



**Paulo Fernando das  
Neves Miranda**

**Estudo das fracções arenosas dos sedimentos do  
litoral Tróia - Sines**



**Paulo Fernando das  
Neves Miranda**

**Estudo das fracções arenosas dos sedimentos do  
litoral Tróia - Sines**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Ciências das Zonas Costeiras, realizada sob a orientação científica do Doutor Fernando Joaquim Fernandes Tavares Rocha, Professor Catedrático do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, e da Doutora Cristina Maria de Almeida Bernardes, Professora Associada do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro



## **o júri**

presidente

**Doutor Eduardo Anselmo Ferreira da Silva**  
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro

**Doutor Fernando Joaquim Fernandes Tavares Rocha**  
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro

**Doutora Cristina Maria de Almeida Bernardes**  
Professora Associada da Universidade de Aveiro

**Doutor Jorge Manuel Leitão Dinis**  
Professor Auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

**Doutor João Pedro Veiga Ribeiro Cascalho**  
Investigador Auxiliar do Museu Nacional de História Natural / Museu Mineralógico e Geológico da Universidade de Lisboa

## **agradecimentos**

Foram muitas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Quero desde já agradecer à minha família e a todos os meus amigos que me prestaram o apoio necessário para que eu pudesse ter iniciado e realizado este trabalho.

Agradeço ao meu orientador, Professor Doutor Fernando Rocha, pela colaboração, pela facilitação de todo o material e contactos necessários. Também agradeço à minha co-orientadora, Professora Doutora Cristina Bernardes, pela colaboração e discussão das várias dúvidas que foram surgindo ao longo deste trabalho.

Ao Doutor João Cascalho pela sempre disponibilidade e ajuda na realização do trabalho de mineralogia de pesados, na parte laboratorial, na observação ao microscópio, na interpretação de dados e por todas as suas sugestões.

Um agradecimento muito especial ao meu colega e sobretudo amigo César Jesus, pela sua total disponibilidade, pelo apoio moral, pelo apoio na execução do trabalho, quer no laboratório, quer na revisão desta dissertação e por me ter sugerido e facultado a escolha do presente tema de trabalho.

À colega e amiga Denise Terroso, aos colegas Paulo Nunes e Olinda Silva por toda a ajuda prestada no laboratório.

Ao colega Jesus Vidinha e à Anabela Cruces pela facultação de muito material (especialmente bibliográfico) que foi necessário para o trabalho.

Agradeço à Doutora Anabela Oliveira em nome do Instituto Hidrográfico, pelo fornecimento de todos os dados relativos ao ondógrafo de Sines.

Às professoras Maria do Rosário e Helena Mendes e ao professor José Francisco, pela sua disponibilidade e pelo esclarecimento de algumas dúvidas relativas a microscopia.

Aos funcionários do departamento de Geociências, em especial ao Sr. Graça pela estreita colaboração na saída de campo e trabalho laboratorial, à D.

Graça pela disponibilização de todo o material cartográfico necessário para este trabalho, à D. Manuela pela ajuda no laboratório e ao Sr. Saraiva.

Aos amigos Tiago, Ricardo, Sofia, Luís, Carlos, Barrosinho, Ana Sofia, Ana Isabel, Carina, Gil, Marina e Mariana pela troca de ideias em diversas partes do trabalho e a todos os outros que não estando aqui referidos de alguma forma contribuíram para a concretização deste objectivo.

**palavras-chave**

Parâmetros texturais, minerais pesados, praia, duna, Tróia - Sines, dinâmica sedimentar.

**resumo**

O presente trabalho tem como principais objectivos a caracterização dos sedimentos do troço costeiro entre Tróia e Sines, a determinação de possíveis fontes sedimentares e a sua expressividade, permitindo melhorar o conhecimento da dinâmica deste troço litoral.

Para atingir estes objectivos foi efectuada a separação granulométrica dos sedimentos de praia, duna e arribas costeiras, obtendo-se os valores dos parâmetros texturais. Por sua vez, as fracções de areia média e fina foram sujeitas à separação por densidades dos minerais, sendo posteriormente identificados ao microscópio os minerais da fracção mais densa.

Através das variações longitudinais dos parâmetros texturais foi possível identificar três sectores principais: sector setentrional, entre Tróia e Comporta; sector central, entre Comporta e as lagunas de Melides e Santo André; e sector meridional, entre estas lagunas e Sines.

O estudo dos minerais pesados permitiu identificar três associações mineralógicas: (A) turmalina, estauroлите e andaluzite; (B) biotite e moscovite; (C) anfíbulas e piroxenas. A associação A é predominante em quase todo o troço litoral, excepto em algumas amostras dos extremos norte e sul. A associação B, em oposição à associação A, é quase inexistente na zona central sendo abundante nas amostras dos sectores norte e sul. A associação C está presente em todo o troço com baixas percentagens de ocorrência, no entanto na zona sul a expressão aumenta nos últimos 10 km em direcção ao complexo sub-vulcânico de Sines.

Com base na textura e mineralogia dos sedimentos foi possível identificar várias fontes sedimentares actuais: (1) a plataforma interna; (2) as arribas Mio-Pliocénicas; (3) o complexo sub-vulcânico de Sines; (4) as comunidades de bivalves da península de Tróia; e possivelmente (5) o estuário do Sado. O movimento sedimentar longitudinal verifica-se na península de Tróia de sul para norte. No restante troço litoral, especialmente no sector meridional, os sedimentos são redistribuídos para norte durante os períodos de temporal de sudoeste.

**keywords**

Textural parameters, heavy minerals, beach, dune, Tróia - Sines, sedimentary dynamics.

**abstract**

The main goals of the present work are: 1) the grain-size and heavy mineral characterization of the sediments from the coastal stretch between Tróia and Sines (SW Portugal); 2) the improvement of the knowledge regarding the dynamics of this part of the coast and 3) the determination of possible sediment sources acting in the study area.

To attain these aims beach, dune and cliff sediments were separated according to their grain-size in different fractions and textural parameters were determined. Heavy minerals from the medium and fine sand fractions were identified under the microscope, after being separated according to their density.

The textural parameters variations alongshore allow identifying three main sectors: north sector, between Tróia and Comporta; central sector, between Comporta and Melides / Santo André lagoons; south sector between these lagoons and Sines.

The heavy minerals study showed three mineralogical associations: (A) tourmaline, staurolite and andaluzite; (B) biotite and muscovite; and (C) amphiboles and pyroxenes. The association A is dominant in almost the entire study area excepting in some extreme north and south samples. The association B in opposition to association A is almost absent in the central sector and very abundant in the samples of the north and south sectors. In a general way the association C is present with low percentages along the study area however in the southern end (the last 10km) there is an increase of its expression towards the sub-volcanic massif of Sines.

Based on sediments texture and mineralogy it was possible to identify several actual sedimentary sources for the beaches of this littoral trench: (1) inner shelf; (2) Mio-Pliocene sea-cliffs; (3) Sines sub-volcanic complex; bivalve communities present in the Tróia peninsula; and possibly (5) the Sado estuary. Longitudinal sedimentary movement is verified from South to North in the Tróia peninsula. At the remaining littoral trench, especially in the meridional sector, sediments are redistributed to north during storm periods coming from southeast.

