associadas. Propõem-se, de seguida, quatro ordens de grandeza das morfologias que podem estar presentes em litorais arenosos, recorrendo a critérios de expressão espacial e de sobreposição, isto é, assumindo que as morfologias de ordem inferior estão dependentes das morfologias de ordem superior:

i) *primeira ordem*: relativos aos grandes corpos arenosos. Consideram-se, neste contexto, as barreiras arenosas, as ilhas-barreira, as restingas e os tómbolos, cuja geração e evolução envolve, normalmente, processos que ocorrem em escalas temporais alargadas, embora possam responder, de forma brusca, a eventos de elevada energia e curta duração, como é o caso de temporais;

ii) *segunda ordem*: sobreposta à ordem anterior, definem-se as praias e respectivos perfis de praia emersa e submersa que podem estar presentes nas barreiras arenosas, nas ilhas barreira, nas restingas ou nos tómbolos, cuja dinâmica pode ser analisada em escalas temporais sazonais ou anuais;

iii) *terceira ordem*: diz respeito às formas que estão presentes na componente transversal e longitudinal da praia. As bermas, as cristas da berma, a face da praia, os terraços de maré, as barras e cavas submersas, bem como as cúspides, os sistemas lomba-canal e outras formas rítmicas fazem parte desta ordem, cuja dinâmica pode ser observada em escalas temporais variáveis entre as horas e os dias;

iv) *quarta ordem*: se a praia for examinada a uma escala de maior detalhe serão reveladas crenulações (= “*ripple*”) geradas em escalas temporais bastante reduzidas.

Na Figura 2.6 apresenta-se uma sistematização das relações entre a abordagem de engenharia costeira e a abordagem geomorfológica proposta. Convém referir que as relações apresentadas entre as escalas espaciais e temporais propostas por Larson e Kraus (1995) e as quatro ordens de grandeza propostas não são estanques.

Embora as morfologias de primeira ordem apresentem normalmente uma evolução temporal de mega escala temporal, podem reagir a eventos de elevada energia e curta duração no sentido de uma rápida erosão e também de uma rápida recuperação.

Também as variações ocorridas nas morfologias de terceira ordem não têm que ser sempre estudadas num contexto de meso-escala temporal. Os estudos de macro-escala da face da praia, das

bermas e da evolução das barras submersas, quando se considere segmentos litorais com vários quilómetros, é perfeitamente viável.

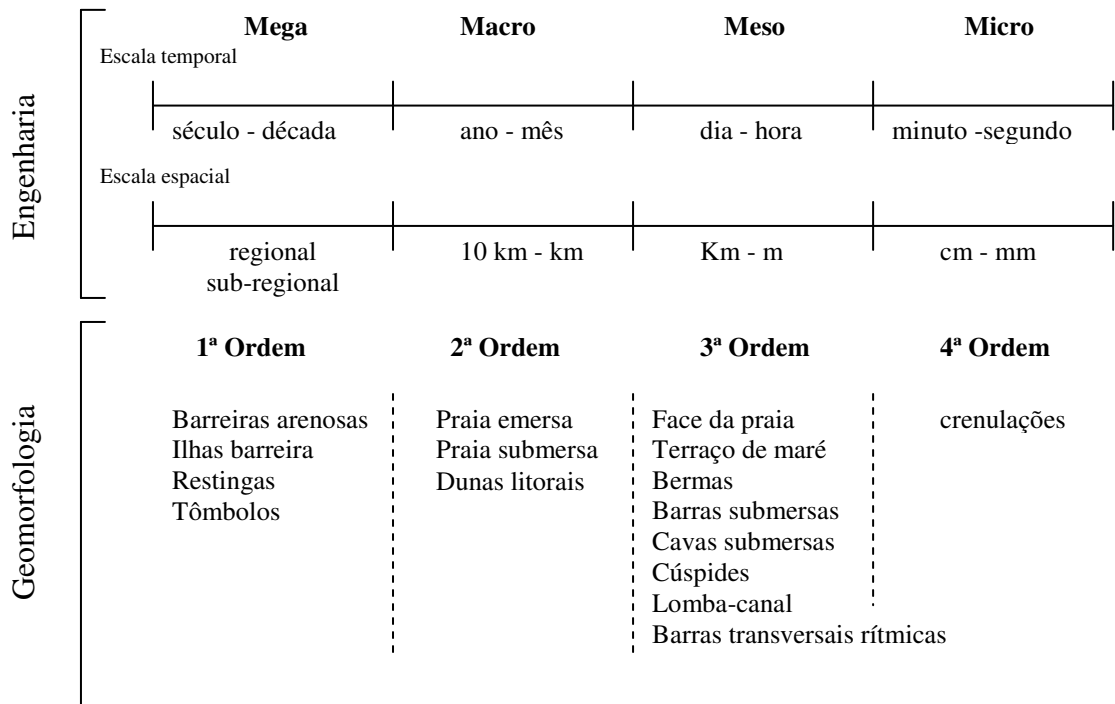


Figura 2.6: Relação entre as escalas temporais e espaciais de Larson e Kraus (1995) e as várias ordens das morfologias presentes no litoral.

Apresentam-se, de seguida, as definições adoptadas para as morfologias de primeira ordem.

- *Barreira arenosa* (= “*barrier*”). Corpo arenoso que se prolonga segundo uma direcção aproximadamente paralela à direcção geral da costa, apresentando-se separado desta por um corpo de água relativamente estreito. As barreiras arenosas formam-se durante períodos de maior disponibilidade sedimentar ao litoral.

- *Ilha barreira* (= “*barrier island*”). Barreira arenosa sem ligação a terra.

- *Restinga* (= “*spit*” ou “*barrier spit*”). Barreira arenosa ligada a terra por um dos seus extremos. A sua direcção de crescimento corresponde à direcção da deriva litoral e constitui, frequentemente, um prolongamento, nos estuários, de praias arenosas que existem ao longo do litoral. A sua parte terminal assume formas recortadas, com forte mobilidade, devidas à interacção entre as condições de agitação, de maré e do caudal fluvial.

• *Tômbolo* (= “*tombolo*”). Corpo arenoso que liga um ilhéu à terra. Um tômbolo pode ser formado em consequência de uma artificialização do meio, como seja o caso da construção de uma obra de defesa costeira destacada. A sua formação está relacionada com processos de perda de energia por parte das correntes litorais que transportam sedimentos. Nos estádios iniciais forma-se uma praia em ponta cuja evolução origina o tômbolo.

Relativamente às morfologias de segunda ordem foram definidos, anteriormente, os termos e expressões correspondentes (ver item 2.1 deste capítulo). Para a terceira ordem apresenta-se, na Tabela 2.1, um glossário das morfologias que nela se integram e respectivos processos que lhes dão origem.

Tabela 2.1: Glossário de exemplos de morfologias de terceira ordem e respectivos processos que lhes dão origem (adaptado de Finkl, 2004).

Morfologias	Processos diabáticos	Processos parabáticos
Face da praia	X	
Terraço de maré	X	
Berma	X	
Cúspides		X
Lomba-canal	X	X
Crista da berma	X	
Barras submersas	X	
Cavas submersas	X	

3. Conceito de equilíbrio do litoral

O litoral é um meio altamente dinâmico, no qual se estabelecem inúmeras relações entre a litosfera e a hidrosfera. Destacam-se as relacionadas com os processos físicos que actuam no litoral e que são condicionados por diversas variáveis, entre as quais a agitação marítima, as áreas fonte de sedimentos e o transporte sedimentar litoral. Tendo em conta a multiplicidade de variáveis que contribuem para essa dinâmica, torna-se importante definir o conceito de equilíbrio do litoral para uma dada escala temporal.

Em termos de escala temporal, no que respeita às morfologias presentes no litoral e conforme referido anteriormente, podem considerar-se desde a micro-escala, que contempla variações de segundos ou minutos, até à escala dos séculos ou dos milhares e milhões de anos.

Do ponto de vista oceanográfico pode definir-se uma grande variabilidade no nível médio das águas do mar, qualquer que seja a escala temporal considerada. Essa variabilidade é devida, entre outros factores, às marés, à agitação marítima, às correntes e à elevação secular do nível médio do mar.

Também do ponto de vista das fontes sedimentares ocorre uma grande variabilidade na capacidade de mobilização de sedimentos a partir das bacias hidrográficas dos rios que drenam para o litoral. Essa variabilidade pode também ser definida para todas as escalas temporais que se considere.

Os impactes das variáveis acima aludidas no comportamento do litoral não são, necessariamente, evidentes, quando se consideram apenas as escalas temporais que contemplam variações sazonais ou anuais. Esses impactes fazem-se notar, frequentemente, por intermédio de impulsos que moldam a resposta do litoral.

O conceito de equilíbrio do litoral deverá estar associado a um limiar entre o comportamento regressivo do nível do mar, em que há uma tendência de avanço da linha de costa, e o comportamento transgressivo do nível do mar, ao qual corresponde uma tendência de recuo da linha de costa.

Ainda são escassas as referências bibliográficas relativas ao conceito de equilíbrio do litoral, tendo a maior parte dos trabalhos sido dedicados a baías (Silvester e Hsu, 1997; Sweers, 1999; Short e Masselink, 1999). Para estes casos, em particular, estes autores definem dois tipos de equilíbrio, o estático e o dinâmico.

Tem sido considerado como equilíbrio *estático*, aquele que é atingido quando não existem fontes sedimentares exteriores e a praia sofreu erosão até um limite em que a deriva litoral é reduzida para zero. Estes casos estão, normalmente, associados a uma direcção das ondas dominantes, normal à linha de costa. Por outro lado, tem sido considerado equilíbrio *dinâmico*, aquele que ocorre sempre que um fornecimento sedimentar, de fontes exteriores à baía, proporciona a sua alimentação longilitoral por intermédio de correntes de deriva.

Contudo, tendo em conta a multiplicidade de factores que afectam o litoral e as múltiplas escalas de observação que podem ser estabelecidas, alguns autores consideram que os equilíbrios são sempre *não estáticos*, podendo ser de dois tipos (Andrade e Freitas, 2001): os *estáveis* e os *dinâmicos*.

Nos *equilíbrios estáveis*, os factores que contribuem para a evolução do litoral induzem uma variabilidade no sistema que se mantém dentro de limites definidos. A ocorrência de mecanismos mitigadores impede que sejam excedidos determinados limites. Pode citar-se, como exemplo de

equilíbrio estável num contexto de macro-escala temporal, a erosão de uma duna frontal durante um temporal e a sua recuperação, durante o Verão seguinte, à custa da regeneração do perfil de praia.

A adição de alguns factores analisáveis a uma escala temporal de ordem superior, como seja a subida do nível do mar, induzem, todavia, uma mudança no comportamento do litoral, que se manifesta numa redução da capacidade de colocar em acção mecanismos mitigadores. Considera-se assim como *equilíbrio dinâmico*, aquele em que os mecanismos mitigadores continuam a actuar, mantendo, no contexto da micro-escala ou meso-escala, a evolução dentro de limites bem definidos, mas induzindo uma tendência bem definida de macro-escala e mega-escala. Pode citar-se, como exemplo, a translacção progressiva do perfil de praia para o lado do continente, ao longo do tempo, em resposta a uma subida do nível do mar. A variabilidade morfológica e volumétrica diária ou mensal da praia emersa continua a obedecer a um padrão regular, dentro de determinados limites, apesar dessa translacção. Contudo, a manutenção de um cordão dunar frontal, nestas condições, implica a existência de uma disponibilidade sedimentar suficiente, de fontes exteriores à baía ou ao segmento litoral que se considere, para permitir a migração desse cordão dunar para o interior.

O conceito de equilíbrio dinâmico exposto pressupõe sempre uma disponibilidade sedimentar suficiente no sistema que se considere em estudo, a qual depende das fontes sedimentares exteriores, nomeadamente das redes hidrográficas dos rios que drenam para o litoral. Quando o contributo dessas fontes se encontra abaixo de um dado limiar, o sistema reage, recorrendo a outras fontes, como sejam a erosão da praia emersa e dos cordões dunares existentes ao longo do litoral. A utilização destes recursos como fonte sedimentar para alimentar a deriva litoral parece ultrapassar o âmbito do conceito de equilíbrio dinâmico, pelo que se sugere o conceito de *desequilíbrio*, como aquele que melhor traduz este comportamento.

4. Caracterização do litoral

Os estudos que têm vindo a ser realizados consideram a existência de diversas variáveis responsáveis pelas características assumidas pelas praias. Short (1999c) considera cinco variáveis principais: a amplitude de maré, a altura da onda, o período da onda, a dimensão do grão e o declive da praia.

A literatura científica conta com vários índices que permitem, com base nas variáveis acima definidas, prever e descrever o comportamento das praias emersa e submersa. Além dessas variáveis, Short e Masselink (1999) consideram outras, relacionadas com as variações geomorfológicas longilitorais. A presença de promontórios e baías condiciona, localmente, as

condições hidrodinâmicas e os equilíbrios existentes. Por conseguinte, o estudo das relações geométricas existentes entre a configuração litoral e a direcção de propagação da onda complementa a análise da praia numa perspectiva tridimensional.

Apresentam-se, de seguida, com base nas relações entre as variáveis referidas anteriormente, os vários índices que têm sido propostos, na literatura, para caracterização e classificação do litoral e das praias nele presentes. Podem considerar-se, neste contexto, as classificações relativas à exposição de um determinado litoral à agitação marítima, as classificações relativas às condições hidrodinâmicas que estão presentes num determinado segmento litoral e ainda e as classificações relativas ao estado morfodinâmico de uma determinada praia.

4.1 Exposição à agitação marítima

No que concerne à exposição à agitação podem considerar-se três grupos de litorais: expostos, semi - expostos e protegidos. Normalmente, a separação entre estes domínios é efectuada com base nas relações angulares entre a direcção dominante das cristas das ondas e a direcção definida pelo alinhamento de promontórios (Silvester e Hsu, 1997 *in* Klein e Menezes, 2001).

As relações geométricas contemplam o índice de recorte (r) da linha litoral (b), relativamente à distância longilitoral entre promontórios existentes (R_0) (Figura 2.7):

$$r = b/R_0. \quad (2.4)$$

Esta relação geométrica é uma função da obliquidade da direcção dominante das cristas das ondas, relativamente ao alinhamento entre promontórios (β) (Silvester e Hsu, 1997 *in* Klein e Menezes, 2001).

Quanto maior a obliquidade da direcção dominante das cristas das ondas relativamente ao alinhamento entre promontórios, maior será o índice de recorte e menos exposta estará a praia relativamente à agitação.

Klein e Menezes (2001) consideram, com base na experiência de trabalhos desenvolvidos em praias do SE do Brasil, que as praias são expostas quando a obliquidade da crista das ondas é baixa ($\beta < 40^\circ$) e o índice de recorte tem valores baixos (0.28-0.39). Estes autores consideram, para praias semi – expostas, ângulos β entre 40° e 62° e um índice de recorte entre 0.37 e 0.49. Para praias protegidas são referidos valores de β superiores a 50° e um índice de recorte superior a 0.38. Neste último caso, as praias são apenas afectadas por ondas difractadas ou geradas por ventos locais.

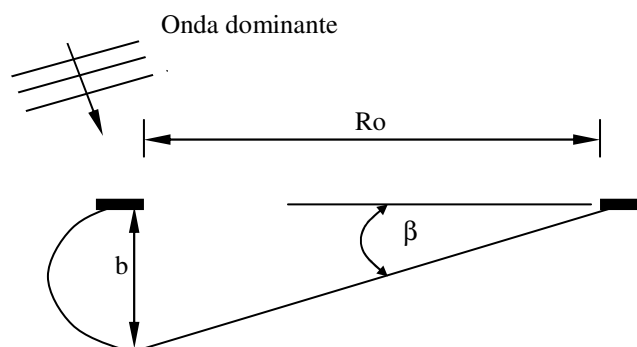


Figura 2.7: Elementos definidores das relações geométricas presentes em baías e promontórios. Adaptado de Short e Masselink (1999).

4.2 Domínio hidrodinâmico

No que diz respeito à hidrodinâmica, o estudo das relações entre a amplitude da maré e a onda foi, pela primeira vez, considerado por Davies (1964). Este autor, com base na amplitude da maré, considerou os domínios micro-mareal, com amplitude da maré inferior a 2 metros, meso – mareal, com amplitude da maré entre 2 e 4 metros, e macro-mareal, com amplitude da maré superior a 4 metros. Posteriormente, Davis e Hayes (1984) analisaram a influência relativa da maré e da ondulação na dinâmica das morfologias que ocorrem em litorais arenosos (ver cap. VII – 4.2).

Mais tarde, com base no conceito de amplitude relativa da maré anteriormente referido, foi estabelecido um índice de previsão, que permite considerar três intervalos (Masselink e Short, 1993): ondulação, misto e maré. Este índice, designado por Amplitude de Maré Relativa (*Relative Tide Range*) (Masselink e Short, 1993), é definido por (*RTR*):

$$RTR = TR/H \quad (2.5)$$

em que: TR = amplitude da maré média de águas vivas (m); H = altura da onda.

Relativamente à aplicação da fórmula, são consideradas, geralmente, as condições na rebentação, pelo que é utilizada a altura da onda na rebentação (H_b) (Short 2003). Relativamente aos intervalos de aplicação deste índice, consideram-se praias dominadas pela ondulação quando *RTR* é inferior a 3. As praias são dominadas por um regime misto maré/ondulação para valores mais elevados de *RTR* (entre 3 e 15) e são dominadas pela maré para valores *RTR* superiores a 15.

4.3 Estado morfodinâmico da praia

Com base em variáveis sedimentológicas e morfológicas e considerando ainda a altura da onda, têm sido estabelecidas classificações que relacionam as morfologias exibidas pelas praias e os processos hidrodinâmicos nelas actantes. Wright e Short (1984) estabeleceram uma classificação morfodinâmica que se revelou de aplicação universal para praias dominadas pela ondulação, do tipo micro - mareal.

Essa classificação considera três grupos principais de praias: dissipativas, intermédias e reflectivas, considerando a aplicação de índices anteriormente propostos na literatura.

Um desses índices designa-se por Velocidade de Sedimentação Adimensional (*Dimensionless fall velocity*) ou *Índice de Dean* (Gourlay, 1968) e é definido por (Ω):

$$\Omega = H_o/W_s T \quad (2.6)$$

em que: H_o = altura da onda ao largo (m); T = período da onda (s); W_s = velocidade de sedimentação (ms^{-1}).

Relativamente à velocidade de sedimentação (W_s), esta pode ser obtida por intermédio de ábacos ou por formulação matemática. Existem ábacos que permitem a determinação da velocidade de sedimentação a partir da dimensão do sedimento para condições específicas de densidade das partículas e da água (Teixeira, 1994). Em alternativa, pode usar-se a formulação matemática de Gibbs *et al.*, (1971):

$$W_s = (-3\mu + [9\mu^2 + gr^2 + \rho(\rho_s - \rho)(0.015476 + 0.19841r)]^{0.5}) / (\rho(0.011607 + 0.14881r)) \quad (2.7)$$

em que: ρ = densidade da água do mar ($1.025 \cdot 10^3 kgm^{-3}$ a $15^\circ C$), ρ_s = densidade do sedimento ($2.65 \cdot 10^3 kgm^{-3}$ para partículas de quartzo), μ = viscosidade ($10^{-3} Nsm^{-2}$); g = aceleração da gravidade ($9.8 ms^{-2}$); r = raio do sedimento.

Gourlay (1968) desenvolveu este índice para condições de laboratório, tendo verificado que, para $\Omega < 1$, se desenvolve um perfil com pendor acentuado e, para $\Omega > 1$, ocorre erosão com formação de um terraço na base do perfil.

Wright e Short (1984) adaptaram este índice ao estudo de praias naturais, tendo substituído H_o por H_b . Estes autores consideram os seguintes intervalos: $\Omega < 1$ para praias reflectivas, $\Omega > 6$ para praias dissipativas e $1 < \Omega < 6$ para praias intermédias. Este índice tem sido usado para prever o estado morfodinâmico de uma praia.

Wright e Short (1984) consideraram ainda um outro índice, o *Surf Scaling index* (ϵ), definido, anteriormente, por Guza and Inman (1975):

$$\epsilon = 2 \pi^2 H_b / g T^2 \tan^2 \beta \quad (2.8)$$

em que: H_b = altura da onda na rebentação (m); T = período da onda (s); β = valor angular da tangente ao declive ($^\circ$); g = aceleração da gravidade (9.8 m/s).

Guza and Inman (1975) utilizaram este índice para caracterizar a rebentação. Wright e Short (1984) adaptaram este índice para descrever o comportamento morfodinâmico de praias, tendo substituído H_b por H_o . Estes autores consideram os seguintes intervalos: $\epsilon < 2.5$ para praias reflectivas, $\epsilon > 20$ para praias dissipativas e $2.5 < \epsilon < 20$ para praias intermédias. Este índice tem sido usado como um descritor do comportamento da praia.

Como já referido, a classificação morfodinâmica do estado da praia com base nestes índices é considerada de aplicação universal para praias dominadas pela ondulação do tipo micro - mareal. Por conseguinte, o efeito das variações diárias do nível do mar associadas às marés não é incluído.

Seguindo as ideias de Wright e Short (1984) surgiram, mais tarde, alguns trabalhos que propuseram um modelo morfodinâmico que considera o efeito das marés, com o objectivo de também caracterizar praias meso e macro-mareais (Short, 1991; Masselink e Short, 1993).

Esse modelo é definido como uma função de dois parâmetros adimensionais, nomeadamente a velocidade de sedimentação adimensional (Ω) (Wright e Short, 1984), que permite discriminar diferentes estados da praia, e o *Relative Tide Range* (RTR) (Masselink e Short, 1993), que permite discriminar a razão entre a amplitude da maré e a altura da onda na rebentação (Figura 2.8).

Masselink e Turner (1999) referem que, para valores de $RTR < 3$, os três intervalos, reflectivo, intermédio e dissipativo, se caracterizam de forma similar, quer se considerem praias dominadas pela ondulação do tipo micro-mareal, quer praias dominadas pela ondulação do tipo meso-mareal. As maiores diferenças estarão relacionadas com a maior amplitude da maré que, alternadamente, expõe ou submerge a baixa praia, induzindo uma translacção de maior amplitude no perfil energético transversal da praia. Por conseguinte, as zonas de rebentação, espalho e espraio, em virtude dessa translacção pelo efeito da maré, podem afectar, alternadamente, a zona intertidal (Masselink, 1993 in Masselink e Hegge, 1995).

Do ponto de vista morfológico, as praias com $RTR < 3$ e $\Omega < 2$ apresentam características reflectivas que se caracterizam pela presença de um declive de face de praia acentuado. Quando Ω

> 5, as praias apresentam um declive de face de praia extremamente suave. Para $2 < \Omega < 5$, as praias apresentam barras submersas bem desenvolvidas e uma face de praia de declive acentuado. Estão também presentes cúspides.

A utilização de Ω pode ainda ser efectuada, de acordo com Masselink e Short (1993), nas praias em que está presente um regime misto maré-ondulação ($3 < RTR < 15$), ou para praias em que domina a maré ($RTR > 15$).

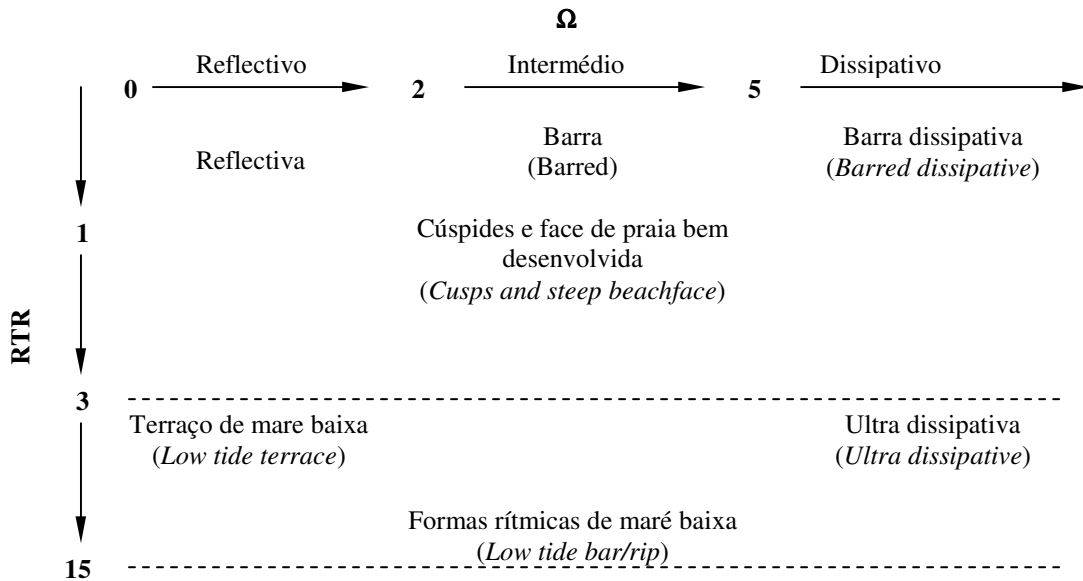


Figura 2.8: Classificação adoptada para praias do tipo meso e macro-mareal, com base na relação entre os índices RTR e Ω (adaptado de Masselink e Turner, 1999).

Existem outros índices que permitem uma caracterização complementar da praia. É o caso do índice definido por Battjes (1974), o *Surf Similarity index* (ξ_b):

$$\xi_b = \tan \beta (H_b/L_o)^{0.5} \tag{2.9}$$

em que: H_b = altura da onda na rebentação (m); L_o = comprimento de onda ao largo (m); β = valor angular da tangente ao declive ($^\circ$).

Este índice tem sido utilizado para caracterizar o tipo de rebentação. Battjes (1974) define os intervalos: $\xi_b > 2.0$ para rebentação ascendente (*surging*), característica em praias reflectivas, $\xi_b < 0.4$ para rebentação progressiva (*spilling*), característica em praias dissipativas e $0.4 < \xi_b < 2.0$ para rebentação mergulhante (*plunging*), ou frontal (*collapsing*), característica de praias intermédias.

4.4 Vulnerabilidade morfológica

Ferreira (1998) desenvolveu dois índices com o objectivo de avaliar a vulnerabilidade morfológica (inter - anual a sazonal) em segmentos de praia emersa com vários quilómetros de extensão.

O conceito subjacente ao estabelecimento destes índices é a variabilidade anual da praia, a qual é um indicador da sua evolução futura. A sua aplicação pressupõe que a morfologia da praia emersa se mantém relativamente constante após um ciclo anual, independentemente de existir, ou não, recuo efectivo do cordão dunar frontal.

O índice de vulnerabilidade morfológica (I_V) definido por Ferreira (1998) é dado pela fórmula:

$$I_V = (V_{\max} - V_{\min})/V_{\text{med}} \quad (2.10)$$

onde V_{\max} e V_{\min} são os volumes máximos e mínimos obtidos num determinado período de estudo e V_{med} é o volume médio obtido para os levantamentos efectuados nesse período.

Um valor elevado do índice indica uma variação elevada do volume da praia (um local dinâmico) e/ou volumes médios genericamente baixos, sendo, ambos os casos, indicativos de praias vulneráveis à erosão. De acordo com Ferreira (1998), este índice de vulnerabilidade morfológica possui um grande potencial de aplicação para a caracterização da evolução litoral de médio a longo termo.

Com base nas relações observadas entre o recuo das dunas frontais e os resultados obtidos pela aplicação do índice em praias da costa ocidental Portuguesa, nomeadamente entre Espinho e o Cabo Mondego, Ferreira (1998) estabeleceu os limites empíricos de comportamento robusto ($I_V < 0.35$), de comportamento frágil ($0.35 < I_V < 0.9$) e de comportamento extremamente frágil ($I_V > 0.9$).

Ferreira (1998) define também o índice do momento (I_M), o qual tem como objectivo avaliar a vulnerabilidade ou robustez de uma praia num dado instante:

$$I_M = (V_{\max} - V_{\min})/ V_M \quad (2.11)$$

onde V_M é o volume da praia obtido num determinado levantamento, relativamente aos volumes máximos (V_{\max}) e mínimos (V_{\min}) obtidos num determinado período em estudo.

Ao contrário do índice de vulnerabilidade, que está vocacionado para uma caracterização da evolução de médio a longo termo, este índice permite saber o estado da praia num determinado momento. Os limites estabelecidos são idênticos aos do caso anterior.

5. Súmula

O estudo de litorais arenosos implica que determinadas questões de base tenham de ser analisadas com especial atenção. Uma dessas questões é a relativa ao sistema de nomenclatura e respectiva terminologia, no que concerne às morfologias presentes.

A ampla proliferação terminológica verificada na componente transversal do perfil de praia, no que diz respeito à existência de diversos termos com significado comum, justifica-se, em parte, pelas singularidades que a praia pode apresentar em determinadas situações. Contudo, na maior parte dos casos tal não se justifica. No caso concreto português seria desejável que, num futuro próximo, fosse feito um esforço no sentido de uma maior uniformização do léxico.

A apresentação de um sistema de nomenclatura e respectiva terminologia para um perfil de praia adaptável aos segmentos costeiros em estudo neste trabalho, embora não introduza grandes novidades relativamente ao que já tem sido publicado, ajuda a clarificar ideias sobre o significado físico de cada termo. Em relação a este aspecto destaca-se:

- A necessidade de fazer uma clara distinção entre os conceitos de linha de costa e de linha de praia;
- A utilidade da linha de costa, quando está presente um cordão dunar frontal como um indicador da dinâmica do meio, susceptível de ser quantificado por uma determinada metodologia de monitorização, na medida em que materializa a tendência evolutiva de um determinado segmento costeiro, em resposta a eventos erosivos (temporais), ou de acreção (formação de uma duna embrionária).
- A importância de estabelecer uma hierarquia das morfologias litorais e respectivas escalas temporais de estudo, de forma a poder situar um trabalho de investigação no contexto espacial e temporal adequado, e poder também identificar as compatibilidades e incompatibilidades, entre as várias escalas, em estudos de morfodinâmica.

Os conceitos apresentados para equilíbrio não estático, quer sejam estáveis, quer dinâmicos, bem como de desequilíbrio do litoral, em associação às várias escalas temporais aqui definidas, parecem ser aqueles que melhor respondem à necessidade de definir as relações entre os diversos agentes que moldam o litoral.

Os índices presentes na literatura para caracterização do litoral e, mais concretamente, das praias, contribuem para o conhecimento da resposta do litoral às condições hidrodinâmicas do meio. A sua aplicação pressupõe, contudo, a realização de programas de monitorização de praias que permitam a obtenção de um conjunto de dados representativos das zonas estudadas.

CAPÍTULO III

MONITORIZAÇÃO DAS MORFOLOGIAS PRESENTES EM LITORAIS ARENOSOS: TÉCNICAS E METODOLOGIAS

*Existem dois tipos de verdades:
verdades de razão e verdades de facto*

Gottfried Wilhelm Leibniz

III. MONITORIZAÇÃO DAS MORFOLOGIAS PRESENTES EM LITORAIS ARENOSOS: TÉCNICAS E METODOLOGIAS

1. Introdução

Os litorais arenosos apresentam, normalmente, uma dinâmica elevada que se manifesta em alterações frequentes nas morfologias presentes em resposta às condições energéticas do meio. O surgimento de novas técnicas e o desenvolvimento de novas metodologias de trabalho têm permitido uma monitorização cada vez mais eficiente das morfologias litorais e da sua dinâmica.

Apresentam-se algumas técnicas e metodologias utilizadas para a obtenção de informação relativa ao posicionamento de elementos da superfície do terreno. É efectuada uma referência inicial à cartografia antiga como fonte de informação para estudos da evolução morfológica de corpos arenosos. Posteriormente, são referidas as técnicas de geodesia clássica e espacial utilizadas na monitorização do litoral, bem como as suas potencialidades e limitações na obtenção de informação planimétrica e altimétrica.

Finalmente, são introduzidas as técnicas de fotogrametria e de detecção remota, sendo referido o seu contributo para a criação de modelos de elevação do terreno, quando apoiadas por técnicas de posicionamento geodésico. São ainda apresentados os níveis de precisão obtidos por diversos sensores instalados a bordo de plataformas aéreas ou espaciais e as relações de custo/benefício dos vários sistemas.

2. Representações da superfície da Terra – considerações gerais

Diversas superfícies de referência podem ser consideradas para a representação da superfície da Terra. Apresentam-se alguns conceitos relativos às superfícies de referência com base nos trabalhos de Casaca *et al.* (2000), Gaspar (2000) e Matos (2001).

Uma das superfícies de referência para a representação da Terra é o geóide que corresponde, em termos gerais, a uma superfície equipotencial aproximadamente coincidente com o nível médio do mar. Embora o geóide constitua a melhor aproximação à superfície real, apresenta uma complexidade, incompatível com os requisitos de simplicidade que uma superfície de referência deve assegurar.

Tendo em conta a necessidade de definir uma superfície mais simples, foi estabelecido o elipsóide de referência. O elipsóide é um modelo de definição matemática mais fácil, sendo constituído por um conjunto de eixos de dimensões e direcções conhecidas.

A definição da dimensão e posição do elipsóide relativamente ao geóide permite definir um *datum* geodésico. Um elipsóide pode ser posicionado de forma a ajustar-se melhor a uma pequena

zona do geóide ou a todo o geóide, tomando os respectivos *data* as designações de *datum* local ou *datum* global.

Relativamente a um dado *datum* geodésico, podem estabelecer-se coordenadas geodésicas, nomeadamente a latitude, definida relativamente ao plano equatorial do elipsóide, a longitude, definida relativamente a um meridiano de referência, e a altitude elipsoidal, medida segundo a normal ao elipsóide.

As coordenadas geodésicas podem ser transformadas em coordenadas planas por intermédio de um sistema de projecção cartográfica, ao qual se associa um sistema bidimensional de coordenadas cartesianas. Em associação às coordenadas planas utilizam-se, normalmente, as altitudes ortométricas, medidas segundo a vertical ao geóide.

A definição de um *datum* geodésico tem implicitamente associado o conceito de posicionamento. A determinação da posição de pontos, ou o cálculo de áreas sobre a superfície da Terra, faz-se por aplicação de determinadas técnicas de geodesia, usando como referências o geóide e os modelos de elipsóide que forem adoptados.

Com base em técnicas de geodesia clássica e, mais recentemente, algumas de geodesia espacial, como o Sistema de Posicionamento Global (= “*Global Positioning System*” – *GPS*), é possível proceder à representação cartográfica de pontos situados na superfície terrestre ou na sua vizinhança. Essa informação, de acordo com a forma como for estruturada no espaço, pode contribuir para a representação da superfície terrestre através da criação de modelos de terreno. Além das técnicas de posicionamento, existem outras que contribuem, quando apoiadas por técnicas de posicionamento geodésico, para a geração de modelos de terreno. São as técnicas de observação, nomeadamente de fotogrametria e de detecção remota.

A criação de modelos representativos da superfície terrestre a partir de técnicas de fotogrametria, de detecção remota e/ou de posicionamento geodésico não é um processo directo. São necessários diversos passos, desde a recolha da informação de base até à representação do modelo final, que se pretende o mais aproximado possível da superfície real que se quer representar.

Diversos tipos de modelos costumam ser considerados, destacando-se os Modelos Digitais ou Numéricos do Terreno (= “*Digital Terrain Model*” – *DTM*), os Modelos de Elevação do Terreno (= “*Digital Elevation Model*” – *DEM*), os Modelos Digitais de Superfície (= “*Digital Surface Model*” – *DSM*), entre outros.

Frequentemente, entre o processo de aquisição da informação e a geração do modelo final torna-se necessário o estabelecimento de interpolações.

A geração de um *DEM* e a sua integração em Sistemas de Informação Geográfica (= “*Geographical Information Systems*” – *GIS*) permite, actualmente, analisar em conjunto informação gerada por diversas técnicas, tais como as de geodesia clássica e espacial, as de fotogrametria, ou ainda as de detecção remota. Permitem ainda a comparação de informação recente com informação mais antiga. A proliferação de um número crescente de técnicas que permitem a geração de *DEM* obriga, contudo, a que sejam colocadas questões relativas aos níveis de precisão dos modelos gerados a partir de cada uma das técnicas.

2.1 Cartografia antiga

Existe cartografia antiga, de elevado valor, representativa da geomorfologia litoral. Estas representações são úteis, muito embora devam pesar os devidos cuidados em relação às mais antigas, no que diz respeito à proveniência, pormenor e qualidade (Gorman *et al.*, 1998). Em geral, apenas os aspectos referentes à planimetria são considerados, uma vez que o objectivo está directamente relacionado com a extracção de informação relativa à posição da linha de costa, da linha de praia ou da morfologia de corpos arenosos. Na Figura 3.1 está representado o litoral entre o rio Ave e a laguna de Aveiro, incluindo o rio Douro e o seu estuário. De destacar a restinga no Sul do estuário do rio Douro.

A utilização de cartografia antiga para estudos de variações induzidas à linha de costa exige o conhecimento dos critérios que terão sido adoptados para a sua definição. Em muitas situações é utilizada, como referência, não a linha de costa, mas sim a linha de praia, sendo frequentemente desconhecido se o levantamento de base foi efectuado em condições de preia-mar ou baixa-mar.

A época do ano em que se realiza o trabalho de campo pode influenciar o resultado final, quando se considera a linha de praia, uma vez que o perfil de uma praia terá uma largura maior no Verão do que no Inverno. Estas incertezas podem criar algumas dificuldades na comparação de cartografia antiga com outras fontes de informação, nomeadamente a fotografia aérea mais recente (Gorman *et al.*, 1998).

Quando se considera a cartografia antiga, a escala, a projecção e o sistema de coordenadas dos mapas que se pretende estudar são aspectos de primordial importância. Anders e Byrnes (1991) descrevem formas de ultrapassar diversas questões relacionadas com a utilização de cartografia antiga, nomeadamente as concernentes a diversos tipos de escala e sistemas de coordenadas.

Um aspecto final, muitas vezes descurado, prende-se com deformações do próprio mapa ao longo dos anos. Esse é um problema particularmente difícil de corrigir e que pode inviabilizar o seu estudo. O estudo de mapas antigos não exige meios demasiado dispendiosos, permitindo obter, no final, informação de elevado valor a baixo custo (Gorman *et al.*, 1998).

estudar segmentos de praia emersa com vários quilómetros de extensão. Nestes casos, e em virtude da dificuldade em monitorizar toda a área de estudo, seleccionam-se locais regularmente espaçados, que se assumem como representativos de toda a área. O objectivo está normalmente associado à realização de estudos morfodinâmicos de meso e macro-escalas. A metodologia de monitorização consiste, normalmente, na realização de perfis transversais à linha de costa. Na Figura 3.2 *b* está representado o plano segundo o qual são realizados os perfis transversais.

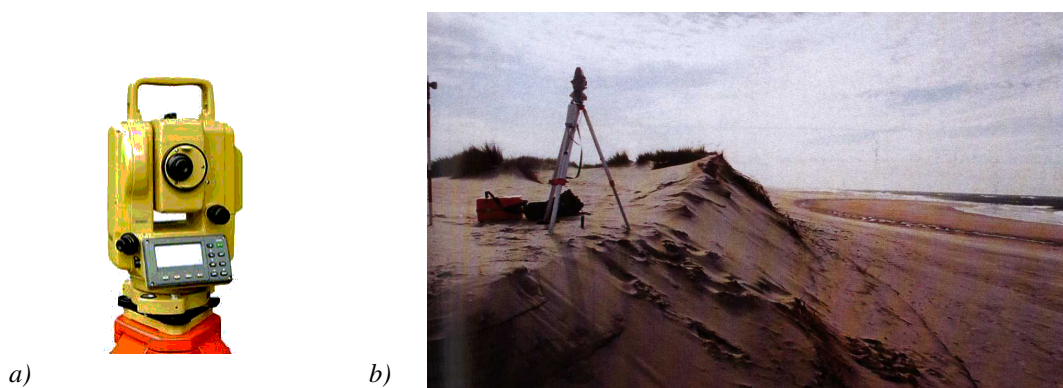


Figura 3.2: *a*) Estação total. *b*) Estação total na crista de uma duna - praias do litoral da laguna de Aveiro.

O espaçamento adoptado entre perfis é, normalmente, seleccionado tendo em conta a extensão da zona em estudo, podendo variar entre os metros e as centenas de metros. Os locais de monitorização são materializados, no terreno, por marcas de referência, as quais fornecem indicação para a realização dos perfis e para a reocupação da estação em campanhas posteriores. A marca pode, por exemplo, ser instalada numa crista de duna, constituindo a referência para colocar o instrumento em estação e proceder às observações. Frequentemente, utiliza-se uma segunda marca em local menos exposto, a qual funciona como testemunha, para o caso da primeira ser destruída por acção de temporais ou de vandalismo.

O levantamento de campo integra duas fases. A primeira fase consiste na referenciação das marcas aos *data* nacionais, no que respeita à planimetria e à altimetria. Só assim podem ser efectuadas comparações entre perfis realizados em locais diferentes. Essa referenciação, contudo, nem sempre é fácil quando realizada com base em técnicas clássicas, devido à distância que pode separar as marcas instaladas na praia e a rede geodésica de apoio. Por esse motivo recorre-se, actualmente, ao seu posicionamento usando técnicas espaciais (ver item 2.2.2). A segunda fase consiste no levantamento dos perfis. Habitualmente, os perfis efectuam-se em condições de baixa-mar de maré viva, para que sejam prolongados, o mais possível, para a zona situada entre a baixa praia e a praia submersa.

Diversas teses de mestrado e doutoramento sobre a temática da evolução da linha de costa e caracterização morfodinâmica de praias do litoral português, têm sido realizadas com base em dados de campo obtidos por intermédio de técnicas clássicas. No caso particular do litoral da laguna de Aveiro são de referir os trabalhos de Ferreira (1993, 1998), Boto (1997), Pereira (2000) e Reis (2000).

2.2.2 Geodesia espacial

A era da geodesia espacial surgiu com o lançamento dos primeiros satélites artificiais, com objectivos essencialmente geodésicos, nomeadamente o satélite passivo *ECHO1*, colocado em órbita em 1960, e o *ECHO2*, colocado em órbita em 1964. Os objectivos destes lançamentos prendiam-se com a materialização de uma triangulação espacial observável com métodos fotogramétricos.

Em 1961, foi lançado o primeiro satélite do sistema “*Navy Navigation Satellite System*”- (*NNSS*), também conhecido por sistema *TRANSIT*. Os sinais rádio emitidos pelos satélites *NAVSAT* desse sistema permitiram determinar, pela primeira vez, as coordenadas tridimensionais geocêntricas de pontos sobre a superfície terrestre. O sistema tornou-se operacional em 1964 e foi inicializada, em 1967, a sua comercialização com objectivos civis.

No início da década de 70, o Departamento de Defesa dos Estados Unidos começou a desenvolver um novo sistema que visava ultrapassar as limitações do sistema *NNSS*. As duas maiores limitações desse sistema eram a sua deficiente cobertura espacial e a precisão, relativamente baixa, que proporcionava em navegação. Surgiu assim o *GPS*, cujo plano inicial, aprovado em 1973, pretendia a determinação rápida e precisa de coordenadas (posição e velocidade), num referencial geocêntrico tridimensional que pudesse ser continuamente utilizado em qualquer parte da superfície terrestre e em quaisquer condições atmosféricas. Na Figura 3.3 representa-se, esquematicamente, a constelação *GPS*.

Além do *GPS*, a geodesia espacial compreende a utilização de diversos outros sistemas de posicionamento geodésico. No âmbito deste trabalho será feita referência apenas ao *GPS*, por ser uma técnica que tem vindo a conquistar um lugar de destaque em posicionamento, em virtude das potencialidades que apresenta ao nível de precisão, rapidez e eficiência em inúmeras aplicações.

Existe, actualmente, um grande volume de publicações sobre o sistema *GPS*, nas quais se descrevem, de forma minuciosa, entre outros aspectos, os vários componentes do sistema, os sistemas de referência usados, o tipo de sinais emitidos pelos satélites, o processo de aquisição pelos receptores, bem como os aspectos relacionados com os diferentes modos de utilização, processamento e transformação dos dados para sistemas de referência locais.

Em virtude da grande diversidade de aspectos que envolvem o sistema *GPS*, não é possível, no âmbito deste trabalho, fazer uma descrição detalhada dos mesmos. No **Apêndice 1** são efectuadas apenas algumas considerações gerais sobre os aspectos acima referidos, remetendo o leitor para a bibliografia da especialidade (por ex.: Leick, 1990; Seeber, 1993; Parkinson e Spilker, 1996; Hofmann-Wellenhof *et al.*, 1998; Dana, 1999).

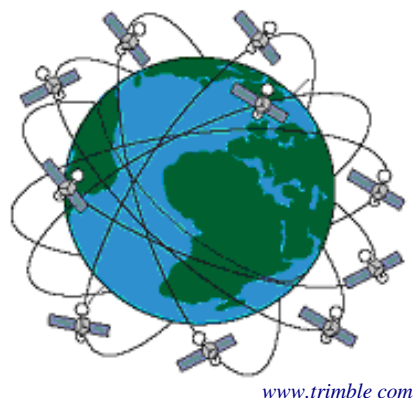


Figura 3.3: Representação esquemática da constelação GPS.

Relativamente às aplicações do *GPS* enquanto técnica de geodesia espacial útil ao estudo do litoral, pode-se considerar o início da década de 90 do século passado como aquela em que começaram a surgir os primeiros trabalhos (Morton *et al.*, 1992; Byrnes *et al.*, 1994; O'Regan, 1996; Gorman *et al.*, 1998; Huang *et al.*, 2002).

O *GPS* tem sido utilizado no apoio a técnicas aerofotogramétricas e de detecção remota, no que diz respeito ao posicionamento de câmaras fotográficas (Livingstone *et al.*, 1999), ou de sensores *laser* (= “light amplification by stimulated emission of radiation”) instalados a bordo de plataformas aerotransportadas (Huising e Gomes Pereira., 1998; Wehr e Lohr, 1999) (ver ponto 2.3 deste capítulo).

O *GPS* tem sido aplicado para georeferenciação de fotografia aérea ou de imagens de satélite, através do estabelecimento de pontos de controlo no terreno (Byrnes *et al.*, 1994). Frequentemente, o *GPS* tem também servido de apoio às técnicas clássicas. Nestes casos, e em virtude das zonas de estudo ficarem, muitas vezes, afastadas da rede geodésica, este sistema tem sido usado para posicionamento das estacas de apoio à realização de perfis de praia. A utilização de *GPS* em tempo real tem permitido a recuperação da posição de estacas perdidas ou vandalizadas (Gorman *et al.*, 1998).

Um dos primeiros trabalhos sobre a utilização de *GPS* para estudo de praias refere-se à comparação do desempenho desta técnica relativamente às técnicas clássicas (Morton *et al.*, 1992). Este autor conclui das vantagens do *GPS* a vários níveis, nomeadamente pela rapidez no processo

de aquisição de dados e pela facilidade de criação de *GIS* a partir da informação recolhida. Estas potencialidades contrastam com as possibilidades oferecidas pelos métodos clássicos, por intermédio dos quais se torna pouco prático obter uma densidade de dados suficiente que permita estabelecer *DEM* em extensas secções de praia (Welch e Remillard, 1992).

A rapidez no processo de aquisição de dados nem sempre consegue, contudo, aliar-se a níveis de precisão exigíveis para estudos de natureza morfodinâmica (Huang *et al.*, 2002). Estes autores comparam a precisão do sistema *GPS* adaptado a um veículo todo-o-terreno com a precisão obtida quando utilizado por um operador que transporta a antena com um bastão, tendo concluído pela maior produtividade do veículo, embora com níveis de precisão inferiores aos obtidos pelo sistema transportado pelo observador. A menor precisão do sistema montado no veículo resulta, normalmente, das variações de atitude que este sofre em função da inclinação do terreno e também de eventuais oscilações da estrutura onde a antena se encontra montada.

Recentemente, começaram a surgir trabalhos nacionais sobre aplicações *DGPS* ao estudo de praias. De salientar os trabalhos relativos à caracterização da variação da linha de costa (Baptista *et al.*, 2000a) e à caracterização da morfologia das dunas frontais e praia emersa, com base em *DEM* criados a partir de medidas *DGPS* em modo cinemático (Baptista *et al.*, 2000 b). O estabelecimento de *DEM* para o estudo de sistemas dunares tem sido igualmente efectuado com recurso a *DGPS* estático, como é o caso do estudo do sistema Guincho-Oitavos, na região de Cascais (Rebello *et al.*, 2002; Rebello 2004). Em Baptista *et al.* (2002) são referidos desenvolvimentos metodológicos no processo de aquisição de dados *DGPS* cinemático com recurso a um sistema multi-antena instalado num veículo moto-quatro.

Diversas aplicações têm sido efectuadas, mais recentemente, com o objectivo de quantificar variações morfológicas e volumétricas de restingas, como é o caso da restinga do Rio Douro (Baptista *et al.*, 2003; Jesus, 2003), do padrão de erosão/acreção adjacente a obras de defesa costeira, como é o caso do quebramar da Aguda (Baptista *et al.*, 2004 a) ou, ainda, no sentido de contribuir para a caracterização da vulnerabilidade morfológica de segmentos litorais, nomeadamente das praias expostas no litoral da laguna de Aveiro (Baptista *et al.*, 2004 b).

O estabelecimento de correlações entre volumes sedimentares obtidos e dados de agitação marítima, tem também permitido estudar a capacidade de recuperação sedimentar de segmentos de praia após eventos de temporal (Baptista *et al.*, 2004 c).

Na Figura 3.4 estão representados receptores *GPS* e um *DEM* obtido a partir de uma rede de perfis realizados por *GPS* em modo cinemático.

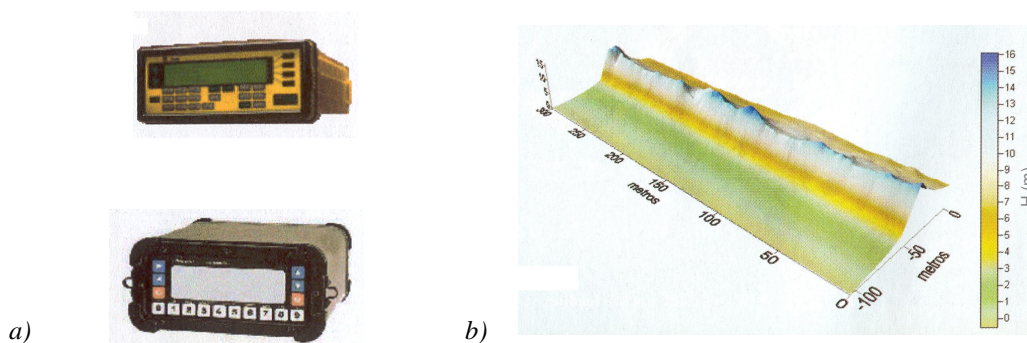


Figura 3.4: a) Dois modelos de receptores *GPS*. b) *DEM* para a praia do Areão, no litoral da laguna de Aveiro, obtido a partir de perfis realizados por *GPS*.

2.3 Técnicas de observação

Existe uma vasta literatura sobre fotogrametria e detecção remota no que toca a princípios gerais, técnicas fotogramétricas, tipos de sensores usados a bordo de plataformas aéreas e de satélite, processamento e análise de diversos produtos (ver por ex.: ASP, 1980; Kennie, 1990; Richards, 1993; Lillesand e Kiefer., 2000; Casaca *et al.*, 2000; Fonseca e Fernandes., 2004). Apresentam-se, de seguida, apenas algumas generalidades da fotografia aérea e detecção remota úteis à compreensão das suas aplicações para obtenção de informação planimétrica e altimétrica.

Nos levantamentos topográficos efectuados por técnicas fotogramétricas, a informação é normalmente obtida por câmaras fotográficas analógicas ou digitais aerotransportadas. A aquisição de informação por detecção remota é efectuada por sensores a bordo de satélites artificiais ou meios aerotransportados.

O princípio da aquisição da informação, comum às duas técnicas, baseia-se no facto dos objectos da superfície terrestre reflectirem radiação electromagnética proveniente do Sol. É possível inferir as características físicas e químicas desses objectos através da radiação electromagnética por eles reflectida, a qual é registada por sensores de detecção remota ou por câmaras fotográficas. Além da radiação reflectida, os objectos emitem radiação própria, com intensidade e composição espectral dependente da temperatura, que também é usada em detecção remota. No caso da detecção remota, o intervalo do espectro electromagnético normalmente utilizado, cobre um intervalo de frequência desde as microondas até ao ultravioleta (Figura 3.5). No caso da fotogrametria pode ser usado o visível e o infravermelho próximo.

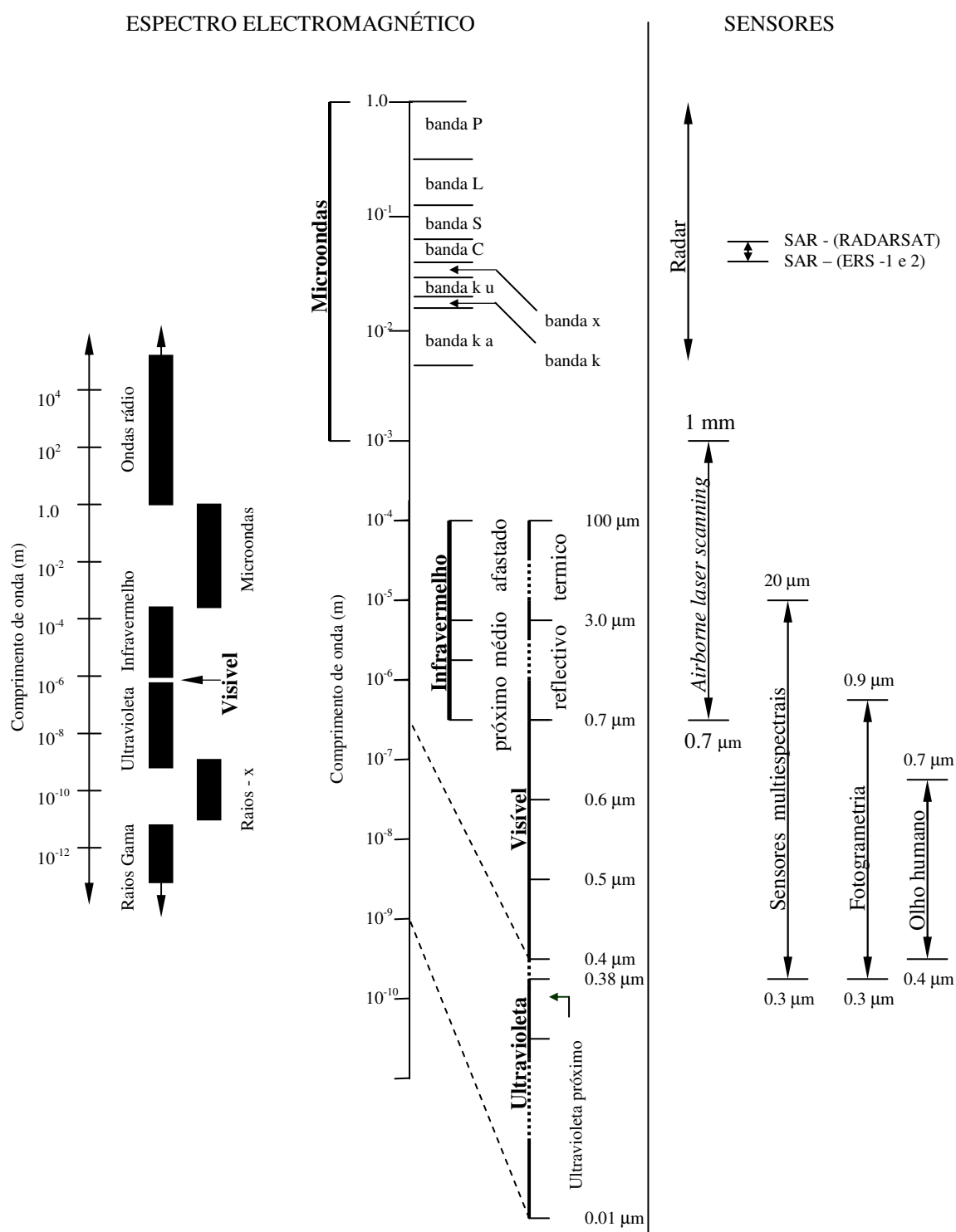


Figura 3.5: Espectro electromagnético com indicação dos domínios mais utilizados em detecção remota. Intervalos relativos aos domínios dos sensores definidos de acordo com Fonseca e Fernandes (2004) e CCRS (2005).

A sistematização dos sensores utilizados em detecção remota pode ser efectuada de acordo com vários critérios, nomeadamente o modo de operação (activo ou passivo) e as características

espectrais (pancromáticos, multiespectrais, hiperspectrais), em função da plataforma em que estão instalados (aérea ou espacial) e da resolução espacial (alta, média e baixa).

Os sensores mais utilizados em detecção remota passiva são os radiómetros de imagem usados para diversos fins, nomeadamente cartográficos. Esses dispositivos registam a distribuição espacial das radiâncias, com recurso a um sistema óptico com características específicas, sensível a diferentes bandas, geralmente estreitas, do espectro electromagnético.

As imagens obtidas em fotogrametria e detecção remota passiva são fontes de informação úteis para a representação de elementos morfológicos no que diz respeito à componente planimétrica mas, normalmente, pecam pelas dificuldades que apresentam na obtenção de informação referente à componente altimétrica. Todavia, é possível, com base em técnicas de estereoscopia, obter essa componente em alguns casos.

Os desenvolvimentos efectuados em detecção remota com vista à criação de sensores activos permitem a obtenção da componente altimétrica de uma forma mais eficaz. A forma mais comum de sensor activo é o *RADAR* (= “*Rádio Detection and Ranging*”), que opera na banda das microondas. A altimetria de *RADAR* surgiu na década de 60, e é usada em plataformas aerotransportadas ou em satélites, tendo como propósito, entre outros, a geração de *DEM*.

Referem-se, seguidamente, as técnicas de fotogrametria e os sensores de detecção remota passivos e activos mais utilizados em plataformas aerotransportadas e espaciais. Apresentam-se as potencialidades e limitações das diversas técnicas no que respeita à obtenção final de informação planimétrica e altimétrica. São mencionados os aspectos relacionados com a precisão e as aplicações em zonas litorais.

2.3.1 Fotogrametria

A fotogrametria, enquanto disciplina de apoio à topografia e à cartografia, pode considerar-se como relativamente antiga, remontando ao século XIX as primeiras experiências com esses propósitos. Contudo, os desenvolvimentos mais importantes ocorreram no século XX, na sequência das necessidades cartográficas impostas pelas primeira e segunda Guerras Mundiais. Mais recentemente, na década de 80 do século transacto, foram divulgados os métodos analíticos em fotogrametria e surgiram as câmaras digitais.

A fotogrametria é baseada num conjunto de procedimentos adoptados para o processamento de imagens, com o objectivo de obter diversos produtos, nomeadamente *DTM*, *DEM*, *DSM*, orto-imagens, reconstituição e classificação a 2D e a 3D de objectos para aplicações temáticas. O processamento de filmes ao longo dos últimos 25 anos foi efectuado, essencialmente, por processos analíticos. Foram introduzidos, desde o início da década de 90 do século XX, os Sistemas Digitais Fotogramétricos (= “*Digital Photogrammetric Systems – DPS*”).

Os algoritmos de processamento continuam em desenvolvimento, no sentido de automatizar a extracção de informação a partir de imagens digitais, podendo considerar-se que esta nova fase da fotogrametria ainda não atingiu a maturação completa. Na Figura 3.6 está representado, esquematicamente, um voo com objectivos fotogramétricos (Fig. 3.6 *a*) e um extracto de uma fotografia aérea da costa ocidental portuguesa (Fig. 3.6 *b*).

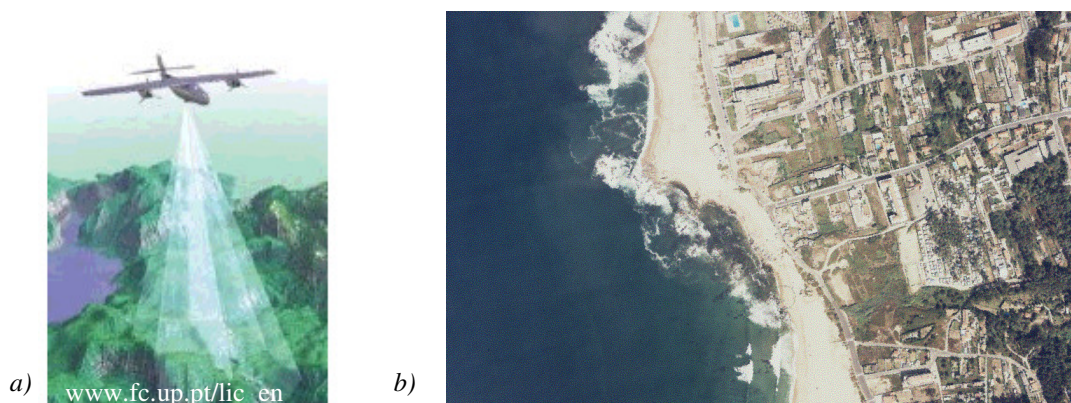


Figura 3.6: *a*) Representação esquemática de um voo com objectivos fotogramétricos. *b*) Pormenor de uma fotografia aérea da costa ocidental portuguesa.

2.3.1.1 Obtenção de informação planimétrica

A fotografia aérea de baixa altitude foi, provavelmente, a primeira fonte de informação para o estudo da morfologia de corpos arenosos e das variações da linha de costa e da linha de praia (Langfelder *et al.*, 1970; Dolan *et al.*, 1978; Crowell *et al.*, 1991; Moore, 2000). A fotografia aérea apresenta, por conseguinte, uma vantagem adicional sobre outras fontes de dados que a torna útil no estudo da evolução da linha de costa ou da linha de praia. Essa vantagem prende-se ao facto de, em muitos países, já na década de 30 do século transacto terem sido feitos voos com objectivos cartográficos.

Nos trabalhos que têm sido publicados sobre essa temática são referidos, com alguma frequência, aspectos relacionados com as referências morfológicas utilizadas para essa avaliação e fontes de erro associadas. Relativamente às referências morfológicas, numerosos autores usam a linha de praia (por ex.: Dolan *et al.*, 1980; Smith e Zarillo, 1990; Anders e Byrnes, 1991; Shoshany e Degani, 1992). Em litorais onde estão presentes cordões dunares frontais, a linha de costa, materializada pela crista da duna frontal ou pela sua base, tem sido considerada uma escolha mais adequada conforme refere Morton (1991).

Diversos autores têm analisado os erros associados à utilização da linha de praia como referência, recorrendo à fotografia aérea. O maior erro ocorre devido às variações sazonais da maré. De acordo com Smith e Zarillo (1990), uma praia micro-mareal com amplitude média da

maré de 0.9 m e declive da face de praia de 5.5° pode sofrer migrações sazonais de cerca de 20 m. Outros autores referem migrações da ordem dos 100 metros em litorais expostos a temporais, como é o caso da costa Atlântica (Leatherman, comunicação pessoal, *in*: Moore, 2000). A minimização desses erros passa pela realização de campanhas de observação em datas onde são previstas condições semelhantes de maré e de agitação.

Diversos trabalhos têm sido realizados, a nível nacional, com recurso a fotografia aérea para estudos de evolução da linha de costa. De referir, para a costa ocidental entre Espinho e o Cabo Mondego, os trabalhos de Ângelo (1991), Bettencourt e Ângelo (1992), Ferreira (1993), Caetano (2002) e Diogo (2004).

2.3.1.2 Obtenção de informação altimétrica - *DEM*

Nos procedimentos adoptados em estereoscopia visando a obtenção de *DEM*, são normalmente usados restituidores digitais, que operam sobre pares fotográficos realizados a baixa altitude, com a colocação de alvos no terreno (Overton e Fisher, 1996). Após o processamento das fotografias aéreas são criados ortofotomapas, os quais permitem a extracção final dos *DEM*.

Em fotogrametria, o erro associado a um *DEM*, na componente vertical, é directamente proporcional à altura a que é realizado o voo e inversamente proporcional à distância focal (Light, 1999). Baltsavias (1999) refere que para pares fotográficos com 60% de sobreposição, e com uma superfície de terreno aplanada, o erro na componente altimétrica é de 0.016 m por cada 100 m de altitude.

Huising e Gomes Pereira (1998) referem precisões, na componente altimétrica de *DEM* gerados a partir de técnicas fotogramétricas, de 0.16 m (*RMSE – Root Mean Square Error*) em regiões arenosas, e de 0.07 m (*RMSE*) noutras superfícies, recorrendo a pontos de controlo no terreno em ambos os casos. Não são, contudo, dadas especificações sobre a altura do voo nem sobre as características do equipamento utilizado.

Em zonas litorais são maiores as dificuldades em usar pontos de controlo, devido ao facto de uma grande parte da área dos pares fotográficos ser ocupada por água ou areia, onde as referências escasseiam, salvo se forem colocados alvos antes da realização do voo, o que começa a ser praticado. As equipas de investigação têm-se dedicado ao desenvolvimento de técnicas de georreferenciação planimétrica, mais no sentido de corrigir pares fotográficos históricos e actuais (Thieler e Danforth, 1994), do que a tentar extrair informação altimétrica.

As limitações citadas têm condicionado o estudo de praias, verificando-se que são mais exploradas as potencialidades das técnicas fotogramétricas para o estabelecimento de mapas de evolução de morfologias representáveis planimetricamente, tais como a migração de embocaduras

de rios, a representação da linha de costa e os galgamentos (por ex.: Fisher e Simpson, 1979; Webb *et al.*, 1989; Davidson-Arnott e Fisher, 1992), do que para o estabelecimento de *DEM* (por ex.: Judge e Overton, 2001).

Começam a surgir trabalhos realizados em Portugal que visam a obtenção de *DEM* em litorais arenosos a partir de fotografia aérea (por ex.: Silva, 2005).

2.3.2 Sensores activos a bordo de plataformas aerotransportadas

No campo dos sensores activos instalados a bordo de plataformas aerotransportadas destacam-se dois grupos: o sistema *laser* aéreo de varrimento (= “*Airborne Laser Scanning*” - *ALS*) e o sistema *RADAR* de abertura sintética (= “*Synthetic Aperture RADAR* – *SAR*”).

2.3.2.1 Sistemas *laser* aéreo de varrimento

Os sistemas *ALS* instalados a bordo de plataformas aéreas são vulgarmente designados pelo acrónimo *LIDAR*, embora, de acordo com Jelalian (1992), para estes sistemas possam ser usados dois acrónimos, nomeadamente, *LADAR* (= “*LAser Detection And Ranging*”) ou *LIDAR* (= “*LIght Detection And Ranging*”).

O desenvolvimento de *ALS* em plataformas aerotransportadas verificado nos finais da década de oitenta do século XX, visou dar resposta a duas lacunas então existentes. Uma prendia-se com a baixa resolução de diversos sensores passivos a bordo dos satélites, o que limitava a sua utilização em zonas litorais (Woolard e Colby, 2002). A outra lacuna relacionava-se com a dificuldade em obter a componente altimétrica a partir de fotografia aérea (Judge e Overton, 2001). Surgiram assim os *ALS*, que consistem na utilização de um mecanismo de varrimento que combina propriedades dos sistemas passivos e dos sistemas activos (Figura 3.7). Uma descrição detalhada destes sistemas pode ser consultada em Wehr e Lohr (1999). Na Figura 3.7 *a* está representado um voo com objectivo de recolha de dados *ALS* e na Figura 3.7 *b* está representado um pormenor de uma imagem obtida por esse sistema.

Embora o desenvolvimento de *ALS* possa ser considerado como uma evolução relativamente às técnicas fotogramétricas, ambas são actualmente usadas em complementaridade, uma vez que a classificação e a identificação de objectos por *ALS* sem recurso a sensores ópticos torna-se muito difícil ou mesmo impossível (Baltsavias, 1999).

Os *ALS*, tal como alguns dos sistemas passivos multiespectrais instalados a bordo de satélites, são sistemas que também operam no infravermelho. Trata-se, contudo, de sistemas activos capazes de medir a distância entre o sensor e o alvo, por intermédio da medição da diferença de

fase entre o sinal transmitido e o recebido, ou por um mecanismo de pulsação. No primeiro caso, em que a distância é medida por diferença de fase, são utilizados *lasers* que emitem continuamente um sinal e, no segundo caso, são utilizados *lasers* que emitem um sinal a uma cadência elevada embora não contínua. Os sistemas *laser*, pelo facto de operarem em menores comprimentos de onda, apresentam vantagens sobre os sistemas *RADAR*, nomeadamente a emissão em elevadas frequências do sinal, permitindo uma melhor cobertura da zona sobrevoada.



Figura 3.7: a) Mecanismo de varrimento por feixe cônico do sistema ALS em plataforma aerotransportada. b) Pormenor de imagem obtida por ALS.

Além do instrumento *laser* que fornece a componente altimétrica por intermédio do cálculo da distância angular, o sistema integra outros componentes que permitem a determinação da posição e atitude, nomeadamente o *GPS* e uma unidade de medição inercial (= “*Inertial Measurement Unit*” - *IMU*). O processamento de toda a informação fornece, no final, as três componentes do espaço, possibilitando a geração de *DEM*.

De acordo com Wehr e Lohr (1999), os maiores avanços na tecnologia que envolve os sistemas *laser* têm sido efectuados ao nível do desenvolvimento de algoritmos de processamento e filtragem dos dados obtidos no campo, o que se traduz numa melhoria acentuada na principal vocação desta tecnologia, a criação de *DEM*. Esses autores referem uma precisão final decimétrica.

As fontes de erro que afectam a qualidade das medidas efectuadas pelos sistemas *laser* e, conseqüentemente, dos *DEM* obtidos, podem ser subdivididos em três grupos, nomeadamente, os erros do instrumento *laser* e dos sistemas de posicionamento *GPS* e de navegação inercial (= “*Inertial Navigation System*” – *INS*), os erros ao nível do processamento dos dados e os erros do alvo. As características da superfície observada afectam significativamente o resultado final, ao contrário do que se passa em fotogrametria, nomeadamente no que diz respeito às variações de declive. Uma descrição detalhada dessas fontes de erro pode ser encontrada em Baltsavias (1999).

Huising e Gomes Pereira (1998) comparam a componente altimétrica das medidas de diversos altímetros *laser*, após processamento e filtragem dos dados, com medidas efectuadas no

terreno para as mesmas épocas de observação. Essa comparação é efectuada após a construção de grelhas geradas por interpolação dos dados obtidos pelas diversas fontes de informação, de forma a permitir a comparação dos mesmos pontos das grelhas. São testadas diversas superfícies, incluindo praias arenosas e dunas. As medidas de referência efectuadas no terreno incluem técnicas de base terrestre, com precisão de 0.03 m (*RMSE*), e técnicas fotogramétricas, com precisão de 0.07 m (*RMSE*). As diferenças obtidas entre as medidas de referência fornecidas pelas técnicas fotogramétricas e as dos altímetros *laser* para praias arenosas são de 0.18 ou 0.22 m, de acordo com o tipo de sistema *laser* usado. Na componente planimétrica, essas diferenças são, geralmente, inferiores a 0.10 m (Huising e Gomes Pereira, 1998).

Alguns dos desenvolvimentos mais recentes na tecnologia *laser* incluem a nova geração de altímetros designados “*Airbone Topographic Mapper*” (*ATM 2*), os quais têm sido aplicados para estudos de zonas litorais (Wooland e Colby, 2002). A utilização de *ATM LIDAR* funciona por varrimento, com recolha de 3000 a 5000 posições por segundo, para uma velocidade de voo de 60 m/s. A utilização deste sistema tem permitido, de acordo com Wooland e Colby (2002), obter uma precisão vertical de 0.15 m (*RMSE*) e uma precisão horizontal de 0.08 m (*RMSE*), para um voo realizado a 700 m de altitude (Meredith *et al.*, 1999). O sistema *LIDAR* tem sido aplicado na monitorização da linha de costa, no estudo das alterações morfológicas da praia emersa após eventos de temporal e na caracterização da evolução de dunas costeiras.

O sistema *SHOALS* pode ser considerado como um derivado do *LIDAR* para trabalhos de hidrografia. O sinal é enviado pelo sensor, sendo a maior parte reflectida pela superfície da água. Uma segunda componente do sinal penetra na água, sendo reflectida pelo fundo do mar. A diferença, em tempo, entre o retorno do impulso reflectido pela superfície e o impulso reflectido pelo fundo, corresponde à profundidade da água. Este sistema opera por varrimento de uma faixa paralela à trajectória do avião e está vocacionado para monitorizar a morfologia do fundo até uma profundidade de 30 m, dependendo das condições de turbidez da água. Diversos trabalhos têm sido realizados recorrendo a este sistema (ver por ex.: Lillycrop e Banic, 1992; Estep *et al.*, 1994; Irish e White, 1998; Irish e Lillycrop, 1999).

2.3.2.2 Sistema *RADAR* de abertura sintética

O *SAR*, tal como o *ALS*, é um sistema de detecção remota activa que permite a aquisição de informação a 3D. Ao contrário do que se passa com o *ALS*, o *SAR* opera, normalmente, na banda de microondas, o que lhe confere uma maior imunidade às condições atmosféricas. No que se refere a

precisões, o *SAR* não consegue competir com o *ALS* por ser mais sensível ao ruído. Pormenores adicionais sobre as diferenças entre os dois sistemas podem ser consultados em Stilla *et al.* (2003).

A Figura 3.8 representa um voo com objectivo de obter uma imagem *SAR* e um pormenor dessa imagem. O modo de operação do sistema *SAR* consiste na simulação de uma antena de grandes dimensões, recorrendo, para isso, ao movimento da plataforma onde está instalada (Figura 3.8 a). A utilização de interferometria *SAR* - *IFSAR* - pode ser considerada como uma alternativa à estereoscopia convencional, usada em fotogrametria, para a extracção da informação altimétrica relativa ou absoluta (Toutin e Gray, 2000).

A utilização de *IFSAR* combina a complexidade da aquisição da informação, a qual pode ser obtida por duas antenas em locais distintos, ou pela mesma antena em duas épocas de observação. A diferença de fase entre duas imagens *SAR* é usada para medir, com precisão superior ao comprimento de onda da fase, mudanças ocorridas em pontos correspondentes num par de imagens. Na Figura 3.8 b apresenta-se um pormenor de uma imagem *SAR*.

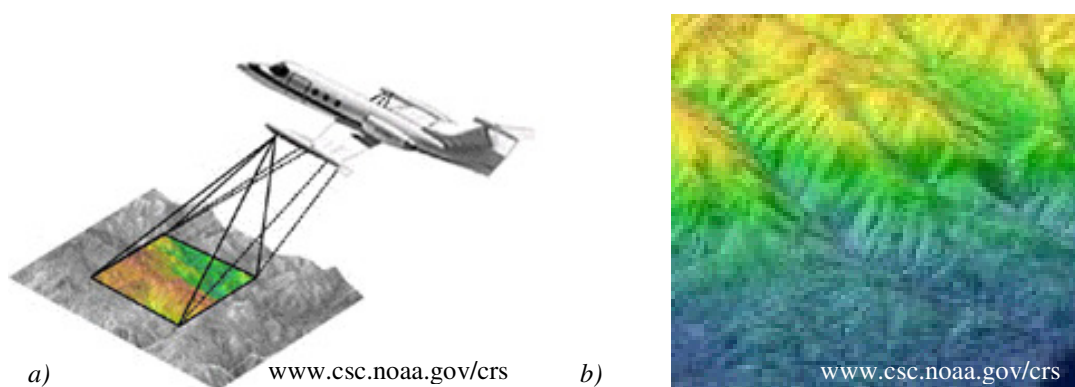


Figura 3.8: a) O movimento da aeronave simula uma antena de grandes dimensões. b) Pormenor de imagem *SAR*.

A primeira demonstração quantitativa de que é possível detectar variações milimétricas com interferometria diferencial ocorreu em 1993, com a utilização de um sistema instalado a bordo de um avião, e recorrendo a passagens sucessivas numa mesma zona de amostragem (Gray e Farris-Manning, 1993). A utilização desta tecnologia, desde o processo de aquisição até ao processamento e obtenção final de informação exige, contudo, equipas multidisciplinares e vários anos de experiência. Não são conhecidas aplicações desta tecnologia na monitorização da morfologia de praias.

2.3.3 Sensores a bordo de satélites

Consideram-se dois tipos básicos de sensores, os sensores passivos e os activos. As imagens numéricas obtidas pelos sensores passivos permitem extrair informação relativamente à

distribuição de elementos morfológicos em planimetria, sendo, por conseguinte, frequentemente utilizadas na definição da linha de praia. Os sensores activos, pelo facto de a sua geometria de aquisição ser mais complexa, permitem frequentemente obter informação altimétrica, contribuindo, dessa forma, para o estabelecimento de *DEM*.

2.3.3.1 Sensores passivos

As imagens numéricas de sensores instalados a bordo de satélite proporcionam uma área de cobertura maior relativamente à das fotografias aéreas, em virtude da maior distância entre o sensor e o alvo. Destaca-se também uma informação espectral mais vasta do que a fornecida pela fotografia aérea. No entanto, estas imagens não têm, normalmente, capacidade para competir com a fotografia aérea, em virtude da sua resolução espacial ser inferior, dada pela dimensão do *pixel*, e da sua cobertura temporal ser menos flexível (Casaca *et al.*, 2000). O seu uso é, geralmente, equacionado em função da área de cobertura da zona a estudar e da finalidade do estudo. De acordo com o fim a que se destinam, diversos tipos de imagens de sensores remotos podem ser usados.

Os sensores que utilizam o infravermelho próximo são importantes para estudos de evolução da linha de praia, considerando escalas temporais adequadas ao tipo de resolução espacial proporcionada pelo sensor. Na Figura 3.9 *a* está representado o satélite *SPOT* (“*Système Probatoire de L’Observation de la Terre*”) que transporta o sensor passivo *HRV* (“*Haute Résolution Visible*”), o qual permite a aquisição de pares estereoscópicos de imagens numéricas. Na Figura 3.9 *b* está representada a fusão de duas imagens *HRV* relativamente ao litoral da laguna de Aveiro.

O sensor *HRV* permite adquirir imagens numéricas multiespectrais em três bandas (verde, vermelho e infravermelho próximo), com pixel de 20 m x 20 m e, em modo pancromático, com pixel de 10 m x 10 m. As imagens obtidas por este sensor têm sido usadas para determinar alterações da linha de praia (Chen e Rau, 1998).

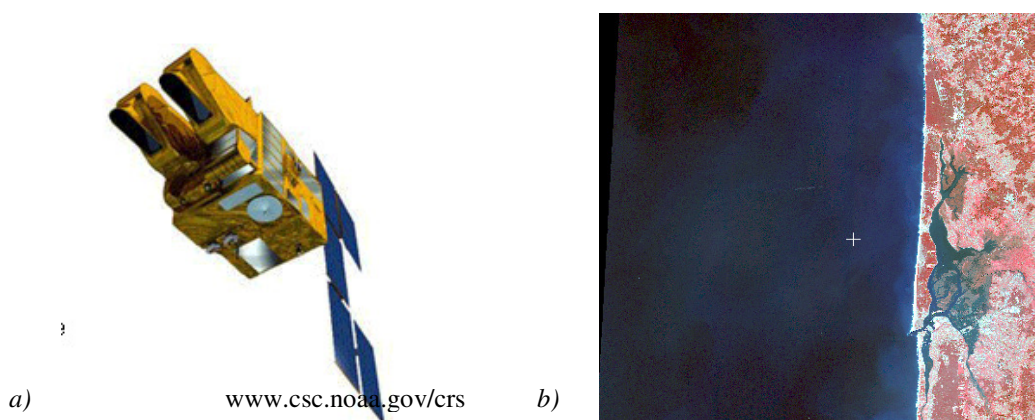


Figura 3.9: *a*) Satélite *SPOT*. *b*) Fusão de duas imagens *HRV* no litoral da laguna de Aveiro (Extraído de Teodoro, 2004).

Os novos satélites da série *SPOT* apresentam avanços significativos relativamente aos mais antigos. De referir o *SPOT 4*, lançado em 1998, que transporta o sensor *HRVIR* (“*High Resolution in the Visible and Infra-Red*”), e o *SPOT 5*, lançado em Maio de 2002. Um dos sensores utilizados, o *HRG* (*Haute Résolution Géométrique*”), permite adquirir imagens em modo pancromático, com *pixels* de 5 m x 5 m e de 2.5 x 2.5 m e imagens multiespectrais com *pixel* de 10 m x 10 m. Permite ainda obter imagens no infravermelho, com *pixel* de 20 m x 20 m.

Os avanços mais recentes em termos de resoluções espaciais ocorreram com os lançamentos dos satélites *QuickBird* e *IKONOS*. O primeiro transporta sensores que permitem uma resolução espacial de 0.7 m em modo pancromático, e o segundo atinge uma resolução espacial de 1 m no mesmo modo. As imagens destes sensores estão disponíveis desde 2002 e podem considerar-se promissoras para estudos relacionados com a dinâmica de corpos arenosos de evolução da linha de praia.

2.3.3.2 Sensores activos

Destacam-se, neste grupo, os sensores *RADAR* a bordo de vários satélites, nomeadamente dos satélites *ERS 1 e 2* (*European Remote Sensing Satellite*), e *RADARSAT* (*RADAR SATellite*). Tal como acontece nas plataformas aéreas, estes sensores são genericamente conhecidos pelo acrónimo *SAR* e têm domínio de acção na banda das microondas. Podem operar em vários modos de aquisição de dados, possibilitando a obtenção de imagens com resolução espacial entre 10 m e 100 m. Na Figura 3.10 *a* está representado o satélite *ERS – 1* e na Figura 3.10 *b* apresenta-se uma imagem obtida pelo mesmo, no rio Tamisa, no Reino Unido.

A precisão vertical dos *DEM* criados a partir da tecnologia *SAR* é determinada por vários factores, alguns dos quais são pontuais e outros sistemáticos. Muitos dos erros gerados são proporcionais à altitude do sensor. Quanto menor a altura do sensor melhor a precisão vertical. Hodgson *et al.* (2003) referem, para uma altitude de 6095 m, uma precisão na componente horizontal de 6 m e, na componente vertical, entre 0.70 m e 3 m, de acordo com a cobertura do solo.

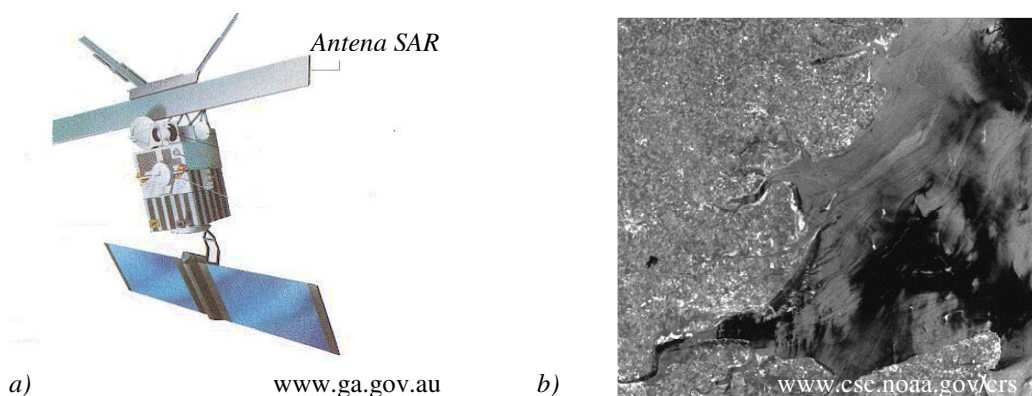


Figura 3.10: a) Satélite *ERS - 1*. b) Imagem *SAR* do rio Tamisa - Reino Unido.

Por intermédio da utilização de técnicas interferométricas, idênticas, nos princípios, às referidas para o *SAR* usado em plataformas aéreas, é possível avaliar a altitude do terreno e gerar *DEM* para uma determinada época, ou calcular variações na topografia entre duas datas.

Num trabalho recente, é apresentada a possibilidade de extracção, de forma semi-automática, da linha de praia através da utilização de técnicas *IFSAR*, utilizando um algoritmo específico (Dellepiane *et al.*, 2004). Este trabalho descreve potencialidades da metodologia em termos de rapidez no processamento, quando comparado com as técnicas fotogramétricas, em que é feita foto-interpretação visual. Contudo, os níveis de precisão obtidos não conseguiram competir com a fotografia aérea, em virtude de terem sido usadas imagens adquiridas pelos sensores *ERS*, os quais têm resolução espacial de uma ordem de grandeza inferior à da fotografia aérea utilizada.

3. Discussão

Na Tabela 3.1 apresenta-se um resumo das vantagens e desvantagens das técnicas de posicionamento no processo de monitorização de praias. Na tabela 3.2 apresentam-se as vantagens e desvantagens das técnicas de fotogrametria e detecção remota, no que diz respeito à obtenção de informação planimétrica e altimétrica em praias.

Tabela 3.1: Vantagens e desvantagens das técnicas de posicionamento aplicadas ao estudo de praias.

	Vantagens	Desvantagens
Geodesia Clássica (1 estação total + 2 operadores)	a) Relativo baixo custo do equipamento; b) Baixo custo das campanhas de observação; c) Realização de observações sempre que necessário; d) Possibilidade de criação de <i>DEM</i> por interpolação de redes de perfis.	a) Relativa morosidade no processo de aquisição de dados; b) A cobertura de áreas extensas mediante o estabelecimento de redes de perfis requer mais recursos humanos e vários equipamentos, de forma a garantir a exequibilidade do levantamento.
Geodesia Espacial (2 receptores <i>GPS</i> + 2 operadores)	a) Baixo custo das campanhas de observação; b) Realização de observações sempre que necessário; c) Maior rapidez no processo de aquisição de dados do que nos métodos clássicos; d) Possibilidade de criação de <i>DEM</i> por interpolação de redes de perfis.	a) Custo do equipamento superior aos métodos clássicos; b) A cobertura de áreas extensas requer a adaptação da antena <i>GPS</i> a um veículo todo o terreno, o que pode representar perda da precisão.

No contexto das diversas técnicas que permitem a obtenção de *DEM*, a utilização de *GPS* destaca-se pela sua versatilidade do ponto de vista logístico. Esta versatilidade manifesta-se na facilidade de colocação em campo, com um custo relativamente baixo, meios para a realização de campanhas de observação em quase todas as condições atmosféricas, permitindo assim o acompanhamento regular da praia emersa.

O *GPS* ganha relevo, nesse contexto, relativamente às técnicas de base aérea, pela dificuldade logística que estas últimas têm em colocar os meios em acção, situação que pode ser agravada aquando de más condições atmosféricas.

Relativamente às técnicas clássicas, o *GPS* apresenta vantagens operacionais no processo de aquisição de dados, essencialmente ao nível da rapidez. As relações custo/benefício e a rapidez operacional proporcionam vantagens no estudo de segmentos litorais que exigem monitorização regular (diárias, mensais ou bimensal).