# Índice

O júri

Agradecimentos

Resumo

Abstract

|                                      |           |
|--------------------------------------|-----------|
| Índice                               | i         |
| Lista de Figuras                     | v         |
| Lista de Tabelas                     | xiii      |
| <b>1. Introdução</b>                 | <b>1</b>  |
| 1.1. Organização do documento        | 1         |
| 1.2. Objectivos                      | 2         |
| 1.3. Trabalhos anteriores            | 2         |
| <b>2. Enquadramento</b>              | <b>5</b>  |
| 2.1. Enquadramento regional          | 5         |
| 2.1.1. Geologia                      | 9         |
| 2.1.2. Área de estudo                | 14        |
| 2.2. Geomorfologia da área de estudo | 14        |
| 2.3. Climatologia                    | 18        |
| 2.3.1. Vento                         | 18        |
| 2.3.2. Pluviosidade                  | 20        |
| 2.4. Oceanografia                    | 21        |
| <b>3. Métodos</b>                    | <b>25</b> |
| 3.1. Amostragem                      | 25        |
| 3.1.1. Primeira fase de amostragem   | 25        |



|   |           |
|---|-----------|
| 3.1.2. Segunda fase de amostragem                                     | 28        |
| 3.2. Análise Textural   | 29        |
| 3.3. Minerais Pesados   | 32        |
| <b>4. Análise Textural</b>  | <b>37</b> |
| 4.1. Caracterização geral dos parâmetros texturais                    | 37        |
| 4.2. Análise longitudinal das unidades morfológicas                   | 39        |
| 4.2.1. Areias da face de praia  | 40        |
| 4.2.2. Areias da berma  | 43        |
| 4.2.3. Areias da duna   | 46        |
| 4.2.4. Variação longitudinal na península de Tróia                    | 48        |
| 4.2.5. Comparação e interpretação das variações longitudinais         | 50        |
| 4.3. Análise transversal das unidades morfológicas                    | 55        |
| 4.3.1. Caracterização e comparação global entre unidades morfológicas | 55        |
| 4.3.2. Sector setentrional  | 59        |
| 4.3.3. Subsectores da península de Tróia                              | 60        |
| 4.3.4. Sector central   | 63        |
| 4.3.5. Sector meridional  | 64        |
| 4.3.6. Comparação e interpretação das variações transversais          | 66        |
| 4.4. Análise de populações  | 68        |
| 4.4.1. Areias da face de praia  | 69        |
| 4.4.2. Areias da berma  | 69        |
| 4.4.3. Areias da duna   | 72        |
| 4.4.4. Areias da arriba   | 72        |
| 4.4.5. Variação transversal de populações                             | 74        |
| 4.5. Discussão da Análise Textural                                    | 75        |
| <b>5. Minerais Pesados</b>  | <b>79</b> |
| 5.1. Avaliação da fracção pesada                                      | 79        |
| 5.2. Espécies de minerais pesados                                     | 81        |

|  |            |
|--|------------|
| 5.2.1. Turmalina   | 82         |
| 5.2.2. Estauroлите   | 83         |
| 5.2.3. Andaluzite  | 84         |
| 5.2.4. Silimanite  | 85         |
| 5.2.5. Distena   | 86         |
| 5.2.6. Biotite   | 87         |
| 5.2.7. Moscovite   | 87         |
| 5.2.8. Grupo das anfíbolas   | 88         |
| 5.2.9. Grupo das piroxenas   | 88         |
| 5.3. Estatística descritiva univariada                                       | 89         |
| 5.4. Variação longitudinal   | 92         |
| 5.5. Estatística descritiva multivariada – Análise de componentes principais | 102        |
| 5.5.1. Definição das matrizes de dados                                       | 102        |
| 5.5.2. Determinação dos componentes principais                               | 102        |
| 5.6. Interpretação do estudo dos minerais pesados                            | 112        |
| <b>6. Conclusões e Considerações Finais</b>                                  | <b>117</b> |
| 6.1. Considerações finais  | 121        |
| Referências Bibliográficas   | 123        |
| Anexo I  | 131        |
| Anexo II   | 137        |



## Lista de Figuras

- Figura 2.1 – Localização da área de estudo. 5
- Figura 2.2 – Bacias hidrográficas da região adjacente à área de estudo: A – Bacia hidrográfica do rio Sado; B – Conjunto de bacias hidrográficas das ribeiras litorais adjacentes à área de estudo. (1) Rib<sup>a</sup> da Marateca; (2) Rib<sup>a</sup> de S. Martinho; (3) Rib<sup>a</sup> das Alcáçovas; (4) Rio Xarrama; (5) Rib<sup>a</sup> de Odivelas; (6) Rib<sup>a</sup> do Roxo; (7) Rib<sup>a</sup> de Campilhas; (8) Rib<sup>a</sup> da Corona; (9) Rib<sup>a</sup> de Grândola; (10) Rib<sup>a</sup> Pernada do Marco; (11) Rib<sup>a</sup> da Comenda; (12) Rib<sup>a</sup> das Fontainhas; (13) Rib<sup>a</sup> de Melides; (14) Rib<sup>a</sup> da Cascalheira; (15) Rib<sup>a</sup> da Badoca; (16) Rib<sup>a</sup> da Sancha; (17) Rib<sup>a</sup> de Moinhos. (SA) Serra da Arrábida; (SC) Serra do Cercal; (SG) Serra de Grândola; (SP) Serra de Portel; (SV) Serra da Vigia. 7
- Figura 2.3 – Batimetria da plataforma continental portuguesa ao largo da área de estudo. Adaptado de Quevauviller (1986b). (1) margem adjacente à serra da Arrábida; (2) formação sedimentar relacionada com o estuário do Sado; (3) canhão de Setúbal (4) plataforma entre o estuário do Sado e o canhão de Setúbal; (5) plataforma a sul do canhão de Setúbal. 10
- Figura 2.4 – Principais unidades cronoestratigráficas presentes nas bacias de drenagem envolventes à área de estudo. Adaptado de Carvalho (1992). 11
- Figura 2.5 – Geologia do Complexo de Sines: 1- Gabros e dioritos; 2 – Sienitos e microsienitos; 3 – Brechas eruptivas. (Adaptado de Inverno et al. (1993). 12
- Figura 2.6 – Afloramentos do Jurássico na Praia do Norte (Sines). 14

|  |    |
|--|----|
| Figura 2.7 – Divisão da área de estudo em sectores proposta por Gomes (1992) e Quevauviller (1987) tendo por base as características morfológicas.   | 15 |
| Figura 2.8 – Praia da Galé (sector 3).   | 16 |
| Figura 2.9 – Marcas de escorrência numa arriba da praia da Galé.   | 20 |
| Figura 2.10 – Valores médios da precipitação média anual em Portugal Continental entre 1961 e 1990 (Adaptado de IM 2005).  | 21 |
| Figura 3.1 – Localização dos perfis utilizados no presente trabalho. Os números ao longo da linha de costa referem-se ao número do perfil. A vermelho encontram-se representados os perfis em que apenas foi efectuada a análise granulométrica, a verde os perfis em que foram efectuadas a análise granulométrica e a análise de minerais pesados. | 26 |
| Figura 3.2 – Perfil de praia com indicação da localização da face de praia, berma e arriba.  | 27 |
| Figura 3.3 – Cones de dejeção presentes na base das arribas na praia da Galé, junto ao local de colheita da amostra A8.  | 28 |
| Figura 3.4 – Localização das amostras (a vermelho) colhidas na segunda campanha.   | 29 |
| Figura 3.5 – Fotografia de uma arriba na qual são observadas duas zonas distintas (Superior – A; Inferior – B) separadas pela superfície assinalada pela letra C.  | 30 |
| Figura 3.6 – Agitador mecânico e parte da série de peneiros (ASTM) utilizados na separação granulométrica.   | 31 |
| Figura 3.7 – Exemplo de resultados obtidos através do programa Gradistat.  | 32 |
| Figura 3.8 – Montagem experimental utilizada na separação de minerais pesados.   | 34 |
| Figura 3.9 – Frasco de Politungstato de sódio (SPT) e densímetro.  | 35 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 3.10 – Meios de montagem experimentados para proceder à montagem das lâminas delgadas: Araldit, Bálsamo do Canadá e Eukitt.  | 35 |
| Figura 4.1 – Variação longitudinal dos parâmetros texturais ao longo do troço litoral para amostras da face de praia.   | 41 |
| Figura 4.2 – Correlação entre os parâmetros texturais para amostras da face de praia (FP). S – Sector setentrional, C – Sector central e M – Sector meridional.   | 43 |
| Figura 4.3 – Variação longitudinal dos parâmetros texturais ao longo do troço litoral para as amostras da berma.  | 44 |
| Figura 4.4 – Correlação existente entre os parâmetros texturais para as amostras da berma (B). S – Sector setentrional, C – Sector central e M – Sector meridional.   | 46 |
| Figura 4.5 – Variação longitudinal dos parâmetros texturais para amostras da duna.  | 47 |
| Figura 4.6 – Correlação existente entre os parâmetros texturais para amostras da duna (D). S – Sector setentrional, C – Sector central e M – Sector meridional.   | 48 |
| Figura 4.7 – Correlação existente entre os parâmetros texturais para amostras da face de praia (FP) localizadas na Península de Tróia. N1 – Extremidade norte da Península de Tróia, N2 – Parte central da Península de Tróia e N3 – Extremidade sul da Península de Tróia. | 49 |
| Figura 4.8 – Correlação entre os parâmetros texturais para amostras da berma (B) da Península de Tróia. N1 – Extremidade norte da Península de Tróia, N2 – Parte central da Península de Tróia e N3 – Extremidade sul da Península de Tróia.                                | 50 |
| Figura 4.9 – Sectores considerados no presente troço litoral Tróia-Sines. FP – Face de praia; B – Berma; D – Duna; ZT – Zona de transição.  | 51 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 4.10 – Esquema comparativo entre as subdivisões do troço litoral Tróia-Sines, propostas por vários autores e as definidas no presente trabalho. SS – Sector setentrional; SC – Sector central; SM – Sector meridional. | 52 |
| Figura 4.11 – Subsectores presentes no sector setentrional baseados nos parâmetros texturais. FP – Face de praia; B – Berma; D – Duna.  | 53 |
| Figura 4.12 – Zona de abrigo à ondulação predominante de noroeste.  | 54 |
| Figura 4.13 – Comparação transversal da variação longitudinal dos parâmetros texturais ao longo do troço litoral.   | 56 |
| Figura 4.14 – Correlações interparamétricas transversais para o troço Tróia – Sines. FP – Face de praia; B – Berma; D – Duna.   | 59 |
| Figura 4.15 – Correlações interparamétricas para amostras do sector setentrional (S). FP – Face de praia; B – Berma; D – Duna.  | 61 |
| Figura 4.16 – Correlações interparamétricas para amostras das diferentes unidades morfológicas nos subsectores: a) N1 e b) N3. As amostras de duna (D) consideradas em cada gráfico são de todo o sector setentrional.        | 63 |
| Figura 4.17 – Correlações interparamétricas para amostras do sector meridional (M). FP – Face de praia; B – Berma; D – Duna.  | 66 |
| Figura 4.18 – Curvas de frequência de algumas amostras da face de praia (obtidas no Gradistat).   | 70 |
| Figura 4.19 – Curvas de frequência de algumas amostras da berma (obtidas no Gradistat).   | 71 |
| Figura 4.20 – Curvas de frequência de algumas amostras da duna (obtidas no Gradistat).  | 73 |
| Figura 4.21 – Curvas de frequência de algumas amostras de arriba (obtidas no Gradistat).  | 74 |
| Figura 5.1 – Variação longitudinal da percentagem de peso da fracção pesada.  | 80 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 5.2 – Turmalinas: a) e b) Visível o pleocroísmo no mesmo grão – forma prismática; c) Grão prismático com os bordos arredondados; d) Grão com variação de cor (azul e castanha).     | 82 |
| Figura 5.3 – Estaurolites: a) e c) em nicóis paralelos; b) e d) em nicóis cruzados.  | 84 |
| Figura 5.4 – Andaluzites: a) e b) andaluzite prismática e com forte pleocroísmo; c) andaluzites com algum grau de arredondamento; d) variedade de andaluzite – quiastolite.                | 85 |
| Figura 5.5 – Silimanites.  | 86 |
| Figura 5.6 – Distena: são visíveis as duas direcções de clivagem perpendiculares entre si.   | 86 |
| Figura 5.7 – Biotite: em ambas as imagens é visível o aspecto lamelar.   | 87 |
| Figura 5.8 – Moscovite: visível o aspecto lamelar em ambas as imagens.   | 88 |
| Figura 5.9 – Anfíbolos: a) anfíbola verde; b) anfíbola castanha.   | 89 |
| Figura 5.10 – Piroxena: a) nicóis paralelos; b) nicóis cruzados.   | 89 |
| Figura 5.11 – Percentagem relativa dos minerais pesados nas duas fracções estudadas: 1 a 2 $\phi$ (azul) e 2 a 3 $\phi$ (vermelho).  | 90 |
| Figura 5.12 – Percentagem relativa dos minerais pesados nas três unidades morfológicas: FP – Face de praia; B – Berma; A – Arriba.   | 91 |
| Figura 5.13 – Variação longitudinal da turmalina. FP – Face de praia; B – Berma. A azul estão assinaladas as percentagens da fracção 1 a 2 $\phi$ e a vermelho da fracção 2 a 3 $\phi$ .   | 93 |
| Figura 5.14 – Variação longitudinal da estaurolite. FP – Face de praia; B – Berma. A azul estão assinaladas as percentagens da fracção 1 a 2 $\phi$ e a vermelho da fracção 2 a 3 $\phi$ . | 94 |