O destaque dado ao *GPS* não invalida que, para outro tipo de aplicações, a utilização de outras técnicas seja mais vantajosa. É o caso da utilização da fotogrametria para estudos de variação da linha de costa à escala regional ou mesmo de cobertura total da zona litoral do país.

Tabela 3.2: Vantagens e desvantagens das técnicas de fotogrametria e detecção remota aplicadas ao estudo de litorais.

	Vantagens	Desvantagens
Fotogrametria	a) Rapidez no processo de aquisição dos dados; b) Dados obtidos sob a forma de imagens <i>raster</i> normalmente com 60% de sobreposição de forma a permitir estereoscopia.	a) Elevado custo dos meios aéreos para a realização de campanhas; b) Realização de observações dependente das condições atmosféricas; c) Realização de observações dependente da disponibilidade dos meios aéreos; d) Dificuldades na criação de <i>DEM</i> .
Sensores aéreos (<i>ALS</i>)	a) Rapidez no processo de aquisição de dados; b) Aquisição de um grande volume de dados; c) Dados obtidos sob a forma de feixe regularmente distribuído no espaço; d) Facilidade na criação de <i>DEM</i> .	a) Elevado custo do sistema que também inclui um sistema de posicionamento <i>GPS</i> e inercial; b) Elevado custo dos meios aéreos para a realização de campanhas; c) Realização das observações dependente das condições atmosféricas; d) Realização de observações dependentes da disponibilidade dos meios aéreos; e) Dificuldade na definição e classificação de objectos a partir das imagens obtidas.
Sensores passivos a bordo de satélites	a) Dados disponibilizados por organizações internacionais; b) Custos dependentes de apoios obtidos ao abrigo de programas de cooperação; c) O tratamento dos dados permite obter imagens em formato <i>raster</i> .	a) Qualidade dos dados dependente das condições atmosféricas; b) Dados só disponíveis para as épocas de passagem do sensor; c) Dados obtidos permitem obter, na maior parte dos casos, apenas a componente planimétrica; d) Em muitos dos sensores, a grande dimensão do pixel inviabiliza a obtenção de informação detalhada da zona costeira.
Sensores activos a bordo de satélites	a) Dados disponibilizados por organizações internacionais; b) Imagens <i>SAR</i> disponíveis a baixo custo; c) A qualidade dos dados é imune a quase todas as condições atmosféricas.	a) Realização de observações dependente da passagem do sensor; c) Procedimentos complexos para o processamento da informação, quando usando técnicas interferométricas; d) Dificuldade na definição e classificação de objectos a partir das imagens obtidas.

Os levantamentos fotogramétricos com cobertura parcial, ou mesmo total, do litoral do território nacional podem ser de extrema utilidade para esse fim, tendo vantagem notória relativamente à maior parte dos sensores ópticos usados em satélite, pela maior resolução espacial que, em geral, apresentam. Contudo, e como foi referido, a fotogrametria apresenta limitações em termos da componente altimétrica, invalidando, frequentemente, a criação de *DEM*. A solução passará, no futuro, neste tipo de abordagem, pela utilização de sistemas *ALS*, os quais exigem um investimento considerável a nível nacional e a coordenação de esforços por parte de equipas multidisciplinares, no sentido de rentabilizar o investimento.

Na Tabela 3.3 apresenta-se a precisão vertical, obtida por diversos autores, em *DEM* gerados a partir de técnicas de Geodesia Clássica, fotogrametria e *ALS*. Os resultados correspondem a trabalhos de monitorização de praias.

Tabela 3.3: Precisão vertical de vários sistemas de aquisição de dados, expressa sob a forma de *RMSE*, em trabalhos realizados em praias.

Sistema	Características	Precisão vertical (<i>RMSE</i>)	Autor	Notas
Técnicas fotogramétricas	Pares estereoscópicos com 60% sobreposição.	1.6 cm (por cada 100 m de altura)	(Baltsavias, 1999).	Erro na precisão vertical directamente proporcional à altura de voo e inversamente proporcional à distância focal.
Sistema <i>ALS</i> (Laser ATM II)	Velocidade: 60 m/seg. Altitude de voo: 700 m. 3000 a 5000 posições p/seg.	15 cm	Meredith <i>et al.</i> (1999).	
		10-20 cm	Krabill <i>et al.</i> (2000).	
		15 cm	Wooland e Colby (2002).	
Sistema <i>ALS</i> (TopoSys)	Velocidade: 100 m/seg. Altitude de voo: 850 m. Frequência: 80000 Hz.	22 cm	Huising e Gomes Pereira (1998).	Precisão estimada pelo cálculo da diferença entre a componente vertical (<i>z</i>) fornecida pelo laser e as medidas de referência efectuadas nos mesmos pontos da grelha e nas mesmas datas das medidas laser; Medidas de referência efectuadas por técnicas de base terrestre com precisão de 3 cm (<i>RMSE</i>); Grelha de posições com 1 m ² .
Sistema <i>ALS</i> (ALTM1020 TS)	Velocidade: 72 m/seg. Altitude de voo: 900 m. Frequência: 2000 Hz.	18 cm	Huising e Gomes Pereira (1998).	Precisão estimada pelo cálculo da diferença entre a componente vertical (<i>z</i>) fornecida pelo laser e as medidas de referência efectuadas nos mesmos pontos da grelha e nas mesmas datas das medidas laser; Medidas de referência efectuadas por técnicas de base terrestre com precisão de 3 cm (<i>RMSE</i>); Grelha de posições com 16 m ² .

A elevada densidade de posições obtidas pelo *ALS* aumenta a qualidade final do modelo, uma vez que reduz a necessidade de introduzir pontos ou nodos por interpolação. Neste âmbito, as técnicas de geodesia clássica e espacial estão em desvantagem, pelo facto da aquisição de dados ser, normalmente, efectuada segundo perfis discretos.

A aquisição de dados por intermédio de perfis conduz, normalmente, a uma distribuição não homogénea de informação. Por conseguinte, surge a necessidade de interpolar, podendo as cotas, atribuídas aos pontos gerados pela interpolação em zonas consideravelmente afastadas dos perfis de dados, apresentar um desvio significativo, relativamente à cota real do terreno nesses locais.

São ainda escassas as referências a trabalhos publicados que avaliem o comportamento de um *DEM* gerado a partir de redes de perfis, quer por métodos clássicos, quer por *GPS* (Morton *et al.*, 1992; Huang *et al.*, 2002), muito embora essa possa ser uma questão de primordial importância para a validação de *DEM* assim obtidos.

4. Símula

A evolução e a sistematização dos conhecimentos científicos no domínio da geomorfologia litoral e, mais concretamente, em morfodinâmica, têm sofrido avanços nos últimos anos, para os quais muito contribuíram os programas de monitorização estabelecidos com base em técnicas geodésicas de posicionamento, de fotogrametria e de detecção remota. Esses avanços constituem o resultado do esforço que tem sido realizado para o estabelecimento de programas de monitorização de meso e macro-escalas espacial e temporal.

Após esta breve revisão do estado da arte em termos de técnicas e metodologias de monitorização, verifica-se que as potencialidades de algumas das técnicas apresentadas ainda não foram suficientemente exploradas, ou foram aplicadas de forma limitada ao estudo de praias, quer no contexto nacional quer internacional. Vários motivos podem ser invocados, entre os quais se destacam:

- Uma exploração incompleta das potencialidades oferecidas pelo sistema *GPS*;
- O elevado custo de alguns sistemas, como é o caso *ALS*;
- O reduzido esforço em trabalhar com tecnologias complementares como é o caso dos sistemas passivos e activos de detecção remota;
- A ainda escassa experiência de trabalho em áreas muito especializadas, como é o caso de *IFSAR*.

No que respeita à aplicabilidade destas tecnologias no contexto nacional, o enquadramento económico assume um papel de destaque, pelo que o desenvolvimento de sistemas produtivos e eficientes a baixo custo acolhe uma melhor aceitação no campo da aplicação a curto ou médio prazo. Das tecnologias apresentadas, o *GPS* desde que devidamente explorado, parece ser o que

mais se ajusta a este contexto. Esta tecnologia oferece elevada precisão no posicionamento geodésico, tornando-se assim compatível com a necessidade de rigor para o estabelecimento de estudos regulares de morfodinâmica.

CAPÍTULO IV

DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIAS *GPS* PARA MONITORIZAÇÃO DE LITORAIS ARENOSOS

*O bom senso é a comodidade mais bem distribuída do mundo,
porque todos os homens estão convencidos de que possuem uma boa dose dele*

René Descartes

IV. DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIAS *GPS* PARA MONITORIZAÇÃO DE LITORAIS ARENOSOS

1. Introdução

A rapidez no processo de monitorização de segmentos relativamente extensos, aliada a níveis de precisão indispensáveis para estudos de evolução da linha de costa e de caracterização morfodinâmica implica, frequentemente, o desenvolvimento de novas metodologias.

Quando o objectivo é explorar as potencialidades oferecidas pela técnica de posicionamento *GPS*, o desenvolvimento de novas metodologias relaciona-se com a utilização de sistemas constituídos por duas ou três antenas *GPS* adaptadas a veículos todo-o-terreno.

Apresenta-se, neste capítulo, um sistema multi-antena *GPS* adaptado a um veículo moto-quatro. Este sistema foi desenvolvido com o objectivo de permitir a monitorização de segmentos litorais com vários quilómetros de extensão. É efectuada a validação do sistema desenvolvido no que respeita à exactidão, precisão e repetibilidade. A partir de observações de campo, realizadas sob a forma de redes de perfis *GPS*, são testados diversos métodos de interpolação com o objectivo de inferir aquele que permite gerar uma melhor representação da superfície do terreno.

2. Aquisição de dados

Um dos primeiros passos no processo de aquisição de dados relaciona-se com a distribuição espacial pretendida para a zona que se considere em estudo. Consoante a técnica utilizada e a extensão da área a estudar, poderão ocorrer limitações relativas ao tipo de cobertura pretendida. Os dados podem ser obtidos sob a forma de perfis regular ou irregularmente espaçados, ou como pontos discretos homogénea ou heterogeneamente distribuídos no espaço, cuja densidade pode ser mais ou menos elevada.

No caso em que se utilizam perfis, a relação entre a sua densidade e a extensão da zona a monitorizar determina a maior ou menor capacidade em representar as morfologias que se pretendem estudar. As técnicas de geodesia clássica e espacial referidas em III-2.2.1 e 2.2.2, respectivamente, recorrem, normalmente, a este método de representação das morfologias da praia.

Os dados podem também ser obtidos sob a forma de pontos discretos distribuídos pela zona de estudo. De acordo com a densidade dessa cobertura, esta abordagem poderá constituir uma mais valia para a caracterização da morfologia da praia e, sobretudo, dos sistemas dunares. Os sistemas *ALS* recorrem a este tipo de distribuição de informação, com base na emissão de um feixe de varrimento, e aplicam-no a segmentos de praia e duna com vários quilómetros, ou mesmo dezenas de quilómetros de extensão.

Embora pouco frequentes, existem também referências à utilização de *DGPS* estático na aquisição de dados sob a forma de pontos discretos distribuídos pela zona de estudo (Rebelo *et al.*, 2002; Rebelo 2004). Estes autores aplicam este método de aquisição à representação, com grande detalhe, da morfologia de dunas costeiras, em áreas relativamente reduzidas, da ordem das centenas de metros. A morosidade do processo de aquisição é uma limitação à sua aplicação a segmentos de praia e duna relativamente extensos.

No presente trabalho opta-se pelo método da realização de perfis com base em metodologias que tiram partido das potencialidades do *DGPS* cinemático.

2.1 Sistema *DGPS* antena-simples transportada pelo operador

Quando a zona que se pretende estudar tem uma área reduzida ou é de difícil acesso a veículos, como seja o caso de uma praia com grande quantidade de afloramentos rochosos, o sistema *DGPS* cinemático transportado pelo observador é o mais prático.

Tendo em conta a necessidade de assegurar elevada precisão, optou-se por desenvolver um sistema em que a antena cinemática é fixa a um bastão na base do qual é adaptada uma roda (Figura 4.1).

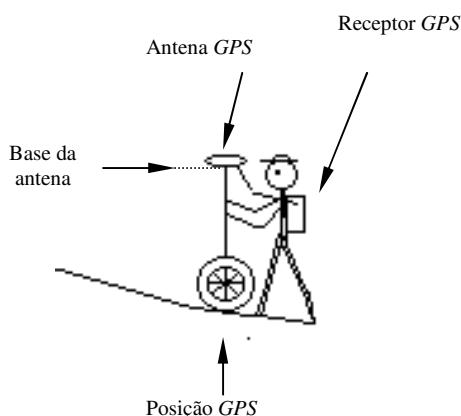


Figura 4.1: Sistema antena *GPS* transportada pelo operador.

O bastão é transportado pelo operador na vertical, de forma a manter uma altura constante da antena, relativamente ao solo, ao mesmo tempo que a roda acompanha as variações da topografia do terreno.

Este sistema apresenta vantagens de manuseamento em relação a sistemas em que o bastão é colocado directamente em contacto com a superfície do terreno, pois, neste caso, é quase impossível evitar que este se enterre na areia ao longo do percurso, ou que fique a alguns centímetros da sua superfície.

Apesar das limitações espaciais da área a monitorizar, esta metodologia apresenta vantagens relativamente aos tradicionais perfis obtidos pelos métodos de geodesia clássica. Destaca-se a

maior rapidez no processo de aquisição de dados e um maior volume de dados obtidos por perfil realizado.

2.2 Sistema DGPS multi-antena adaptado a um veículo tipo moto-quatro

Uma das dificuldades inerentes à utilização do DGPS cinemático adaptado a um veículo prende-se com a eventual redução da precisão do sistema (ver capítulo III, item 2.2.2). Havendo uma só antena, a relação entre a posição do solo e a da antena apenas pode ser aproximada pela subtração, na direcção da vertical do local, da altura da antena ao solo (supostamente conhecida e constante).

Os desvios da vertical provocados pela inclinação do terreno induzem um erro na posição, erro esse que será tanto maior quanto maior for a altura da antena em relação ao solo, para um mesmo ângulo de inclinação.

Para avaliar o erro associado a esse desvio da vertical considere-se, como exemplo, uma praia intermédia, de acordo com a classificação morfodinâmica proposta por Short (1999b) para litorais micro-mareais. Numa praia com essas características, o declive da face da praia pode rondar os 5°. As variações de inclinação da superfície do terreno afectam a atitude de um veículo que nele se desloque em duas das suas componentes: a de inclinação lateral (= “roll”) e a de mergulho (= “pitch”) (Figura 4.2).

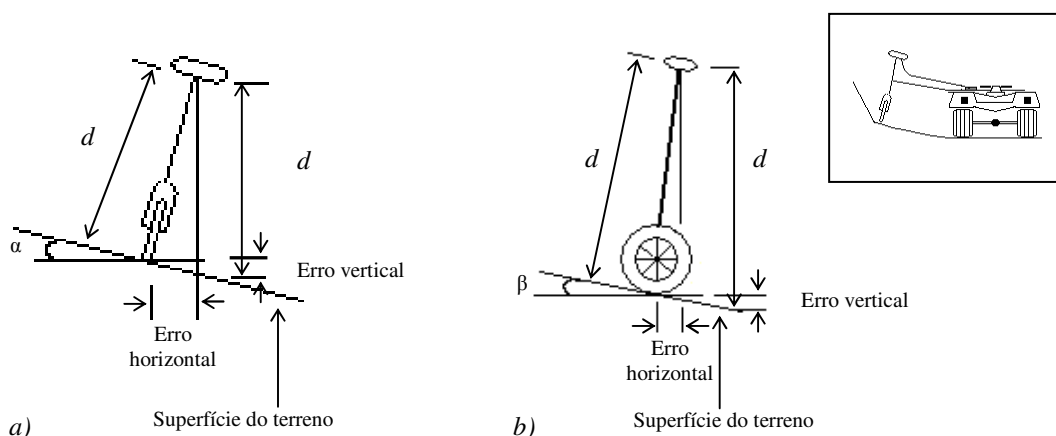


Figura 4.2: Representação da variação de inclinação de um bastão adaptado a um veículo moto-quatro, em duas das componentes da atitude do veículo. a) Componente de inclinação lateral definida pelo ângulo α entre a superfície do terreno e um plano de referência; b) Componente de mergulho definida pelo ângulo β entre a superfície do terreno e um plano de referência.

Considerando que esse veículo transporta uma antena a uma altura de 1.5 m relativamente ao solo, é de esperar erros na determinação da posição, de 0.13 m, em planimetria e de 0.006 m, em

altimetria, para um ângulo de inclinação da superfície do terreno de 5° relativamente a um plano horizontal de referência.

Os erros obtidos em altimetria podem considerar-se pouco significativos, mesmo quando se definem ângulos de inclinação superiores (por ex: para α ou β igual a 10° , o erro é de 0.022 m). O mesmo não ocorre na componente planimétrica, a qual acusa erros decimétricos para esses valores angulares.

No processo de monitorização de praias, erros de grandeza decimétrica em planimetria são problemáticos em algumas situações, nomeadamente em estudos que envolvam a monitorização da linha de costa, usando, como indicador desse limite, a base do cordão dunar frontal

Face às presentes evidências foi desenvolvido um sistema multi-antena que visa corrigir os erros de planimetria e altimetria (Figura 4.3). Esse sistema consiste em duas antenas *GPS* colocadas transversalmente relativamente à direcção de movimento. Através do cálculo da posição de ambas as antenas, é estimado o ângulo de inclinação do braço que une a antena exterior ao solo, sendo este assim compensado. Considerou-se desnecessária a colocação de uma terceira antena para estimar a rotação do braço vertical relativamente ao eixo transversal do veículo (componente de mergulho). Esta opção surgiu na sequência da constatação de que junto à base da duna as variações de atitude do veículo ocorrem, essencialmente, na componente de inclinação lateral.

A opção pela utilização de um braço de apoio lateral tem como objectivo facilitar a monitorização da base da duna. No entanto, esse braço apresenta outro tipo de vantagens, mais concretamente ao nível da segurança para o operador no processo de monitorização da crista de bermas ou de escarpas de erosão talhadas em bermas (Figura 4.3 a). Também no caso da realização de perfis pela linha da baixa-mar, a utilização do braço lateral traduz-se em maior segurança e facilidade operacional (Figura 4.3 b).

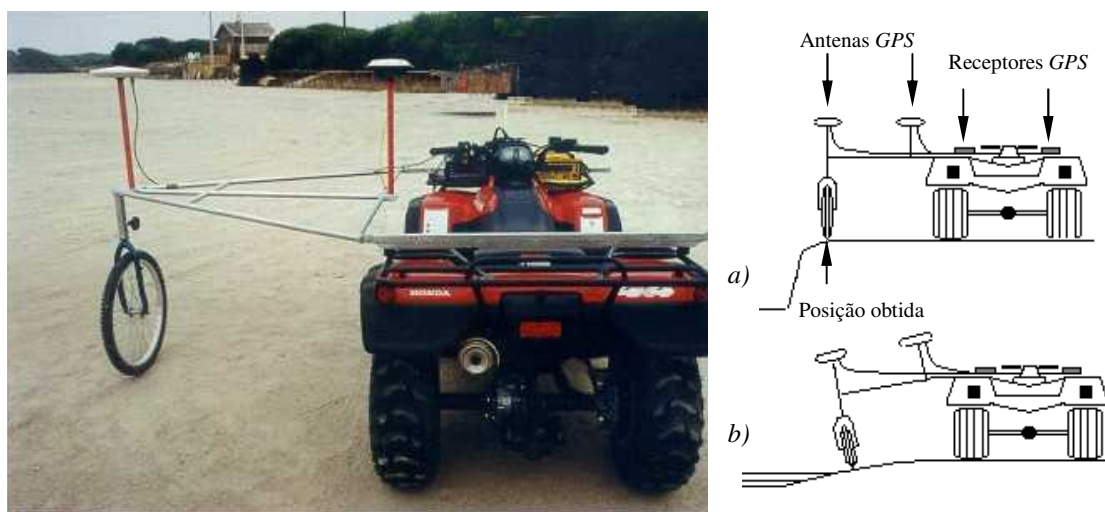


Figura 4.3: Sistema multi-antena *GPS* adaptado a veículo moto-quatro. a) monitorização de uma crista de berma de praia; b) monitorização do limite da baixa-mar.

O sistema do braço lateral foi desenvolvido de modo a poder ser facilmente aplicado ao veículo no início de cada campanha, podendo ser adaptado ao seu lado esquerdo, ou direito, de acordo com o interesse de monitorização. Foi prestada atenção à pressão do pneu da roda lateral, de forma a garantir que não ocorram variações significativas na altura da estrutura entre várias campanhas.

Um aspecto com que a utilização de uma estrutura metálica adaptada a um veículo se pode debater é a trepidação gerada pelo seu movimento. Essa trepidação, com conseqüente oscilação das antenas, pode originar um erro adicional na determinação da posição da base da roda. Tomando como referência a medida da distância entre as bases das antenas (1.185 m) apresenta-se, no gráfico da Figura 4.4, a variação dessa distância, provocada pela oscilação da estrutura durante uma campanha de observação.

A distância entre as duas antenas foi calculada a partir das diferenças entre as posições *GPS* obtidas em cada antena, para instantes de tempo comuns a ambas. Verifica-se que os resultados obtidos oscilam em torno do valor de referência, sendo a diferença máxima entre os resultados do teste e o valor de referência de 0.06 m. A média dessa diferença é de 0.001 m e o desvio padrão de 0.018 m.

As características apresentadas pelas praias dos segmentos do litoral da laguna de Aveiro são ideais para a utilização deste sistema. Estes segmentos prolongam-se longilitoralmente ao longo de vários quilómetros, sendo apenas interrompidos por obras de defesa costeira. Estas características permitem tirar partido da metodologia proposta para a realização de perfis longilitorais e transversais, com os quais é possível formar uma rede de perfis.

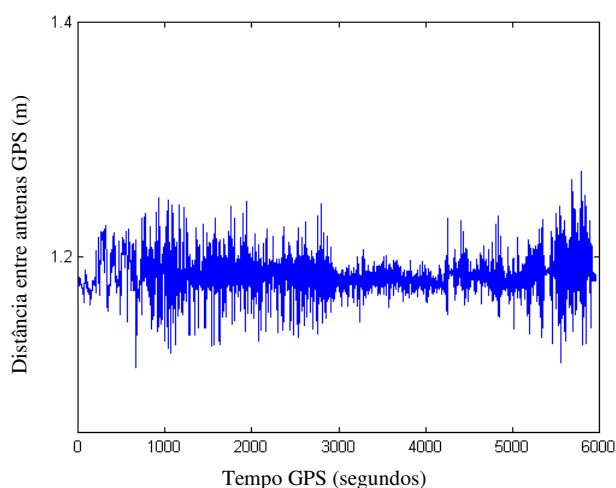


Figura 4.4: Variação da distância entre as bases das duas antenas *GPS* instaladas no veículo moto-quatro, calculada a partir dos ficheiros de posição para cada uma delas.

Uma vantagem decorrente da rapidez de execução consiste na capacidade de monitorizar, ao longo de vários quilómetros, o limite da baixa-mar. Outra vantagem prende-se com a possibilidade de monitorizar a praia após eventos de temporal.

3. Tratamento de dados *GPS*

O tratamento de dados inclui várias fases, nomeadamente o processamento, a análise dos resultados obtidos, a limpeza e filtragem das posições, as transformações de *data* e, finalmente, a interpolação.

É durante a fase de limpeza e filtragem das posições obtidas que se procede à extracção do perfil definidor da base da duna frontal para os estudos relacionados com a evolução da linha de costa. Após a fase de interpolação é obtido um *DEM* que permite realizar várias operações relacionadas com o cálculo de volumes e determinação de declives de face da praia. Essa informação, quando usada em conjunto com informação de agitação marítima, contribui para a caracterização morfodinâmica dos segmentos estudados. Apresenta-se, de seguida, as várias fases do tratamento de dados.

3.1 Processamento

O processamento de dados tem como objectivo obter as posições da estação móvel que correspondem, no presente estudo, às posições da base da roda transportada pelo operador, ou da base da roda adaptada lateralmente ao veículo moto-quatro. Em ambos os casos, são processadas as medidas de fase das portadoras, L1 e L2, utilizando técnicas de resolução de ambiguidades *OTF* (*On The Fly*) em pós-processamento.

O processamento é efectuado com recurso ao software comercial GeoGenius (Terrasat, 1998). Por vezes, algumas condicionantes relacionadas com a distribuição espacial dos satélites na constelação *GPS*, ou com a sua elevação durante o período das observações de campo, impediram, no pós-processamento, a recuperação da totalidade das posições. Nesses casos, recorreu-se ao software científico GPSRTK (Cunha, 2002) que, em virtude de uma maior robustez, proporcionou, em processamento cinemático, um melhor desempenho. Após o processamento, é gerado um ficheiro de posições cartesianas (X, Y, Z) ou geodésicas ($Lat, Long, H$), em *WGS84* (*World Geodetic System – 1984*), com respectivos desvios padrão, as quais se encontram associadas a uma etiqueta temporal.

O processamento *DGPS* permite obter as coordenadas do denominado centro de fase da antena *GPS* móvel (Figura 4.5). Conhecidos os parâmetros da antena, isto é, os valores numéricos que estabelecem as relações entre o centro de fase e a base da antena, ficam conhecidas as coordenadas da base da antena. Sendo a altura do bastão uma constante, esta pode ser inserida directamente no programa de processamento, permitindo, no final, obter as coordenadas da base do bastão, ou seja, do solo, no caso da base do bastão constituir o ponto de contacto com o solo.

Para o caso do sistema antena-simples, a altura do ponto inferior da roda, ou seja, do solo, pode ser obtida directamente a partir do processamento *GPS*, uma vez que a altura do bastão e da

roda transportadora é constante. O mesmo não se passa com o sistema multi-antena. Neste caso, é processada, de forma independente, cada uma das antenas *GPS*, relativamente à estação de referência.

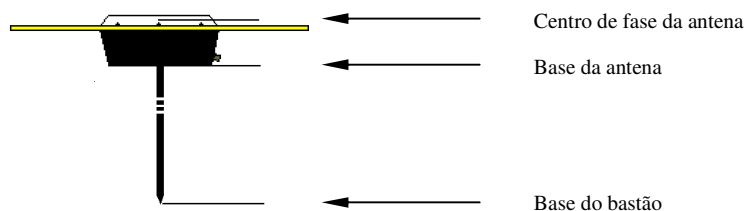


Figura 4.5: Exemplo de uma antena *GPS* e respectivo bastão, com indicação da localização do centro de fase da antena e das bases da antena e do bastão a que costumam estar referidas as coordenadas.

Após o processamento, são obtidos dois ficheiros do tipo (*Tempo GPS, Lat, Long, h*), cujas coordenadas estão referidas ao centro de fase das antenas. Estes ficheiros constituem as matrizes de entrada de um algoritmo desenvolvido com o objectivo de calcular a posição do ponto inferior da roda, para os instantes de tempo onde tenham sido calculadas, simultaneamente, posições *GPS* nas duas antenas.

3.2 Rotinas de análise e filtragem das posições obtidas

Após o processamento *GPS*, importa analisar os resultados obtidos e remover informação redundante para o processo subsequente, o qual visa a criação de *DEM*. Apresentam-se as rotinas utilizadas neste processo.

3.2.1 Análise de ficheiros de posições *GPS*

A análise dos resultados torna-se particularmente importante no caso do sistema multi-antena. Para proceder a essa análise, usam-se os nós da rede de perfis como pontos de controlo para verificação das soluções *GPS* obtidas. A análise pode ser realizada de forma gráfica, recorrendo a uma rotina desenvolvida para Matlab, o *GPSclean* (Cunha, 2002) (Figura 4.6).

Através da selecção de um nó da rede de perfis (a vermelho no gráfico da esquerda) representa-se, no gráfico da direita, a diferença de cota (a vermelho) entre as duas posições seleccionadas, as quais pertencem a dois perfis realizados numa mesma campanha. No caso concreto apresentado na Figura 4.6, a diferença obtida na componente altimétrica é de cerca de 0.02 metros.

O *GPSclean* permite igualmente remover, por selecção no gráfico, perfis que não tenham interesse para a análise pretendida. É nesta fase que se procede ao isolamento do perfil definidor da base da duna frontal, a partir de uma rede de perfis, para o estudo da evolução da linha de costa.

O processo de análise gráfica é moroso e não permite uma caracterização estatística das variações existentes. Recorreu-se, por isso, a uma análise matemática, utilizando um algoritmo que determina, para cada nó da rede, a diferença média de altitude entre dois pontos que distem um do outro um valor pré-definido.

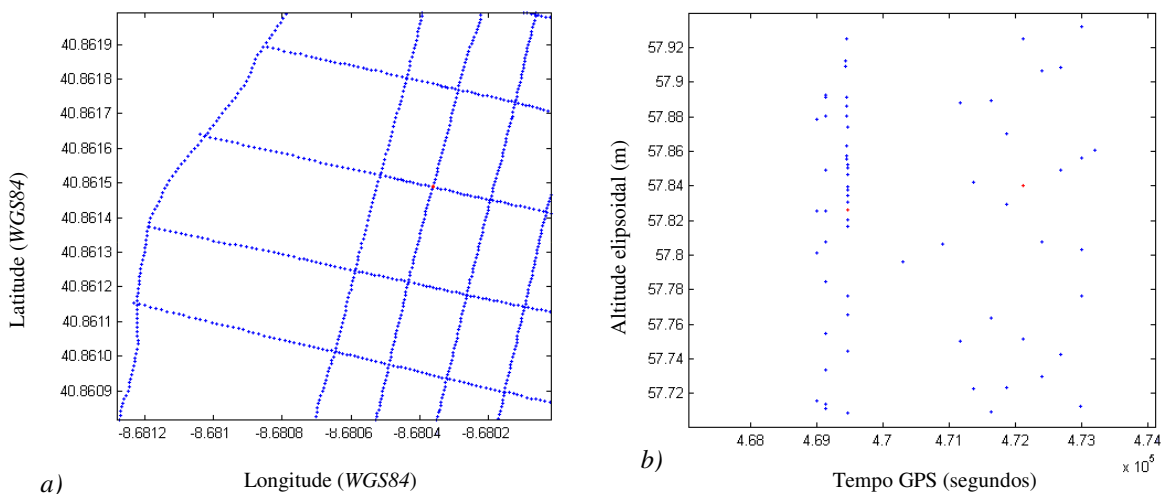


Figura 4.6: Representação gráfica de uma rede de perfis para análise da qualidade dos resultados na componente altimétrica. *a)* Representação planimétrica da rede de perfis, na qual foi seleccionado, a vermelho, o ponto de controlo a analisar; *b)* Representação, a vermelho, das cotas das duas posições mais próximas da intersecção dos perfis que foram seleccionados em *a*.

Tendo em conta a velocidade média de deslocação do veículo, de cerca de 5 m/s, torna-se difícil encontrar pontos no cruzamento de perfis relativamente próximos. Testaram-se várias distâncias relativas entre pontos localizados nos nós, e considerou-se 0.5 m como um valor aceitável para o teste. Para valores inferiores é difícil encontrar pares de pontos nos nós da rede.

Na Figura 4.7 representa-se a distribuição das diferenças altimétricas encontradas para os pares de pontos considerados no teste realizado e, na Tabela 4.1, indica-se os resultados da análise estatística, relativa aos pares de pontos considerados.

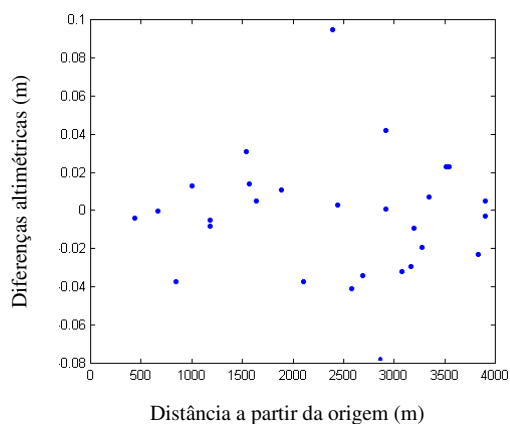


Figura 4.7: Representação das diferenças altimétricas entre pares de pontos pertencentes a perfis distintos que se interceptam num nó, a uma distância mínima de 0.5 m.

Tabela 4.1: Diferenças obtidas na componente altimétrica para posições situadas a menos de 0.5 m nos nós da rede de perfis.

Campanha	Média das diferenças em cota	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão
(Mar/2002)	-0.003	0.094	-0.078	0.032

3.2.2 Rotina para filtragem das posições

O processo de aquisição de dados, independentemente de ser realizado a pé ou por meios motorizados, inclui paragens no percurso e variações de velocidade ao longo do mesmo. Considerando uma cadência de observação de 1 segundo, sempre que o operador se imobiliza no trajecto, ou diminui a sua velocidade, aumenta a densidade das posições no perfil. O aumento da densidade das posições, ou mesmo a concentração de uma nuvem de posições num único ponto por imobilização do operador, além de ter carácter redundante, cria problemas ao processo automático de interpolação.

Foi utilizada uma rotina para Matlab, designada Spacepos (Cunha, 2002), que elimina, a partir de um ficheiro de entrada com quatro colunas (*tempo GPS, Lat, Long, h*), todas as posições situadas a menos de x metros de cada posição do ficheiro. O processo é iterativo, percorrendo todo o ficheiro. Adoptou-se para x o valor de 1 metro por se considerar ser este um valor aceitável como distância mínima entre duas posições. Resulta, da aplicação desta rotina, uma grelha de pontos coordenados devidamente espaçados.

3.3 Conversões de *data*

O GPS adopta um *datum* geodésico global, o WGS84, o qual é definido em função de um sistema cartesiano tridimensional (X, Y, Z). As coordenadas neste *datum* podem ser determinadas sob a forma geodésica ($Lat, Long, h$) ou cartesiana (X, Y, Z). A altitude elipsoidal é definida como o comprimento, medido sobre a normal ao elipsóide, da superfície deste até ao ponto considerado.

Em Portugal continental utiliza-se um *datum* geodésico local, recorrendo ao elipsóide Hayford, com ponto de fixação em Melriça. Relativamente a este *datum* geodésico foi adoptada a projecção Gauss-Kruger, cujo ponto central é também Melriça. O sistema de projecção assim constituído, denominado Hayford-Gauss-Melriça, é vulgarmente conhecido por *Datum 73 (D73)*, ao qual está actualmente referida a rede geodésica nacional. As questões práticas de planimetria referem-se a este sistema, que tem associado um sistema de coordenadas cartesianas bidimensionais (M, P).

As questões relacionadas com a altitude são remetidas, em Portugal Continental, para o *datum* altimétrico de Cascais, com origem no marégrafo de Cascais. Relativamente a este *datum* altimétrico são calculadas as altitudes ortométricas.

Tendo em conta que os dados são adquiridos por *GPS* e, por conseguinte, num *datum* diferente do utilizado na cartografia nacional, surge a necessidade de proceder a transformações de coordenadas. Para proceder à transformação de coordenadas entre dois sistemas utilizam-se os designados parâmetros de transformação, os quais descrevem as relações geométricas entre os dois sistemas.

Existem vários programas informáticos que, com base no conhecimento dos parâmetros de transformação (fornecidos oficialmente pelo IGP), transformam as coordenadas entre os dois sistemas. Normalmente, a transformação de coordenadas cartesianas entre dois sistemas segue o modelo de Bursa-Wolf e a transformação entre coordenadas geodésicas segue o modelo de Molodensky.

A utilização de parâmetros de transformação entre dois sistemas não invalida que, no plano cartográfico, possam ocorrer deformações. Em rigor, essas deformações só não ocorrem na origem do sistema. No caso do D73 são de prever deformações, em planimetria, da ordem do metro, no território de Portugal continental.

No que respeita ao presente estudo, a aquisição de dados por *GPS* em *WGS84* e a sua posterior conversão para D73, com recurso aos parâmetros nacionais, não compromete a análise subsequente, uma vez que, em termos relativos, existe coerência entre os dados. Já as questões respeitantes à altitude merecem uma análise mais cuidada, uma vez que a distribuição de volumes na praia e a variação de declives da face da praia são função do nível de referência adoptado.

Em *WGS84*, as altitudes são elipsoidais, tal como referido anteriormente, e as altitudes referidas ao *datum* altimétrico de Cascais são ortométricas. A variação da diferença entre ambas constitui a ondulação do geóide, por vezes designada de altitude geoidal, denotada por *N*, a qual varia no espaço.

Os programas de processamento de dados *GPS* possuem, normalmente, a possibilidade de introduzir um modelo de geóide associado a um dado *datum* altimétrico, o que permite obter, automaticamente, a partir das coordenadas elipsoidais, as coordenadas ortométricas. No caso português ainda não existe um modelo de geóide, pelo que têm de ser usados métodos expeditos para a determinação de modelos locais de altitude referidos ao *WGS84*.

Para zonas restritas, com uma área de aproximadamente 1 km^2 , é suficiente o levantamento de uma marca de nivelamento por *DGPS* estático, desde que situada nessa zona. A diferença entre a altitude elipsoidal obtida por *GPS* e a cota ortométrica da respectiva marca define um modelo simples de altitude constante. Este modelo despreza a variação de altitude do geóide, relativamente ao elipsóide, que é de cerca de 2 cm por km (Marreiros, 2002).

Para zonas maiores define-se um modelo local de ondulação do geóide. Para o estabelecimento desse modelo realiza-se o levantamento, por *DGPS* estático, de várias marcas de

nivelamento situadas na região em estudo. A partir do valor da ondulação do geóide obtido, N , procede-se ao ajuste polinomial dos resultados, normalmente segundo um polinómio de primeiro grau, que permite definir um plano para a região considerada. Apresenta-se, de seguida, um exemplo para o caso concreto da Foz do Douro.

Neste caso, procedeu-se ao levantamento, por *DGPS* estático, de cinco marcas de nivelamento distribuídas numa área de 4 km². A partir das alturas elipsoidais obtidas (h) e tendo como referência as alturas ortométricas (H) referidas ao NMM, calcularam-se os valores de N (altitude geoidal ou ondulação do geóide) para os cinco pontos (Tabela 4.2). Posteriormente, determinou-se a superfície que melhor se ajusta aos valores obtidos (Figura 4.8), cuja fórmula a seguir se apresenta:

$$P(M, P) = 0.0000036918 M + (-0.0000142149) P + 57.333116. \quad (4.1)$$

Tabela 4.2: Coordenadas de marcas de nivelamento, levantadas por *DGPS*, localizadas na Foz do Douro. As alturas referidas ao NMM foram gentilmente cedidas pelo Administração de Portos do Douro e Leixões (APDL). Todos os valores apresentam o metro como unidade de referência.

Estações posicionadas	M (D73)	P (D73)	h (WGS84)	H (NMM)	N
Terminal (Base Sul)	-48309.908	167449.035	67.679	12.897	54.782
Cantareira	-44862.413	164384.026	59.100	4.270	54.830
Marégrafo Leixões	-47897.418	168637.485	58.998	4.227	54.771
Molhe Norte (farolim)	-48272.639	167843.012	63.391	8.668	54.723
Terminal (Base Norte)	-48327.599	167507.678	67.755	12.954	54.801

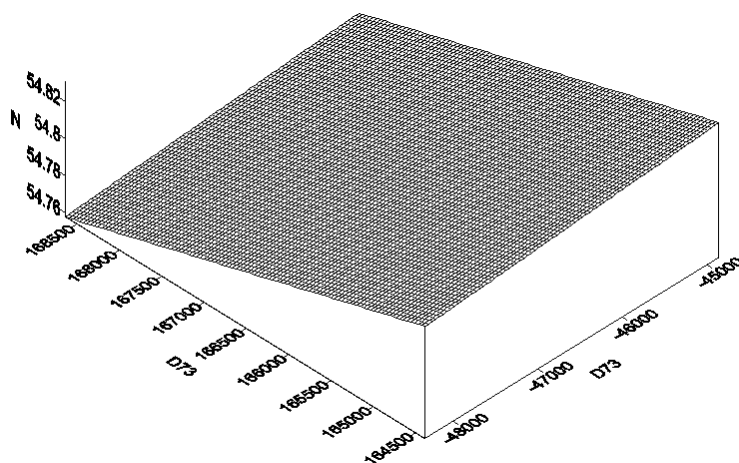


Figura 4.8: Modelo de geóide, referido ao NMM, calculado para a Foz do Douro. N: Ondulação do geóide.

4. Validação da metodologia

A validação de uma determinada metodologia envolve a necessidade de cumprir três requisitos relacionados com a exactidão, precisão e repetibilidade.

O conceito de exactidão está associado à capacidade que um dado método possui em produzir resultados fiáveis. O conceito de precisão está associado à capacidade que um dado método possui de produzir resultados coerentes entre si. O conceito de repetibilidade está associado à capacidade de reproduzir resultados similares, para as mesmas condições de observação, em diferentes épocas de observação.

Apresentam-se, de seguida, os resultados obtidos nos diversos testes realizados, visando a validação da metodologia desenvolvida.

4.1 Exactidão

Foram realizados testes que recorreram à comparação entre duas técnicas de posicionamento geodésico, a estação total (Figura 4.9 a) e o *GPS* (Figura 4.9 b). Foram efectuados perfis transversais à linha de costa com estação total e comparados os resultados com os obtidos por intermédio de *DGPS* cinemático realizado pelo sistema antena-simples. Para a realização dos perfis utilizaram-se duas bandeirolas que foram alinhadas pelas estacas existentes na cabeça dos perfis (crista da duna frontal), de forma da permitir o seu alinhamento.

O primeiro teste consistiu na realização de perfis com estação total, tendo-se procedido ao posicionamento do bastão que transporta a mira a intervalos regulares de cerca de 10 m. O bastão foi enterrado 0.07 m na areia, até uma referência inscrita na sua base.

O segundo teste consistiu na realização dos mesmos perfis por *DGPS* cinemático. O operador percorreu os perfis, utilizando, como referência, as bandeirolas localizadas na cabeça dos perfis e as marcas deixadas na areia do bastão que transporta a mira.

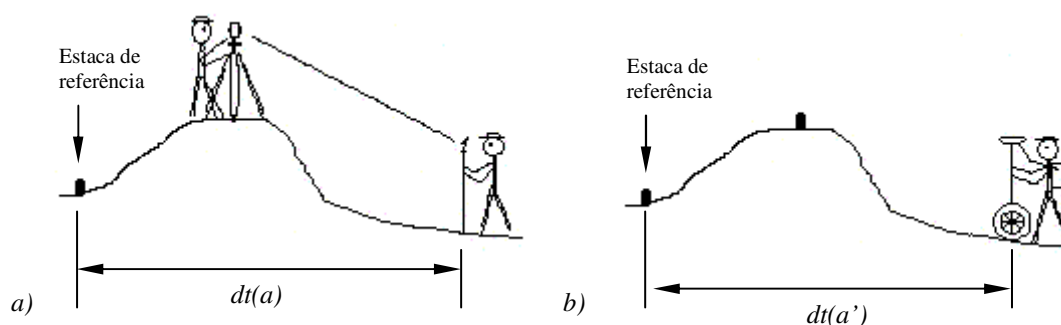


Figura 4.9: Representação esquemática dos testes realizados. *a)* Levantamento com estação total. *b)* Levantamento com *DGPS*. Para cada posição calculou-se a distância relativamente a uma estaca de referência.

Conforme indicado, no instante de tempo t é obtida a distância dt do ponto de fixação da mira ou da base da roda *GPS*, relativamente a uma estaca de referência localizada atrás da duna

frontal. Nos dois testes foram utilizados os mesmos sistemas de referência, o D73 para a planimetria e, relativamente à altimetria, as coordenadas foram referidas ao NMM. Na Tabela 4.3 apresentam-se os resultados obtidos para as duas técnicas, sob a forma de distâncias relativas a uma estaca de referência, segundo as três componentes do espaço (X , Y , Z). Apresentam-se também as diferenças entre os resultados, considerando dois perfis, nos quais foram levantados um total de 11 pontos.

A partir da análise da tabela 4.3 verifica-se que as diferenças entre as duas técnicas são de ordem centimétrica. Tanto em planimetria como em altimetria, as médias dessas diferenças são inferiores a 3 centímetros. Os desvios padrão são ligeiramente mais elevados na componente planimétrica, possivelmente devido ao facto de, em *DGPS*, os perfis serem realizados em modo cinemático.

Tabela 4.3: Comparação entre as distâncias obtidas pela Estação Total e as distâncias obtidas por *DGPS* cinemático em dois perfis de praia, relativamente a uma estaca de referência. Stdev (= desvio padrão).

	Estação Total (m)			<i>DGPS</i> cinemático (m)			Diferenças (m)		
	X (a)	Y (a)	Z (a)	X (a')	Y (a')	Z (a')	X (a-a')	Y (a-a')	Z (a-a')
Perfil 1									
P1	-62.333	19.454	0.941	-62.299	19.484	0.947	-0.034	-0.030	-0.006
P2	-54.466	17.386	1.493	-54.486	17.372	1.521	0.020	0.014	-0.028
P3	-46.881	15.283	2.129	-46.825	15.344	2.140	-0.056	-0.061	-0.011
P4	-39.480	13.058	2.938	-39.499	13.056	2.976	0.019	0.002	-0.038
P5	-36.594	12.044	3.606	-36.597	12.097	3.626	0.003	-0.053	-0.020
Média							-0.010	-0.026	-0.021
Stdev.							0.034	0.033	0.013
Perfil 2									
P1	-76.756	4.723	0.163	-76.767	4.655	0.188	0.011	0.068	-0.025
P2	-68.828	2.877	0.535	-68.825	2.893	0.557	-0.003	-0.016	-0.022
P3	-61.625	0.847	1.020	-61.636	0.826	1.062	0.011	0.021	-0.042
P4	-55.121	-1.185	1.550	-55.102	-1.167	1.566	-0.019	-0.018	-0.016
P5	-49.016	-2.954	2.054	-49.010	-2.971	2.077	-0.006	0.017	-0.023
P6	-42.927	-5.213	2.654	-42.962	-5.171	2.662	0.035	-0.042	-0.008
Média							0.005	0.005	-0.023
Stdev.							0.019	0.039	0.011

4.2 Precisão

A precisão foi avaliada através da análise comparada dos resultados obtidos pelas metodologias antena simples e multi-antena, e por medidas *DGPS* estático. Realizou-se, inicialmente, um teste em que foram comparadas as metodologias antena-simples e multi-antena.

Adoptou-se uma superfície horizontal e consistente, como é o caso de uma superfície alcatroada. Nessa superfície definiu-se uma rede quadrangular, na qual os cantos foram usados como pontos de controlo *DGPS* estático (Figura 4.10). Os cantos foram posicionados por *DGPS* estático durante cerca de 20 minutos, à cadência de 5 segundos (pontos P1 a P4, a vermelho, na

Figura 4.10). Posteriormente, a rede foi percorrida pelo sistema multi-antena (a azul, na Figura 4.10) e pelo sistema antena-simples (a amarelo, na Figura 4.10), com cadência de observação de 1 segundo.

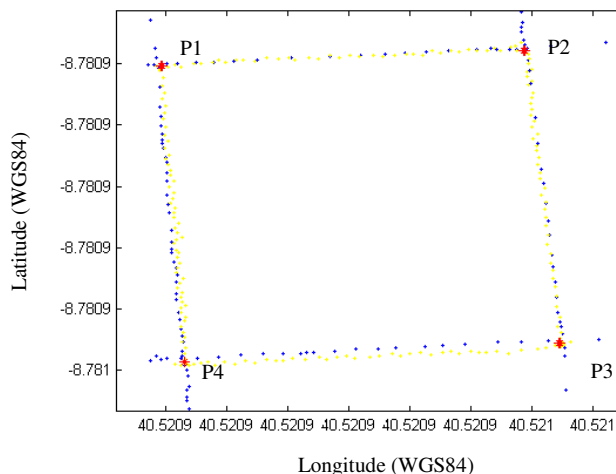


Figura 4.10: Representação do teste de comparação dos resultados obtidos pelos sistemas multi-antena e antena-simples com *DGPS* estático.

Na tabela 4.4 apresentam-se as coordenadas cartesianas obtidas em posicionamento estático, e respectivos desvios padrão, para os pontos P1 a P4 da rede quadrangular. Apresentam-se também as diferenças obtidas no sistema antena-simples e no sistema multi-antena, para cada uma das componentes (X , Y , Z), relativamente aos quatro pontos de controle estático, bem como os respectivos desvios padrão.

Tabela 4.4: Coordenadas cartesianas de quatro pontos de controle estático, identificados na Figura 4.10, e respectivos desvios padrão, bem como as diferenças obtidas pelos sistemas antena-simples e multi-antena relativamente às anteriores.

Pontos de controle	X (WGS84)	Y (WGS84)	Z (WGS84)	σ_x	σ_y	σ_z
Controlo estático						
P1	4798458.948	-741207.234	4122166.770	0.0004	0.0002	0.0004
P2	4798460.431	-741199.259	4122166.152	0.0006	0.0003	0.0003
P3	4798464.592	-741200.326	4122161.134	0.0003	0.0002	0.0003
P4	4798463.256	-741208.423	4122161.607	0.0003	0.0002	0.0003
Sistema antena-simples	Dif. X	Dif. Y	Dif. Z	σ_x	σ_y	σ_z
Posição mais próxima de P1	0.009	-0.001	0.015	0.0030	0.0030	0.0080
Posição mais próxima de P2	-0.011	-0.011	0.018	0.0040	0.0040	0.0110
Posição mais próxima de P3	-0.085	0.006	0.069	0.0100	0.0100	0.0260
Posição mais próxima de P4	-0.011	0.042	0.007	0.0100	0.0110	0.0280
Sistema multi-antena	Dif. X	Dif. Y	Dif. Z	σ_x	σ_y	σ_z
Posição mais próxima de P1	0.084	0.024	-0.069	0.009	0.009	0.026
Posição mais próxima de P2	0.006	0.001	-0.016	0.008	0.008	0.023
Posição mais próxima de P3	-0.034	0.078	0.040	0.008	0.008	0.022
Posição mais próxima de P4	-0.019	-0.009	0.011	0.007	0.007	0.019

O segundo teste foi realizado em condições de monitorização, numa zona da média praia com cerca de 2580 m² (Figura 4.11 a). Foi estabelecida uma rede de perfis longitudinais e transversais à linha de costa, a qual foi observada pelas metodologias antena-simples e multi-antena. Utilizaram-se os sulcos produzidos na areia pelo sistema de observação multi-antena para realizar as observações pelo sistema de observação antena-simples.

Para avaliação da precisão foram utilizados os cruzamentos de perfil como pontos de controlo da componente altimétrica. Na Figura 4.11 b representam-se as diferenças na componente altimétrica, nos pontos de controlo, sempre que a diferença para os pares de coordenadas planimétricas dos dois sistemas é inferior a 0.05 m. Os resultados obtidos indicam valores médios, na diferença, entre os 0.01 e 0.02 m.

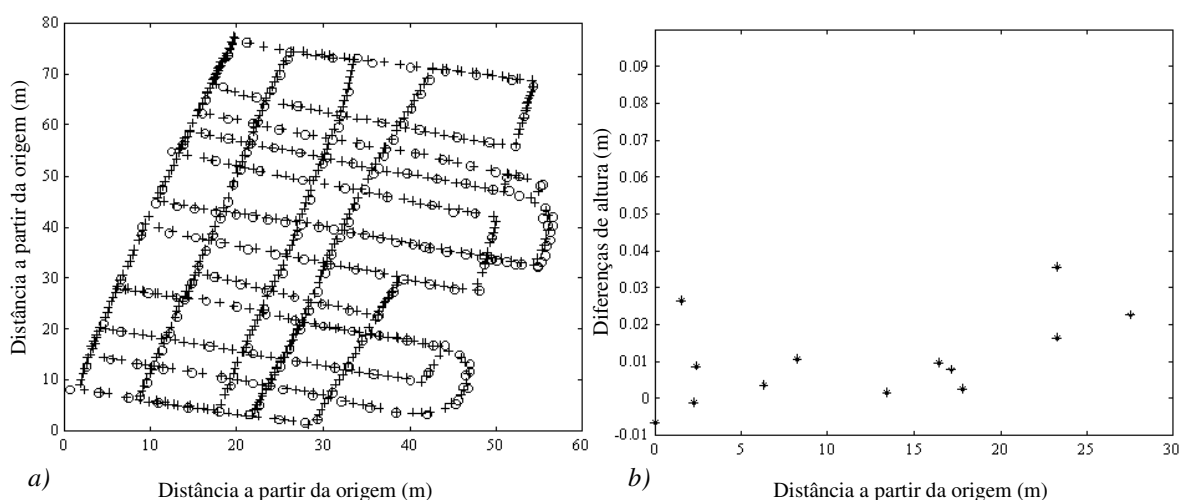


Figura 4.11: Representação de redes de perfis realizadas pelas metodologias desenvolvidas e respectivas diferenças na componente altimétrica. a) Rede de perfis realizada pelas metodologias da antena-simples (+) e multi-antena (o). b) Diferenças obtidas entre os dois sistemas na componente altimétrica.

Procedeu-se também ao cálculo dos volumes obtidos por interpolação das redes definidas pelas duas metodologias. Para a interpolação recorreu-se ao método *TIN* (*Triangular Irregular Network*), o qual permitiu a obtenção da superfície que se indica na figura 4.12.

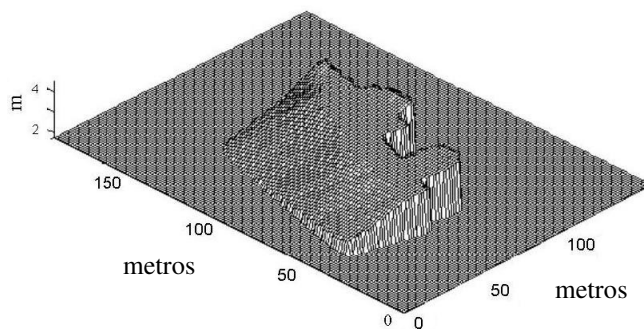


Figura 4.12: Superfície representativa do *DEM* para a rede de dados obtida a partir do sistema antena-simples transportado pelo observador e indicada na Figura 4.11 a.

As diferenças volumétricas obtidas entre os dois *DEMs* é de 47 m^3 , relativamente a uma área comum de 2580 m^2 , o que permite estimar uma diferença, na altura média entre as duas superfícies, de 0.018 m .

4.3 Repetibilidade

A repetibilidade pode ser avaliada em posicionamento estático e cinemático. Apresentam-se os resultados relativos ao posicionamento estático.

O posicionamento *DGPS* estático para linhas de base superiores a 30 km requer tempos de observação superiores aos normalmente adoptados para bases curtas (inferiores a 30 km). No presente caso, foi desenvolvido trabalho de campo em locais relativamente afastados da rede nacional de estações permanentes do IGP. Por conseguinte, houve necessidade de estabelecer estações de referência locais.

Uma dessas estações foi estabelecida no Marco Geodésico do Areão (MG-Areão), localizado na região de Aveiro. Para o estabelecimento desta estação foi efectuada uma ligação *DGPS* de 3 dias, com sessões de 24 horas, entre a estação permanente do IGP, situada em V.N.Gaia (IGP-Gaia) e o MG-Areão.

O estabelecimento de uma ligação de vários dias visa tirar partido de algumas variáveis que afectam a solução *GPS*, mais concretamente da variação da geometria da constelação de satélites *GPS* e da variação da ionização da atmosfera pela actividade solar, para compensar algumas das fontes de erro no posicionamento para bases superiores a 30 km .

Verificou-se, contudo, que o MG-Areão que se encontra implantado numa torre da guarda-florestal não é de fácil acesso, criando problemas logísticos para as campanhas de monitorização da praia. Para ultrapassar essa limitação adoptaram-se procedimentos expeditos, de modo a garantir que, em todas as campanhas de campo, fosse possível dispor de uma estação de referência próxima dos locais onde decorriam os trabalhos de monitorização.

Esses procedimentos consistiram no estabelecimento de uma segunda estação de referência na praia, usando, para isso, uma estaca de madeira enterrada na duna. Essa estaca, designada *P0*, foi posicionada relativamente ao MG-Areão, que se situa a cerca de 2 km , durante $1\text{h}30\text{m}$. Apresentam-se, na Tabela 4.5, a negro, as coordenadas cartesianas em *WGS84*, obtidas, nessa ligação, relativamente ao MG-Areão.

O teste de repetibilidade realizado consistiu no posicionamento da estaca *P0* em diferentes épocas de observação, relativamente à IGP-Gaia. O objectivo prendeu-se com a avaliação da repetibilidade para linhas de base superiores a 30 km . Para cumprir os requisitos dos testes de repetibilidade, só se consideraram observações realizadas pelo mesmo instrumento de medida (um receptor *GPS* - marca Trimble e modelo 4000 SSe), realizadas pelo mesmo operador, durante o

mesmo tempo de observação (1h30m) e com a mesma cadência de observação (30 segundos). A linha de base considerada neste teste tem cerca de 67 km.

Na Tabela 4.5 apresentam-se os resultados obtidos, com indicação das coordenadas cartesianas *WGS84*, em várias épocas de observação, e das diferenças, segundo as três componentes (*X*, *Y*, *Z*), entre essas coordenadas e as que foram obtidas, inicialmente, na ligação com o MG-Areão. Com excepção do posicionamento realizado em 6 de Setembro de 2002, em todos os casos as diferenças entre medidas são, geralmente, iguais ou inferiores a 0.05 m.

Tabela 4.5: Indica-se, a negro, as coordenadas cartesianas, em *WGS84*, da estação *P0*, localizada no Areão, relativamente ao MG-Areão. Indicam-se, a itálico, as coordenadas cartesianas, em *WGS84*, da estação *P0*, relativamente à estação do IGP-Gaia. Apresentam-se as diferenças entre as coordenadas obtidas deste modo e as que foram obtidas pela ligação com o MG-Areão.

Estação <i>P0</i> - Areão	X	Y	Z			
19-Nov-01	4798771.003	-741409.201	4121772.337			
	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Z</i>	Dif. X	Dif. Y	Dif. Z
19-Dez-01	<i>4798770.993</i>	<i>-741409.201</i>	<i>4121772.364</i>	-0.010	0.000	0.027
30-Jan-02	<i>4798770.993</i>	<i>-741409.202</i>	<i>4121772.388</i>	-0.010	0.001	0.051
19-Fev-02	<i>4798770.979</i>	<i>-741409.193</i>	<i>4121772.370</i>	-0.024	-0.009	0.033
15-Mai-02	<i>4798771.000</i>	<i>-741409.190</i>	<i>4121772.350</i>	-0.003	-0.011	0.013
06-Set-02	<i>4798770.909</i>	<i>-741409.187</i>	<i>4121772.361</i>	-0.094	-0.014	0.024

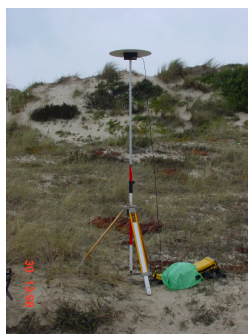


Figura 4.13: Estação de referência local (*P0*) instalada sobre uma estaca, na praia do Areão.

5. Geração de modelos de elevação do terreno

O processo que visa a obtenção de um *DEM* envolve duas fases. A primeira diz respeito à recolha de informação de base e a segunda consiste na utilização dessa informação para a obtenção da superfície do *DEM*, recorrendo, para isso, a métodos de interpolação. A precisão final do modelo está directamente relacionada com as precisões obtidas nas duas fases referidas.

Relativamente à precisão no processo de recolha da informação de base, podemos considerar três factores determinantes: a técnica utilizada, as características da superfície do terreno e a densidade da informação recolhida. No que concerne à precisão no processo subsequente, que visa a obtenção da superfície do *DEM*, temos a precisão do método de interpolação. A precisão da

metodologia utilizada foi avaliada em IV-4.2, pelo que se apresentam, de seguida, os restantes factores.

5.1 Características da superfície do terreno

A superfície do terreno é, por definição, um aspecto subjectivo no processo de avaliação da precisão do modelo final, pelo que apenas aspectos descritivos podem ser tidos em consideração.

As praias podem ser consideradas como superfícies privilegiadas para a criação de *DEM*. Contribui, para isso, o facto das praias não apresentarem, normalmente, variações bruscas de declive. A suavidade na forma com que se apresentam as morfologias numa praia contrasta com o que se passa nos sistemas dunares, onde as variações bruscas de declive são uma constante. Contudo, deve ter-se em atenção que um perfil de Verão é significativamente distinto de um perfil de Inverno, acentuando-se essa diferença por ocasião de temporais. A presença de um perfil de praia dissipativo traduz-se numa quase ausência de formas, o que contrasta com um perfil de praia reflectivo. Estes aspectos devem ser considerados pelo operador e devem condicionar a densidade de informação a recolher.

5.2 Densidade da informação recolhida

As características da superfície do terreno constituem a base para avaliação da densidade de informação que deverá ser obtida. A recolha dessa informação deve ser proporcional à densidade das morfologias presentes na praia, tendo em conta o facto de que é difícil estabelecer uma relação quantitativa entre ambas. Em princípio, quanto maior a densidade de perfis melhor a qualidade do modelo final. Todavia, um volume de informação demasiado denso pode constituir uma redundância relativamente ao resultado final, além dos custos adicionais, em termos de duração da campanha, bem como das dificuldades acrescidas, relacionadas com algumas rotinas de processamento. Em oposição, um volume de informação demasiado escasso pode impedir uma representação satisfatória da superfície monitorizada.

O facto de se deixar, ao operador, a decisão sobre a densidade de informação a recolher constitui, por si só, a introdução de um factor subjectivo no processo de aquisição. A forma como a presente metodologia foi desenvolvida não deixa muitos graus de liberdade à forma de aquisição da informação. Duas possibilidades podem ser consideradas. A primeira consiste na predefinição de uma rede de perfis para uma dada área geográfica, os quais devem ser monitorizados, cumprindo escrupulosamente os alinhamentos predefinidos em todas as campanhas que possam vir a ser realizadas nessa área. Essa possibilidade exige, porém, a incorporação de um sistema de tempo real (= “*Real Time kinematics*” – *RTK*) à metodologia desenvolvida. Nesse caso, e em teoria, deixa de haver subjectividade na aquisição de dados, por ser retirada, ao observador, a possibilidade de

opção em cada situação. A segunda possibilidade consiste em dar, ao operador de campo, a liberdade de escolha da rede de perfis a ser monitorizada em cada campanha de observação.

Atendendo às elevadas taxas de recuo da linha de costa nos últimos anos, as quais atingem, por vezes, algumas dezenas de metros num único ano, a primeira opção obriga a uma constante redefinição da rede de perfis em função da translacção do perfil transversal da praia. Além disso, as alterações sazonais da praia dificilmente se coadunam com uma rede estática predefinida.

A Figura 4.14 representa, esquematicamente, as variações do perfil de praia impostas por um evento de temporal. Em 4.14 *a*, figura representativa da situação anterior ao temporal, o perfil evidencia duas bermas. Após este evento ocorreu ligeiro rebaixamento do perfil e formou-se uma escarpa de erosão (Figura 4.14 *b*). Os perfis longitudinais, assinalados no corte esquemático por bolas a negro, foram definidos na situação *a* e permitem, após a sua interpolação, a criação de um modelo que se aproxima da realidade. A interpolação está representada pelas linhas a vermelho. Na situação *b*, utilizando os mesmos perfis, tal já não acontece.

Face às presentes considerações, optou-se por dar ao observador, em cada campanha, a liberdade de escolha da densidade da rede de perfis e dos locais mais convenientes para a sua realização, considerando, contudo, que os mesmos devem ser sempre monitorizados ao longo das direcções por onde ocorre variação de declive da superfície do terreno.

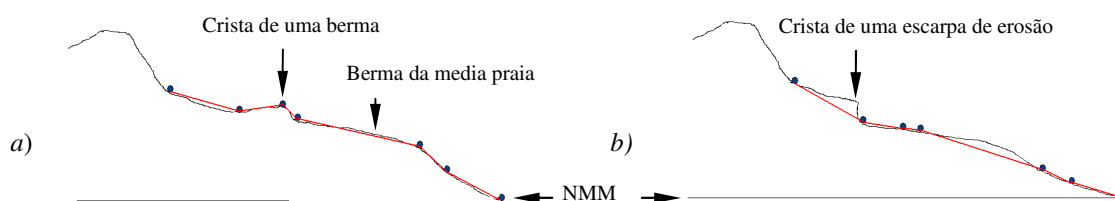


Figura 4.14: Representação esquemática de uma interpolação a partir de uma rede de perfis predefinida. *a*) Época de monitorização em que foi definida a rede de observação. *b*) Monitorização efectuada posteriormente, com base na mesma rede de perfis.

Foram realizados testes para averiguar o que pode ser considerado como densidade suficiente, excessiva e deficiente, e também para avaliar a influência da localização dos perfis nos resultados obtidos após interpolação. Tomou-se como referência, nestes testes, o volume calculado a partir de um *DEM* gerado com base numa rede de perfis de elevada densidade. Como ponto de partida considerou-se uma rede de perfis obtida numa das campanhas de observação, a qual se ilustra, a azul, na Figura 4.15.

O espaçamento médio dos perfis transversais à costa respeita o comprimento médio das formas rítmicas presentes, as cúspides, enquanto que o espaçamento médio dos perfis longitudinais respeita a gradual variação do perfil transversal de uma praia com duas bermas e uma face de praia bem desenvolvida.

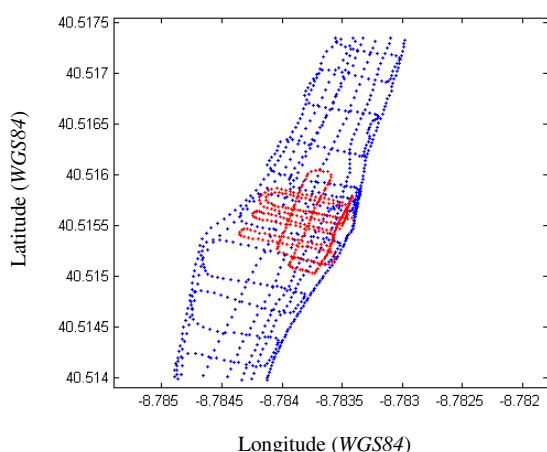


Figura 4.15: Representação, a azul, de uma rede de perfis, realizada a Sul da Vagueira, em Março de 2002, na qual foi seleccionada uma zona em que se intensificou a densidade de perfis (indicada a vermelho).

Os perfis adicionais, indicados a vermelho, não demarcam nenhuma morfologia em especial, pretendendo apenas introduzir informação redundante e avaliar a sua influência no volume calculado. A partir da rede de perfis indicada na Figura 4.15, extraiu-se uma secção, com cerca de 80 metros de extensão e 80 m de largura, a qual inclui os perfis indicados a vermelho. Nesse domínio consideraram-se 6 casos, conforme se indica na Figura 4.16 *a a f*.

Em *a* considera-se a densidade normalmente utilizada nos trabalhos de campo. Em *b* é considerada a densidade normal à qual foi adicionada uma outra rede de perfis mais densa.

Os casos *c* e *d* representam a rede definida em *a*, mas à qual foram removidos os perfis transversais, em *c*, e longitudinais, em *d*.

Os casos *e* e *f* pretendem representar perfis transversais e longitudinais pouco representativos para a secção monitorizada, ou seja, perfis que não foram realizados ao longo de direcções onde ocorre variação do declive da superfície do terreno. Os limites da secção em estudo são os mesmos em todos os casos.

Na Tabela 4.6 apresentam-se algumas características relativas à rede de perfis, definida em cada um dos seis casos, bem como os resultados obtidos após a interpolação. Para a interpolação recorreu-se ao método *TIN*.

Considera-se a grelha obtida por interpolação da rede de perfis definida em *b*, como sendo de referência em relação à qual se comparam os outros casos. Os resultados obtidos permitem verificar que entre as situações *a* e *b* não há uma diferença significativa de volume. A diferença de volume é, nesse caso, de 62 m³, correspondendo a uma diferença média de altura, entre as duas grelhas interpoladas, de cerca de 0.009 m. Também as grelhas *c* e *d*, obtidas por interpolação, não se afastam muito do volume calculado em *b*, muito embora apresentem deficiências em termos de distribuição de perfis. O mesmo não acontece em *e* e *f*, situações em que os volumes obtidos se

afastam do volume de referência, b . Estimou-se uma diferença média de altura entre a grelha e e a grelha de referência, b , de 0.04 m. Para f , essa diferença é de -0.09 m.

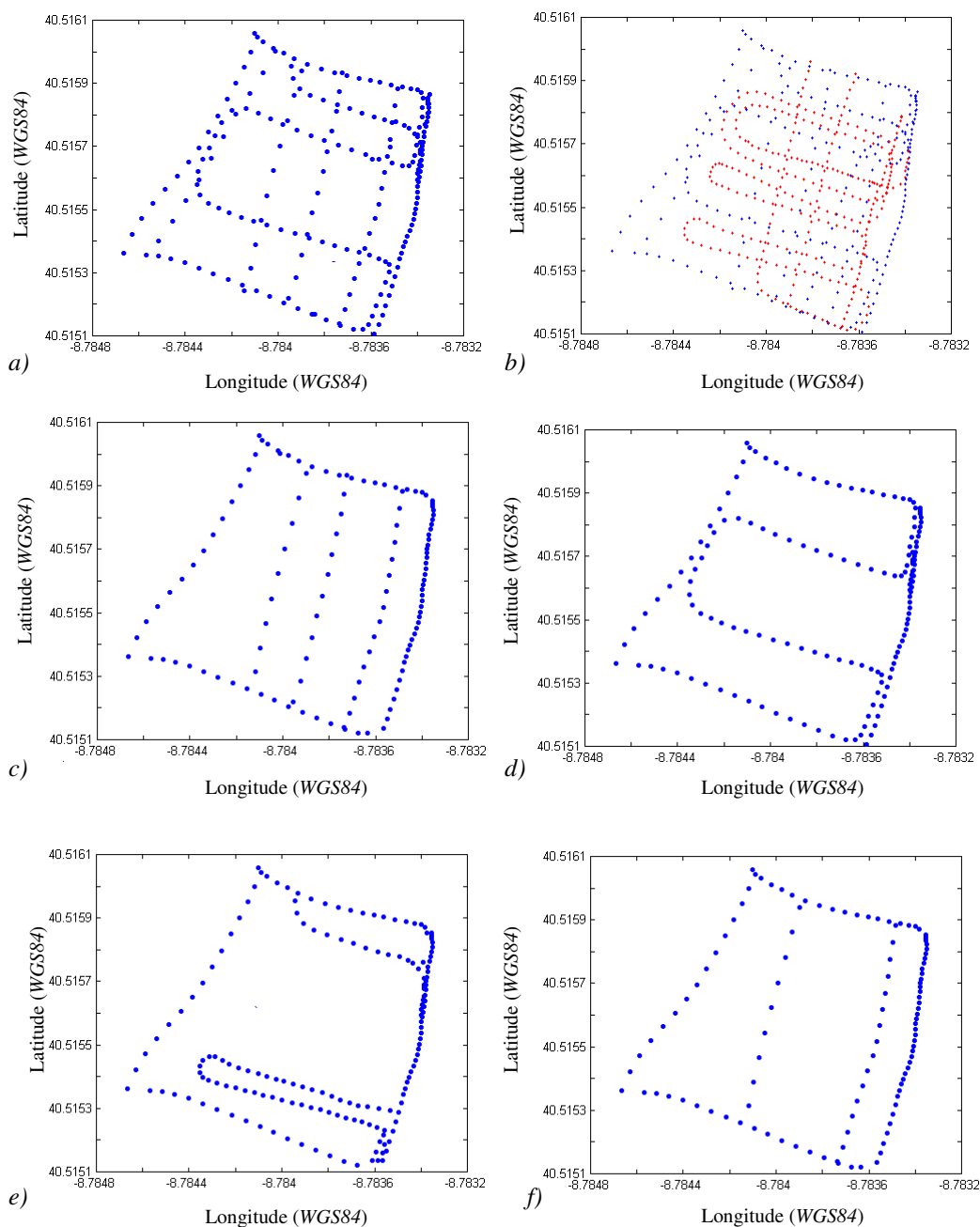


Figura 4.16: Representação de 6 níveis de densidade da rede de perfis. *a)* Densidade média adoptada nos trabalhos de campo; *b)* Densidade representada em *a* mais os perfis indicados a vermelho; *c)* Perfis longitudinais representativos da secção em estudo; *d)* Perfis transversais representativos da secção em estudo; *e)* Perfis transversais não representativos da secção em estudo; *f)* Perfis longitudinais não representativos da secção em estudo.

Esses resultados, embora forneçam algumas indicações sobre a importância relativa dos perfis longitudinais e transversais, bem como sobre a densidade da rede de perfis e sua repercussão

no modelo final, constituem apenas elementos informativos a considerar. Cabe sempre ao operador a decisão final sobre a densidade e localização dos perfis a realizar.

Tabela 4.6: Pormenores relativos à densidade dos perfis e resultados obtidos após interpolação pelo método *TIN*.

Rede de perfis	Espaçamento médio dos perfis (m)		Resultados da interpolação		Diferença média de altura entre as várias grelhas e a grelha <i>b</i>
	Longitudinais	Transversais	Volume (m3)	Área (m2)	
<i>a</i>	20	25	21453	6681	0.009
<i>b</i>	10	6	21391	6686	0.0
<i>c</i>	20	-	21434	6671	0.006
<i>d</i>	-	25	21416	6681	0.003
<i>e</i>	-	irregular	21670	6667	0.041
<i>f</i>	irregular	-	20782	6670	-0.091

5.3 Métodos de interpolação

Podem ser considerados três grandes grupos de métodos interpoladores, nomeadamente os métodos globais, os métodos regionais e os métodos locais. No presente trabalho recorre-se a métodos locais de interpolação, tendo-se testado dois tipos de abordagens. Uma delas recorre a funções de ajuste e a outra a médias pesadas.

As funções de ajuste dividem os pontos observados em pequenos domínios, determinando, subsequentemente, os coeficientes de uma função para cada um desses domínios, recorrendo ao critério dos mínimos quadrados. São deste tipo os métodos de interpolação da superfície através de redes de triângulos irregulares (= “*Triangular Irregular Network*” – *TIN*) e os métodos de mínima curvatura (= “*Minimum Curvature Spline*” - *MCS*).

Os métodos de interpolação que recorrem à média pesada determinam a elevação, em cada ponto interpolado, através da função somatório dos pesos das posições vizinhas. São exemplos os métodos de krigagem (= “*kriging*” - *Krig*), do inverso da distância (= “*Inverse Distance Weight*” – *IDW*), do vizinho mais próximo (= “*Nearest Neighbor*” - *NeN*) e do vizinho natural (= “*Natural Neighbor*” - *NaN*).

Os métodos interpoladores locais podem ser usados de forma exacta ou inexacta. Um interpolador é exacto quando respeita os valores ou atributos das posições de base e será inexacto nos outros casos. Um interpolador é usado de forma inexacta quando existem algumas incertezas relativamente aos valores ou atributos das posições de base. Como consequência, é produzida uma suavização da superfície do modelo.

Diversos critérios devem ser considerados para a selecção de um determinado método interpolador. Entre os mais importantes destacam-se os que estão relacionados com a qualidade do modelo final em função do objectivo do trabalho. De referir, que deve ser analisada a semelhança de valores entre os pontos ou nós gerados pelo método interpolador e as posições originais situadas na sua vizinhança.

A análise da grelha de resíduos fornecida pelos programas de interpolação é, normalmente, uma boa forma de avaliação das diferenças. Um outro critério é a simples análise visual do modelo gerado, o qual não deve evidenciar linhas de ruptura ao longo da sua superfície. Outros critérios estão relacionados com os recursos logísticos, em termos de capacidade de computação e tempo de processamento.

Muito embora a análise dos resíduos proporcionada por um programa de interpolação forneça indicações sobre a qualidade do método de interpolação, continuam a existir incertezas relativas ao comportamento do método para zonas afastadas dessa vizinhança. Essa situação é particularmente pertinente quando a forma de distribuição dos dados originais é feita sob a forma de perfis, como no caso do presente método de monitorização.

Com o objectivo de avaliar o comportamento dos métodos de interpolação, realizou-se um teste em que se comparam diversos métodos de interpolação locais, relativamente a um conjunto de pontos de controlo afastados da rede de perfis e que não foram usados para a interpolação. Basicamente, pretende-se determinar, para um conjunto de pares ordenados (X, Y) , as diferenças de altura (Z) entre a grelha gerada por um determinado método interpolador e um conjunto de posições de base *DGPS* que não foram usadas na interpolação.

Na Figura 4.17 *a* representa-se uma rede de perfis realizada por *DGPS* cinemático com a metodologia da antena-simples, num segmento de praia com 300 m de extensão e cerca de 80 m de largura. O espaçamento entre perfis transversais é de cerca de 30 m e os longitudinais estão espaçados cerca de 20 m. Estão também indicados pontos que representam um conjunto de 128 posições discretas, as quais constituem os designados pontos de controlo relativamente ao método de interpolação. Essas posições foram obtidas pelo mesmo método, *DGPS* cinemático com sistema antena-simples e, portanto, com o mesmo nível de precisão do obtido para a rede de perfis. De referir que todos os dados foram obtidos durante a mesma campanha, pelo que representam as mesmas condições de observação.

Considera-se esse segmento suficientemente representativo das zonas normalmente monitorizadas, uma vez que inclui a face da praia, uma berma de separação para a média praia, e uma outra berma de separação para a alta praia. Na figura 4.17 *b* representa-se o mapa de contorno da superfície obtida pelo método da mínima curvatura.

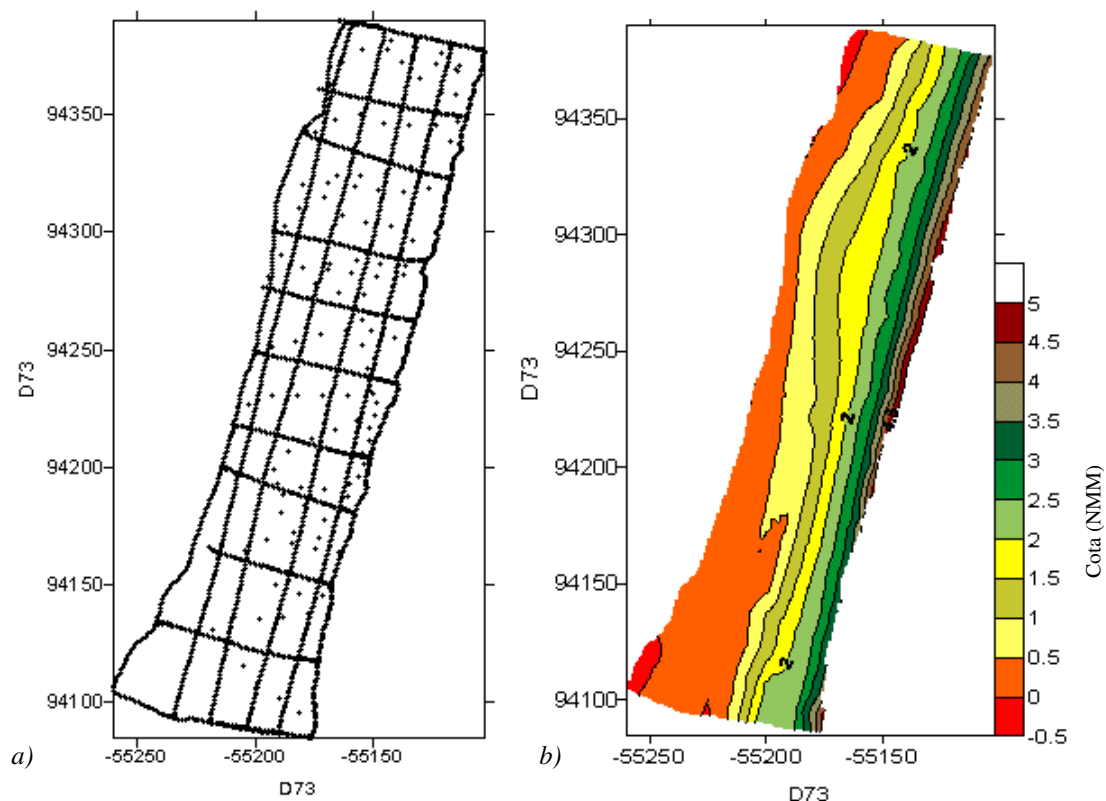


Figura 4.17: Representação de uma rede de perfis e respectiva interpolação. *a)* Rede de perfis cinemáticos e pontos de controlo. *b)* Mapa de contorno obtido pela interpolação, pelo método da mínima curvatura, relativamente à rede de perfis representada em *a)*.

Na Tabela 4.7 apresentam-se os resultados obtidos nesse teste e a respectiva análise estatística. Utilizou-se o programa Surfer 7, tendo-se recorrido a 6 métodos de interpolação locais, considerando, sempre que disponível, a opção de utilização *interpolador exacto*. Os resultados referem-se a uma grelha com espaçamento de 1 m.

Relativamente ao método da *MCS*, o algoritmo procura respeitar os dados de base, embora não seja um interpolador exacto. No método *TIN*, o programa utiliza a triangulação de *Delaunay*, com a qual se obtêm triângulos cujos lados são o mais pequenos e equiláteros possível. Contudo, o programa interpola, logo a seguir, para uma grelha regular, recorrendo às superfícies triangulares para a determinação das altitudes interpoladas.

O método *IDW* recorre ao cálculo de uma média pesada com base no inverso da distância às posições de base. Quanto maior o peso, menor o efeito de posições afastadas dos nodos durante a interpolação. Quando o parâmetro peso é zero, a superfície gerada aproxima-se a um plano horizontal e, quando o peso aumenta, a superfície adquire forma poligonal.

O método *Kriging* é muito flexível no programa Surfer 7, podendo ser seleccionadas, pelo utilizador, diversas opções. A mais importante diz respeito ao modelo de variograma a adoptar. O

variograma permite o ajuste aos dados de diversos tipos de funções de variação de peso. No presente teste ajustou-se uma função do tipo linear, tendo em conta a regularidade na distribuição dos dados.

No método do vizinho mais próximo, o programa atribui o valor do vizinho mais próximo a cada nodo da grelha. É um método válido quando os dados de base se encontram regularmente espaçados, mas cria problemas no caso de dados distribuídos sob a forma de perfis, como é o caso da presente situação. Neste âmbito, a simples observação do modelo gerado permite verificar que é obtido um modelo tipo escada, em que os degraus representam saltos na atribuição de valores relativamente a dois perfis adjacentes.

O vizinho natural utiliza o mesmo princípio do método anterior, mas entra em consideração com a possibilidade de ocorrerem irregularidades para determinado tipo de dados. Recorre assim a uma média pesada da vizinhança das observações como forma de suavização.

Os resultados obtidos (Tabela 4.7), indicam os volumes absolutos das 6 superfícies geradas, bem como as diferenças relativas entre os volumes de cada uma delas e o volume obtido pelo método da MCS. Essas diferenças são mais acentuadas no caso dos métodos do vizinho mais próximo e do vizinho natural. Relativamente à área, representam-se os valores da área da superfície obtida, a qual varia de acordo com o método.

A análise estatística efectuada, também indicada na Tabela 4.7, pretende avaliar qual o método que melhor se ajusta à superfície real do terreno, tendo, como base de comparação, as 128 posições de base obtidas por controlo DGPS. Apresenta-se a média da diferença entre as altitudes obtidas na grelha interpolada e as altitudes das posições de base DGPS. Indicam-se, igualmente, os mínimos e os máximos encontrados, bem como o erro médio quadrático (RMSE – “*Root Mean Square Error*”).

Tabela 4.7: Resultados da aplicação de 6 métodos de interpolação à rede representada na Figura 4.11. Os volumes estão referidos ao NMM. Foram calculadas as diferenças volumétricas dos vários modelos gerados pelos métodos de interpolação relativamente ao método da mínima curvatura.

Método de interpolação	Resultados obtidos			Análise estatística			
	Volume (m3)	Dif. Volume (m3)	Área (m2)	média	mínimo	máximo	RMS
Mínima curvatura	29762	0	18892	-0.020	-0.300	0.130	0.078
TLN	29878	-116	19151	-0.028	-0.410	0.110	0.086
Kriging	29895	-133	19164	-0.026	-0.300	0.120	0.079
Inverso da distância	29777	-15	17671	-0.041	-0.580	0.230	0.150
Vizinho natural	29498	380	18985	-0.032	-0.320	0.110	0.086
Vizinho mais próximo	29950	-452	18959	-0.013	-0.690	0.570	0.230

Por comparação entre os vários métodos verifica-se que a MCS, o TLN e o Kriging apresentam alguma coerência, não só em termos de resultados obtidos como também relativamente

aos pontos de controlo. Os restantes métodos evidenciam uma maior instabilidade relativamente aos pontos de controlo.

6. Discussão

O estabelecimento de programas de monitorização de praias, tendo como objectivo a caracterização morfodinâmica, exige que sejam utilizadas técnicas que, potencialmente, ofereçam elevada precisão. No presente caso de estudo utilizaram-se técnicas *DGPS* em modo cinemático, com resolução de ambiguidades *OTF*, as quais permitem obter precisões de ordem centimétrica em todas as componentes.

Os testes de validação realizados permitiram comprovar que as metodologias de monitorização desenvolvidas, nomeadamente os sistemas antena-simples e multi-antena, apresentam níveis de precisão centimétrica (igual ou superior a 0.05 m) em todas as componentes, sendo adequados para representação das morfologias da praia.

Relativamente aos testes de exactidão, verificou-se que as diferenças médias obtidas entre ambas as técnicas consideradas, nomeadamente a estação total e o *DGPS* - sistema antena-simples, são, normalmente, inferiores a 0.02 m. Considerou-se desnecessário comparar *DGPS* - sistema multi-antena com estação total, uma vez que este sistema é validado através dos testes de precisão realizados com o sistema antena-simples.

Uma vez avaliada a exactidão do sistema *DGPS* antena-simples, procedeu-se aos testes de precisão. Estes permitiram avaliar o desempenho do sistema antena-simples e do sistema multi-antena. Foram considerados pontos de controlo *DGPS* estático.

A diferença média obtida nas três componentes, relativamente aos pontos de controlo estático, foram, por norma, inferiores a 0.05 m. As maiores diferenças ocorreram em dois casos, nos quais a componente planimétrica acusa uma diferença de 0.08 m e a respectiva componente altimétrica apresenta uma diferença de 0.07 m.

Para interpretar estes dois casos, dois aspectos devem ser considerados. Em primeiro lugar, os sistemas *DGPS* cinemáticos antena-simples e multi-antena estão em movimento quando passam pelos pontos de controlo estático. Em segundo lugar, estes sistemas registam posições a uma cadência elevada, mas não contínua. Por conseguinte, é perfeitamente possível que o registo de posições nos pontos de controlo estático seja feito imediatamente antes ou após esses pontos.

Relativamente ao teste de repetibilidade realizado, verifica-se que as diferenças encontradas nas várias ligações efectuadas são normalmente iguais ou inferiores a 0.05 m, com excepção do posicionamento realizado em 6 de Setembro de 2002. A discrepância encontrada nesse posicionamento pode estar relacionada com um erro do operador no nivelamento do bastão da

antena. Esta inferência é corroborada pelo facto da componente altimétrica, mais sensível às perturbações atrás referidas, se apresentar consistente com os valores apresentados em levantamentos efectuados noutras datas.

A aquisição de dados por intermédio de perfis conduz sempre a uma distribuição não homogénea de informação, a qual se concentra ao longo dos perfis, mas está ausente em áreas mais ou menos extensas. Muito embora os resultados obtidos sejam promissores relativamente ao desempenho do sistema, importa avaliar a qualidade do *DEM* gerado, tendo em conta aspectos relacionados com a densidade de informação recolhida e o método de interpolação adoptado.

Os testes relativos à densidade da rede de perfis e à influência dessa densidade no volume calculado a partir do modelo final, permitiram verificar que uma distribuição regular e homogénea da rede de perfis é fundamental para a obtenção de um modelo representativo da superfície do terreno.

Para efeitos de cálculo de volume, os perfis longitudinais ou transversais, desde que regularmente distribuídos, asseguram um volume final razoavelmente representativo da superfície gerada. Contudo, se os perfis forem realizados tendo em conta também as direcções segundo as quais ocorrem variações de declive de terreno é obtida uma melhor representação da sua superfície e, conseqüentemente, do seu volume.

Finalmente, na interpolação verificou-se, através de ensaios realizados com pontos de controlo no terreno, que os valores médios e de *RMS* relativos à diferença entre a superfície gerada pela interpolação e a superfície do terreno são inferiores nos casos dos métodos de *MCS*, *TIN* e *Krig*, relativamente aos métodos do *IDW*, *NeN* e *NaN*. Tendo em conta que o *MCS* não é um interpolador exacto e que o método *krig* implica uma maior morosidade no processo de geração da grelha por interpolação, considera-se o método de *TLN* como uma boa opção para a interpolação de redes de perfis *DGPS*.

7. Súpula

O desenvolvimento de um sistema multi-antena *DGPS* adaptado a um veículo moto-quatro, visa dar resposta a uma lacuna, a nível nacional, na exploração das potencialidades oferecidas pelo *GPS* para monitorização de praias. Este sistema apresenta, pela forma como foi desenvolvido e implementado, alguns aspectos que se podem considerar inovadores, e que importa sublinhar:

- A adaptação de um braço externo a um veículo motoquatro permite aceder aos limites de algumas formas de praia, como sejam as cristas das bermas, as cristas de

arribas de erosão talhadas na média e alta praias e a base do cordão dunar frontal, em condições de segurança para o veículo e respectivo operador;

- A utilização de duas antenas no braço externo adaptado ao veículo motoquatro permite determinar, com rigor centimétrico, as coordenadas da base desse braço;
- A definição de uma rede de perfis longitudinais e transversais à linha de costa, em oposição aos perfis transversais tradicionalmente realizados em estudos de macro-escala espacial, permite uma melhor cobertura espacial dos segmentos litorais monitorizados;
- O controlo da densidade da rede de perfis, em função da distribuição espacial das morfologias presentes nos segmentos litorais monitorizados, permite melhorar o rigor final do modelo representativo da superfície do terreno.

Todos estes aspectos contribuem para aumentar a qualidade dos *DEM* e, por conseguinte, proporcionar fiabilidade a análises subsequentes. Além do sistema multi-antena, o sistema antena-simples revela-se adequado para monitorização de pequenas áreas e/ou de locais de acesso mais difícil.

No que respeita à precisão média dos *DEM* gerados com base na metodologia desenvolvida considera-se, com base nos testes realizados, que esta é superior a 0.10 m (*RMSE*) na componente altimétrica, sendo, por conseguinte, ligeiramente superior à que tem sido referida para alguns sistemas *ALS*, quando aplicados à monitorização de praias arenosas. As precisões referidas na bibliografia, nesses casos, situam-se entre os 0.15 e 0.25 m (*RMSE*) na componente altimétrica.

Por último, é importante referir o custo relativamente baixo da metodologia desenvolvida, em especial no que concerne aos custos de operacionalidade, o que a torna aliciante para a realização de campanhas regulares de observação.

PARTE II

APLICAÇÕES DAS METODOLOGIAS DESENVOLVIDAS: CASOS DE ESTUDO

CAPÍTULO V

ENQUADRAMENTO GERAL: SECTOR FOZ DO RIO DOURO - CABO MONDEGO

*Contudo a natureza não pode estar em conflito,
mas sim preservar uma ordem fixa e imutável*

Benedito Espinosa

V. ENQUADRAMENTO GERAL:

SECTOR FOZ DO RIO DOURO – CABO MONDEGO

1. Introdução

São tratados aspectos genéricos relacionados com o enquadramento oceanográfico e geomorfológico do sector litoral situado entre a foz do rio Douro e o Cabo Mondego.

Faz-se inicialmente uma breve caracterização do clima de agitação marítima no que respeita a condições médias e extremas, com base nos dados actualmente disponíveis. É feita também a caracterização do tipo de marés. Apresentam-se resultados recentes sobre as variações do nível do mar, considerando dados de marégrafos e de altimetria por satélite.

Procede-se, de seguida, à caracterização geomorfológica do sector litoral considerado, no qual se integram as zonas de estudo adoptadas.

Apresenta-se, no final, uma síntese do actual estado dos conhecimentos sobre a dinâmica litoral no decurso do séc. XX, com base em algumas considerações sobre equilíbrio dinâmico do litoral, aludindo a factores naturais e antrópicos responsáveis pela actual tendência evolutiva.

2. Oceanografia

2.1 Agitação marítima

São relativamente recentes as primeiras observações sistemáticas das condições de agitação marítima ao largo, as quais começaram a ser realizadas na década de 50, do séc. XX. Até aquela altura, os únicos dados disponíveis eram pontuais e efectuados a partir de navios. As primeiras observações foram visuais, tendo sido, mais tarde, utilizadas formas de registo automático e contínuo, inicialmente com bóias ondógrafo escalares e depois com bóias ondógrafo direccionais.

Apesar dos desenvolvimentos que têm sido realizados ocorrem, por vezes, lacunas nas séries temporais. A recolha de dados por estimativa visual continua a ser prática corrente em alguns locais da costa portuguesa, como é o caso da Torre de Radar da Administração de Portos do Douro e Leixões – (APDL), assegurando, dessa forma, informação para os períodos em que não estão disponíveis outras fontes de dados.

2.1.1 Agitação modal

O primeiro trabalho com observações sistemáticas da agitação marítima em Portugal foi realizado entre 1954 e 1960, na Figueira da Foz, recorrendo à estimativa visual com base em observações efectuadas a partir da Torre do Relógio e com o apoio de uma bóia colocada no mar, a

1400 m do ponto de observação (Carvalho e Barceló, 1966). As observações foram realizadas recorrendo a um taqueómetro e, posteriormente, extrapoladas para as condições ao largo.

Os resultados obtidos indicam alturas significativas da onda entre 1 e 2 m em 45% dos casos, enquanto que as alturas superiores a 3 m representam apenas 15% das observações. Relativamente ao período da onda, os valores mais frequentes estão compreendidos entre 9 e 11 segundos. As direcções predominantes estão compreendidas entre W10N e W20N (28% das ocorrências). Este trabalho realça o facto de as ondas provenientes do quadrante NW ocorrerem em qualquer época do ano, enquanto que as do quadrante SW se concentram nos meses de Inverno.

Em 1979, foi iniciado o programa PO-WAVES, num esforço de cooperação entre várias instituições, que visou contribuir para um conhecimento sistemático das condições de agitação marítima ao largo, recorrendo a bóias ondógrafo.

A Tabela 5.1 apresenta um resumo dos resultados que têm sido apresentados, os quais visam uma caracterização do clima de agitação marítima na Figueira da Foz, Sines e em Leixões (Porto).

Tabela 5.1: Resumo dos valores modais obtidos para parâmetros de agitação marítima na costa ocidental portuguesa. Os rumos são relativos ao período de pico da onda. H_{so} (altura significativa da onda ao largo); T (Período da onda); T_p (Período de pico da onda) T_s (Período significativo da onda), T_z (Período médio da onda).

Autor	Método	Período	H_{so} (m)	T (s)	Rumo (°)
Carvalho e Barceló (1966)	Visual (Figueira da Foz)	1954/1960	1-2 (45%)	9 – 11 (T_s)	280-290 (28%)
Costa (1987)	Bóia ondógrafo (Figueira da Foz)	1984/1985	1-2 (43.4%)	5-7 (40%) (T_z)	281.3-303.7 (70%)
Costa (1994)	Bóia ondógrafo (Figueira da Foz)	1990/1993	1-2	5-7 (T_z)	292.5-337.5 (72.7%)
Costa <i>et al.</i> (2001)	Bóia ondógrafo (Figueira da Foz)	1980/2001	1-2 (40%)	5-7 (41%) (T_z) 11-13 (33%) (T_p)	292.5-337.5 (71.3%)
Costa <i>et al.</i> (2001)	Bóia ondógrafo (Sines)	1980/2001	1-2 (49%)	5-7 (44%) (T_z) 9-13 (60%) (T_p)	292.5-337.5 (77.3%)
Coelho (2005)	Bóia ondógrafo (Leixões)	1981/2003	0.5-1.5 (40.3%)	7-10 (43.8%) (T_z)	292.5-337.5 (42.4%)

Costa (1987) apresenta resultados relativos a uma série temporal relativamente curta, de cerca de 1 ano, entre Maio de 1984 e Abril de 1985, de uma bóia ondógrafo localizada ao largo da Figueira da Foz. Foram determinadas alturas significativas da onda entre 1 e 2 m, e períodos médios da onda entre 5 e 7 segundos. A maior percentagem dos rumos associados ao período de pico foi determinada para o rumo WNW.

Mais tarde, com base numa série temporal de três anos, também relativa a uma bóia ondógrafo localizada ao largo da Figueira da Foz, foram obtidos resultados semelhantes aos

anteriores, para a altura significativa da onda e para o período médio anual da onda (Costa, 1994). É de realçar, contudo, o facto de o rumo associado ao período de pico encontrar maior percentagem de ocorrência no rumo NW, relativamente ao rumo WNW, que tinha sido determinado no trabalho anterior.

Neste trabalho é referido que as condições médias da agitação marítima não diferem muito nas várias estações localizadas na costa Oeste portuguesa, nomeadamente em Leixões, Figueira da Foz e Sines, verificando-se, no entanto, uma maior severidade dos estados do mar, durante todo o ano, na Figueira da Foz.

Os trabalhos publicados posteriormente por Costa *et al.* (2001) e Coelho (2005) apresentam os resultados das mais longas séries temporais estudadas em Portugal para três bóias ondógrafo instaladas na costa ocidental. Pode considerar-se que a distribuição de valores médios anuais para as classes modais é bastante consistente para as bóias da Figueira da Foz e Sines. No caso da bóia de Leixões, o período médio da onda é superior, encontrando-se 43.8% das ocorrências entre os 7 e os 10 segundos. De referir também que ocorre, em Leixões, uma maior dispersão de rumos associados ao período de pico, concentrando o rumo NW apenas 42.4% das ocorrências.

2.1.2 Temporais

Considera-se a ocorrência de um temporal quando a altura significativa da onda ao largo excede um determinado valor pré-estabelecido.

Os limites de altura significativa da onda a partir dos quais são identificados temporais variam de autor para autor e também consoante se trate da costa Oeste ou Sul Portuguesa. De um modo geral, o valor $H_{so} = 5$ m é o limite acima do qual se tem considerado a ocorrência de temporais para a costa Oeste. Alguns trabalhos consideram valores inferiores, como é o caso de Costa *et al.* (2001), que aponta valores de $H_{so} > 4.5$ m, e Coelho (2005), que apresenta valores de $H_{so} > 3$ m. Outros autores consideram valores superiores, como é o caso de Barata *et al.* (1996), que apresenta os registos de temporais para $H_{so} > 5.5$ m.

Um aspecto de relevo na caracterização dos temporais é a sua persistência. A bibliografia, de um modo geral, não tem estabelecido limites de persistência. Coelho (2005) considerou temporal persistente quando a sua duração é superior a 8 horas. Também no que diz respeito às definições de temporais isolados e de grupos de temporais se tem verificado a ausência de critérios, de base científica, para a sua categorização.

Relativamente aos trabalhos dedicados à caracterização de temporais na costa ocidental portuguesa, salienta-se o de Carvalho e Barceló (1966). Segundo estes autores, a violência dos temporais diminui ao longo da costa ocidental de Norte para Sul. Os trabalhos de Costa (1994) confirmam a mesma tendência de diminuição da violência e também da frequência dos temporais

de Norte para Sul. Na maior parte dos casos, os temporais são provenientes dos rumos NW e WNW e apresentam, normalmente, altura significativa inferior a 6 m, podendo, contudo, atingir os 8 m, ou mais, em casos extremos.

2.2 Marés

É com base em análises harmónicas de séries de observações maregráficas de duração variável que se faz a caracterização e a previsão das marés.

Na costa Oeste portuguesa, as marés são do tipo semi-diurno, com ciclos de aproximadamente 12h25m, propagando-se de Sul para Norte (Ferreira, 1998). A amplitude das marés varia desde um pouco mais de 1 m nas marés mortas, até mais de 4 m em marés vivas (IH, 1990), sendo a amplitude média de 2.8-2.9 m (Andrade e Freitas, 2002), o que permite classificar a presente costa como meso-mareal, de acordo com a classificação de Hayes (1979).

2.3 Nível médio do mar

O estudo da evolução recente do nível médio do mar conta, actualmente, com duas importantes abordagens, nomeadamente as séries maregráficas e os dados de altimetria por satélite.

A utilização de séries maregráficas tem permitido, em vários casos, estudar as variações ocorridas ao longo de mais de um século. Contudo, alguns cuidados devem ser considerados, nomeadamente na forma como esses dados são tratados e explorados para inferir variações do nível médio do mar.

Douglas (1995) refere que as séries temporais dos marégrafos apenas permitem deduzir o comportamento do nível do mar relativamente a um ponto de referência da crosta, o local onde está instalado o marégrafo, o qual pode sofrer movimentação vertical com uma ordem de grandeza semelhante à do nível do mar. Por outro lado, e tendo em conta a necessidade de abordar a questão da variação do nível do mar numa perspectiva global, verifica-se que a distribuição mundial da rede de marégrafos é pouco representativa do oceano (Barnett, 1984; Groger e Plag, 1993). De referir, também, a eventualidade de serem cometidos erros na leitura de registos maregráficos, quer por manutenção inadequada dos marégrafos, quer pela utilização de diferentes modos de aquisição.

Douglas (1991, 1992) refere que por intermédio de uma amostra de marégrafos afastados de regiões com tectónica activa, ainda que com uma deficiente distribuição geográfica, pode ser obtida uma boa estimativa do sinal que representa o nível do mar. A distribuição geográfica das redes de marégrafos começou a ser melhorada através da criação da rede GLOSS (= "*GLO*bal *Sea level observing System*") (IOC, 1997).

Na actualidade, a utilização de sistemas digitais de registo de dados e a presença de estações *GPS* permanentes nos locais onde estão instalados os marégrafos contribuem para melhorar a fiabilidade das medições obtidas.

Na última década começaram a ser exploradas novas fontes de informação para estudar o comportamento do nível do mar. A altimetria por satélite desenvolveu-se, ao longo dos últimos 12 anos, com esse objectivo, com o designado projecto TOPEX-Poseidon (= “*the ocean TOPography EXperiment*”) (Marshall *et al.*, 1995). Duas das suas vantagens são óbvias, nomeadamente a independência relativa das medições efectuadas sobre o oceano em relação a referências terrestres e a melhor cobertura espacial.

No que diz respeito ao estudo da evolução recente do nível médio do mar em Portugal, realizado com base na análise de séries temporais de marégrafos, são de referir os trabalhos de Dias e Taborda (1988, 1992), Taborda e Dias (1989) e Kol *et al.* (2002). Os resultados obtidos por estes autores indicam uma subida relativa do nível do mar de 1.3 ± 0.1 mm/ano, para a estação de Cascais, e 1.5 ± 0.2 mm/ano para a estação de Lagos. A comparação dos resultados obtidos por estes autores com a evolução da temperatura média à superfície no Atlântico Norte sugere o importante papel que a expansão térmica do oceano terá tido na subida do nível do mar. Estes resultados foram corroborados pelos resultados provenientes de estações maregráficas localizadas em outros locais do globo (Gornitz e Lebedeff, 1987).

Barbosa *et al.* (2004) utilizaram dados de altimetria por satélite para estudo das variações do nível médio do mar, considerando séries temporais que incluem a quase totalidade de dados disponíveis, referentes ao período compreendido entre 1992 e 2004. Os resultados obtidos para o Atlântico Subtropical, que inclui a latitude de Portugal continental, indicam uma subida de 2 mm/ano. Este valor é concordante com os resultados obtidos para as variações globais do nível do mar determinadas por altimetria por satélite (Cabanes, 2001), contrariando as estimativas feitas por outros autores, para as mesmas latitudes, com base em séries temporais mais curtas, nomeadamente de 5,6 mm/ano (Nerem, 1999). Os resultados de Barbosa *et al.* (2004) estão de acordo com os obtidos por Dias e Taborda (1988, 1992), Taborda e Dias (1989) e Kol *et al.* (2002).

A maior parte dos trabalhos publicados nos últimos anos, a nível internacional, sobre a tendência actual do nível médio do mar, são unânimes em admitir uma subida global, embora apresentem alguma controvérsia relativamente às causas e às taxas dessa subida (Meier e Wahn, 2002; Miller e Douglas, 2004).

3. Geomorfologia do litoral entre a foz do rio Douro e o Cabo Mondego

As zonas em estudo no presente trabalho integram-se num sector constituído, essencialmente, por praias arenosas, com excepção de alguns troços situados mais a Norte.

Entre o estuário do rio Douro e a praia de Espinho, numa extensão de cerca de 15 km, o litoral tem uma orientação média NNW-SSE, sendo constituído por arribas talhadas em rochas metamórficas e por praias arenosas. Ocorrem também afloramentos rochosos em alguns segmentos, que apenas se apresentam expostos por ocasião da baixa-mar (caso das praias situadas entre a Aguda e Granja).

Entre a praia de Espinho e o Cabo Mondego, o litoral tem uma direcção aproximada NNE-SSW, formando uma planície costeira topograficamente uniforme e de baixa altitude. Esta planície é constituída por uma barreira arenosa holocénica enraizada nas imediações de Espinho, que se prolonga até ao Sul do sector, sendo apenas interrompida pelo porto de Aveiro e por diversas obras de defesa costeira. No seu limite Sul está presente o relevo mais importante, a serra da Boa Viagem, com cerca de 257 m de altitude máxima.

4. Dinâmica do litoral entre a foz do rio Douro e o Cabo Mondego no séc. XX e início do séc. XXI

Apresentam-se algumas considerações sobre a dinâmica litoral do sector considerado, as quais são desenvolvidas com base em diversas fontes documentais. Tendo em conta a grande diversidade de factores que condicionam essa dinâmica, são apenas considerados aqueles que se revelam mais pertinentes para a compreensão dos processos envolvidos.

4.1 Deriva litoral

No sector considerado no presente trabalho, a resultante média anual das correntes de deriva litoral é no sentido Norte-Sul (Dias, 1987; Ferreira, 1993; Taborda, 1993). No entanto, em alguns casos, a resultante anual da deriva litoral encontra-se invertida, o que pode ocorrer como resultado da dinâmica existente na desembocadura dos rios, tal como se verifica na desembocadura do rio Douro (Carvalho, 1999), ou na sequência da presença de correntes de compensação (*upwelling*).

A Sul do Douro, mais concretamente entre Espinho e o Cabo Mondego, os valores que têm sido estimados para a resultante anual da deriva litoral encontram-se indicados na Tabela 5.2. Os valores apresentados variam entre 0.2 e 2.3×10^6 m³/ano. Tem sido considerado o valor 1.5×10^6 m³/ano como um valor médio representativo da deriva litoral nesse sector (Ferreira, 1993), o qual é coerente com propostas mais recentes (INAG e CEHIDRO, 1999). Considerando este valor como referência, a sua manutenção só será possível se existirem fontes sedimentares que o assegurem.

Coelho e Veloso Gomes (2003) estimaram o transporte sedimentar potencial, com base na fórmula de CERC, para um sector litoral situado a Sul do porto de Aveiro (entre as praias da Costa Nova e Mira). Estes autores definiram os limites para esse transporte, baseando-se na análise do clima de agitação marítima em Leixões. Os resultados obtidos apontam no sentido de que as maiores taxas de transporte potencial ocorrem para alturas de onda de 1.5 m, 2.5 m e 4.5 m, com volumes associados de $1 \times 10^6 \text{ m}^3$, $10 \times 10^6 \text{ m}^3$ e 25 a $50 \times 10^6 \text{ m}^3$, respectivamente, considerando a ocorrência dessas alturas de onda como uma constante ao longo do ano. Se forem considerados valores de agitação marítima média representativos do clima de agitação em Leixões, aqueles autores estimam o transporte sedimentar potencial entre os valores de 1.5 e $4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$.

Tabela 5.2: Estimativas de diversos autores para a resultante anual da deriva litoral. (*): Fonte: Magalhães (1999).

Autor	Método	Deriva ($\times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$)
Abecassis (1955)*	cartográfico	0.2
Carvalho (1971)*	matemático	1.55
Castanho <i>et al.</i> (1974)*	matemático	1.0
Oliveira <i>et al.</i> (1982)*	matemático	2.0
Ferreira (1993)*	matemático	1.5
Taborda (1993)*	matemático	2.3
Teixeira (1994)*	cartográfico	1.8
Vidinha <i>et al.</i> (1997)	cartográfico	1 a 1.5
INAG e CEHIDRO (1999)	cartográfico	1.3

4.2 Fontes sedimentares

O fornecimento sedimentar ao litoral é fundamental para saturar a capacidade de transporte potencial induzido pela ondulação e manter a estabilidade das praias e das dunas litorais.

4.2.1 Contributo fluvial

Diversos autores consideram o contributo fluvial em regime natural, ou seja, antes das intervenções antrópicas que culminaram com a actual presença de um elevado número de barragens em diversos rios, como um dos principais fornecedores sedimentares para o litoral (Oliveira *et al.*, 1982; Veloso-Gomes, 1991, 1993, 1996; Mota-Oliveira, 1990; Ferreira e Dias, 1991; Teixeira, 1994; Magalhães, 1999).

Na Tabela 5.3 apresentam-se as estimativas do material transportado junto ao fundo pelos principais rios que drenam para o sector em estudo, em regime natural. Com base nos valores indicados verifica-se que o principal fornecedor sedimentar terá sido, em regime natural, o rio Douro, o qual terá contribuído com um volume sedimentar suficiente para manter saturada a deriva.

Os valores apresentados não contemplam uma série de parâmetros que têm sido referidos como condicionadores da carga sedimentar transportada pelos rios. Entre esses parâmetros referem-se as barragens, a desflorestação acidental ou intencional, a percentagem de área agricultada, o tipo de relevo e os tipos litológicos dominantes (Oliveira *et al.*, 1982; Dias *et al.*, 1997; Magalhães, 1999).

Tabela 5.3: Estimativas do material transportado junto ao fundo (T.F.) pelos principais rios que drenam para o sector em estudo, em regime natural (adaptado de Magalhães, 1999). (*): O rio Vouga não drena directamente para o mar.

Rios	T.F. ($\times 10^6$ m ³ /ano)
Minho	0.185
Lima	0.013
Cávado	0.016
Ave	0.016
Douro	1.646
Vouga*	0.042

4.2.2 Contributo da plataforma continental

A caracterização sedimentológica efectuada por Magalhães (1999), na plataforma interna presente no sector considerado, indica a presença de depósitos sedimentares constituídos, essencialmente, por areia fina a muito fina. Este autor considera que a faixa onde ocorrem esses depósitos funciona, actualmente, como um importador de sedimentos finos, durante os períodos de calmaria, a partir dos cursos fluviais, e como um exportador de sedimentos para maiores profundidades, nos períodos em que ocorrem temporais. Não é feita referência à possibilidade da plataforma constituir um fornecedor sedimentar à deriva litoral. Em contrapartida, os trabalhos de Carvalho e Granja (1997), Granja e Carvalho (2000), e Carvalho (2003) referem, embora sem particularizar o caso concreto do sector considerado, o eventual contributo que a plataforma tem, enquanto fonte sedimentar para alimentação das praias do NW português.

4.3 Obstáculos ao transporte sedimentar fluvial e litoral

Considera-se como transporte sedimentar fluvial aquele que é efectuado, por via fluvial, desde as fontes sedimentares, situadas nas redes hidrográficas dos rios que drenam para o litoral, até à sua integração nas correntes de deriva litoral.

Como transporte sedimentar litoral, de referir aquele que é efectuado por intermédio das correntes de deriva litoral, desde a desembocadura dos rios até aos sumidouros naturais.

Consideram-se como obstáculos ao transporte sedimentar, os factores naturais e/ou antrópicos que o restringem. Têm sido destacados dois factores, nomeadamente, a elevação do nível do mar e as intervenções antrópicas efectuadas nos cursos fluviais e no litoral.

4.3.1 Variações do nível do mar

Em relação ao nível do mar, e tendo em atenção os resultados que têm sido obtidos para Portugal continental, conforme referido no item 2.3 deste capítulo, é de esperar que a tendência actual de subida relativa do nível médio do mar afecte a capacidade de exportação de sedimentos para o litoral.

Os estuários respondem à subida do nível do mar, reduzindo as exportações de materiais para a plataforma, de modo a adaptarem-se ao novo nível de base (Swift, 1976), convertendo-se, nestas condições, em locais de recepção e deposição de sedimentos em vez de constituírem o papel de fornecedores, como se verifica em períodos de descida relativa do nível médio do mar.

A subida do nível do mar também pode condicionar o transporte sedimentar litoral, na medida em que pode restringir eventuais trocas sedimentares entre a plataforma e a praia submersa, devido à translacção do perfil de praia e, conseqüentemente, à variação relativa da profundidade de fecho.

4.3.2 Intervenções antrópicas nas redes hidrográficas e seus impactes

No âmbito das intervenções antrópicas realizadas nas redes hidrográficas, o grande destaque tem sido dado à construção de barragens, as quais são frequentemente consideradas como um dos maiores responsáveis pela retenção de volumes consideráveis de sedimentos que os rios naturalmente transportariam para o mar (Oliveira *et al.*, 1982; Veloso-Gomes, 1991, 1993, 1996; Mota-Oliveira, 1990; Ferreira e Dias 1991; Teixeira, 1994; Magalhães, 1999).

Não obstante o destaque dado às barragens enquanto obstáculos ao transporte sedimentar, alguns trabalhos, como os de Carvalho e Granja (1997), Granja e Carvalho (2000), Carvalho (2003) e Costa e Granja (2003), referem a necessidade de realizar estudos de monitorização de barragens para avaliação dos volumes de areias que são retidas e, por outro lado, de estudos de correlação entre esses sedimentos e os presentes nas praias, para prova de que, de facto, a deficiência sedimentar no litoral é provocada pela retenção nas barragens.

No que diz respeito ao rio Douro, foram construídas, a partir da segunda metade do séc. XX, diversas barragens. A Tabela 5.4 apresenta alguns dados relativos às datas de construção das barragens portuguesas presentes nos sectores internacional e português do rio Douro.

A construção de barragens contribuiu indubitavelmente para a ocorrência de uma série de alterações nas bacias hidrográficas. De referir a diminuição do número das grandes cheias em

virtude de uma maior regularização do caudal do rio, o que, certamente, tem repercussões ao nível do eventual transporte sedimentar, bem como na sua exportação para fora do estuário. Um outro aspecto prende-se com o volume de água retido na albufeira, o qual reduz a capacidade erosiva das vertentes a montante da própria barragem. A inexistência de um sistema de descarga de fundo na maior parte das barragens pode constituir também um factor limitativo do transporte sedimentar ao longo do curso do rio.

Tabela 5.4: Barragens construídas nos segmentos internacional e português do rio Douro. Adaptado de Carvalho (2003).

Barragem	Início de construção	Fim de construção	Entrada em actividade
Miranda	1957	1960	1960
Picote	1955	1957	1958
Bem-posta	1961	1963	1964
Pocinho	1976	1983	1983
Valeira	1971	1975	1976
Régua	1967	1972	1973
Carrapatelo	1965	1970	1971
Crestuma	1976	1985	1985

Além dos efeitos das barragens, a extracção de inertes ao longo do seu curso inferior e respectivo estuário terá contribuído para a redução do transporte sedimentar. Magalhães (1999) aponta um valor da ordem dos 1.5×10^6 m³/ano para as extracções no rio Douro efectuadas no início da década de 80 do século passado. Também de acordo com o CNADS (2001), o volume de extracções de areias e cascalhos no troço inferior do Douro é dessa ordem de grandeza.

Relativamente aos valores que têm sido apontados para o transporte fluvial após a construção de todas as barragens no Douro, Oliveira *et al.* (1982) e CNADS (2001) apontam um valor de 0.25×10^6 m³/ano, o que representa uma redução para cerca de 16% da sua capacidade em regime natural.

4.3.3 Intervenções antrópicas no litoral e seus impactes

Além das intervenções antrópicas nas redes hidrográficas, destacam-se as dragagens portuárias para manutenção do funcionamento dos portos, a extracção de inertes no litoral e as actividades portuárias que obrigam à construção, manutenção e, por vezes, prolongamento de molhes.

No sector considerado, destaca-se a construção do porto de Aveiro, no início da década de cinquenta, tendo as obras ficado concluídas em 1958. Essa obra teve um impacte negativo nos sectores costeiros situados a sotamar, ao nível de um aumento das taxas de erosão dos sistemas

dunares frontais. Em contrapartida, a barlamar dessa estrutura fizeram-se sentir os efeitos de retenção sedimentar.

No início dos anos setenta, considerando a retenção sedimentar verificada a barlamar do porto de Aveiro, começou a exploração das areias na praia de S. Jacinto. De acordo com a CNADS (2001), no decurso da década de oitenta a taxa média de extracção nessa zona rondou os $0.4 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$.

Entretanto, foram efectuadas obras para prolongamento do molhe Norte de S. Jacinto, o qual aumentou, em extensão, cerca de 500 m para evitar que as areias da deriva litoral viessem a colmatar o canal de acesso ao porto.

Relativamente aos valores médios de dragados nos canais inferiores da laguna de Aveiro, bem como no banco externo, estes eram de $1.2 \times 10^6 \text{m}^3/\text{ano}$, entre 1988 e 1997 (INAG e CEHIDRO, 1999).

4.4 Resposta do litoral

A resposta do litoral, a cada momento, pode ser considerada como uma resultante de um vasto conjunto de factores, alguns dos quais esboçados anteriormente. Podem considerar-se duas alterações importantes ocorridas no decurso do séc. XX, no sector considerado no presente estudo. Uma delas é a tendência de inversão do comportamento do litoral, em função de uma mudança de contexto que passa de regressivo (descida relativa do nível do mar) para transgressivo (subida relativa do nível do mar), a partir do início do século (Ângelo, 1991; Bettencourt e Ângelo, 1992). A outra é a intensificação da erosão do litoral a partir da segunda metade do século.

Com base nos elementos cartográficos disponíveis é possível verificar que, na primeira metade do séc. XX, o sector entre a foz do rio Douro e o porto de Aveiro já evidenciava recuos significativos da linha de costa, com taxas a decrescer de Norte para Sul (Ângelo, 1991).

Entre o porto de Aveiro e a praia do Poço da Cruz, os problemas só começaram a surgir a partir de meados do séc. XX, sendo de salientar uma progressão da tendência erosiva de Norte para Sul (Ângelo, 1991; Bettencourt e Ângelo, 1992; Ferreira, 1993; Caetano, 2002; Diogo, 2004).

A interpretação desta tendência evolutiva passa por se considerar os sedimentos presentes nas praias e nas dunas como uma importante fonte sedimentar, no decorrer do séc. XX, para alimentar as correntes de deriva litoral.

O recuo da linha de costa nos segmentos mais deficitários em sedimentos, por ocasião de temporais ou marés vivas, e a conseqüente translacção do perfil transversal da praia permitiram a libertação de volumes significativos de areia que, ao integrarem as correntes de deriva litoral, auxiliaram à manutenção de uma estabilidade relativa nos segmentos litorais localizados a sotamar. Tendo em conta que a resultante anual da deriva é de Norte para Sul, o processo de erosão dos

segmentos costeiros foi sofrendo uma progressão para Sul, à medida que os segmentos mais a Norte foram perdendo a capacidade de fornecer sedimentos.

No decurso deste processo, a subida do nível do mar tem sido considerada como um factor de menor importância para justificar a erosão do litoral e o recuo da linha de costa (Ferreira *et al.*, 1990a, 1990b), muito embora não seja bem conhecido o peso relativo que terá tido, ao longo do último século, na restrição à exportação de sedimentos a partir dos estuários.

Ferreira *et al.* (1990a, 1990b) consideram, com base em dados de um segmento litoral na zona da Vagueira, que o valor médio que tem sido estimado para a subida do nível do mar (1.5 mm/ano) justifica apenas 10% do recuo da linha de costa. Os restantes 90% são atribuídos à deficiência sedimentar. Este valor é corroborado por resultados obtidos noutros pontos do país (Andrade, 1990; Teixeira, 1990).

As intervenções antrópicas para defesa do litoral têm sido consideradas como a solução possível para defender o património edificado junto ao litoral, tendo em conta a actual tendência de erosão. Estas intervenções consistem em obras pesadas de engenharia costeira, como é o caso das obras transversais, os esporões (= “*groynes*”), das obras longitudinais aderentes, os enrocamentos (= “*seawalls*”), e das obras longitudinais destacadas, os quebramares (= “*breakwaters*”).

A construção das obras de engenharia não deixa de estar associada a controvérsia, em alguns casos, uma vez que visam defender, localmente, a propriedade pública ou privada. No entanto, induzem uma alteração à dinâmica da deriva litoral, potenciando o agravamento dos problemas de erosão a sotamar.

No **anexo V** apresenta-se, de forma sucinta, as principais obras presentes ao longo do sector considerado.

No segmento situado entre a foz do rio Douro e o porto de Aveiro, as intervenções começaram a ser realizadas na década de setenta, estando a fase de maior intervenção centrada na década de oitenta. A Sul daquele segmento, as intervenções visaram, inicialmente, a defesa das povoações da Barra, Costa Nova e Vagueira, tendo a maioria das obras sido realizadas na década de setenta. Entre 2001 e 2003 construíram-se dois novos esporões, um na praia do Areão e outro na praia do Poço da Cruz, não estando, neste caso, a sua construção relacionada com a defesa de património edificado. Em 2001 foi igualmente construído um quebramar, na praia da Aguda, para protecção às actividades piscatórias.

5. Súmula

Após uma breve caracterização das condições oceanográficas na costa ocidental portuguesa e das características geomorfológicas do litoral onde se inserem as zonas consideradas para estudo neste trabalho, apresentam-se alguns aspectos gerais relativamente a estas temáticas:

- A costa ocidental portuguesa é do tipo meso-mareal (amplitude média de 2.8-2.9 m);
- No que respeita às condições médias de agitação, esta apresenta uma altura significativa média entre 1 e 2 m. Relativamente à definição de temporal, não tem havido unanimidade de critérios nos trabalhos que têm sido publicados, relativamente ao valor de altura significativa, a partir do qual deve ser considerado um temporal. Os temporais na costa Oeste portuguesa são normalmente provenientes dos rumos NW e WNW e apresentam altura significativa geralmente inferior a 8 m.
- A tendência actual de evolução do nível médio do mar em Portugal continental é no sentido de uma subida relativa, que se pode considerar entre 1.3-1.5 mm/ano se forem tidos em conta os dados de marégrafos de duas estações portuguesas, ou de 2 mm/ano se forem considerados os dados de altimetria de satélite para a latitude subtropical;
- Os resultados que têm sido obtidos em alguns segmentos do sector considerado, no que diz respeito à importância relativa da subida do nível médio do mar na erosão do litoral, indicam que essa subida representa apenas 10% da actual tendência erosiva do litoral. Os restantes 90% são atribuídos a uma forte deficiência sedimentar, cujas causas têm sido imputadas a uma cada vez maior intervenção antrópica nos sistemas naturais.
- A resultante média anual das correntes de deriva litoral é no sentido Norte-Sul com valores que variam 0.2 e 2.3 x 10⁶ m³/ano, de acordo com propostas de vários autores. Tem sido considerado o valor 1.5 x10⁶ m³/ano como um valor médio representativo da deriva litoral no sector Espinho – Cabo Mondego.

Com base no conhecimento das características gerais do sector foz do rio Douro – Cabo Mondego, e mediante o estabelecimento de programas de monitorização das alterações morfológicas e volumétricas em alguns segmentos litorais do sector considerado, é possível caracterizar, com maior detalhe, a variabilidade sazonal a inter-anual desses segmentos. Para tal, a análise de informação complementar relativa ao regime de agitação marítima reveste-se de especial importância.

CAPÍTULO VI

CARACTERIZAÇÃO DA AGITAÇÃO MARÍTIMA AO LARGO PARA O PERÍODO DE ESTUDO

E no entanto ela move-se

Galileu Galilei

VI. CARACTERIZAÇÃO DA AGITAÇÃO MARÍTIMA AO LARGO PARA O PERÍODO DE ESTUDO

1. Introdução

Um dos aspectos base para a análise morfológica e morfodinâmica de um determinado segmento litoral é a agitação marítima. A monitorização das várias zonas de estudo contempladas neste trabalho foi efectuada entre Setembro de 2000 e Janeiro de 2004. Durante esse período, nem sempre a bóia ondógrafo de Leixões esteve em funcionamento. Para colmatar as lacunas temporais, por vezes de vários meses, recorre-se a dados obtidos por estimativa visual a partir da Torre de Radar da APDL, em Leixões, e utilizam-se, pontualmente, dados da bóia ondógrafo de Sines.

É efectuada a validação dos dados de estimativa visual no que se refere à altura da onda, e apresenta-se uma breve caracterização do regime de agitação marítima, no que diz respeito à altura significativa da onda ao largo (H_{so}), ao período de pico da onda (T_p) e à direcção média da onda (D_o), com base nos dados disponibilizados da bóia ondógrafo de Leixões. Faz-se, finalmente, a identificação dos temporais ocorridos neste período, com base em dados das bóias ondógrafo consideradas.

2. Dados utilizados

2.1 Instrumentais

Do ponto de vista da localização geográfica das zonas de estudo, relativamente às bóias ondógrafo do Instituto Hidrográfico (IH) existentes na costa Oeste portuguesa, a que se situa mais próxima é a de Leixões. Contudo, durante parte do período em que decorreram os trabalhos de campo esta bóia esteve inactiva, bem como a da Figueira da Foz, o que obrigou a recorrer aos dados da bóia ondógrafo de Sines.

A bóia ondógrafo de Leixões encontra-se a 83 m de profundidade e a cerca de 4 km relativamente à linha de praia. A bóia ondógrafo de Sines encontra-se a 97 m de profundidade e a, aproximadamente, 3 Km da linha de praia.

A aquisição de dados (registo) é feita de forma automática, de três em três horas, por períodos de trinta minutos. Em condições normais de funcionamento do sistema procede-se, após a recepção dos dados, ao seu agrupamento por blocos, representando cada um desses blocos uma série temporal que é processada de seguida. Os grupos data/hora estão referidos à hora local e correspondem ao início dos registos, ou seja, correspondem às 0h00m, 3h00m, 6h00m, 9h00m, 12h00m, 15h00m, 18h00m, e 21h00m de cada dia. O processamento visa estimar a distribuição de energia, da direcção média e da dispersão, por bandas de frequência, bem como os parâmetros característicos da agitação marítima, no que respeita a alturas, períodos e direcções.

Em condições de temporal, os períodos de aquisição de trinta minutos são apenas espaçados de pequenos intervalos necessários ao processamento dos dados. O limite mínimo de duração para que um conjunto de dados seja tratado é de dez minutos.

Na Tabela 6.1 apresenta-se o número de dados registados por cada uma das bóias consideradas, com base na informação fornecida pelo IH. No decurso de um mês, com leituras efectuadas de três em três horas, obtém-se, em condições normais de funcionamento da bóia e sem temporais, entre 240 e 248 registos, consoante o número de dias do mês. Os meses de Fevereiro com 28 dias, contam, nessas circunstâncias, com apenas 224 registos. Valores inferiores aos indicados representam meses em que a bóia não funcionou na totalidade dos dias, e valores superiores indicam meses em que ocorreram temporais.

Tabela 6.1: Número total de registos efectuados pelas bóias ondógrafo. n.c.: meses não considerados neste estudo; (*) registos da bóia ondógrafo de Sines; (#) registos da bóia ondógrafo de Leixões; (-) meses sem registo em Leixões ou em que os dados não estão disponíveis para este trabalho; (+) meses com registo mas sem análise espectral. Dados do IH.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2000	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	238*	247*	241*	338*
2001	348*	284*	255*	-	73 [#]	236 [#]	239 [#]	245 [#]	238 [#]	165 [#]	+	248 [#]
2002	249 [#]	221 [#]	242 [#]	234 [#]	244 [#]	199 [#]	222 [#]	246 [#]	82 [#]	-	54 [#]	246 [#]
2003	261 [#]	246 [#]	284 [#]	243 [#]	245 [#]	240 [#]	245 [#]	247 [#]	238 [#]	-	-	-
2004	-	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.

No período considerado verifica-se que, no ano de 2000 e nos primeiros quatro meses de 2001, não foram efectuados registos em Leixões. Estes registos começaram a 22 de Maio de 2001. No mês de Outubro desse mesmo ano não foram efectuados registos entre os dias 3 e 10. Em Novembro de 2001 ocorreram falhas que impediram a obtenção de alguns parâmetros espectrais e direccionais. Não ficou, contudo, comprometida a obtenção da altura significativa da onda, do período médio da onda e da direcção média do período de pico da onda. Ocorreu, posteriormente, uma interrupção no registo entre 26 de Junho e 3 de Julho e, mais tarde, entre 12 de Setembro e 26 de Novembro de 2002. No decurso de 2003 existe informação diária praticamente sem lacunas. Tendo em conta as lacunas indicadas recorreu-se a outra fonte de dados, nomeadamente à estimativa visual.

2.2 Estimativa visual

Na Torre de Radar da (APDL) são efectuadas, diariamente, observações com recurso a binóculos, para uma zona ao largo situada a cerca de 1 km, relativamente à linha de praia. Entre outras observações, são efectuadas três leituras da altura máxima da onda (H_{max}) e do período da

onda (T). A informação é registada pelo operador numa tabela, com indicação das horas de observação. A utilização destes dados para colmatar as lacunas existentes nos registos das bóias ondógrafo do IH implica a necessidade de se proceder à sua validação.

No que respeita aos dados relativos ao período da onda, verifica-se que na tabela de registos é usado, frequentemente, o valor de 10 s, durante meses consecutivos, pelo que se deduz que esse valor não representa uma medição efectiva do período da onda. Por esse motivo, o período da onda não é considerado para colmatar lacunas das séries temporais das bóias ondógrafo. Em relação à altura da onda, uma breve análise dos dados fornecidos permite verificar que esta apresenta uma variação consistente com o esperado ao longo do ano, a qual necessita, contudo, de validação.

O primeiro passo para proceder à avaliação da qualidade relativa das alturas da onda consiste em uniformizar os critérios de análise. Para tal, as alturas máximas da onda (H_{\max}) necessitam de ser convertidas em alturas significativas da onda (H_{so}).

Longuet-Higgins (1952, *in* Komar, 1976) estabeleceu as relações teóricas entre diversas variáveis estatísticas da altura de onda, as quais, segundo Komar (1976) são bastante consistentes com as observações efectuadas por outros autores (Tabela 6.2).

Tabela 6.2: Relações entre a altura significativa da onda e outras variáveis estatísticas da altura da onda. H_{so} = altura significativa da onda; H_{\max} = altura máxima da onda; H_{rms} = altura média quadrática da onda; H_{med} = altura média da onda. Adaptado de Komar (1976).

Abordagem	H_{\max}/H_{so}	H_{med}/H_{so}	H_{rms}/H_{so}
Teórica (Longuet-Higgins, 1952)	1.53-1.85*	0.64	0.71
Observação (Putz, 1952)	1.87	0.62	-

De acordo com a formulação teórica de Longuet-Higgins (1952, *in* Komar, 1976), a razão H_{\max}/H_{so} varia de acordo com o período da onda e o volume de dados. Este autor, considerando registos de 20 e 60 minutos e ondas com período de 6 segundos, obtém razões de 1.64 e 1.85, respectivamente. Para ondas com períodos de 12 segundos obtém razões de 1.53 e 1.77. O mesmo autor define ainda a razão entre a altura média da onda (H_{med}) e a altura significativa da onda, bem como entre a altura média quadrática da onda (H_{rms}) e a altura significativa da onda.

Procede-se à aplicação da formulação teórica proposta por Longuet-Higgins (1952), de modo a converter as alturas máximas da onda, obtidas por estimativa visual, em alturas significativas da onda. Consideram-se dois casos que representam os limites do intervalo de valores definidos por aquele autor:

$$H_{so} = H_{\max} / 1.85 \quad (6.1)$$

$$H_{so} = H_{\max} / 1.53. \quad (6.2)$$

Na Figura 6.1 comparam-se as médias mensais da altura significativa da onda, após a aplicação das fórmulas 6.1 e 6.2 aos dados de estimativa visual, com as médias mensais de altura significativa da onda ao largo obtida a partir da bóia ondógrafo de Leixões (Figuras 6.1 *a* e 6.1 *b*, respectivamente).

Conforme se pode verificar, quando se considera o limite máximo da razão H_{\max}/H_{so} , os padrões definidos pelas curvas relativas aos dados de observação visual e instrumentais são menos concordantes (Figura 6.1 *a*) do que aqueles que se obtêm quando se considera o limite mínimo daquela razão (Figura 6.1 *b*).

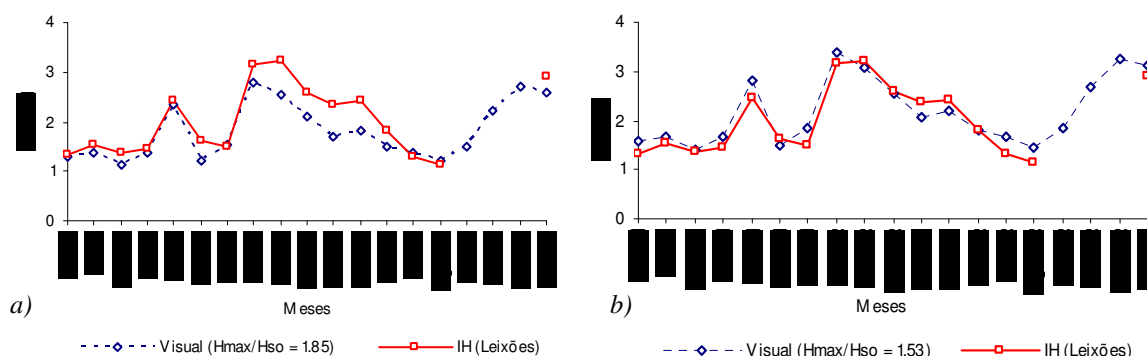


Figura 6.1: Comparação entre as médias mensais da altura significativa da onda obtida a partir de estimativa visual e as médias mensais da altura significativa da onda ao largo obtida a partir da bóia ondógrafo de Leixões, no período compreendido entre Junho de 2001 e Dezembro de 2002. *a*) Aplicação da equação 6.1 aos dados de estimativa visual; *b*) Aplicação da equação 6.2 aos dados de estimativa visual.

Na Figura 6.2 projectam-se as médias diárias das alturas significativas da onda, obtidas a partir de dados de estimativa visual e considerando o limite mínimo da razão definida anteriormente, em relação às médias diárias das alturas significativas da onda obtidas a partir dos dados instrumentais.

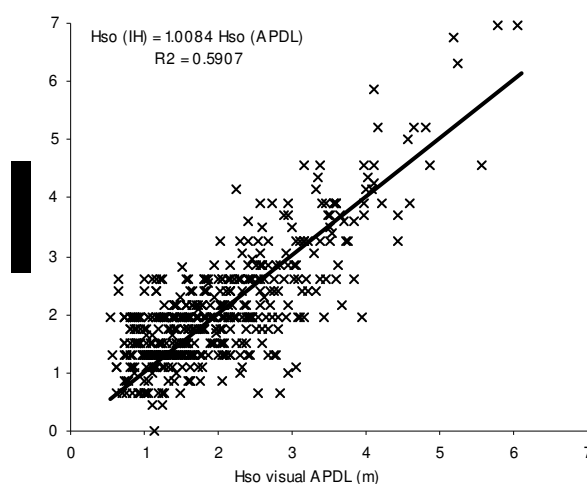


Figura 6.2: Relação entre as médias diárias obtidas por métodos instrumentais e de observação visual, relativamente à altura significativa da onda, para o período compreendido entre Junho de 2001 e Dezembro de 2002. O valor obtido para o coeficiente de correlação é significativo a 0.01.

Considera-se o período compreendido entre Junho de 2001 e Dezembro de 2002. O coeficiente de correlação obtido é de 0.76, o que permite observar uma concordância razoável entre ambas as fontes de dados, validando a utilização das alturas significativas da onda obtidas por estimativa visual.

3. Caracterização da agitação marítima

3.1 Distribuição dos parâmetros de agitação

Os registos de agitação marítima obtidos pela bóia ondógrafo de Leixões foram objecto de tratamento prévio por parte do IH, tendo sido fornecidos três parâmetros, nomeadamente a altura significativa da onda (H_{so}), o período de pico da onda (T_p) e a direcção média do período de pico da onda (D_p). Com base nesta informação apresenta-se, de seguida, uma caracterização da distribuição dos parâmetros de agitação.

3.1.1 Alturas e períodos de onda

Na Figura 6.3 apresentam-se os resultados da série temporal amostrada de 3 em 3 horas, entre Junho de 2001 e Setembro de 2003, sob a forma de histogramas de frequências de ocorrência por classes de valor das grandezas. São adoptados os critérios de Barata *et al.* (1996) e Coelho (2005) na definição das classes.

As classes de direcção correspondem a sectores de 22.5° , centrados na direcção que dá o nome à classe. Por exemplo, a direcção NW corresponde ao intervalo $[303.75^\circ-326.25^\circ]$, o qual é definido pela direcção $315^\circ \pm 11.25^\circ$. As classes de período e altura da onda correspondem a intervalos, respectivamente, de 1 segundo (s) e de 1 metro (m), cuja designação é o limite à direita do intervalo. Consideram-se todos os intervalos abertos à esquerda e fechados à direita.

No que se refere à distribuição de alturas significativas da onda, o máximo de ocorrências (aproximadamente 47%) está presente na classe de 1.5 m. As classes 1.5 e 2.5 m representam, no seu conjunto, cerca de 72% dos registos.

A distribuição do período de pico da onda permite verificar que o máximo (aproximadamente 16%) ocorre na classe de 10 s. De referir que as classes correspondentes a períodos maiores e menores do que 10 s apresentam frequências que diminuem, gradualmente, a partir desse valor.

Em relação à direcção média do período de pico, verifica-se a ocorrência de um máximo de frequência na classe de rumo NW (43%). O conjunto das classes dos rumos WNW e NW representam 82% dos valores considerados.

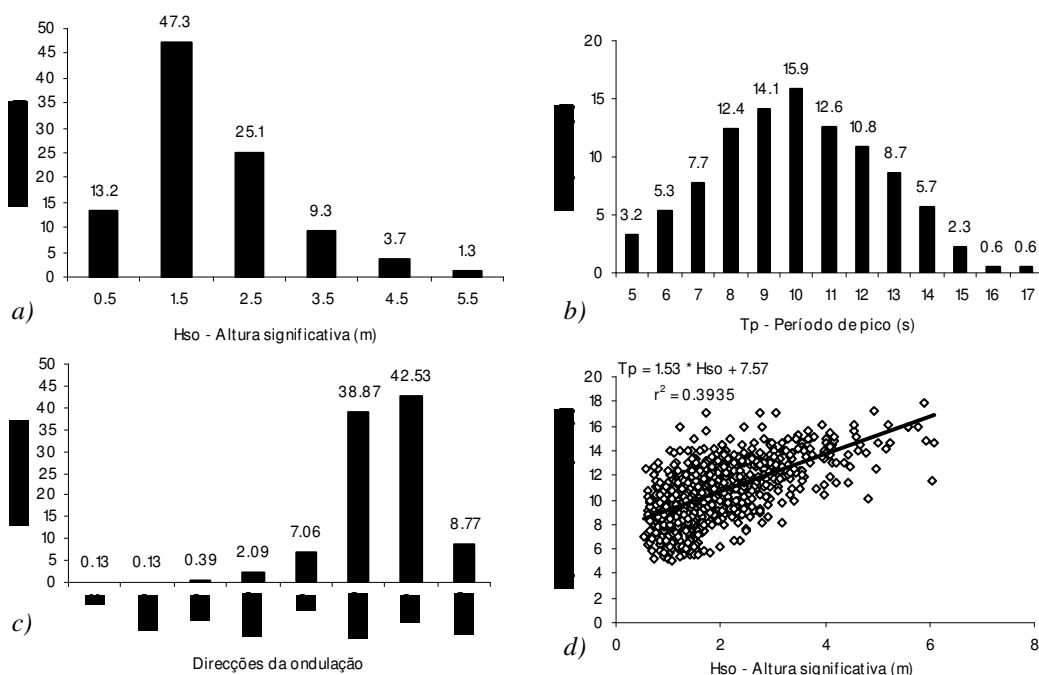


Figura 6.3: Agitação marítima ao largo de Leixões, considerando todos os registos disponíveis para o período compreendido entre Junho de 2001 e Setembro de 2003. O valor obtido para o coeficiente de correlação indicado em d) é significativo a 0.01.

A relação entre a altura significativa da onda e o período de pico da onda permite verificar a tendência de aumento do período de pico da onda para um aumento da altura da onda, sendo o coeficiente de correlação, entre ambos, de 0.62 (Figura 6.3 d). A equação de relação entre estas variáveis permite estimar, com algumas reservas, o período de pico da onda a partir da altura significativa da onda, o que se revela útil, enquanto forma de ultrapassar as lacunas na série temporal de registo das bóias, tendo em conta a não validade dos dados relativos ao período da onda nos registos de estimativa visual.

Na Figura 6.4 apresentam-se as médias mensais da altura significativa da onda e do período de pico da onda.

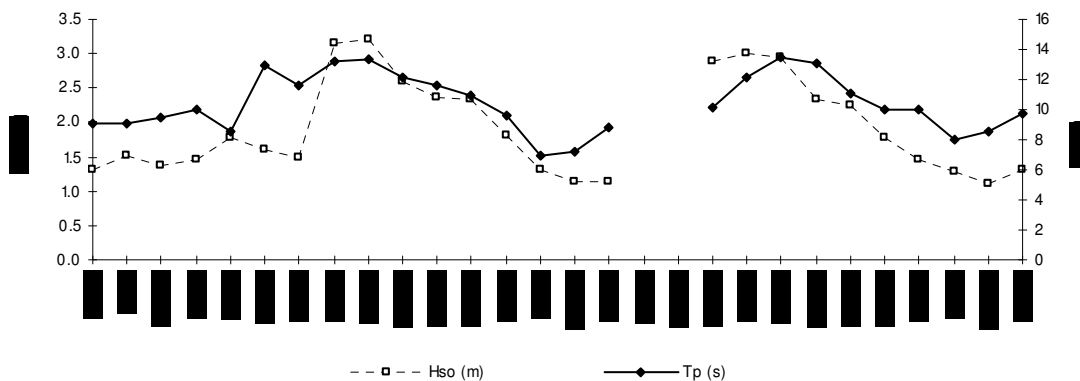


Figura 6.4: Variação da altura significativa da onda e do período de pico da onda entre Junho de 2001 e Setembro de 2003.

Relativamente à altura significativa da onda, verifica-se a ocorrência de uma variação sazonal, tendo os máximos mensais sido registados em Janeiro (3.15 m) e Fevereiro (3.22 m) de 2002, e em Janeiro (2.99 m) e Fevereiro (2.94 m) de 2003. Os mínimos mensais foram registados em Agosto e Setembro de 2002 (1.14 m) e Agosto de 2003 (1.11 m). Verifica-se também uma variação sazonal do período de pico da onda que acompanha a variação da altura significativa da onda. Os valores mais elevados foram registados em Janeiro (13.24 s) e Fevereiro (13.34 s) de 2002 e Fevereiro (13.41 s) de 2003. Os valores mais baixos foram registados em Julho de 2002 (6.98 s) e Julho de 2003 (8.0 s).

3.1.2 Rumos

Para caracterizar a forma como os parâmetros de agitação marítima se distribuem por rumos, são calculadas as respectivas percentagens de ocorrência. Na Figura 6.5 apresentam-se os resultados obtidos, considerando as variações mensais. No **anexo VI - A** encontra-se informação detalhada sobre a distribuição das observações por rumos.

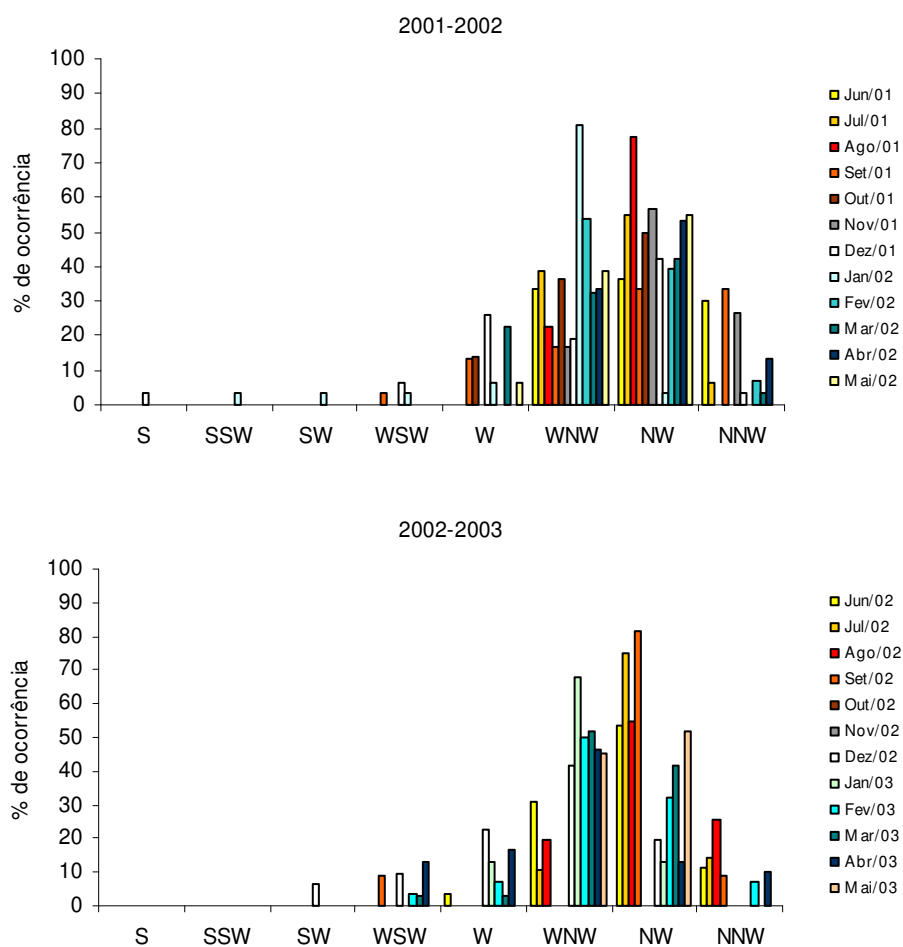


Figura 6.5: Distribuição mensal da agitação marítima ao largo de Leixões por rumos, entre Junho de 2001 e Maio de 2003.

A distribuição de frequências encontra-se, essencialmente, nos rumos WNW e NW, os quais concentram as maiores frequências de quase todos os meses, como já referido anteriormente. Verifica-se, contudo, que os meses de Verão estão maioritariamente representados pelo rumo NW, com especial destaque para Agosto de 2001 e Julho, Agosto e Setembro de 2002. Os meses de Inverno estão mais representados pelo rumo WNW, ocorrendo a maior frequência no mês de Janeiro de 2002 e de 2003.

Os rumos S, SSW e SW apresentam baixas frequências, as quais ocorrem em meses de Inverno (Dezembro de 2001 e Janeiro de 2002). Os rumos WSW e W apresentam também baixas frequências, estando presentes em meses de transição entre o Verão e o Inverno marítimos, como são o caso de Setembro e Outubro de 2001 e Março de 2002, e também em meses típicos de Inverno marítimo, como são os meses de Dezembro de 2001 e de 2002. O rumo NNW, também com baixas frequências, está mais representado nos meses de Verão, nomeadamente em Junho, Julho e Setembro de 2001, e em Junho, Julho e Agosto de 2002.

3.2 Temporais

Normalmente, considera-se a ocorrência de temporais na costa ocidental portuguesa quando os registos das alturas significativas das bóias ondógrafo excedem os 5 m. Nestas condições, a aquisição de dados pelas bóias ondógrafo é efectuada com intervalos de recolha inferiores às três horas habituais.

A delimitação de um temporal a partir de um conjunto de registos de uma bóia ondógrafo nem sempre é tarefa fácil. Se forem adoptados, como critério, os valores de altura significativa da onda que excedem os 5 m verifica-se que, por vezes, os registos oscilam em torno dessa referência, colocando dificuldades à delimitação do temporal.

No presente trabalho considera-se a ocorrência de um evento individual de temporal, quando pelo menos um registo de altura significativa da onda da bóia ondógrafo que se considere ultrapasse o valor de 5 m. Considera-se ainda como um evento de temporal, o conjunto de registos de alturas significativas cuja média seja superior a 4.5 m, desde que o valor mínimo desse conjunto não seja inferior a 3 m.

Relativamente à persistência do temporal considera-se, no presente trabalho, que um temporal é persistente quando a sua duração é superior a 24 horas.

Na Tabela 6.3 apresenta-se um resumo dos temporais identificados entre os anos de 2000 e 2003, com base nos registos das bóias ondógrafo de Leixões e Sines. São indicadas as datas do pico de cada temporal, a duração média de cada um deles, o intervalo de tempo entre picos de temporal, bem como os valores médios de altura significativa da onda e a máxima altura significativa da onda em cada temporal.

Tabela 6.3: Temporais identificados entre os Invernos marítimos de 2000 e 2003, com base no critério adoptado no presente trabalho. b.o. Sines: bóia ondógrafo de Sines; b.o. Leixões: bóia ondógrafo de Leixões.

Temporal	Data (Pico do temporal)	H _{so} (m)	H _{smax} (m)	Tp (s)	Dp (°)	Duração do temporal (horas)	Intervalo entre temporais (dias)	Nota
2000/2001								
1°	7 Dez 00	5.29	7.03	15.15	WNW	82	5	b.o. Sines
2°	13 Dez 00	5.32	5.48	15.83	WNW	6	5	b.o. Sines
3°	19 Dez 00	5.01	5.01	14.9	WNW	3	7	b.o. Sines
4°	27 Dez 00	4.94	5.08	12.78	WNW	9	3	b.o. Sines
5°	02-Jan-01	5.88	7.68	16.34	WNW	50	2	b.o. Sines
6°	05 Jan 01	5.01	5.01	14.85	WNW	6	5	b.o. Sines
7°	12 Jan 01	5.17	5.35	11.37	W	5	10	b.o. Sines
8°	23 Jan 01	4.89	5.70	18.2	WNW	75	8	b.o. Sines
9°	7 Fev 01	5.51	6.53	16.33	WNW	50	23	b.o. Sines
10°	2 Mar 01	5.13	5.13	10	WNW	6	2	b.o. Sines
11°	4 Mar 01	5.05	5.16	13.3	WNW	3	4	b.o. Sines
12°	8 Mar 01	5.03	5.31	16.7	WNW	4		b.o. Sines
2001/2002								
1°	19 Jan 02	5.20	5.40	17.45	WNW	3	2	b.o. Leixões
2°	23 Jan 02	5.41	7.72	15.65	W	50	2	b.o. Leixões
3°	27 Jan 02	5.04	5.17	15.03	WNW	9	5	b.o. Leixões
4°	03 Fev 02	5.48	6.29	15.45	WNW	48	1	b.o. Leixões
5°	5 Fev 02	6.37	7.24	16.77	WNW	15	39	b.o. Leixões
6°	18 Mar 02	5.18	5.18	16.07	WNW	3		b.o. Leixões
2002/2003								
1°	27 Dez 02	5.53	7.22	11.1	WNW	40	4	b.o. Leixões
2°	02 Jan 03	5.17	5.17	13.3	WNW	3	4	b.o. Leixões
3°	06 Jan 03	5.01	5.01	15.4	WNW	3	2	b.o. Leixões
4°	09 Jan 03	4.87	5.24	14.05	NW	15	9	b.o. Leixões
5°	20 Jan 03	5.98	6.82	16.1	WNW	40	9	b.o. Leixões
6°	30 Jan 03	5.09	5.09	15.4	NW	3	20	b.o. Leixões
7°	20 Fev 03	5.51	6.00	14.85	WNW	10	7	b.o. Leixões
8°	27 Fev 03	5.48	6.10	16.86	WNW	13	10	b.o. Leixões
9°	10 Mar 03	5.83	7.39	16.28	WNW	26		b.o. Leixões

No **anexo VI – B** apresenta-se, sob a forma gráfica, o registo mensal de todas as alturas significativas que ocorreram nos meses em que os temporais estiveram presentes.

Na Figura 6.6 apresentam-se as alturas significativas médias e a máxima altura significativa da onda para cada um dos temporais identificados no decurso do período de estudo, com base nos registos das bóias ondógrafo de Leixões e Sines. Na Figura 6.7 está representada a duração de cada temporal e a sua frequência, ou seja, o intervalo de tempo entre temporais. De referir que os dados das bóias ondógrafo de Leixões e Sines não devem ser directamente comparados, uma vez que têm localizações geográficas distintas na costa Oeste portuguesa, a que se associam condições de agitação de diferente intensidade.

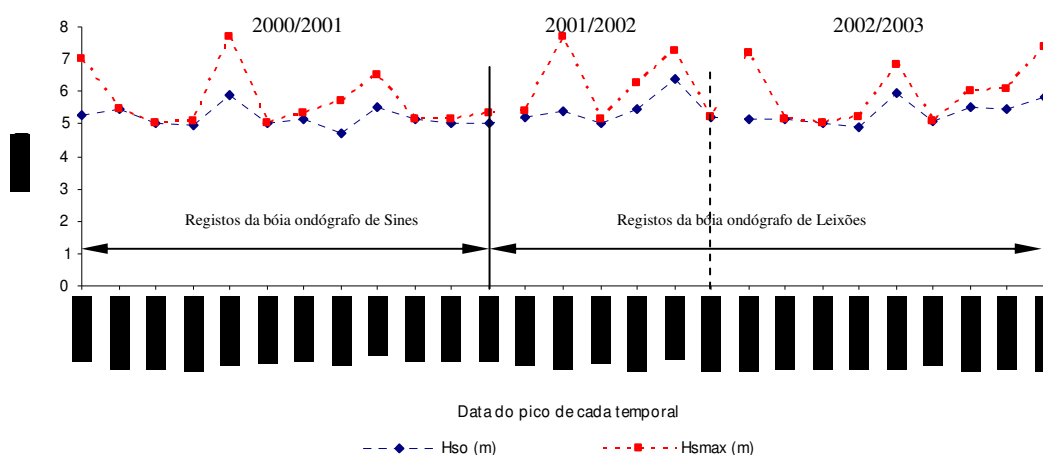


Figura 6.6: Altura significativa média da onda e máxima altura significativa da onda para cada um dos temporais registados no decurso do período de estudo. As datas referem-se ao pico de cada temporal.

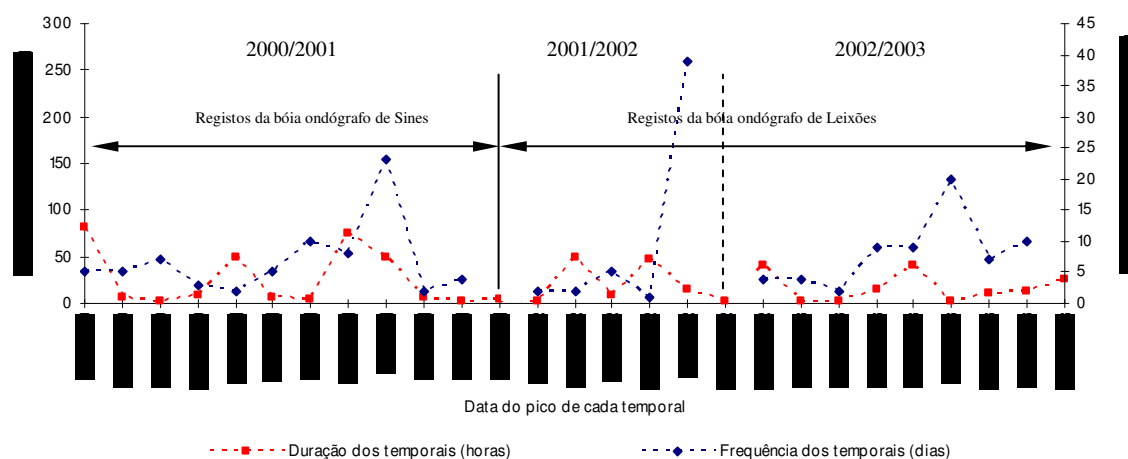


Figura 6.7: Duração e frequência dos temporais registados no período de estudo. As datas referem-se ao pico de cada temporal.

Os resultados apresentados revelam que os temporais predominam nos meses de Dezembro a Março de cada Inverno marítimo. A altura significativa máxima da onda registada em Sines, no decurso do Inverno marítimo de 2000/2001, é de 7.68 m. Em Leixões, a altura significativa máxima da onda registada, entre 2001/2003, é de 7.72 m.

Em relação à duração e ao intervalo de tempo entre os temporais identificados em Sines, verifica-se que quatro deles são particularmente persistentes, com duração igual ou superior a 50 horas. No que respeita à frequência, verifica-se que esta é, em média, de 6.7 dias. Entre os Invernos marítimos de 2001/2003, os temporais identificados em Leixões não ultrapassam as 50 horas.

Relativamente à frequência, esta é, em média, de 9.8 dias em 2001/2002, e de 8.1 dias em 2002/2003.

Considerando a importância que uma inferência das condições de temporal em Leixões representa para a caracterização das zonas de estudo, no decurso do Inverno marítimo de 2000/2001, procede-se à extrapolação dos valores de altura significativa da onda registados em Sines, nesse período, para Leixões. Para essa extrapolação considera-se que os temporais identificados em Sines, pelo facto de serem do rumo WNW, se fazem sentir em toda a costa Oeste, embora com menos severidade em Sines. Esta inferência baseia-se numa análise efectuada por Costa (1994) às situações típicas de temporal na costa Oeste portuguesa. Nessa extrapolação considera-se que os valores de altura significativa da onda em Leixões são 1.1 vezes superiores aos de Sines. Tal pressuposto baseia-se na comparação efectuada entre as alturas significativas máximas de um temporal que ocorreu em Sines e em Leixões, em 1999 (Tabela 6.4).

Tabela 6.4: Alturas significativas máximas ocorridas num temporal de rumo WNW, com registos nas bóias ondógrafo de Sines e Leixões. Máxima altura significativa da onda em Sines, com base em dados de Gama (2005) e máxima altura significativa da onda em Leixões, com base em dados de Coelho (2005).

Data	H_{smax} (m) (Sines)	H_{smax} (m) (Leixões)
21 – 23 Out 99	6.9	7.38

De referir, contudo, que a utilização desta relação de proporcionalidade entre temporais do rumo WNW, que ocorrem em Sines e Leixões, para inferir as máximas alturas significativas que terão ocorrido nos temporais de Leixões, deve ser efectuada com muitas reservas, salvaguardando a importância de análise futura de eventos de temporal que ocorrem nos dois locais.

De mencionar ainda que esta relação de proporcionalidade é inferior à que se encontra citada por Ferreira (1998), relativamente à comparação de registos de temporal em trabalhos de Pires e Pessanha (1986 a, b). Neste caso foi definida uma relação de 1.3 entre Sines e o Cabo da Roca, ou seja, os temporais registados no Cabo da Roca apresentavam-se 1.3 vezes mais intensos do que os de Sines.

Com base na relação de proporcionalidade inferida no presente trabalho apresenta-se, na Tabela 6.5, os resultados da extrapolação dos dados de Sines para Leixões, no Inverno marítimo de 2000/2001. A média das diferenças obtidas entre alturas significativas máximas é de 0.55 m.

Um aspecto que tem merecido maior atenção recentemente é a definição e identificação de temporais sucessivos ou grupo de temporais. A maior parte das publicações e relatórios sobre temporais na costa ocidental Portuguesa diz respeito à identificação e caracterização de eventos individuais de temporal (ver capítulo V – 2.1.2). Contudo, para estudos relacionados com a

vulnerabilidade de praias à acção de temporais, tem sido aplicada uma nova abordagem que analisa o impacte de grupos de temporais (ver capítulo IX – 6.1).

Tabela 6.5: Valores de altura significativa da onda e de duração de temporais em Leixões, a partir da extrapolação dos valores da bóia ondógrafo de Sines, no Inverno marítimo de 2000/2001.

Temporal	Data (Pico do temporal)	H_{so} (m)	H_{smax} (m)	Duração do temporal (horas)	Intervalo entre picos de temporal (dias)
1°	1 Dez 00	5.01	5.01	3	6
2°	7 Dez 00	5.79	7.73	106	6
3°	13 Dez 00	5.48	6.0	20	6
4°	19 Dez 00	5.20	5.51	12	8
5°	27 Dez 00	5.31	5.58	24	5
6°	02 Jan 01	6.40	8.4	52	4
7°	05 Jan 01	5.20	5.50	15	7
8°	12 Jan 01	5.50	5.80	12	11
9°	23 Jan 01	5.34	6.27	84	15
10°	7 Fev 01	6.04	7.18	54	22
11°	2 Mar 01	5.25	5.64	10	2
12°	4 Mar 01	5.37	5.67	8	4
13°	8 Mar 01	5.37	5.84	15	

De acordo com Ferreira (2004), dois ou mais temporais são classificados como sucessivos (grupo de temporais) se o período de tempo decorrido entre o pico de cada um deles for inferior a três semanas (21 dias) ou, em alternativa, duas semanas (14 dias), entre o fim do primeiro temporal e o início do segundo. Ferreira (2004) considera ainda, para a aplicação deste critério, apenas os temporais cuja média das máximas alturas significativas é igual ou superior a 6 m.

Com base neste critério apresenta-se, na Tabela 6.6, o intervalo de tempo entre picos dos temporais com altura significativa da onda igual ou superior a 6.0 m, identificados entre os Invernos marítimos de 2000 e 2003. Relativamente ao Inverno marítimo de 2000/2001 considera-se os valores extrapolados de Sines para Leixões.

Os resultados obtidos permitem identificar a ocorrência de um grupo de três temporais e um grupo de dois temporais no Inverno marítimo de 2000/2001. No Inverno marítimo de 2001/2002 é identificado um grupo de três temporais e no Inverno marítimo do ano seguinte, um grupo de três temporais.

Tabela 6.6: Intervalo de tempo entre os picos dos temporais com altura significativa da onda superior a 6.0 m, identificados entre os Invernos marítimos de 2000 e 2003. Os números atribuídos aos temporais são baseados na lista completa de temporais que se encontra na Tabela 6.3. (*) Valores obtidos por extrapolação de dados de Sines para Leixões, assumindo uma relação de proporcionalidade de 1.1 entre ambos os locais.

Identificação do temporal	Data (pico do temporal)	H_{smax} (m)	Duração (horas)	Intervalo (dias entre temporais)
2000/2001				
2º temporal	7 Dez 00	7.73*	106*	6 (2º - 3º) 20 (3º - 6º)
3º temporal	13 Dez 00	6.00*	20*	
6º temporal	2 Jan 01	8.40*	52*	
9º temporal	23 Jan 01	6.27*	84*	15 (9º - 10º)
10º temporal	7 Fev 01	7.18*	54*	
2001/2002				
2º temporal	23 Jan 02	7.72	50	10 (2º - 4º) 2 (4º - 5º)
4º temporal	3 Fev 02	6.29	48	
5º temporal	5 Fev 02	7.24	15	
2002/2003				
7º temporal	20 Fev 03	6.0	10	7 (7º - 8º)
8º temporal	27 Fev 03	6.1	13	11 (8º - 9º)
9º temporal	10 Mar 03	7.39	26	

4. Símula

Recorreu-se, para o período em que se inserem os trabalhos de campo, a diferentes fontes de dados de agitação marítima, tendo em conta a inexistência de um registo regular na bóia ondógrafo de Leixões. No que se refere aos dados de estimativa visual, apresentam-se as seguintes conclusões:

- Do ponto de vista da altura da onda, considera-se que a informação disponibilizada, que diz respeito a alturas máximas da onda, é válida;
- Em relação ao período da onda, os dados fornecidos não apresentam qualidade suficiente para poderem ser considerados;
- Os dados de estimativa visual representam condições médias de agitação, não permitindo efectuar uma análise de temporais.

Foi efectuada uma breve caracterização do regime de agitação marítima na bóia ondógrafo de Leixões, para o período compreendido entre Junho de 2001 e Setembro de 2003. Em relação aos resultados obtidos são de referir os seguintes aspectos:

- Verifica-se a ocorrência de uma concordância, no que respeita às principais classes de frequência da direcção da ondulação, da altura significativa da onda e do período de pico da onda, entre o regime de agitação analisado e o clima de agitação marítima em Leixões;
- A relação estabelecida entre a altura significativa da onda e o período de pico da onda, para o período a que se reporta a presente análise, permite estimar, com algumas reservas, o período de pico da onda a partir da altura significativa da onda, o que se revela útil para colmatar lacunas na série temporal da bóia de Leixões, atendendo à não validade dos dados relativos ao período da onda nos registos de estimativa visual.

Relativamente à análise de temporais foram considerados dados das bóias ondógrafo de Sines e de Leixões, tendo em conta, também neste caso, a ausência de um registo contínuo em Leixões. Considerando que os temporais do rumo WNW ocorrem em toda a costa ocidental, embora com menos intensidade em Sines, procedeu-se à extrapolação das alturas significativas dos temporais identificados em Sines para Leixões. Nessa extrapolação assumiu-se que os temporais do rumo WNW em Leixões são 1.1 vezes mais intensos do que em Sines.

Esta inferência foi efectuada apenas com base na análise de um único temporal, que ocorreu simultaneamente em Sines e Leixões, pelo que deve ser assumida com muitas reservas, salvaguardando a necessidade futura de uma maior fundamentação.

CAPÍTULO VII

EVOLUÇÃO RECENTE DA RESTINGA DO RIO DOURO NO CONTEXTO HIDRODINÂMICO DO SEU ESTUÁRIO

A natureza nunca faz nada inútil ou para uso nocivo

John Locke

VII. EVOLUÇÃO RECENTE DA RESTINGA DO RIO DOURO NO CONTEXTO HIDRODINÂMICO DO SEU ESTUÁRIO

1. Introdução

As restingas são formas geomorfológicas resultantes de processos hidrodinâmicos que ocorrem na interface entre o meio terrestre e marinho. Como tal, são afectadas por diversos processos, de intensidade variável, de ambos os meios. Estes corpos arenosos acusam mudanças geomorfológicas que podem ocorrer em escalas temporais variáveis, desde as quase instantâneas, que podem estar relacionadas com temporais ou caudais de cheia, até às mudanças progressivas que ocorrem em resultado de variações do nível do mar.

O estudo que se apresenta diz respeito a uma abordagem de macro-escala, o qual considera as variações sazonais na morfologia e na volumetria da restinga do rio Douro. Para a sua realização foi estabelecido um programa de monitorização entre os anos de 2001 e 2004, com base nas metodologias *DGPS* desenvolvidas.

Tendo em conta as relações que existem entre as formas litorais e os processos hidrodinâmicos ocorrentes, analisam-se os efeitos relativos da onda, da maré e do caudal fluvial na dinâmica acrecionária e erosiva deste corpo arenoso.

2. Antecedentes

Do ponto de vista dos elementos disponíveis sobre a representação da morfologia do corpo arenoso da restinga do rio Douro, destacam-se as representações cartográficas antigas elaboradas até inícios do século XX, as representações obtidas por técnicas fotogramétricas no decurso da segunda metade do século XX e as representações elaboradas mais recentemente com base na utilização de técnicas *DGPS*.

Relativamente à representação cartográfica da restinga do rio Douro, os elementos mais antigos datam do séc. XVI (Carvalho, 1999), encontrando-se em Jesus (2003) uma síntese bibliográfica dessas representações para o período compreendido entre os sécs. XVII e XIX.

Com base em várias dessas representações, a APDL realizou um estudo relativo à evolução da linha de praia da restinga, para o período compreendido entre 1854 e 1998. A Figura 7.1 representa essa evolução, a qual aponta para uma migração nítida da linha de praia da restinga para o interior do estuário.

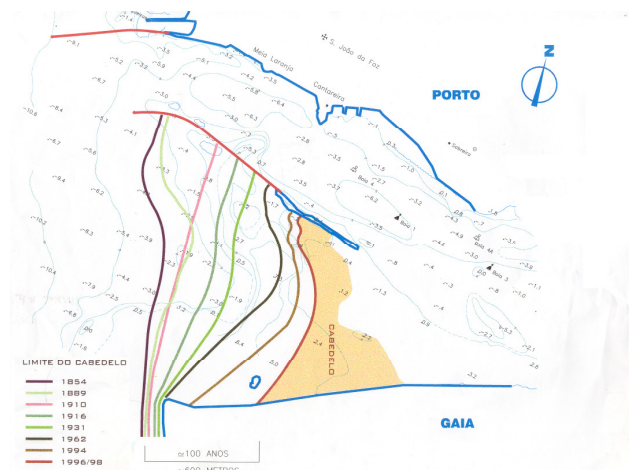


Figura 7.1: Estudo baseado em dados cartográficos, evidenciando a variação de limites da restinga, entre 1854 e 1998. Adaptado de APDL.

A resposta da restinga a eventos de elevada energia e curta duração está bem patente em algumas representações cartográficas que foram efectuadas num passado ainda recente. A Figura 7.2 ilustra a recuperação da restinga após as cheias extraordinárias de 1909, as quais galgaram a restinga ao longo de praticamente toda a sua extensão.

De notar que em Janeiro de 1910 apenas persistia algum sedimento na parte emersa da restinga. Nos meses seguintes, a restinga sofreu sucessivos episódios de acreção, tendo retomado a sua forma característica em Agosto de 1910.



Figura 7.2: Diferentes situações da restinga do rio Douro nos seis meses seguintes às cheias de Dezembro de 1909. Fonte: APDL.

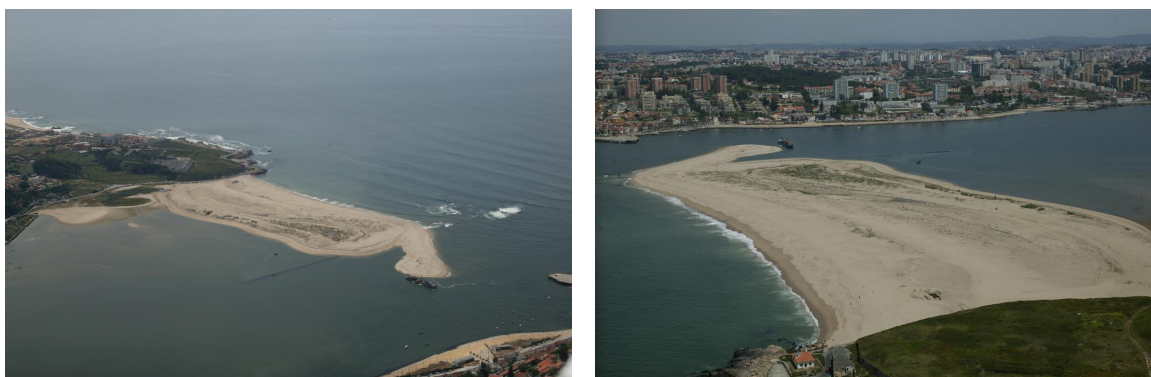


Figura 7.4: Vistas aéreas sobre a restinga do rio Douro. Fotografia de Piqueiro, Março/2004.

Na Figura 7.5 apresenta-se uma vista aérea da restinga relativa a 1995. Indicam-se diversas obras de defesa costeira presentes na envolvente à restinga, em particular na frente marítima do Porto situada na margem direita do rio.



Figura 7.5: Vista aérea da restinga, em 1995, com identificação de alguns elementos presentes na foz do Douro. 1: Molhe de Felgueiras; 2: Molhe Touro; 3: Meia Laranja; 4: Molhe Luís Gomes de Carvalho. Adaptado de Jesus (2003).

4. Métodos

4.1 Morfologia e volumetria

O método de campo adoptado consiste na realização de uma rede de perfis *DGPS* que se ajusta às características morfológicas presentes no terreno, de acordo com critérios definidos no capítulo IV – 5.2. É efectuado, em cada campanha, o levantamento do contorno da restinga. Para a realização da rede de perfis *DGPS* recorre-se às metodologias desenvolvidas na presente dissertação (ver capítulo IV, pontos 2.1 e 2.2).

A rede de perfis constitui a base para a geração de um *DEM* para cada campanha, a partir do qual são calculados os volumes sedimentares da restinga. Considera-se como referência altimétrica para o cálculo de volumes, o nível médio do mar (NMM). Para o cálculo da área da restinga é considerado o plano definido pelo NMM em cada campanha de observação.

No **anexo VII** indicam-se as datas e as condições de maré em cada campanha de observação considerada para este estudo. As observações são realizadas, sempre que possível, em condições de baixa-mar de maré viva. Em algumas das campanhas, nomeadamente, as de Junho e de Setembro de 2001 e a de Março de 2002, apenas foi realizado o levantamento do contorno da restinga, devido a condicionantes logísticas.

Para a determinação das variações de largura da restinga considera-se uma referência estabelecida na face estuarina da restinga. A Figura 7.6 ilustra o critério adoptado para essa determinação.