|   |     |
|---|-----|
| Figura 5.15 – Variação longitudinal da andaluzite. FP – Face de praia; B – Berma. A azul estão assinaladas as percentagens da fracção 1 a 2 $\phi$ e a vermelho da fracção 2 a 3 $\phi$ . | 95  |
| Figura 5.16 – Variação longitudinal da silimanite. FP – Face de praia; B – Berma. A azul estão assinaladas as percentagens da fracção 1 a 2 $\phi$ e a vermelho da fracção 2 a 3 $\phi$ . | 96  |
| Figura 5.17 – Variação longitudinal da distena. FP – Face de praia; B – Berma. A azul estão assinaladas as percentagens da fracção 1 a 2 $\phi$ e a vermelho da fracção 2 a 3 $\phi$ .    | 97  |
| Figura 5.18 – Variação longitudinal da biotite. FP – Face de praia; B – Berma. A azul estão assinaladas as percentagens da fracção 1 a 2 $\phi$ e a vermelho da fracção 2 a 3 $\phi$ .    | 98  |
| Figura 5.19 – Variação longitudinal da moscovite. FP – Face de praia; B – Berma. A azul estão assinaladas as percentagens da fracção 1 a 2 $\phi$ e a vermelho da fracção 2 a 3 $\phi$ .  | 99  |
| Figura 5.20 – Variação longitudinal das anfíbulas. FP – Face de praia; B – Berma. A azul estão assinaladas as percentagens da fracção 1 a 2 $\phi$ e a vermelho da fracção 2 a 3 $\phi$ . | 100 |
| Figura 5.21 – Variação longitudinal das piroxenas. FP – Face de praia; B – Berma. A azul estão assinaladas as percentagens da fracção 1 a 2 $\phi$ e a vermelho da fracção 2 a 3 $\phi$ . | 101 |
| Figura 5.22 – Coordenadas dos 3 componentes principais para a matriz $M_{\text{Geral}}$ .   | 104 |
| Figura 5.23 – Coordenadas dos 3 componentes principais para a matriz $M_{12}$ .   | 105 |
| Figura 5.24 – Coordenadas dos 3 componentes principais para a matriz $M_{23}$ .   | 107 |
| Figura 5.25 – Coordenadas dos 3 componentes principais para a matriz $M_{\text{FP}}$ .  | 108 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 5.26 – Coordenadas dos 3 componentes principais para a matriz<br>M <sub>B</sub> .   | 109 |
| Figura 5.27 – Coordenadas dos 3 componentes principais para a matriz<br>M <sub>A</sub> .   | 110 |
| Figura 5.28 – Variação longitudinal das três associações mineralógicas (A,<br>B e C) e sua correlação com a mineralogia das arribas (A4 a<br>A25) e com a mineralogia das areias da praia Vasco da<br>Gama em Sines (A28). | 112 |
| Figura 6.1 – Esquema interpretativo dos movimentos sedimentares no<br>troço litoral Tróia-Sines.   | 120 |



## Lista de Tabelas

|  |    |
|--|----|
| Tabela 2.1 – Quadro resumo da frequência (F) e da velocidade média (V) para cada rumo do vento na estação meteorológica de Sines, entre 1971 e 1990 (IM 2004).   | 19 |
| Tabela 2.2 – Quadro resumo da direcção predominante de aproximação das ondas no período compreendido entre 1992 e 1999 (Dados cedidos pelo Instituto Hidrográfico).  | 22 |
| Tabela 2.3 – Altura significativa da ondulação (Hs) entre 1992 e 1999.   | 23 |
| Tabela 2.4 – Altura significativa da ondulação (Hs) por mês entre 1992 e 1999.   | 23 |
| Tabela 2.5 – Número de registos com alturas significativas de valor superior a 5 m entre 1992 e 1999.  | 23 |
| Tabela 2.6 – Número de dias em que ocorreu pelo menos um registo de altura significativa superior a 5 m entre 1992 e 1999.   | 23 |
| Tabela 3.1 – Fórmulas utilizadas para o cálculo dos parâmetros texturais e respectiva terminologia descritiva (Blott & Pye 2001).  | 33 |
| Tabela 4.1 – Caracterização geral dos parâmetros texturais.  | 37 |
| Tabela 4.2 – Frequência dos parâmetros texturais para as amostras da primeira campanha de amostragem.  | 38 |
| Tabela 4.3 – Percentagem da fracção menor que 63 $\mu\text{m}$ para as amostras da segunda campanha de amostragem.   | 39 |
| Tabela 4.4 – Percentagem de cada classe granulométrica (fracção superior a 63 $\mu\text{m}$ ) nas amostras de arriba e da praia Vasco da Gama; cinzento escuro – moda principal; cinzento claro – modas secundárias. | 40 |
| Tabela 4.5 – Caracterização geral dos parâmetros texturais por unidade morfológica. FP - Face de praia, B - Berma, D - Duna, DP - Desvio padrão, Min - Mínimo, Max - Máximo.   | 57 |

|   |    |
|---|----|
| Tabela 4.6 – Resultados do teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov para a comparação dos diferentes parâmetros texturais entre unidades morfológicas diferentes (FP – Face de praia; B – Berma; D – Duna).  | 58 |
| Tabela 4.7 – Caracterização geral dos parâmetros texturais por unidade morfológica para o sector setentrional. FP - Face de praia, B - Berma, D - Duna, DP - Desvio padrão, Min - Valor mínimo, Max - Valor máximo.   | 59 |
| Tabela 4.8 – Resultados do teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov para a comparação dos diferentes parâmetros texturais entre as unidades morfológicas do sector setentrional (FP – Face de praia; B – Berma; D – Duna).   | 60 |
| Tabela 4.9 – Caracterização da média de cada parâmetro textural por unidade morfológica e resultados do teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov (KS) para a comparação dos diferentes parâmetros texturais entre as unidades morfológicas do subsector N1 (FP – Face de praia; B – Berma; D – Duna).  | 62 |
| Tabela 4.10 – Caracterização da média de cada parâmetro textural por unidade morfológica e resultados do teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov (KS) para a comparação dos diferentes parâmetros texturais entre as unidades morfológicas do subsector N2 (FP – Face de praia; B – Berma; D – Duna). | 62 |
| Tabela 4.11 – Caracterização da média de cada parâmetro textural por unidade morfológica e resultados do teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov (KS) para a comparação dos diferentes parâmetros texturais entre as unidades morfológicas do subsector N3 (FP – Face de praia; B – Berma; D – Duna). | 62 |
| Tabela 4.12 – Parâmetros texturais por unidade morfológica para o sector central. FP - Face de praia, B - Berma, D - Duna, DP - Desvio padrão, Min - Valor mínimo, Max - Valor máximo.  | 64 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 4.13 – Comparação dos diferentes parâmetros texturais entre as unidades morfológicas do sector central (FP – Face de praia; B – Berma; D – Duna).  | 64  |
| Tabela 4.14 – Parâmetros texturais por unidade morfológica para o sector meridional. FP - Face de praia, B - Berma, D - Duna, DP - Desvio padrão, Min - Valor mínimo, Max - Valor máximo.               | 65  |
| Tabela 4.15 – Comparação dos diferentes parâmetros texturais entre as unidades morfológicas do sector meridional (FP – Face de praia; B – Berma; D – Duna).   | 65  |
| Tabela 5.1 – Percentagem da fracção de minerais pesados em relação ao total de terrígenos.  | 80  |
| Tabela 5.2 – Caracterização geral dos minerais pesados (%). DP – Desvio padrão. N° total = 108  | 81  |
| Tabela 5.3 – Percentagem relativa dos minerais pesados (todas as amostras). DP - Desvio padrão. N° total de amostras = 108.   | 90  |
| Tabela 5.4 – Percentagem relativa dos minerais pesados para todas as amostras da segunda campanha de amostragem. Os valores de cada amostra referem-se à média dos valores das duas fracções estudadas. | 92  |
| Tabela 5.5 – Percentagem relativa média de ocorrência dos minerais pesados por sector. S – Setentrional; C – Central; M – Meridional.   | 92  |
| Tabela 5.6 – Valores próprios, percentagens de variância e respectivos valores acumulados dos componentes obtidos para a matriz $M_{Geral}$ .   | 103 |
| Tabela 5.7 – Coordenadas dos componentes principais de cada mineral para a matriz $M_{Geral}$ . Estão assinaladas as coordenadas cujo valor absoluto é superior a 0,50.                                 | 103 |
| Tabela 5.8 – Valores próprios, percentagens de variância e respectivos valores acumulados dos componentes obtidos para a matriz $M_{12}$ .  | 105 |
| Tabela 5.9 – Coordenadas dos componentes principais de cada mineral para a matriz $M_{12}$ . Estão assinaladas as coordenadas cujo valor absoluto é superior a 0,50.                                    | 105 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 5.10 – Valores próprios, percentagens de variância e respectivos valores acumulados dos componentes obtidos para a matriz $M_{23}$ .  | 106 |
| Tabela 5.11 – Coordenadas dos componentes principais de cada mineral para a matriz $M_{23}$ . Estão assinaladas as coordenadas cujo valor absoluto é superior a 0,50.                | 106 |
| Tabela 5.12 – Valores próprios, percentagens de variância e respectivos valores acumulados dos componentes obtidos para a matriz $M_{FP}$ .  | 107 |
| Tabela 5.13 – Coordenadas dos componentes principais de cada mineral para a matriz $M_{FP}$ . Estão assinaladas as coordenadas cujo valor absoluto é superior a 0,50.                | 107 |
| Tabela 5.14 – Valores próprios, percentagens de variância e respectivos valores acumulados dos componentes obtidos para a matriz $M_B$ .   | 108 |
| Tabela 5.15 – Coordenadas dos componentes principais de cada mineral para a matriz $M_B$ . Estão assinaladas as coordenadas cujo valor absoluto é superior a 0,50.                   | 108 |
| Tabela 5.16 – Valores próprios, percentagens de variância explicada e respectivos valores acumulados para os componentes obtidos para a matriz $M_A$ .                               | 110 |
| Tabela 5.17 – Coordenadas dos componentes principais de cada mineral para a matriz $M_A$ . Estão assinaladas as coordenadas cujo valor absoluto é superior a 0,50.                   | 110 |
| Tabela 5.18 – Percentagem das associações mineralógicas definidas para todas as amostras de arribas. Os valores de cada amostra são a média dos valores das duas fracções estudadas. | 113 |

# 1. Introdução

## 1.1. Organização do documento

O presente capítulo (capítulo 1) apresenta os motivos e os objectivos a que se propõe o presente trabalho, descreve e justifica a organização do documento, apresenta uma breve resenha de trabalhos realizados nesta área e estudo.

No segundo capítulo é enquadrada a área de estudo bem como a região em que esta e insere. É feito também uma abordagem das condicionantes climatológicas e oceanográficas.

No terceiro capítulo são descritas as metodologias utilizadas, desde a colheita de amostras, passando pela separação granulométrica dos sedimentos e, por fim, pela extracção da fracção de minerais pesados.

No quarto capítulo é apresentada toda a análise textural. Os valores dos parâmetros texturais são analisados de acordo com a sua variação longitudinal e transversal. Neste capítulo também são estabelecidas relações entre as variações dos parâmetros texturais e as condicionantes hidrodinâmicas, geológicas e morfológicas da região, permitindo inferir sobre os mecanismos de transporte e erosão.

No quinto capítulo são caracterizados os minerais pesados (minerais com uma densidade superior a  $2,82 \text{ g/cm}^3$ ) e é analisada a sua variação longitudinal. É também realizada a análise estatística descritiva univariada e multivariada. Funcionando como elementos traçadores, e após serem estabelecidas associações mineralógicas, o estudo dos minerais pesados irá permitir inferir sobre o transporte e origem dos sedimentos.

No sexto capítulo são apresentadas as conclusões do presente trabalho. Os resultados da análise textural e da mineralogia da fracção pesada são relacionados, permitindo a identificação de fontes sedimentares e a interpretação dos movimentos dos sedimentos no troço litoral.



## 1.2. Objectivos

Considerando serem ainda necessários estudos de dinâmica sedimentar no litoral entre Tróia e Sines (sudoeste de Portugal) complementares aos já efectuados, decidiu-se desenvolver o presente trabalho com o intuito de melhorar um pouco mais o conhecimento desta zona costeira.

Assim foram estabelecidos os seguintes objectivos:

- Caracterizar os depósitos sedimentares (praia, duna e arribas costeiras) do litoral sudoeste português entre Tróia e Sines relativamente aos seus aspectos texturais e conteúdo em minerais pesados;
- Complementar a definição das fontes sedimentares e perceber a sua influência no troço litoral Tróia-Sines;
- Melhorar o conhecimento da dinâmica sedimentar do troço Tróia-Sines.

## 1.3. Trabalhos anteriores

O litoral entre Tróia e Sines é actualmente um dos troços costeiros menos estudados de Portugal, no qual ainda permanecem muitas dúvidas sobre a dinâmica litoral bem como sobre as suas possíveis fontes sedimentares.

Em 1986, Quevauviller efectua o primeiro estudo dos sedimentos deste troço, no qual detecta uma diminuição do tamanho do grão de norte para sul, associando-a à diminuição da energia da ondulação. Por sua vez, esta é justificada como resultado do efeito de sombra do cabo Espichel à direcção predominante da ondulação vinda de noroeste (Quevauviller 1986a). Esta simples caracterização é a primeira tentativa para o conhecimento da dinâmica litoral neste troço.

Em 1987, o mesmo autor aproxima a curvatura do arco litoral Tróia-Sines a uma curva log-espiral. Através dos parâmetros obtidos nesta aproximação, e comparando com valores obtidos noutras áreas de estudo, Quevauviller (1987) pressupõe que o litoral em estudo se encontrava em equilíbrio, não possuindo importantes fontes sedimentares; indica também que a direcção predominante da ondulação é

modificada pelo cabo Espichel, chegando paralela à costa e não originando transporte sedimentar longitudinal.

Aplicando o método anterior a uma antiga linha de costa, encontrada na plataforma continental a uma profundidade de cerca de 50 m, Quevauviller (1988) indica que a direcção predominante da ondulação não se alterou nos últimos 10000 anos. Deste modo, o autor põe em evidência o importante papel desempenhado pelo cabo Espichel na dinâmica desta área litoral.

Os trabalhos de Gomes *et al.* (1990) e Gomes (1992) permitiram concluir que as taxas de transporte sólido potencial entre a praia e a duna são reduzidas na metade norte do troço litoral. Estes autores afirmam também que a praia é a principal fonte sedimentar da duna e que só, excepcionalmente, a duna contribuirá com sedimento para a praia.