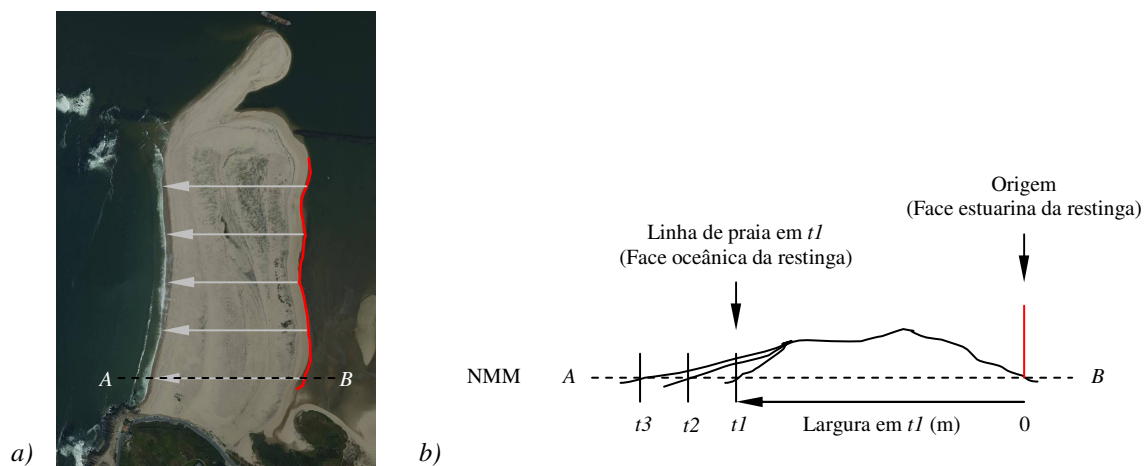


Figura 7.6: Critério adoptado para a avaliação das variações de largura da restinga. *a)* Representação em planta dos locais seleccionados para a determinação da largura da restinga; *b)* Para o perfil *AB* indicado em *a)* apresenta-se um corte esquemático, relativo às larguras determinadas nas épocas de observação *t1*, *t2* e *t3*.

Essa referência é definida como um limite fixo predefinido (a vermelho na Figura 7.6), comum a todas as campanhas de observação, tendo em conta a estabilidade relativa da face

estuarina da restinga. Esse limite constitui a origem para o cálculo da largura da restinga. A largura é determinada com base em 5 medições entre a origem predefinida e a linha de praia, em cada campanha de observação, considerando sempre, nessas medições, o plano definido pelo NMM.

4.2 Hidrodinâmica

A variabilidade geomorfológica de corpos arenosos presentes em estuários tem sido avaliada em relação à amplitude da maré (Hayes, 1979), fluxo sedimentar (Nicholls, 1989) e influência relativa da ondulação e maré (Davis e Hayes, 1984).

No presente trabalho, a variabilidade morfológica assumida pela restinga, durante o período em estudo, é analisada, tomando, como referência, a influência relativa da ondulação e da maré, de acordo com os critérios adotados por Hayes (1979) e Davis e Hayes (1984). As relações entre os processos de maré e de onda foram apresentados por Hayes (1979) que, com base em estudos realizados em diversas regiões do globo, estabeleceu o diagrama que se apresenta na Figura 7.7.

Este diagrama apresenta cinco domínios hidrodinâmicos, desde o domínio da maré até ao domínio da ondulação. Hayes (1979) considera que o desenvolvimento de ilhas barreira ocorre até um limite definido no interior do domínio da maré (baixo) (Figura 7.7). Este autor considera que os litorais onde predominam as condições de ondulação são caracterizados pela presença de formas arenosas que se dispõem segundo a direcção da costa. Entre essas formas, são referidas as barras longilitorais, as praias e os cordões dunares frontais.

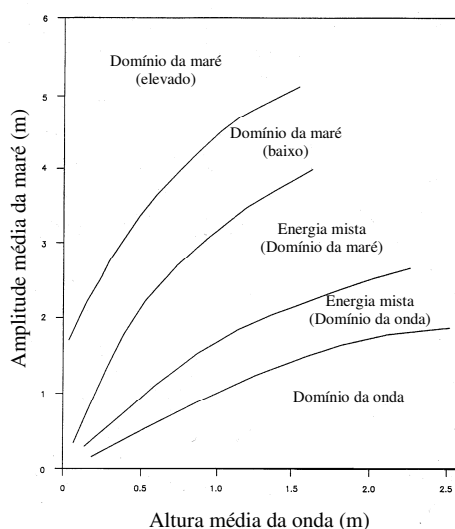


Figura 7.7: Relação geral entre a amplitude de maré e a altura da onda de acordo com Hayes (1979). Adaptado de Morang e Parson (2002).

Para avaliar a influência relativa da maré e da ondulação na dinâmica da restinga, consideram-se as médias mensais da amplitude de maré e da altura da onda para o período em que decorreu o presente estudo.

Uma outra variável também considerada são os caudais médios mensais lançados no aproveitamento hidroelétrico de Crestuma-Lever, entre Janeiro de 2001 e Maio de 2003. Para tal, são usados dados fornecidos pela Companhia Portuguesa de Produção de Electricidade – CPPE.

5. Resultados

5.1 Variabilidade morfológica e volumétrica

As Figuras 7.8 a 7.11 representam a variabilidade morfológica da restinga entre Junho de 2001 e Janeiro de 2005. Um aspecto que merece referência, por observação dos mapas de contorno, é a estabilidade relativa, durante o período em análise, da face estuarina da restinga, a qual contacta directamente com um sapal. Também no seu interior, a zona compreendida entre a face estuarina e o limite da principal cicatriz de temporal, presente e identificada na Figura 7.8, se manteve relativamente estável.

No decurso do ano de 2001, a restinga caracterizou-se pela presença de uma linha de praia, no seu contacto com o mar, numa posição bastante interior no estuário (Figura 7.8).

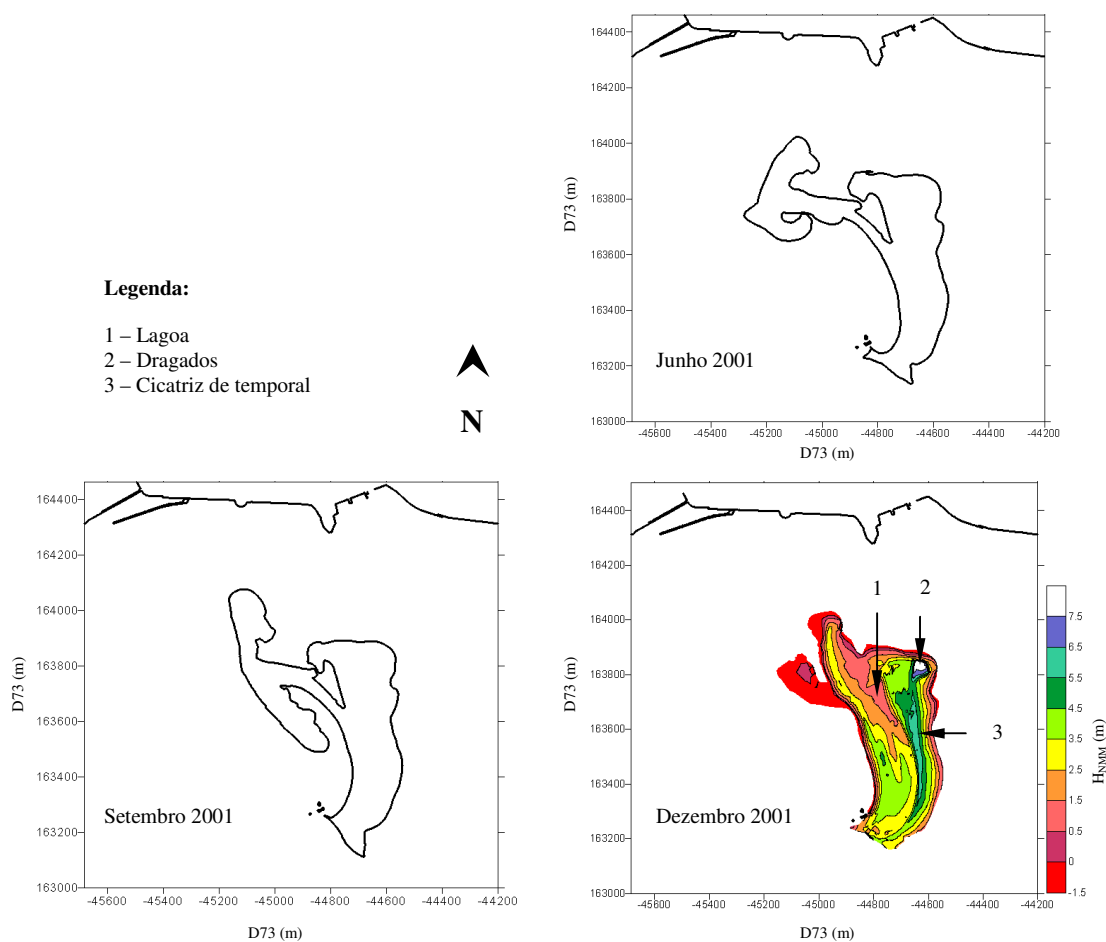


Figura 7.8: Configuração da restinga em Junho e Setembro de 2001, e mapa de contornos, em Dezembro de 2001.

De notar a presença de uma flecha arenosa no extremo norte da restinga, em Junho e Setembro desse ano. Em Dezembro de 2001, essa flecha já não estava presente.

A área média da restinga variou, no decurso de 2001, entre os 210000 m², em Junho, e os 250000 m², em Dezembro. No que diz respeito ao volume, foi determinado um valor de cerca de 610000 m³, em Dezembro de 2001. Relativamente às variações de largura, de notar que em Junho e Setembro de 2001, a largura média era de cerca de 180 m e, em Dezembro de 2001, atingia os 260 m.

O ano de 2002 ficou marcado por um aumento significativo da área e do volume por acreção sedimentar na face oceânica (Figura 7.9). A largura média da restinga passou dos 260 m, em Dezembro de 2001, para os 360 m, em Março de 2002, mantendo-se dentro desse valor nos meses de Maio e Setembro. Em Dezembro daquele ano verificou-se uma diminuição de largura para os 300 m.

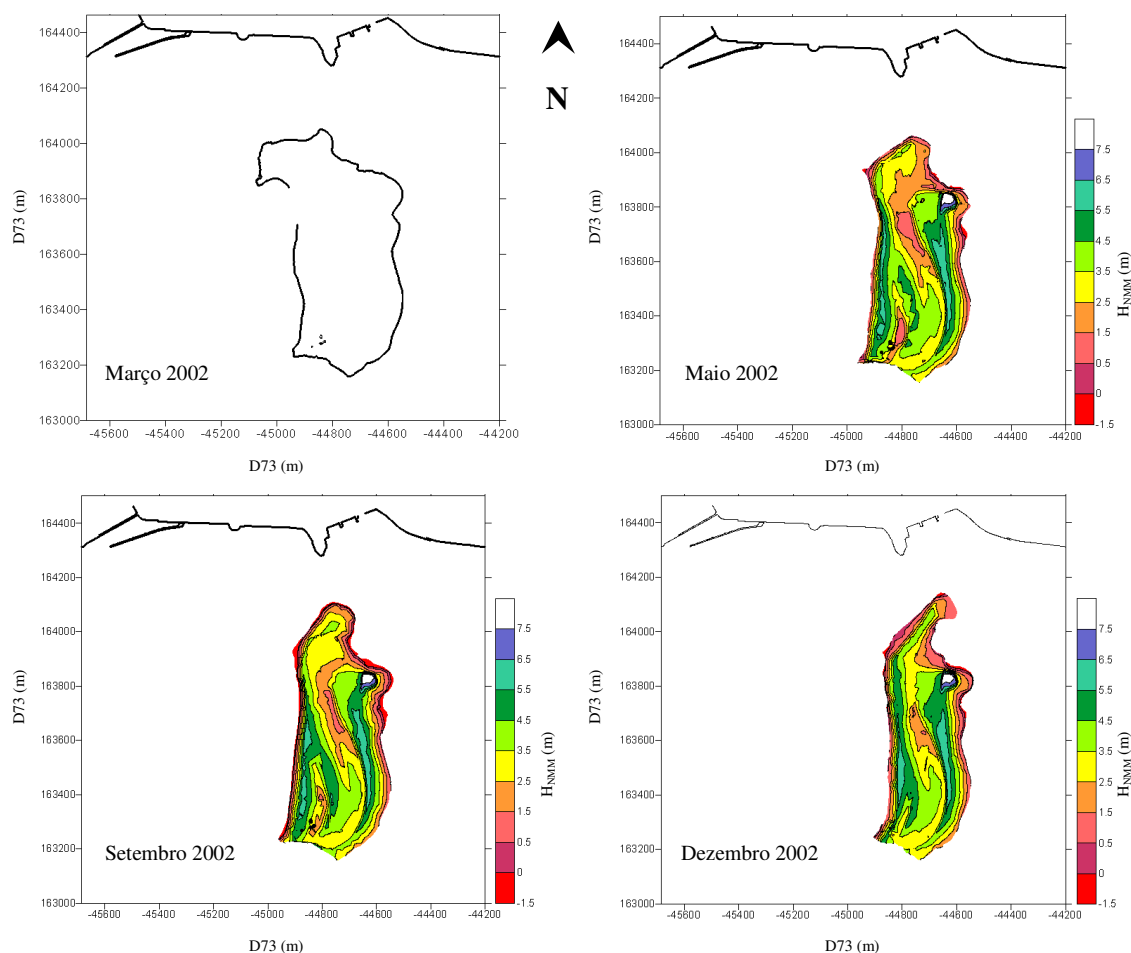


Figura 7.9: Configuração da restinga em Março de 2002, e mapas de contornos relativos aos meses de Maio, Setembro e Dezembro de 2002.

Seguindo a tendência expressa pela variação de largura, a área acusou um aumento relativo de cerca de 40000 m^2 , entre Dezembro de 2001 e Março de 2002, a qual representou uma acreção sedimentar de cerca de 260000 m^3 , em apenas três meses. No decurso de 2002, a área da restinga foi diminuindo progressivamente por erosão da praia que, entretanto, se tinha formado na face oceânica. Em Dezembro foi calculada uma área de cerca de 230000 m^2 e um volume de 770000 m^3 .

Salienta-se ainda a rotação do extremo Norte da restinga, a qual, encontrando-se voltada para o lado do mar, em Março de 2002, sofreu uma rotação para o lado do rio, em Dezembro de 2002.

A transição de Dezembro de 2002 para Março de 2003 ficou marcada pela mudança de posição do extremo norte da restinga, a qual se encontrava inicialmente voltada para o lado do rio e, em Março de 2003, assumia, novamente, tal como em Março de 2002, a posição voltada para o mar (Figura 7.10). Não se registaram, contudo, variações significativas de área e de volume sedimentar entre as duas campanhas.

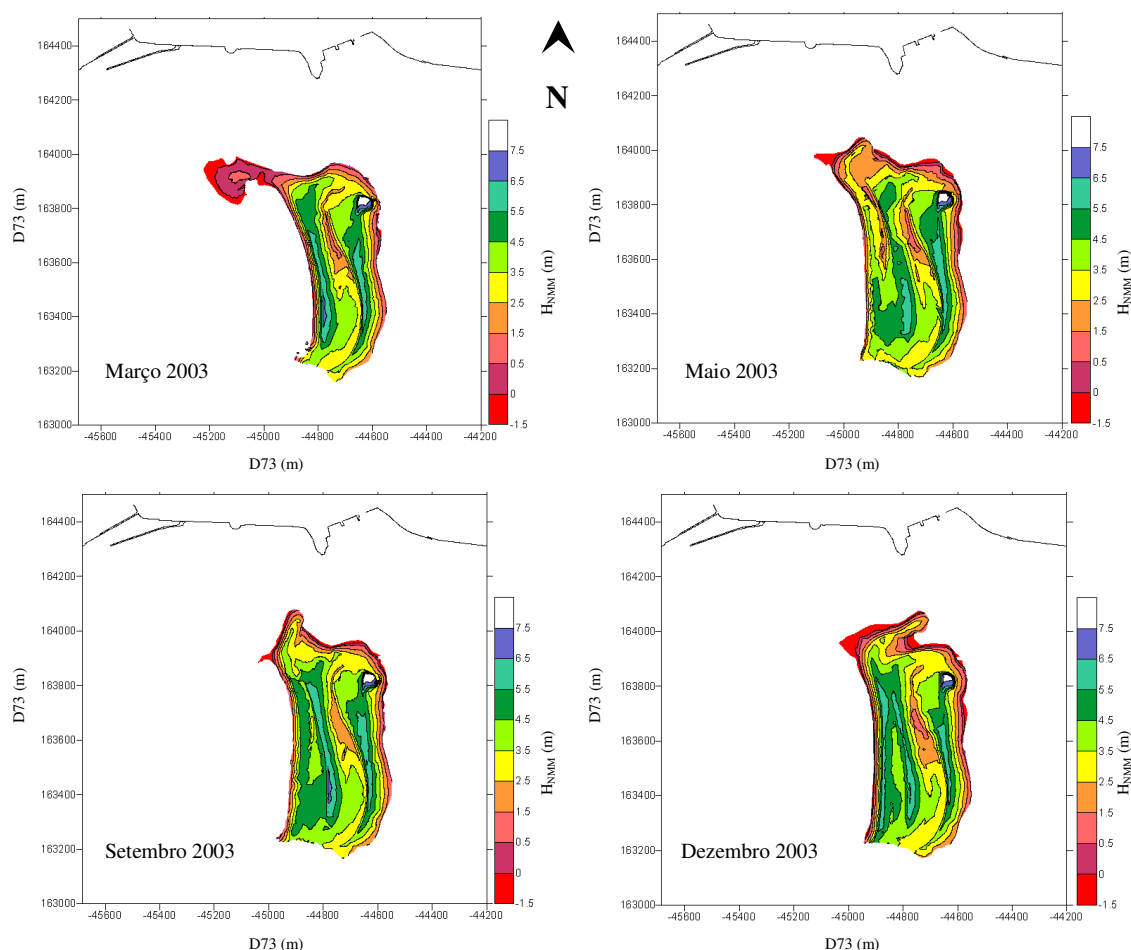


Figura 7.10: Mapas de contornos relativo ao ano de 2003.

Entre Março e Maio de 2003, ocorreu um aumento significativo de área e de volume sedimentar. O aumento de área foi de cerca de 54000 m^2 e o aumento de volume cerca de 240000

m³. Nas restantes observações efectuadas nesse ano não se registaram variações significativas nestas variáveis.

No que diz respeito à largura da restinga, registou-se um estreitamento, entre Dezembro de 2002 e Março de 2003, dos 300 m, aproximadamente, para os 270 m. Contudo, a partir de Março voltou a ocorrer aumento de largura, a qual foi calculada em 370 m, em Maio de 2003, mantendo-se dentro desse valor ao longo do resto do ano.

No início de 2004, ao contrário do que se verificou anteriormente, o extremo norte da restinga não assumiu a configuração apresentada no mês homólogo do ano anterior, isto é, voltada para o mar (Figura 7.11).

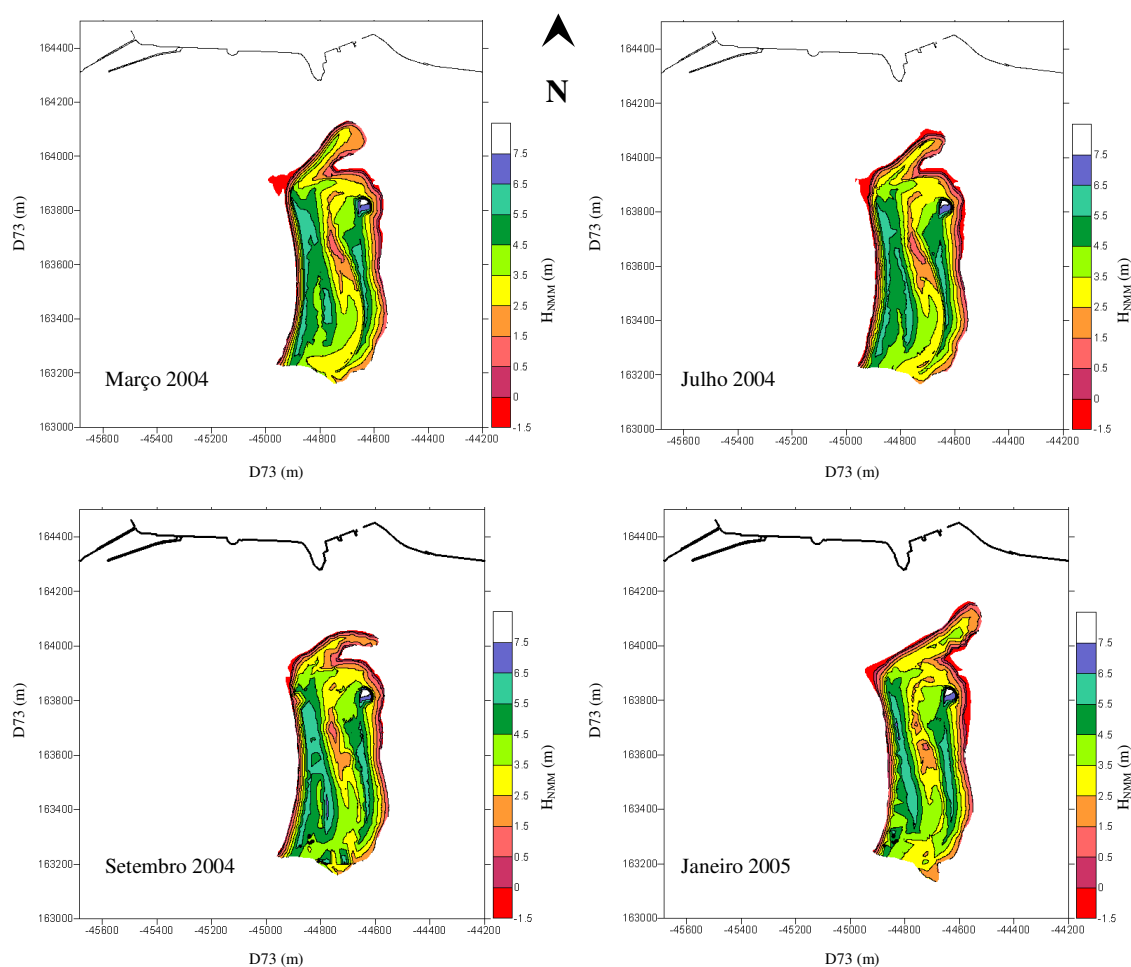


Figura 7.11: Mapas de contornos relativo aos anos de 2004 e 2005.

Ao longo desse ano ficou bem patente a configuração do extremo norte da restinga voltado para o lado do rio. Este ano pode ser considerado como um ano de relativa estabilidade da restinga, não se registando as variações sazonais de volume e de área verificadas nos anos anteriores. O volume médio calculado foi de cerca de 900000 m³ e a área foi de cerca de 260000 m², podendo-se

considerar estes valores como sendo de uma ordem de grandeza semelhante aos calculados para Dezembro de 2003.

Na Figura 7.12 está representada a variação de volume e de área no decurso do período considerado para este estudo. Verifica-se que existe uma relação directa entre as variações volumétricas e as variações de área. De um modo geral, pode considerar-se que existe uma sazonalidade na variação dos volumes com os meses de Verão marítimo, acusando acreção sedimentar, e os meses de Inverno marítimo, revelando erosão.

O ajuste linear efectuado aos volumes calculados permite inferir uma tendência para um ligeiro aumento do volume da restinga, entre Dezembro de 2001 e Janeiro de 2005, o qual ocorreu por acreção sedimentar na face oceânica e, eventualmente, no extremo norte da restinga.

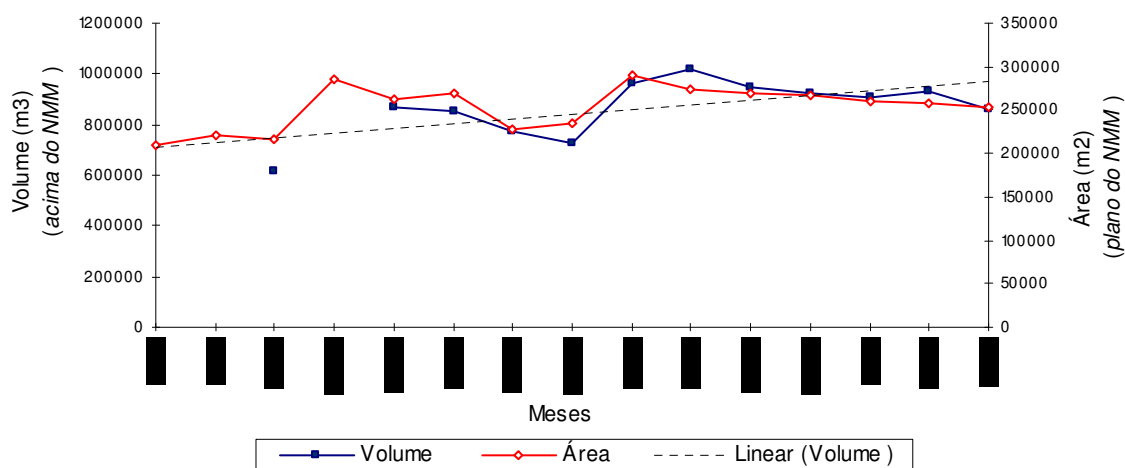


Figura 7.12: Variação sazonal da área e volume da restinga durante o período considerado para este estudo.

5.2 Hidrodinâmica

A Figura 7.13 apresenta as relações entre as médias mensais da amplitude da maré e da altura média da onda para o período em estudo. Tendo em conta os limites definidos por Hayes (1979), que se apresentam no diagrama da Figura 7.7, pode considerar-se que está presente um domínio de energia mista, com prevalência do domínio da maré em determinados períodos do ano e prevalência do domínio da onda, noutros.

O ano de 2001 inclui-se, exceptuando o mês de Outubro, em condições de energia mista com domínio da maré.

No ano de 2002 verifica-se um predomínio dos meses de Verão no domínio respeitante às condições de energia mista (domínio da maré), e um predomínio dos meses de Inverno no domínio que diz respeito a condições de energia mista (domínio da onda). De referir que os meses de Junho, Julho, Agosto e Setembro desse ano se inserem no domínio de energia mista (domínio da maré).

No que diz respeito ao ano de 2003, verifica-se que os meses entre Abril e Setembro de 2003 incluem-se no domínio de energia mista (domínio da maré), integrando-se, os restantes meses, no domínio de condições de energia mista (domínio da onda).

Relativamente ao ano de 2004 verifica-se a ocorrência de uma nítida assimetria da distribuição das médias mensais das variáveis consideradas, com praticamente todos os meses a incluírem-se no domínio de condições de energia mista (domínio da maré).

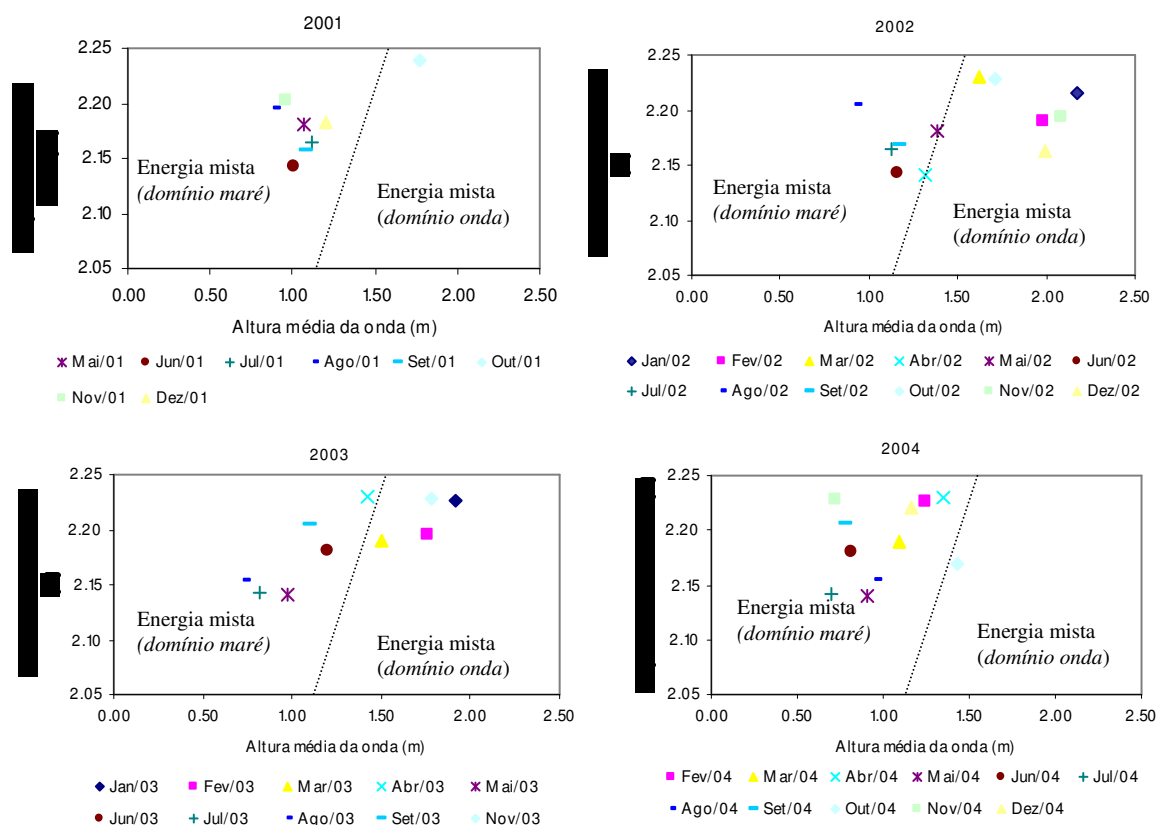


Figura 7.13: Relação entre a amplitude da maré e a altura da onda, considerando as médias mensais para ambas as variáveis, nos anos de 2001 a 2004.

A Figura 7.14 apresenta os caudais médios mensais lançados no aproveitamento hidroeléctrico de Crestuma-Lever, entre Janeiro de 2000 e Maio de 2003.

Verifica-se que, para o período considerado, os valores mais elevados de caudal ocorrem em meses de Inverno, com destaque para o Inverno de 2001, no qual foram registados os valores mais elevados, atingindo os 4450 m³/s, em Março de 2001. No ano seguinte, os valores mais elevados foram também registados em Março (570 m³/s). Em 2003, o mês que registou lançamentos mais elevados foi o de Janeiro (2620 m³/s).

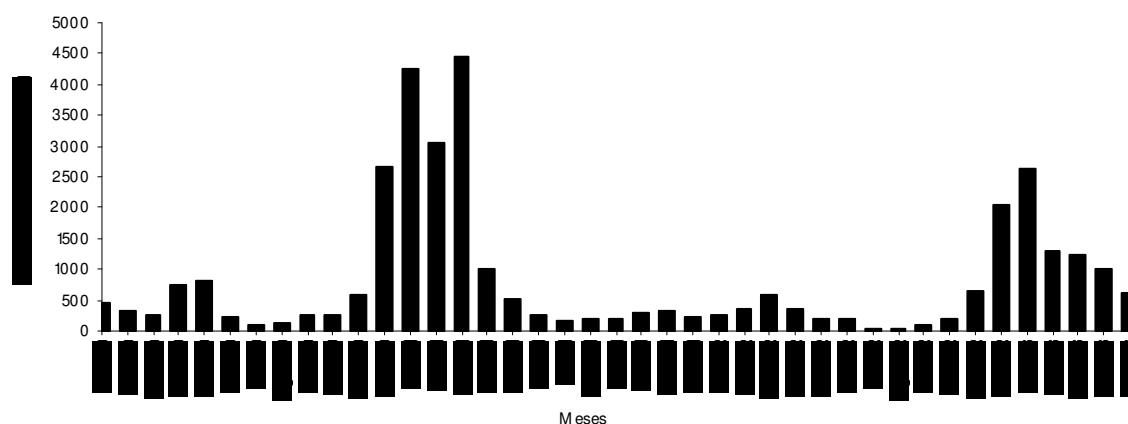


Figura 7.14: Caudais médios mensais lançados no aproveitamento hidroeléctrico de Crestuma – Lever, entre Maio de 2001 e Maio de 2003. Elaborado com base em dados da CPPE.

6. Discussão

A caracterização morfodinâmica da variabilidade sazonal que ocorre em corpos arenosos presentes em estuários, requer o conhecimento das influências relativas da ondulação, da maré e dos processos fluviais, os quais condicionam a sua evolução.

Do ponto de vista do transporte sedimentar, os estuários funcionam como receptores e exportadores de sedimentos dos canais fluviais para o mar. O comportamento de corpos arenosos presentes em estuários reflecte o balanço relativo entre os processos marinhos e fluviais. A transferência sedimentar para o mar a partir dos estuários, não é um processo constante no tempo nem no espaço. As relações que se estabelecem, em cada momento, entre as energias do caudal fluvial, da ondulação e das correntes induzidas pelas marés condicionam o trânsito sedimentar, o qual pode deslocar-se mais para o interior do estuário ou, pelo contrário, para o seu exterior.

Os resultados obtidos neste estudo referem-se a uma série temporal de duração relativamente curta, permitindo apenas inferir tendências sazonais. Alguns aspectos merecem ser destacados:

1. A face estuarina da restinga manteve-se relativamente estável durante o período de estudo. Também algumas das formas presentes no seu interior não sofreram variações significativas, nomeadamente as mais próximas da face estuarina;
2. As zonas da restinga que evidenciaram uma maior dinâmica foram as localizadas na face oceânica, bem como a zona do extremo norte da restinga.

A estabilidade relativa da face estuarina da restinga está, naturalmente, relacionada com a ausência de caudais de cheia extraordinária no decurso do período considerado, bem como com a ausência de temporais que possam induzir a sua ruptura.

Em relação à dinâmica presente na face oceânica, que se materializa por variações sazonais da largura da restinga e, conseqüentemente, do seu volume sedimentar, os resultados obtidos no que se refere às relações entre as médias mensais da amplitude da maré e da altura da onda parecem justificar alguns comportamentos observados na restinga.

Na Figura 7.15 confronta-se a variabilidade volumétrica da restinga com os domínios hidrodinâmicos obtidos com base no diagrama de Hayes (1979). De um modo geral, verifica-se que a presença de condições de energia mista (domínio da maré) favorece a dinâmica acrecionária da restinga ou, pelo menos, de manutenção de alguma estabilidade em termos volumétricos, enquanto a presença de condições de energia mista (domínio da onda) se associa de um modo geral à perda do seu volume.

Uma exceção deve ser referida nessa análise relativamente ao período compreendido entre Janeiro e Março de 2002, durante o qual a presença de condições mistas com domínio da onda não se associa a uma perda de volume da restinga. A dinâmica acrecionária verificada nesse período está, possivelmente, relacionada com uma maior disponibilidade sedimentar. Os fortes caudais fluviais registados no Inverno de 2001 terão contribuído para um maior afluxo sedimentar ao estuário do Douro. A presença de uma flecha arenosa no extremo norte da restinga materializa essa maior disponibilidade sedimentar.

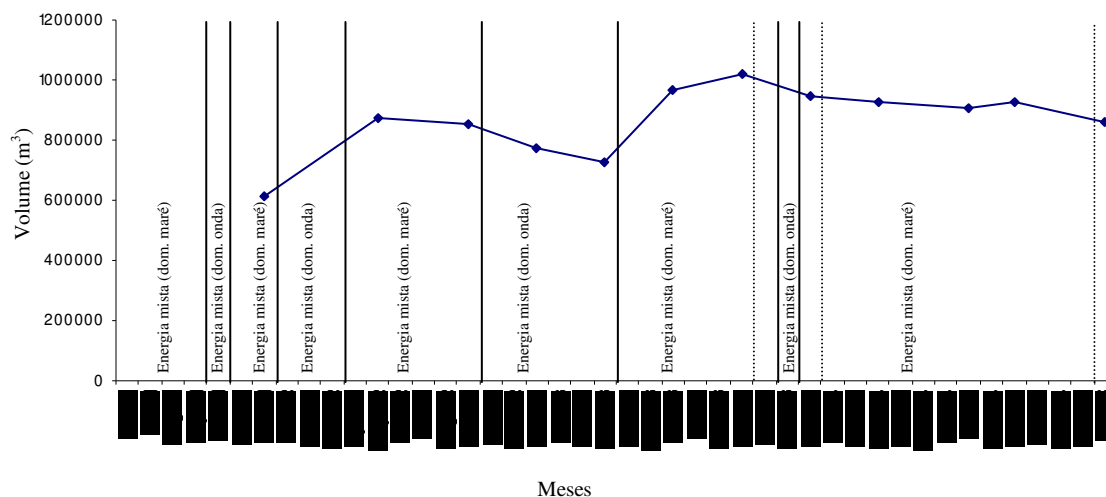


Figura 7.15: Relação entre a variabilidade volumétrica sazonal e os domínios hidrodinâmicos inferidos para o período em estudo, com base no diagrama de Hayes (1979). As linhas a tracejado indicam lacunas de dados de agitação marítima.

Um último aspecto diz respeito à dinâmica associada ao extremo norte da restinga. Verifica-se que esta sofre, em determinados períodos do ano, uma rotação para jusante, apresentando-se, noutros períodos, virada para montante. Com base nos dados de caudal fluvial, pode aventar-se que maiores caudais fluviais induzem uma maior capacidade de transporte sedimentar no estuário, sendo o comportamento do extremo norte da restinga um indicador dessa capacidade.

Assim, a presença de uma flecha arenosa em Junho e Setembro de 2001 representa uma situação atípica do ponto de vista da morfologia deste corpo arenoso, a qual traduz, contudo, uma situação igualmente atípica do ponto de vista do número de cheias registado no Inverno de 2000/01. A capacidade de transporte de sedimentos para o estuário no decurso desse Inverno marítimo terá sido bastante superior à média de anos anteriores, facto que, possivelmente, contribuiu para a manutenção do extremo norte da restinga deslocado para jusante, durante todo o ano de 2001.

No ano de 2002 verificou-se que, até Março, persistiam as condições indicadas anteriormente, ocorrendo apenas rotação do extremo norte, para montante, a partir de Maio.

O aumento dos caudais fluviais a partir de Novembro de 2002, os quais se mantiveram relativamente elevados até Março de 2003, terá contribuído para induzir uma maior capacidade de transporte sedimentar, originando uma nova rotação do extremo norte da restinga para jusante, a partir de Março de 2003. A rotação para montante apenas ocorreu a partir de Setembro desse ano.

7. Símula

Os resultados obtidos para o período a que respeita o presente estudo indicam que o corpo sedimentar em estudo, a restinga do rio Douro, apresenta um volume médio próximo de 1 milhão de m³ (acima do NMM).

Do ponto de vista da dinâmica presente nesse corpo arenoso verifica-se, pela análise dos resultados, que ocorrem variações significativas na posição da linha de praia, na face oceânica da restinga, associadas a uma dinâmica alternadamente acrecionária e erosiva, as quais não podem ser relacionadas com tendências migratórias da restinga. As variações observadas relacionam-se com a sazonalidade dos processos induzidos pela agitação marítima e pelas marés, as quais condicionam essa dinâmica, a qual é bem patente nas variações de largura da face oceânica da restinga.

A análise comparada da variabilidade volumétrica observada e das condições hidrodinâmicas vigentes permite inferir:

- A presença de condições de energia mista com domínio de maré em determinados períodos do ano e o domínio da onda noutros períodos;
- A dinâmica associada ao domínio da maré, normalmente prevalece em períodos de Verão marítimo, favorecendo a acreção da restinga;
- A dinâmica associada ao domínio da onda, normalmente associada a períodos de Inverno marítimo, favorece a erosiva da restinga;
- O comportamento observado sugere a ocorrência de trocas transversais do tipo praia-barra e barra-praia em resposta à alternância das condições hidrodinâmicas, em virtude da existência, durante o período considerado neste estudo, de disponibilidade

sedimentar na praia submersa situada do lado da face oceânica da restinga, para alimentar essas trocas;

- O facto de a restinga ocupar uma posição bastante interior no estuário, e também a actual tendência de subida relativa do nível do mar terão contribuído para dificultar a exportação sedimentar para fora do estuário, contribuindo para a actual disponibilidade sedimentar. A tendência para aumento de volume da restinga parece estar associada a esta disponibilidade, a que não terá sido alheio um maior transporte de carga sólida no decurso das cheias de 2000-2001.

CAPÍTULO VIII

IMPACTE DE UMA OBRA DE PROTECÇÃO ÀS ACTIVIDADES DE UMA COMUNIDADE PISCATÓRIA: FORMAÇÃO DE UM TÔMBOLO NO LITORAL DA AGUDA

*Uma coisa é mostrar a um homem que ele está errado
e outra é colocá-lo na posse da verdade*

John Locke

VIII. IMPACTE DE UMA OBRA DE PROTECÇÃO ÀS ACTIVIDADES DE UMA COMUNIDADE PISCATÓRIA:

FORMAÇÃO DE UM TÔMBOLO NO LITORAL DA AGUDA

1. Introdução

Uma das estratégias que têm sido adoptadas para minimizar as consequências económicas e sociais resultantes da dinâmica costeira é a construção de obras portuárias e de defesa costeira. No entanto, a presença de estruturas rígidas de defesa num meio altamente dinâmico, como é o caso das zonas litorais, implica alterações nas relações entre factores hidrodinâmicos e morfodinâmicos.

Avalia-se o impacte de uma obra de protecção às actividades de uma comunidade piscatória, um quebramar destacado, nos segmentos de praia que lhe estão adjacentes. É testado um critério empírico de avaliação do impacte, no que diz respeito às alterações impostas à configuração da linha de praia.

Apresentam-se os resultados do programa de monitorização realizado, que inclui observações da praia emersa anteriores à referida construção, e que permite caracterizar as variações morfológicas e volumétricas ocorridas em vários troços litorais situados a barlar e a sotamar da obra realizada.

2. Antecedentes

A praia da Aguda integra uma comunidade piscatória que chegou a ser bastante numerosa na década de 50 do século passado. Essa comunidade esteve exposta, ao longo das várias décadas de actividade piscatória, aos riscos inerentes à entrada e saída de barcos de pesca artesanal, o que se traduziu na perda de vidas humanas.

Essa realidade motivou a realização de estudos na década de 80, com vista à definição de uma possível intervenção construtiva para melhoria das condições da prática das actividades piscatórias, nomeadamente do «Estudo Prévio das Obras de Protecção da Praia da Aguda», do IHRH (1988).

Nessa altura, foi colocada a hipótese de uma solução inovadora do tipo quebramar destacado, denotando uma preocupação com a diminuição do impacte sedimentar, a Sul. O objectivo fundamental referido prendia-se com a melhoria das condições de navegação, nomeadamente a entrada e saída de barcos de pesca artesanal. A defesa da frente marítima do aglomerado populacional foi considerada como um objectivo complementar.

Os elementos contidos no projecto «Estudo Prévio de um Quebramar Destacado na Aguda», do IHRH (1999), referem um quebramar destacado paralelo à costa e que converge à mesma, no seu lado Norte, apresentando um comprimento total de 330 m e uma cota de coroamento de +5.5

metros (ZH). Na Figura 8.1 apresenta-se a implantação preconizada no Estudo Prévio do IHRH (1999), com indicação do traçado pretendido pelos pescadores.

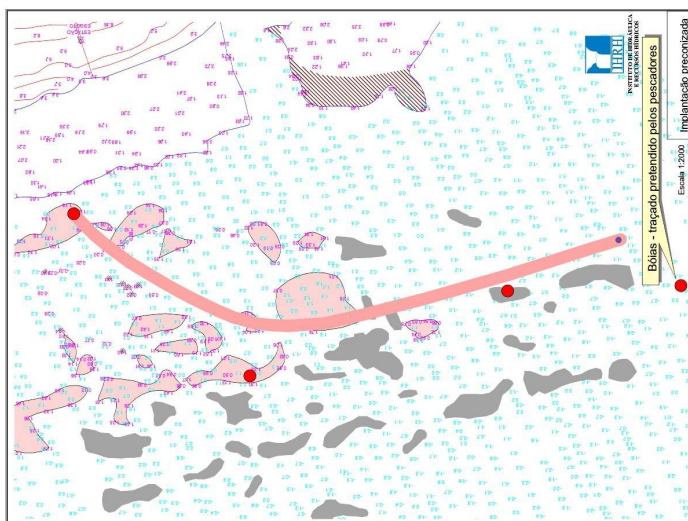


Figura 8.1: Implantação do quebramar preconizada no Estudo Prévio do IHRH. Fonte: IHRH (1999).

Dos vários impactes previstos para esta obra destacam-se os sedimentares, com referência à previsão de formação de um tómbolo por efeitos de difracção, embora sem um impacte fisiográfico demasiado significativo, a Sul (IHRH, 1999). Foi ainda prevista uma acumulação de sedimentos a Norte, e sua diminuição, para Sul, durante a construção da obra, devido à presença de um caminho provisório de acesso à construção. Com a destruição desse caminho no final da obra, previa-se que aquele fenómeno cessasse, desde que a situação inicial fosse reposta.

3. Zona de estudo

A zona em estudo localiza-se no litoral arenoso adjacente à Vila da Aguda (Figura 8.2). É uma praia de natureza arenosa que se sobrepõe a um substrato rochoso de natureza metamórfica (Figura 8.2 a).

A presença dos afloramentos rochosos no litoral da Aguda facilita a deposição sedimentar por perda de energia das correntes de deriva litoral. Contudo, em virtude da praia da Aguda estar integrada numa costa exposta às elevadas condições energéticas do Atlântico, dá origem a uma grande variação da sua largura, ao longo do ano, de acordo com a sazonalidade das condições de agitação.

De referir que os problemas de erosão no litoral onde se insere a Aguda são bastante antigos, havendo várias notícias de erosão e galgamentos ocorridos, há mais de cem anos, a Sul da Aguda, nomeadamente em Espinho (Teixeira, 1980 e Brandão, 1991 *in* Carvalho, 2003).

Em Outubro de 2001 iniciou-se a obra, a qual se prolongou durante esse Inverno, tendo sido concluída em Julho de 2002. Durante o período de construção, e tendo em conta a ocorrência de forte desnudamento sedimentar a sotamar, foi efectuada transposição artificial de sedimentos para alimentação dessas zonas, a qual não compensou, em volume, os sedimentos acumulados a barlamar do esporão provisório construtivo. Este esporão de acesso reteve sedimentos durante o período do ano em que o transporte sedimentar por deriva é, normalmente, mais intenso.

Quando a obra do quebramar terminou, em pleno período balnear de 2002, não foi possível remover grande parte dos sedimentos retidos a barlamar do esporão construtivo, por motivos de segurança, já que não foi possível evitar que os banhistas invadissem a zona de trabalhos. Também a fraca agitação, típica dessa altura do ano, não auxiliou a retoma da deriva natural. Ficou assim constituído um tómbolo que impediu a ocorrência de processos de transporte sedimentar, por intermédio de correntes de deriva litoral, entre o quebramar e a praia (Figura 8.2 b).

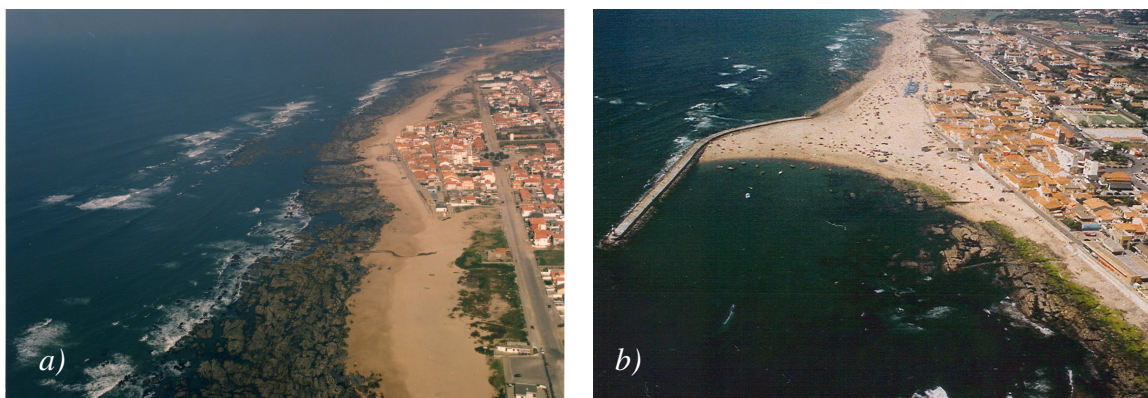


Figura 8.2: Vista aérea sobre a praia da Aguda. a) Antes da construção do quebramar. Fotografia: Piqueiro, 1999. b) Após a construção do quebramar. Fotografia: Carlos Miguel, 2003.

Para compensar a deficiência sedimentar a Sul, foram realizadas diversas operações de transposição sedimentar, as quais consistiram na remoção de sedimentos da zona do tómbolo, ou um pouco mais a Norte e sua deposição a Sul. Na Tabela 8.1 apresenta-se uma estimativa dos volumes sedimentares que estiveram envolvidos nessa transposição de sedimentos. O cálculo foi efectuado com base no número de camiões que transportaram sedimentos por hora, considerando um volume médio, por camião, de 16 m^3 .

Tabela 8.1: Estimativa dos volumes envolvidos na transferência de sedimentos da zona do tómbolo para as praias a Sul. Consideram-se uma média de quatro camiões por hora.

Ano	Mês da operação de transposição de sedimentos	Nº de dias de trabalho	Volume aproximado (m ³)
2002	Julho	0.5	250
2003	Julho	10	5000
2004	Abril	17	8500
2004	Julho	1.5	800
2005	Junho	5	2500

4. Métodos

4.1 Morfologia e volumetria

O método de campo adoptado consiste na realização de uma rede de perfis *DGPS* longitudinais e transversais à linha de praia, com espaçamento médio de 30 metros, desde a linha de praia até à linha de costa, materializada pela frente urbana da Aguda. Para a realização da rede de perfis *DGPS* recorre-se às metodologias desenvolvidas na presente dissertação (ver capítulo IV, pontos 2.1 e 2.2).

A partir das redes de perfis são gerados *DEM* que constituem a base para a determinação dos volumes sedimentares da praia. Considera-se, como referência altimétrica para o cálculo de volumes, o nível médio do mar (NMM).

No **anexo VIII** indicam-se as datas e as condições de maré em cada campanha de observação considerada para este estudo. As observações são realizadas, sempre que possível, em condições de baixa-mar de maré viva.

Com vista a proceder a uma avaliação das alterações morfológicas e volumétricas da praia emersa, na sequência da construção do quebramar é seleccionada uma faixa litoral com cerca de 850 m de comprimento, a qual inclui um sector com cerca de 400 metros a Norte do quebramar, e outro com 450 metros a Sul do mesmo (Figura 8.3).

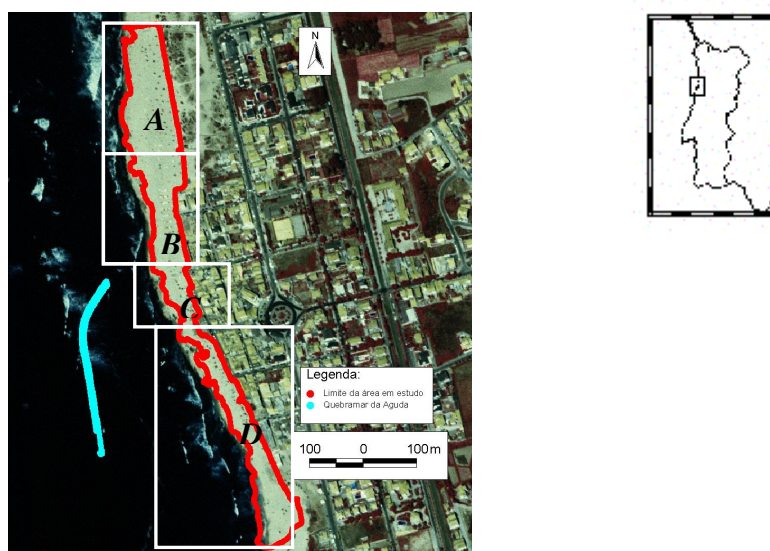


Figura 8.3: Litoral da praia da Aguda com indicação do segmento em estudo e sua divisão em quatro zonas.

Divide-se essa faixa em quatro zonas, de *A* a *D*, cujos limites se apresentam indicados na Figura 8.3, com o objectivo de avaliar as variações volumétricas sofridas pela praia, de acordo com a proximidade à estrutura de defesa costeira.

O programa de monitorização permite avaliar os volumes sedimentares médios da praia emersa, num período que antecedeu a referida construção, bem como durante e após a mesma.

4.2 Critério de formação de tómbolos

Diversas variáveis podem ser apontadas como responsáveis pelas alterações ao transporte sedimentar e, conseqüentemente, pelas alterações morfológicas que ocorrem num determinado segmento costeiro na sequência da construção de um quebramar destacado.

Ming e Chiew (2000) referem a disponibilidade sedimentar, as características do sedimento, a topografia da praia submersa e a configuração do quebramar como algumas dessas variáveis. Além destas, o regime de agitação e a amplitude das marés podem ser consideradas como variáveis preponderantes para a definição de uma resposta ao impacte de uma obra de defesa destacada.

Assumindo uma abordagem muito preliminar no estudo do impacte morfodinâmico de um quebramar destacado, consideram-se, neste estudo, apenas duas variáveis, o comprimento do quebramar (I) e a distância entre o quebramar e a posição da linha de praia anterior à sua construção (J). De acordo com Gourlay (1981), Dally e Pope (1986) e Ming e Chiew (2000), estas duas variáveis permitem inferir se o litoral responde a uma obra de defesa destacada através da formação de uma praia em ponta ou de um tómbolo (Figura 8.4).

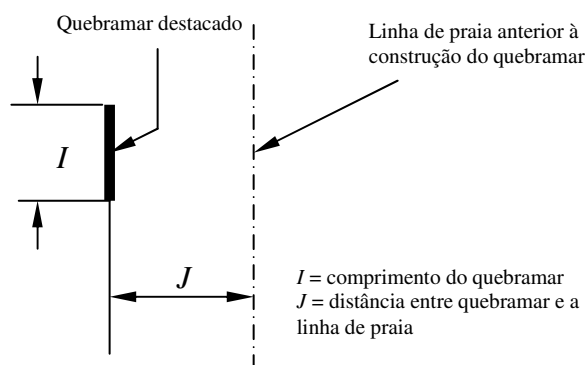


Figura 8.4: Principais factores que condicionam as alterações morfológicas da praia adjacente a um quebramar.

Com base na razão J/I , Ming e Chiew (2000) consideram os seguintes intervalos relativos ao impacte de um quebramar destacado:

$J/I \geq 0.8$	Formação de uma praia em ponta
$J/I < 0.8$	Formação de um tómbolo.

5. Resultados

5.1 Alterações morfológicas

Na Figura 8.5 está indicada a posição da linha de praia antes e após a construção do quebramar.

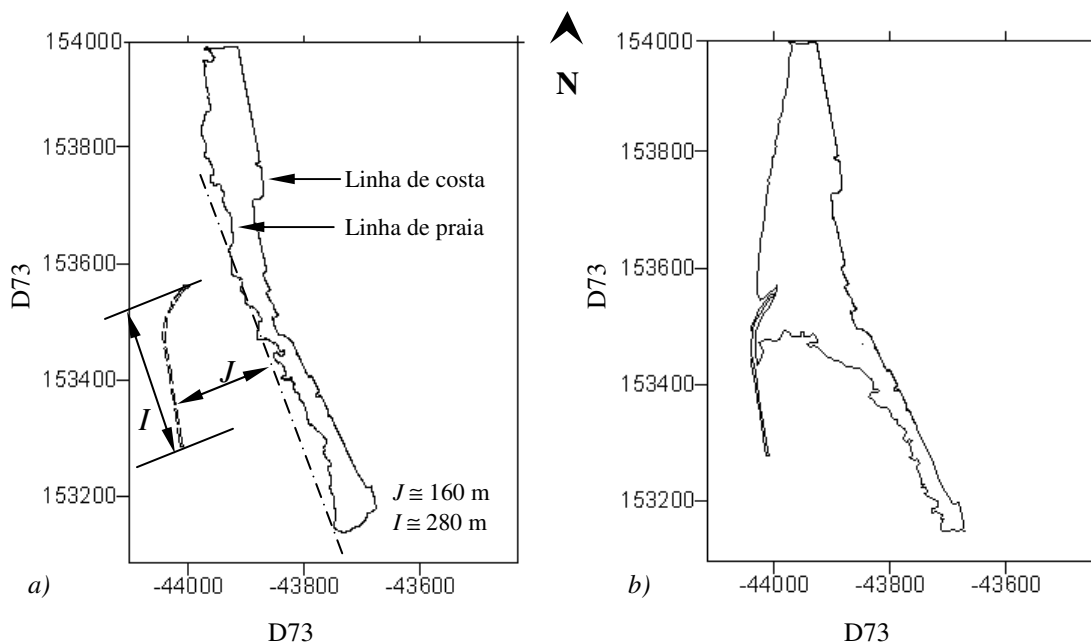


Figura 8.5: Alterações que ocorreram na linha de praia no litoral da Aguda na sequência da construção do quebramar. *a)* Linha de praia anterior à construção do quebramar (Fevereiro de 2001). Indica-se a posição do quebramar relativamente a essa linha; *b)* Linha de praia após a construção do quebramar (Julho de 2004).

Na Figura 8.5 *a* indica-se a posição do quebramar relativamente à linha de praia existente antes da sua construção, bem como os valores médios de comprimento do quebramar e sua distância à praia. Aplicando a razão J/I , obtém-se um valor de 0.57, de acordo com os limites definidos por Ming e Chiew (2000) para o impacto de um quebramar destacado.

De notar que foi atribuído, a J , um valor próximo à distância máxima entre o quebramar e a linha de praia anterior à construção. Caso fosse adoptado, para J , o valor mínimo, o qual ronda os 80 m, no extremo Norte do quebramar, a razão J/I seria ainda mais baixa. Considerando o critério adoptado como universal, os valores obtidos para esta razão apontam para a inevitabilidade de formação de um tómbolo, mesmo que as condições de circulação entre o quebramar e a praia fossem repostas após a remoção do esporão construtivo.

Na Figura 8.5 *b* apresentam-se as alterações à linha de praia, dois anos após a construção do quebramar. As praias situadas a Norte, ao longo de uma extensão de cerca de 400 m, acusam um aumento de largura por retenção sedimentar. Na zona do quebramar está presente um tómbolo que forma uma praia em baía. A Sul do quebramar verifica-se um emagrecimento da praia.

Nas Figuras 8.6 a 8.8 está representada a evolução do segmento litoral adjacente ao local de construção do quebramar, entre os anos de 2002 e 2004, sob a forma de mapas de contorno.

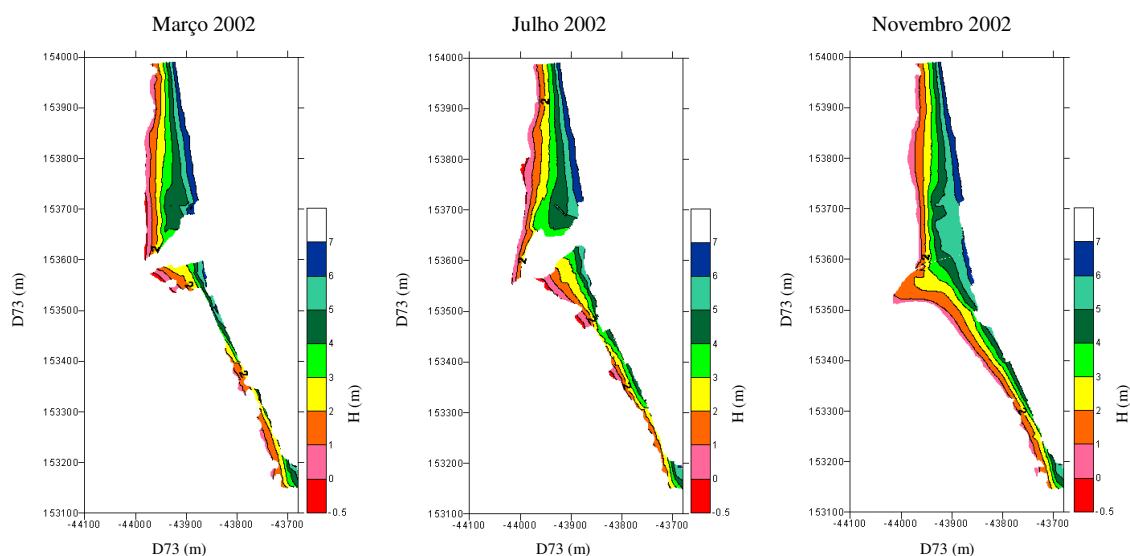


Figura 8.6: Evolução do segmento de praia adjacente ao quebramar da Aguda, no decurso do ano de 2002. H: altura referida ao nível médio do mar.

As representações relativas aos meses de Março e Julho de 2002 apresentam-se truncadas no local onde foram instalados o estaleiro da obra e o esporão construtivo. Saliente-se a menor largura da praia situada a Sul do local de construção do quebramar, relativamente ao segmento a Norte (Figura 8.6).

Em Novembro de 2002, as praias a Sul do quebramar apresentavam uma largura maior relativamente à que registavam nos meses de observação anteriores. A transposição artificial realizada nessas praias, com base em sedimentos removidos a barlamar, terá contribuído para esse aumento de largura (Figura 8.6).

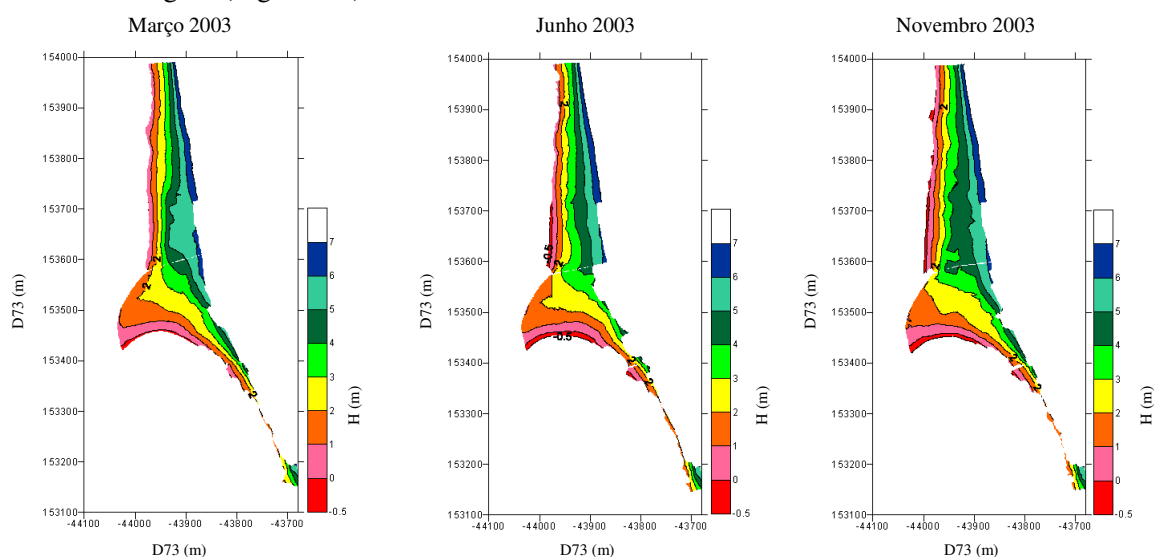


Figura 8.7: Evolução do segmento de praia adjacente ao quebramar da Aguda no decurso do ano de 2003. H: altura referida ao nível médio do mar.

O ano de 2003 ficou marcado por um aumento da área do tómbolo em cerca de 6600 m², considerando o período compreendido entre Novembro de 2002 e Novembro de 2003. Esse aumento ocorreu por acreção a partir de Sul, uma vez que, do lado Norte, o quebramar já se encontrava colmatado (Figura 8.7).

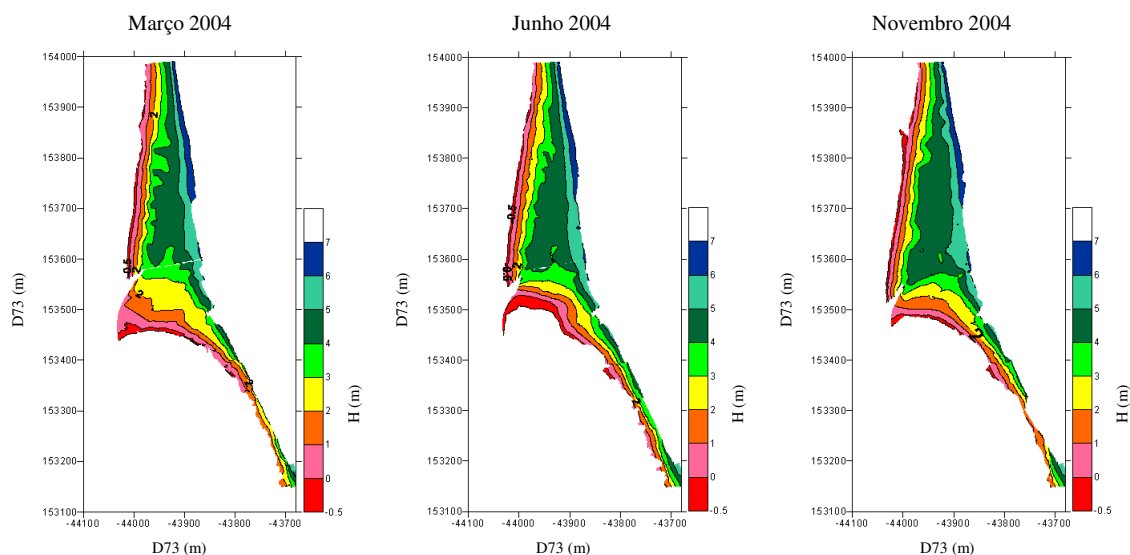


Figura 8.8: Evolução do segmento de praia adjacente ao quebramar da Aguda no decurso do ano de 2004. H: altura referida ao nível médio do mar.

No ano de 2004, os segmentos de praia localizados a Norte do quebramar continuaram a registar um aumento da sua largura. Entre Março e Junho de 2004, o tómbolo acusou uma redução de área, a qual está relacionada com uma nova intervenção de remoção de sedimentos para alimentar artificialmente as praias situadas a Sul (Figura 8.8).

5.2 Variabilidade volumétrica

A Figura 8.9 representa a variação dos volumes absolutos em m³/m nas quatro zonas consideradas neste estudo, para o período que antecedeu a construção do quebramar, bem como durante e após essa construção.

Antes do início da construção do quebramar, as zonas A e B apresentavam um volume médio da ordem dos 200 a 250 m³/m, enquanto que as zonas C e D apresentavam um volume médio da ordem dos 100 a 150 m³/m. Estes valores reportam-se a meses incluídos no Inverno marítimo, não tendo sido efectuada monitorização durante o período de Verão.

A transição de Setembro para Outubro de 2001 ficou marcada por uma mudança no padrão observado nos meses anteriores. Verificou-se um ligeiro incremento volumétrico na zona A, uma forte acreção em B e uma tendência erosiva em C e D. Os meses subsequentes ficaram marcados por uma tendência de acreção nas zonas A, B e C e um padrão de desnudamento sedimentar na

zona D. Nesta zona, o período entre Outubro de 2001 e Julho de 2002 foi pautado pela quase total ausência de sedimentos, tendo ficado exposto, na faixa anteriormente ocupada pela praia emersa, um afloramento com características silto - argilosas.

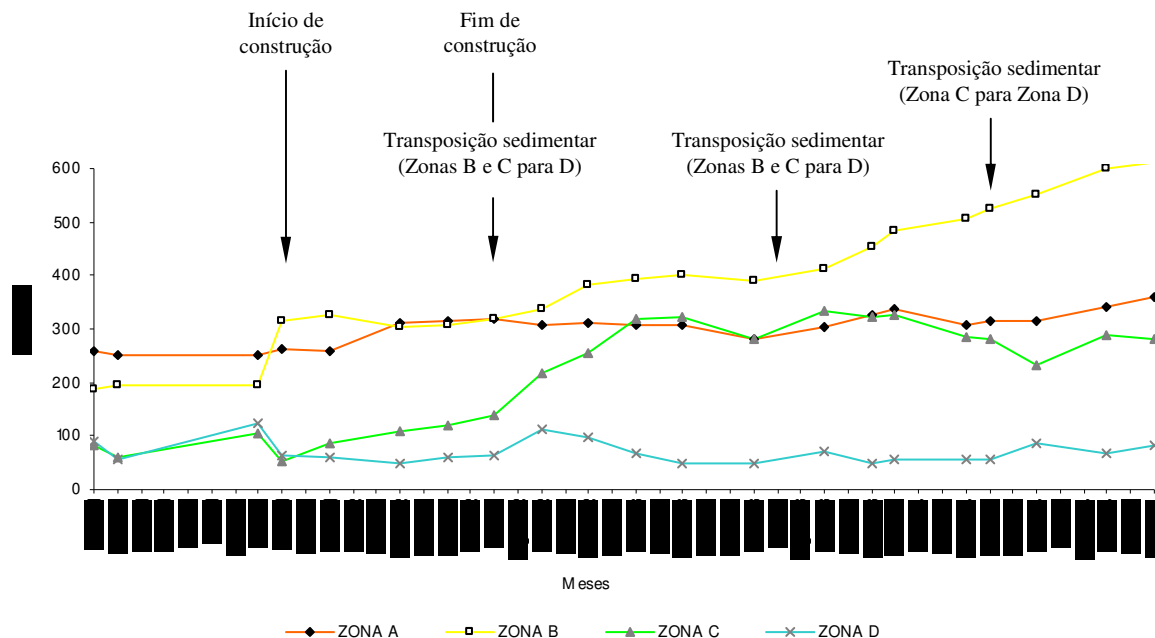


Figura 8.9: Volumes calculados para as quatro zonas em estudo ao longo do período em observação.

Após a conclusão das obras, em Julho de 2002, verificou-se a manutenção da tendência referida anteriormente, de acreção nas zonas B e C, e de uma manutenção do volume sedimentar, em A. Na zona D, por efeito da transposição sedimentar entretanto efectuada, verificou-se uma ligeira acreção sedimentar, da ordem dos 50 m³/m, ao longo dos 300 metros de extensão longilitoral, perfazendo um total de 15000 m³ de sedimentos. A partir de Setembro de 2002, contudo, essa zona voltou a perder sedimento.

No decurso dos anos de 2003 e 2004, a zona A assistiu à manutenção da estabilidade sedimentar, sendo de registar apenas algumas oscilações em torno do valor médio de 300 m³/m. Em contrapartida, a zona B continuou a acusar um aumento do volume sedimentar, o qual se manteve até à mais recente campanha de observação considerada neste trabalho.

A Zona C registou uma estabilização do volume sedimentar, em Fevereiro de 2003, após um ano de acreção contínua. Verificou-se, nesta zona, uma redução dos volumes sedimentares em Abril de 2004, em consequência da remoção de sedimentos para alimentação da zona D. Os cálculos relativos ao volume sedimentar envolvido nesta nova intervenção de transposição sedimentar permitem estimar, em cerca de 9000 m³, o volume de sedimentos removidos ao tómbolo e distribuídos pela zona D.

As oscilações registadas na zona D, indiciando uma ligeira acreção sedimentar em Julho de 2002 e Abril de 2004, estão relacionadas com a transposição sedimentar acima referida.

6. Discussão

A análise efectuada relativamente aos impactes morfológicos e de variação volumétrica, resultantes da construção de um quebramar destacado no litoral da Aguda, permitem inferir o seguinte:

1. Inevitabilidade da formação de um tómbolo no local onde foi construído o quebramar. Em relação ao tómbolo verificou-se que o seu crescimento ocorreu, inicialmente, por retenção sedimentar a Norte e progrediu por acreção sedimentar proveniente do seu lado meridional, possivelmente devido aos efeitos de difracção que ocorreram no extremo Sul do quebramar. A formação de um tómbolo tinha sido prevista no Estudo Prévio efectuada pelo IHRH (1999).

2. Tendência para a ocorrência de acreção sedimentar a barlamar desta obra, a qual se fez sentir, de forma mais significativa, ao longo de uma extensão longilitoral de 400 m. Esta tendência manteve-se durante todo o período em que decorreu o presente estudo, tendo-se verificado uma acreção sedimentar média, de cerca de 20000 m³/ano, desde o início de construção da obra. A acreção continuou a verificar-se, mesmo com as remoções, entretanto efectuadas, para alimentação artificial das praias a Sul. Estes resultados contrariam as previsões apresentadas pelo IHRH (1999), as quais apontam no sentido de cessação da acumulação de sedimentos a Norte do quebramar, após a remoção do esporão construtivo.

3. Tendência para uma maior dificuldade na recuperação sedimentar, no troço situado a Sul do quebramar, após os Invernos marítimos. Antes do início da construção do quebramar verificou-se que os volumes sedimentares presentes no final do Verão marítimo de 2001, nomeadamente em Setembro desse ano, eram significativamente superiores, relativamente aos presentes no Inverno marítimo precedente. A partir do final da construção do quebramar, este troço apenas acusou acreção sedimentar na sequência de intervenções de transposição artificial de sedimentos. Também neste caso, o estudo do IHRH (1999) apontava no sentido de que a diminuição dos volumes sedimentares a Sul estivesse apenas restrita ao período de construção do quebramar, o que não se verificou.

Importa referir que a discussão efectuada diz respeito a um estudo de carácter local, tomando como base as evidências presentes na praia emersa. Considerando os volumes sedimentares retidos, anualmente, na praia emersa situada a barlamar do quebramar, os quais são da ordem dos 20000 m³, pode constatar-se que este valor é muito pouco significativo relativamente aos que têm sido

estimados para a resultante anual da deriva potencial litoral a Sul do Douro, a qual é da ordem do milhão de metros cúbicos.

Deste modo, considerando um contexto espacial mais abrangente, pode aeventar-se que o impacte desta obra não é demasiado significativo em termos de interrupção do transporte sedimentar pelas correntes de deriva litoral, relativamente àquele que ocorre com outro tipo de obras, como sejam os esporões ou os quebramares portuários. Nestes casos, o facto de estas obras de defesa estarem dispostas transversalmente relativamente à linha de costa contribui, de forma mais significativa, para a interrupção e desvio da deriva sedimentar, fazendo aumentar os impactes a sotamar destas estruturas. No que respeita à melhoria das condições de abrigo da frota de pesca, o impacte da obra foi positivo, ao proporcionar a criação de uma pequena baía parcialmente protegida em relação à acção da agitação.

7. Súmula

A realização de estudos de impacte local relativos à construção de obras de defesa costeira reveste-se de especial importância no acompanhamento das alterações induzidas por essas obras na dinâmica sedimentar.

Tendo em conta que a construção de uma obra de defesa costeira produz sempre impacte nas condições de equilíbrio dinâmico pré-existent, importa sublinhar os mais importantes no presente caso:

- Formação de um tómbolo, na presente situação, a partir da extremidade mais proximal do quebramar relativamente à linha de praia, o qual origina uma praia em baía que liga o quebramar ao cordão sedimentar litoral e impede o quebramar de funcionar como uma obra de defesa costeira destacada;
- Inevitabilidade de formação de tómbolo, considerando o critério abordado, mesmo se os primeiros segmentos do quebramar, situados numa posição mais proximal à linha de praia, forem removidos futuramente e as condições de circulação repostas;
- Uma maior retenção sedimentar a barlar do quebramar e uma maior dificuldade de recuperação sedimentar nas praias a Sul, após eventos de temporal, considerando os resultados relativos aos segmentos litorais considerados no presente estudo.

Considerando que a criação de uma pequena baía parcialmente protegida relativamente à ondulação é um impacte positivo para a comunidade piscatória local, e a maior persistência de condições de erosão, nas praias a Sul, um impacte negativo, importa minimizar este último. A realização de operações de transposição sedimentar é o exemplo de uma intervenção minimizadora, embora exija uma acção regular. Outro tipo de intervenções, como é o caso de um sistema de

bombagem de sedimentos, poderá ser pensado num futuro próximo, como uma medida minimizadora a longo prazo.

CAPÍTULO IX

EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA NO LITORAL DA LAGUNA DE AVEIRO

A beleza das coisas existe na mente que as contempla

David Hume

IX. EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA NO LITORAL DA LAGUNA DE AVEIRO

1. Introdução

São apresentados os resultados da aplicação das metodologias desenvolvidas ao estudo de caracterização da evolução da linha de costa no litoral da laguna de Aveiro. Para tal, as praias do litoral da barreira arenosa de Aveiro foram divididas em vários segmentos. A monitorização incidiu particularmente naqueles que se situam a Sul do porto de Aveiro, onde a pressão antrópica é superior, tendo naturalmente em conta o interesse que este tipo de avaliação representa para as acções de gestão do litoral.

A monitorização reporta ao período compreendido entre os anos de 2000 e 2003, tendo sido efectuadas observações mais regulares durante o Inverno marítimo de 2000, em virtude da maior severidade das condições de agitação marítima.

Os resultados obtidos são analisados à luz dos temporais que ocorreram durante esse período e confrontados com um modelo de previsão de impacte de temporais. Procede-se à quantificação da erosão litoral e faz-se a análise dos resultados obtidos com base no regime de agitação marítima ao largo.

2. Antecedentes

Vários autores se têm dedicado ao estudo da linha de costa, entre a foz do rio Douro e o Cabo Mondego, recorrendo a diversas técnicas e metodologias, numa tentativa de avaliar a evolução do litoral ao longo do último século (ver **anexo IX –A**).

Os resultados obtidos apontam no sentido de uma erosão generalizada do litoral, tendo sido adoptadas diversas abordagens na sua interpretação, particularmente no caso do litoral da laguna de Aveiro. Essas abordagens visam a avaliação da influência relativa da subida do nível do mar e da deficiência sedimentar no recuo da linha de costa (Ferreira *et al.*, 1990 a, 1990 b), as relações entre o recuo da linha de costa e os temporais (Ferreira e Dias, 1997) e o estabelecimento de tendências futuras de recuo da linha de costa (Ferreira e Dias, 1992).

No processo de avaliação da evolução da linha de costa no litoral da laguna de Aveiro, têm sido usadas diversas metodologias, sendo de referir as representações cartográficas (por ex.: Ângelo, 1991; Bettencourt e Ângelo, 1992), a fotografia aérea (por ex.: Ângelo, 1991; Ferreira e Dias, 1991, 1992; Caetano, 2002; Diogo, 2004), a geodesia clássica (por ex.: Boto, 1997; Ferreira e Dias, 1997; Pereira, 2000; Reis, 2000) e, mais recentemente, a geodesia espacial (Baptista *et al.*, 2000a).

Relativamente às escalas temporais envolvidas nessa avaliação, as representações cartográficas são as que têm facultado um historial mais longo da evolução do litoral, desde os finais do séc. XIX. As fotografias aéreas têm permitido estudar essa evolução desde meados do séc.

XX. Os métodos de geodesia clássica são mais recentes na aplicação, sendo a década de 80 do século XX aquela em que se vulgarizou o seu uso.

3. Zonas de estudo

Com vista à realização do presente estudo procede-se à divisão do litoral da laguna de Aveiro em cinco segmentos (Figura 9.1 e 9.2). Os critérios adoptados para essa divisão estão relacionados com a presença de obras transversais de defesa costeira, normalmente a Sul de povoações, as quais obrigam à interrupção dos perfis longitudinais de monitorização.

Para cada um dos segmentos considerados está representada uma escala vertical com indicação do tipo de morfologia presente no contacto entre a praia e a costa, no início dos trabalhos de campo, em 2000.

Entre a praia de Maceda e a praia do Furadouro, numa extensão de 4.5 km, o contacto entre a praia e a costa não se apresenta materializado por um cordão dunar frontal (Figura 9.1). Neste caso, está presente uma formação de idade plistocénica-holocénica, de acordo com os resultados que têm sido obtidos por Granja e Groot (1996) e Carvalho e Granja (2003).

Entre a praia do Furadouro e a praia do Torrão do Lameiro, numa extensão de cerca de 4 km, esse contacto é feito por intermédio de um cordão dunar frontal que se apresenta interrompido em diversos locais por galgamentos oceânicos (Figura 9.1).

Os segmentos litorais praia da Costa Nova – praia da Vagueira e praia da Vagueira – praia do Areão, com cerca de 4.5 e 4 km respectivamente, situados a Sul do porto de Aveiro, começaram a ser intervencionados em 1999, nas zonas mais afectadas por galgamentos oceânicos (Figura 9.2). Essas intervenções consistiram na edificação de diques de areia, a sotamar de obras transversais de defesa costeira, que visam evitar galgamentos oceânicos, os quais têm impactes bastante negativos nas actividades socio-económicas envolventes. Na construção dos referidos diques têm sido usados, em geral, sedimentos da face da praia.

O segmento praia do Areão – praia do Poço da Cruz, com cerca de 3 km, tem mantido um cordão dunar frontal contínuo ao longo de cerca de 4 km de extensão longilitoral, apesar de ter sido erodido, diversas vezes, por acção de temporais (Figura 9.2).

Relativamente às obras de defesa costeira, a sua realização começou na década de 70 do séc. XX (ver capítulo V - 4.4). Mais recentemente, em Novembro de 2002, iniciou-se a construção do esporão do Areão e, em Abril de 2003, começou a construção do esporão da praia do Poço da Cruz. As obras na praia do Areão ficaram concluídas em Maio de 2003 e, na praia do Poço da Cruz, em Setembro de 2003.

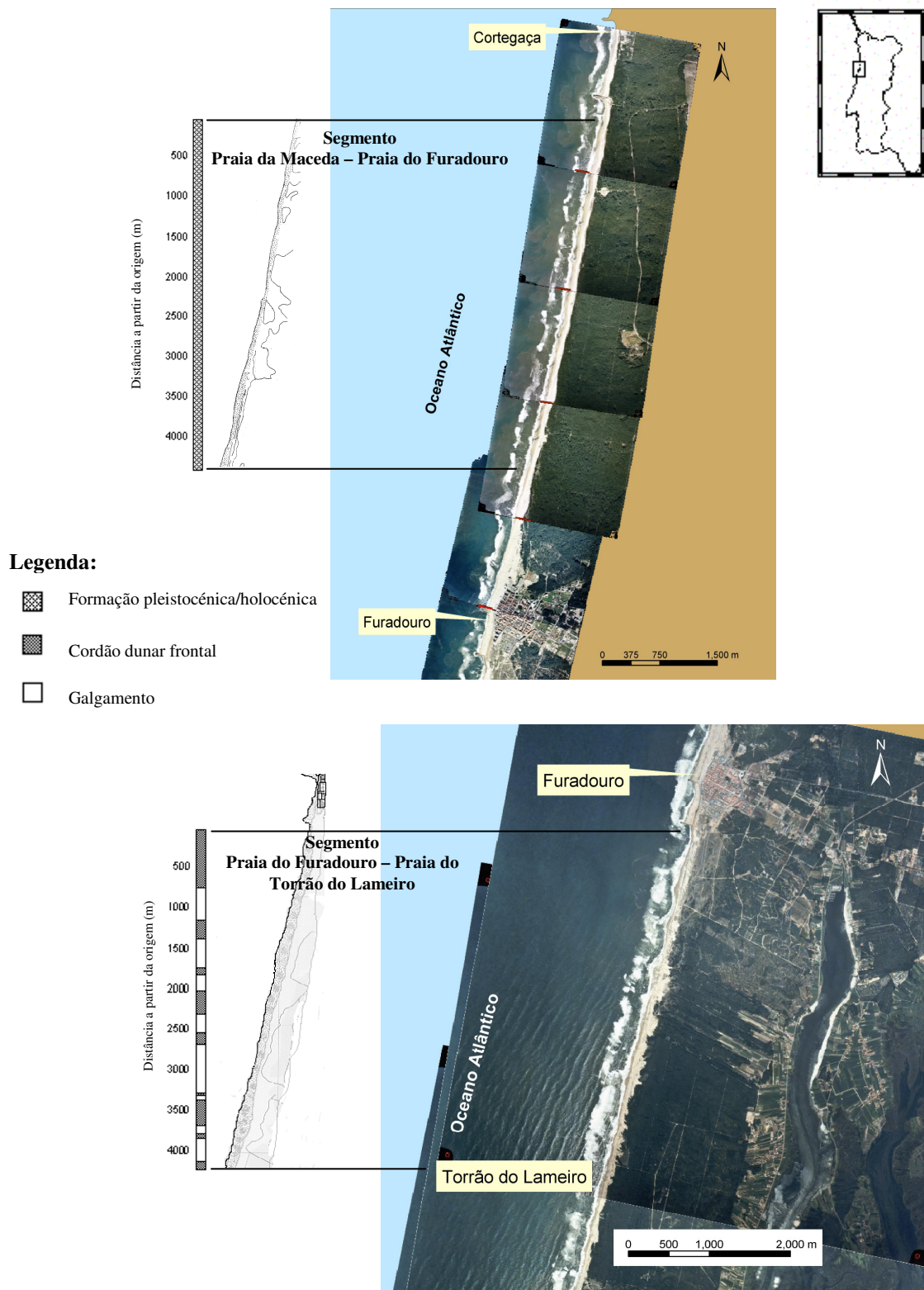


Figura 9.1: Segmentos em estudo no litoral da laguna de Aveiro, a Norte do porto de Aveiro. Está indicado o tipo de contacto presente entre a praia e a costa, no ano de 2000.

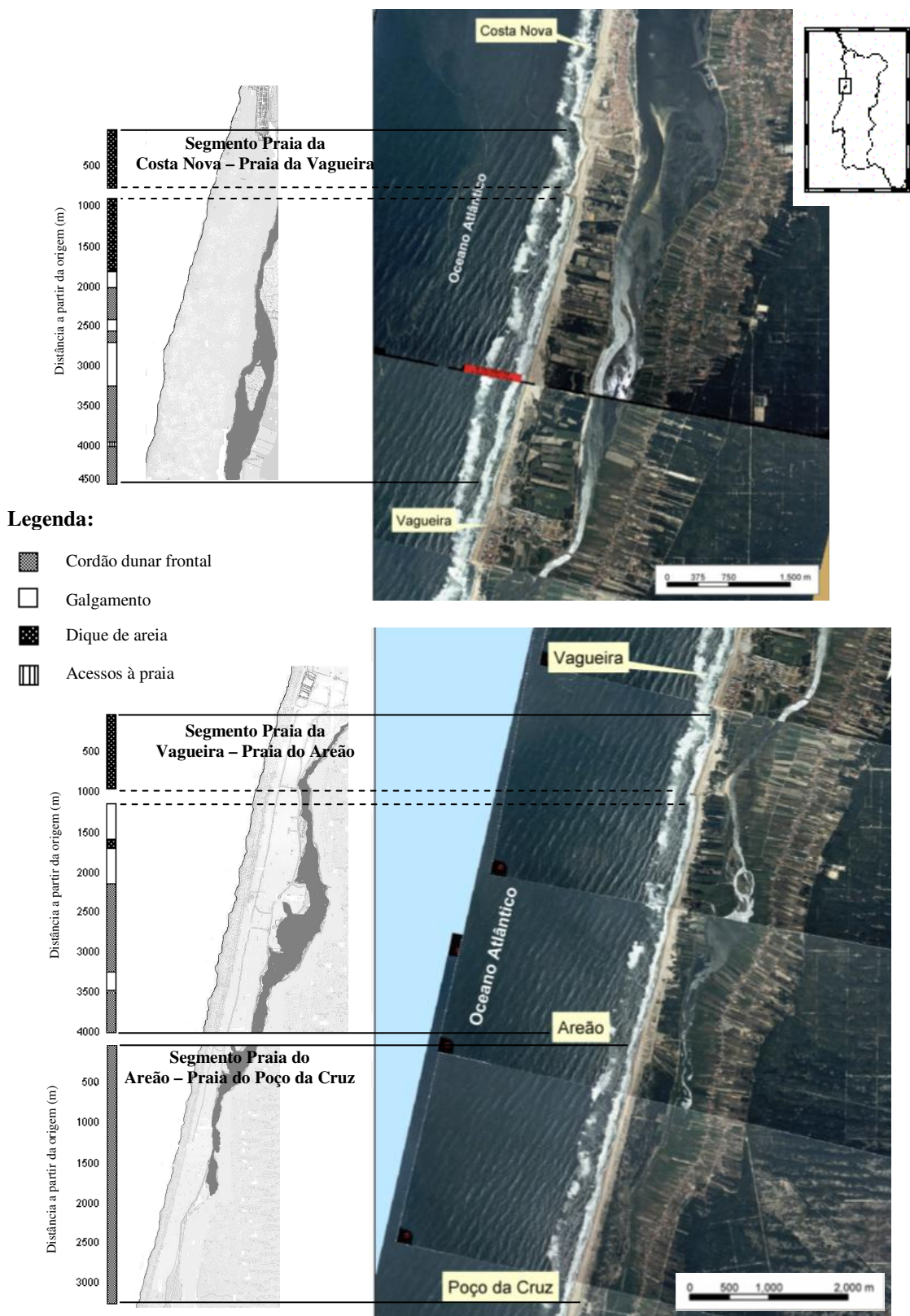


Figura 9.2: Segmentos em estudo no litoral da laguna de Aveiro, a Sul do porto de Aveiro. Está indicado o tipo de contacto presente entre a praia e a costa, no ano de 2000.