Gama (1996) conclui, na análise dos volumes sedimentares transferidos, que a praia de Comporta apresenta elevadas trocas sedimentares anuais. O trabalho de Gama *et al.* (1997) também evidencia a razoável capacidade de recuperação da praia após os períodos de temporal estudados.

Os trabalhos de Luz *et al.* (2004) e Pombo *et al.* (2004) chegam à conclusão de que o cabo de Sines constitui uma barreira ao transporte sedimentar litoral, não existindo trocas significativas entre a zona a norte e a zona a sul deste cabo.

Gama (2005) ao estudar o arco litoral entre Tróia e Sines, relativamente à sua dinâmica sedimentar e morfológica, apresentou uma proposta de dinâmica através da aplicação de um modelo numérico.

Para além destes, foram realizados trabalhos de outras temáticas os quais serão referidos ao longo do trabalho sempre que se justifique.



## 2. Enquadramento

### 2.1. Enquadramento regional

A área em estudo localiza-se na zona sudoeste de Portugal, entre a embocadura do rio Sado, a norte, e o cabo de Sines, a sul (figura 2.1).

A norte da área de estudo situa-se a serra da Arrábida, a qual se estende por uma área de 35 km de comprimento e 6 km de largura. Esta designação abrange um conjunto de relevos principais, os quais apresentam uma orientação principal WSW-ESE, constituindo o limite sul da península de Setúbal (PBH Sado 2000).

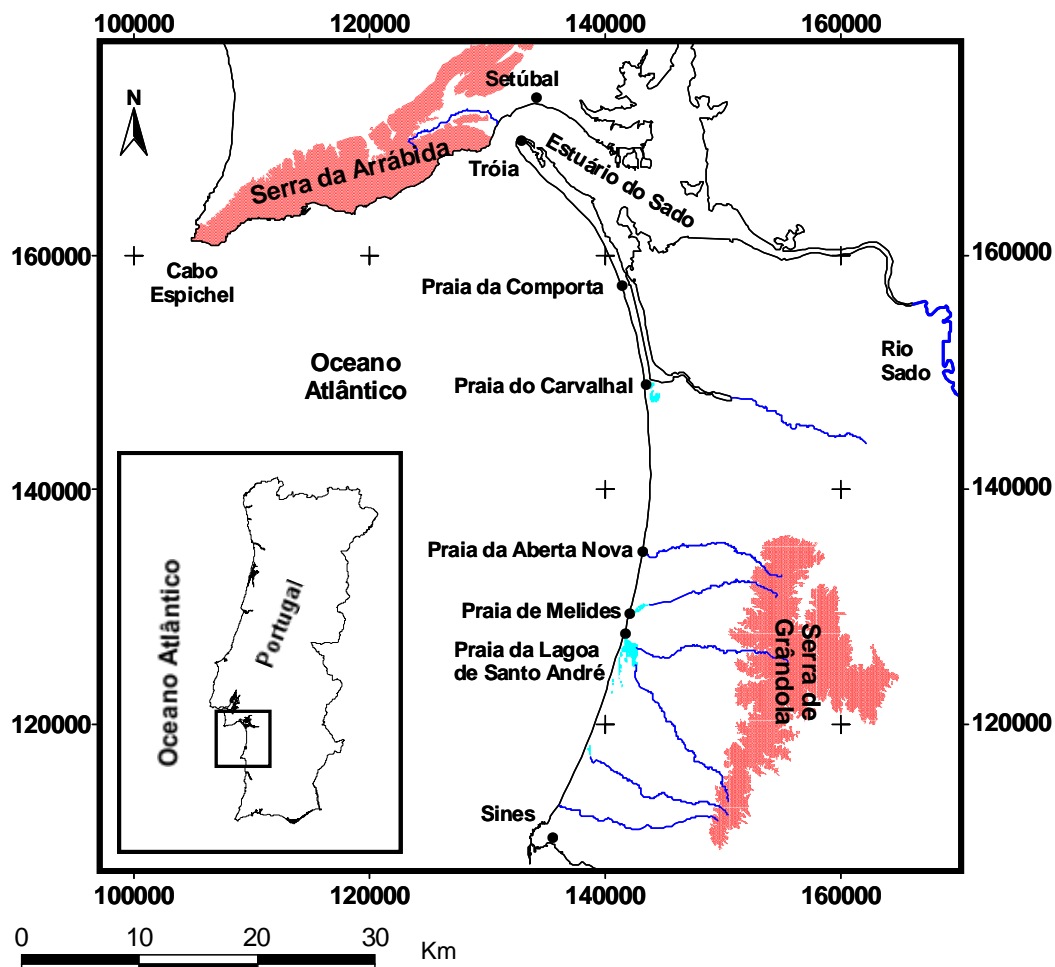


Figura 2.1 – Localização da área de estudo.

Este conjunto de relevos apresenta uma altitude máxima de 501 m (Formosinho), apresentando outras elevações menores que atingem os 392 m de altitude na serra de S. Luís, os 256 m na serra de S. Francisco, e os 224 m na serra do Louro (Folhas nº 454, 464 e 465, Carta Militar à escala 1:25000). De um modo geral, estes relevos mostram declives que podem atingir valores da ordem dos 40 % e condicionam a linha de costa no limite sul da península de Setúbal, apresentando-se esta sob a forma de arribas escarpadas. O prolongamento da serra da Arrábida para oeste dá origem ao cabo Espichel, o qual constitui o limite sul de outro troço litoral em forma de arco: arco da Caparica.

Localizada entre a serra da Arrábida, a norte, e a restinga de Tróia, a sul, encontra-se a embocadura do estuário do rio Sado, o qual apresenta uma bacia hidrográfica que se estende por toda a zona a este da área de estudo (figura 2.2).

A bacia hidrográfica do rio Sado abrange uma superfície de aproximadamente 7737,4 km<sup>2</sup> (Folhas nº 434 e 435; 443 a 449; 454 a 460; 465 a 471; 475 a 481; 484 a 490; 494 a 499; 506 a 510; 516 a 521; 526 a 531; 535 a 539; 544 a 548; 554 e 555, Carta Militar à escala 1:25000)<sup>1</sup>, correspondendo à bacia inteiramente portuguesa de maior área. Apresenta uma altitude média de 127 m e é limitada por relevos máximos na ordem dos 501 m na serra da Arrábida, 421 m na serra de Portel, 326 m na serra de Grândola, e 393 m na serra da Vigia (PBH Sado 2000). A norte, a bacia do rio Sado é limitada pela bacia do rio Tejo, a este pela do rio Guadiana, a sul pela bacia do rio Mira e a oeste pelas diversas ribeiras que desaguam directamente no mar.

O rio Sado nasce na serra da Vigia, a 230 m de altitude, e desenvolve-se ao longo de 180 km até à foz. O rio corre segundo duas direcções preferenciais. Num primeiro troço, desde a nascente até à confluência com a ribeira de Odivelas, o rio corre na direcção sul-norte e, num segundo troço, para noroeste em direcção à foz (PBH Sado 2000). Apresenta como principais afluentes a norte as ribeiras da Marateca, de São Martinho e das Alcáçovas, a este o rio Xarrama, ribeira de Odivelas e ribeira do Roxo, a oeste, as ribeiras de Grândola, de Corona e de Campilhas (PBH Sado 2000) (figura 2.2).