4. Métodos

O método de campo utilizado consiste na realização de perfis ao longo da base do cordão dunar frontal, sempre que este está presente ou, em alternativa, ao longo da base do dique arenoso, recorrendo para isso às metodologias de aquisição de dados referidas no capítulo IV, pontos 2.1 e 2.2. No **anexo IX – B** indicam-se as datas das campanhas de observação.

4.1 Critério para a quantificação da evolução da linha de costa

Para a quantificação dos deslocamentos ocorridos considera-se a diferença relativa entre cada dois levantamentos consecutivos. A Figura 9.3 representa, esquematicamente, em planta e em perfil, os vectores de deslocamento numa situação de recuo da linha de costa.

Um primeiro levantamento constitui a referência relativamente à qual são calculados os vectores de deslocamento. Para o cálculo dos deslocamentos são consideradas as posições obtidas após o processamento dos dados *DGPS*, desde que a sua distância não seja inferior a 1 metro. Esse deslocamento é determinado considerando vectores de direcção constante, Este – Oeste. A diferença obtida entre duas campanhas de observação permite calcular a área exposta, no caso de recuo da linha de costa, a qual se expressa por m^2/m (metros quadrados por metro linear de praia). Conforme representado na vista de perfil, considera-se apenas a componente planimétrica do vector deslocamento.

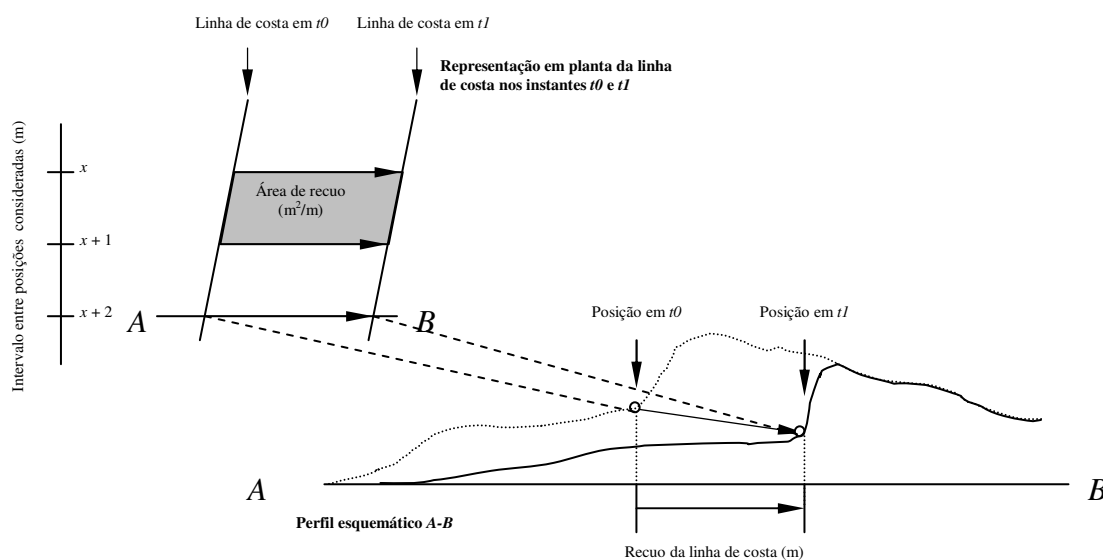


Figura 9.3: Representação esquemática dos critérios adoptados para o cálculo dos deslocamentos da linha de costa, considerando um caso de recuo da linha de costa.

4.2 Estimativa de erros associados às observações

A aplicação das metodologias desenvolvidas no presente trabalho requer, contudo, que sejam tidos em consideração alguns aspectos inerentes à morfodinâmica do litoral. Na Figura 9.4 estão indicados dois casos de erosão por acção de temporais. O primeiro (Figura 9.4 *a*) tipifica uma situação em que se verifica erosão da duna frontal, e o segundo uma situação em que ocorre rebaixamento do perfil da praia emersa, embora sem atingir a base da duna (Figura 9.4 *b*).

A sequência apresentada na Figura 9.4 *a* diz respeito à evolução de uma duna frontal, em consequência de um episódio de temporal. Numa situação inicial *pré-temporal*, a duna frontal apresenta, na sua face voltada para a praia, um declive suave, sendo o respectivo perfil designado de estabilidade ou repouso.

Considera-se, como perfil de repouso, aquele que está presente quando não ocorrem variações significativas do seu declive ao longo do tempo. Na sequência de episódios de temporal, o perfil de repouso é atingido após sucessivos deslizamentos que surgem numa escarpa talhada na duna até ser atingido um limite a partir do qual não ocorrem variações significativas desse declive.

De acordo com Carter *et al.* (1990), o ângulo que define o perfil de repouso numa duna frontal é variável, dependendo de aspectos como a altura da duna, o grau de humidade presente no seu interior, a compactação dos sedimentos tendo em conta a eventual presença de solo, bem como a presença, ou não, de raízes. De um modo geral, estes autores consideram que o perfil de repouso é normalmente atingido para ângulos (Φ) compreendidos entre os 32° e os 43°, considerando variações nas diversas condicionantes acima citadas (Figura 9.4 *c*).

Nos segmentos litorais considerados no presente estudo foram efectuadas algumas medições do ângulo definido entre a face da duna voltada para a praia e um plano horizontal de referência, durante os períodos de Verão marítimo. Os resultados obtidos evidenciam a presença de ângulos compreendidos entre os 30° e os 40°. As medições foram efectuadas em 2002 e 2003, em locais afastados do pisoteio, tendo-se verificado que não ocorreram alterações significativas destes valores em observações efectuadas no mesmo local, em vários meses consecutivos.

A ocorrência de um episódio de temporal em que a duna é atingida leva à formação de uma escarpa de erosão, normalmente sub-vertical, originando um perfil que se designa de *sin-temporal* (de instabilidade). A instabilidade desta escarpa desencadeia deslizamentos até ser atingido novamente o perfil de repouso. O contributo eólico ajuda, posteriormente, a suavizar o perfil transversal da praia, retomando o aspecto morfológico existente antes do temporal.

Considera-se como *recuo bruto* (= “*gross retreat*”) aquele que ocorre entre uma situação inicial de perfil transversal estável e uma situação em que está presente um perfil instável. Designa-se como *recuo efectivo* (= “*net retreat*”) aquele que ocorre quando se consideram condições homólogas de perfil transversal, como sejam os perfis de estabilidade anterior e posterior a

episódios de temporal (Figura 9.4 a) ou, em alternativa, escarpas de erosão sub-verticais (perfis de instabilidade) associadas a episódios de temporal sucessivos que afectam o cordão dunar frontal.

Na Figura 9.4 b está representada uma situação em que é atingido o limiar de erosão de uma duna frontal em consequência de um temporal. Neste caso, e partindo de uma situação inicial idêntica à descrita anteriormente, verifica-se que o episódio de temporal origina elevada erosão na praia emersa, a qual sofre rebaixamento. Como consequência, forma-se uma escarpa de erosão que progride para o lado da duna frontal até praticamente atingir a sua base.

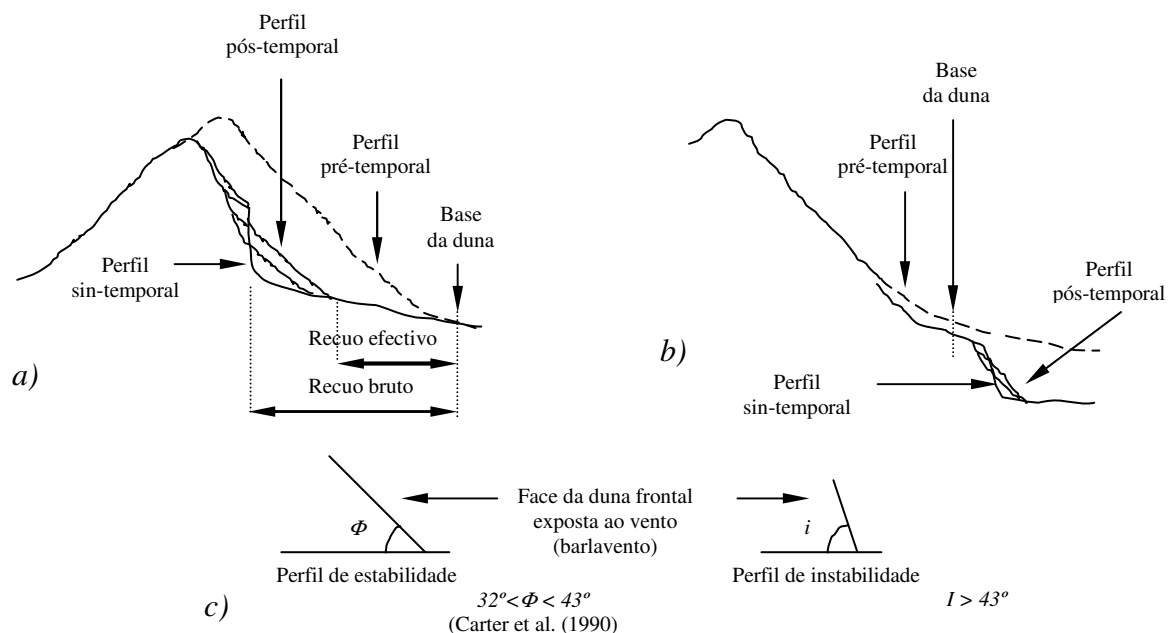


Figura 9.4: Representação de dois casos típicos de erosão pela agitação marítima na alta praia com formação de escarpas de erosão e deslizamentos subsequentes. a) Situação em que ocorre erosão da duna frontal (adaptado de Carter *et al.*, 1990); b) Situação em que apenas ocorre erosão da praia emersa; c) Valores angulares de repouso e de instabilidade da face do cordão dunar frontal.

A instabilidade inerente a essa escarpa origina pequenos deslizamentos que podem afectar a base da duna, a qual, no limite, pode ficar temporariamente materializada na base da escarpa de erosão. Se não for ultrapassado esse limite, não ocorre recuo da linha de costa. Nestes casos, a recuperação sedimentar da praia emersa após temporais permite preservar, na maior parte dos casos, a base da duna na sua posição original. A Figura 9.5 ilustra as duas situações descritas anteriormente, com exemplos do segmento praia do Areão - praia do Poço da Cruz.

Tendo em conta as constatações anteriormente descritas, importa definir critérios fiáveis que possam ser aplicados de forma consistente sempre que for necessário proceder à monitorização da base do cordão dunar frontal.

Duas alternativas podem ser consideradas nessa determinação. A primeira alternativa consiste em monitorizar o cordão dunar frontal apenas em situações em que está presente uma escarpa de erosão, ou seja, imediatamente após eventos de temporal. Neste caso, o contacto entre a

duna e a praia encontra-se normalmente muito bem definido, o que permite tirar partido das potencialidades das metodologias desenvolvidas para a monitorização da linha de costa com rigor centimétrico, tal como é desejável. A adopção deste critério apresenta, contudo, duas desvantagens.

A primeira consiste na dificuldade, ou mesmo impossibilidade, de acesso à base da duna frontal em alguns casos, nomeadamente naqueles que são descritos na situação *b* da Figura 9.4. Mesmo com sistema *DGPS*, com antena simples transportada pelo operador, torna-se, por vezes, impossível monitorizar a base das dunas nesses locais.

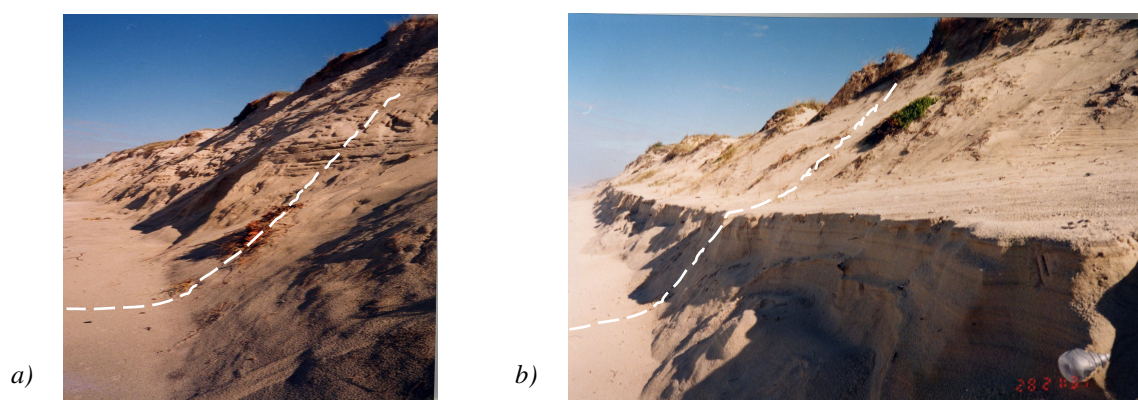


Figura 9.5: Exemplos ilustrativos de erosão na praia emersa. *a*) Ilustração do caso referido na Figura 9.4 *a*, com um exemplo do segmento compreendido entre a praia do Areão e a praia do Poço da Cruz, em Outubro de 2000 (perfil pós – temporal). *b*) Ilustração do caso referido na Figura 9.4 *b*, com um exemplo do segmento compreendido entre a praia do Areão e a praia do Poço da Cruz, em Outubro de 2000 (perfil – pós – temporal).

A segunda desvantagem está relacionada com a dificuldade em encontrar uma escarpa de erosão contínua ao longo de um determinado segmento litoral, a qual permita uma monitorização desse segmento em condições similares de observação. Normalmente, um temporal não afecta o cordão dunar frontal ao longo de toda a sua extensão longilitoral, pelo que há zonas onde está presente uma escarpa e outras em que a base da duna não é afectada.

A segunda alternativa consiste em considerar a base do cordão dunar frontal quando está presente um perfil de repouso. Neste caso, torna-se mais difícil definir o limite entre a duna e a praia, em virtude da variação suave de declive presente entre ambas.

4.2.1 Estimativa do erro associado ao perfil de repouso

Sempre que estão ausentes escarpas de erosão, a monitorização da base da duna implica a necessidade de avaliar o erro médio cometido pelo operador nessa monitorização. Para tal, realizou-se um teste ao longo de 1 km de extensão de praia, a Sul da praia do Areão, que consistiu em determinar a posição da base da duna frontal em dois levantamentos de campo. No período de tempo que decorreu entre as monitorizações, a duna não foi afectada por temporais e encontrava-se

presente um perfil de repouso. Este teste foi realizado durante um período de Verão marítimo, tendo-se adoptado um intervalo de vários dias entre campanhas, de forma a impedir que as marcas deixadas no terreno pelo equipamento durante a primeira campanha induzissem o operador a seguir o mesmo trajecto na segunda monitorização.

A Figura 9.6 representa o gráfico das diferenças entre levantamentos, tomando o primeiro deles como referência para o cálculo do deslocamento entre os perfis. Essas diferenças obtidas permitem identificar um erro médio na determinação da posição da base da duna, segundo a componente planimétrica, de ± 0.40 m, e um erro máximo de ± 1 m, no troço considerado.

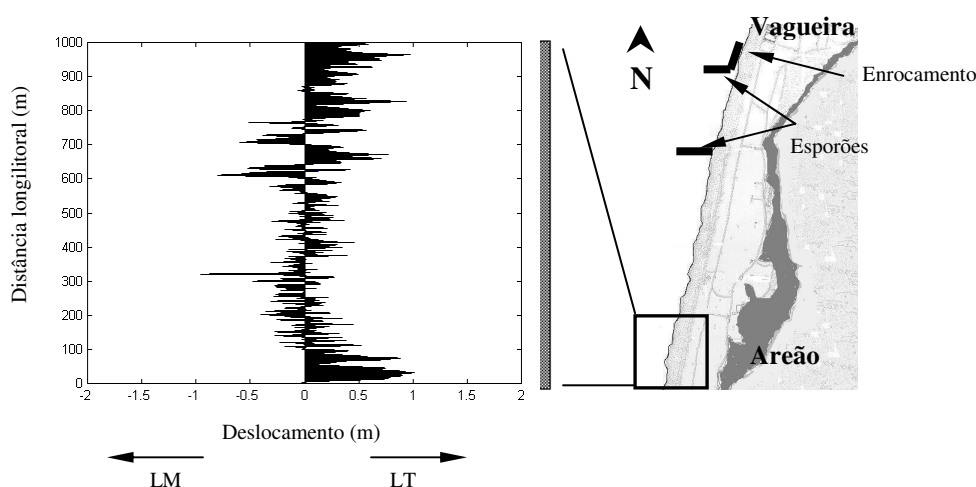


Figura 9.6: Estimativa do erro associado a dois levantamentos consecutivos da base da duna frontal. Levantamentos efectuados a 25 de Maio e 6 de Junho de 2000. LT: lado de terra; LM: lado do mar.

Considerando que a diferença média entre ambas as determinações constitui a incerteza do operador em determinar a posição da base da duna, estimou-se qual a área afectada por essas diferenças. Foram encontradas diferenças positivas de 425 m^2 (que representariam deslocamentos para o lado de terra), e negativas de 369 m^2 (que representariam deslocamentos para o lado de mar), no troço considerado.

Com base nestes resultados considerou-se ser necessária a introdução de um factor de incerteza na determinação da posição da base da duna sempre que estiverem ausentes escarpas de erosão talhadas nas dunas. Considerou-se o valor médio de ± 0.4 m como representativo dessa incerteza. Assim, todas as diferenças entre levantamentos que sejam inferiores a esse valor, nas condições indicadas, estão dentro dessa margem de incerteza, pelo que apenas diferenças superiores a 0.4 m entre levantamentos são, no presente trabalho, admitidas como deslocamento efectivo da linha de costa, nas condições enunciadas. Definiu-se esse erro como *erro associado à incerteza do perfil de repouso*.

4.2.2 Estimativa do erro associado à estabilização do perfil da duna

Para a determinação do deslocamento da linha de costa deve ser considerado, sempre que possível, o recuo efectivo, que considera condições homólogas de observação e não o recuo bruto que considera condições distintas de observação.

Porém, nem sempre é possível, em levantamentos consecutivos de um determinado segmento litoral, encontrar condições homólogas. Cite-se o caso de uma arriba talhada numa duna, presente após um temporal, a qual dá lugar mediante sucessivos deslizamentos, a uma duna com perfil de repouso.

Para que os levantamentos de campo possam ser considerados quando são encontradas condições de observação distintas no terreno, torna-se necessário estimar a área envolvida no processo de estabilização de um cordão dunar frontal. Para isso foi efectuado um teste que consistiu na realização de uma primeira monitorização, ao longo de um perfil de instabilidade de um cordão dunar frontal, e uma segunda monitorização, após ocorrer a sua estabilização (Figura 9.7).

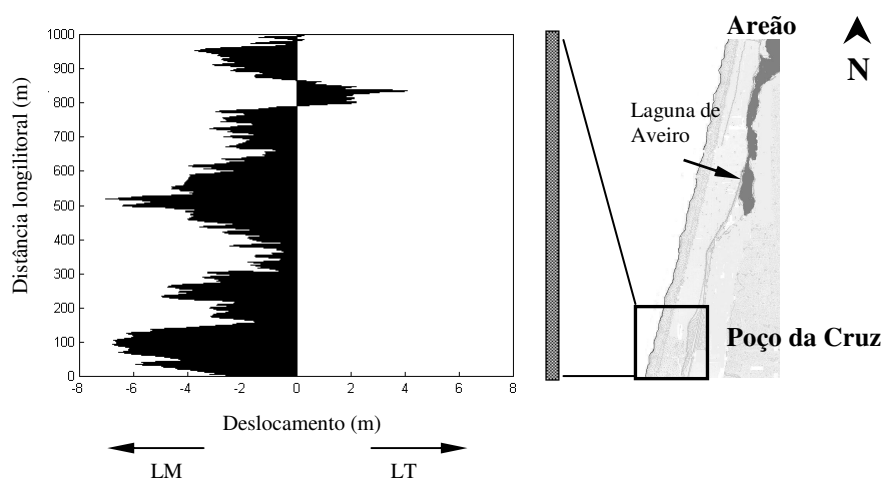


Figura 9.7: Estimativa do deslocamento sofrido pela base de uma duna frontal na sequência de um processo de estabilização. Levantamentos efectuados a 13 de Fevereiro e 10 de Maio de 2001. LT: lado de terra; LM: lado de mar.

A primeira monitorização foi realizada a 13 de Fevereiro de 2001, numa altura em que estava presente uma escarpa de erosão perfeitamente definida ao longo de uma vasta extensão longitudinal de praia. Foram efectuadas várias medições do ângulo de inclinação dessa escarpa (i), relativamente a um plano horizontal de referência, tendo-se obtido valores médios superiores a 60° . A segunda monitorização foi realizada a 10 de Maio de 2001, após a estabilização do perfil de praia. Medidas pontuais do ângulo de repouso (Φ) permitiram estimar um valor médio menor ou igual a 45° .

Os resultados obtidos indicam um deslocamento médio da base da duna de +2.5 m e um deslocamento máximo de +7.0 m, em ambos os casos para o lado do mar.

Com base nos presentes resultados considera-se a introdução de um factor de correcção à *estabilização do perfil*. Atribui-se a esse factor o valor médio de 2.5 m e considera-se a sua aplicação apenas ao cordão dunar presente entre as praias da Vagueira e do Poço da Cruz. Esse factor de correcção é considerado apenas quando uma dada campanha de monitorização for realizada ao longo da base de uma escarpa de erosão e a subsequente for realizada ao longo de um cordão dunar frontal em que está presente um perfil de repouso, ou vice-versa, de forma a obter o designado *reco efectivo*.

5. Evolução da linha de costa no período 2000/2003

Apresentam-se os resultados relativos às variações anuais da posição da linha de costa registadas nos segmentos litorais a Norte e a Sul do porto de Aveiro. Os resultados apresentados encontram-se corrigidos, sempre que necessário, dos erros associados ao perfil de repouso. Foram também efectuadas, quando necessário, as correcções ao erro associado à estabilização do perfil, de forma a considerar sempre o reco efectivo do cordão dunar frontal, no caso do segmento praia do Areão – praia do Poço da Cruz.

A Norte do porto de Aveiro, a monitorização dos segmentos praia de Maceda – praia do Furadouro e praia do Furadouro – praia do Torrão do Lameiro, indicados na Figura 9.1, restringiu-se ao Inverno marítimo 2000/2001.

Nos segmentos litorais praia da Costa Nova – praia da Vagueira e praia da Vagueira – praia do Areão (Figura 9.2), a intensa antropização do sistema, com a reconstrução de diques durante ou no final dos Invernos marítimos, condicionou a realização das observações. Estas foram efectuadas de forma a avaliar apenas o impacte de temporais sobre os diques e não aquele que possa estar relacionado com intervenções de reparação dos ditos diques. Para tal, as observações foram realizadas em períodos em que não decorreram quaisquer intervenções de reparação ou reconstrução.

5.1 Caracterização dos segmentos em estudo

5.1.1 Segmento praia de Maceda – praia do Furadouro

O facto de neste segmento litoral estarem presentes formações de idade pleistocénica – holocénica proporciona uma resposta distinta daquela que ocorre em segmentos litorais com cordões dunares frontais. De referir a maior consistência interna do material que compõe esta formação relativamente à de um cordão dunar frontal, que se traduz na formação de escarpas,

aquando de temporais, as quais se preservam durante períodos bastante alargados. Devido à consistência desta formação, à sua altura e à sua largura, não se registaram, durante o período de monitorização, galgamentos oceânicos. Na Figura 9.8 está representada a evolução deste troço, entre Abril de 2000 e Março de 2001.

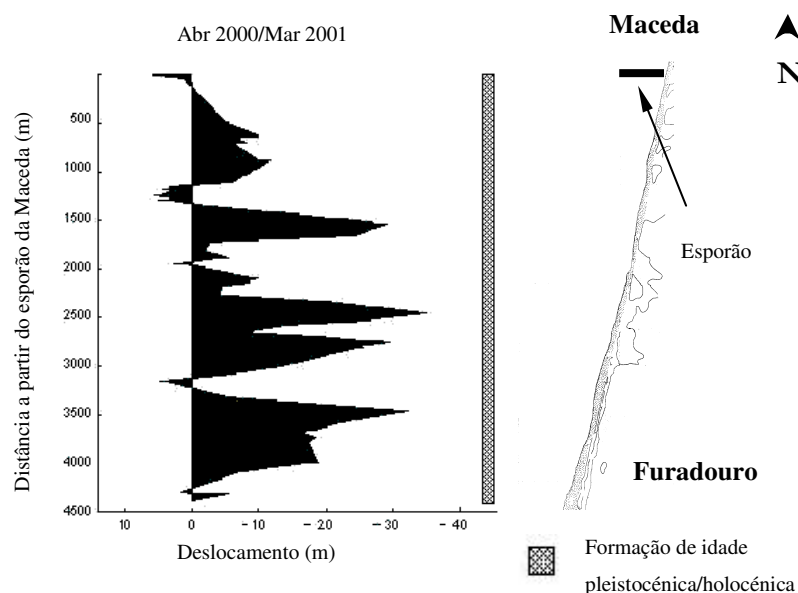


Figura 9.8: Evolução da linha de costa no segmento praia de Maceda – praia do Furadouro. Indica-se o tipo de contacto entre a praia e a costa. Valores negativos de deslocamento representam recuo da linha de costa.

A primeira campanha de monitorização foi realizada em Abril de 2000. Estava presente uma escarpa de erosão praticamente ao longo de toda a extensão deste segmento, sendo escassos os deslizamentos. Também em Março de 2001, a monitorização foi realizada ao longo de uma escarpa de erosão talhada nos depósitos presentes ao longo deste segmento. Verificou-se a ocorrência de pequenos deslizamentos de sedimentos e queda de vegetação, a qual é constituída, nesta zona, essencialmente por pinheiro-bravo (*Pinus pinaster*).

O recuo médio da linha de costa foi de -8.6 m, tendo chegado a atingir máximos de -36.0 m em alguns locais. Em termos de área exposta pelo recuo da linha de costa, esta foi calculada em cerca de 10.5 m²/m.

5.1.2 Segmento praia do Furadouro – praia do Torrão do Lameiro

A Sul do Furadouro, a praia contacta com um cordão dunar frontal, o qual, à data de início dos trabalhos de campo, em Setembro de 2000, já apresentava uma elevada descontinuidade longilitoral devida a galgamentos ocorridos em Invernos marítimos anteriores (Figura 9.9). A monitorização seguinte, realizada em Março de 2001, evidenciou um recuo significativo da linha

de costa e um aumento das zonas afectadas pelos galgamentos oceânicos. Ambos os levantamentos de campo foram realizados ao longo de um cordão dunar frontal em que estava presente um perfil de repouso.

O recuo médio da linha de costa foi de -10.5 m, tendo atingido máximos de -47.5 m em alguns locais. Em termos de área exposta pelo recuo da linha de costa, esta foi calculada em cerca de 8.4 m²/m. O cordão dunar frontal representava, em Março de 2001, apenas 47% da extensão longilitoral deste segmento litoral.

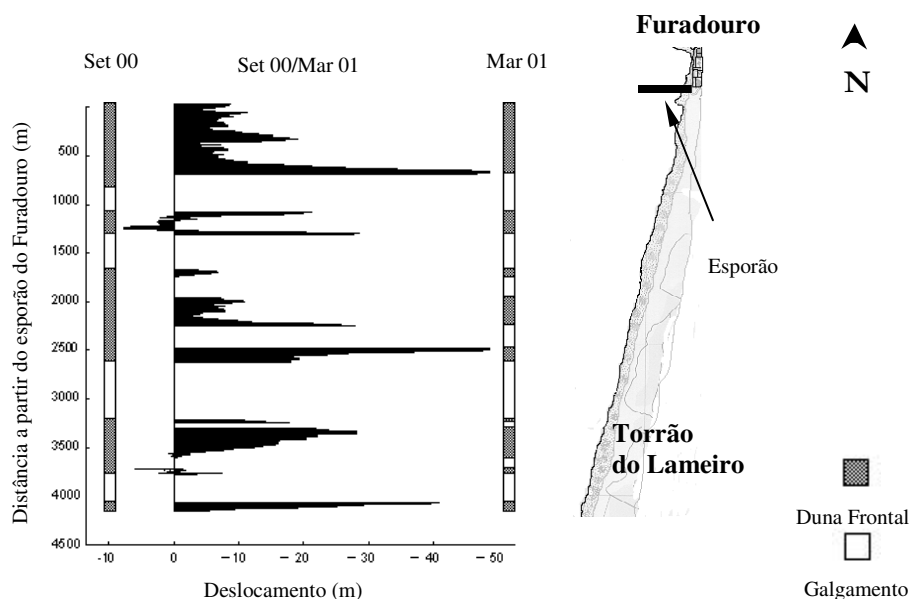


Figura 9.9: Variação da posição da base do cordão dunar frontal no segmento praia do Furadouro-praia do Torrão do Lameiro. Indica-se o tipo de contacto entre a praia e a costa. Valores negativos de deslocamento representam recuo da linha de costa.

5.1.3 Segmento praia da Costa Nova – praia da Vagueira

A Figura 9.10 traduz a evolução deste segmento litoral no período compreendido entre os anos de 2000 e 2003.

O primeiro período de monitorização compreendeu observações entre Setembro de 2000 e Fevereiro de 2001. No início dos trabalhos de campo, em Setembro de 2000, estava presente, ao longo dos primeiros 2 km deste segmento, um dique de areia que contactava com a praia através de uma suave variação de declive. Mais a Sul, as dunas frontais apresentavam-se no seu perfil de repouso. Alguns galgamentos e corredores eólicos que interrompiam a continuidade longilitoral do cordão dunar frontal eram usados como acessos à praia pelas comunidades piscatórias locais.

Em Fevereiro de 2001, a maior parte do dique tinha sofrido forte erosão com a ocorrência de galgamentos em alguns locais. Também as dunas frontais situadas na zona média deste segmento tinham sofrido forte erosão. O cordão dunar frontal situado mais a Sul, apesar da maior largura da

praia a barlamar dos esporões da Vagueira, evidenciava escarpas de erosão ao longo da maior parte da sua extensão longilitoral. Na zona do dique foram calculados valores médios e máximos de recuo da linha de costa, de -13.0 m e -44.5 m, respectivamente. No troço do cordão dunar frontal foram contabilizados recuos médios e máximos da linha de costa, de -10.3 m e de -41.4 m, respectivamente.

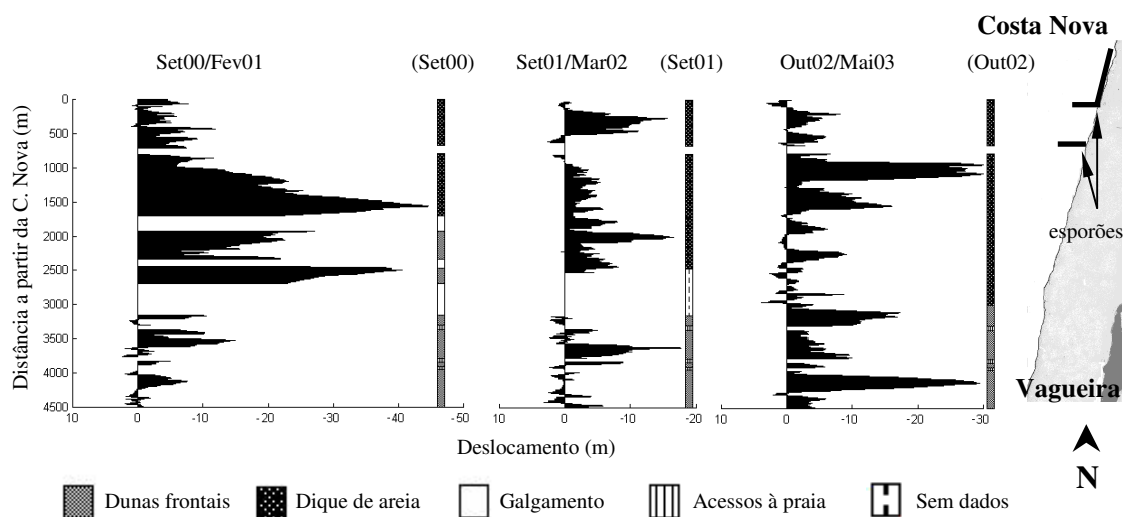


Figura 9.10: Variação da posição da base do cordão dunar frontal e do dique arenoso presentes no segmento praia da Costa Nova – praia da Vagueira, em três períodos de monitorização. Indica-se o tipo de contacto entre a praia e a costa. Valores negativos de deslocamento representam recuo da linha de costa.

O segundo período de observação decorreu em Setembro de 2001 e Março de 2002. Em Setembro de 2001 foi efectuada a primeira monitorização ao longo da base do novo dique, entretanto reconstruído a Sul da praia da Costa Nova. Esse novo dique foi construído numa posição mais interior relativamente ao anterior, apresentando também uma maior extensão longilitoral. Mais a Sul, a base do cordão dunar frontal apresentava um declive de repouso.

A monitorização efectuada em Março de 2002 permitiu verificar que o dique resistiu aos ataques dos temporais entretanto ocorridos, sofrendo, contudo, alguma erosão com a formação de escarpas de erosão na sua base. A Sul do dique, as dunas frontais sofreram erosão, verificando-se a presença de escarpas de erosão e de alguns cones de deslizamento. Estes últimos começaram a ser aproveitados para acesso à praia. O valor máximo de recuo da linha de costa foi de -18.0 m na zona do dique e de -17.7 m na zona do cordão dunar frontal. Os recuos médios de recuo da linha de costa foram de -4.6 m no troço do dique e de -1.7 m no troço da duna.

No terceiro período de monitorização, que decorreu no Inverno marítimo de 2002/03, a primeira monitorização foi realizada em Outubro, ao longo da base do dique construído no ano anterior e também ao longo das dunas frontais que subsistiam mais a Sul. Em ambos os casos estava presente um perfil de repouso. A monitorização efectuada em Maio de 2003 evidenciava a

presença de uma escarpa de erosão no dique de areia e também na maior parte do cordão dunar frontal.

Os resultados obtidos neste Inverno indicam que a zona mais afectada do dique foi a situada a Sul do último esporão da Costa Nova, com um recuo máximo de -30.3 m. Na zona do cordão dunar frontal ficou registado um recuo máximo de -29.5 m. Em termos de valores médios de recuo é de referir que eles foram mais elevados no troço onde subsistia o cordão dunar frontal, com -8.5 m, enquanto que no troço do dique o seu valor era da ordem dos -4.5 m.

Tendo em conta os valores particularmente elevados de recuo da linha de costa durante o Inverno marítimo de 2000/2001, procedeu-se a uma análise mais detalhada da evolução deste segmento durante esse período (Figura 9.11).

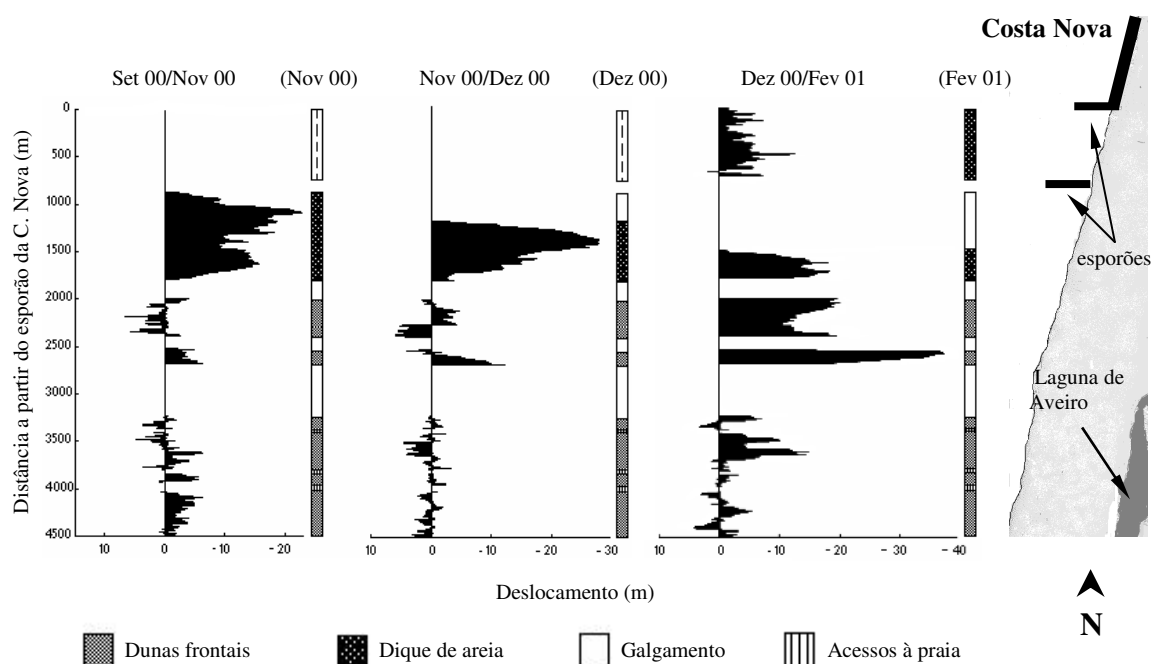


Figura 9.11: Variação da posição das bases do cordão dunar frontal e do dique arenoso no segmento praia da Costa Nova - praia da Vagueira durante o Inverno marítimo de 2000/2001. Indica-se o tipo de contacto entre a praia e a costa. Valores negativos de deslocamento representam recuo da linha de costa.

Um aspecto que se destaca da análise da Figura 9.11 é a progressão da erosão de Norte para Sul, a partir do campo de esporões da Costa Nova. Em Novembro de 2000 já estava presente uma escarpa de erosão ao longo de toda a extensão do dique de areia e do cordão dunar frontal. Entre Novembro e Dezembro de 2000, a erosão afectou, essencialmente, o dique, o qual foi galgado no seu limite Norte. Em Fevereiro de 2001 verificou-se que a maior parte do dique a Sul dos esporões estava galgado. O período entre Dezembro de 2000 e Fevereiro de 2001 foi aquele em que o cordão dunar frontal foi mais afectado pela erosão. Durante esse período, os valores médio e máximo de recuo da linha de costa na zona do cordão dunar frontal foram de -7.3 m e -36 m, respectivamente.

Comparativamente, na zona do dique, a linha de costa apresentava valores médios e máximos de recuo de -2.3 e -18.1 m, respectivamente. Estes resultados contrastam com aqueles que foram obtidos para períodos de análise anteriores, nomeadamente entre Novembro e Dezembro de 2000, em que ocorreram valores de erosão bastante superiores no dique (médio e máximo de -5.7 e -29.3, respectivamente), em relação aos registados no cordão dunar frontal (médio e máximo de -0.5 e -2.1, respectivamente).

5.1.4 Segmento praia da Vagueira - praia do Areão

A Figura 9.12 indica a evolução deste segmento litoral no período compreendido entre os anos de 2000 e 2003.

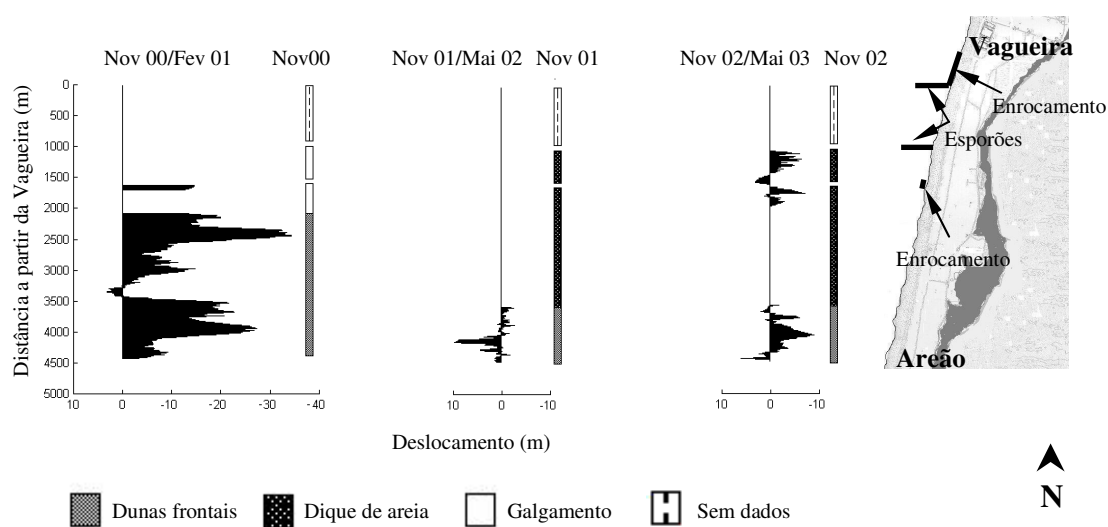


Figura 9.12: Variação da posição das bases do cordão dunar frontal e do dique arenoso presentes no segmento praia da Vagueira – praia do Areão em três períodos de monitorização. Indica-se o tipo de contacto entre a praia emersa e a costa. Valores negativos de deslocamento representam recuo da linha de costa.

No primeiro período de estudo, com observações realizadas entre Novembro de 2000 e Fevereiro de 2001, o cordão dunar frontal revelava, na campanha de observação de Novembro, escarpas de erosão e galgamentos. Em Fevereiro de 2001 continuava bem patente a presença de escarpas de erosão talhadas nas dunas frontais. Em termos de contabilização do recuo da linha de costa foram obtidos valores médios, neste segmento, de -13.1 m, que expuseram uma área de 9.6 m²/m.

No início de 2001 começou a ser edificado um dique na retaguarda do cordão dunar frontal ainda presente. Esse novo dique, a Sul dos esporões da Vagueira, prolongou-se ao longo de 2550 m de extensão longilitoral de praia. Na Figura 9.13 indica-se a distância relativa entre a base do alinhamento definido pelo cordão dunar frontal que subsistia em Fevereiro de 2001 e a base do

novo dique após a sua construção, em Maio de 2001. Verifica-se que este novo dique foi edificado bastante mais para o interior, a uma distância máxima da base do cordão dunar frontal de 68.0 m.

Entre Novembro de 2001 e Maio de 2002 decorreu o segundo período de monitorização, o qual incidiu já sobre a base do novo dique de areia. Em ambas as campanhas verificou-se a presença de um perfil de repouso. Mais a Sul, na zona onde estava presente o cordão dunar frontal, verificou-se a ocorrência de alguma acção erosiva sobre as dunas frontais (Figura 9.12).

No Inverno marítimo do ano seguinte decorreu o terceiro período de monitorização, o qual permitiu evidenciar um ligeiro ataque ao dique, cujo perfil, em Maio de 2003, já evidenciava uma melhor definição no contacto com a praia. A linha de costa sofreu um recuo médio, na zona do dique, de cerca de -1.5 m apenas no seu extremo Norte. Na zona do cordão dunar frontal que ainda subsistia a Norte do Areão, a linha de costa sofreu um recuo médio de cerca de -2.5 m.

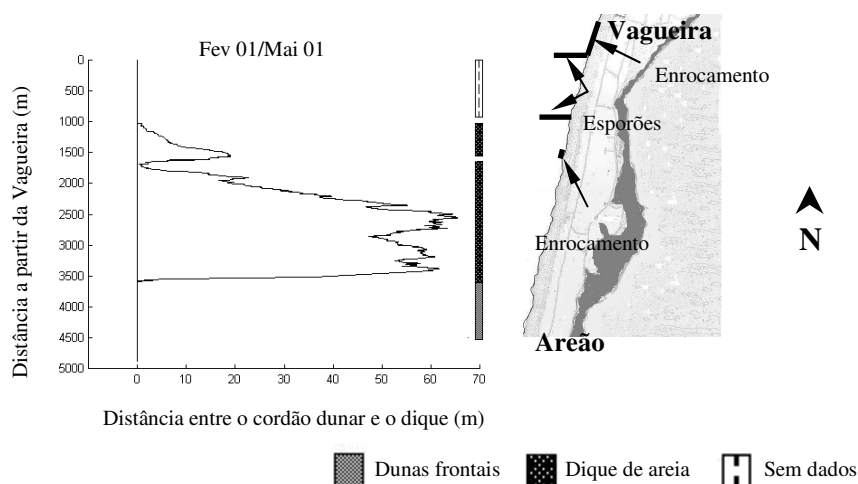


Figura 9.13: Distância entre a base do alinhamento definido pelo cordão dunar frontal presente em Fevereiro de 2001 e a base do dique de areia edificado nesse ano.

Particularizando a apresentação de resultados para o Inverno marítimo 2000/01 apresenta-se, na Figura 9.14, a evolução da linha de costa, considerando duas fases de análise.

Numa primeira fase, que reporta ao período entre Novembro e Dezembro de 2000, ocorreu erosão do cordão dunar frontal relativamente pouco acentuada. Em Novembro de 2000, essa erosão já atingia a base do cordão dunar frontal, praticamente ao longo de toda a sua extensão (situação semelhante à descrita na figura 9.4 b). Em Dezembro do mesmo ano, o cordão dunar frontal já evidenciava uma escarpa, que diagnosticava o efeito de ataque da ondulação na sua base.

Na segunda fase, entre Dezembro de 2000 e Fevereiro de 2001, essa escarpa continuou a sofrer forte erosão, tendo-se encontrado na sua base, em Fevereiro, pequenos cones de deslizamentos e tufos de vegetação.

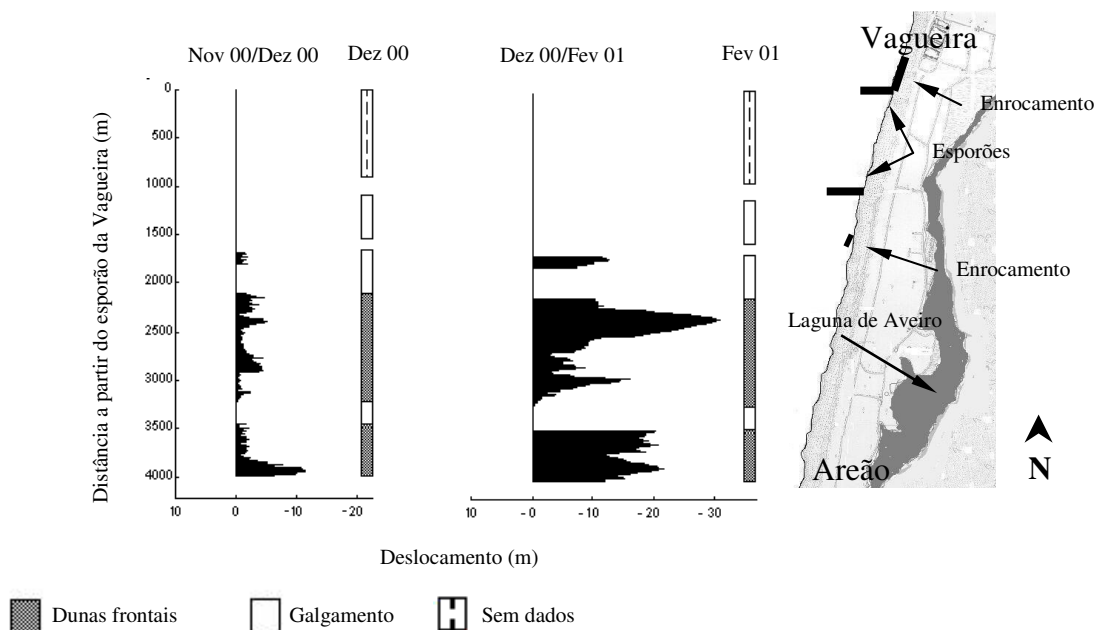


Figura 9.14: Variação da posição da base do cordão dunar frontal no segmento praia da Vagueira – praia do Areão durante o Inverno marítimo de 2000/2001. Indica-se o tipo de contacto entre a praia emersa e a costa. Valores negativos de deslocamento representam recuo da linha de costa.

Os resultados obtidos indicam, também para este segmento litoral, o período compreendido entre Dezembro de 2000 e Fevereiro de 2001 como aquele em que se registaram valores mais elevados de recuo da linha de costa, cujos valores médios rondaram os -12.9 m e os valores máximos atingiram -30.0 m. Durante esse período, a área de recuo foi calculada em cerca de 12.1 m²/m.

5.1.5 Segmento praia do Areão – praia do Poço da Cruz

No período decorrido entre 2000 e 2003, este foi o único segmento litoral onde o cordão dunar frontal subsistiu sem que tivesse sido galgado, apesar dos intensos ataques por ocasião dos temporais (Figura 9.15). Todas as monitorizações consideradas, com excepção da realizada em Novembro de 2000, foram realizadas ao longo de uma base de duna que apresentava, ou um perfil de repouso, ou um perfil pouco afectado pela acção da agitação marítima.

O primeiro período de avaliação compreende o recuo da linha de costa que ocorreu entre Novembro de 2000 e Novembro de 2001. Durante este período foram obtidos recuos médios e máximos de -11.4 e -30.6 m, respectivamente. A área exposta pelo recuo da linha de costa foi contabilizada em 9.6 m²/m.

Os resultados obtidos no segundo período de análise, correspondente a 2001/2002, permitiram verificar que as zonas onde a erosão foi mais intensa dizem respeito àquelas que tinham sido menos afectadas pelos temporais do ano anterior. Foi calculado um recuo máximo da linha de

costa de -15.0 m e um recuo médio da linha de costa de -1.5 m. A área exposta pelo recuo da linha de costa foi avaliada em cerca de 5562 m².

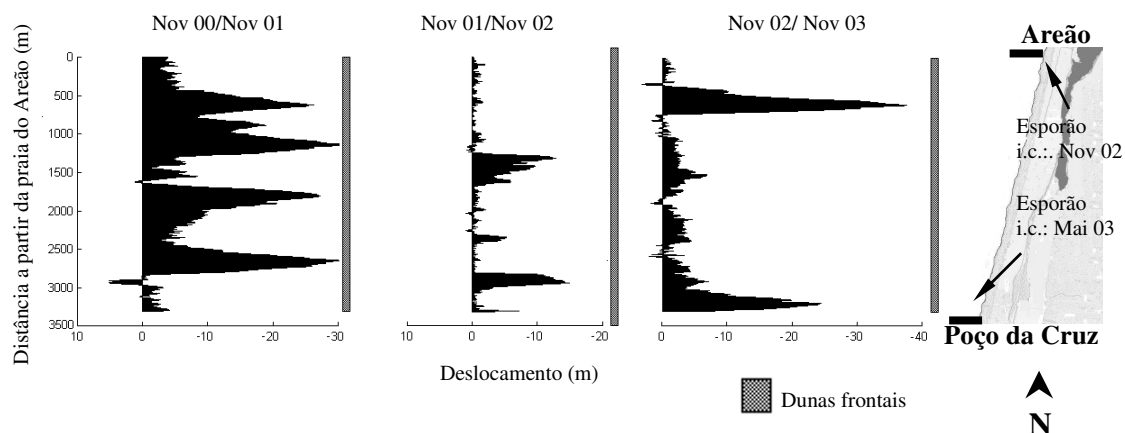


Figura 9.15: Variação da posição da base do cordão dunar frontal no segmento praia do Areão – praia do Poço da Cruz em três períodos de monitorização. Indica-se o tipo de contacto entre a praia e a costa. Valores negativos de deslocamento representam recuo da linha de costa. i.c.: início de construção.

O terceiro período em análise, entre Novembro de 2002 e Novembro de 2003, evidenciou uma intensificação da erosão relativamente à que tinha sido determinada no ano anterior, a qual apresenta dois picos. Num desses picos, a sotamar da praia do Areão, mais concretamente a Sul do novo esporão do Areão, foram determinados valores máximos de recuo da linha de costa de -37.5 m. O outro pico de recuo situava-se a barlamar do novo esporão da praia do Poço da Cruz, tendo a linha de costa recuado cerca de -26 m. Os valores médios de recuo da linha de costa foram contabilizados em -5.5 m, tendo sido exposta uma área de cerca de 11554 m².

Na Figura 9.16 representa-se o comportamento deste segmento litoral, relativamente à evolução da linha de costa, no Inverno marítimo 2000/2001.

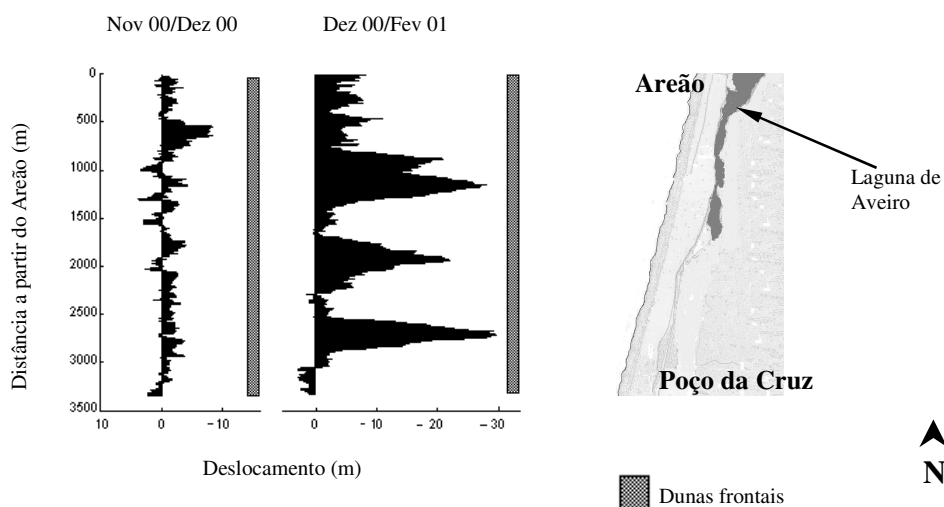


Figura 9.16: Variação da posição da base da duna frontal no segmento praia do Areão – praia do Poço da Cruz no decurso do Inverno marítimo de 2000/2001. Indica-se o tipo de contacto entre a praia e a costa. Valores negativos de deslocamento representam recuo da linha de costa.

As observações de campo realizadas em Dezembro de 2000 e Fevereiro de 2001 evidenciaram um cordão dunar frontal no qual estava presente uma arriba talhada pela acção da ondulação. Em Fevereiro de 2001 continuava presente uma arriba, na base da qual se formavam diversos cones de dejectão de sedimentos e vegetação.

Entre Novembro e Dezembro de 2000, o recuo médio e máximo registado na linha de costa foi de -1.2 m e -8.2 m, respectivamente, e na fase seguinte, entre Dezembro de 2000 e Fevereiro de 2001, foi de -8.7 m e -30.0 m, respectivamente. Durante a fase em que se verificou um recuo mais acentuado, ficou exposta uma área de 25660 m², ou seja, cerca de 7.5 m²/m.

5.2 Síntese dos resultados

As Figuras 9.17 e 9.18 representam, sob a forma de histograma, os valores médios e máximos de deslocamento da linha de costa e as respectivas áreas expostas por erosão do cordão dunar frontal. No **anexo IX – C** são apresentados, sob a forma de tabela, os valores obtidos.

Pela análise do histograma da Figura 9.17 verifica-se que no Inverno marítimo de 2000/2001 se registaram os valores mais elevados de recuo médio da linha de costa, para os segmentos situados a sul do porto de Aveiro, no conjunto dos três anos considerados. Em contrapartida, no Inverno marítimo do ano seguinte foram contabilizados os valores mais baixos dos três anos.

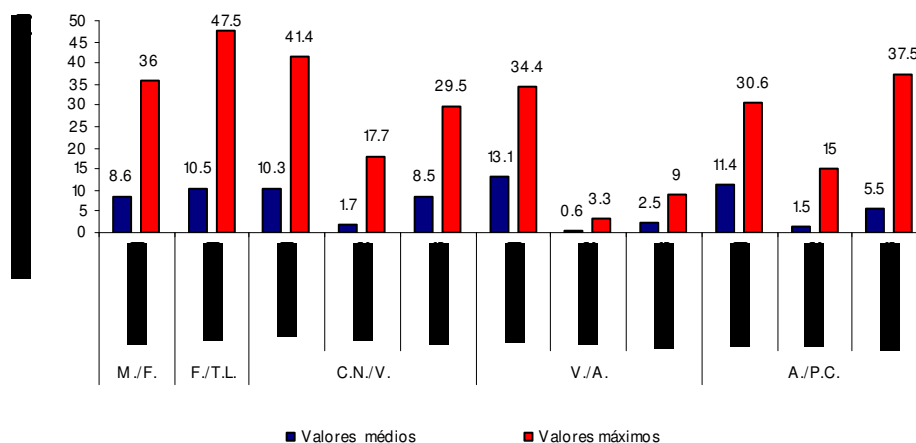


Figura 9.17: Valores de deslocamento da linha de costa em cada segmento litoral considerado no litoral da laguna de Aveiro. M./F.: Segmento praia de Maceda-praia do Furadouro; F./T.L.: Segmento praia do Furadouro-praia do Torrão do Lameiro; C.N./V.: Segmento praia da Costa Nova-praia da Vagueira; V./A.: Segmento praia da Vagueira-praia do Areão; A./P.C.: Segmento praia do Areão-praia do Poço da Cruz.

Um aspecto que importa referir diz respeito aos valores máximos de recuo da linha de costa que nem sempre são proporcionais aos valores médios obtidos para cada segmento, em cada período considerado. Esta constatação é particularmente evidente no segmento praia do Areão – praia do Poço da Cruz. Neste segmento verifica-se que no Inverno marítimo de 2002/2003 foram

obtidos recuos máximos superiores aos máximos obtidos no Inverno de 2000/2001, muito embora os valores médios nesses períodos registem uma tendência contrária. Este comportamento resulta do facto de a erosão do cordão dunar frontal ser bastante localizada, durante 2002/2003, nomeadamente a sotamar do esporão entretanto construído no Areão, ao contrário do que se passava no Inverno marítimo de 2000/2001, no decurso do qual a erosão do cordão dunar frontal, embora intensa, ocorreu ao longo de toda a sua extensão.

Relativamente à área exposta por erosão do cordão dunar verifica-se que no Inverno marítimo de 2000/2001 estão presentes as maiores áreas de erosão (Figura 9.18). O segmento praia da Maceda – praia do Furadouro é, de todos os segmentos em estudo e para os vários períodos em análise, aquele em que uma maior área fica exposta por erosão.

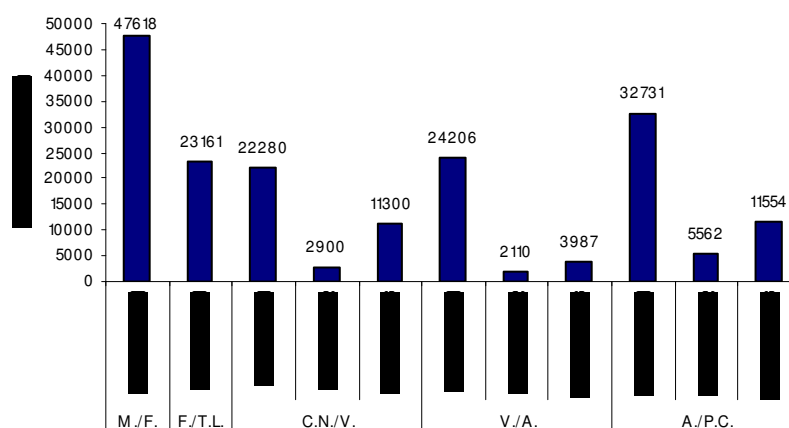


Figura 9.18: Áreas expostas por erosão do cordão dunar frontal em cada segmento litoral considerado no litoral da laguna de Aveiro. M./F.: Segmento praia de Maceda-praia do Furadouro; F./T.L.: Segmento praia do Furadouro-praia do Torrão do Lameiro; C.N./V.: Segmento praia da Costa Nova-praia da Vagueira; V./A.: Segmento praia da Vagueira-praia do Areão; A./P.C.: Segmento praia do Areão-praia do Poço da Cruz.

A Figura 9.19 indica o tipo contacto entre a praia emersa e a costa nos segmentos em estudo a sul do porto de Aveiro. No **anexo IX – D** são apresentados, sob a forma de tabela, os valores obtidos.

No início do Inverno marítimo de 2000, o segmento praia da Costa-Nova – praia da Vagueira apresenta a menor extensão longilitoral de cordão dunar frontal, o qual correspondia apenas a 1800 dos 4350 m de extensão deste segmento. A erosão entretanto ocorrida provocou a redução em cerca de 10% desse cordão dunar frontal.

O segmento praia da Vagueira – praia do Areão é aquele em que uma maior percentagem de cordão dunar frontal sofreu galgamentos no decurso do Inverno marítimo de 2000/2001 (cerca de 50%). Permaneceu apenas uma pequena faixa de cordão dunar frontal na parte mais meridional deste segmento.

O segmento praia do Areão - praia do Poço da Cruz não regista galgamentos durante o Inverno marítimo 2000/2001, mantendo, apesar da intensa erosão, um cordão dunar frontal contínuo. Nos anos seguintes, o cordão dunar frontal também não foi galgado, apesar da sua erosão ter continuado a ocorrer.

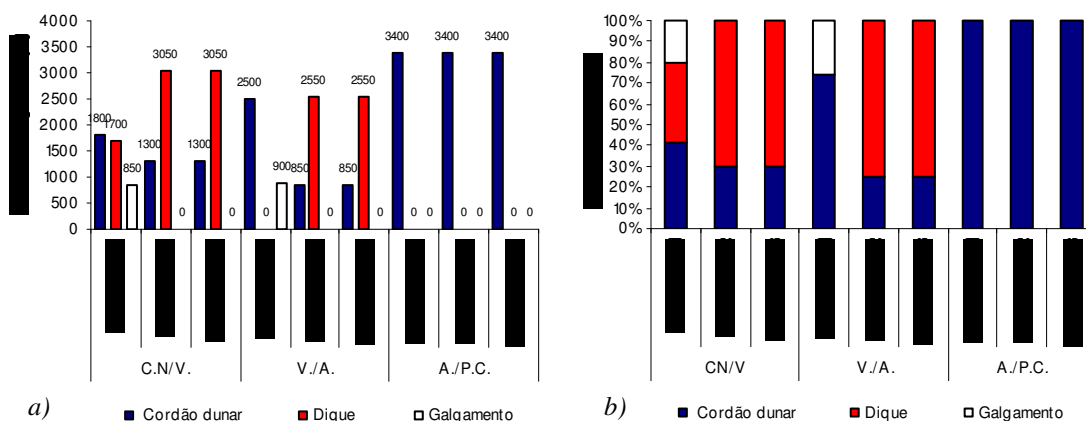


Figura 9.19: Tipo de contacto entre a praia emersa e a costa. a) Extensão longilitoral do cordão dunar frontal, do dique de areia e dos galgamentos relativamente ao comprimento de cada um dos segmentos monitorizados. b) Percentagens relativas de cordão dunar frontal, dique arenoso e galgamento. C.N./V.: Segmento praia da Costa Nova-praia da Vagueira; V./A.: Segmento praia da Vagueira-praia do Areão; A./P.C.: Segmento praia do Areão-praia do Poço da Cruz.

5.3. Tendências de evolução

Um primeiro aspecto digno de referência e que pode ser constatado a partir da análise dos resultados apresentados ao longo do presente capítulo, é a tendência de progressão da erosão de Norte para Sul. Este aspecto tem sido referido, frequentemente, nos trabalhos publicados sobre a temática relativa à evolução da linha de costa no litoral entre Espinho e o Cabo Mondego, considerando observações à escala da década. Este comportamento tem sido justificado pela deficiência sedimentar, a qual desencadeia uma intensificação da erosão da praia e das dunas como uma nova fonte sedimentar que alimenta os segmentos litorais a jusante.

Os resultados obtidos no presente trabalho permitem, contudo, inferir essa tendência em alguns dos segmentos litorais à escala sazonal. É o caso do segmento praia da Costa Nova – praia da Vagueira, no qual ficou registada essa tendência no Inverno marítimo 2000/2001. Os resultados indicam não só um rápido esgotamento das reservas sedimentares presentes na praia e no próprio dique, que entretanto ia sendo erodido, mas também que essas reservas não terão sido suficientes para evitar a progressão da erosão para Sul. Esta constatação permite inferir a existência de uma situação de extrema escassez sedimentar em transporte longilitoral pelas correntes de deriva litoral, durante o Inverno marítimo de 2000/2001.

O facto de se terem verificado, durante esse período, valores médios de recuo da linha de costa superiores aos admitidos para os segmentos considerados, os quais são, normalmente, inferiores a 4 m/ano, com excepção para o segmento litoral praia da Costa Nova – praia da Vagueira em que foram considerados valores superiores (Ferreira, 1993; Caetano, 2002), parece também ser um elemento indicativo de que os segmentos litorais considerados funcionaram como compartimentos quase estanques relativamente à deriva litoral.

Com base nesta análise sugere-se que, muito possivelmente, a erosão ocorrida no segmento praia da Costa Nova – praia da Vagueira não permitiu a incorporação de um volume sedimentar nas correntes de deriva litoral suficiente para reduzir, de forma significativa, a erosão no segmento praia da Vagueira – praia do Areão.

O mesmo raciocínio pode ser aplicado relativamente ao segmento praia do Areão – praia do Poço da Cruz que, muito provavelmente, assistiu, nesse ano, ao maior recuo da linha de costa das últimas décadas.

Na Figura 9.20 indicam-se as taxas de recuo da linha de costa ocorridas ao longo das últimas décadas, com base em dados de dois autores, além das obtidas neste trabalho, para o período de 2000 a 2003.

No segmento praia da Costa Nova – praia da Vagueira verificou-se um acentuar da erosão durante a década de 60 do século passado, a qual pode ser imputada à construção dos esporões nesse período.

O segmento praia da Vagueira – praia do Areão manteve um comportamento mais homogéneo, mas sempre num sentido de aumento das taxas de erosão.

Mais a Sul, o segmento praia do Areão – praia do Poço da Cruz manteve taxas aproximadamente constantes durante os últimos 50 anos, assistindo-se, a partir de 2000, a um aumento significativo das taxas de erosão.

Tendo em conta que no final do Inverno de 2000/2001 o cordão dunar frontal que ainda subsistia entre as praias da Costa Nova e do Areão já tinha sido galgado e que continuaram a ser construídos diques a partir de sedimentos extraídos à face da praia, será de prever que a evolução, num futuro próximo, do segmento praia do Areão – praia do Poço da Cruz seja no sentido de uma rápida erosão do cordão dunar frontal.

Considerando uma taxa média de recuo de 6.0 m/ano, que corresponde à média dos valores determinados para o período 2000/2003, e tendo em conta que o cordão dunar frontal tem, nesse segmento, uma largura média de 30 m, será de prever que, num período de dez anos a partir de 2001/2002, ocorra o galgamento da maior parte do cordão dunar frontal neste segmento.

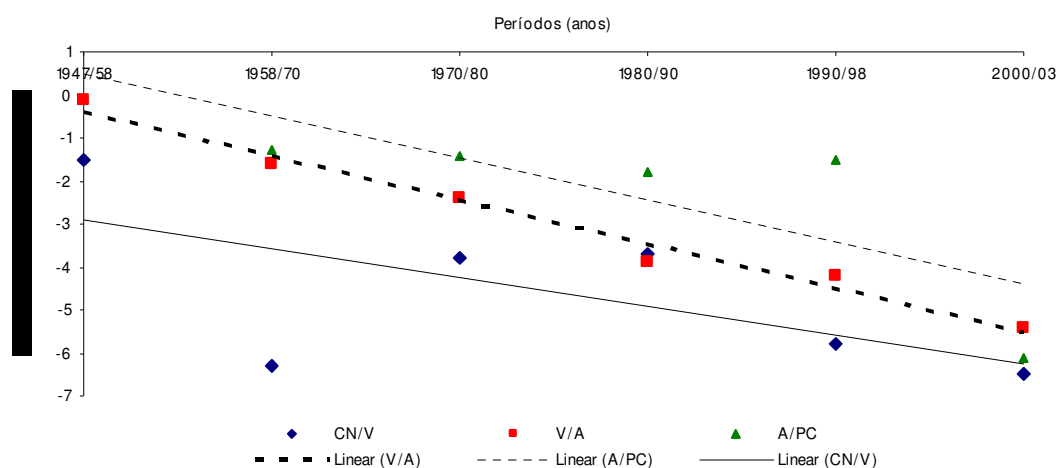


Figura 9.20: Taxas de recuo da linha de costa de acordo com dados de vários autores. Para o período 1947/90, dados de Ferreira (1993); para o período de 1990/98, dados de Caetano (2002); para o período de 2000/03, dados obtidos neste trabalho. C.N./V.: praia da Costa Nova – praia da Vagueira; V./A.: praia da Vagueira – praia do Areão; A./P.C.: praia do Areão – praia do Poço da Cruz.

Os resultados entretanto obtidos, e que foram apresentados, indicam recuos de cerca de 30 m a sotamar do recente esporão do Areão, e superiores a 20 m a barlamar do esporão da praia do Poço da Cruz. Nesses locais já era visível, em 2003, que o limite interno do cordão dunar frontal estava a ser atingido, sendo eminente o seu galgamento.

6. Factores condicionantes e associados à evolução da linha de costa

6.1 Factores condicionantes da evolução da linha de costa - Análise do impacte de temporais

Diversos modelos de previsão da erosão de praias e recuo do cordão dunar frontal têm sido testados, ao longo dos últimos anos, para as praias do litoral de Aveiro (Ferreira, 1993, 1998, 2004). O objectivo essencial da aplicação de modelos é a avaliação do contributo de temporais, de acordo com as suas características, para a erosão do litoral. No entanto, ainda são escassos os trabalhos que fazem uma avaliação quantitativa, com base em dados de campo recolhidos à escala mensal ou sazonal, das relações entre as condições de agitação marítima e, particularmente, dos temporais com a evolução da linha de costa. A presente análise versa sobre esta abordagem, a qual pretende contribuir para um melhor conhecimento da resposta desta zona de estudo às condições de temporal.

Os temporais individuais podem ser de baixa, média e elevada intensidade, de acordo com a altura significativa da onda ao largo. Os temporais individuais podem ainda, atendendo à sua frequência e intensidade, ser agrupados nos designados grupos de temporais ou temporais sucessivos. No capítulo VI – 3.2 apresentam-se os critérios adoptados para as definições de

temporal e de grupos de temporais. Com base nesses critérios, foram identificados diversos eventos de temporal e diversos grupos de temporais para o período de estudo.

O estudo de grupos de temporais e suas consequências em litorais arenosos tem merecido especial atenção nos últimos anos (Lee *et al.*, 1998; Birkemeier *et al.*, 1999; Cox e Pirrello, 2001; Ferreira, 2002, 2004). De acordo com Morton *et al.* (1995), quando a frequência dos temporais excede o período necessário à recuperação sedimentar de uma praia, após cada temporal individual, a erosão da praia acentua-se. Nesta situação, e para essa praia, pode-se considerar que estão presentes temporais sucessivos ou grupos de temporais.

Na presente análise são confrontados os valores de recuo da linha de costa nos vários segmentos litorais considerados, nas várias épocas de observação, com os vários eventos de temporal e grupos de temporais que decorreram entre essas épocas de observação. São tomados, como referência, alguns resultados de modelos de previsão do impacto de temporais em praias com as mesmas características das que ocorrem no litoral de Aveiro.

Tendo em conta que no período que decorreu entre os Invernos marítimos de 2000/2003 nem sempre a bóia ondógrafo de Leixões esteve operacional, foram considerados também os dados da bóia de Sines, para o Inverno marítimo de 2000/2001. No capítulo VI – 3.2 referiu-se que os dados de ambas as bóias não devem ser directamente comparados devido às diferenças na severidade das condições de agitação entre ambos os locais.

Com vista a inferir a intensidade dos temporais que ocorreram em Leixões no decurso do Inverno marítimo de 2000/2001, procedeu-se à extrapolação dos registos de temporal em Sines, para Leixões. Assumiu-se, ainda que com muitas reservas, uma relação de proporcionalidade de 1.1 entre as alturas significativas de ambos os locais, considerando, portanto, que os temporais em Leixões são 1.1 vezes mais intensos do que em Sines. Esta relação foi apenas aplicada para temporais dos rumos WNW ou W, os quais têm sido referidos como temporais que ocorrem em toda a costa Oeste portuguesa, embora com menos intensidade em Sines (Costa, 1994).

Na Figura 9.21 são confrontadas as alturas significativas, extrapoladas para Leixões, dos temporais que ocorreram em Sines, no Inverno marítimo de 2000/2001, com os valores de recuo da linha de costa verificados nos vários segmentos litorais em estudo, nesse período. É feita a mesma análise para os Invernos marítimos dos anos seguintes, considerando, nesse caso, os temporais identificados com base no registo da bóia ondógrafo de Leixões (Figura 9.21 *a*). São também apresentadas a duração e a frequência dos temporais referidos anteriormente (Figura 9.21 *b*).

Relativamente ao Inverno marítimo de 2000/2001, podem ser considerados dois períodos de análise do recuo da linha de costa. O primeiro avalia o recuo que decorreu na sequência de três temporais. Desses três eventos, apenas um se revelou particularmente persistente, prolongando-se por 106 horas e apresentando máxima altura significativa de 7.73 m (em 7 de Dezembro de 2000).

Estes três temporais provocaram um recuo médio da linha de costa entre os -0.5 m, no segmento praia da Costa Nova – praia da Vagueira, e os -1.7 m no segmento praia da Vagueira – praia do Areão (Figura 9.21 a).

No segundo período de análise, estabelecido entre 17 de Dezembro de 2000 e 13 ou 22 de Janeiro de 2001, ocorreram 7 temporais. Um deles terá sido particularmente intenso, com máxima altura significativa de 8.4 m.

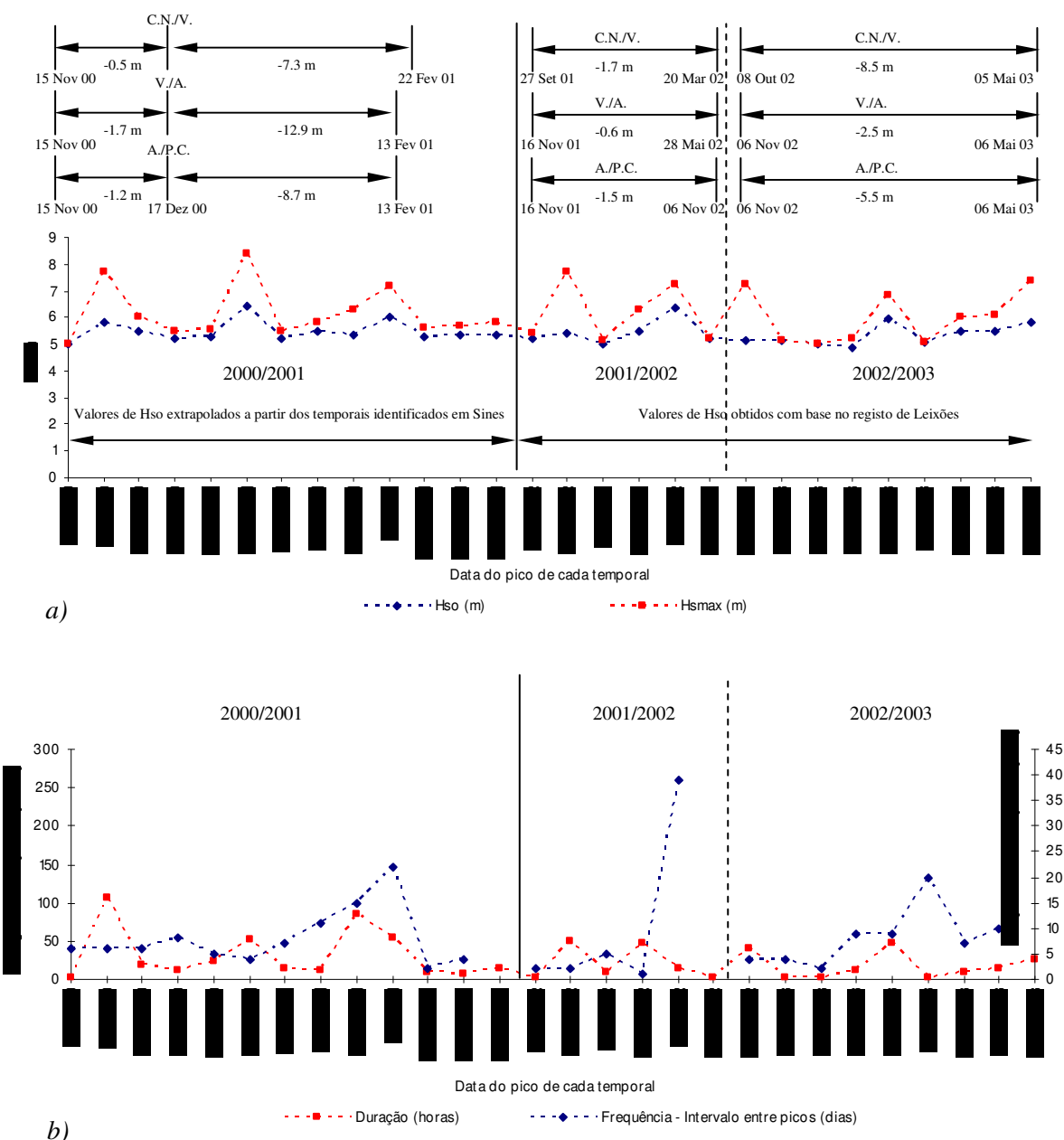


Figura 9.21: a) Altura significativa média e máxima altura significativa para cada temporal identificado no decurso do período de estudo. b) Duração e frequência dos temporais identificados no decurso do período de estudo. Estão indicados os valores de recuo da linha de costa em alguns dos segmentos do litoral de Aveiro, durante o período de estudo. C.N./V.: Segmento praia da Costa Nova – praia da Vagueira; V./A.: Segmento praia da Vagueira – praia do Areão; A./P.C.: Segmento praia do Areão – praia do Poço da Cruz.

Considerando o recuo médio ocorrido entre 15 de Novembro de 2000 e 13 ou 22 de Fevereiro de 2001, consoante o segmento litoral considerado, verifica-se que este foi particularmente intenso, com valores a variar entre os -9.9 m (segmento praia do Areão – praia do Poço da Cruz) e os -14.6 m (segmento praia da Vagueira – praia do Areão). No decurso deste período foram identificados um grupo de três temporais e um grupo de dois temporais.

No Inverno marítimo do ano seguinte foram identificados seis temporais no período compreendido entre campanhas de observação para a determinação da evolução da linha de costa. Três desses temporais podem ser considerados de baixa intensidade ($H_{smax} < 5.5$ m) e também de baixa persistência (inferior a 24 h). Os restantes temporais tiveram intensidade média ($H_{smax} > 6$ m), definindo-se um grupo de três temporais. Os valores de recuo da linha de costa situaram-se, nesse período, entre os -0.6 m, no segmento praia da Vagueira – praia do Areão, e os -1.7 m, no segmento praia da Costa Nova – praia da Vagueira (Figura 9.21 a).

No decurso do Inverno marítimo de 2002/2003 foram identificados 9 temporais no período que medeia entre campanhas de observação para a determinação das variações da linha de costa. A intensidade de quatro desses temporais pode ser considerada baixa. Outros dois apresentam uma intensidade média e os últimos três, cujos picos ocorreram a 20 de Fevereiro, 27 de Fevereiro e 10 de Março de 2003, respectivamente, definem um grupo de três temporais, se for considerada a definição de Ferreira (2004) para grupos de temporais. O recuo da linha de costa que ocorreu neste período variou entre os -2.5 m, no segmento praia da Vagueira – praia do Areão, e os -8.5 m no segmento praia da Costa Nova – praia da Vagueira (Figura 9.21 b).

A análise comparada do recuo da linha de costa e dos temporais identificados revela alguns aspectos que importa salientar, tendo em conta os estudos de previsão do impacte de temporais que têm sido realizados, particularmente os que incidem sobre a mesma zona de estudo. De referir o modelo de convolução de Kriebel e Dean, (Kriebel e Dean, 1993), que tem sido aplicado, com sucesso, à costa ocidental portuguesa, no estudo do impacte de temporais (Ferreira, 1998; Ferreira, 2004).

Ferreira (2004) aplicou o modelo de convolução de Kriebel e Dean ao estudo do impacte de temporais isolados extremos, com períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos, e a grupos de dois e de três temporais sucessivos. Nesse estudo foram considerados perfis topográficos de praias incluídas nos segmentos presentemente em análise.

Os resultados obtidos pela aplicação deste modelo sugerem que, de um modo geral, temporais individuais com períodos de retorno inferiores ou iguais a 10 anos originam erosão sedimentar da praia emersa, embora sem atingir o cordão dunar.

Contudo, para o caso concreto das praias situadas a norte da praia de Mira, onde se situam os segmentos litorais considerados nesta análise, a aplicação do modelo sugere a possibilidade de ocorrência de erosão do cordão dunar, para temporais individuais, com períodos de retorno iguais ou inferiores a 10 anos. As praias desse segmento são consideradas como frágeis pelo autor, o que justifica a maior vulnerabilidade à acção de temporais. Se forem considerados temporais individuais com períodos de retorno de 25 anos ou superior, o modelo prevê que, de um modo geral, ocorra um recuo significativo do cordão dunar, cujos valores médios serão de -12.8 m (para um período de retorno de 25 anos) e de -17.1 m (para um período de retorno de 50 anos).

Relativamente ao estudo de previsão do impacte de grupos de temporais, os resultados obtidos sugerem que um grupo de dois temporais (período de retorno de um ano) pode induzir consequências similares, na praia, a um temporal individual com um período de retorno de nove anos. Nestes casos, poderá ocorrer erosão do cordão dunar em locais onde a praia apresente maior fragilidade. Por outro lado, um grupo de três temporais (período de retorno de 4 anos) pode ter consequências similares às causadas por um temporal individual com um período de retorno de vinte e três anos (-10 m).

Confrontando os resultados obtidos pela aplicação do modelo de previsão com os resultados de campo para o período em estudo, verifica-se que os valores mais elevados de recuo da linha de costa determinados não estão associados a eventos de temporal particularmente intensos. A altura significativa máxima estimada foi de 8.4 m para o temporal de 2 de Janeiro de 2001. Na maior parte dos casos, os temporais têm alturas significativas máximas, inferidas ou registadas, inferiores a 8 m. No entanto, os valores de recuo da linha de costa obtidos são consideravelmente superiores aos que seriam admitidos, caso se considerasse a acção de cada temporal individualmente. Por conseguinte, a análise de grupos de temporais parece responder, de forma mais precisa, aos resultados obtidos.

Os valores obtidos de recuo da linha de costa são compatíveis com os resultados previstos pelo modelo de previsão para o impacte de grupos de três temporais, embora haja algumas singularidades inerentes a cada um dos Invernos marítimos.

Uma dessas singularidades diz respeito ao facto de o recuo da linha de costa, para cada ano de observação, ser distinto em cada um dos segmentos considerados. Cite-se, por exemplo, o caso do recuo da linha de costa entre o ano de 2000/2001 variar entre os -14.6 m, no segmento praia da Vagueira – praia do Areão, e os -9.9 m, no Segmento praia do Areão – praia do Poço da Cruz. Possíveis particularidades de cada um dos segmentos litorais condicionam a erosão que ocorre em cada um deles.

Uma das justificações para esta ocorrência poderá estar no facto de a erosão verificada no segmento praia da Vagueira – praia do Areão induzir a entrada de um determinado volume sedimentar em deriva, o qual contudo não impede os segmentos situados a sotamar de serem afectados.

Outra das singularidades diz respeito ao facto de o impacte de grupos de três temporais ser distinto em anos sucessivos. É o caso do que ocorre entre os anos de 2001/2002 e entre os anos de 2002/2003. No primeiro caso, um grupo de três temporais induziu um recuo da linha de costa variável em cada um dos segmentos, mas sempre inferior a -2 m. No segundo caso, um grupo de três temporais induziu um recuo da linha de costa variável em cada um dos segmentos, embora nunca inferior a -2.5 m.

É assim de admitir que litorais particularmente sensíveis às condições de agitação são também afectados de forma significativa por temporais pouco intensos. Entre os anos de 2002/2003 ocorreram mais três temporais de fraca intensidade do que no ano anterior. Estes, embora possam não ter induzido erosão do cordão dunar, contribuíram para a erosão da praia emersa, criando condições para que eventos um pouco mais intensos gerassem erosão significativa.

Um terceiro aspecto que deve merecer alguma atenção é a persistência do temporal. A definição de grupo de temporais não inclui a persistência de cada um dos eventos incluídos nesse grupo. É de admitir, contudo, que eventos de temporal mais persistentes em grupos de temporais induzam um maior impacte sobre a praia do que eventos menos persistentes. O recuo da linha de costa que ocorreu na primeira fase do Inverno marítimo de 2000/2001 foi particularmente intenso, tendo em conta que apenas tinham ocorrido dois temporais de um grupo de três. Um desses temporais terá sido particularmente intenso, se forem tomadas, em consideração, as durações dos temporais inferidas para esse ano.

6.2 Factores associados à evolução da linha de costa – Análise da erosão litoral

No capítulo V – 4 tecem-se algumas considerações sobre a dinâmica litoral entre a foz do rio Douro e o Cabo Mondego, considerando o período compreendido entre o início do século XX e a actualidade. Conforme referido no ponto 4.4 do capítulo V, os problemas de erosão nos segmentos litorais situados entre o porto de Aveiro e a praia do Poço da Cruz começaram a surgir a partir de meados do séc. XX, sendo de salientar uma progressão da tendência erosiva de Norte para Sul.

Naquele ponto (V – 4.4) também se refere e passa-se a citar que “O recuo da linha de costa nos segmentos mais deficitários em sedimentos, por ocasião de temporais ou marés vivas, e a consequente translacção do perfil transversal da praia permitiram a libertação de volumes

significativos de areia que, ao integrarem as correntes de deriva litoral, auxiliaram à manutenção de uma estabilidade relativa nos segmentos litorais localizados a sotamar. Tendo em conta que a resultante anual da deriva é de Norte para Sul, o processo de erosão dos segmentos costeiros foi sofrendo uma progressão para Sul, à medida que os segmentos mais a Norte foram perdendo a capacidade de fornecer sedimentos.”.

Com base nos aspectos que foram descritos, torna-se importante avaliar a importância relativa da erosão litoral associada ao recuo da linha de costa, enquanto fonte sedimentar para alimentação da deriva litoral. Para proceder a essa análise adoptam-se os critérios de Ferreira (1993) para a quantificação da erosão litoral.

Consideram-se três segmentos litorais, nomeadamente o segmento praia da Costa Nova – praia da Vagueira, o segmento praia da Vagueira – praia do Areão e o segmento praia do Areão – praia do Poço da Cruz. Estabelecem-se, como fronteiras a Norte e a Sul, os limites Norte e Sul do primeiro e do último segmento, tal como se indica no ponto 3 deste capítulo. A Oeste considera-se o limite interno da profundidade de fecho e, a Este, o cordão dunar frontal.

6.2.1 Método

Utiliza-se o mesmo método de Ferreira (1993) para a quantificação da erosão litoral. Este autor recorre aos seguintes parâmetros:

- Cota média do topo da duna, atingida pela erosão (C_D);
- Cota média do contacto praia/duna, em cada segmento considerado (C_{PD});
- Cota média do contacto praia emersa/praias submersa, em cada segmento considerado ($C_{PE/PS}$);
- Cota média do fecho do perfil, a ocidente (P_F).

Considera-se que todos os parâmetros são referidos ao NMM e expressos em metros. Para determinar a erosão média registada num determinado período de tempo, aquele autor recorreu à equação:

$$V_S = V_D + V_{PE} + V_{PS} \quad (9.1)$$

em que V_S é o volume total erodido em cada segmento, V_D é o volume erodido do cordão dunar frontal, V_{PE} é o volume erodido da praia emersa e V_{PS} é o volume erodido da praia submersa, todos em m^3/ano .

Os volumes V_D , V_{PE} e V_{PS} calculam-se da seguinte forma:

$$V_D = R (C_D - C_{PD}) * E_L \quad (9.2)$$

$$V_{PE} = R (C_{PD} - C_{PE/PS}) * E_L \quad (9.3)$$

$$V_{PS} = R (C_{PE/PS} - P_F) * E_L \quad (9.4)$$

em que R é a taxa média de recuo da linha de costa (m/ano) e E_L é a extensão longilitoral de cada segmento considerado (m).

6.2.2 Dados utilizados

Para a determinação da cota do topo da duna recorreu-se aos perfis topográficos da praia emersa, realizados por Pereira (2000), nos anos de 1998 e 1999, entre as praias da Costa Nova e do Poço da Cruz. Este autor fez observações regulares em 10 locais distribuídos pelas praias consideradas. Na Tabela 9.1 apresentam-se os valores médios da cota do topo da duna, com base nos resultados obtidos, por esse autor, para cada um dos segmentos considerados.

Tabela 9.1: Cotas médias do topo da duna, expressa em metros acima do nível médio das águas do mar, no ano de 1999, para os segmentos litorais considerados, de acordo com os dados de Pereira (2000).

Segmento praia da Costa Nova – praia da Vagueira	Segmento praia da Vagueira – praia do Areão	Segmento praia do Areão – praia do Poço da Cruz
8	8	14

Após o ano de 1999, apenas em alguns locais dos segmentos considerados foi mantido um programa regular de monitorização do cordão dunar através de perfis topográficos. Diogo (2004) apresenta algumas estações para a realização de perfis topográficos na zona da Vagueira, das quais apenas uma contempla o cordão dunar frontal (limite Sul do segmento praia da Costa Nova – praia da Vagueira). Não foram encontradas diferenças significativas entre as cotas do topo da duna nos valores registados por Diogo (2004), para esse local, entre os anos de 2002 e 2003, e os valores registados, anteriormente, por Pereira (2000).

Entre os anos de 2002 e 2003 foram efectuadas algumas observações numa estação situada a sul da praia do Areão. Na Figura 9.22 apresentam-se os perfis topográficos realizados nessa praia, entre os anos de 2002 e 2003. Verifica-se, pela análise do gráfico, que a cota do topo da duna era, em 2002, de 10 m e, em 2003, de 8 m.

Com base na informação disponível admite-se que a cota do topo do cordão dunar frontal não tenha variado, significativamente, nos segmentos litorais praia da Costa Nova – praia da Vagueira e praia da Vagueira – praia do Areão, entre os anos de 2000 e 2003.

A sul da praia do Areão assume-se que as variações registadas nos perfis realizados no Areão, entre os anos de 2002 e 2003, têm expressão longilitoral e, por conseguinte, ocorrem ao longo de todo o segmento praia do Areão – praia do Poço da Cruz.

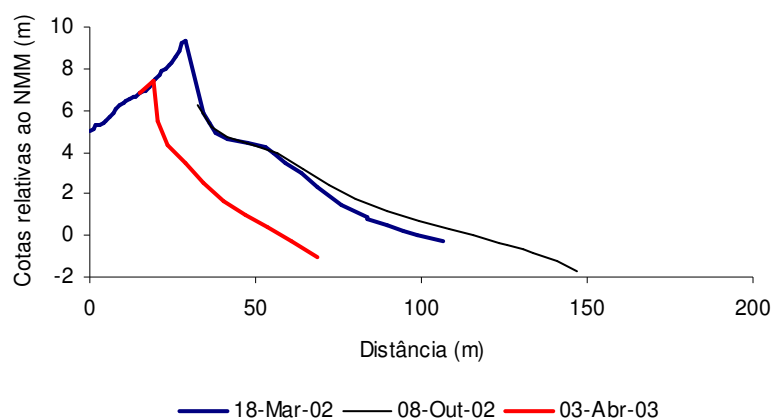


Figura 9.22: Perfis topográficos realizados no Areão. (Dados fornecidos por Sónia Rey)

Relativamente à cota média do contacto da praia emersa/duna, recorreu-se aos perfis realizados ao longo da base do cordão dunar frontal, os quais serviram para a determinação do recuo da linha de costa, entre os anos de 2000 e 2003.

Para a cota média do contacto praia emersa/praias submersa assumiu-se a linha de praia, de baixa-mar de maré viva, a qual corresponde à cota -1.7 m, relativamente ao NMM.

Em relação à determinação da profundidade de fecho consideram-se várias abordagens, na tentativa de averiguar aqueles que serão os valores mais representativos do limite anual de profundidade de fecho, nos segmentos considerados.

Ferreira (1993) estimou, com base em perfis batimétricos realizados entre 1987 e 1990, o limite externo, ou secular, da profundidade de fecho para o sector Aveiro – Cabo Mondego, tendo obtido valores entre os -14 e os -17 m. Em relação ao limite interno, ou anual, foram obtidos, para o mesmo sector, valores entre os -8 e -11.5 m.

Coelho (2005), recorrendo aos dados da bóia de Leixões no período compreendido entre 1981 e 2003, obteve valores de profundidade de fecho entre os -12.8 e os -16.8 m, partindo das expressões de Birkemeier (ver equação 2.3, cap. II – 2.1) e Hallermeier (ver equação 2.1, cap. II –

2.1), respectivamente. Aquele autor considerou, no cálculo destes valores, a altura de onda significativa que é excedida apenas 12 h/ano, a qual corresponde a 8.1 m.

Se forem considerados valores de altura de onda significativa que são excedidos 30 dias/ano, os quais correspondem a 4.5 m, obtêm-se valores de profundidade de fecho entre os -7.1 e os -9.3 m, considerando as expressões de Birkemeier e Hallermeier, respectivamente. Aquele autor testa ainda valores mais baixos de altura significativa da onda, obtendo profundidades de fecho progressivamente menores.

Verifica-se a existência de um acordo entre os valores obtidos por Ferreira (1993) e Coelho (2005) para o limite externo, ou secular, da profundidade de fecho, no sector considerado. Já em relação ao limite interno, ou anual, o eventual acordo entre ambas as abordagens é dependente da altura significativa que se considere, sendo que aquele que proporciona um melhor acordo é o que corresponde às alturas significativas que são excedidas 30 dias/ano.

Entre os anos de 2002 e 2003 foram realizados perfis batimétricos na praia do Areão que se encontram representados na Figura 9.23. Pela comparação dos perfis obtidos em anos consecutivos verifica-se, no mesmo local, que a profundidade a partir da qual não se registam modificações significativas no perfil ocorre entre os -7 e os -8 m. Não são conhecidos pormenores sobre o erro do método de obtenção dos perfis, pelo que se considera o valor -7.5 m como um valor médio do limite anual da profundidade de fecho, de acordo com a análise do gráfico da Figura 9.23.

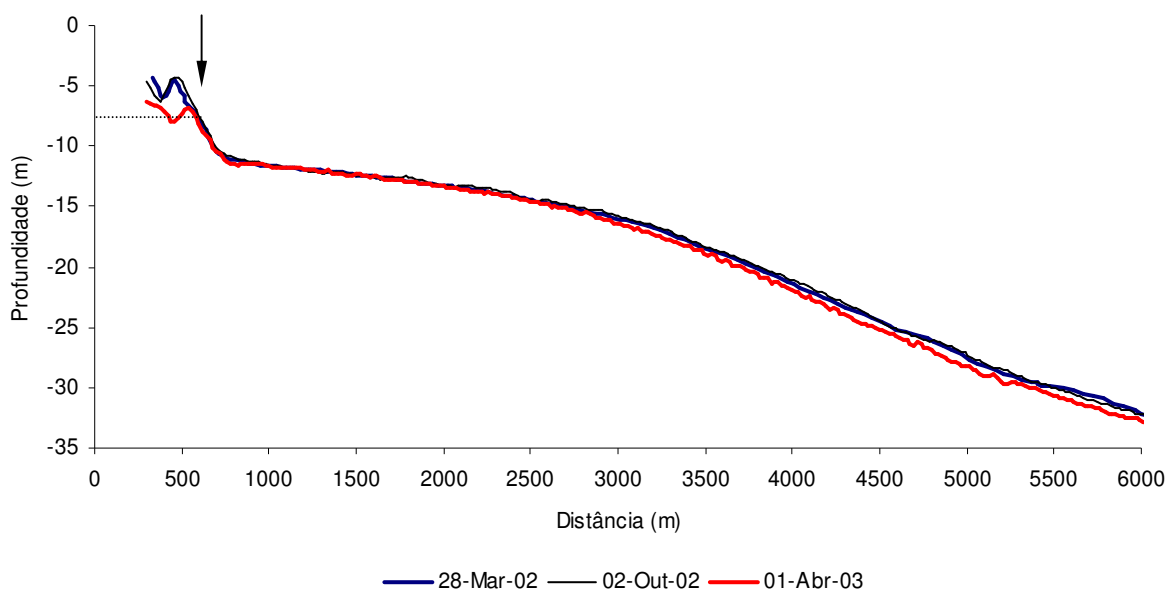


Figura 9.23: Perfis batimétricos realizados no Areão. (Dados fornecidos por Sónia Rey)

Tendo em conta o acordo razoável presente entre os resultados obtidos por Ferreira (1993) para o limite interno da profundidade de fecho, e os resultados que se encontram representados nos perfis batimétricos da Figura 9.23, admite-se que a profundidade de -7.5 m expressa aquele que terá sido o limite interno, ou anual, da profundidade de fecho, no período a que se refere a presente análise. Adopta-se assim este valor, o qual se considera representativo da profundidade de fecho, ao longo dos segmentos litorais considerados na presente análise.

Utilizam-se ainda as taxas de recuo da linha de costa entre os anos de 2000 e 2003 que se encontram expressas no **anexo C** deste capítulo. Por último, é importante referir que não são considerados os volumes sedimentares presentes nos diques, uma vez que estes são depósitos artificiais de sedimentos.

6.2.3 Resultados

Na Tabela 9.2 estão indicados os valores de erosão obtidos para cada segmento litoral considerado, bem como os totais para o conjunto dos três segmentos considerados em cada um dos três Invernos marítimos. São ainda indicados os valores correspondentes à erosão da duna (entre o topo e a base), da praia emersa (desde os -1.7 m NMM até à base da duna) e da praia submersa (dos -1.7 m NMM até ao fecho interno do perfil).

Tabela 9.2: Valores de erosão obtidos para cada segmento litoral considerado, em m³/ano.

	Duna	Praia emersa	Praia submersa	Total
2000/2001				
Costa Nova - Vagueira	55620	300194	336038	691851
Vagueira - Areão	98250	298418	334050	730718
Areão – Poço da Cruz	310080	259692	290700	860472
TOTAIS	463950	858303	960787	2.283041
2001/2002				
Costa Nova - Vagueira	6630	49547	55463	111639
Vagueira - Areão	1530	13668	15300	30498
Areão – Poço da Cruz	30600	34170	38250	103020
TOTAIS	38760	97384	109012	245157
2002/2003				
Costa Nova - Vagueira	33150	247733	277313	558195
Vagueira - Areão	6375	56950	63750	127075
Areão – Poço da Cruz	74800	125290	140250	340340
TOTAIS	114325	429972	481312	1.025610

Os resultados que se apresentam indicam que entre os anos de 2000 e 2003, as praias e o cordão dunar frontal dos segmentos considerados contribuíram com volumes sedimentares variáveis, estimados em cerca $2.2 \times 10^6 \text{ m}^3$ no Inverno marítimo de 2000/2001, $0.2 \times 10^6 \text{ m}^3$ no Inverno marítimo de 2001/2002 e $1.0 \times 10^6 \text{ m}^3$ no Inverno marítimo de 2002/2003.

Considerando, como fronteiras para a quantificação da erosão do litoral, os limites previamente definidos e assumindo que não ocorreu transporte sedimentar para dentro dos limites de fronteira estabelecidos, no período a que respeita a presente análise, e ainda que as praias a Sul do Poço da Cruz não registaram erosão nesse mesmo período, pode considerar-se que os valores de erosão litoral obtidos são representativos da deriva litoral efectiva. Estes resultados evidenciam, deste modo, uma elevada variabilidade inter-anual da deriva litoral.

Com vista a avaliar a influência da agitação marítima na erosão do litoral e, por conseguinte, na deriva litoral, apresenta-se, na Figura 9.24, a relação entre os volumes de sedimentos que foram erodidos à praia e os valores médios da altura significativa da onda, ao largo de Leixões, determinados para o período compreendido entre o início e o fim de cada um dos Invernos marítimos respeitantes aos anos em análise.

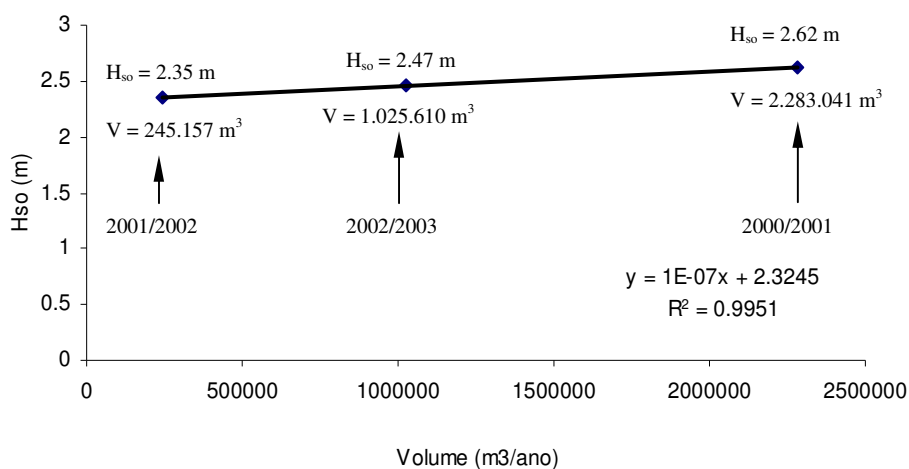


Figura 9.24: Representação da relação entre a erosão do litoral e a média das alturas significativas da onda, para cada um dos Invernos marítimos considerados.

Os resultados obtidos evidenciam uma forte dependência entre o aumento da altura da onda e a erosão do litoral, contribuindo, deste modo, para justificar a elevada variabilidade inter-anual da deriva litoral.

7. Súmula

Os resultados obtidos nos segmentos litorais situados entre as praias da Costa Nova e do Poço da Cruz, para o período compreendido entre os anos de 2000 e 2003, permitem evidenciar diferentes intensidades da resposta do litoral, do ponto de vista do recuo da linha de costa, face ao regime de agitação marítima que presidiu a cada um dos Invernos marítimos considerados. Os resultados obtidos podem ser sintetizados da seguinte forma:

- Os valores médios de recuo da linha de costa obtidos, embora com uma razoável variabilidade inter-anual, situam-se entre os -7.0 m/ano, da praia da Costa Nova à praia da Vagueira, e os -5.0 m/ano, entre as praias da Vagueira e do Areão. A Sul do Areão, mais concretamente entre as praias do Areão e do Poço da Cruz, o valor médio obtido foi de -6.0 m/ano;
- Esses valores são ligeiramente superiores às taxas médias anuais, obtidas por outros autores, quando são considerados períodos de observação anteriores aos do presente trabalho.

A análise de temporais, enquanto factores condicionantes da evolução da linha de costa, permitiu extrair algumas conclusões:

- Todos os temporais com altura significativa da onda superior a 5 m contribuem, de forma significativa, para o recuo da linha de costa;
- A persistência dos temporais é um factor relevante em termos do seu impacto sobre o recuo da linha de costa;
- A ocorrência de temporais sucessivos, embora pouco intensos quando considerados individualmente, exerce um efeito significativo sobre a erosão da praia e o recuo da linha de costa. Esse efeito é evidente em litorais particularmente sensíveis, como é o presente caso;
- Os resultados obtidos, relativos ao recuo da linha de costa e sua relação com os grupos de temporais que ocorreram no decurso do período de estudo, quando confrontados com o modelo de previsão de impacto de grupos de temporais permite verificar, para os mesmos segmentos litorais, a existência de um bom acordo entre ambos.

A quantificação da erosão litoral, a qual constitui um factor associado à evolução da linha de costa, permitiu inferir que:

- Existe uma elevada variabilidade inter-anual da erosão litoral, a qual se considera como representativa de uma igualmente elevada variabilidade inter-anual da deriva

litoral efectiva, na medida em que essa erosão litoral é fonte sedimentar para alimentação das correntes de deriva;

- A elevada variabilidade inter-anual da erosão litoral e, por conseguinte, da deriva litoral, justifica a diversidade de valores médios que têm sido atribuídos, por vários autores, à resultante anual da deriva litoral, no sector foz do rio Douro – Cabo Mondego.
- Essa variabilidade inter-anual é fortemente condicionada pelos valores médios da altura da onda, durante os períodos de Inverno marítimo.

Os resultados obtidos são representativos de um desequilíbrio litoral evidente, motivado por uma acentuada deficiência sedimentar que afecta as praias emersa e imersa.

CAPÍTULO X

MORFODINÂMICA DA PRAIA EMERSA NO LITORAL DA LAGUNA DE AVEIRO: SEGMENTO VAGUEIRA - POÇO DA CRUZ

*As novas opiniões são sempre suspeitas e normalmente antagónicas,
apenas porque ainda não são comuns*

John Locke

X. MORFODINÂMICA DA PRAIA EMERSA NO LITORAL DA LAGUNA DE AVEIRO: SEGMENTO VAGUEIRA - POÇO DA CRUZ

1. Introdução

No contexto das praias que constituem o litoral da laguna de Aveiro, o segmento Vagueira-Poço da Cruz pode considerar-se como sendo, actualmente, um dos mais problemáticos, tendo em conta as elevadas taxas de recuo da linha de costa, os galgamentos ocorridos e mesmo a ligação ocasional do mar à laguna.

Os riscos associados à tendência erosiva condicionaram, para as várias actividades sócio-económicas, a realização de vários tipos de intervenções antrópicas nos últimos anos. A análise do impacte destas intervenções redobrou o interesse pela monitorização deste segmento litoral.

Do ponto de vista da caracterização morfodinâmica, a principal distinção, relativamente às abordagens adoptadas em trabalhos anteriores, por outros autores, diz respeito à análise das variações longilitorais da praia. Foram usados *DEMs* gerados a partir de redes de perfis longitudinais e transversais à linha de costa, os quais permitem uma caracterização morfológica e volumétrica detalhada, segundo a componente longilitoral. Esta distinção metodológica pode considerar-se como um complemento, em termos de análise de resultados, a trabalhos anteriormente realizados.

2. Antecedentes

Desde a década de 90 do séc. XX, diversos trabalhos de monitorização foram desenvolvidos, visando a caracterização morfodinâmica deste segmento litoral.

Do ponto de vista da classificação morfodinâmica e tomando como referência a classificação proposta por Wright e Short (1984), a área de estudo tem sido classificada como possuindo praias de comportamento intermédio (Teixeira, 1994; Ferreira, 1998). São considerados, de acordo com os trabalhos de Ferreira et al., (1994), os tipos intermédios de *barra transversal e correntes de retorno* (= “*Transverse bar and rip state*” – *TBR*) e de *formas rítmicas de barra e praia* (= “*Rhythmic bar and beach stage*” – *RBB*). As praias deste segmento litoral caracterizam-se pela presença de cúspides, bem como de uma face de praia bem desenvolvida.

A velocidade de recuperação destas praias após eventos de agitação mais energéticos tem sido avaliada através da reposição das bermas a partir de trocas transversais com a praia submersa. Ferreira (1998) sugere que, nestas praias, o período de recuperação sedimentar é da ordem das dezenas de m^3/m por semana, representando também, neste caso, um comportamento intermédio entre o das praias reflectivas, que recuperam muito mais rapidamente (dezenas de m^3/m por dia), e o das dissipativas (dezenas de m^3/m por mês).

Ferreira (1998) desenvolve um índice para caracterização da vulnerabilidade morfológica das praias do litoral da laguna de Aveiro, designado por *índice de vulnerabilidade morfológica*, o qual permite caracterizar o comportamento destas praias segundo os critérios de robusta, frágil e extremamente frágil. Os resultados que têm sido obtidos denunciam um comportamento frágil a extremamente frágil (Ferreira, 1998; Pereira, 2000).

3. Zona de estudo

Desde finais da década de 80 do séc. XX que o cordão dunar frontal, situado a Sul dos esporões da Vagueira, tem sofrido, de forma mais intensa, os efeitos erosivos da acção do mar. Essa acção intensifica-se em finais da década de 90, com a ocorrência de galgamentos sistemáticos que manifestam uma tendência de progressão de Norte para Sul. Tais ocorrências têm sido consideradas particularmente preocupantes, tendo em conta a proximidade à Vagueira, à laguna de Aveiro e tendo ainda em conta a cota dos terrenos agrícolas situados por detrás do cordão dunar frontal, muito próxima do nível médio das águas do mar.

Os aspectos aludidos condicionaram a realização de diversas intervenções antrópicas, algumas das quais com carácter de emergência. Na Figura 10.1 apresenta-se a zona de estudo com indicação das intervenções antrópicas efectuadas.

No ano de 1999 foi efectuada uma intervenção no sentido de evitar a ligação do oceano à laguna. Essa intervenção consistiu na edificação de um dique de areia, ao longo de cerca de 2 km a Sul dos esporões da praia da Vagueira, com base em sedimentos dragados no canal de Mira. Esse dique tem sofrido intervenções de reparação e reconstrução, quase todos os anos, com base na remoção de sedimentos à baixa praia do segmento praia da Vagueira – praia do Areão.

Durante os temporais de 2001, o dique foi parcialmente destruído devido aos sucessivos galgamentos que sofreu, tendo-se verificado a abertura de um canal de ligação temporária entre o oceano e a laguna, a Sul da Vagueira. Para a sua reparação foram efectuadas intervenções de emergência, tendo sido usada areia da baixa praia. Nos anos seguintes foram seguidos os mesmos procedimentos para reparação, ou reforço, desta morfologia artificial.

A Sul do dique, mais concretamente entre as praias do Areão e do Poço da Cruz, o cordão dunar frontal, apesar dos vários episódios de ataque pela agitação, manteve, ao longo dos últimos cinco anos, a sua continuidade longilitoral, embora seja eminente o seu galgamento.

Como já foi referido, as obras de defesa costeira tiveram início na década de 70 do séc. XX (ver cap. V-4.4). Mais recentemente, iniciou-se, em Novembro de 2002, a construção do esporão da praia do Areão e, em Abril de 2003, começou a do esporão da praia do Poço da Cruz. As obras na praia do Areão ficaram concluídas em Maio de 2003 e, na praia do Poço da Cruz, em Setembro de 2003.

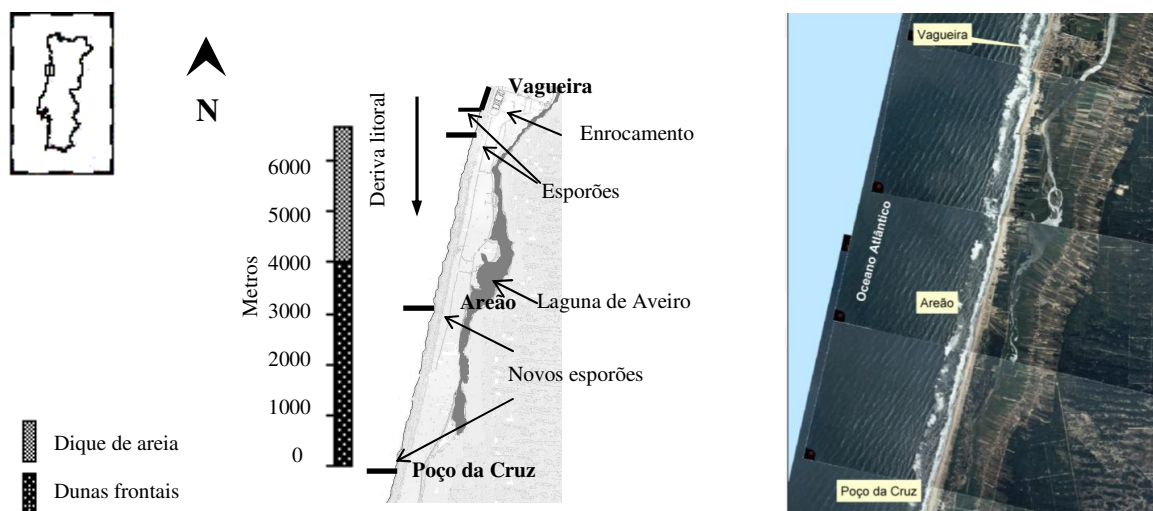


Figura 10.1: Segmento praia da Vagueira - praia do Poço da Cruz, em finais de 2003. Indicam-se as zonas onde existia um cordão dunar frontal e as zonas onde foi edificado um dique de areia. Indica-se também a localização aproximada dos dois novos esporões.

4. Métodos

Na Figura 10.2 é apresentado um resumo da abordagem adoptada. As diversas variáveis responsáveis pelas características assumidas pelas praias (ver cap. II – 4), nomeadamente a amplitude de maré, a altura da onda, o período da onda, a dimensão do grão e o declive da praia, distribuem-se por quatro grupos principais: geomorfologia litoral, hidrodinâmica, sedimentologia e morfologia e volumetria.

A partir das relações entre essas variáveis, e tendo como base a aplicação dos índices morfodinâmicos que têm sido propostos na literatura (ver cap. II – 4), é efectuada a caracterização morfodinâmica do segmento litoral considerado.

O estabelecimento de escalas temporais de reacção morfológica auxilia a aplicação dos descritores morfodinâmicos, na medida em que fornecem indicadores relativos ao tempo necessário que uma determinada praia necessita para alterar as suas características morfológicas, em resposta às mudanças energéticas do meio. Nesta perspectiva, permitem definir o período de tempo que deve ser considerado na selecção dos valores de altura de onda e período de onda a partir dos registos anuais das bóias ondógrafo ou em alternativa, de estimativa visual.

De seguida, apresentam-se os critérios adoptados para a obtenção dos dados relativos às variáveis morfológicas, bem como os que foram adoptados para a definição das escalas temporais de reacção morfológica.

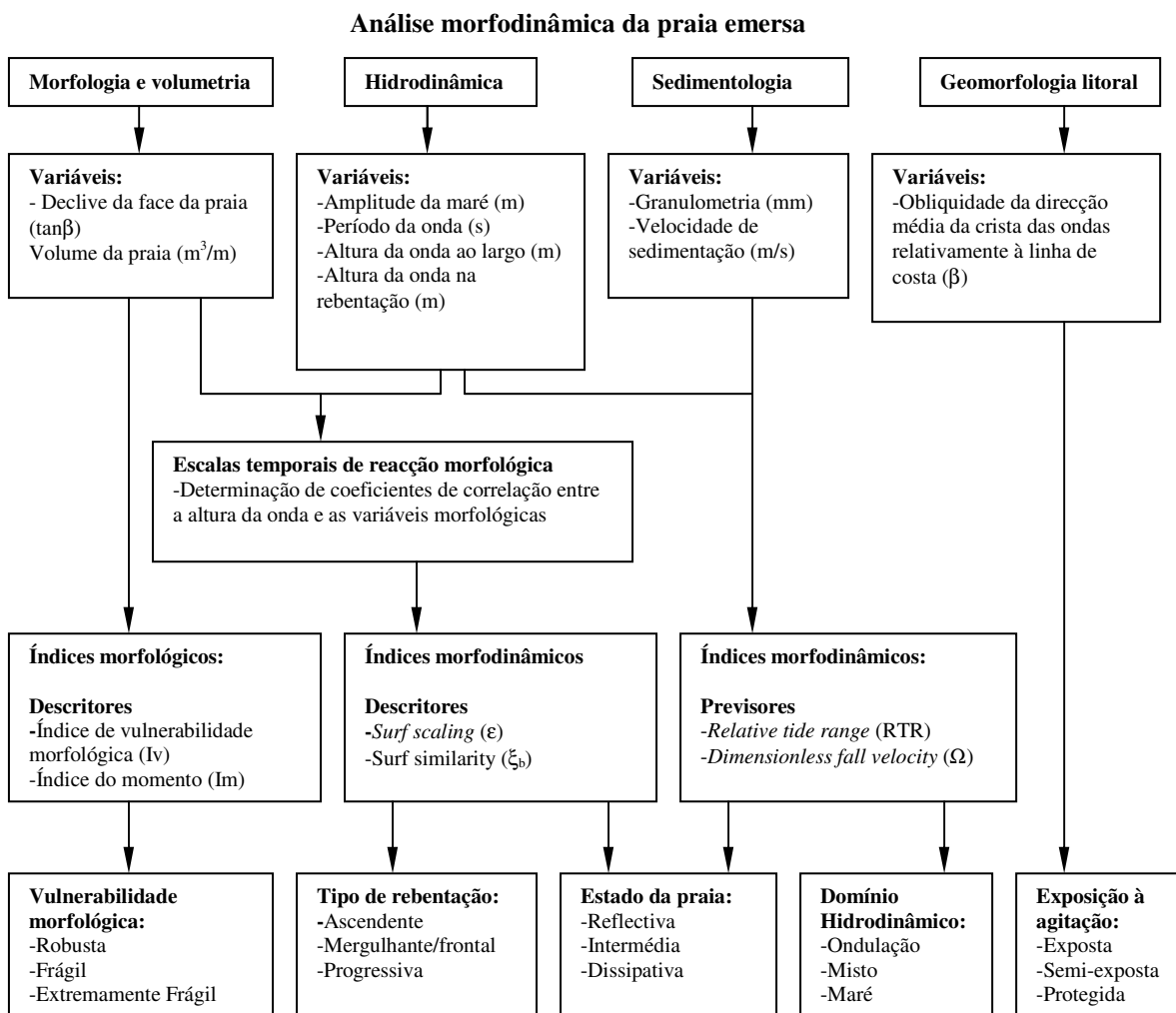


Figura 10.2: Abordagem metodológica utilizada.

4.1 Variáveis morfológicas

O método de campo adoptado consistiu na realização de uma rede de perfis *DGPS*, longitudinais e transversais à linha de praia, com espaçamento médio de 50 a 100 metros, desde a linha de praia até à linha de costa, materializada pelo cordão dunar frontal. Nas zonas situadas entre as praias da Vagueira e do Areão, onde ocorrem, mais frequentemente, galgamentos, estabeleceu-se, como referência para limite da alta praia, o azimute definido entre a base de dunas frontais residuais existentes a Norte e a Sul daqueles galgamentos. Quando as dunas frontais residuais deixaram de estar presentes, passou a ser considerado o limite entre a alta praia e a base do dique, sempre que o acesso à base do mesmo fosse possível.

A partir das redes de perfis foram gerados *DEM* que constituíram a base para a determinação dos volumes sedimentares da praia. Considerou-se, como referência altimétrica para o cálculo de volumes, o nível médio do mar (NMM).

No **anexo X – A** indicam-se as datas e as condições de maré em cada campanha de observação considerada para este estudo. As observações foram realizadas, sempre que possível, em condições de baixa-mar de maré viva.

A partir de cada *DEM* foram obtidas as variáveis morfológicas e volumétricas necessárias ao presente estudo, nomeadamente o declive da face da praia e o volume da praia emersa.

Para proceder à determinação dos declives da face da praia foram extraídos, dos *DEM* relativos a cada campanha de monitorização, perfis perpendiculares à linha de costa. Foram considerados, nesta análise, perfis espaçados de 200 m. No **anexo X - B** apresentam-se os valores de declive da face da praia obtidos em cada campanha de monitorização.

Para o cálculo do volume da praia emersa, a partir dos *DEM* obtidos em cada campanha de observação, foram testadas várias abordagens de acordo com os limites que podem ser definidos nesses *DEMs* (Figura 10.3). Todas as abordagens consideram, como limite inferior, o nível médio do mar, o qual é atingido em todas as campanhas de observação. Relativamente aos limites interno e superior considera-se as possibilidades que se indicam de seguida.

Na situação *a* da Figura 10.3 tem-se em conta, para o cálculo do volume da praia emersa, a translacção do perfil associado ao recuo da linha de costa. Como limite interno é adoptada a base da duna frontal, ou do dique de areia, em cada campanha de observação.

Na situação *b* da Figura 10.3, parte-se do mesmo limite interno, acrescentando um limite superior que corresponde à cota média de espraio da onda (= “*runup*”).

Na situação *c* é desprezada a translacção do perfil de praia associada ao eventual recuo da linha de costa. Como limite inferior é adoptado o NMM e, como limite interno, considera-se um limite comum a todas as épocas de observação, o qual, na zona das dunas frontais, corresponde à base da duna frontal na primeira campanha de observação.

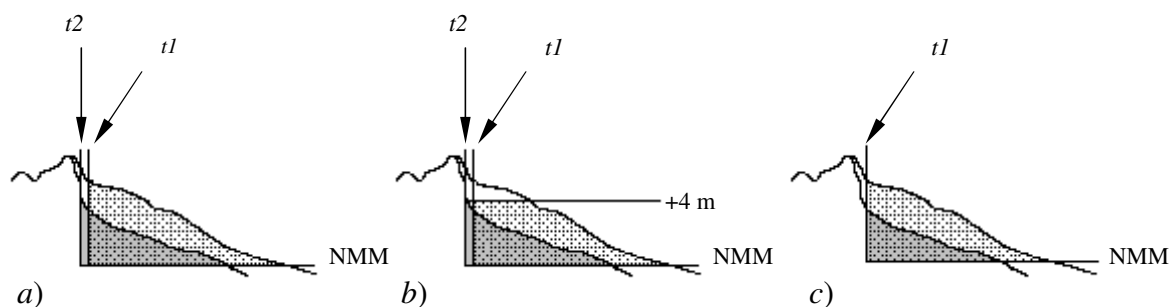


Figura 10.3: Representação esquemática de três abordagens possíveis na definição do limite interno dos *DEM* usados para o cálculo da variação de volume da praia emersa durante o período em que decorreram as campanhas de observação. São consideradas secções dos *DEM*, indicando-se, a ponteadado, a área de cálculo relativamente ao instante t_1 e, a cinzento, a área de cálculo relativamente ao instante t_2 . a) Limite interno definido para cada época, em função da evolução da linha de costa; b) Idêntico a *a*, mas com um limite superior que corresponde ao limite médio de espraio da onda; c) Limite interno comum a todas as épocas de observação.

Com base nos critérios considerados foram calculados os volumes sedimentares médios na praia emersa, para o segmento litoral em estudo (Figura 10.4).

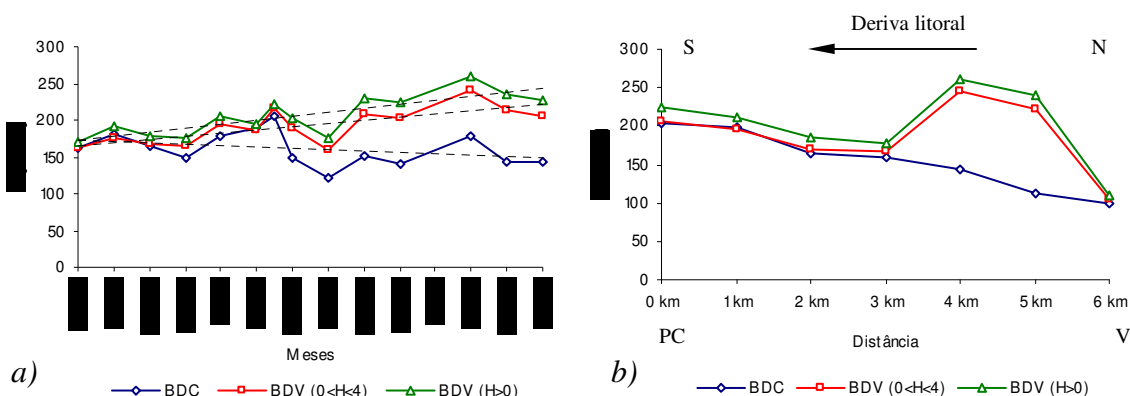


Figura 10.4: Variação de volumes sedimentares da praia emersa, adoptando vários critérios para o estabelecimento do limite interno. a) Variação sazonal do volume sedimentar médio; b) Variação longilitoral do volume sedimentar médio. BDC: Base da Duna Comum (caso *c* da Figura 10.3); BDV ($0 < H < 4$): Base da Duna Variável e limite superior à cota de 4 m (NMM) (caso *b* da Figura 10.3); BDV ($H > 0$): Base da Duna Variável e sem limite superior (caso *a* da Figura 10.3). (N): Norte; (S): Sul; (V): Vagueira; (PC): Poço da Cruz.

A variabilidade sazonal mostra que quando se considera um limite interno comum a todas as campanhas de observação, a variação sedimentar média da praia emersa acusa uma ligeira diminuição ao longo dos dois anos de observação. Por intermédio da aplicação dos dois outros critérios, indicados na Figura 10.3, os volumes sedimentares médios calculados revelam uma tendência de aumento volumétrico da praia emersa (Figura 10.4 *a*).

No que diz respeito ao comportamento longilitoral verifica-se que, quando se considera um limite interno comum a todas as campanhas de observação, ocorre um aumento progressivo do volume sedimentar de Norte para Sul, o qual está associado a um aumento da largura da praia a sotamar dos esporões da Vagueira. Se for adoptada, como limite interno, a base da duna frontal e do dique de areia para cada campanha de observação, verifica-se a ocorrência de um comportamento anómalo na zona onde está presente o dique arenoso. O maior volume sedimentar na zona do dique está relacionado com a sua reconstrução em locais progressivamente mais interiores, em anos consecutivos (Figura 10.4 *b*).

Tendo em conta as presentes constatações, bem como a necessidade de adoptar critérios de cálculo de volume que sejam coerentes no troço de dunas frontais e no troço do dique, considerou-se que a definição de um limite interno comum a todas as campanhas de observação é aquele que melhor responde, para o período em estudo, à necessidade de efectuar uma análise comparada de comportamentos de praia, tanto para a zona do dique como para a zona das dunas naturais. É com base nessa abordagem que serão feitas as caracterizações morfológica e morfodinâmica ao longo do presente capítulo.

A análise longilitoral das variações volumétricas no segmento em estudo foi efectuada com base na subdivisão de cada *DEM* em células, segundo direcções perpendiculares à linha de costa, cada uma das quais com um quilómetro de extensão. Para cada uma dessas células calculou-se o respectivo volume, em metros cúbicos por metro linear. Procedeu-se também ao cálculo das variações altimétricas de volume, entre as cotas 0 m (NMM) e +6 m (NMM), em cada *DEM*. No **anexo X - C** estão representados os volumes dos *DEM* obtidos em cada campanha de observação.

4.2 Escalas temporais de reacção morfológica

Uma escala temporal de reacção morfológica de uma praia traduz o tempo que essa praia necessita para repor os volumes sedimentares perdidos após eventos de temporal, ou para perder sedimentos em condições de temporal.

Um aumento da altura da onda induz, normalmente uma redução do volume sedimentar da face da praia, ou mesmo da média e da alta praia, o qual é transportado para a zona submersa. Quando ocorre a diminuição da altura da onda, o perfil da praia emersa recupera a partir de trocas sedimentares transversais que se efectuam, neste caso, em sentido contrário.

O estabelecimento de escalas temporais de reacção sedimentar, além de contribuir para a caracterização de um segmento litoral, fornece critérios para aplicação dos descritores morfodinâmicos, na medida em que dá indicações relativamente às melhores escalas temporais a atribuir às variáveis.

Os trabalhos que têm sido efectuados sobre a aplicação de índices morfodinâmicos consideram, normalmente, para as variáveis, valores médios representativos das condições hidrodinâmicas e morfológicas. A classificação morfodinâmica que tem sido efectuada para o litoral de Aveiro apoia-se neste critério (Ferreira et al., 1994; Teixeira, 1994). Desta forma, é definido um comportamento médio para a zona, o qual não consegue, contudo, descrever as singularidades inerentes à variabilidade sazonal ou inter-anual.

Uma outra possibilidade consiste no estabelecimento de cenários que permitem tipificar vários casos, desde as condições médias até às extremas. Frequentemente, são analisadas as possíveis condições de agitação na zona de rebentação, em função da morfologia de fundo. Os valores da agitação são obtidos de forma empírica, ou com base em modelos físicos.

Ferreira (1998) estabeleceu vários cenários para a altura da onda na rebentação, considerando várias possibilidades de morfologia da praia submersa, tendo em conta os declives médios da face da praia obtidos num determinado período de estudo. Coelho e Veloso Gomes (2003) estabeleceram vários cenários de clima de agitação ao largo, a partir dos quais tipificaram condições locais, no litoral de Aveiro, mediante a utilização de um modelo físico.

No presente trabalho utiliza-se uma abordagem essencialmente descritiva da variabilidade morfodinâmica sazonal e longilitoral da face da praia, pelo que é importante o estabelecimento de escalas temporais de reacção morfológica às condições hidrodinâmicas.

Os métodos adoptados para o desenvolvimento dessas escalas de reacção consistiram no estabelecimento de correlações entre os volumes máximo, médio e mínimo da praia emersa com a média das alturas significativas da onda para o dia anterior a cada campanha de observação, bem como com a média das alturas significativas nos sete, quinze e trinta dias anteriores a cada campanha. Foram igualmente testadas as médias das alturas significativas de onda para os cinco dias mais energéticos do mês anterior a cada campanha. Consideraram-se ainda períodos significativamente afastados das datas das campanhas de observação. Foram adoptados os mesmos procedimentos relativamente ao declive da face da praia.

Procedeu-se, com base na abordagem indicada, à caracterização das variações sazonais e longilitorais de volumes e de declives da face da praia, estabelecendo-se os coeficientes de correlação em ambos os casos. Valores negativos de correlação indicam que um aumento da altura da onda induz uma redução do volume sedimentar. Valores positivos de correlação indicam que um aumento da altura da onda implica um aumento do volume sedimentar.

5. Caracterização morfológica e volumétrica

5.1 Volumes sedimentares de praia

Na Figura 10.5 apresentam-se os volumes sedimentares absolutos máximos, médios e mínimos calculados em dois troços do segmento em estudo: praia da Vagueira – praia do Areão, onde foi edificado um dique arenoso (Figura 10.5 *a*), e praia do Areão – praia do Poço da Cruz, onde está presente um cordão dunar frontal (Figura 10.5 *b*).

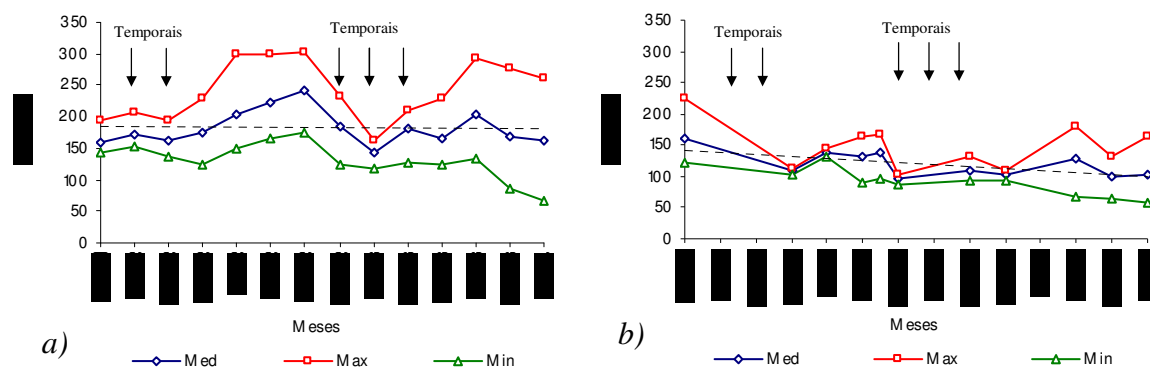


Figura 10.5: Variação sazonal dos volumes sedimentares. *a*) Troço de 4 km entre a praia do Areão – praia do Poço da Cruz; *b*) Troço de 2.75 km entre praia da Vagueira – praia do Areão.

Relativamente ao troço praia do Areão – praia do Poço da Cruz, o volume médio variou entre os 144 m³/m e os 243 m³/m (Figura 10.5 a). A diferença entre máximos e mínimos diminuiu nos meses em que ocorreram temporais. No troço mais a Norte, entre a praia da Vagueira e a praia do Areão, o volume médio variou entre os 97 m³/m e os 159 m³/m (Figura 10.5 b).

Na Figura 10.6 apresenta-se a variação longilitoral de volumes para dois períodos distintos. A Figura 10.6 a considera o período de Novembro de 2001 a Outubro de 2002, anterior à construção dos esporões do Areão e do Poço da Cruz. Durante esse período é evidente um menor volume sedimentar a Sul dos esporões da Vagueira, o qual vai aumentando, progressivamente, para Sul. A diferença entre máximos e mínimos é menor a Sul da praia do Areão, com 68 m³/m, aumentando quer para Sul quer para Norte, chegando a atingir valores de 158 m³/m na zona do Poço da Cruz.

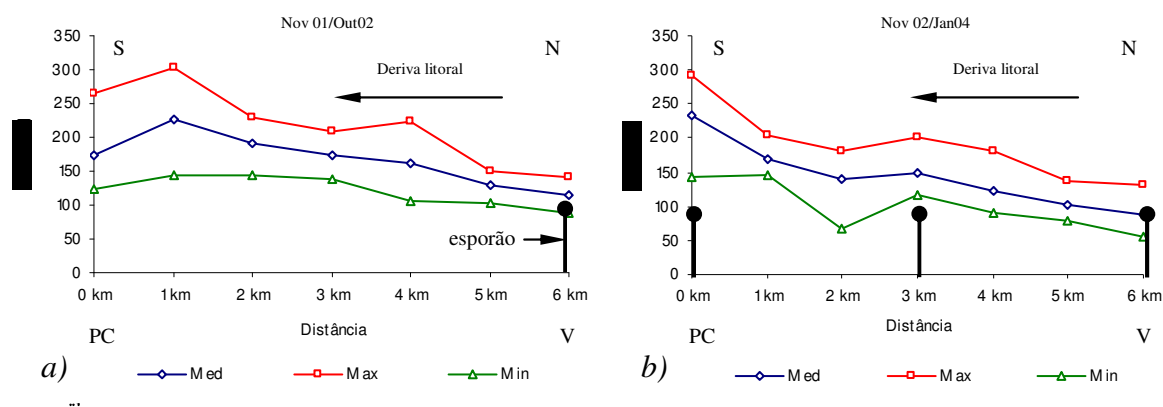


Figura 10.6: Variação longilitoral dos volumes sedimentares. a) Período compreendido entre Novembro de 2001 e Outubro de 2002; b) Período compreendido entre Novembro de 2002 e Janeiro de 2004. Representam-se, esquematicamente, os esporões e o sentido predominante da deriva litoral. (N): Norte; (S): Sul; (V): Vagueira; (PC): Poço da Cruz.

Na Figura 10.6 b representa-se a variação longilitoral de volumes para o período compreendido entre Novembro de 2002 e Janeiro de 2004, no decurso do qual foram construídos os esporões do Areão e do Poço da Cruz. Verifica-se que o comportamento geral é afectado pela construção do esporão do Areão, sendo de registar um aumento da diferença entre máximos e mínimos a Sul do esporão do Areão.

5.2 Declives da face da praia

Na Figura 10.7 apresentam-se os declives médios, máximos e mínimos calculados para a face da praia, durante o período em estudo, relativamente ao troço praia do Areão – praia do Poço da Cruz (Figura 10.7 a) e ao troço praia da Vagueira – praia do Areão (Figura 10.7 b). No primeiro caso, o declive médio da face da praia variou entre 0.047 e 0.120, tendo o valor mais baixo sido registado em Novembro de 2002 e, o mais elevado, em Setembro de 2003 (Figura 10.7 a). No

segundo caso, o declive médio da face da praia variou entre 0.045 e 0.099, em Maio de 2002 e Setembro de 2003, respectivamente.

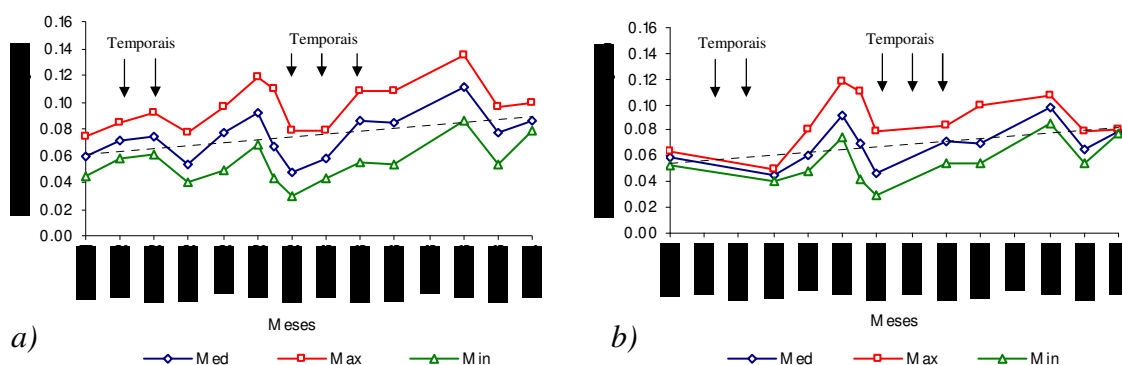


Figura 10.7: Variação sazonal dos declives da face da praia. a) Troço de 4 km, entre o Poço da Cruz e o Areão, onde ainda estão presentes dunas frontais; b) Troço de 2.75 km, entre o Areão e a Vagueira, onde está presente um dique de areia.

Seguindo os mesmos critérios de análise adoptados relativamente ao volume, apresenta-se, na Figura 10.8, a variação longilitoral de declives da face da praia. Relativamente à Figura 10.8 a, que considera o período anterior à construção dos esporões do Areão e do Poço da Cruz, é de referir o menor declive médio da face da praia a Sul dos esporões da Vagueira, o qual vai, progressivamente, aumentando para Sul. De notar que a zona onde se identificaram as menores diferenças entre os volumes sedimentares máximos e mínimos (ver Figura 10.6 a) corresponde à zona onde se verificam as maiores diferenças entre os declives máximos e mínimos para o período considerado.

O segundo período de análise, que inclui o impacte da construção dos esporões do Areão e do Poço da Cruz, está contemplado na Figura 10.8 b.

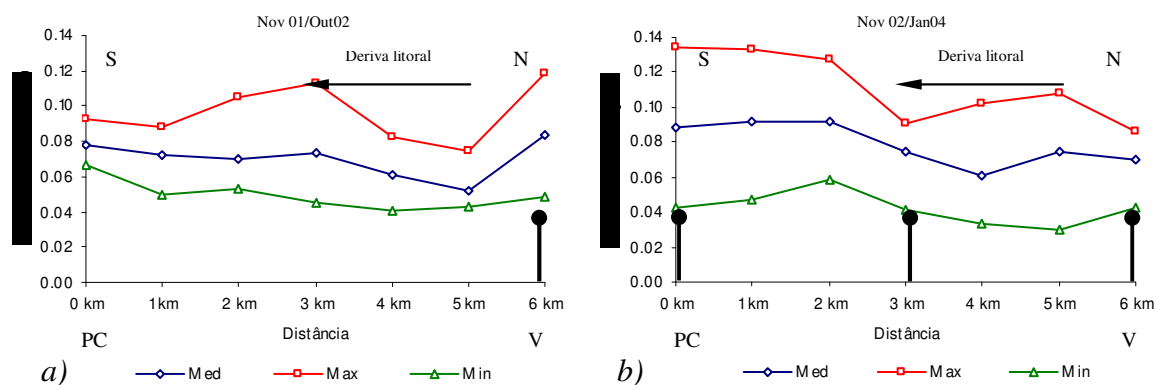


Figura 10.8: Variação longilitoral dos declives da face da praia. a) Período compreendido entre Novembro de 2001 e Outubro de 2002; b) Período compreendido entre Novembro de 2002 e Janeiro de 2004. Representam-se, esquematicamente, os esporões e o sentido predominante da deriva de Norte para Sul. (N): Norte; (S): Sul; (V): Vagueira; (PC): Poço da Cruz.

O local onde foi implantado o esporão do Areão denuncia uma transição entre dois domínios, um a Norte, onde os declives médios variam entre os 0.061 e 0.074, e outro, a Sul, onde os declives médios variam entre 0.075 e 0.094. O troço praia da Vagueira – praia do Areão apresenta, no decurso de 2003, um declive médio da face da praia superior ao verificado no ano anterior.

6. Índices de vulnerabilidade morfológica

Apresenta-se, de seguida, a aplicação dos índices de vulnerabilidade morfológica e do momento ao segmento praia do Poço da Cruz – praia da Vagueira. Consideram-se dois períodos de análise: o primeiro compreendido entre Novembro de 2001 e Novembro de 2002 e, o segundo, entre Novembro de 2002 e Janeiro de 2004.

Na Figura 10.9 estão representados os resultados da aplicação do índice de vulnerabilidade morfológica.

Relativamente ao primeiro período em análise, a praia apresentou um comportamento globalmente frágil, destacando-se duas zonas onde essa fragilidade era mais evidente, nomeadamente na praia do Poço da Cruz e a Norte da praia do Areão (Figura 10.9 a). No segundo período verificou-se uma diminuição da vulnerabilidade, entre as praias do Areão e da Vagueira, tendo-se assumido, nesse troço, um comportamento robusto. A Sul do esporão do Areão ficou registado um comportamento frágil (Figura 10.9 b).

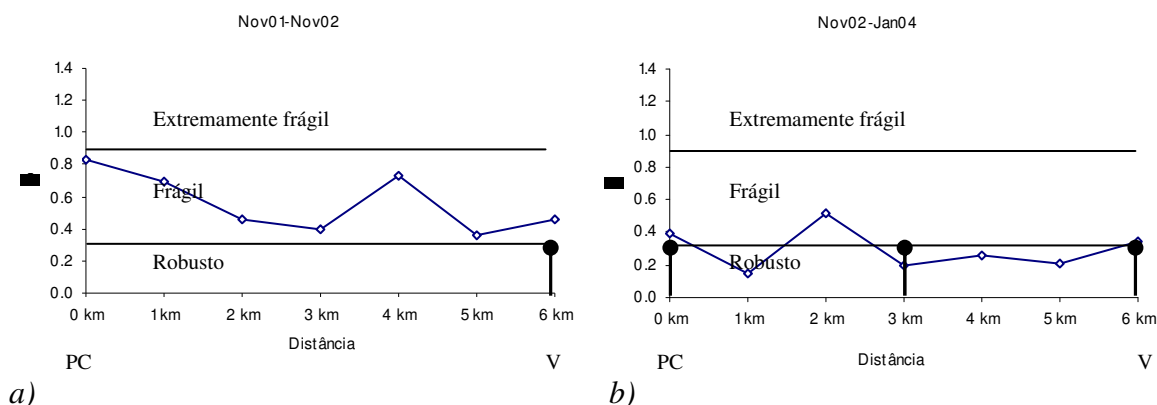


Figura 10.9: Índice de vulnerabilidade morfológica. a) Novembro de 2001 a Novembro de 2002; b) Novembro de 2002 a Janeiro de 2004.

Na figura 10.10 apresenta-se os resultados obtidos para o índice do momento, considerando, tal como no caso anterior, dois períodos de observação. Para o primeiro período, este índice foi calculado relativamente aos meses de Janeiro, Março, Maio, Setembro e Novembro de 2002 (Figura 10.10 a). Para o segundo período, o índice foi calculado relativamente aos meses de Janeiro, Maio, Setembro e Novembro de 2003 e ainda Janeiro de 2004 (Figura 10.10 b).

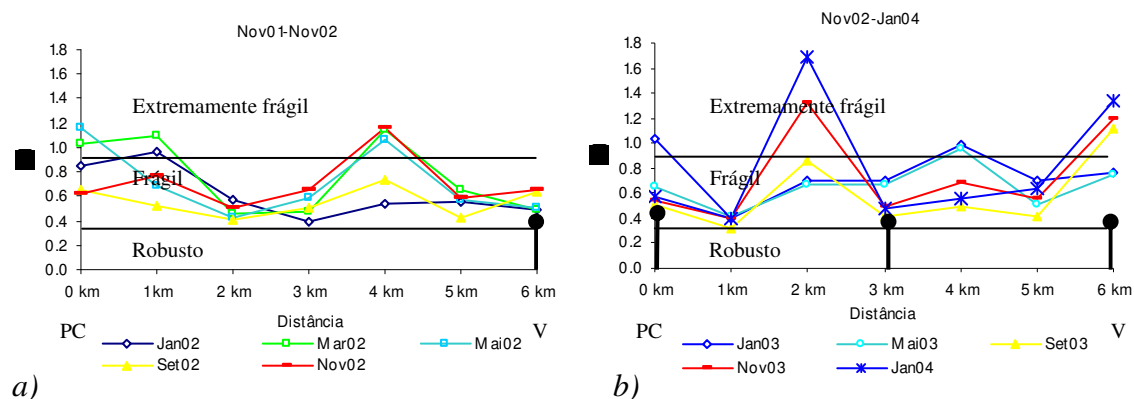


Figura 10.10: Índice do momento. a) Novembro de 2001 a Novembro de 2002; b) Novembro de 2002 a Janeiro de 2004.

Relativamente aos resultados obtidos entre Novembro de 2001 e Novembro de 2002, verifica-se que, nos cinco momentos considerados, o segmento litoral considerado apresentou um comportamento similar dentro do domínio frágil, atingindo, por vezes, o domínio extremamente frágil. A maior fragilidade está presente na praia do Poço da Cruz e entre as praias do Areão e da Vagueira (Figura 10.10 a).

Os resultados obtidos entre Novembro de 2002 e Janeiro de 2004 indicam um comportamento geral frágil nos cinco momentos considerados, o qual se evidencia, a Sul do esporão do Areão, extremamente frágil, em Novembro de 2003 e em Janeiro de 2004.

7. Escalas temporais de reacção morfológica

7.1 Comportamento sazonal

A variação dos volumes sedimentares absolutos máximo, médio e mínimo (m^3/m), durante o período em estudo, apresenta-se na Figura 10.11 a. Ao longo desse período, o volume médio variou entre os $198 m^3/m$ e os $121 m^3/m$. As maiores diferenças entre máximos e mínimos ocorreram em Setembro de 2002 e de 2003, com 210 e $224 m^3/m$, respectivamente. Na Figura 10.11 b apresentam-se os coeficientes de correlação entre os volumes sedimentares absolutos e a média das alturas significativas da onda, para vários períodos anteriores a cada campanha de observação.

Quando se correlacionam os volumes sedimentares médios e máximos com a altura significativa da onda obtêm-se coeficientes de correlação negativos. Os volumes sedimentares mínimos correlacionam-se positivamente com a altura da onda. Os melhores coeficientes de correlação são obtidos para os períodos de trinta dias e para os cinco dias mais energéticos do mês anterior a cada campanha, com valores de -0.90 e -0.87 , respectivamente. Quando se consideram períodos afastados das campanhas de observação não se obtêm correlações.

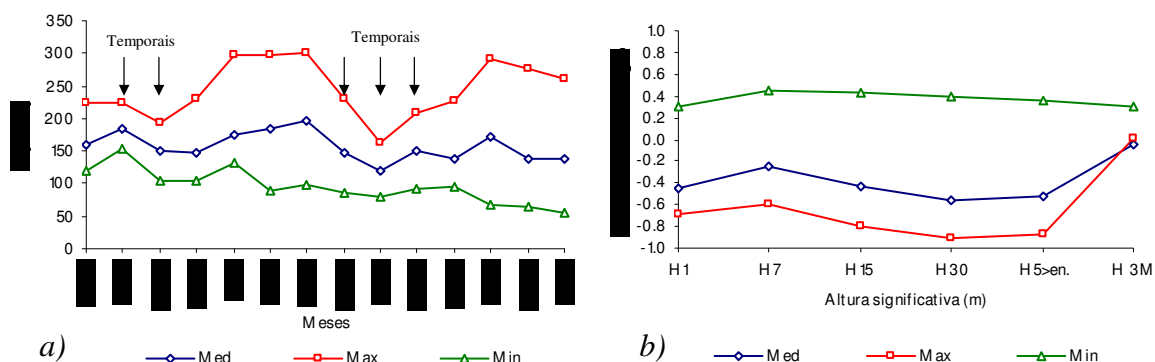


Figura 10.11: a) Variação sazonal dos volumes sedimentares absolutos médio, máximo e mínimo; b) Coeficientes de correlação entre o volume máximo, médio e mínimo e a altura significativa da onda ao largo. Altura significativa média da onda anterior a cada campanha de observação: H 1: um dia; H 7: sete dias; H 15: quinze dias; H 30: trinta dias; H 5>en: cinco dias mais energéticos do mês anterior; H 3M: trinta dias do terceiro mês anterior.

Na Figura 10.12 *a* apresenta-se a média dos volumes sedimentares obtidos durante o período em estudo, considerando vários intervalos altimétricos acima do NMM. Na Figura 10.12 *b* indicam-se os coeficientes de correlação entre os volumes sedimentares, por intervalo altimétrico, acima do NMM, e a média das alturas significativas da onda para vários períodos anteriores a cada campanha de observação.

Os resultados apresentados na Figura 10.12 *b* indicam que os volumes sedimentares presentes entre 0 e 3 metros (NMM) correlacionam-se negativamente com a altura da onda, enquanto que os volumes sedimentares presentes acima dos 3 metros, ou não são correlacionáveis ou correlacionam-se positivamente com a altura da onda. Os melhores coeficientes de correlação são obtidos quando se consideram períodos de trinta dias anteriores a cada campanha (-0.68).

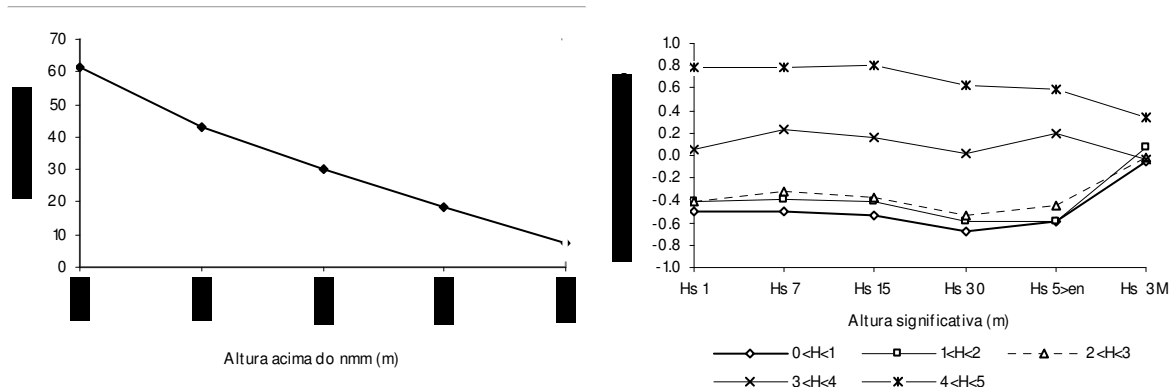


Figura 10.12: a) Variação da média do volume sedimentar no sector em estudo, de acordo com a sua altura acima do NMM; b) Coeficientes de correlação entre os volumes sedimentares obtidos, em cada campanha, por intervalo altimétrico e a altura significativa da onda ao largo. Altura significativa média da onda anterior a cada campanha de observação: Hs 1: um dia; Hs 7: sete dias; Hs 15: quinze dias; Hs 30: trinta dias; Hs 5>en: cinco dias mais energéticos do mês anterior; Hs 3M: trinta dias do terceiro mês anterior.

Na Figura 10.13 *a* e *b* apresenta-se a variação de volumes sedimentares médios da praia emersa, considerando dois troços de observação: um troço, de aproximadamente 4 km, entre as praias do Poço da Cruz e do Areão Norte, ao longo do qual a praia contacta com um cordão dunar frontal (0-4 km). O outro troço, entre as praias do Areão Norte e da Vagueira Sul, com cerca de 2.75 kms, no qual a praia contacta com um dique arenoso (4-7 km) (ver Figura 10.1).

Consideram-se dois períodos de análise. O primeiro, entre Novembro de 2001 e Outubro de 2002, anterior à construção dos esporões do Areão e do Poço da Cruz (Figura 10.13 *a*) e, o segundo, entre Novembro de 2002 a Janeiro de 2004, durante o qual foram construídos esses esporões (Figura 10.13 *b*). Na Figura 10.13 *c* e *d* apresentam-se os respectivos coeficientes de correlação com a média das alturas significativas da onda, considerando vários períodos anteriores a cada campanha de observação.

Relativamente aos volumes sedimentares presentes em ambos os troços, verifica-se que os presentes no troço com dunas frontais são, normalmente, superiores aos volumes sedimentares presentes no troço com o dique. (Figura 10.13 *a* e *b*).

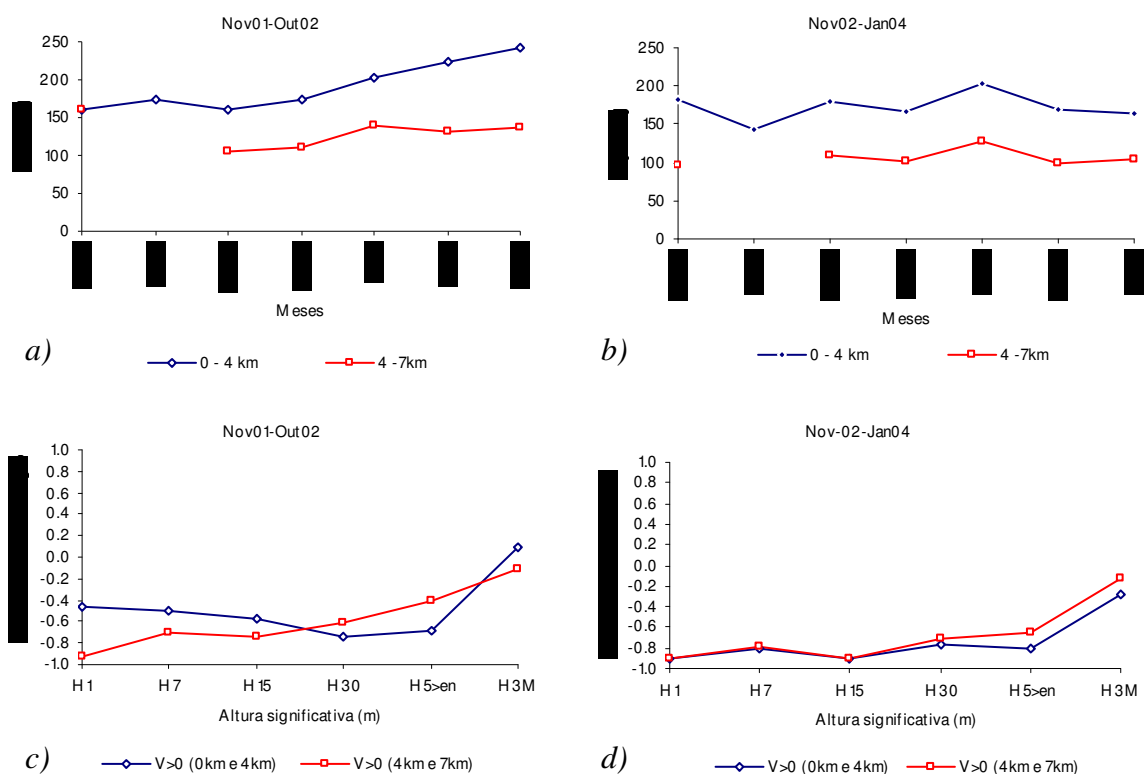


Figura 10.13: *a*) Variação dos volumes sedimentares no troço compreendido entre as praias do Poço da Cruz e do Areão Norte (0 a 4 km) e no troço compreendido entre as praias do Areão Norte e da Vagueira (4 a 7 km), para o período de Novembro de 2001 a Outubro de 2002; *b*) Idêntico a *a* para o período de Novembro de 2002 a Janeiro de 2004; *c*) Coeficientes de correlação entre o volume médio calculado para dois troços em estudo e a altura significativa da onda ao largo, para o período de Novembro de 2001 a Outubro de 2002. Altura significativa média da onda anterior a cada campanha de observação: H 1: um dia; H 7: sete dias; H 15: quinze dias; H 30: trinta dias; H 5>en: cinco dias mais energéticos do mês anterior; H 3M: trinta dias do terceiro mês anterior; *d*) Idêntico a *c* para o período de Novembro de 2002 a Janeiro de 2004.

No que respeita aos coeficientes de correlação obtidos para o primeiro ano em análise, verifica-se que, no troço praia do Poço da Cruz – praia do Areão Norte, os melhores coeficientes foram obtidos para os trinta dias anteriores a cada campanha de observação (-0.73). No troço praia do Areão Norte – praia da Vagueira Sul, os melhores coeficientes foram obtidos para o dia anterior a cada campanha de observação (-0.93) (Figura 10.13 c).

Relativamente ao segundo ano em análise, os coeficientes de correlação são similares em ambos os casos. Verifica-se que o dia anterior, bem como os quinze dias anteriores a cada campanha, proporcionaram os melhores coeficientes, com -0.90 no troço praia do Poço da Cruz – praia do Areão Norte e -0.89 no troço praia do Areão Norte – praia da Vagueira Sul (Figura 10.13 d).

A variação sazonal dos declives médio, máximo e mínimo da face da praia está indicada na Figura 10.14 a e os respectivos coeficientes de correlação estão indicados na Figura 10.14 b.

Os coeficientes de correlação calculados permitiram verificar que não existem diferenças significativas nas várias escalas temporais consideradas para o mês anterior a cada campanha.

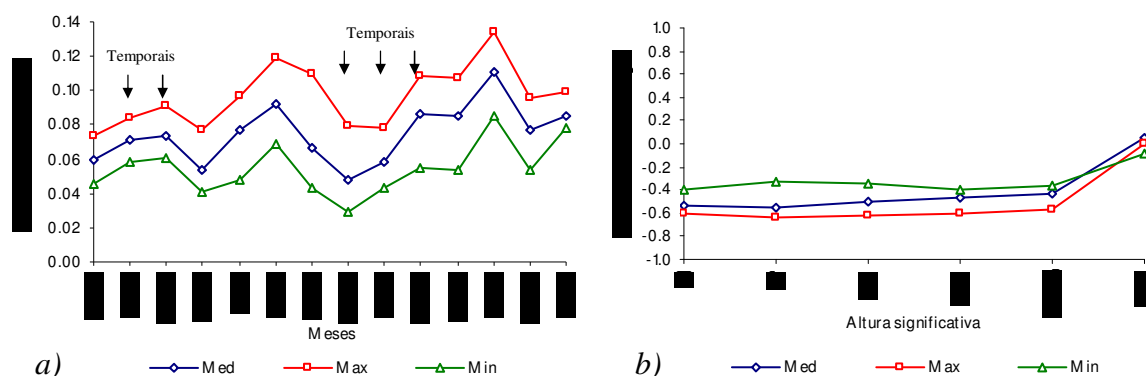


Figura 10.14: a) Variação sazonal do declive médio, máximo e mínimo da face da praia. b) Coeficientes de correlação entre o declive médio, máximo e mínimo e a altura significativa da onda ao largo. Altura significativa média da onda anterior a cada campanha de observação: H 1: um dia; H 7: sete dias; H 15: quinze dias; H 30: trinta dias; H 5>en: cinco dias mais energéticos do mês anterior; H 3M: trinta dias do terceiro mês anterior.

Na Figura 10.15 apresenta-se uma análise semelhante à efectuada na Figura 10.13, considerando, no presente caso, o declive da face da praia.

No primeiro ano em análise, as tangentes ao declive são similares em ambos os troços, com excepção dos meses de Maio e de Julho de 2002, em que o troço praia do Areão Norte – praia da Vagueira Sul apresenta valores de tangente ao declive, ligeiramente inferiores aos registados no troço situado a Sul (Figura 10.15 a).

No decurso do segundo ano em análise, o declive médio da face da praia foi superior ao obtido no ano anterior, destacando-se a presença de valores mais baixos da tangente ao declive no

troço praia do Areão Norte – praia da Vagueira Sul, os quais variaram entre 0.04 e 0.10, relativamente ao troço situado a Sul (0.04 – 0.12) (Figura 10.15 *b*).

Relativamente aos coeficientes de correlação obtiveram-se comportamentos semelhantes em ambos os troços. No primeiro ano de observação, os melhores coeficientes foram obtidos para os cinco dias mais energéticos do mês anterior a cada campanha, com um máximo de -0.62 no troço praia do Poço da Cruz – praia do Areão Norte (Figura 10.15 *c*).

Durante o segundo ano em análise, os coeficientes de correlação apresentaram-se mais elevados para o troço praia do Areão Norte – praia da Vagueira Sul, sendo de referir, contudo, que, em ambos os casos, a escala temporal de reacção parece estar mais associada aos primeiros sete dias anteriores a cada campanha de observação (Figura 10.15 *d*).

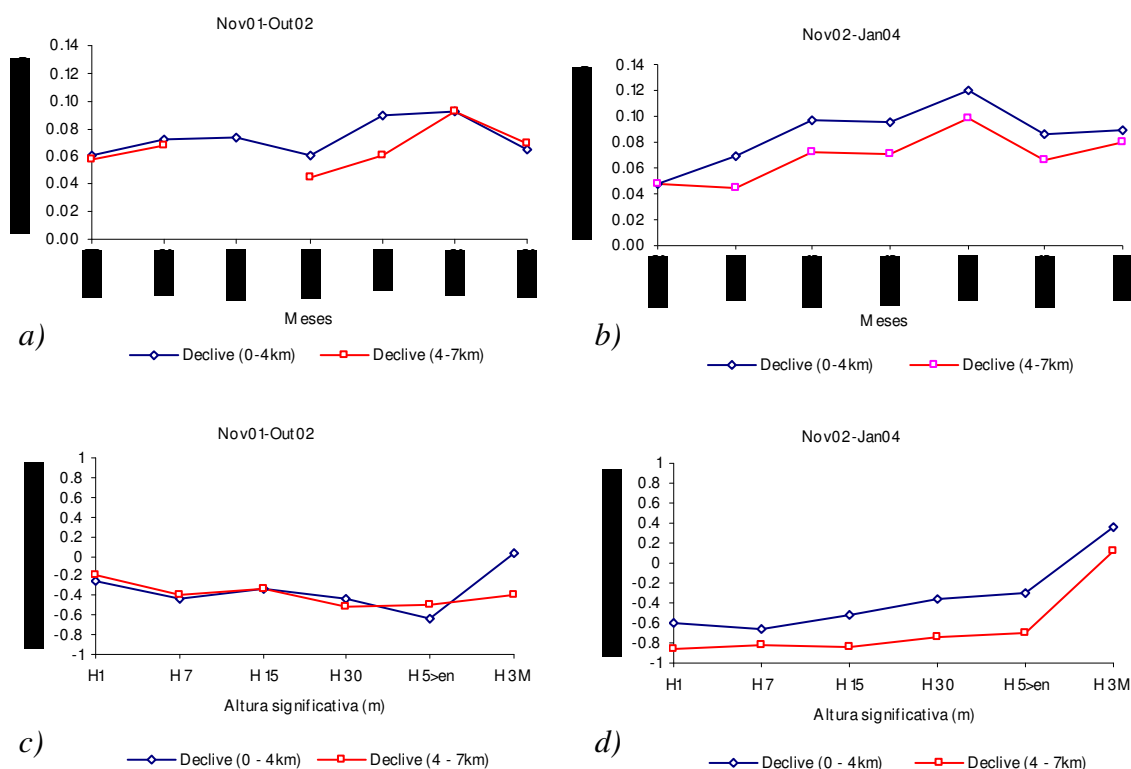


Figura 10.15: *a*) Variação do declive da face da praia no troço compreendido entre as praias do Poço da Cruz e do Areão Norte (0 a 4 km) e no troço compreendido entre as praias do Areão Norte e da Vagueira (4 a 7 km), para o período de Novembro de 2001 a Outubro de 2002. Na zona com o dique arenoso não foram recolhidos dados no mês de Março de 2002. *b*) Idêntico a *a*, para o período de Novembro de 2002 a Janeiro de 2004; *c*) Coeficientes de correlação entre o declive da face da praia e a altura significativa da onda ao largo. Altura significativa média da onda anterior a cada campanha de observação: H 1: um dia; H 7: sete dias; H 15: quinze dias; H 30: trinta dias; H 5>en: cinco dias mais energéticos do mês anterior; H 3M: trinta dias do terceiro mês anterior; *d*) Idêntico a *c*, para o período de Novembro de 2002 a Janeiro de 2004.

7.2 Comportamento longilitoral

Na Figura 10.16 *a* apresenta-se a variação longilitoral de volumes sedimentares para o período de Novembro de 2001 a Outubro de 2002, anterior à construção dos esporões do Areão e do Poço da Cruz. Como referido anteriormente, o volume aumenta progressivamente para Sul, sendo a diferença entre máximos e mínimos menor na zona do Areão ($68 \text{ m}^3/\text{m}$) e maior na zona do Poço da Cruz ($158 \text{ m}^3/\text{m}$).

Os coeficientes de correlação calculados entre o volume sedimentar médio e a média das alturas significativas estão representados na Figura 10.16 *b*. Verifica-se que ocorrem respostas similares para os vários períodos considerados até ao mês anterior a cada campanha. Essa resposta traduz-se numa curva com coeficientes negativos, no primeiro quilómetro a Norte da praia do Poço da Cruz (-0.82), os quais passam, gradualmente, para coeficientes positivos cujo máximo se verifica na praia do Areão (0.31), passando, novamente, a coeficientes negativos a Sul da Vagueira (-0.74).

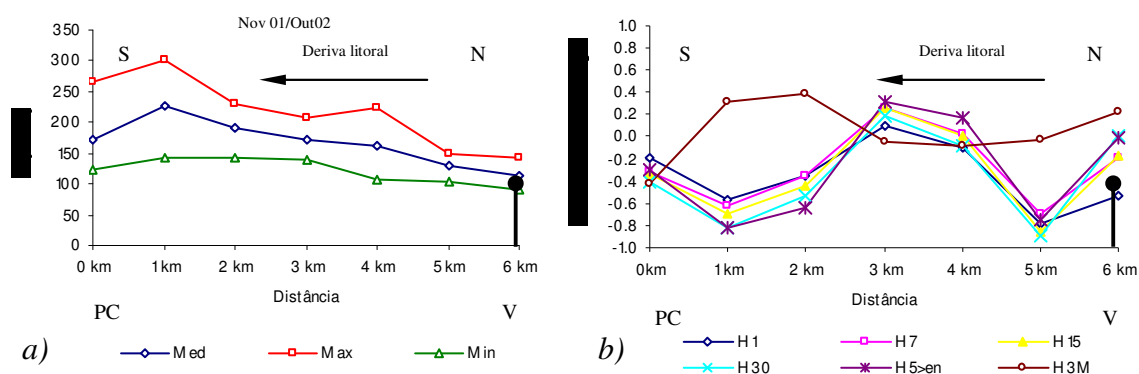


Figura 10.16: *a*) Variação longilitoral do volume médio, máximo e mínimo para o período compreendido entre Novembro de 2001 e Outubro de 2002. *b*) Coeficientes de correlação entre os volumes médio, máximo e mínimo e a altura significativa da onda ao largo. Altura significativa média da onda anterior a cada campanha de observação: H 1: um dia; H 7: sete dias; H 15: quinze dias; H 30: trinta dias; H 5>en: cinco dias mais energéticos do mês anterior; H 3M: trinta dias do terceiro mês anterior.

Na Figura 10.17 *a* observa-se a variação longilitoral de volumes para o período compreendido entre Novembro de 2002 e Janeiro de 2004, no decurso do qual foram construídos os esporões do Areão e do Poço da Cruz.

O comportamento geral é semelhante ao verificado na Figura 10.16 *a*, destacando-se apenas um aumento das diferenças entre máximos e mínimos, a Sul do local onde foi construído o esporão do Areão.

Os coeficientes de correlação determinados entre o volume sedimentar médio e a média das alturas significativas denuncia algumas diferenças relativamente às verificadas na Figura 10.16 *b*, muito embora continue a estar patente um comportamento longilitoral irregular. Os coeficientes passam de valores negativos, a barlar do esporão do Poço da Cruz (-0.92), para valores

positivos, entre as praias do poço da Cruz e do Areão (0.77) e, novamente, negativos a sotamar do esporão do Areão. A sotamar do campo de esporões da Vagueira, os coeficientes são positivos (0.72).

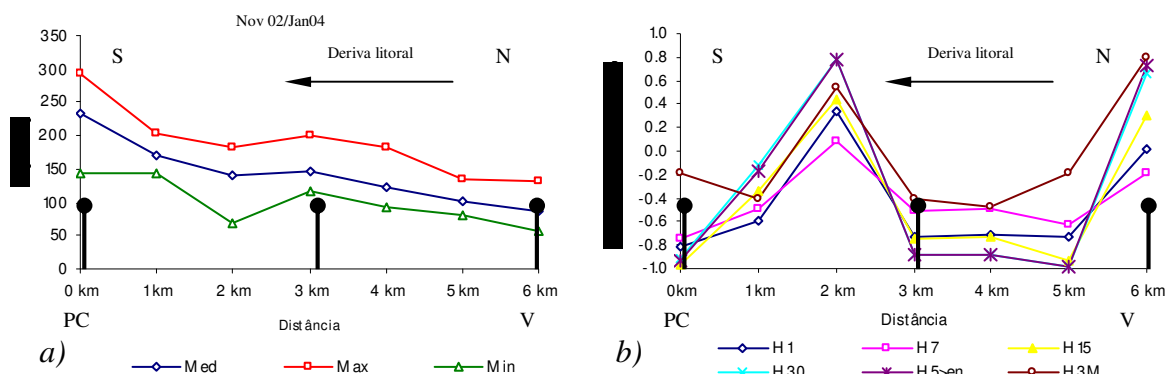


Figura 10.17: a) Variação longilitoral do volume médio, máximo e mínimo para o período compreendido entre Novembro de 2002 e Janeiro de 2004. b) Coeficientes de correlação entre o volume médio, máximo e mínimo e a altura significativa da onda ao largo. Altura significativa média da onda anterior a cada campanha de observação: H 1: um dia; H 7: sete dias; H 15: quinze dias; H 30: trinta dias; H 5>en: cinco dias mais energéticos do mês anterior; H 3M: trinta dias do terceiro mês anterior.

8. Índices morfodinâmicos

8.1 Previsores morfodinâmicos

8.1.1 Domínio hidrodinâmico

Recorre-se ao índice *Relative Tide Range (RTR)* (ver fórmula 2.5, cap. II – 4.2) que relaciona a amplitude média da maré com a altura da onda, de acordo com Masselink e Short (1993).

Para o cálculo deste índice usaram-se os valores médios anuais, em Leixões, da amplitude média de marés vivas que constam nas tabelas de marés do IH (Tabela 10.1). Relativamente à altura da onda usaram-se os valores médios anuais da altura média da onda na rebentação, recorrendo, para isso, ao programa informático *Wbreak*, o qual transforma os parâmetros da onda das condições ao largo para a rebentação, considerando o empolamento e a refração. Este programa tem sido aplicado a diversos casos de estudo na costa Oeste e Sul portuguesa (Matias, 2000; Gama, 2005).

Tabela 10.1: Valores obtidos para o índice *RTR*.

Data	TR (m)	H _b	RTR
2001	2.98	2.82	1.05
2002	2.94	2.67	1.10
2003	2.93	1.92	1.52

Os resultados obtidos permitem definir uma costa do tipo meso-mareal com domínio da ondulação. Tendo em conta que a variabilidade inter-anual da amplitude média da maré é praticamente nula, os valores obtidos para este índice são determinados, essencialmente, pelas condições de agitação, sendo que o aumento da altura da onda induz valores mais baixos do índice (Tabela 10.1).

8.1.2 Estado morfodinâmico da praia

Recorre-se ao modelo morfodinâmico que relaciona o *Relative Tide Range* (ver fórmula 2.5, cap. II – 4.2) com o *Índice de Dean* (Ω) (fórmula 2.6, cap. II – 4.3), o qual tem sido usado para caracterizar praias meso e macro-mareais, de acordo com Masselink e Short (1993).

Para o cálculo do *Índice de Dean* foram usadas amostras de sedimentos colhidos na face da praia de uma única praia do segmento compreendido entre as praias da Vagueira e do Poço da Cruz. Considerou-se a praia do Areão e recolheram-se amostras de sedimentos, entre os anos de 2001 e 2002, num local que se situa 200 metros a Sul do novo esporão do Areão.

Foram também usados dados de Coelho (2005) relativos ao diâmetro médio de sedimentos, recolhidos por este autor, na mesma praia (a Sul do novo esporão do Areão). Este índice foi estabelecido para os períodos de Verão e de Inverno marítimos, de cada um dos anos considerados, desde 2001 até 2004.