---

<sup>1</sup> Valor calculado recorrendo ao software ArcView GIS 3.2®.

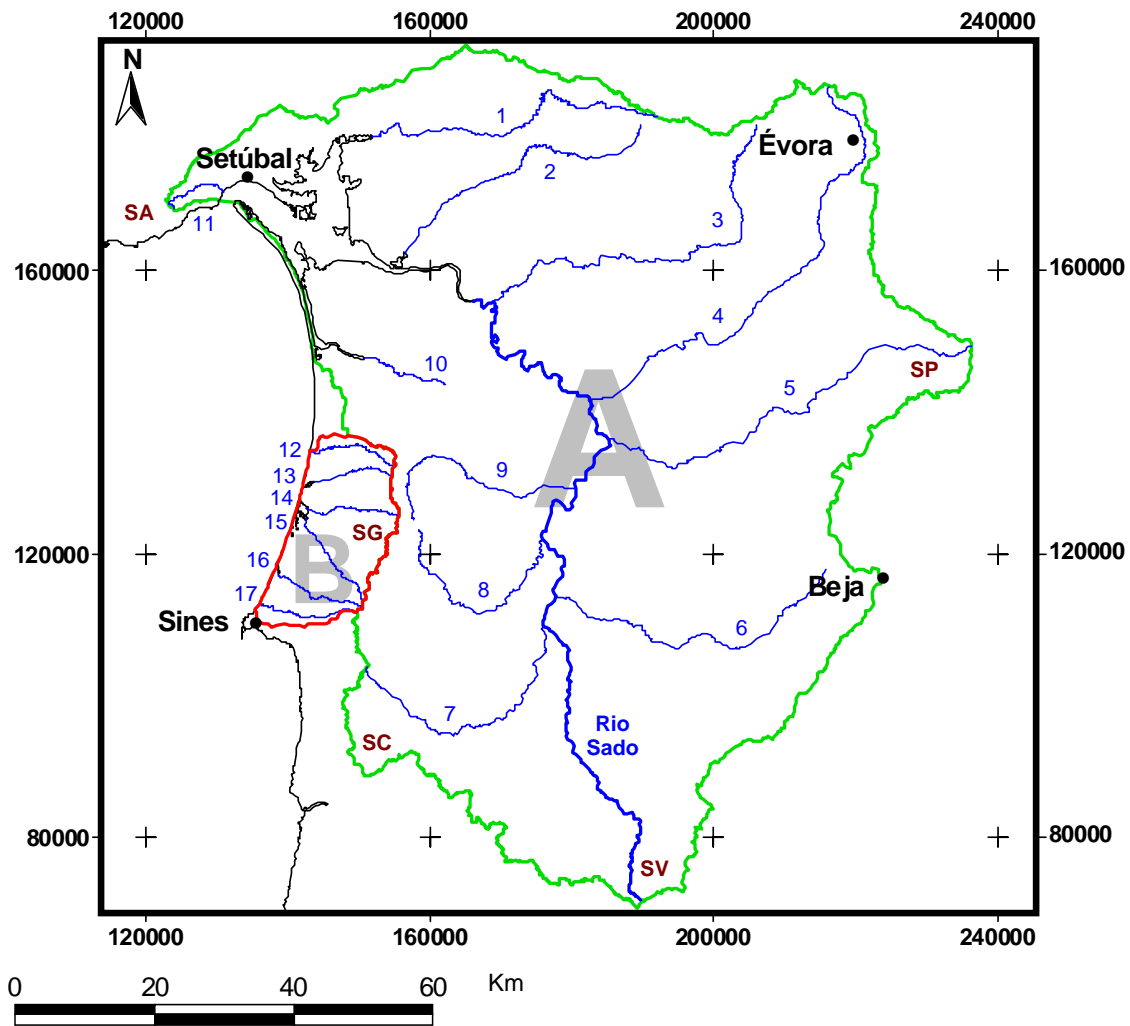


Figura 2.2 – Bacias hidrográficas da região adjacente à área de estudo: A – Bacia hidrográfica do rio Sado; B – Conjunto de bacias hidrográficas das ribeiras litorais adjacentes à área de estudo. (1) Rib<sup>a</sup> da Marateca; (2) Rib<sup>a</sup> de S. Martinho; (3) Rib<sup>a</sup> das Alcáçovas; (4) Rio Xarrama; (5) Rib<sup>a</sup> de Odivelas; (6) Rib<sup>a</sup> do Roxo; (7) Rib<sup>a</sup> de Campilhas; (8) Rib<sup>a</sup> da Corona; (9) Rib<sup>a</sup> de Grândola; (10) Rib<sup>a</sup> Pernada do Marco; (11) Rib<sup>a</sup> da Comenda; (12) Rib<sup>a</sup> das Fontainhas; (13) Rib<sup>a</sup> de Melides; (14) Rib<sup>a</sup> da Cascalheira; (15) Rib<sup>a</sup> da Badoca; (16) Rib<sup>a</sup> da Sancha; (17) Rib<sup>a</sup> de Moinhos. (SA) Serra da Arrábida; (SC) Serra do Cercal; (SG) Serra de Grândola; (SP) Serra de Portel; (SV) Serra da Vigia.

A oeste da área de estudo localiza-se a serra de Grândola, a qual apresenta direcção norte-sul com 35 km de comprimento, enquadrando-se num conjunto de relevos também alinhados na mesma direcção, com cerca de 60 km, dos quais também faz parte a serra do Cercal (localizada a sul). Atinge a altitude máxima de 326 m separa a bacia hidrográfica do rio Sado das bacias hidrográficas das ribeiras litorais que desaguam directamente na praia (figura 2.2).

Algumas das ribeiras atrás referidas terminam em lagoas. É o caso da ribeira de Melides, que drena para a Lagoa de Melides, das ribeiras da Cascalheira e da Badoca (Santo André), e da ribeira da Sancha, que desaguam nas Lagoas de Santo André e da Sancha, respectivamente. Para além destas ribeiras destacam-se mais duas: a ribeira das Fontainhas e a ribeira de Moinhos.

Durante a maior parte do ano, as lagoas e ribeiras não comunicam com o mar. Contudo, durante o Inverno, em períodos de tempestade (os quais geram uma altura de onda maior) os espraios das ondas podem galgar o cordão arenoso que separa o mar das lagoas ou ribeiras. O contacto com o mar também pode ocorrer de uma forma esporádica após períodos de elevada precipitação. Para além da comunicação natural, quer na Lagoa de Melides, quer na Lagoa de Santo André, procede-se à abertura artificial de um canal de comunicação com o mar com o objectivo de renovar as águas acumuladas nas lagoas. Para a abertura da Lagoa de Santo André existe uma deliberação camarária que determina uma abertura anual.