Relativamente às variáveis hidrodinâmicas, consideraram-se valores médios da altura da onda e do período da onda relativos a cada um dos Verões e dos Invernos marítimos que decorreram entre esses anos. O cálculo da velocidade de sedimentação, um dos parâmetros deste índice, foi efectuada com base na formula de Gibbs *et al.*, (1971) (ver fórmula 2.7, cap. II – 4.3).

O *Relative Tide Range* foi calculado com base em valores médios da altura da onda na rebentação e da amplitude média de marés vivas em Leixões, para os períodos de Verão e de Inverno marítimos, desde o ano de 2001 até 2004.

Os resultados obtidos, que são apresentados na Figura 10.18, remetem a praia analisada para o grupo das praias dominadas pela ondulação ($RTR < 3$), apresentando, do ponto de vista morfodinâmico, variações sazonais dentro do estado intermédio antes da construção do esporão do Areão. Embora a literatura não estabeleça, com base no *índice de Dean*, intervalos precisos entre os sub-tipos morfodinâmicos incluídos nas praias intermédias, admite-se, com base em observações visuais, que a praia alterna o seu comportamento entre o tipo barra transversal e correntes de retorno (*Transverse bar and rip state* – *TBR*) e o tipo formas rítmicas de barra e praia (*Rhythmic bar and beach stage* – *RBB*).

A partir do início do Inverno marítimo de 2002, a praia considerada passou a estar situada a barlamar de um esporão. A alternância entre os estados morfodinâmicos reflectivo, no Verão

marítimo de 2003, e o dissipativo nos Invernos marítimos de 2002/2003 e 2003/2004, parecem traduzir esse condicionamento.

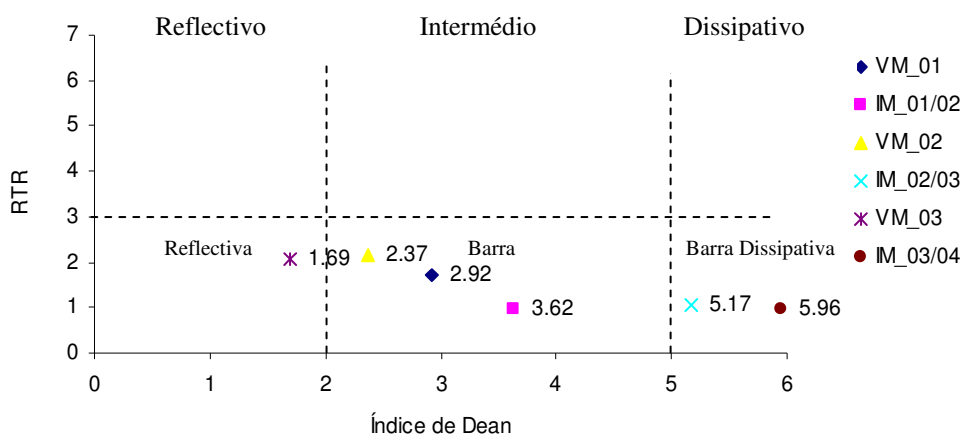


Figura 10.18: Resultados relativos à aplicação dos índices Relative Tide Range *versus* índice de Dean para a praia do Areão (a Sul do novo esporão do Areão), para cada um dos Invernos marítimos desde 2001 até 2004. VM: Verão marítimo; IM: Inverno marítimo.

8.2 Descritores morfodinâmicos

Conforme referido no ponto 4.2, deste capítulo, podem ser definidas várias escalas temporais que relacionam a variação do volume médio da praia emersa e do declive da face da praia com a altura da onda. No ponto 7.1 estabeleceram-se os coeficientes de correlação entre o volume sedimentar médio e a altura da onda ao largo ao longo dos dois anos de estudo, verificando-se que, de um modo geral, os melhores resultados ocorrem para os 30 dias anteriores e os 5 dias mais energéticos do mês anterior a cada campanha (ver Figura 10.11).

Relativamente ao declive médio da face da praia não foram encontradas diferenças significativas entre os vários períodos considerados para o mês anterior a cada campanha.

Apresenta-se, de seguida, a caracterização morfodinâmica do segmento litoral em estudo, com base nos descritores referidos na literatura (ver cap. II – 4.3). Na atribuição de valores às variáveis hidrodinâmicas recorreu-se a valores médios representativos dos tempos de reacção da praia a essas variáveis, ou seja, os 30 dias anteriores e os 5 dias mais energéticos do mês anterior a cada campanha, conforme se indica na Figura 10.11.

A Figura 10.19 apresenta o comportamento morfodinâmico da face da praia com base na aplicação do índice *Surf Scaling*, durante o período em estudo e ao longo da região estudada, considerando a média das condições de agitação marítima ao largo de Leixões, para os 30 dias anteriores a cada campanha de observação.

Relativamente à variabilidade sazonal (Figura 10.19 a), os valores médios obtidos variam entre 25.1 e 2.5, em Novembro de 2002 e Setembro de 2003, respectivamente. A zona em estudo apresenta, em termos médios e para a média das condições de agitação no período considerado, um comportamento morfodinâmico intermédio, o qual se aproxima ao dissipativo e ao reflectivo em casos pontuais. Os valores máximos e mínimos obtidos para este índice são de 41.2 e 1.57, em Novembro de 2002 e Setembro de 2003, respectivamente.

No que se refere ao comportamento longilitoral, os valores médios indicam um comportamento intermédio, com uma tendência para aumento do carácter dissipativo de Sul para Norte, excepto no limite Norte, onde ocorre uma inversão desse comportamento. O carácter dissipativo é realçado em toda a extensão onde foram construídos diques arenosos, sendo atingidos, nesses locais, os valores mais elevados (Figura 10.19 b).

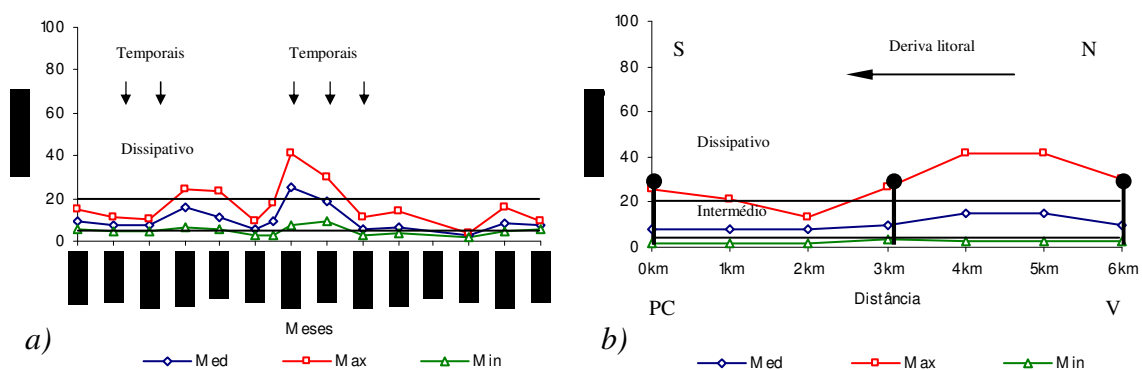


Figura 10.19: Resultados obtidos relativos ao *Surf Scaling Parameter*, considerando as condições de agitação ao largo de Leixões para os 30 dias anteriores a cada campanha. a) Variação sazonal. b) Variação longilitoral. N: Norte; S: Sul; PC: Poço da Cruz; V: Vagueira.

Na Figura 10.20 apresenta-se o mesmo índice, considerando, para a sua aplicação, os cinco dias mais energéticos do mês anterior a cada campanha de observação.

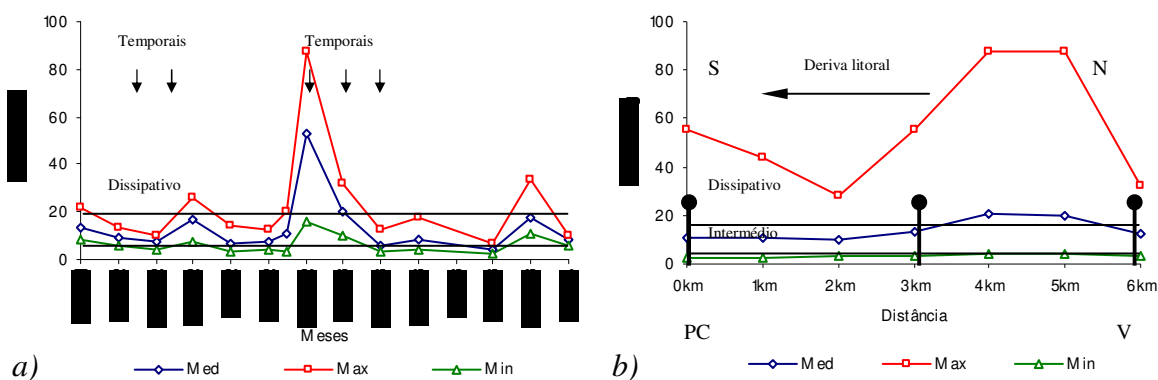


Figura 10.20: Representação dos resultados obtidos relativos ao *Surf Scaling Parameter*, considerando as condições de agitação ao largo de Leixões para os 5 dias mais energéticos do mês anterior a cada campanha. a) Variação sazonal. b) Variação longilitoral. N: Norte; S: Sul; PC: Poço da Cruz; V: Vagueira.

Os resultados obtidos para a variabilidade sazonal indicam valores médios, a variar entre 53.3 e 4.1, nos mesmos meses considerados anteriormente (Figura 10.20 a). Apesar da aproximação ao comportamento dissipativo para condições mais energéticas verifica-se que, durante o período em estudo, foi mantido, quase sempre, o comportamento intermédio. O comportamento morfodinâmico médio realça, em termos longilitorais, a aproximação ao domínio dissipativo, já identificado na Figura 10.19 b, a Sul dos esporões da Vagueira (Figura 10.20 b).

A Figura 10.21 apresenta o tipo de rebentação na face da praia, com base na aplicação do parâmetro *Surf Similarity*, considerando a média das condições de agitação marítima, ao largo de Leixões, para os 30 dias anteriores a cada campanha de observação.

Em termos sazonais verifica-se a presença de uma rebentação do tipo mergulhante durante praticamente todo o ano, com um ligeira tendência para o progressivo, nos meses de Inverno marítimo, mais concretamente, em Novembro de 2002 e Janeiro de 2003 (Figura 10.21 a).

Também em termos longilitorais se verifica a presença de rebentação mergulhante ao longo de todo o segmento litoral considerado, embora manifestando uma maior proximidade à rebentação do tipo progressivo entre as praias do Areão e da Vagueira. (Figura 10.21 b).

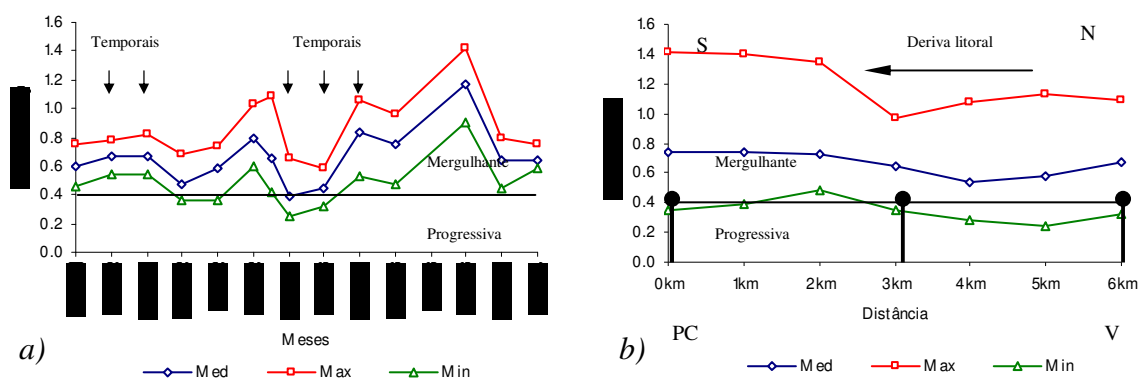


Figura 10.21: Resultados relativos ao *Surf Similarity Parameter*, considerando as condições de agitação, ao largo de Leixões, para os 30 dias anteriores a cada campanha. a) Variação sazonal. b) Variação longilitoral. N: Norte; S: Sul; PC: Poço da Cruz; V: Vagueira.

Na Figura 10.22 apresenta-se o tipo de rebentação, considerando os cinco dias mais energéticos do mês anterior a cada campanha de observação. Os resultados obtidos indicam que em termos médios, a rebentação é do tipo mergulhante, ao longo de todo o ano, excepto em alguns meses do Inverno marítimo em que assume um carácter progressivo (Figura 10.22 a).

Em termos longilitorais são evidenciadas as zonas onde a rebentação, embora mergulhante, se aproxima mais do carácter progressivo, as quais se localizam entre os esporões do Areão e da Vagueira (Figura 10.22 b).

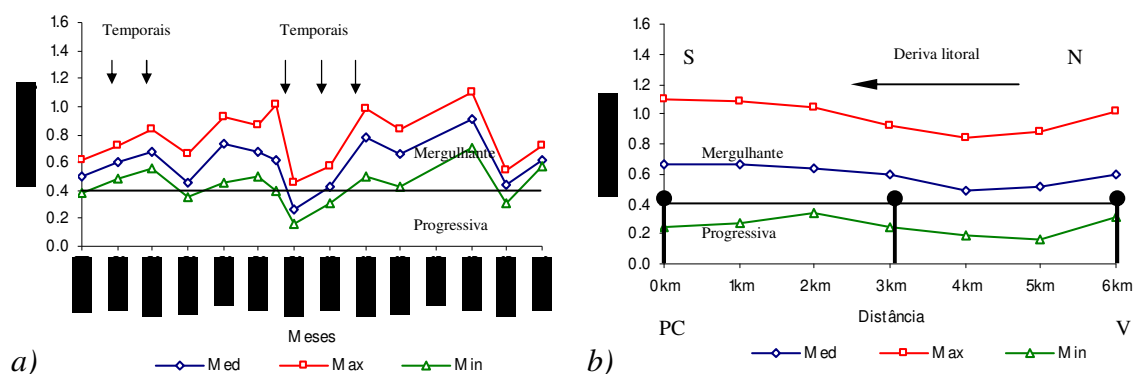


Figura 10.22: Resultados relativos ao *Surf Similarity Parameter*, considerando as condições de agitação, ao largo de Leixões, para os 5 dias mais energéticos do mês anterior a cada campanha. a) Variação sazonal. b) Variação longilitoral. N: Norte; S: Sul; PC: Poço da Cruz; V: Vagueira.

9. Caracterização da exposição à agitação

Muito embora a definição apresentada por Silvester e Hsu (1997), in Klein e Menezes (2001), considere apenas o ângulo entre a direcção dominante da crista da onda e a direcção da linha de costa, a qual, no caso da costa ocidental portuguesa, ocorre segundo o rumo NW (303.75°-326.25°), são também analisados os ângulos relativos às direcções médias da crista da onda, relativamente à linha de costa, para cada um dos meses considerados. Os ângulos entre essas direcções e a direcção média da linha de costa apresenta-se na Figura 10.23. O segmento costeiro em estudo apresenta uma direcção média de 14°, relativamente ao Norte Geográfico.

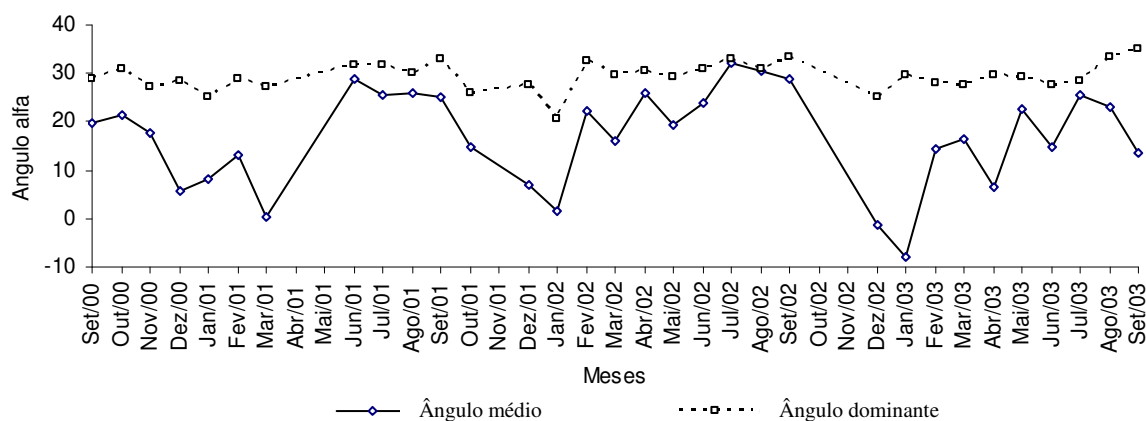


Figura 10.23: Obliquidade da direcção média da crista das ondas, relativamente à linha de costa (Elaborado com base nos dados disponíveis das bóias ondógrafo de Sines e Leixões).

Considerando a direcção dominante da crista das ondas relativamente à linha de costa foi obtido um valor angular médio para, α , de 28°, o que permite considerar este segmento costeiro como exposto.

Se forem consideradas as direcções médias mensais da crista da onda relativamente à linha de costa, verifica-se que ocorre uma variabilidade sazonal, com os meses de Inverno marítimo a apresentarem valores angulares de α muito baixos, particularmente nos meses de Dezembro e Janeiro dos anos considerados, o que denuncia a maior exposição do litoral nesses meses.

10. Discussão

10.1 Variabilidade morfológica e volumétrica

No que diz respeito às variações volumétricas registadas no decurso do período de observação, destacam-se as grandes diferenças entre as praias situadas entre a Vagueira e o Areão e as praias mais a Sul, entre o Areão e o Poço da Cruz. O volume sedimentar médio é, no primeiro caso, muito inferior àquele que foi determinado para as praias mais a Sul. Para essas diferenças contribuiu o facto das praias entre a Vagueira e o Areão terem uma localização a sotamar dos esporões da Vagueira, o que lhes confere uma menor largura, e o facto de terem sido efectuadas operações de remoção sedimentar da face da praia para reparar, ou reconstruir, um dique arenoso, que se prolonga ao longo da maior parte da extensão longitudinal deste troço.

Um outro aspecto que se destaca, e que está directamente relacionado com a menor largura das praias localizadas entre a Vagueira e o Areão, é a menor diferença, nessas praias, entre os volumes máximos e mínimos ao longo do ano relativamente àqueles que se verificam mais a Sul entre as praias do Areão e do Poço da Cruz.

A construção dos esporões do Areão e do Poço da Cruz alterou a variabilidade volumétrica das praias situadas a Sul do Areão, no decurso do ano de 2003, relativamente à que se tinha registado no ano anterior. Verifica-se que as diferenças entre o volume máximo e mínimo aumentou, consideravelmente, a sotamar desta nova obra de defesa costeira.

Os valores obtidos para o declive da face da praia também permite destacar dois comportamentos distintos entre as praias situadas no troço entre a Vagueira e o Areão e as praias situadas a Sul do Areão. No primeiro caso, foram encontrados valores relativamente baixos de declive da face da praia, em especial durante o Inverno marítimo de 2001/2002. No segundo esses valores foram encontrados valores mais elevados. As diferenças entre ambos os casos estão relacionadas com a maior deficiência sedimentar que se verifica entre as praias da Vagueira e do Areão.

10.2 Índices de vulnerabilidade morfológica

O índice de vulnerabilidade morfológica foi desenvolvido, por Ferreira, (1998) com o objectivo de avaliar a vulnerabilidade morfológica da praia, sazonal a inter-anual, a qual pode ser definida como a maior ou menor capacidade de suportar condições de agitação marítima adversas. Assim, uma praia que apresenta elevada vulnerabilidade, ao não suportar a adversidade das condições de agitação, vai sofrer consequências ao nível de erosão de bermas e do cordão dunar frontal.

Tendo em conta que o índice de vulnerabilidade morfológica foi desenvolvido com base no cálculo das diferenças entre os volumes máximo e mínimo relativamente a um volume médio, num determinado período de observação, os resultados obtidos são condicionados, essencialmente, pela amplitude das diferenças entre os volumes máximo e mínimo.

A aplicação do índice de vulnerabilidade morfológica ao segmento litoral em estudo foi efectuada de forma ligeiramente distinta daquela que foi estabelecida pelo seu autor. No presente caso, não foram usados perfis topográficos, nem foi considerado, como limite interno, o designado ponto de “não - mobilidade relativa”, ou seja, o ponto para o interior do qual não se observou qualquer movimento de areia por acção marinha.

A construção do esporão do Areão provocou uma diminuição da diferença entre os volumes sedimentares máximos e mínimos da praia emersa a Norte dessa estrutura, e um aumento dessas diferenças, a Sul. Por conseguinte, os resultados da aplicação deste índice indicam uma diminuição da fragilidade das praias a barlar do esporão do Areão, no decurso do ano de 2003, relativamente à que se tinha verificado no ano de 2002, e um aumento da fragilidade das praias a sotamar. Esse aumento da fragilidade a Sul do esporão do Areão traduziu-se na erosão do cordão dunar, a qual foi particularmente evidente nos locais onde esse índice apresenta os valores mais elevados (Ver figura 9.15, do cap. IX).

A aplicação do índice do momento revelou-se eficaz para identificar os locais mais vulneráveis à erosão do cordão dunar frontal e os meses em que essa erosão terá sido mais intensa.

Um aspecto que deverá merecer no futuro uma maior atenção é a relação entre os comportamentos robusto, frágil e extremamente frágil e as taxas de recuo da linha de costa. De acordo com Ferreira (1998), uma praia frágil apresenta-se no limiar da erosão do cordão dunar e uma praia extremamente frágil apresenta recuos efectivos da linha de costa, da ordem dos -2 m/ano. Os resultados obtidos no presente trabalho sugerem que, em ambos os casos, ocorre recuo significativo da linha de costa.

10.3 Escalas temporais de reacção sedimentar

O estabelecimento de coeficientes de correlação entre dados morfológicos e hidrodinâmicos fornece alguns indicadores úteis à caracterização da zona de estudo. De um modo geral, e tomando como referência os resultados obtidos, pode considerar-se que a reacção da praia relativamente às condições energéticas é dependente da proximidade a obras de defesa costeira.

De um modo geral as praias situadas a sotamar de obras de defesa costeira reagem mais rapidamente às condições energéticas, do que as praias afastadas de obras de defesa costeira. No primeiro caso, a reacção ocorre para períodos de tempo entre um e sete dias e, no segundo caso, entre quinze e trinta dias.

A rápida reacção da praia em troços situados a sotamar de obras de defesa costeira, ou em zonas em que foram efectuadas intervenções de remobilização sedimentar para reparação ou reconstrução de diques, pode estar relacionada com o tipo de trocas sedimentares transversais que ocorrem nesses locais.

A erosão de diques arenosos, ou de um cordão dunar frontal, em resposta a um evento de temporal mobiliza volumes sedimentares apreciáveis para a praia emersa que, posteriormente, poderão ser incorporados na baixa praia, alimentando as formas rítmicas aí existentes, como sejam o caso dos sistemas lomba-canal rítmicos, muito comuns nessas zonas. Esses sedimentos podem, posteriormente, contribuir para a recuperação de bermas da baixa praia, em períodos de agitação marítima favorável.

Em contrapartida, em zonas afastadas de obras de defesa costeira, o tempo de reacção sedimentar é mais alargado, o que sugere uma preponderância das trocas transversais entre a praia submersa e a baixa praia.

Um outro aspecto que merece referência e que complementa a análise anterior, diz respeito às zonas do perfil de praia que melhor se correlacionam com a agitação marítima. Verificou-se que o aumento da altura da onda induz uma redução do volume sedimentar, entre as cotas 0-3 metros (acima do NMM). Estes resultados traduzem a importância das trocas transversais que ocorrem entre a berma e a praia submersa, em resposta às condições energéticas da agitação marítima. Acima dos 3 metros, ou não se verificam correlações ou essas correlações são positivas. Neste último caso, podem traduzir o efeito da erosão da duna frontal, ou de diques arenosos, no aumento relativo do volume da praia, em resposta ao aumento da altura da onda.

Relativamente ao declive da face da praia verifica-se que este é condicionado, de igual forma, pelas condições de agitação que ocorrem ao longo do mês anterior a cada campanha de observação.

No que diz respeito à relação entre a altura da onda e a variação longilitoral dos volumes sedimentares da praia emersa verifica-se que, a barlamar de obras de defesa costeira, são obtidas

correlações negativas e, a sotamar, correlações positivas. Também neste caso parece evidenciar-se a importância das trocas sedimentares duna/praias, em resposta ao aumento da altura da onda.

A comparação entre a variação longilitoral dos coeficientes de correlação e a variação longilitoral dos índices de vulnerabilidade morfológica da praia evidencia que os locais morfológicamente mais vulneráveis e, por conseguinte, com menor capacidade para suportar condições de agitação adversas, são aqueles que apresentam correlações positivas, ou seja, em que um aumento da altura da onda induz um aumento do volume sedimentar da praia, o qual pode estar associado à erosão do cordão dunar frontal.

10.4 Índices morfodinâmicos

No que respeita à aplicação dos previsores morfodinâmicos, recorreu-se ao modelo morfodinâmico que inclui o efeito das marés na praia. Aplicaram-se os índices RTR e Ω a uma única praia do segmento em estudo, a praia do Areão. Os resultados indicam a presença de uma praia com características intermédias, quando se consideram dados de campo anteriores à construção do esporão do Areão. Após essa construção, a alternância entre os estados reflectivo e o dissipativo, consoante se trate de Verão ou Inverno marítimo, traduz o impacto que a mesma representou nessa praia.

Do ponto de vista da aplicação do descritor morfodinâmico *Surf Scaling*, verifica-se que a praia emersa responde às condições de agitação médias vigentes nos 30 dias anteriores a cada campanha de observação, assumindo um comportamento intermédio. Contudo, se forem consideradas as condições de agitação mais energéticas, representativas dos 5 dias mais energéticos de cada mês, o comportamento dissipativo é intensificado, particularmente em meses em que ocorrem temporais. Esse comportamento ocorre de forma mais evidente a sotamar dos esporões da Vagueira, ou seja, no troço mais frágil do segmento considerado.

Embora os resultados não contemplem a praia submersa, é de sugerir que o carácter dissipativo presente na praia emersa, a sotamar dos esporões da Vagueira, se relacione com a menor protecção que a praia submersa proporciona relativamente à agitação incidente, devido à muito provável ausência de barras submersas.

No que respeita à rebentação sobre a face da praia, esta é, em termos médios, do tipo mergulhante, mesmo quando se consideram as condições de agitação dos 5 dias mais energéticos do mês anterior a cada campanha.

11. Símula

Os resultados apresentados ao longo deste capítulo complementam a análise efectuada, anteriormente, relativa à evolução da linha de costa, considerando o caso específico do segmento litoral situado entre as praias da Vagueira e do Poço da Cruz.

Esses resultados evidenciam algumas singularidades na componente longilitoral, nomeadamente no que concerne aos volumes sedimentares presentes, aos coeficientes de correlação entre esses volumes e a altura da onda, aos índices de vulnerabilidade e aos índices morfodinâmicos.

O segmento litoral de praia emersa presente caracteriza-se pelos seguintes aspectos:

- A Sul de obras de defesa costeira, as praias apresentam, de um modo geral, uma largura menor e um volume sedimentar significativamente inferior daquelas que se situam fora da dependência directa dessas obras. A Sul dos esporões da Vagueira, essa dependência faz-se sentir ao longo de 2 km e, para Sul do novo esporão do Areão, a mesma sente-se ao longo de pelo menos 1 km;
- No que respeita à vulnerabilidade constituem praias frágeis, acusando, a Sul de obras de defesa costeira, uma maior fragilidade;
- Os resultados obtidos relativamente à aplicação do índice de vulnerabilidade devem ser interpretados com algumas reservas, tendo em atenção o facto de este índice ter sido aplicado de modo diferente do estabelecido pelo seu autor;
- Em termos de reacção sedimentar às condições energéticas, esta é, em geral, da ordem dos 30 dias. A sotamar de obras de defesa costeira, a reacção é bastante mais rápida, a qual é interpretada como sendo resultado da erosão do cordão dunar frontal;
- De um modo geral, do ponto de vista morfodinâmico trata-se de praias do tipo intermédio, cuja rebentação da face da praia é do tipo mergulhante. A sotamar de obras de defesa costeira está presente uma maior aproximação ao carácter dissipativo, em resposta a condições mais energéticas, ou ao reflectivo, quando as condições são menos energéticas.

CAPÍTULO XI

CONSIDERAÇÕES FINAIS

“The Earth is a self – regulating organism”

James Lovelock

XI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

1. Introdução

Esta dissertação é apresentada sob o prisma do desenvolvimento de novas metodologias de monitorização das morfologias presentes em litorais arenosos, com especial ênfase para as de praias. Estes novos desenvolvimentos visam cobrir uma lacuna, a nível nacional, relativamente à vulgarização da utilização de novas técnicas de posicionamento, as quais colocam à disposição dos especialistas do litoral novas possibilidades para o estabelecimento de programas de monitorização.

Como objectivo complementar considera-se a aplicação dessas novas metodologias a alguns casos que foram considerados para estudo, tendo também em atenção, nesse campo das aplicações, quais os métodos que deverão ser estabelecidos, no campo, para tirar um melhor partido das possibilidades oferecidas pelas metodologias desenvolvidas.

Tendo em conta o contexto interdisciplinar do trabalho desenvolvido, bem como a diversidade de temas abordados procura-se apresentar, embora de uma forma nem sempre exhaustiva, as definições para diversos conceitos que vão sendo apresentados ao longo desta dissertação, os quais são específicos de determinadas áreas do conhecimento. Pretende-se, desta forma, dirigir a leitura da tese para um público-alvo diversificado, quer no âmbito das geociências, quer no âmbito da gestão litoral.

Procede-se à divisão da tese em duas partes. A primeira parte é dedicada ao desenvolvimento de metodologias de monitorização das morfologias presentes em litorais arenosos. A opção de recorrer a técnicas de posicionamento, no âmbito da geodesia espacial, não é feita sem antes proceder a uma síntese dos tipos de morfologias que podem ser encontradas em litorais arenosos, e apresentar o estado da arte sobre as diversas técnicas e metodologias que podem ser utilizadas para a monitorização dessas morfologias.

A segunda parte da tese versa sobre as aplicações das metodologias desenvolvidas a diversos casos de estudo, no sector compreendido entre a foz do rio Douro e o Cabo Mondego.

Ao longo da tese, e para cada um dos capítulos, é apresentada uma síntese dos principais resultados obtidos. Tendo em atenção a diversidade de temas abordados e os vários casos de estudo que foram considerados torna-se difícil elaborar, num capítulo último, uma síntese de todas as conclusões alcançadas.

Atendendo à importância que a presente abordagem representa em termos científicos, mas também no que concerne à gestão do litoral, apresentam-se, de seguida, as principais conclusões

obtidas, bem como a relevância que as mesmas podem ter, em alguns casos, para práticas de gestão litoral mais eficientes. São também referidos alguns desenvolvimentos que poderão ser realizados, no futuro, para colmatar diversas lacunas actuais, inerentes não só à presente abordagem como também ao conhecimento científico existente.

2. Síntese das principais conclusões

Morfologias presentes em litorais arenosos

Considera-se de fundamental importância, no âmbito da análise que foi realizada às questões de terminologia, o estabelecimento de uma hierarquia, do ponto de vista geomorfológico, das morfologias presentes em litorais e respectivas escalas temporais de estudo, de forma a poder situar um trabalho de investigação no contexto espacial e temporal adequado, e poder identificar as compatibilidades e incompatibilidades, entre as várias escalas, em estudos de morfodinâmica.

Considera-se também de fundamental importância fazer uma clara distinção entre os conceitos de linha de praia e linha de costa. O primeiro conceito, enquanto indicador da dinâmica de interacção entre o oceano e a praia, traduz uma elevada variabilidade para qualquer escala temporal que se considere, dificultando a análise das tendências evolutivas do litoral. O segundo conceito constitui, quando representa o contacto entre a praia e um cordão dunar frontal, um indicador indirecto da dinâmica do meio, sendo susceptível de ser quantificado por uma determinada metodologia de monitorização, na medida em que materializa a tendência evolutiva de um determinado segmento litoral, em resposta a eventos erosivos (temporais), ou de acreção (formação de uma duna embrionária).

Monitorização das morfologias presentes em litorais arenosos

Existe uma diversidade de técnicas, desde as de posicionamento geodésico até às de fotogrametria e detecção remota, que podem ser aplicadas na monitorização das morfologias presentes em litorais arenosos. As potencialidades oferecidas por cada uma delas são diversas, sendo que algumas estão limitadas à obtenção de informação relativamente a elementos representáveis planimetricamente, permitindo, outras, obter informação planimétrica e altimétrica.

No que respeita às técnicas que permitem obter informação planimétrica e altimétrica, o sistema *Airborne Laser Scanning* quando integrado com componentes de posicionamento geodésico, permite a geração de modelos de elevação do terreno. A precisão dos modelos obtidos, quando considerado um contexto litoral, mais concretamente de praia, é normalmente de ordem decimétrica (0.15 e 0.25 m - *RMS*).

As potencialidades destes sistemas no que concerne à rápida monitorização de sectores litorais extensos, torna-os aliciantes para o estabelecimento de programas de monitorização em litorais arenosos. Contudo, o seu custo elevado dificulta a sua implementação.

No que respeita ao contexto nacional, o enquadramento económico assume um papel de destaque, pelo que o desenvolvimento de sistemas produtivos e eficientes, a baixo custo, acolhe uma melhor aceitação no campo da aplicação, a curto ou médio prazo.

O desenvolvimento de metodologias baseadas na utilização de sistemas *GPS* parece ser o que mais se ajusta a este contexto. Esta tecnologia oferece elevada precisão no posicionamento geodésico, tornando-se assim compatível com a necessidade de rigor para o estabelecimento de estudos regulares de morfodinâmica.

Desenvolvimento de duas metodologias de monitorização de litorais arenosos

Com base na utilização de uma técnica de geodesia espacial, o Sistema de Posicionamento Global, foram desenvolvidas e validadas duas metodologias de monitorização vocacionadas para o estudo da dinâmica morfológica em litorais arenosos.

Uma dessas metodologias consiste num sistema multi-antena *DGPS* adaptado a um veículo moto-quatro, especialmente desenvolvido para a monitorização de segmentos relativamente extensos, de ordem quilométrica, de praia emersa. A outra consiste num sistema *DGPS* antena simples, adaptado a um operador que o transporta à mão, e que se destina a monitorizações em áreas de reduzida dimensão, da ordem das centenas de metros, e/ou de difícil acesso.

O estabelecimento de redes de perfis na praia, com base nestas metodologias, e a sua posterior interpolação permite gerar modelos de elevação do terreno. No que respeita à precisão média dos modelos gerados com base na metodologia desenvolvida considera-se, com base nos testes realizados, que esta é superior a 0.10 m (*RMS*) na componente altimétrica, sendo, por conseguinte, ligeiramente superior à que tem sido referida para alguns sistemas *ALS*, quando aplicados à monitorização de praias arenosas.

O custo, relativamente baixo, da metodologia desenvolvida, em especial no que concerne aos custos de operacionalidade, e a precisão final dos modelos gerados, torna a sua aplicação aliciante para a realização de campanhas regulares de observação, sendo por conseguinte, de especial interesse para o conhecimento das tendências evolutivas de segmentos litorais particularmente sensíveis, podendo contribuir, nessa perspectiva, para uma gestão do litoral mais eficiente.

Aplicação das metodologias desenvolvidas ao estudo da evolução recente da restinga do rio Douro

A restinga do rio Douro pode considerar-se como sendo uma forma geomorfológica extremamente dinâmica. A sua evolução num contexto de macro-escala, ou seja, da sua variabilidade sazonal a inter-anual, permite evidenciar como as suas faces oceânica e estuarina, nas quais estão presentes praias, respondem às condições energéticas do meio, nomeadamente às marés, à ondulação e ao caudal fluvial.

Para a análise da sua tendência evolutiva foi usada, como referência a linha de praia, tendo em conta o contexto de análise, o qual, em virtude da dinâmica presente, não permite a fixação de um cordão dunar.

Os resultados obtidos indicam a ocorrência de variações significativas na posição da linha de praia, na face oceânica da restinga, associadas a uma dinâmica alternadamente acrecionária e erosiva, a qual não pode ser relacionada com tendências migratórias da restinga.

As variações observadas relacionam-se com a sazonalidade dos processos induzidos pela agitação marítima e pelas marés, processos esses que condicionam essa dinâmica e aos quais se associa uma maior ou menor disponibilidade sedimentar. A dinâmica inerente ao domínio das condições de maré, normalmente associada a períodos de Verão marítimo, favorece a acreção da face oceânica da restinga. A dinâmica inerente ao domínio das condições de ondulação, frequentemente associada a períodos de Inverno marítimo, favorece a erosão da face oceânica da restinga.

Ao longo do período em estudo verificou-se que a restinga representa uma acumulação sedimentar média, acima do NMM, da ordem de 1 milhão de metros cúbicos, embora tenha sido manifestada uma ligeira tendência para aumento desse volume, ao longo do período em estudo.

Esse aumento de volume da restinga poderá estar associado a um maior transporte de carga sólida, durante o Inverno marítimo de 2000/2001, o qual, em virtude da posição, bastante interior, que a restinga actualmente ocupa, no estuário do rio Douro, tem dificuldade em ser exportado para o exterior.

Aplicação das metodologias desenvolvidas ao estudo do impacte de uma obra de protecção às actividades de uma comunidade piscatória

O estudo do impacte morfológico e sedimentar resultante da construção de uma obra de defesa costeira reveste-se de especial interesse, do ponto de vista das práticas de gestão litoral, na medida em que fornece indicações, do ponto de vista quantitativo, sobre as consequências directas dessa construção.

No caso concreto da praia da Aguda, foi construído um quebramar destacado, cujo objectivo esteve relacionado com a necessidade de protecção das actividades de uma comunidade piscatória.

O estudo de impacte morfológico realizado, de âmbito local, compreendeu um segmento litoral, com cerca de um quilómetro de extensão, situando-se um troço de cerca de 400 m, a barlamar do local onde foi construído o quebramar, e um troço com cerca de 500 m, a sotamar.

Os resultados do estudo de impacte devem ser analisados em termos daquilo que se pode considerar como um impacte positivo ou negativo, função do objectivo inicialmente estabelecido.

Os resultados obtidos indicam que ocorreu:

- Uma maior retenção sedimentar na praia situada a barlamar do quebramar;
- A formação de um tómbolo a partir da extremidade mais proximal do quebramar, relativamente à linha de praia, o qual origina uma praia em baía que liga o quebramar ao cordão sedimentar litoral e impede o quebramar de funcionar como uma obra de defesa costeira destacada;
- Uma maior dificuldade de recuperação sedimentar nas praias a sul, considerando o troço compreendido entre a frente marítima, onde se situa a Estação Litoral da Aguda e a praia da Granja, após eventos de temporal.

A maior retenção sedimentar nas praias a barlamar do quebramar pode ser considerada um impacte positivo, do ponto de vista do interesse que as mesmas representam para actividades de lazer relacionadas com o veraneio.

A formação de um tómbolo, o qual permitiu a criação de uma pequena baía parcialmente protegida relativamente à ondulação, pode ser considerada, igualmente, como um impacte positivo,

do ponto de vista da comunidade piscatória local. O próprio quebramar pretendeu proporcionar condições mais favoráveis de entrada e saída de barcos dessa comunidade.

A maior persistência de condições de erosão, nas praias a Sul, pode-se considerar como um impacte negativo, que importa minimizar.

Em relação a este último impacte, foram realizadas diversas operações de transposição de sedimentos, os quais foram retirados ao tómbolo, ou à praia situada a barlar, para alimentar o troço litoral situado a sotamar. Essas operações foram realizadas por ocasiões de Verão marítimo e não se podem considerar de sucesso, uma vez que a alteração das condições de agitação, no início dos Invernos marítimos, induziu a erosão dos sedimentos transpostos.

As soluções poderão passar, no futuro, por outras alternativas, tendo em conta a necessidade de evitar maior erosão nos troços a sul. Uma dessas alternativas poderá ser a implementação de um sistema de bombagem de sedimentos.

Aplicação das metodologias desenvolvidas ao estudo das praias localizadas ao longo da barreira arenosa da laguna de Aveiro

As praias localizadas ao longo da barreira arenosa da laguna de Aveiro têm vindo a manifestar, desde há várias décadas, uma tendência erosiva que se manifesta no recuo da linha de costa. Este recuo tornou premente a realização de programas de monitorização nos segmentos litorais onde a pressão antrópica é mais notória. Nesse sentido, foi estabelecido um programa de monitorização regular, entre as praias da Costa Nova e do Poço da Cruz.

Os resultados obtidos por esse programa de monitorização indicam que a tendência de recuo da linha de costa se acentuou nos últimos anos, particularmente no segmento litoral situado entre as praias do Areão e do Poço da Cruz. Para o agravamento dos problemas de erosão da praia emersa e do cordão dunar frontal, neste segmento litoral, contribuiu o novo esporão do Areão, o qual antecipou, no tempo, a tendência erosiva que se vinha manifestando há vários anos.

A análise efectuada aos resultados foi conjugada com informação relativa a modelos de previsão de impacte de grupos de temporais. Verifica-se que, em litorais onde a ocorrência de grupos de temporais é frequente, a análise do seu impacte deve ser considerada em alternativa à abordagem que considera o impacte de temporais individuais. Esta constatação é baseada no facto dos valores de recuo da linha de costa obtidos serem consideravelmente superiores aos que seriam

admitidos, caso se considerasse a acção de cada temporal individualmente. Por conseguinte, a análise de grupos de temporais parece responder, de forma mais precisa, aos resultados obtidos.

Com base nesta análise considera-se que as acções futuras relacionadas com a gestão dos segmentos em estudo, devem ter em conta o impacte que temporais sucessivos, embora relativamente pouco intensos, têm sobre litorais muito sensíveis, como é o presente caso.

A quantificação da erosão litoral nos segmentos considerados permitiu concluir pela existência de uma elevada variabilidade inter-anual da erosão litoral, a qual é fortemente condicionada pelos valores médios da altura da onda, durante os períodos de Inverno marítimo. Essa erosão é representativa da forte deficiência sedimentar que existe, em termos de transporte sedimentar pelas correntes de deriva litoral, a qual é colmatada através da erosão das praias emersa e submersa e do cordão dunar frontal.

Todas as acções que sejam realizadas no sentido de extracção de sedimentos em portos sem que os mesmos sejam repostos, ainda que em termos parciais, nos segmentos litorais situados a sotamar, contribuem para agravar essa deficiência sedimentar. Também as extracções realizadas em zonas estuarinas, ou ao longo dos segmentos litorais, contribuem para o agravar do problema.

3. Desenvolvimentos futuros

Quando se iniciou o trabalho de que resultou a presente dissertação, assumiu-se que determinados aspectos, embora fundamentais do ponto de vista da morfodinâmica da praia, não seriam tratados. Optou-se por restringir o campo de trabalho às questões de monitorização da praia emersa, destacando, nesse contexto, as questões da morfologia e da volumetria, de forma a poder realizar desenvolvimentos que pudessem ser considerados significativos nessa área.

Seguindo a mesma linha de trabalho, ou seja, aquela em que a investigação é desenvolvida através da monitorização considera-se fundamental desenvolver os aspectos que se apresentam seguidamente.

O primeiro aspecto diz respeito à importância da monitorização da praia submersa. São muito escassos os dados de campo sobre a praia submersa, os quais estão, muitas vezes, limitados às zonas portuárias, ou às zonas adjacentes aos locais onde vão ser realizadas obras de defesa costeira. Alguns trabalhos de investigação que têm sido realizados são obrigados a recorrer, no caso do sector litoral entre a foz do rio Douro e o Cabo Mondego, à carta de pescas do Instituto Hidrográfico de 1973, pela necessidade que apresentam no conhecimento da batimetria.

Torna-se, por isso, pertinente o desenvolvimento de uma metodologia que permita, a exemplo da que foi desenvolvida para a praia emersa, a realização de perfis batimétricos em faixas alargadas do litoral e com a periodicidade necessária para o estabelecimento de comparações de comportamento.

O segundo aspecto está relacionado com a caracterização granulométrica. A análise da variabilidade granulométrica longilitoral e sazonal é um complemento à caracterização morfológica e volumétrica da praia. Por conseguinte, o estabelecimento de programas regulares de monitorização da morfologia da praia emersa, com base nas metodologias que foram desenvolvidas, complementados com a recolha de amostras de sedimentos, permitirá obter um conjunto de dados relevantes para o desenvolvimento de modelos morfodinâmicos. Também o estudo das variações granulométricas transversais é fundamental para o conhecimento dos processos de erosão ou acreção.

Um terceiro aspecto está relacionado com a identificação de áreas fonte de sedimentos. Os resultados obtidos, tal como os de diversos outros autores, salientam a deficiência sedimentar como a causa principal da actual tendência de evolução do litoral. Tem sido apontada a retenção sedimentar em barragens e os elevados volumes de inertes dragados nos leitos dos rios, em estuários e ao longo do litoral, como as principais causas dessa deficiência. Contudo, não têm sido realizados estudos de caracterização de minerais pesados em areias presentes nos cursos fluviais e ao longo do litoral, no sentido de analisar possíveis relações entre ambas e identificar áreas fontes de sedimentos. Neste sentido, a recolha e análise de amostras de sedimentos nos cursos fluviais, mais concretamente no rio Douro, e também em diversos locais do segmento litoral compreendido entre a foz do rio Douro e o Cabo Mondego, poderão contribuir para o esclarecimento desta temática.

Para melhorar o conhecimento da dinâmica litoral, o estudo das correntes que operam no litoral é fundamental. Existem diversos trabalhos, a nível da modelação física, que estabelecem padrões gerais, embora o conhecimento de campo ainda seja escasso. Neste sentido, a utilização de areias marcadas pode contribuir para o conhecimento da dinâmica das correntes litorais.

Por fim, destaca-se a necessidade de uma cada vez maior interacção entre investigadores e grupos de investigação que se dedicam, sob vários prismas, ao estudo das questões do litoral. O intercâmbio de dados e de conhecimentos entre investigadores é de especial importância, não só

para o trabalho que cada investigador ou grupo de investigação desenvolve, mas também, e sobretudo, para a comunidade em geral.

APÊNDICE I

SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL: CONSIDERAÇÕES GERAIS

APÊNDICE I - SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL: CONSIDERAÇÕES GERAIS

1. Introdução

O sistema *GPS* é constituído por uma constelação de 24 satélites, dispostos numa órbita quase circular, a uma altitude de cerca de 26561.75 km segundo o semi-eixo maior dessa órbita. Esses satélites descrevem órbitas cujos planos fazem 55° com o plano do equador. A constelação foi desenvolvida de forma a garantir que, a qualquer hora do dia e em qualquer local na superfície da Terra, seja possível observar pelo menos quatro satélites a 15° acima da linha do horizonte.

O conceito de posicionamento por *GPS* é equivalente à triangulação, representando, os satélites, as fontes das medidas efectuadas. Uma vez conhecidas as órbitas dos satélites e as distâncias destes a um dado ponto da Terra é possível, por trilateração, determinar a posição desse ponto da Terra.

As coordenadas tridimensionais de um determinado ponto são obtidas pela intersecção dos lugares geométricos das órbitas de, pelo menos, três satélites. Uma vez que existe uma diferença entre os relógios dos satélites e o relógio do receptor, torna-se necessário um quarto satélite para eliminar esse desfasamento.

Desde 1987 que o *GPS* usa o *World Geodetic System (WGS84)* como referência, o qual tem associado um elipsóide, cujos parâmetros foram adoptados a partir do elipsóide do *Geodetic Reference System 1980 (GRS80)*.

2. Estrutura do sinal

Cada satélite transmite a informação simultaneamente em duas portadoras, referidas como $L_1 = 1575.4$ MHz e $L_2 = 1227.6$ MHz, as quais são múltiplos inteiros da frequência do relógio atómico a bordo, que é de 10.23 MHz. Nessas portadoras (=“carrier”) L_1 e L_2 , são modulados códigos (=“code”) do tipo binário (“*Pseudo Random Noise*” – *PRN*).

O *PRN* é um sinal que apresenta um padrão complexo, embora repetido, de sequências de valores binários (0 e 1 ou +1 e -1), os quais, embora pareçam ter carácter aleatório, são identificáveis de forma inequívoca. A portadora do sinal L_1 tem modulados três códigos, designados por P, C/A e D, e a portadora do sinal L_2 tem modulados os códigos P e D.

O código P é o principal código para navegação, tendo uma frequência de 10.23 MHz, isto é, uma sequência de 10.23 milhões de dígitos binários - “chips” - por segundo. A sequência deste código é extremamente longa. Tem um período de 37 semanas, só se repetindo, portanto, ao fim de 266 dias, embora, na prática, seja reiniciado todas as semanas. O comprimento de onda de um “chip” é de cerca de 30 m.

O código C/A tem uma frequência de 1.023 MHz e um período de 1 milissegundo, sendo assim um código de rápida aquisição e podendo ser utilizado para obter o código P. O seu comprimento de onda é de cerca de 300 m.

Adicionado a estes códigos, à razão de 50 bps, há ainda um terceiro código, designado de código D, que contém a mensagem de navegação. Esta inclui as efemérides, ou órbitas dos satélites, bem como informação sobre correcções a fazer aos valores observados e sobre o estado do equipamento de bordo.

Sendo o GPS um sistema desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, tem objectivos prioritários de âmbito militar. Como tal, foram estabelecidas restrições, de forma a dificultar o acesso ao sistema por parte de utilizadores civis. Uma dessas restrições consiste em sobrepor, ao código P, um outro código, encriptando-o. Quando encriptado, o código P passa a ser designado de Y, estando o seu acesso estritamente reservado a utilizadores autorizados. Esta restrição designada “*Anti-Spoofing*” – (AS) impede os utilizadores civis de medir as distâncias aos satélites a partir do código P. Essas distâncias costumam ser designadas como pseudo-distâncias (= “*pseudo-ranges*”).

Até Maio de 2000, uma outra restrição esteve implementada no sistema, designada por disponibilidade selectiva “*Selective Availability*” – (SA), a qual tinha como objectivo limitar a precisão com que eram calculadas as pseudo-distâncias instantâneas a partir do código C/A. O processo consistia na destabilização sistemática da frequência dos relógios dos satélites. Actualmente, e independentemente das restrições ao livre acesso impostas, é possível obter, em tempo real ou em pós-processamento, a máxima precisão do sistema com base na utilização do designado modo de posicionamento diferencial, recorrendo a métodos de medições de distâncias a partir das medidas de código e fase da portadora do sinal.

Após a recepção dos sinais, o receptor procede à sua divisão por canais, de forma a isolar o sinal de cada satélite que está a ser observado. Nos receptores, que dispõem de 12 canais, é possível efectuar tanto a recepção contínua como a separação de sinais de 12 satélites.

Em cada um dos canais, o receptor procede à determinação da pseudo-distância ao satélite. O cálculo desta pseudo-distância é obtido por intermédio da comparação, por parte do receptor, do código binário modulado na portadora e emitido pelo satélite, com um código idêntico gerado no receptor. Esse processo de comparação designa-se de correlação cruzada (= “*cross-correlation*”). A réplica do código gerado no receptor é deslocado por este no tempo, até se encontrar em fase com o código recebido do satélite. Do conjunto de sinais que estão a ser recebidos em cada um dos canais isola-se o sinal de apenas um dos satélites, ou seja, aquele que proporciona a máxima correlação. O processo repete-se em cada um dos canais, até que todos os sinais dos satélites tenham sido

isolados. Este processo de separação, denominado, na teoria, por *CDMA* (“*Code Division Multiple Access*”), só é possível devido à baixa correlação cruzada entre os sinais *PRN* dos satélites.

A pseudo-distância corresponde a uma diferença de tempo, ou atraso, entre a transmissão do sinal pelo satélite e a sua recepção pelo receptor, a qual pode ser calculada, multiplicando esse atraso pela velocidade de propagação da luz. As diferenças entre as sincronizações dos dois relógios (do satélite e do receptor), bem como as influências atmosféricas na propagação do sinal, das quais se destaca o efeito da troposfera e da ionosfera, impedem que se obtenha a distância real entre o satélite e o receptor, pelo que a distância obtida se designa pseudo-distância.

Além da medida de código, também a fase portadora (= “*carrier phase*”) pode ser usada para determinar a distância ao satélite. A fase corresponde a uma onda sinusoidal que se propaga, à velocidade da luz, desde o satélite até ao receptor. Esta onda, devido ao movimento relativo entre o satélite e a antena do receptor, sofre variações de frequência, de acordo com o designado efeito de Doppler (= “*Doppler effect*”).

No receptor, o oscilador de precisão gera também uma onda sinusoidal com características semelhantes à que está a ser recebida. A fase da portadora que o receptor observa corresponde à diferença entre o sinal da portadora, gerado pelo oscilador do receptor, e o sinal da portadora modificado por efeito Doppler que vem do satélite. Esta diferença de fase é integrada no tempo, de forma a permitir a contagem do número de ciclos da portadora à medida que chegam à antena do receptor.

O número de ciclos determinado corresponde à mudança de posição, entretanto ocorrida, entre o satélite e o receptor. O receptor não consegue, contudo, determinar o número inicial de ciclos da onda, correspondentes à distância inicial entre o satélite e o receptor, uma vez que esses ciclos não têm uma referência de tempo associada que os possa distinguir. O valor indeterminado de ciclos corresponde a um número inteiro, designado de ambiguidade de fase (= “*phase ambiguity*”), a qual permanece constante se o receptor mantiver, ininterruptamente, a captura do sinal da portadora que estiver a ser recebido. A resolução da ambiguidade de fase permite obter um posicionamento com a máxima precisão.

3. Modos de posicionamento

Em relação aos modos de posicionamento, podem considerar-se dois modos, nomeadamente o modo absoluto, ou pontual, e o modo diferencial, ou relativo. No posicionamento absoluto, um único receptor recebe os sinais dos satélites, estimando, a partir desses sinais, a sua posição. No posicionamento diferencial (= “*Differential Global Positioning System*” – *DGPS*) são usados dois receptores, sendo um deles colocado numa estação de coordenadas conhecidas, designada por estação de referência, e o outro posicionado num ponto cujas coordenadas se pretende conhecer,

designada por estação móvel. O posicionamento diferencial permite, através da utilização de uma estação cujas coordenadas são conhecidas, estimar os designados erros das observações, permitindo assim a aplicação de um factor de correcção às coordenadas da estação móvel.

Os erros das observações constituem a diferença entre as coordenadas definidas para uma determinada estação, e as coordenadas que são obtidas pelas observações realizadas nessa estação. Entre os erros obtidos encontram-se os erros de sincronização dos relógios do satélite e do receptor, os efeitos troposféricos e ionosféricos nas observações, o multi-caminho (= “*multipath*”) e ainda os erros das órbitas estimadas dos satélites. O nível de precisão resultante da aplicação das correcções à estação móvel depende da distância entre ambas as estações, designada linha de base, do número de medidas por unidade de tempo, denominada cadência de observação, e do tempo de duração das observações. Para o caso da estação móvel ser estática, o posicionamento diferencial anula os efeitos dos erros sistemáticos induzidos pelo SA, caso esteja activado.

Ainda relativamente ao posicionamento, podem considerar-se duas metodologias: a estática e a cinemática. Tal como os termos indicam, estático significa que as observações da estação móvel estão a ser realizadas em modo estacionário, enquanto cinemático significa que as observações estão a ser realizadas em movimento.

Combinando o posicionamento absoluto ou diferencial com o estático ou cinemático podemos ter várias possibilidades de posicionamento, nomeadamente o absoluto estático, o absoluto cinemático, o diferencial estático e o diferencial cinemático.

4. Processamento

Quando operado em modo diferencial, a determinação das posições pelo sistema *GPS* pode ser efectuada em dois modos de processamento, o tempo real e o pós processamento. O *DGPS* em tempo real permite conhecer as posições da estação móvel, calculadas em modo diferencial, no momento da aquisição dos dados. Para isso, a estação de referência estima os erros para as observações *GPS* de todos os satélites visíveis. Os erros encontrados são transmitidos, como correcções diferenciais, via rádio/modem, para o receptor que está no ponto de coordenadas desconhecidas, no caso de posicionamento estático, ou para um receptor que esteja em movimento, no caso de posicionamento cinemático, de forma a corrigir as observações *GPS*.

No pós-processamento, efectuado em gabinete, os algoritmos de processamento permitem, a partir do conhecimento das coordenadas da estação de referência e dos parâmetros das órbitas dos satélites, designadas por efemérides, obter as posições da estação móvel. Em situações em que é exigido maior rigor, considerando o caso em que a distância entre a estação de referência e a móvel é relativamente elevada ou exista uma diferença de altitude considerável entre ambas, podem ser

aplicados modelos que visam a correcção dos efeitos ionosféricos e dos efeitos troposféricos, respectivamente.

Relativamente aos algoritmos de processamento, podem ser considerados os algoritmos de processamento de medidas de código, os algoritmos de processamento de medidas de fase e os algoritmos combinados, que utilizam as medidas de fase para atenuar o ruído das medidas de código, denominado “código alisado com fase” (=“*carrier smoothing*”).

Os algoritmos inicialmente desenvolvidos para resolver a ambiguidade de fase apenas permitiam a sua utilização em posicionamento diferencial estático. Com o desenvolvimento dos receptores *GPS* e dos algoritmos de processamento, passou a ser possível utilizar a medição da fase da portadora para posicionamento cinemático em tempo real. O *GPS* “*On The Fly*” – (*OTF*) resulta dos desenvolvimentos operados em finais da década de oitenta e inícios da década de noventa. O *GPS OTF* consiste num método de resolver a ambiguidade, enquanto uma antena se move em relação à outra, sendo, por isso, adequado para *DGPS* cinemático.

5. Precisão

No que diz respeito à precisão oferecida pelo *GPS*, esta depende de alguns factores referidos anteriormente, nomeadamente do modo de posicionamento, do algoritmo de processamento usado, do tempo de duração das observações e da cadência utilizada.

Em posicionamento diferencial estático torna-se importante uma planificação do tempo de observação e da cadência a usar, em função dos requisitos de precisão exigidos e do algoritmo de processamento a utilizar. Por norma, quanto maior o tempo de observação e maior a cadência, maior será o volume de dados que serão utilizados para o cálculo da posição final e, naturalmente, melhor será a precisão obtida. Contudo, condicionantes logísticas exigem uma utilização racional dos recursos, o que obriga a gerir o tempo de observação e a cadência a utilizar. Por outro lado, uma cadência demasiado elevada em posicionamento estático pode conduzir a observações redundantes que não melhoram a solução final.

Em posicionamento absoluto, recorrendo a medidas de código e com o *SA* activo, a precisão média obtida é da ordem dos 100 m, em planimetria, e de 150 m, em altimetria. No entanto, desde Maio de 2000, o *SA* encontra-se desactivado, o que permite uma precisão média entre 15 a 25 m, em planimetria, e 20 a 30 m, em altimetria.

Em posicionamento diferencial estático é possível, recorrendo a algoritmos de processamento com utilização de apenas medidas de código, corrigir muitos dos erros que perturbam a solução final em posicionamento absoluto. Todavia, é necessário que a linha de base não ultrapasse um valor limiar de referência, normalmente da ordem dos 30 kms. A partir dessa distância, as diferentes propriedades da ionosfera sobre a estação de referência e a estação móvel induzem um

erro adicional à solução. As precisões médias obtidas são da ordem dos 4 a 5 m, em planimetria, e normalmente superiores a 7 m, em altimetria.

O posicionamento diferencial estático permite, recorrendo a algoritmos de processamento com resolução de ambiguidades, obter precisões centimétricas, ou mesmo sub-centimétricas, em todas as componentes, de acordo com os critérios usados para a realização das observações. As diferentes propriedades da ionosfera também afectam a solução GPS, pelo que, para linhas de base superiores a 30 km, são necessários maiores tempos de observação e, conforme os casos, a utilização de modelos que traduzam o comportamento local da ionosfera.

O posicionamento diferencial cinemático com métodos de resolução de ambiguidades *OTF* permite também atingir níveis de precisão similares ao diferencial estático. Contudo, costumam ser utilizadas linhas de base menores, normalmente até um máximo de 10 kms.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aagaard, T., Masselink, G. (1999). The Surf Zone. *In: Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. Edited by Andrew D. Short. John Wiley & Sons Ltd, pp. 72-118.

Abecassis, C. (1955). The History of a Tidal Lagoon and its Improvement (The Case of Aveiro, Portugal). *Actas da 5th Conference on Coastal Engineering*, pp. 329-363.

Abecassis, F. (1997). Caracterização Geral Geomorfológica e Aluvionar da Costa Continental Portuguesa. *In: Colectânea de Ideias sobre a Zona Costeira de Portugal*. Editor Associação EUROCOAST, Portugal, Porto, pp. 25-66.

Anders, F.J., Byrnes, M.A. (1991). Accuracy of Shoreline Change Rates as Determined From Maps and Aerial Photographs. *Shore and Beach*, 59(1), pp. 17-26.

Andrade, C. (1990). O Ambiente de Barreira da Ria Formosa, Algarve – Portugal. Tese de Doutoramento (não publicada). Universidade de Lisboa, 645 p.

Andrade, C., Freitas, M.C. (2001). Transformação Litoral e Equilíbrios Perturbados: Exemplos do Litoral Português. *In: Homenagem (in honorium) Professor Doutor Gaspar Soares de Carvalho*. Edição M.E. Albergaria Moreira, A. Casal Moura, H.M. Granja e F. Noronha. Braga, pp. 195-212.

Andrade, C., Freitas, M.C. (2002). Coastal zones. *In: Climate Changes in Portugal - Scenarios, Impacts and Adaptation Measures*. SIAM Project. Santos, F.D., Forbes, K., Moita, R., (editores). Gradiva, Lisbon, 456 p.

Ângelo, C. (1991). Taxas de Variação do Litoral Oeste: Uma Avaliação Temporal e Espacial. *Actas do Seminário: A Zona Costeira e os Problemas Ambientais*. Associação EUROCOAST. Portugal, pp. 109-120.

Ângelo, C. (2001). Técnicas de Protecção e de Conservação da Zona Costeira. Uma Estratégia de Gestão Operacional. Tese de Mestrado (não publicada). Universidade de Lisboa, 168 p.

ASP (1980). *The Manual of Photogrammetry*. American Society of Photogrammetry, 1056 p.

Baltsavias, E.P. (1999). A Comparison Between Photogrammetry and Laser Scanning. *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 54, pp. 83-94.

Bannister, A., Raymond, S., Baker, R. (1992). *Surveying*. (Sixth Edition). Longman Scientific & Technical, 482 p.

Baptista, P., Bastos, L., Bernardes, C., Dias, A. (2000a). Aplicação de Técnicas Espaciais na Monitorização da Linha de Costa do Litoral de Aveiro. *Actas do 3º Simpósio sobre a Margem Continental Atlântica*. Faro, Portugal, pp. 355-356.

Baptista, P., Bastos, L., Bernardes, C., Dias, A. (2000b). Monitoring Sandy Littorals. *Actas da Tenth General Assembly of the Wegener Project*. San Fernando, Cádiz, Espanha, pp. 111-113.

Baptista, P., Bastos, L., Bernardes, C., Dias, A. (2002). A GPS Based System for Monitoring Sand Movements – The Aveiro Coastline Case. *Actas do 6º Simposio Internacional - Littoral 2002. The Changing Coast*. EUROCOAST/EUCC. Porto, Portugal, Vol. 3, pp. 347-351.

Baptista, P., Bastos, L., Jesus, M.E., Correia E. (2003). Morphodynamic Evolution of the Sand-Spit in the Mouth of Douro River Through DGPS Monitorization. *Actas do 3º Symposium on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics (RCEM 2003)*. Barcelona, Espanha, pp. 1060-1067.

Baptista, P., Bastos, L., Veloso-Gomes, F. (2004a). Impacte Morfodinâmico de uma Obra de Protecção Costeira: O Quebra-mar da Aguda. *Actas da 4ª Assembleia Luso-Espanhola de Geodesia e Geofísica*. Figueira da Foz, pp. 27-28.

Baptista, P., Bastos, L., Cunha, T., Bernardes, C., Dias, A. (2004b). Monitorização de Litorais Arenosos. *Actas da III Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia*. Aveiro, Portugal. Dezembro 2002. Edições Lidel, Maio 2004, pp. 77-85.

Baptista, P., Bastos, L., Bernardes, C., Taborda, R. (2004c). Large Scale Morphodynamics Characterisation of Exposed Sandy Beaches by DGPS. *Journal of Coastal Research, Special Issue nº 39, (in press)*.

Barata, A.M.G.O., Teles, M.J.B.S., Vieira, J.A.R. (1996). Selecção de Ondas Representativas da Agitação Marítima para Efeito da Avaliação do Transporte Litoral na Costa de Aveiro. *Associação Portuguesa de Recursos Hídricos*, Vol. 17 nº 1, pp. 43-74.

Barbosa, S., Fernandes, J., Silva, E. (2004). Nonlinear Sea Level Trends from European Tide Gauge Records. *Annales Geophysicae*, 22, pp. 1465-1472.

Barnett, T.P. (1984). The Estimation of “Global” Sea Level Change: A Problem of Uniqueness. *Journal of Geophysical Research*. 89(C5), pp. 7980-7988.

Battjes, J.A. (1974). Surf Similarity. *Actas do 14th International Conference on Coastal Engineering*. ASCE, pp. 466-480.

Bettencourt, P., Ângelo, C. (1992). Faixa Costeira Centro Oeste (Espinho-Nazaré): Enquadramento Geomorfológico e Evolução Recente. *Geonovas Especial nº1, A Geologia e o Ambiente*, pp. 7-30.

Bird, E. (2000). *Coastal Geomorphology. An Introduction*. John Wiley & Sons, Ltd. England. 322 p.

Birkemeier, W.A. (1985). Field Data on Seaward Limit of Profile Change. *Journal of Waterways, Ports, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE, Vol. 111(3), pp. 598-602.

Birkemeier, W.A., Nicholls, R.J., Lee, G.H. (1999). Storms, Storm Grups and Nearshore Morphologic Change. *Actas do Coastal Sediments '99 Conference (ASCE)*, pp. 1109-1122.

Boto, A. (1997). *Evolução da Zona Costeira entre a Costa Nova do Prado e o Areão*. Tese de mestrado (não publicada). Universidade de Aveiro, 209 p.

Brandão, F. A. (1991). *Anais da História de Espinho (1985-1926)*. Edição patrocinada pela Câmara Municipal de Espinho e pela Junta de Freguesia de Espinho, 368 p.

Burrough, P.A., McDonnell, R.A. (1998). *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press, 333 p.

Byrnes, M. A., McBride, R.A., Underwood, S.G., Corbley, K. P. (1994). Loosing Ground: Mapping Louisiana's Disappearing Coastline. *GPS World*, 5(10), pp. 46-50.

- Cabanes, C., Cazenave, A., Le Provost, C. (2001). Sea Level Rise During Past 40 Years Determined from Satellite and In-situ Observations. *Science*, 294, pp.840-842.
- Caetano, P. (2002). Análise Fotointerpretativa da Evolução da Linha de Costa e Morfologias Dunares entre Furadouro e Praia de Mira. Tese de Mestrado (não publicada). Universidade de Aveiro, 86 p.
- CCRS (2005). Fundamentals of Remote Sensing. Canada Centre for Remote Sensing – CCRS. <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/learn/tutorials>.
- Carter, R.W.G., Hesp, P.A., Nordstrom, K.F. (1990). Erosional Landforms in Coastal Dunes. *In: Coastal Dunes – Forms and Process*. Karl Nodstrom, Norbert Psuty and Bill Carter (ed), John Wiley & Sons, pp. 217-252.
- Carvalho, G. S. (1985). A Evolução do Litoral (Conceito e Aplicações). *Geonovas*, 8/9. Lisboa, pp. 3-15.
- Carvalho, G.S. (1999). A Responsabilidade das Estruturas Portuárias na Migração das Praias para o Interior (“Erosão Costeira”). *Actas das 1ªs Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*. Porto, pp. 209-226.
- Carvalho, G. S. (2003). A Geologia e os “Mitos” Sobre as Mudanças Globais e as da Zona Costeira. (O Realismo Ignorado por Decisores e Gestores de Recursos Naturais e Pelas Populações Costeiras). *Geonovas*, nº 17, pp. 5-20.
- Carvalho, G.S., Granja, H. M. (1997). Realismo e Pragmatismo: Uma Necessidade para o Aproveitamento dos Recursos Naturais da Zona Costeira (O Exemplo da Zona Costeira do Noroeste de Portugal). *In: Colectânea de Ideias sobre a Zona Costeira de Portugal*. Editor Associação EUROCOAST-PORTUGAL, Porto, pp. 25-66.
- Carvalho, G.S., Granja, H.M. (2003). As Mudanças da Zona Costeira pela Interpretação dos Sedimentos Plistocénicos e Holocénicos (A Metodologia Aplicada na Zona Costeira do NO de Portugal). *Revista da Faculdade de Letras – Geografia. I Série, Vol. XIX*, Porto, pp. 225-236.
- Carvalho, J.J.R. (1971). Características das Ondas na Rebentação (Caso de Batimetria Paralela). *Actas das III Jornadas Luso-Brasileiras de Engenharia Civil*, III-2-1 a III-2-15.
- Carvalho, J.J.R., Barceló, J.P. (1966). Agitação Marítima na Costa Oeste de Portugal Metropolitano – Contribuição Para o Seu Estudo. Memória nº 290, Ministério das Obras Públicas, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 34 p.
- Casaca, J., Matos, J., Baio, M. (2000). Topografia Geral (2ª Edição). Edições Lidel, Portugal, 306 p.
- Castanho, J., Gomes, N., Carvalho, J., Vera-Cruz, D., Araújo, Ó., Teixeira, A., Weinholtz, M. (1974). Means of Controlling Littoral Drift to Protect Beaches, Dunes, Estuaries and Harbour Entrances. Establishment of Artificial Beaches. *Memórias do LNEC*, 448, 26 p.
- Chen, L.C., Rau, J.Y. (1998). Detection of Shoreline Changes for Tidaland Areas Using Multi-temporal Satellite Images. *International Journal of Remote Sensing*. V. 19, nº 17, pp. 3383-3397.

CNADS (2001). Reflexão Sobre o Desenvolvimento Sustentável da Zona Costeira. Conselho Nacional do Ambiente e do Desenvolvimento Sustentável – CNADS.

<http://www.cnads/>

Coelho, C. (2005). Riscos de Exposição de Frentes Urbanas para Diferentes Intervenções de Defesa Costeira. Tese de Doutoramento (não publicada). Universidade de Aveiro, 404 p.

Coelho, C., Veloso Gomes, F. (2003). Wave Climate and Longshore Sediment Transport in the Northwest Portuguese Coast. *Actas da 3rd IAHR Symposium on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics*, Barcelona, Espanha, pp. 1037-1048.

Costa, M. (1987). Análise de um Ano de Dados de Agitação Marítima na Figueira da Foz. *Anais do Instituto Hidrográfico*, nº 8, pp. 23-28.

Costa, M. (1994). Agitação Marítima na Costa Portuguesa. *Anais do Instituto Hidrográfico*, nº 13, pp. 35-40.

Costa A.L., Granja, H.M. (2003). Enchimento Sedimentar da Albufeira da Barragem da Venda Nova (Rio Rabagão). *Ciências da Terra (Universidade Nova de Lisboa)*, nº especial, CD-ROM, V: H-37-40.

Costa, M., Silva, R., Vitorino, J. (2001). Contribuição para o Estudo do Clima de Agitação Marítima na Costa Portuguesa. *Actas das 2^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*. Associação Internacional de Navegação, Sines, CD-ROM, 20 p.

Cowell, P.J., Hanslow, D.J., Meleo, J.F. (1999). The Shoreface. *In: Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*, Edited by Andrew D. Short, John Wiley & Sons Ltd, England, pp. 39-71.

Cox, J.C., Pirrello, M.A. (2001). Applying Joint Probabilities and Cumulative Effects to Extreme Storm-Induced Erosion and Shoreline Recession. *Shore and Beach*, 69(2), pp. 5-7.

Crowell, M., Leatherman, S.P., Buckley, M.K. (1991). Historical Shoreline Change: Error Analysis and Mapping Accuracy. *Journal of Coastal Research*, 7(3), pp. 839-852.

Cunha, T. (2002). High Precision Navigation Integrating Satellite Information – GPS – And Inertial System Data. Tese de Doutoramento (não publicada). Universidade do Porto, Portugal, 215 p.

Dana, P. H. (1999). Global Position Systems Overview.

http://colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html.

Dally, W.R., Pope, J. (1986). Detached Breakwaters for Shore Protection. Technical Report CERC-86-1. U.S. Army Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss.

Davies, J.L. (1964). A Morphogenetic Approach to World Shorelines. *Zeitschrift fur Geomorphologie*, 8, pp. 127-142.

Davis, R.A., (Jr.) and Hayes, M.O. (1984). What is a Wave-Dominated Coast?. *Marine Geology*, 60, pp. 313-329.

Davidson-Arnott, R.G.D., Fisher, J.D. (1992). Spatial and Temporal Controls on Overwash Occurrence on a Great Lakes Barrier Spit. *Canadian Journal of Earth Science*, 29, pp. 102-117.

- Dellepiane, S., De Laurentiis, R., Giordano, F. (2004). Coastline Extraction from SAR Images and a Method for the Evaluation of the Coastline Precision. *Pattern Recognition Letters* 25, pp. 1461-1470.
- Dias, J.M.A. (1987). *Dinâmica Sedimentar e Evolução Recente da Plataforma Continental Portuguesa Setentrional*. Tese de Doutoramento (não publicada). Universidade de Lisboa., 384 p.
- Dias, J.M.A., Rodrigues A., Magalhães F. (1997). Evolução da Linha de Costa em Portugal desde o Último Máximo Glaciário até à Actualidade: Síntese dos Conhecimentos. *Estudos do Quaternário*, I, APEC, Lisboa. pp. 53-66.
- Dias, J.M.A., Taborda, R. (1988). Evolução Recente do Nível Médio do Mar em Portugal. *Anais do Instituto Hidrográfico*, nº 9, pp. 83-98.
- Dias, J.M.A., Taborda, R. (1992). Tidal Gauge Data in Deducing Secular Trends of Relative Sea Level and Crustal Movements in Portugal. *Journal of Coastal Research*, 8(3), pp. 655-659.
- Diogo, M. (2004). *Evolução da Linha de Costa da Praia da Vagueira*. Tese de mestrado (não publicada). Universidade de Aveiro, 198 p.
- Dolan, R., Hayden, B., Heywood, J. (1978). A New Photogrametric Method for Determining Shoreline Erosion. *Coastal Engineering*, 2, pp. 21-39.
- Dolan, R., Hayden, B., May, P., May, S. (1980). The Reliability of Shoreline Change Measurements from Aerial Photographs. *Shore and Beach*, 48(4), pp. 22-29.
- Douglas, B.C. (1991). Global Sea Level Rise. *Journal of Geophysical Research*, 96(C4), pp. 6981-6992.
- Douglas, B.C. (1992). Global Sea Level Acceleration. *Journal of Geophysical Research*, 97(C8), 12699-12706.
- Douglas, B.C. (1995). Global Sea Level Change: Determination and Interpretation. *Rev. Geophys.*, 33, pp. 1425-1432.
- Dubois, R. (1985). Development of a Shoreline Rhythm, Outer Banks of North Carolina. *Marine Geology*, Vol. 62, nº1/2, pp. 31-53.
- Estep, L.L., Lillycrop, W.J., Parson, L.E. (1994). Estimation of Maximum Depth of Penetration of a Bathymetric LIDAR System Using a Secchi Disk Database. *Marine Technology Society Journal* 28(2), pp. 31-36.
- Ferreira, Ó. (1993). *Caracterização dos Principais Factores Condicionantes do Balanço Sedimentar e da Evolução da Linha de Costa entre Aveiro e o Cabo Mondego*. Tese de Mestrado (não publicada). Universidade de Lisboa, 166 p.
- Ferreira, Ó. (1998). *Morfodinâmica de Praias Expostas: Aplicação ao Sector Costeiro Aveiro-Cabo Mondego*. Tese de Doutoramento (não publicada). Universidade do Algarve, 337 p.
- Ferreira, Ó. (2002). Prediction of the Impact of Storm Groups and their Importance in Coastal Evolution. *Actas da International Conference on Coastal Engineering '02 (ASCE)*, pp. 2725-2730.

Ferreira, Ó. (2004). Storm Groups Versus Extreme Single Storms: Predicted Erosion and Management Consequences. *Journal of Coastal Research*, SI 42, 000-000 (*in press*).

Ferreira, Ó., Dias, J.M.A. (1991). Evolução Recente de Alguns Troços do Litoral Entre Espinho e o Cabo Mondego. *Actas do 2º Simpósio Sobre a Protecção e Revalorização da Faixa Costeira do Minho ao Liz*, pp. 85-95.

Ferreira, Ó., Dias, J.M.A. (1992). Dune Erosion and Coastline Retreat Between Aveiro and Cape Mondego (Portugal). Prediction of Future Evolution. *Actas do International Coastal Congress, Kiel*, pp. 187-200.

Ferreira, Ó., Dias, J.M.A. (1997). Avaliação da Acção de Temporais na Costa Oeste Portuguesa (Sector Aveiro – Cabo Mondego). *In: Colectânea de Ideias sobre a Zona Costeira de Portugal*, Editor Associação EUROCOAST-PORTUGAL, Porto. pp. 429-447.

Ferreira Ó., Dias J.M.A., Taborda R. (1990a). Importância Relativa das Acções Antrópicas e Naturais no Recuo da Linha de Costa a Sul da Vagueira. *Actas do 1º Simpósio Sobre Protecção e Revalorização da Faixa Costeira do Minho ao Liz*, Porto, pp. 247-255.

Ferreira Ó., Dias J.M.A., Taborda R. (1990b). Sea-Level Rise, Sediment Input and Shoreline Retreat: The Case of Aveiro-Cabo Mondego (Portugal). *In: Litoral 90*. Associação EUROCOAST, Marselha, pp. 314-318.

Ferreira, Ó.; Dias, J.M.A. & Taborda, R. (1994). Wave Energy Dissipation on a High Energy Barred Nearshore: a Natural and Effective Coastal Protection. *Actas do Littoral '94*, Lisboa, pp. 369-379.

Finkl, C.W. (2004). Coastal Classification: Systematic Approaches to Consider in the Development of a Comprehensive Scheme. *Journal of Coastal Research*, 20(1), pp. 166-213.

Fisher, J.J., Simpson, E.J. (1979). Washover and Tidal Sedimentation Rates as Environmental Factors in Development of a Transgressive Barrier Shoreline. Coastal Research Symposium 1978 (Boston). *In: Barrier Islands from the Gulf of St. Lawrence to the Gulf of Mexico*. Edited by Stephen P. Leatherman, pp. 127-148.

Fonseca, A.D., Fernandes, J.C. (2004). *Detecção Remota*. Edições Lidel, Portugal, 224 p.

Frel, U., Graf, K.C., Meier, E. (1993). Cartographic Reference Systems. *In: Sar Geocoding: Data and Systems*. Wichmann Verlag, Heidelberg. Schreier, G. (eds), 435 p.

Gama, C. (2005). Dinâmica de Sistemas Sedimentares do Litoral Ocidental Português a Sul do Cabo Espichel. Tese de Doutoramento (não publicada). Universidade de Évora, 359 p.

Gaspar, J. A. (2000). *Cartas e Projecções Cartográficas*. Edições Lidel. Portugal, 292 p.

Gaspar, J. A. (2004). *Dicionário de Ciências cartográficas*. Edições Lidel. Portugal, 327 p.

Gibbs, R.J., Matthews, M.D., Link, D.A., (1971). The Relationship Between Sphere Size and Settling Velocity. *Journal of Sedimentary Petrology*, 41(1), pp. 7-18.

Gourlay, M.R. (1968). Beach and Dune Erosion Tests. Delft Hydraulics Laboratory, Report No. M935/M936.

- Gourlay, M. R. (1981). Beach Processes in the Vicinity of Offshore Breackwaters. *In: 5th Australian Conference on Coast and Oc. Engrg.* Institution of Engineers. Australia, pp. 129-134.
- Gorman, L., Morang, A., Larson, R. (1998). Monitoring the Coastal Environment; Part IV: Mapping, Shoreline Changes, and Bathymetric Analysis. *Journal of Coastal Research*, 14(1), pp. 61-92.
- Gornitz, V., Lebedeff, S. (1987). Global Sea Level Changes during the Past Century. *In: Sea Level Fluctuation and Coastal Evolution.* Nummedal, D., Pilkey, O.H., Howard, J.D., (eds). SEPM, pp. 3-16.
- Granja, H.M., Groot, T.A.M. (1996). Sea-Level Rise and Neotectonism in a Holocene Coastal Environment at Cortegaça Beach (NW Portugal): A Case Study. *Journal of Coastal Research*, 12(1), pp. 160-170.
- Granja, H.M., Soares de Carvalho, G. (2000). Inland Beach Migration (Beach Erosion) and the Coastal Zone Management (The Experience of the Northwest Coastal Zone of Portugal). *Actas do Littoral 2000, Fifth International Conference EUROCOAST, Croatia*, pp. 413-424.
- Gray, A. L., Farris-Manning, P. J. (1993). Repeat-pass Interferometry with Airborne Synthetic Aperture Radar. *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing* 31(1), pp. 180-191.
- Groger, M., Plag, H.P. (1993). Estimations of a Global Sea Level Trend: Limitations from the Structure of the PSMSL Global Sea Level Data Set. *Global and Planetary Change*, 8, pp. 161-179.
- Guza, R.T., Inman, D.L. (1975). Edge Waves and Beach Cusps. *Journal of Geophysical Research*, 80, 2997-3012.
- Hallermeier, R. J. (1978). Uses for a Calculated Limited Depth to Beach Erosion. *Actas da 16th Coastal Engineering Conference, ASCE, Hamburg, Germany*, pp. 1493-1512.
- Hallermeier, R. J. (1981a). A profile Zonation for Seasonal Sand Beaches from Wave Climate. *Coastal Engineering*, 4(3), pp. 253-277.
- Hallermeier, R. J. (1981b). Seaward Limit of Significant Sand Transport by Waves: An Annual Zonation for Seasonal Profiles. *Coastal Engineering Technical Aid, n° 81-2, CERC, Virginia*, 23p.
- Hallermeier, R. J. (1981c). Terminal Settling Velocity of Commonly Occurring Sand Grains. *Sedimentology*, Vol. 28, pp. 859-865.
- Hayes, M. (1979). Barrier Island Morphology as a Function of Tidal and Wave Regime. *In: Leatherman (Eds), Academic Press*, pp. 1-29.
- Hesp, P.A., (1999). The Beach Bachshore and Beyond. *In: Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics.* Edited by Andrew D. Short, John Wiley & Sons, Ltd, UK, 387 p.
- Hodgson, M.E., Jensen, J.R., Schmidt, L., Schill, S., Davis, B. (2003). An Evaluation of LIDAR- and IFSAR- Derived Digital Elevation Models in Leaf-on Conditions with USGS Level 1 and Level 2 DEMs. *Remote Sensing of Environment*, 84, pp. 295-308.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Collins, J., (1998). *Global Positioning System – Theory and Practice*, 4st Edittion, Springer-Verlag, Inc. 389 p.

Huang, J., Jackson, D. W. T., Cooper, J. A. G. (2002). Morphological Monitoring of a High Energy Beach System Using GPS and Total Station Techniques, Runkerry, Co. Antrim, Northern Ireland. *Journal of Coastal Research*, SI 36, pp. 390-398.

Huising, E.J., Gomes Pereira, L.M. (1998). Errors and Accuracy Estimates of Laser Data Acquired by Various Laser Scanning Systems for Topographic Applications. *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 53, pp. 245-261.

Inman, D., Nordstrom, C., (1971). On the Tectonic and Morphologic Classification of Coasts. *The Journal of Geology*, 79(1): 1-21.

IH (1990). Roteiro da Costa de Portugal. Edição do Instituto Hidrográfico, Lisboa, 295 p.

IH (2004). Tabela de Marés. Edição do Instituto Hidrográfico, Vol. I, 170 p.

IHRH (1988). Estudo Prévio das Obras de Protecção da Praia da Aguda. Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos – IHRH, (Relatório não publicado).

IHRH (1999). Estudo Prévio de um Quebramar Destacado na Aguda. Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos – IHRH, (Relatório não publicado).

INAG e CEHIDRO (1999). Littoral Risk Maps. Scale 1:8000. INAG – Water Institute – and CEHIDRO – Center on Hydrosystems Studies of the Technical University of Lisbon, Portugal.

IOC (1997). Global Sea Level Observing System (GLOSS) Implementation Plan. International Oceanographic Commission, Technical Series N° 50.

Irish, J.L., White, T.E. (1998). Coastal Engineering Applications of High-Resolution LIDAR Bathymetry. *Coastal Engineering*, 35, pp. 47-71.

Irish, J.L., Lillycrop, W.J. (1999). Scanning Laser Mapping of the Coastal Zone: The SHOALS System. *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 54, pp. 123-129.

Jelalian, A.V. (1992). Laser Radar Systems. Artech House, Boston, 283 p.

Jesus, M. E. (2003). Morfodinâmica do Cabedelo da Foz do Rio Douro: Perspectiva Histórica e Monitorização por GPS para o Conhecimento da sua Evolução Actual. Aplicabilidade Pedagógica numa vertente CTSA. Tese de Mestrado (não publicada). Universidade do Porto, Vol. I, 211 p.

Judge, E., Overton, M.F. (2001). Remote Sensing of Barrier Island Morphology: Evaluation of Photogrammetry-Derived Digital Terrain Models. *Journal of Coastal Research*, 17(1), pp. 207-220.

Kamphuis, J.W. (2000). Introduction to Coastal Engineering and Management. Advanced Series on Ocean Engineering, Vol. 16, World Scientific, Singapore, 437 p.

Kennie, T. (1990). Remote Sensing for Topographic and Thematic Mapping in Engineering Surveying Technology. Blackie & Son, Glasgow.

King, C.A.M. (1972). Beaches and Coasts (2nd Edition). Edward Arnold (Publishers), London, 570 p.

Klein, A.H.F., Meneses, J.T. (2001). Beach Morphodynamics and Profile Sequence for a Headland Bay Coast. *Journal of Coastal Research*, 17(4), pp. 812-835.

- Kol, H., Taborda, R., Guerra, S. (2002). Recolha e Gestão de Dados Maregráficos do IPCC. *Actas da 3ª Assembleia Luso-Espanhola de Geodesia e Geofísica*. Espanha, Tomo I, pp. 269-270.
- Komar, P. D. (1976). *Beach Processes and Sedimentation*. Prentice-Hall, New Jersey. 429 p.
- Krabill, W.B., Wright, C.W., Swift, R.N., Frederick, E.B., Manizade, S.S., Yungel, J.K., Martin, C.F., Sonntag, J.G., Duffy, M., Hulslander, W., Brock, J.C. (2000). Airborne Laser Mapping of Assateague National Seachore Beach. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66, pp. 65-71.
- Kriebel, D.L., Dean, R.G. (1993). Convolution Method for Time-Dependent Beach-Profile Response. *Journal of Waterways, Port, Coastal, and Ocean Engineering (ASCE)*, 119(2), pp. 204-226.
- Langfelder, L.J., Stafford, D.B., Amein, M. (1970). Coastal Erosion in North Carolina. *Journal of the Waterways and Harbors Division (ASCE)*, 96, pp. 531-545.
- Larson, M., Kraus, N. C. (1995). Prediction of Cross-Shore Sediment Transport at Different Spatial and Temporal Scales. *Marine Geology*, 126, pp. 111-127.
- Lee, G., Nicholls, R.J., Birkemeier, W.A. (1998). Storm-Induced Profile Variability of the Beach-Nearshore Profile at Duck, North Carolina, U.S.A., 1981-1991. *Marine Geology*, 148, pp. 163-177.
- Leick, A. (1990). *GPS Satellite Surveying*. 2ª Edition, John Wiley & Sons, Inc. 352 p.
- Light, D.L. (1999). C-Factor for Softcopy Photogrammetry. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 65(6), pp. 667-669.
- Lillesand, T.M., Kiefer, R.W. (2000). *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons, Inc. (Four Edition), 724 p.
- Lillycrop, W.J. e Banic, J.R. (1992). Advancements in the U.S. Army Corps of Engineers Hydrographic Survey Capabilities: The SHOALS System. *Marine Geodesy*, 15, pp. 177-185.
- Livingstone, D., Raper, J., McCarthy, T. (1999). Integrating Aerial Videography and Digital Photography with Terrain Modelling: an Application for Coastal Geomorphology. *Geomorphology* 29, pp. 77-92.
- Longuet-Higgins, M.S. (1952). On the Statistical Distribution of the Height of Sea Waves. *Journal of Marine Research*, 11, nº 3, pp. 245-266.
- Magalhães, F. (1999). *Os Sedimentos da Plataforma Continental Portuguesa. Contrastes Espaciais, Perspectiva Temporal, Potencialidades Económicas*. Tese de Doutoramento. Universidade de Lisboa, Impresso pelo Instituto Hidrográfico, 287 p.
- Marreiros, P. (2002). Aplicação do GPS OTF em Levantamentos Hidrográficos. *Actas da 3ª Assembleia Luso-Espanhola de Geodesia e Geofísica*, Valencia, Espanha, Tomo I, pp. 50-53.
- Marshall, J.A., Zelensky, N.P., Klosko, S.M., Chinn, D.S., Lutcke, S.B., Rachlin, K.E., Williamson, R.G. (1995). The Temporal and Spatial Characteristics of TOPEX/POSEIDON Radial Orbit Error. *Journal of Geophysical Research*, 100(C12), pp. 25331-25352.

Masselink, G. (1993). Simulation the Effects of Tides on Beach Morphodynamics. *Journal of Coastal Research*, SI 15, pp.180-197.

Masselink, G., Hegge, B. (1995). Morphodynamics of Meso- and Macrotidal Beaches: Examples from Central Queensland, Australia. *Marine Geology*, 129, pp. 1-23.

Masselink, G., Short, A.D. (1993). The Effect of Tide Range on Beach Morphodynamics and Morphology: A Conceptual Beach Model. *Journal of Coastal Research*, 9, pp. 785-800.

Masselink, G. Turner, I. (1999). The Effect of Tides on Beach Morphodynamics. *In: Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. Andrew D. Short (eds), John Wiley & Sons Ltd, England, pp. 204-229.

Matias, A. (2000). Estudo Morfosedimentar da Península de Cacela. Relatório Ciacomar 12/00, Olhão, 246 p.

Matos, J. L. (2001). *Fundamentos de Informação Geográfica*. Edições Lidel, Portugal, 326 p.

Meredith, A. W., Eslinger, D., Aurin, D. (1999). An Evaluation of Hurricane – Induced Erosion along the North Carolina Coast Using Airborne LIDAR Surveys. National Oceanic and Atmospheric Administration Coastal Services Center Technical Report, NOAA/CSC/99031-PUB/001.

Meier, M., Wahn, J.M. (2002). Sea Level is Rising: Do We Know Why?. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 99, pp. 6524-6526.

Miller, L., Douglas, B. C. (2004). Mass and Volume Contributions to Twentieth-Century Global Sea Level Rise. *Nature*, Vol. 428, pp. 406-409.

Ming, D., Chiew, Y. (2000). Shoreline Changes Behind Detached Breakwater. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, pp. 63-70.

Moore, L. (2000). Shoreline Mapping Techniques. *Journal of Coastal Research*, 16, (1), pp. 111-124.

Morang, A., Parson, L.E. (2002). Coastal Terminology and Geologic Environments. *Coastal Engineering Manual, Part IV, Coastal Geology*. Chapter IV-1, Engineer Manual 1110-2-1100, Walton, T. (editor), U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC, 49 p.

Moreira, M.E. (1984). Glossário de Termos usados em Geomorfologia Litoral. *Estudos de Geografia das Regiões Tropicais – 15*. Centro de Estudos Geográficos, Lisboa, 167 p.

Morton, R. A. (1991). Accurate Shoreline Mapping; Past, Present, and Future. *In: Kraus, N. C., (ed), Coastal Sediments '91, (ASCE)*, pp. 997-1010.

Morton, R.A., Leach, M.P., Paine, J.G., Cardoza, M.A. (1992). Monitoring Beach Changes Using GPS Surveying Techniques. *Journal of Coastal Research*, 9(3), pp. 702-720.

Morton, R.A., Gibeaut, J.C., Paine, J.G. (1995). Meso-Scale Transfer of Sand During and After Storms: Implications for Prediction of Shoreline Movement. *Marine Geology*, 126, pp. 161-179.

- Mota-Oliveira T. B. (1990). Erosão Costeira no Litoral Norte. Considerações Sobre a Sua Génese e Controlo. *Actas do 1º Simpósio sobre Protecção e Revitalização da Faixa Costeira do Minho ao Liz*, Universidade do Porto, Porto, pp. 201-221.
- Nerem, R. S. (1999). Measuring Very Low Frequency Sea Level Variations Using Satellite Altimetry Data. *Global and Planetary Change*, 20, pp. 157-171.
- Nicholls, M.M. (1989). Sediment Accumulation Rates and Relative Sea Level Rise in Lagoons. *Marine Geology*, 88, pp. 201-212.
- O'Regan, P.R. (1996). The use of Contemporary Information Technologies for Coastal Research and Management. A Review. *Journal of Coastal Research*, 12 (1), pp. 192-204.
- Oliveira, I. M., Valle, A. F., Miranda, F. (1982). Litoral Problems in the Portuguese West Coast: *Actas da Coastal Engineering*, Vol. III, pp. 1951-1969.
- Overton, M.F. Fisher, J.S. (1996). Shoreline Analysis Using Digital Photogrammetry. *Actas da 25th International Conference Coastal Engrg.*, pp. 3750-3761.
- Parkinson, B.W. Spilker J.J.Jr. (1996). *Global Positioning System: Theory and Applications*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc. Vol. I, 793 p, Vol. II, 643 p.
- Pereira, L. (2000). Evolução de Curto Prazo da Linha de Costa entre Costa Nova e Poço da Cruz. Tese de Mestrado (não publicada). Universidade de Aveiro, 247 p.
- Pires, H.N., Pessanha, L.E. (1986a). Wave Power Climate of Portugal, Hidrodynamics of Ocean Wave-Energy Utilization. *Actas do IUTAM Symposium*, Lisboa, pp. 157-167.
- Pires, H.N., Pessanha, L.E. (1986b). Estima da Distribuição de Probabilidades dos Valores Extremos, Utilizando Séries Climatológicas Curtas. *Revista do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica*, 25 p.
- Putz, R.R. (1952). Statistical Distributions for Ocean Waves. *Trans. Am. Geophys. Union*, 33, pp. 685-692.
- Rebelo, L.P., Brito, P.O., Monteiro, J.H. (2002). Monitoring the Cresmina Dune Evolution (Portugal) Using Differential GPS. *Journal of Coastal Research*, SI 36. pp. 591-604.
- Rebelo, L.P. (2004). Evolução e Dinâmica dos Sistemas Dunares da Manta Rota e do Guincho-Oitavos: Dois Sistemas Distintos na Evolução das Dunas Costeiras de Portugal. Tese de Doutoramento (não publicada). IGM, Portugal. 205 p.
- Reis, A. (2000). Avaliação da Erosão Costeira entre as Praias de S. Pedro de Maceda e do Torrão do Lameiro (Ovar). Tese de Mestrado (não publicada). Universidade de Aveiro, 327 p.
- Richards, J.A., (1993). *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Springer Verlag, Berlin, 276 p.
- Rodrigues, A. (2004). Tectono-Estratigrafia da Plataforma Continental Setentrional Portuguesa. Tese de Doutoramento. Universidade de Lisboa. Edição do Instituto Hidrográfico, nº 35. 229 p.

Rosati, J.D., Walton, T., Bodge, K. (2002). Longshore Sediment Transport. Coastal Engineering Manual, Part III, Coastal Sediment Processes, Chapter III – 2, Engineer Manual 1110-2-1100, Morang, A. (eds), U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC, 113 p.

SABS (1977). South African Bureau of Standards SABS. Code of Practice. Part I. SABS 0135, pp. 7-8.

Seeber, G. (1993). Satellite Geodesy Foundations, Methods and Applications, Walter de Gruyter (eds), 531 p.

Shalowitz, A. L. (1964). Shore and Sea Boundaries, with Special Reference to the Interpretation and Use of Coast and Geodetic Survey Data. Vol. 2, Pub 10-1, U.S. Department of Commerce, Coast and Geodetic Survey, U.S. Government Printing Office, Washington, DC.

Shepard, F. P. (1963). Submarine Geology (2nd edition). A Harper International Edition, New York, 557 p.

Short, A.D. (1975). Multiple Offshore Bars and Standing Waves. Journal of Geophysical Research, 80, pp. 3838-3840.

Short, A.D. (1991). Macro-Meso Tidal Beach Morphodynamics – An Overview. Journal of Coastal Research, 7(2), pp. 417-436.

Short, A.D. (1993). Beaches of the New South Wales Coast. Sydney: Australian Beach Safety and Management Program, 358 p.

Short, A. D. (1999). Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics. Andrew D. Short (eds). John Wiley & Sons Ltd, England, 379 p.

Short, A. D. (1999a). Beaches. *In: Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. Andrew D. Short (eds). John Wiley & Sons Ltd, England, pp. 3-20.

Short, A.D. (1999b). Wave-Dominated Beaches. *In: Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. Andrew D. Short (eds). John Wiley & Sons Ltd, England, pp. 173-203.

Short, A.D. (1999c). Beach Modification: Natural Impacts on Beach Morphodynamics. *In: Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. Andrew D. Short (eds), John Wiley & Sons Ltd. England, pp. 253-270.

Short, A.D. (2003). Australia Beach Systems. The Morphodynamics of Wave Trough Tide-Dominated Beach-Dune Systems. Journal of Coastal Research, SI 35, pp. 07-20.

Short, A.D., Masselink, G. (1999). Embayed and Structurally Controlled Beaches. *In: Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*. Andrew D. Short (eds), John Wiley & Sons Ltd. England, pp. 230-250.

Shoshany, M., Degani, A. (1992). Shoreline Detection by Digital Image Processing of Aerial Photography. Journal of Coastal Research, 8(1), pp. 29-34.

Silva, T. (2005). Obtenção de um MDT de Grande Resolução em Zonas Dunares a Partir de Fotografias Aéreas. Tese de Mestrado (não publicado). Universidade do Porto, 79 p.

- Silvester, R., Hsu, J.R.C. (1997). Coastal Stabilization. Advanced Series on Ocean Engineering, Vol. 14, World Scientific, Singapore, 578 p.
- Smith, G.L., Zarillo, G.A. (1990). Calculating Long-Term Shoreline Recession Rates Using Aerial Photographic and Beach Profiling Techniques. *Journal of Coastal Research*, 1, pp. 111-120.
- Stauble, D.K., Garcia, A.W., Kraus, N.C., Grosskopf, W.G., and Bass, G.P. (1993). Beach Nourishment Project Response and Design Evaluation, Ocean City, Maryland. Technical Report CERC-93-13, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi.
- Stilla, U., Soergel, U., Thoennessen, U. (2003). Potential and Limits of InSAR Data for Building Reconstruction in Build-up Areas. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 58, 113-123.
- Sweers, K.B. (1999). Equilibrium Bays – A Numerical Study after the Behaviour of Equilibrium Bays, MaST III – project SASME, Delft University of Technology.
- Swift, D.J.P. (1976). Continental Shelf Sedimentation. *In: Marine Sediment Transport and Environmental Management*. Stanley, D.J. & Swift, D. (eds.), John Wiley and Sons, New York, pp. 255-310.
- Taborda, R. (1993). Modelação da Dinâmica Sedimentar Induzida pela Ondulação na Plataforma Continental Portuguesa. Tese de Mestrado (não publicada). Universidade de Lisboa, 126 p.
- Taborda, R., Dias, J.M.A. (1989). Recente Sea Level Rise in Portugal (Based on Tide-Gauge Data). *Gaia*, 1, pp. 11-12.
- Teixeira, A. (1980). As Invasões do Mar em Espinho Através dos Tempos. *Boletim Cultural da Câmara Municipal de Espinho*, 7: pp. 209-248 e 8: 387-407.
- Teixeira, S. (1990). Dinâmica das Praias da Península de Setúbal (Portugal). Tese de Mestrado (não publicada). Universidade de Lisboa, 189 p.
- Teixeira, S. (1994). Dinâmica Morfossedimentar da Ria de Aveiro (Portugal). Tese de Doutoramento (não publicada). Universidade de Lisboa, 396 p.
- Teodoro, A.C., Marçal, A.R.S., Gomes, F.V. (2004). Evaluation of Total Suspended Matter Concentration in Wave Breaking Zone Using Multispectral Satellite Images. *Actas da 11th SPIE International Symposium in Remote Sensing*, (in press)
- Terrasat (1999). GeoGenius. User's Manual. Ingenious Postprocessing Software. Spectra Precision Terrasat GmbH, Germany, 4 vols.
- Thieler, E.R., Danforth, W.W. (1994). Historical Shoreline Mapping 1. Improving Techniques and Reducing Positioning Errors. *Journal of Coastal Research*, 10(3), pp. 549-563.
- Toutin, T., Gray, L. (2000). State-of-the-art of Elevation Extraction from Satellite SAR Data. *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 55, pp. 13-33.
- Veloso-Gomes F.F.M. (1991). Algumas Reflexões sobre a Problemática das Obras de Protecção Costeira. *Actas do 2º Simpósio sobre Protecção e Revalorização da Faixa Costeira do Minho ao Liz*, Universidade do Porto, Porto, pp. 128-143.

Veloso-Gomes F.F.M. (1993). The Challenges to Overcome the Problems of NW Coastal Zone of Portugal, *Actas do First International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST 93*, Antalya, Turkey, 2, pp. 823-835.

Veloso-Gomes F.F.M., (1996). A Protecção Costeira. *Actas da 5ª Conferência Sobre a Qualidade do Ambiente*, 1, pp. 385-393.

Veloso Gomes, F., Taveira Pinto, F., Pais Barbosa, J., Neves, L., Coelho, C. (2002). High Risk Situation in the NW Portuguese Coast: Douro River – Cape Mondego. *Actas do 6º Simpósio Internacional - Littoral 2002. The Changing Coast. EUROCOAST/EUCC*, Porto, Portugal, Vol. 2, pp. 411-421.

Veloso Gomes, F., Taveira Pinto, F., Neves, L., Barbosa, J. (2003). EUrosion PROJECT. Guidelines for Developing Local information Systems. Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos. Vol. I, 182 p.

Vidinha, J. M., Andrade, C., Teixeira, S.B. (1997). Análise Morfológica do Cordão Dunar entre Espinho e Cabo Mondego (Portugal). *In: Colectânea de Ideias sobre a Zona Costeira de Portugal*, Editor Associação EUROCOAST-PORTUGAL, Porto, pp. 391-416.

VIM (1984). Vocabulário Internacional de Metrologia - VIM. Termos Fundamentais e Gerais. Ministério da Indústria e Energia, 75 p.

Webb, C.K., Stow, D.A., Baron, K.S. (1989). Morphologic Response of an Inlet Barrier Beach System to a Major Storm. *Shore & Beach*, 57(4), pp. 37-40.

Wehr, A., Lohr, U. (1999). Airbone Laser Scanning. An Introduction and Overview. *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 54, pp. 68-82.

Welch, R., Remillard, M. (1992). Integration of GPS, Remote Sensing and GIS Techniques for Coastal Resource Management. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 58(11), pp. 1571-1578.

Woolard, J.W., Colby, J.D. (2002). Spatial Characterization, Resolution, and Volumetric Change of Coastal Dunes Using Airbone LIDAR: Cape Hatteras, North Carolina. *Geomorphology*, 48, pp. 269-287.

Wright, L.D., Short, A.D. (1984). Morphodynamic Variability of Surf Zones and Beaches: A Synthesis. *Marine Geology*, 56, pp. 93-118.

Wright, L.D., Thom, B.G., (1977). Coastal depositional landforms, a morphodynamic approach. *Progress in Physical Geography*, 1, pp. 412-459.

GLOSSÁRIO

GLOSSÁRIO

ALTITUDE: Distância vertical entre um ponto e uma superfície de referência.

ALTITUDE ELIPSOIDAL DE UM PONTO NA SUPERFÍCIE TERRESTRE (*ellipsoidal height – h*): Distância vertical entre esse ponto e o elipsóide de referência que se considere, medida segundo a normal ao elipsóide (Frel *et al.*, 1993).

ALTITUDE ORTOMÉTRICA OU ELEVAÇÃO DE UM PONTO ACIMA DO NÍVEL MÉDIO DO MAR (*orthometric height – H*): Distância vertical entre esse ponto e o geóide, medida segundo a vertical ao geóide (Frel *et al.*, 1993).

ALTITUDE GEOIDAL (*geoidal height N*): Diferença entre as alturas elipsoidal e ortométrica, representando a separação vertical entre o elipsóide de referência e o geóide (Frel *et al.*, 1993). Corresponde ao conceito de ondulação do geóide.

ALTURA: Distância entre a base e o topo de um objecto.

ATITUDE (*attitude*): Conjunto de parâmetros que permitem definir a orientação relativa dos principais eixos de um corpo relativamente a um sistema de coordenadas de referência. A atitude é caracterizada por três componentes: a inclinação lateral (*roll*), o mergulho (*pitch*) e o azimute (*heading*). A definição de atitude pode ser aplicada a vários domínios científicos. Em geologia, define-se a atitude de uma lineação ou um plano (ex: a superfície de um afloramento). Em engenharia pode ser aplicada a qualquer corpo. Ver também INCLINAÇÃO LATERAL, MERGULHO e AZIMUTE.

ALTÍMETRO: Instrumento de medida para determinação da altitude.

AZIMUTE OU RUMO (*heading*): Ângulo medido, no plano horizontal, entre o eixo longitudinal de um corpo e o norte magnético. É uma das três componentes que permitem caracterizar a atitude de um corpo.

BANDA: Um determinado conjunto de comprimentos de onda que correspondem, normalmente, a uma faixa estreita do espectro electromagnético (CCRS, 2005).

CÂMARA FOTOGRÁFICA DIGITAL: Câmara que regista, sob a forma electrónica, a radiação electromagnética. Utiliza uma emulsão de sílica disposta numa grelha, que se designa de “Charge Coupled devices” – CCD. Cada célula dessa grelha responde individualmente à radiação electromagnética. A energia, ao atingir a superfície do CCD, gera uma carga eléctrica que é proporcional em magnitude ao brilho da área representante do alvo. O registo é efectuado em formato numérico, dito digital, recorrendo a uma matriz numérica em que é atribuído um determinado valor para cada banda espectral, a qual corresponde a um pixel da imagem.

CANAL: Dispositivo presente num sensor que permite seleccionar e armazenar uma faixa estreita de comprimentos de onda do espectro electromagnético (CCRS, 2005).

COORDENADAS CARTESIANAS OU RECTANGULARES: Sistema de coordenadas, no plano (ou no espaço tridimensional), que utiliza duas (ou três) medidas de distâncias a dois (ou três) eixos, perpendiculares entre si, para referenciar posições. No caso dos sistemas de coordenadas planas, os eixos são, geralmente, designados por eixo das abcissas e eixo das ordenadas (Gaspar, 2004).

COORDENADAS GEODÉSICAS: Sistema de coordenadas, rectangulares ou geográficas, definido numa determinada superfície de referência geodésica. Ver **COORDENADAS CARTESIANAS OU RECTANGULARES** e **COORDENADAS GEOGRÁFICAS**.

COORDENADAS GEOGRÁFICAS: Refere-se à latitude e longitude, definidas na superfície terrestre, ou numa superfície de referência.

CORRELAÇÃO: Forma de modelação estatística que procura analisar como um conjunto de dados varia em função de outro. Um coeficiente de correlação positivo (+ 1.0) significa que quando há valores elevados num conjunto de dados, também haverá valores elevados no outro conjunto. Um coeficiente de correlação negativo (- 1.0) significa que quando há valores elevados num conjunto de dados haverá valores baixos no outro. Um coeficiente de correlação de 0.0 significa que não há uma relação discernível entre os dois conjuntos.

CORRENTES DE COMPENSAÇÃO (*upwelling*): Correntes que afectam as massas de água que, tendendo a restabelecer o equilíbrio hidrostático, vão substituir as massas de água deslocadas por impulso mecânico ou por densidade (Moreira, 1984).

Tem havido alguma dificuldade em encontrar uma designação de aplicação geral para o léxico português. São frequentemente utilizadas as expressões “afloramento costeiro” e “ressurgência costeira” para designar o *upwelling*. Contudo, conforme referem Dias (1987) e Magalhães (1999), estas designações têm um significado preciso em geologia, diferente do associado a *upwelling*.

Magalhães (1999) utiliza o termo *upwelling* e define-o como o processo pelo qual as águas oceânicas superficiais são dirigidas para o largo, devido a mecanismos atmosféricos e oceânicos, sendo substituídas por águas mais profundas, mais frias e ricas em nutrientes.

CORRENTE DE DERIVA LITORAL: Consiste numa corrente induzida pela ondulação, a qual é responsável pelo transporte de sedimentos. Entre os principais factores que controlam a direcção, o sentido e a intensidade da corrente de deriva, são de referir a batimetria, as fontes sedimentares, o clima de agitação marítima, as variações do nível do mar, o vento e ainda a orientação do litoral considerado (Magalhães, 1999). Ver também DERIVA LITORAL POTENCIAL, DERIVA LITORAL EFECTIVA, TRANSPORTE SEDIMENTAR BRUTO e TRANSPORTE SEDIMENTAR RESIDUAL.

COTA: Distância vertical, à superfície da Terra, entre um ponto e um nível arbitrário tomado como referência.

DERIVA LITORAL POTENCIAL: Representa a capacidade de transporte sólido, num determinado segmento litoral, em função de parâmetros da agitação marítima. A potência da onda (função da altura da onda) e o rumo médio da potência são, normalmente, considerados como factores condicionantes da deriva litoral potencial. Para estimativa da deriva litoral potencial são, normalmente, utilizadas fórmulas matemáticas, nomeadamente a fórmula CERC (Rosati *et al.*, 2002), ou a expressão de Kamphuis (Kamphuis, 2000).

DERIVA LITORAL EFECTIVA: Constitui o transporte sólido que efectivamente ocorre num determinado segmento litoral, o qual é condicionado, essencialmente, pela disponibilidade sedimentar.

ESPECTÓMETRO: Instrumento usado para medir a intensidade da radiação ou para determinar o comprimento de onda da radiação emitida por uma determinada fonte (CCRS, 2005).

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO: Conjunto de comprimentos de onda ou frequências da radiação electromagnética que se estendem desde as ondas rádio até aos raios cósmicos.

EXACTIDÃO (*accuracy*): É a aproximação entre o resultado da medição e o valor (convencionalmente) verdadeiro da grandeza medida (VIM, 1984).

FOTÓMETRO: Instrumento usado para medir a intensidade de luz numa determinada faixa do espectro electromagnético (CCRS, 2005).

GRADE: Padrão geométrico formado por duas famílias de linhas numa superfície, com a finalidade de referenciar áreas e posições sobre ela.

INCLINAÇÃO LATERAL (*roll*): Define-se como o ângulo medido, entre o eixo transversal de um corpo e um sistema de coordenadas de referência, medido no plano vertical que o contém. É uma das três componentes que permitem caracterizar a atitude de um corpo.

INTERPOLAÇÃO: Define-se como um procedimento que permite obter valores ou atributos de locais não amostrados a partir de medidas efectuadas em pontos situados na sua vizinhança (Burrough e McDonnell, 1998).

INVERSO DA DISTÂNCIA (*Inverse Distance Weight*): Método de interpolação que consiste em assumir que o valor de um determinado ponto não visitado (não amostrado) é uma função da média da distância pesada dos valores de pontos que ocorrem na vizinhança desse ponto (Burrough e McDonnell, 1998).

KRIGAGEM (*kriging*): Método de interpolação que permite, a partir dos valores de um conjunto de dados relativos a pontos com localizações conhecidas, prever valores para uma determinada área de interpolação, com base na utilização de um modelo de variograma (Burrough e McDonnell, 1998). Ver VARIOGRAMA.

LASER: Instrumento usado para converter energia num feixe direccionado de luz coerente (CCRS, 2005).

MERGULHO (*pitch*): Define-se como o ângulo medido, entre o eixo longitudinal de um corpo e um sistema de coordenadas de referência, medido no plano vertical que o contém. É uma das três componentes que permitem caracterizar a atitude de um corpo.

MERIDIANA: Linha de abcissa constante numa quadrícula cartográfica.

MÉTODOS GLOBAIS DE INTERPOLAÇÃO: Adaptam a todos os pontos observados um polinómio bidimensional. Esse polinómio, ou superfície, verifica todos os pontos. Neste caso, terá tantos termos quantos os pontos observados, o que pode constituir um obstáculo à computação. Em alternativa, esse polinómio pode adaptar-se aos pontos pelo método dos mínimos quadrados, sendo, por conseguinte, de grau mais baixo. O modelo final terá dificuldades em traduzir irregularidades locais.

MÉTODOS LOCAIS DE INTERPOLAÇÃO: Envolvem a interpolação individual em cada nó da grelha, assumindo as relações de similaridade e correlação, na componente da altitude, com os pontos vizinhos, através do estabelecimento de um raio de procura. Os métodos locais envolvem, normalmente, dois tipos de abordagens. Uma delas recorre a funções de ajuste e a outra a médias pesadas. Ver INVERSO DA DISTÂNCIA, KRIGAGEM, MÍNIMA CURVATURA, REDE DE TRIÂNGULOS IRREGULAR, VIZINHO MAIS PRÓXIMO e VIZINHO NATURAL.

MÉTODOS REGIONAIS DE INTERPOLAÇÃO: Fazem uma divisão dos pontos observados por regiões, cabendo, a cada uma, um polinómio de baixa ordem, por regressão. Estes métodos têm a vantagem, relativamente aos globais, de conseguirem a representação do relevo de forma detalhada e com reduzido tempo de computação. Como desvantagem podem notar-se as zonas de separação entre as regiões criadas.

MÍNIMA CURVATURA (*Minimum Curvature Spline - MCS*): Método de interpolação que consiste no ajuste de uma curva polinomial a conjuntos reduzidos de pontos amostrados, de forma a obter uma representação espacial suavizada da variação entre dados. Este método pode ser usado de forma exacta respeitando os valores dos pontos amostrados (Burrough e McDonnell, 1998).

MODELOS DIGITAIS DE SUPERFÍCIE (*Digital Surface Model – DSM*): Modelos de elevação do terreno, aos quais foram aplicados filtros para remover determinadas entidades como, por exemplo, construções humanas ou vegetação. Ver MODELO DE ELEVAÇÃO DO TERRENO e MODELO DIGITAL DO TERRENO.

MODELO DIGITAL OU NUMÉRICO DO TERRENO (*Digital Terrain Model - DTM*): Representação da superfície terrestre num referencial tridimensional, com duas das suas componentes definidas segundo duas direcções ortogonais (componente planimétrica) e a terceira componente, normal ao plano definido pelas anteriores, dizendo respeito à variação espacial de uma dada variável, como seja a temperatura, a humidade, a pressão, a altitude, etc.. Ver **MODELO DE ELEVAÇÃO DO TERRENO** e **MODELO DIGITAL DE SUPERFÍCIE**.

MODELO DE ELEVAÇÃO DO TERRENO (*Digital Elevation Model - DEM*): Representação da superfície terrestre, num referencial tridimensional, com duas das suas componentes definidas segundo duas direcções ortogonais (componente planimétrica) e a terceira componente, normal ao plano definido pelas anteriores, contendo informação relativa à altitude. Pode ser considerado como um tipo específico de modelo digital do terreno. Ver **MODELO DIGITAL DO TERRENO** e **MODELO DIGITAL DE SUPERFÍCIE**.

MORFODINÂMICA: Termo introduzido, pela primeira vez na literatura costeira, por Wright e Thom (1977). Foi definido, por estes autores, como o ajuste mútuo entre a topografia e a dinâmica de fluidos, envolvendo o transporte de sedimentos.

PARALELA: Linha de ordenada constante numa quadrícula cartográfica.

PIXEL: Área da superfície da Terra que é representada num formato digital por um elemento singular de área e dimensão definidos. Esse elemento tem associado um valor numérico referente ao nível de contraste luminoso (CCRS, 2005).

POLARÍMETRO: Instrumento que permite medir a quantidade de radiação polarizada ou o grau de polarização da energia electromagnética recebida de uma determinada fonte (CCRS, 2005).

POSIÇÃO: Localização de um objecto à superfície da Terra, ou perto desta, expressa através de um sistema de coordenadas geográficas, ou de um sistema de coordenadas cartográficas, de uma grade, ou ainda, através de distâncias ou azimutes a um ponto de coordenadas conhecidas.

POSICIONAMENTO: Conjunto de técnicas e métodos utilizados na determinação da posição à superfície da Terra, ou perto desta (em aeronaves ou subsolo).

PRAIAS DISSIPATIVAS: As praias designam-se por dissipativas quando assumem um perfil que permite dissipar a elevada energia da onda. Em termos energéticos representam o limite superior do espectro hidrodinâmico. Em termos morfológicos, as praias dissipativas caracterizam-se por apresentar uma zona de espalho bastante larga, de declive suave, ao longo da qual ocorre a rebentação progressiva das ondas (*spilling breaker*), as quais dissipam, dessa forma, a sua energia, donde a designação de praia dissipativa. No perfil da praia emersa destaca-se o declive suave da face da praia.

PRAIAS INTERMÉDIAS: As praias intermédias representam um estado intermédio entre o dissipativo e o reflectivo. A sua principal característica morfológica é a presença de uma zona de espalho, na qual estão presentes barras e canais. A forma como as morfologias da praia submersa se dispõem longilitoralmente permite individualizar quatro estados, os quais são também uma função da variação do nível energético. Esses quatro estados designam-se da seguinte forma: terraço de maré baixa (*Low Tide Terrace – LTT*); barra transversal e correntes de retorno (*Transverse bar and rip state” – TBR*); formas rítmicas de barra e praia (*Rhythmic bar and beach stage – RBB*) e Barra e canal longilitoral (*Longshore Bar and trough – LBT*). A rebentação associada costuma ser do tipo mergulhante (*plunging breaker*) ou frontal (*collapsing breaker*). Ver também PRAIAS DISSIPATIVAS e PRAIAS REFLECTIVAS.

PRAIAS REFLECTIVAS: As praias designam-se por reflectivas quando assumem um perfil que permite reflectir a energia da onda. Em termos energéticos representam o limite inferior do espectro hidrodinâmico. Em termos morfológicos, as praias reflectivas caracterizam-se por apresentar uma zona de espalho relativamente estreita. No perfil da praia emersa destaca-se a presença de cúspides e de uma face de praia de declive acentuado. A rebentação é, neste caso, do tipo ascendente (*surging breaker*).

PRECISÃO (*precision*): É capacidade de obter resultados consistentes mediante a realização de observações repetidas. O SASB (1977) define-o como “*The extent of agreement between repeated observations*”.

RADAR: Sensor activo de detecção remota. Envia pulsos de microondas e recebe o eco reenviado pelo alvo. A intensidade do sinal reenviado é usado para distinguir diferentes alvos e o intervalo de tempo entre os sinais transmitido e reflectido é usado para determinar a distância ao alvo (CCRS, 2005).

RADIÓMETRO: Instrumento que permite quantificar a intensidade de radiação electromagnética numa determinada banda de comprimentos de onda do espectro electromagnético (CCRS, 2005).

REDE DE TRIÂNGULOS IRREGULARES (*Triangular Irregular Interpolation – TIN*). Método de interpolação que consiste em unir valores de pontos conhecidos, de forma a formar triângulos aos quais é efectuado o ajuste de uma função polinomial (Burrough e McDonnell, 1998).

REPETIBILIDADE: É a aproximação entre os resultados de medições sucessivas de uma mesma grandeza, efectuada com a aplicação da totalidade das condições seguintes: mesmo método de medição, mesmo observador, mesmo instrumento de medição, mesmo local, mesmas condições de utilização e repetição em instantes sucessivos (VIM, 1984).

RESOLUÇÃO ESPACIAL: Medida da menor distância angular ou linear entre dois objectos, expressa, normalmente, em metros ou radianos (CCRS, 2005).

RESOLUÇÃO ESPECTRAL: Capacidade de um sistema de detecção remota para diferenciar radiações electromagnéticas de diferentes frequências (CCRS, 2005).

RESOLUÇÃO RADIOMÉTRICA: Extensão de variação da reflectividade que é observada numa imagem (CCRS, 2005).

SENSOR HIPERESPECTRAL: Sensor que possui um dispositivo que permite detectar e quantificar radiação electromagnética simultaneamente num número elevado, por vezes de várias centenas, de bandas contíguas do espectro electromagnético (CCRS, 2005).

SENSOR MULTIESPECTRAL: Sensor que possui um dispositivo que permite detectar e quantificar radiação electromagnética simultaneamente em várias bandas espectrais (CCRS, 2005).

SENSOR PANCROMÁTICO: Sensor que possui um dispositivo que permite detectar e quantificar radiação electromagnética em todos os comprimentos de onda do espectro visível, embora de forma não uniforme (CCRS, 2005).

SIGNIFICÂNCIA: Parâmetro de um teste estatístico que considera como hipótese a validar (estatisticamente) a seguinte premissa: “Duas variáveis em estudo são não correlacionadas”. Calculando o coeficiente de correlação de uma amostra de n elementos ($n - 2$ graus de liberdade), é

possível averiguar se esse valor é inferior ao valor tabelado para um determinado nível de significância. Se tal ocorrer, então conclui-se que a hipótese em teste é verdadeira, sendo a certeza associada expressa por um determinado nível de probabilidade.

SISTEMA DE DETECÇÃO REMOTA PASSIVA: Aquele que detecta ou mede as radiações emitidas ou reflectidas por um determinado alvo.

SISTEMA DE DETECÇÃO REMOTA ACTIVA: Aquele que transmite as suas próprias emanações electromagnéticas em direcção a um determinado alvo e regista a energia reflectida em direcção ao sensor.

SISTEMA DE NAVEGAÇÃO INERCIAL: É um sistema constituído por uma unidade de medição inercial (IMU) e uma componente de processamento de dados. Este sistema permite a determinação da posição e aceleração linear e da atitude e variação de atitude do veículo onde se encontra instalado. Ver UNIDADE DE MEDIÇÃO INERCIAL.

TRANSFORMAÇÃO DE BURSA-WOLF: Modelo matemático que relaciona coordenadas geodésicas rectangulares relativamente a *data* geodésicos diferentes (Gaspar, 2004).

TRANSFORMAÇÃO DE MOLODENSKY: Modelo de transformação de coordenadas geográficas entre *data* geodésicos diferentes (Gaspar, 2004).

TRANSPORTE SEDIMENTAR BRUTO (*gross transport*): Num determinado segmento litoral considera-se, como transporte sedimentar bruto, o somatório dos transportes sedimentares que ocorrem, independentemente do sentido em que o mesmo possa ocorrer. Normalmente, é quantificado em metros cúbicos por ano.

TRANSPORTE SEDIMENTAR RESIDUAL OU RESULTANTE (*net transport*): Num determinado segmento litoral considera-se, como transporte sedimentar residual ou resultante, aquele que é obtido pelo cálculo da diferença entre os transportes sedimentares que ocorrem, ao longo de um determinado tempo, em ambos os sentidos desse segmento litoral. Num segmento litoral com direcção geral Norte – Sul, a resultante será na direcção Sul se, ao longo de um determinado período de tempo, o transporte sedimentar no sentido Sul for superior ao que ocorre para Norte. Normalmente, é quantificado em metros cúbicos por ano. O transporte sedimentar residual representa a deriva litoral residual, a qual, quando se encontra saturada, permite manter as

praias em equilíbrio. Um fornecimento de sedimentos inferior aos valores de saturação da deriva residual dará origem a fenômenos de erosão das praias, enquanto que um fornecimento superior poderá originar acreção.

TRILATERAÇÃO: Técnica de transporte de coordenadas utilizada em geodesia e topografia, baseada na medição de distâncias entre estações (Gaspar 2004). Ver TRIANGULAÇÃO.

TRIANGULAÇÃO: Técnica de transporte de coordenadas utilizada em geodesia e topografia, baseada no estabelecimento de uma rede triangular de pontos no terreno, cujas coordenadas são determinadas a partir da medida dos ângulos horizontais (Gaspar 2004). Ver TRILATERAÇÃO.

UNIDADE DE MEDIÇÃO INERCIAL: Instrumento constituído por sensores de aceleração linear e angular que determinam a variação de velocidade linear (aceleração linear) e a variação de velocidade de rotação (aceleração angular). Ver SISTEMA DE NAVEGAÇÃO INERCIAL.

VARIOGRAMA: Gráfico que representa os valores da variância de uma variável regionalizada em função da distância entre os pontos amostrados. É uma medida do grau de continuidade espacial da variável a que respeita. Pode ser experimental, quando diz respeito à amostragem de que se dispõe, ou pode ser ajustado a um modelo teórico.

VIZINHO MAIS PRÓXIMO (*Nearest neighbor*): Método de interpolação que consiste em atribuir, a um determinado conjunto de pontos não amostrados, os valores de pontos amostrados presentes na sua vizinhança. Método muito usado quando os pontos amostrados apresentam uma distribuição espacial muito regular, e necessitam ser convertidos para uma grelha.

VIZINHO NATURAL (*Natural neighbor*): Método de interpolação que consiste em atribuir, a um determinado conjunto de pontos não amostrados, a média pesada dos valores de pontos amostrados presentes na sua vizinhança.

ANEXOS

ANEXOS AO CAPÍTULO V

A Obras de defesa costeira construídas no sector foz do rio Douro-praia do Poço da Cruz.

Localidade	Tipo de obra	Início de construção	Fim de construção
Aguda	Quebramar	2001	2002
Espinho	Esporão	1981	1982
Silvalde	Esporão	1981	1982
Paramos	Esporão	1985	1985
Esmoriz	Esporão	1985	1987
Cortegaça	Enrocamento	1975	1975
	Esporão	1989	1989
S. Pedro de Maceda	Esporão	1990	1990
	Esporão	1998	1998
Furadouro	Esporões e enrocamento	197?	197?
Barra	Esporão	195?	195?
Costa Nova	Enrocamento	1972	1973
	Esporão	1972	1973
Vagueira	Enrocamento	1978	1978
	Esporão	1979	1979
Areão	Esporão	2002	2003
Poço da Cruz	Esporão	2002	2003

Localidade	Tipo de obra	Ínicio de construção	Fim de construção
Aguda	Quebramar	2001	2002
Espinho	Esporão	1981	1982
Silvalde	Esporão	1981	1982
Paramos	Esporão	1985	1985
Esmoriz	Esporão	1985	1987
Cortegaça	Enrocamento	1975	1975
	Esporão	1989	1989
S. Pedro de Maceda	Esporão	1990	1990
	Esporão	1998	1998
Furadouro	Esporões e enrocamento	197?	197?
Barra	Esporão	195?	195?
Costa Nova	Enrocamento	1972	1973
	Esporão	1972	1973
Vagueira	Enrocamento	1978	1978
	Esporão	1979	1979
Areão	Esporão	2002	2003
Poço da Cruz	Esporão	2002	2003

ANEXOS AO CAPÍTULO VI

- A Distribuição das observações por rumos relativamente à bóia ondógrafo de Leixões, para os anos de 2001 a 2003.

- B Representação gráfica de todos os registos das bóias ondógrafo nos meses em que ocorreram temporais. Identificam-se os temporais e as respectivas máximas alturas significativas em cada um deles. No eixo das abcissas indica-se o dia do mês e o número de registos (ex: 27,10 deve ler-se: registo da bóia ondógrafo número 10 do dia 27).

ANEXO A

BÓIA ONDÓGRAFO DE LEIXÕES 2001										
Mês	% Falhas		S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
Maio	67.7	% obs.					20.00	60.00	10.00	10.00
		Hso (m)					1.23	1.25	1.52	1.55
		Tp (s)					9.71	11.20	6.03	6.60
Junho	1.6	% obs.						33.33	36.66	30.00
		Hso (m)						1.57	1.22	1.15
		Tp (s)						10.03	8.85	8.23
Julho	3.2	% obs.						38.71	54.83	6.45
		Hso (m)						1.31	1.61	2.11
		Tp (s)						8.97	8.84	10.76
Agosto	1.2	% obs.						22.58	77.42	
		Hso (m)						1.33	1.37	
		Tp (s)						10.50	9.14	
Setembro	0.83	% obs.				3.33	13.33	16.66	33.33	33.33
		Hso (m)				1.58	1.79	1.37	1.53	1.31
		Tp (s)				9.86	11.61	10.81	10.19	8.82
Outubro	33.46	% obs.					13.63	36.36	50.00	
		Hso (m)					2.16	2.26	2.65	
		Tp (s)					9.71	10.91	12.78	
Novembro	0	% obs.						16.66	56.66	26.66
		Hso (m)						1.22	1.67	1.72
		Tp (s)						12.77	14.01	10.97
Dezembro	0	% obs.	3.23			6.45	25.80	19.35	41.93	3.23
		Hso (m)	1.03			1.48	1.42	1.36	1.65	1.35
		Tp (s)	6.76			9.48	12.57	11.99	11.60	11.04

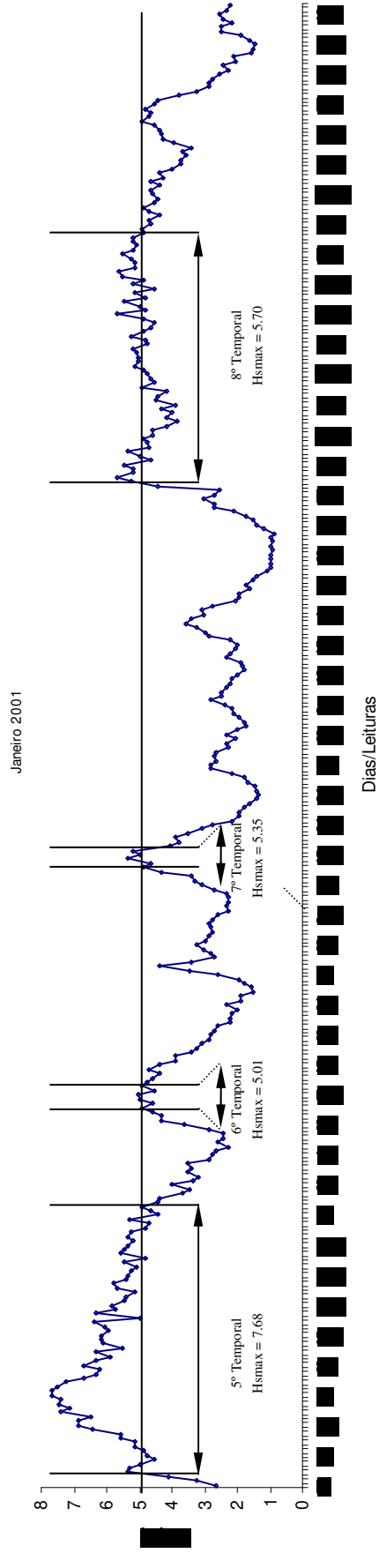
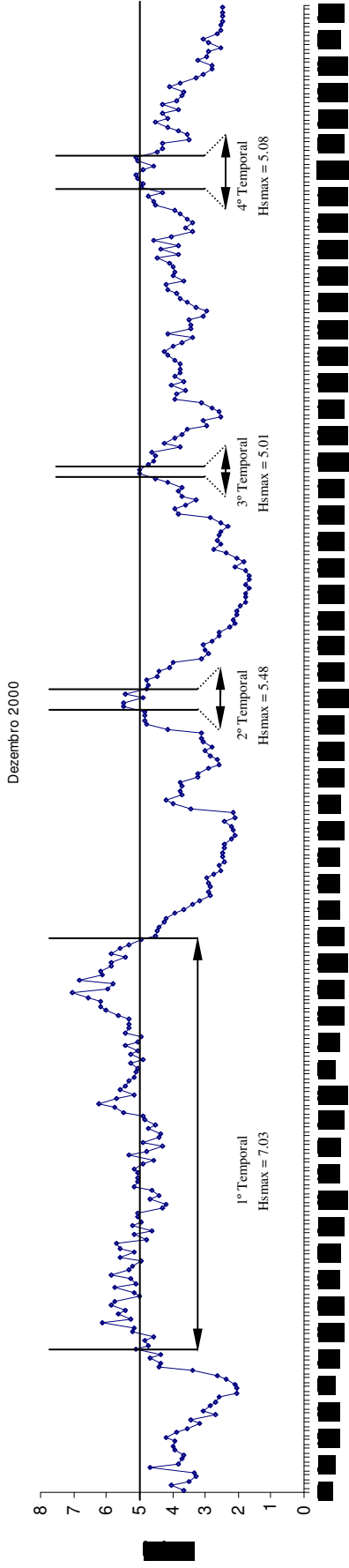
ANEXO A

BÓIA ONDÓGRAFO DE LEIXÕES 2002										
Mês	% Falhas		S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
Janeiro	0	% obs.		3.23	3.23	3.23	6.45	80.64	3.23	
		Hso (m)		2.45	1.60	2.59	5.34	3.11	2.67	
		Tp (s)		9.75	8.69	9.48	15.15	13.56	13.23	
Fevereiro	1.3	% obs.						53.57	39.28	7.14
		Hso (m)						3.74	2.56	2.98
		Tp (s)						13.91	12.71	12.49
Março	2.41	% obs.					22.58	32.26	41.93	3.23
		Hso (m)					2.83	2.58	2.55	1.77
		Tp (s)					11.88	12.59	12.27	9.20
Abril	2.5	% obs.						33.33	53.33	13.33
		Hso (m)						2.30	2.35	2.59
		Tp (s)						12.08	11.97	8.67
Maio	1.6	% obs.					6.45	38.70	54.83	
		Hso (m)					1.96	2.49	2.28	
		Tp (s)					7.67	11.45	10.84	
Junho	17.08	% obs.					3.85	30.77	53.85	11.54
		Hso (m)					2.20	1.70	1.84	1.71
		Tp (s)					12.85	10.17	9.50	7.69
Julho	10.48	% obs.						10.71	75.00	14.29
		Hso (m)						0.80	1.35	1.45
		Tp (s)						8.60	6.91	6.17
Agosto	0.8	% obs.						19.35	54.83	25.80
		Hso (m)						0.86	1.13	1.39
		Tp (s)						7.51	7.50	6.21
Setembro	65.83	% obs.				9.09			81.81	9.09
		Hso (m)				0.61			1.15	1.57
		Tp (s)				6.38			8.95	9.99
Outubro	100	% obs.								
		Hso (m)								
		Tp (s)								
Novembro	100	% obs.								
		Hso (m)								
		Tp (s)								
Dezembro	0.8	% obs.			6.45	9.68	22.58	41.93	19.35	
		Hso (m)			2.73	2.17	4.07	2.65	2.49	
		Tp (s)			9.46	8.77	10.24	10.40	10.30	

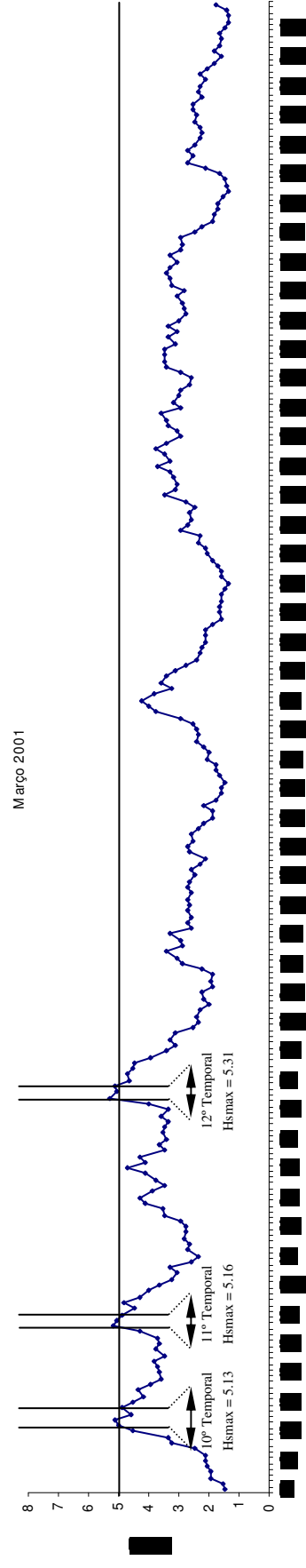
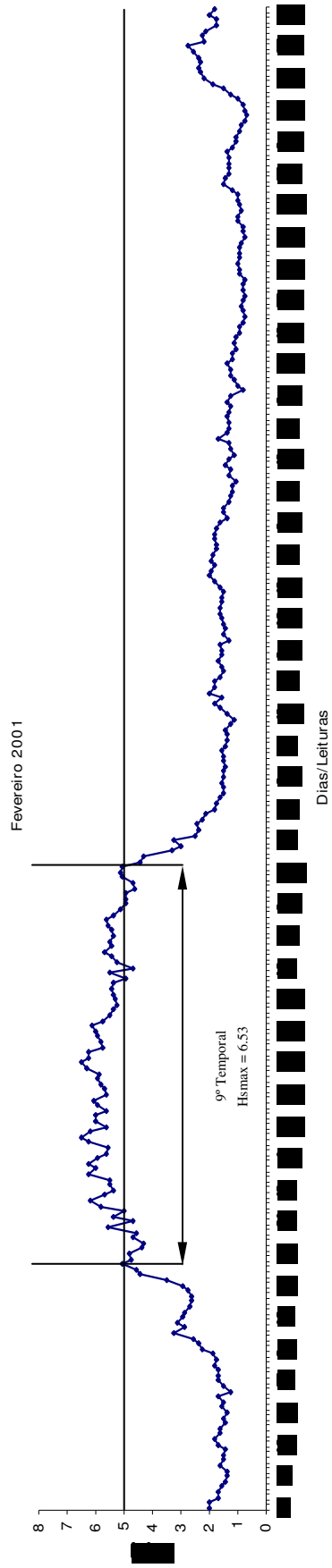
ANEXO A

BÓIA ONDÓGRAFO DE LEIXÕES 2003										
Mês	% Falhas		S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
Janeiro	0	% obs.					16.13	67.74	16.13	
		Hso (m)					3.20	3.22	3.07	
		Tp (s)					11.86	13.40	11.74	
Fevereiro	0	% obs.				3.57	7.14	50.00	32.14	7.14
		Hso (m)				3.57	2.80	3.20	2.68	2.17
		Tp (s)				11.98	10.61	14.44	13.05	11.32
Março	0	% obs.				3.23	3.23	51.61	41.93	
		Hso (m)				2.19	3.25	2.71	1.83	
		Tp (s)				9.45	14.06	13.81	12.21	
Abril	0	% obs.				13.33	16.66	46.66	13.33	10.00
		Hso (m)				3.23	1.71	2.31	2.41	1.39
		Tp (s)				9.81	9.75	11.53	11.87	11.19
Maio	0	% obs.						45.16	54.83	
		Hso (m)						1.55	1.91	
		Tp (s)						10.04	10.06	
Junho	0	% obs.						70.00	30.00	
		Hso (m)						1.37	1.67	
		Tp (s)						9.99	9.92	
Julho	0	% obs.						32.26	58.06	9.68
		Hso (m)						1.47	1.19	1.15
		Tp (s)						8.75	7.92	6.01
Agosto	0	% obs.					3.23	45.16	48.39	3.23
		Hso (m)					0.67	1.26	1.00	1.02
		Tp (s)					8.21	8.57	8.52	7.93
Setembro	0	% obs.				3.33	20.00	36.66	33.33	6.66
		Hso (m)				1.18	1.25	1.19	1.47	1.30
		Tp (s)				8.18	9.93	10.64	8.98	8.54

ANEXO B

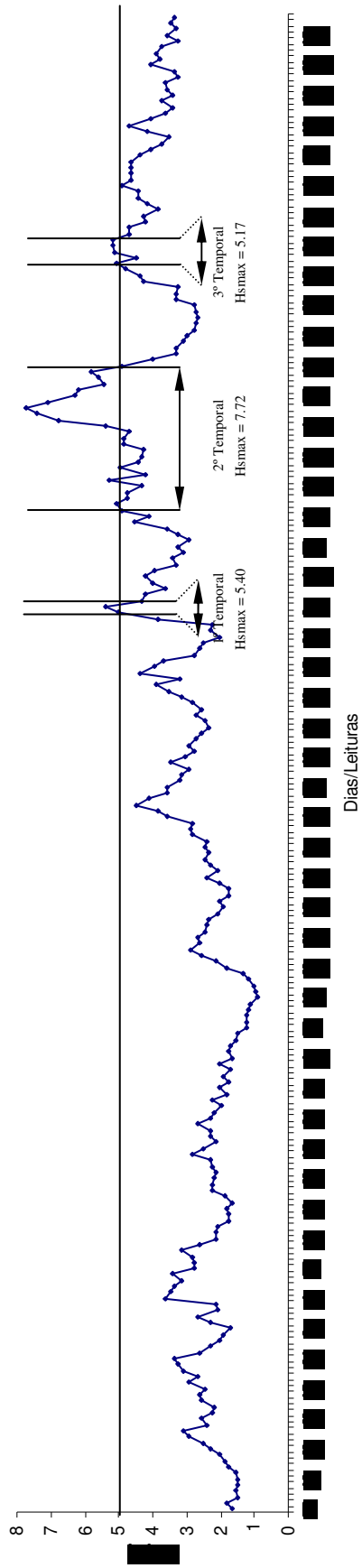


ANEXO B

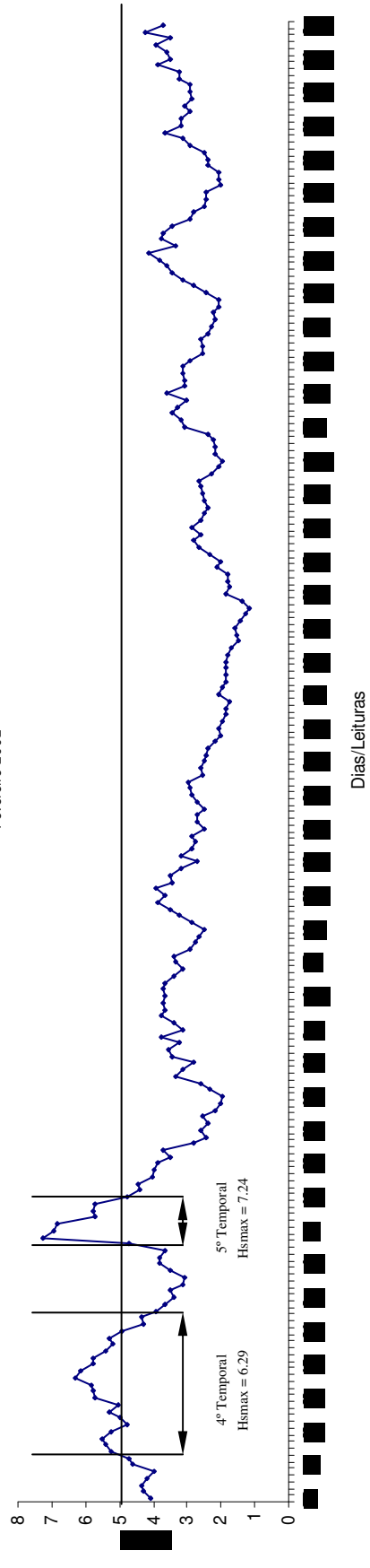


ANEXO B

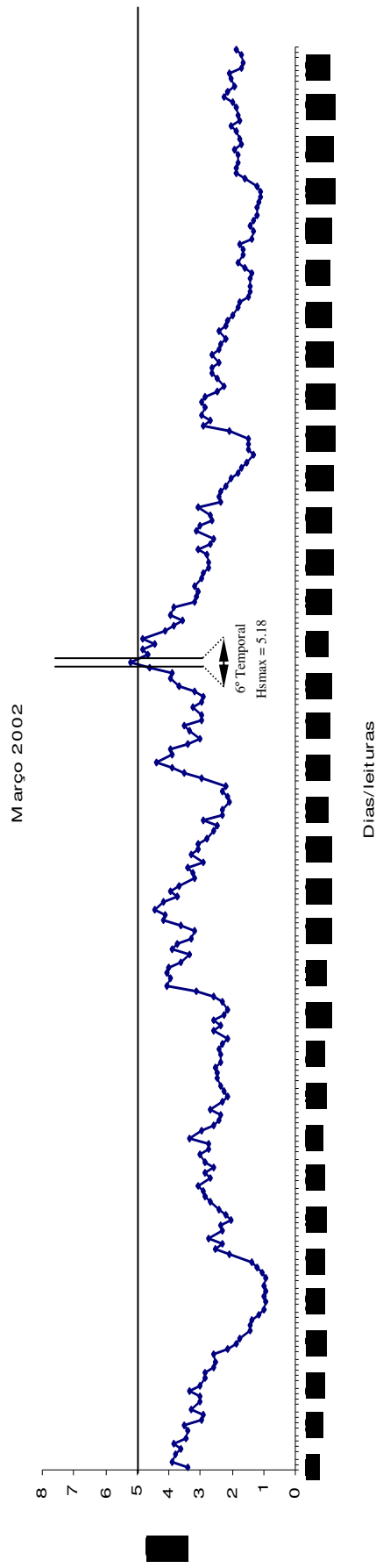
Janeiro 2002



Fevereiro 2002

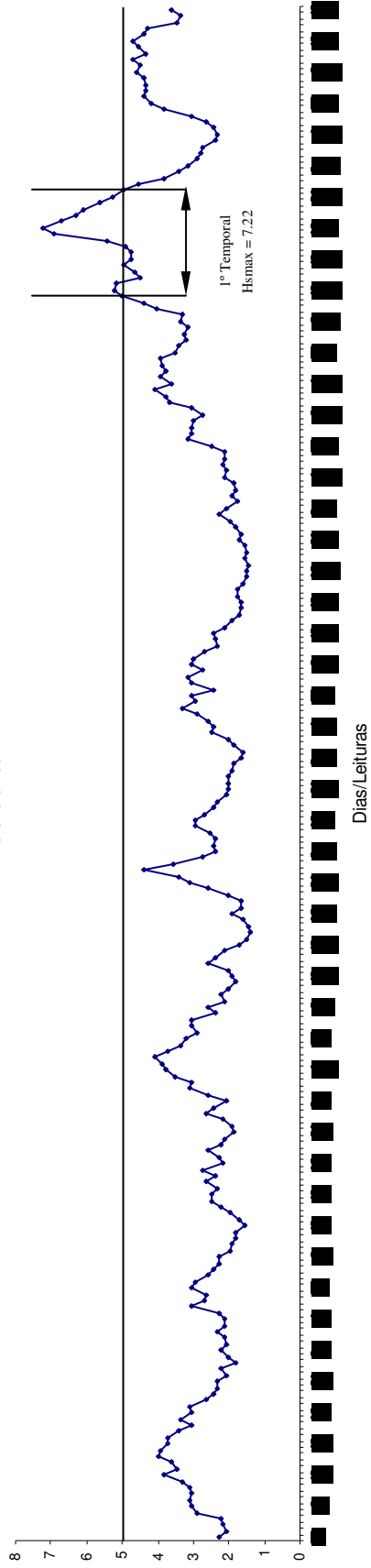


ANEXO B

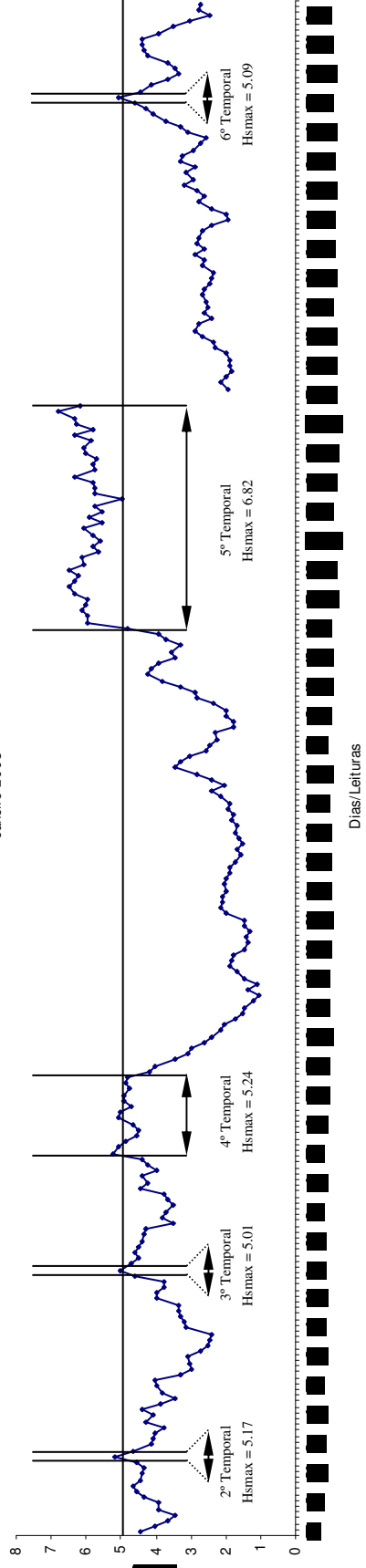


ANEXO B

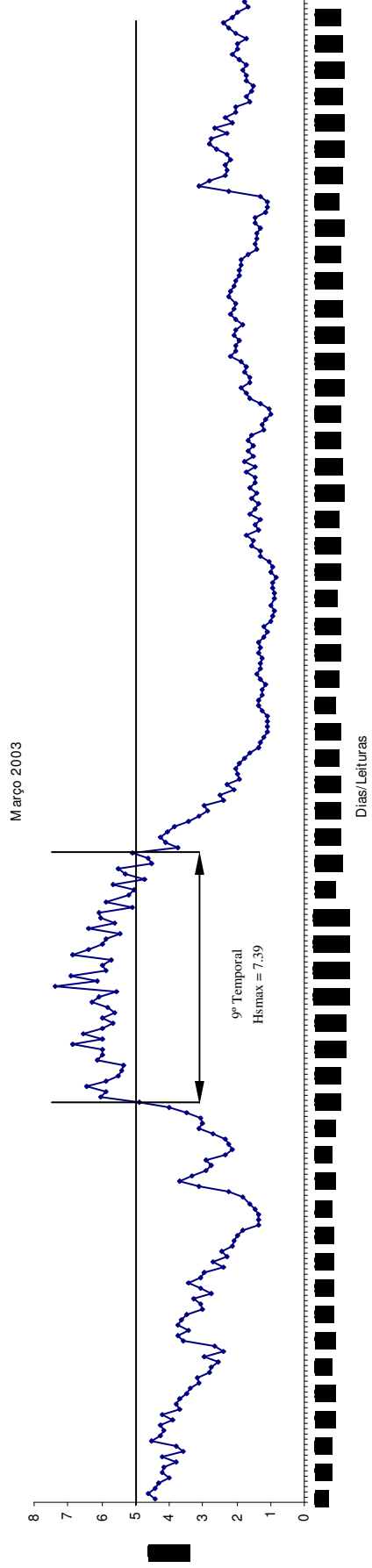
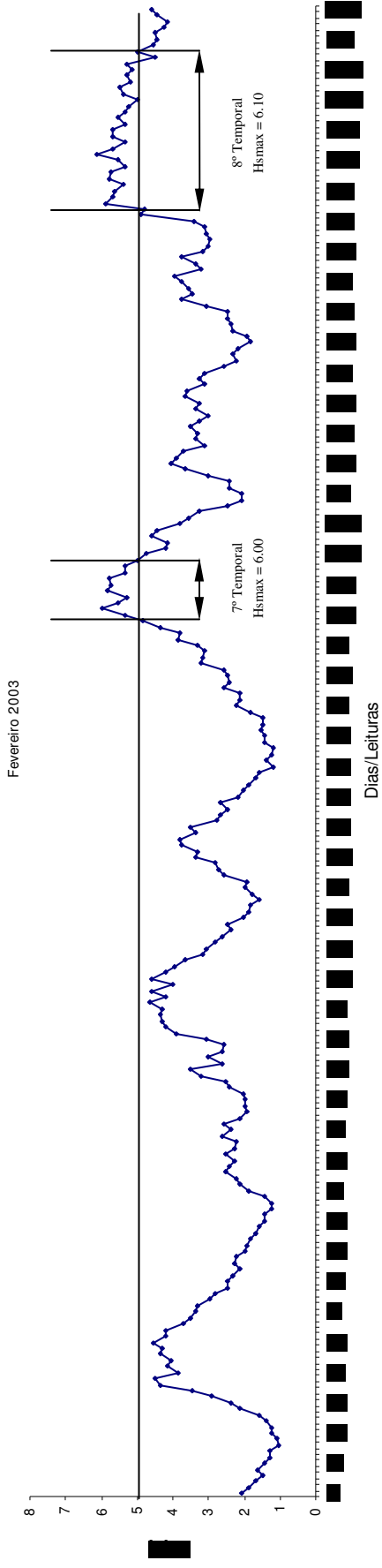
Dezembro 2002



Janeiro 2003



ANEXO B



ANEXO AO CAPÍTULO VII

Datas e condições de maré nos trabalhos de campo realizados na restinga do Rio Douro.

Campanhas	Datas dos levantamentos	Período da monitorização	Maré (m)	Hora
2001				
1ª Campanha	9 Junho	Das 10h00 às 13h00	1.0	11h39
2ª Campanha	16 Setembro	Das 8h00 às 11h00	0.6	8h35
3ª Campanha	02 Dezembro	Das 8h30 às 11h30	0.6	9h29
2002				
1ª Campanha	2 Março	Das 9h30 às 12h30	0.3	11h00
2ª Campanha	13 Maio	Das 10h00 às 12h30	0.7	10h11
3ª Campanha	7 Setembro	Das 9h00 às 11h30	0.5	9h37
4ª Campanha	21 Dezembro	Das 11h15 às 13h07	0.8	9h42
	23 Dezembro	Das 10h53 às 12h07	0.8	11h06
2003				
1ª Campanha	03 Março	Das 9h00 às 10h30	0.6	9h13
	04 Março	Das 9h30 às 12h30	0.6	9h45
2ª Campanha	13 Junho	Das 8h30 às 11h30	0.5	8h32
	16 Junho	Das 17h00 às 19h00	3.6	17h14
3ª Campanha	10 Setembro	Das 9h00 às 11h30	0.7	9h25
	11 Setembro	Das 9h00 às 12h00	0.7	10h00
4ª Campanha	26 Dezembro	Das 9h30 às 12h00	0.6	10h56
	27 Dezembro	Das 9h30 às 11h30	0.7	11h47
2004/2005				
1ª Campanha	24 Março	Das 9h30 às 11h30	0.8	10h44
	25 Março	Das 10h00 às 12h30	0.9	11h14
2ª Campanha	2 Julho	Das 9h00 às 11h15	0.6	9h19
	5 Julho	Das 9h00 às 12h00	0.7	11h48
3ª Campanha				
4ª Campanha				

ANEXO AO CAPÍTULO VIII

Datas e condições de maré nos trabalhos de campo realizados na praia da Aguda.

Campanhas	Datas dos levantamentos	Período da monitorização	Maré	Hora
2001				
1ª Campanha				
2ª Campanha				
3ª Campanha				
2002				
1ª Campanha	16 Março	09h00-12h00	0.7	10h10
2ª Campanha	27 Maio	09h00-12h00	0.5	10h08
3ª Campanha	10 Julho	09h00-12h00	0.8	09h31
4ª Campanha	12 Setembro	10h30-13h30	0.8	13h27
5ª Campanha	04 Novembro	08h00-09h30	0.3	07h54
2003				
1ª Campanha	22 Janeiro	11H50 – 12H30	0.6	11h37
	24 Janeiro	10H40 – 12H54	0.9	13h16
2ª Campanha	17 Março	9H00 – 11H30	0.5	8h09
3ª Campanha	16 Junho	8H55 – 11H15	0.6	10h54
4ª Campanha	12 Setembro	9H00 – 11H30	0.7	10h33
5ª Campanha	26 Novembro	9H30 – 11H30	0.4	10h12
	28 Novembro	10H30 – 12H50	0.8	12h03
6ª Campanha	26 Dezembro	8H30 – 11H00	0.6	10h56
	02 Janeiro 04	15H30 – 17H30	1.3	17h37
2004				
1ª Campanha	26 Março	10h00-12h00	1.1	11h48
	27 Março	11h00-12h45	1.3	12h23
2ª Campanha	19 Abril	9h00-11h30	0.6	9h41
	20 Abril	9h30-11h30	0.6	10h12
3ª Campanha	17 Junho	9h00-11h00	0.9	9h22
	18 Junho	9h00-11h00	0.9	9h57
4ª Campanha				
5ª Campanha				

ANEXOS AO CAPITULO IX

- A Taxas médias de recuo da linha de costa para o sector foz do rio Douro – Cabo Mondego, com base em vários autores.
- B Datas das campanhas de campo e tipo de contacto entre a praia emersa e o cordão dunar frontal nos diversos segmentos litorais considerados no presente estudo.
- C Resultados obtidos relativamente aos valores obtidos de recuo da linha de costa para o período em estudo. M./F.: Segmento praia de Maceda-praia do Furadouro; F./T.L.: Segmento praia do Furadouro-praia do Torrão do Lameiro; C.N./V.: Segmento praia da Costa Nova-praia da Vagueira; V./A.: Segmento praia da Vagueira-praia do Areão; A/P.C.: Segmento praia do Areão-praia do Poço da Cruz.
- D Resultados obtidos relativamente à variação da extensão longilitoral do cordão dunar frontal, do dique de areia e dos galgamentos ao longo do período em estudo e para cada um dos segmentos litorais considerados. M./F.: Segmento praia de Maceda-praia do Furadouro; F./T.L.: Segmento praia do Furadouro-praia do Torrão do Lameiro; C.N./V.: Segmento praia da Costa Nova-praia da Vagueira; V./A.: Segmento praia da Vagueira-praia do Areão; A/P.C.: Segmento praia do Areão-praia do Poço da Cruz.

ANEXO A

		Hidrográfica Portuguesa (1980) <i>in: Teixeira (1994)</i>				Bettencourt e Ângelo (1992)		Teixeira (1994)	
		1947/1958	1958/1973	1973/1978	1900/1958	1958/1985	1947/1973	1973/1989	
Sector	Praia								
Douro-Espinho	Espinho								
Espinho-Esmoriz	Paramos								
	Silvade								
Esmoriz-Cortegaça	Esmoriz								
	Cortegaça								
Maceda-Furadouro	Maceda								
	Maceda-Furadouro								
Furadouro-Torreira	Furadouro								
	Furadouro-Torreira								
Torreira-Aveiro Norte	Torreira								
	Torreira-Aveiro N.								
Barra-Costa Nova	Barra	8.2	5.2	4.0	1.7	2.2	4.0	0.3	
	Barra-Costa N.				1.7	2.2			
Costa Nova-Vagueira	Costa Nova	0.4	2.9	2.4			0.2		
	C.Nova-Vagueira					2.2			
Vagueira-Mira	Vagueira	0.4	2.9	2.4			0.2		
	Labrego								
	Areão	0.4	2.9	2.4			0.2		
	Vagueira-Areão					5.8			
	Areão-Poço Cruz								
Mira-Tocha	Mira	0.4	2.9	2.4			0.2		
	C. Marco								
Tocha-Cabo Mondego	Tocha								
	Costinha				3.2	0.9			
	Quiaios				3.2	0.9			

ANEXO B

Segmento	Campanha	Data
Maçada Furadouro	1ª	26 Abr 00
	2ª	19 Mar 01
Furadouro T. Lameiro	1ª	05 Set 00
	2ª	19 Mar 01
C. Nova Vagueira	1ª	04 Set 00
	2ª	15 Nov 00
	3ª	18 Dez 00
	4ª	22 Fev 01
	5ª	27 Set 01
	6ª	20 Mar 02
	7ª	08 Out 02
	8ª	05 Mai 03
Vagueira Areão	1ª	15 Nov 00
	2ª	17 Dez 00
	3ª	13 Fev 00
	4ª	16 Nov 01
	5ª	28 Mai 02
	6ª	06 Nov 02
	7ª	06 Mai 03
Areão P. Cruz	1ª	15 Nov 00
	2ª	17 Dez 00
	3ª	13 Fev 01
	4ª	16 Nov 01
	5ª	06 Nov 02
	6ª	

ANEXO C

Segmento	Período em análise	Cordão Dunar			
		Erosão média (m)#	Erosão máxima (m)#	Área erosão (m2)#	Área erosão (m2/m)#
M./F.	Abr00/Mar01	8.6	36.0	47618	10.5
F./T.L.	Set00/Mar01	10.5	47.5	23161	8.4
C.N/V.	Set00/Fev01	10.3	41.4	22280	2.1
	Set00/Nov00	1.3	6.2	9800	5.4
	Nov00/Dez00	0.5	2.1	7300	4.0
	Dez00/Fev01	7.3	36.0	5180	2.9
	Set01/Mar02	1.7	17.7	2900	2.2
	Out02/Mai03	8.5	29.5	11300	8.6
V./A.	Nov00/Fev01	13.1	34.4	24206	9.6
	Nov00/Dez00	1.7	12.4	3178	1.8
	Dez00/Fev01	12.9	30.0	21028	12.1
	Nov01/Mai02	0.6	3.3	2110	2.4
	Nov02/Mai03	2.5	9.0	3987	4.6
A./P.C.	Nov00/Nov01	11.4	30.6	32731	9.6
	Nov00/Dez00	1.2	8.2	4732	1.4
	Dez00/Fev01	8.7	30.0	25660	7.5
	Nov01/Nov02	1.5	15.0	5562	1.6
	Nov02/Nov03	5.5	37.5	11554	3.4

(#): Os valores dizem respeito às diferenças relativas entre campanhas de observação.

Segmento	Período em análise	Dique			
		Erosão média (m)#	Erosão máxima (m)#	Área erosão (m2)#	Área erosão (m2/m)#
M./F.	Abr00/Mar01	-	-	-	-
F./T.L.	Set00/Mar01	-	-	-	-
C.N/V.	Set00/Fev01	13.0	44.5	22470	30.7
	Set00/Nov00	6.8	24.0	4600	2.7
	Nov00/Dez00	5.7	29.3	3850	2.8
	Dez00/Fev01	2.3	18.1	14020	12.9
	Set01/Mar02	4.6	18.0	8000	2.6
	Out02/Mai03	4.5	30.3	14600	4.7
V./A.	Nov00/Fev01	-	-	-	-
	Nov00/Dez00	-	-	-	-
	Dez00/Fev01	-	-	-	-
	Nov01/Mai02	0	0	0	0
	Nov02/Mai03	1.5	8.1	1170	0.5
A./P.C.	Nov00/Nov01	-	-	-	-
	Nov00/Dez00	-	-	-	-
	Dez00/Fev01	-	-	-	-
	Nov01/Nov02	-	-	-	-
	Nov02/Nov03	-	-	-	-

(#): Os valores dizem respeito às diferenças relativas entre campanhas de observação.

ANEXO - D

Segmento	Período em análise	Cordão dunar (Extensão longilitoral) (m)*	Dique (Extensão longilitoral) (m)*	Galgamento (Extensão longilitoral) (m)*
M./F.	Abr00/Mar01	4500	0	0
F./T.L.	Set00/Mar01	2200	0	1900
C.N/V.	Set00/Fev01	1800	1700	850
	<i>Set00/Nov00</i>	<i>1800</i>	<i>1700</i>	<i>850</i>
	<i>Nov00/Dez00</i>	<i>1800</i>	<i>1360</i>	<i>1190</i>
	<i>Dez00/Fev01</i>	<i>1800</i>	<i>1080</i>	<i>1470</i>
	Set01/Mar02	1300	3050	0
	Out02/Mai03	1300	3050	0
V./A.	Nov00/Fev01	2500	0	900
	<i>Nov00/Dez00</i>	<i>2500</i>	<i>0</i>	<i>900</i>
	<i>Dez00/Fev01</i>	<i>2500</i>	<i>0</i>	<i>900</i>
	Nov01/Mai02	850	2550	0
	Nov02/Mai03	850	2550	0
A./P.C.	Nov00/Nov01	3400	0	0
	<i>Nov00/Dez00</i>	<i>3400</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
	<i>Dez00/Fev01</i>	<i>3400</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
	Nov01/Nov02	3400	0	0
	Nov02/Nov03	3400	0	0

(*): Os valores reportam à primeira monitorização do período considerado.

ANEXOS AO CAPÍTULO X

- A Datas e as condições de maré em cada campanha de observação considerada para este estudo.

- B Valores de declive da face da praia obtidos em cada campanha de monitorização. Os declives foram calculados com um espaçamento de 200 m, com origem no Poço da Cruz até ao molhe Sul da Vagueira.

- C Volumes dos *DEM* obtidos em cada campanha de observação.

ANEXO A

Campanhas	Datas dos levantamentos	Período da monitorização	Maré (m)	Hora
2001				
1ª Campanha	16 Novembro	9h00 – 11h45	0.7	9h22
2002				
1ª Campanha	30 Janeiro	9h30 – 12h30	0.5	10h07
2ª Campanha	21 Março	11h30 – 14h30	1.4	13h21
3ª Campanha	28 Maio	9h00 – 12h00	0.4	9h44
4ª Campanha	11 Julho	9h30 – 12h30	0.8	10h26
5ª Campanha	6 Setembro	9h00 – 12h00	0.7	9h10
6ª Campanha	7 Outubro	9h00 – 12h00	0.4	10h14
7ª Campanha	6 Novembro	9h00 – 12h00	0.5	8h54
2003				
1ª Campanha	7 Janeiro	10h00 – 12h30	1.0	12h08
2ª Campanha	22 Março	9h30 – 12h30	0.7	11h45
3ª Campanha	6 Maio	10h00 – 13h00	1.2	12h28
4ª Campanha	28 Setembro	9h30 – 12h30	0.5	11h10
5ª Campanha	10 Novembro	9h30 – 12h00	0.9	9h26
2004				
1ª Campanha	10 Janeiro	9h00 – 12h00	0.9	10h35

Para a classificação das amostras, de acordo com a sua média granulométrica adoptou-se a escala de Wentworth (Tabela 7.2). Para a classificação da calibração e assimetria usaram-se os intervalos apresentados por Folk e Ward (Tabelas 7.3 e 7.4).

Classe dimensional	mm	ϕ
Cascalho	> 4	< -2
Areão	4 – 2	-2 – -1
Areia muito grossa	2 – 1	-1 – 0
Areia grosseira	1 – 0.5	0 – 1
Areia média	0.5 – 0.25	1 – 2
Areia fina	0.25 – 0.125	2 – 3
Areia muito fina	0.125 – 0.0625	3 – 4
silte	< 0.0625	> 4

Tabela 7.2 Classificação da classe dimensional de acordo com a escala de Wentworth.

Calibração	σ_ϕ
Muito bem calibrada	$\sigma_\phi < 0.35$
Bem calibrada	$0.35 < \sigma_\phi < 0.5$
Moderadamente calibrada	$0.5 < \sigma_\phi < 1.0$
Mal calibrada	$1.0 < \sigma_\phi < 2.0$
Muito mal calibrada	$2.0 < \sigma_\phi < 4.0$
Extremamente mal calibrada	$\sigma_\phi > 4.0$

Tabela 7.3 Classificação da calibração (segundo Folk e Ward, 1957).

Assimetria	$\alpha_{3\phi}$
Assimetria muito negativa	$-1.0 < \alpha_{3\phi} < -0.3$
Assimetria negativa	$-0.3 < \alpha_{3\phi} < -0.1$
Simetria	$-0.1 < \alpha_{3\phi} < 0.1$
Assimetria positiva	$0.1 < \alpha_{3\phi} < 0.3$
Assimetria muito positiva	$0.3 < \alpha_{3\phi} < 1.0$

Tabela 7.4 Classificação da assimetria (segundo Folk e Ward, 1957).

ANEXO B

METROS	Nov-01	Jan-02	Mar-02	Mai-02	Jul-02	Set-02	Out-02	Nov-02	Jan-03	Mar-03	Mai-03	Sep-03	Nov-03	Jan-04
0									0.083	0.123	0.059	0.149	0.070	0.063
200	0.113	0.107	0.053	0.081	0.143	0.051	0.087	0.023	0.071	0.128	0.103	0.121	0.088	0.062
400	0.063	0.061	0.112	0.072	0.045	0.086	0.065	0.051	0.050	0.104	0.122	0.144	0.103	0.069
600	0.072	0.055	0.119	0.046	0.129	0.057	0.109	0.045	0.060	0.083	0.105	0.142	0.130	0.161
800	0.065	0.052	0.041	0.086	0.083	0.075	0.075	0.040	0.051	0.097	0.073	0.119	0.076	0.096
1000	0.037	0.059	0.131	0.099	0.060	0.074	0.056	0.052	0.068	0.095	0.084	0.132	0.109	0.054
1200	0.070	0.057	0.059	0.063	0.072	0.076	0.075	0.038	0.072	0.100	0.091	0.141	0.058	0.084
1400	0.106	0.064	0.049	0.059	0.089	0.071	0.084	0.031	0.030	0.110	0.135	0.137	0.084	0.055
1600	0.076	0.069	0.056	0.031	0.062	0.066	0.074	0.045	0.043	0.102	0.087	0.130	0.081	0.100
1800	0.088	0.047	0.141	0.061	0.074	0.087	0.078	0.040	0.083	0.115	0.121	0.122	0.104	0.133
2000	0.030	0.053	0.065	0.037	0.143	0.120	0.088	0.082	0.072	0.117	0.104	0.133	0.097	0.124
2200	0.041	0.062	0.053	0.053	0.065	0.122	0.067	0.020	0.058	0.129	0.119	0.153	0.085	0.141
2400	0.049	0.092	0.049	0.061	0.116	0.130	0.052	0.026	0.068	0.103	0.123	0.149	0.091	0.094
2600	0.060	0.090	0.071	0.091	0.100	0.091	0.024	0.098	0.093	0.115	0.063	0.129	0.092	0.113
2800	0.032	0.085	0.054	0.017	0.064	0.111	0.065	0.072	0.089	0.103	0.077	0.107	0.060	0.079
3000	0.084	0.074	0.075	0.051	0.060	0.073	0.063	0.079	0.083	0.076	0.095	0.099	0.089	0.063
3200	0.019	0.077	0.074	0.035	0.075	0.091	0.060	0.038	0.083		0.155	0.051	0.176	0.107
3400	0.037	0.117	0.044	0.031	0.082	0.111	0.023	0.037	0.086	0.082	0.108	0.128	0.054	0.070
3600	0.064	0.073	0.064	0.035	0.120	0.155	0.041	0.035	0.063	0.049	0.052	0.102	0.067	0.095
3800	0.052	0.058	0.071	0.111	0.130	0.095	0.042	0.039	0.078	0.098	0.088	0.066	0.055	0.067
4000	0.055	0.097	0.097	0.081	0.077	0.110	0.066	0.061	0.054	0.053	0.048	0.088	0.055	0.053
4200	0.041	0.076		0.047	0.065	0.089	0.070	0.041	0.054	0.058	0.047	0.087	0.057	0.063
4400	0.055	0.060		0.045	0.052	0.043	0.060	0.032	0.065	0.048	0.044	0.127	0.044	0.043
4600	0.071			0.033	0.032	0.078	0.054	0.030	0.051	0.041	0.064	0.089	0.051	0.072
4800	0.074			0.048	0.078	0.108	0.047	0.035	0.033	0.056	0.064	0.090	0.043	0.114
5000	0.077			0.030	0.040	0.095	0.050	0.030	0.035	0.070	0.049	0.121	0.073	0.110
5200	0.069			0.027	0.052	0.110	0.023	0.029	0.034	0.054	0.107	0.109	0.091	0.100
5400	0.057			0.033	0.069	0.041	0.034	0.025	0.040	0.062	0.105	0.100	0.072	0.058
5600	0.061			0.029	0.025	0.064	0.039	0.027	0.029	0.107	0.066	0.125	0.047	0.081
5800	0.043			0.052	0.036	0.088	0.059	0.035	0.054	0.094	0.091	0.106	0.084	0.072
6000	0.032			0.081	0.060	0.071	0.060	0.033	0.064	0.099	0.123	0.098	0.104	0.079
6200	0.086			0.050	0.078	0.111	0.108	0.066	0.035	0.057	0.073	0.115	0.060	0.119
6400	0.033			0.048	0.082	0.126	0.112	0.092	0.044	0.077	0.058	0.090	0.087	0.074
6600									0.049	0.100	0.043	0.052	0.044	0.049

ANEXO C

VOLUME (nmm) (m3/m)	Nov01	Jan02	Mar02	Mai02	Jul02	Set02	Out02	Nov02	Jan03	Mar03	Mai03	Set03	Nov03	Jan04
-1.5<Vol(m)<0	137	105	101	118	125	115	136	136	92	104	103	113	109	122
0<Vol(m)<1	62	64	62	60	69	70	75	64	54	54	53	55	57	56
1<Vol(m)<2	42	48	45	38	50	55	55	38	34	39	38	47	38	38
2<Vol(m)<3	31	34	31	26	33	38	42	24	19	28	26	39	25	24
3<Vol(m)<4	19	23	19	16	18	18	24	16	9	18	15	26	15	15
4<Vol(m)<5	6	11	8	7	7	7	7	7	4	8	7	8	7	7
5<Vol(m)<6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
Vol(m)>6 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	298	286	266	268	303	305	340	286	214	254	245	291	253	265