A maior das lagoas, Lagoa de Santo André, ocupa uma área muito variável, a qual depende da época do ano, da quantidade de precipitação e da abertura ou não do canal de comunicação com o mar. Com base na folha nº 505 (Carta Militar à escala 1:25000) foi estimada a sua área em cerca de 2,2 km<sup>2</sup>. A bacia hidrográfica correspondente abrange uma superfície de cerca de 139,8 km<sup>2</sup> (Folhas nºs 505, 506, 526 e 517, Carta Militar à escala 1:25000), constituindo também a maior das bacias hidrográficas das ribeiras litorais. Esta lagoa constitui uma depressão pouco profunda, apresentando uma profundidade média de cerca de 2 m e máxima de 4 m (Matos *et al.* 1992, Piedade *et al.* 2005). A Lagoa de Melides e a Lagoa da Sancha ocupam, respectivamente, uma área de 0,38 km<sup>2</sup> e de 0,13 km<sup>2</sup>, abrangendo as suas bacias hidrográficas uma área de 64,4 km<sup>2</sup> e de 36,7 km<sup>2</sup>. A profundidade máxima destas lagoas é, de cerca de 2 m na Lagoa de Melides, e de 1 m na Lagoa da Sancha. As bacias da ribeira das Fontainhas e a ribeira de Moinhos abrangem, respectivamente, uma área de 28,4 km<sup>2</sup> e de 34,4 km<sup>2</sup> (Folhas nºs 494, 495, 515a, 516 e 526, Carta Militar à escala 1:25000, Freitas *et al.* 1995, Cruces *et al.* 2004).

A oeste da área de estudo localiza-se a plataforma continental norte alentejana. Esta foi dividida por Quevauviller (1986b) em 5 grandes unidades geomorfológicas (figura 2.3): (1) uma margem estreita adjacente à serra da Arrábida; (2) uma formação sedimentar associada à desembocadura do estuário do Sado; (3) o canhão de Setúbal com o seu “afluente”, o canhão de Sesimbra, indicando uma ligação a uma antiga rede fluvial; (4) uma plataforma situada entre o delta submarino do Sado e o canhão de Setúbal; e (5) uma vasta plataforma situada a sul deste canhão, que em continuidade com a anterior, prolonga-se até Sines.

De uma forma geral, a plataforma apresenta declives elevados em comparação com outros troços da plataforma continental portuguesa. A profundidades específicas encontram-se declives mais acentuados interpretados por Quevauviller (1986b) como indicadores de antigas linhas de costa; estas situam-se às profundidades de 50, 100 e 160 m, constituindo a última, o limite externo da plataforma. As paleo-linhas apresentam formas semelhantes e paralelas à actual linha de costa, indicando que as condições condicionantes da morfologia local, não se alteraram muito nos últimos 18000 anos. O nível do mar subiu ao longo deste período, intercalando com alguns períodos de estabilização, os quais permitiram o desenvolvimento das linhas de costa agora residuais.

Este facto é também confirmado por Dias *et al.* (2000), que apresenta uma síntese da evolução da linha de costa em Portugal desde o último máximo glaciário.

### 2.1.1. Geologia

Os afloramentos do Paleozóico encontram-se quase exclusivamente na área abrangida pela bacia hidrográfica do rio Sado, aflorando apenas numa pequena área pertencente às bacias hidrográficas das ribeiras litorais (figura 2.4). Estes apresentam dois conjuntos de características distintas. Num predominam os metassedimentos de baixo grau de metamorfismo (Zona Sul-Portuguesa), enquanto no outro predominam as rochas ígneas e metassedimentares de grau médio a elevado (Zona de Ossa-Morena) (Pimentel 1997).



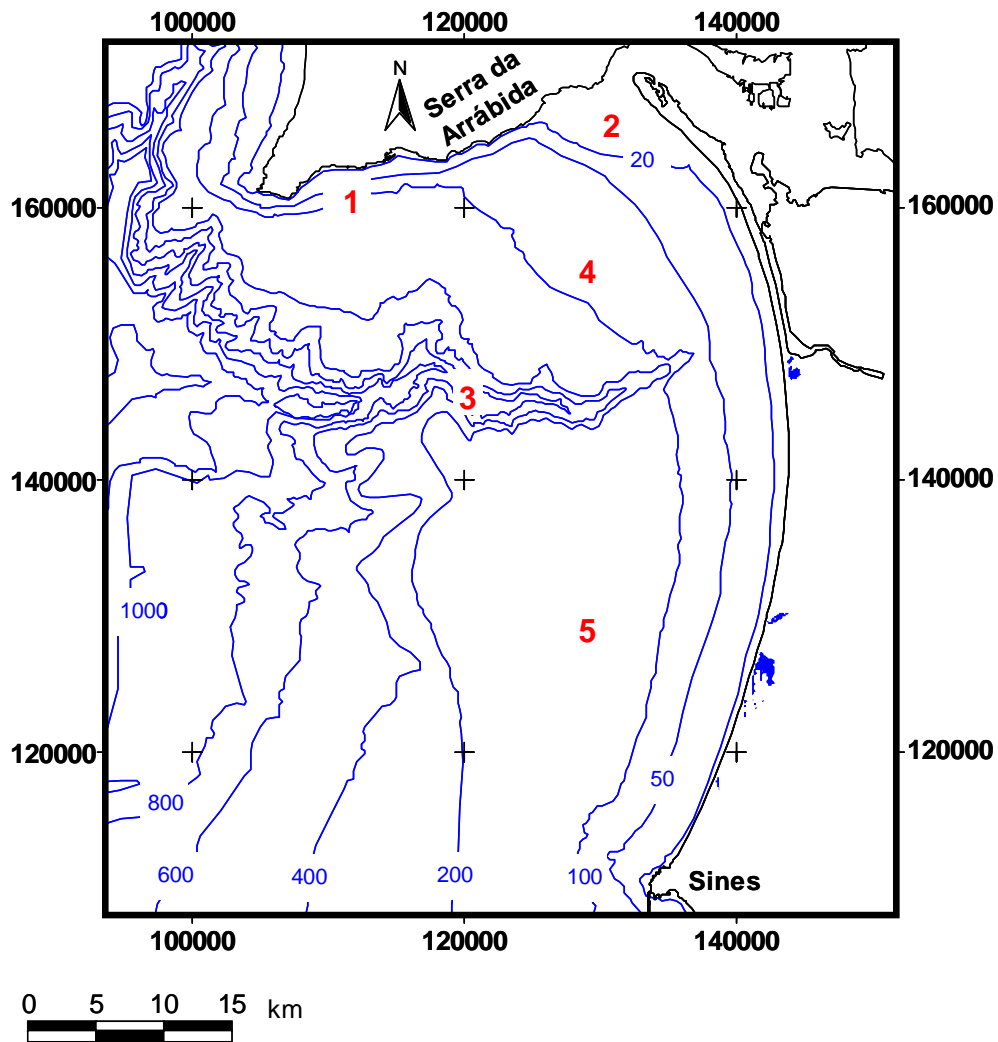


Figura 2.3 – Batimetria da plataforma continental portuguesa ao largo da área de estudo. Adaptado de Quevauviller (1986b). (1) margem adjacente à serra da Arrábida; (2) formação sedimentar relacionada com o estuário do Sado; (3) canhão de Setúbal (4) plataforma entre o estuário do Sado e o canhão de Setúbal; (5) plataforma a sul do canhão de Setúbal.

A Zona Sul-Portuguesa e a zona de Ossa-Morena cobrem, respectivamente, cerca de 22 e 27 % da superfície da bacia hidrográfica do rio Sado (Carvalho 1992).

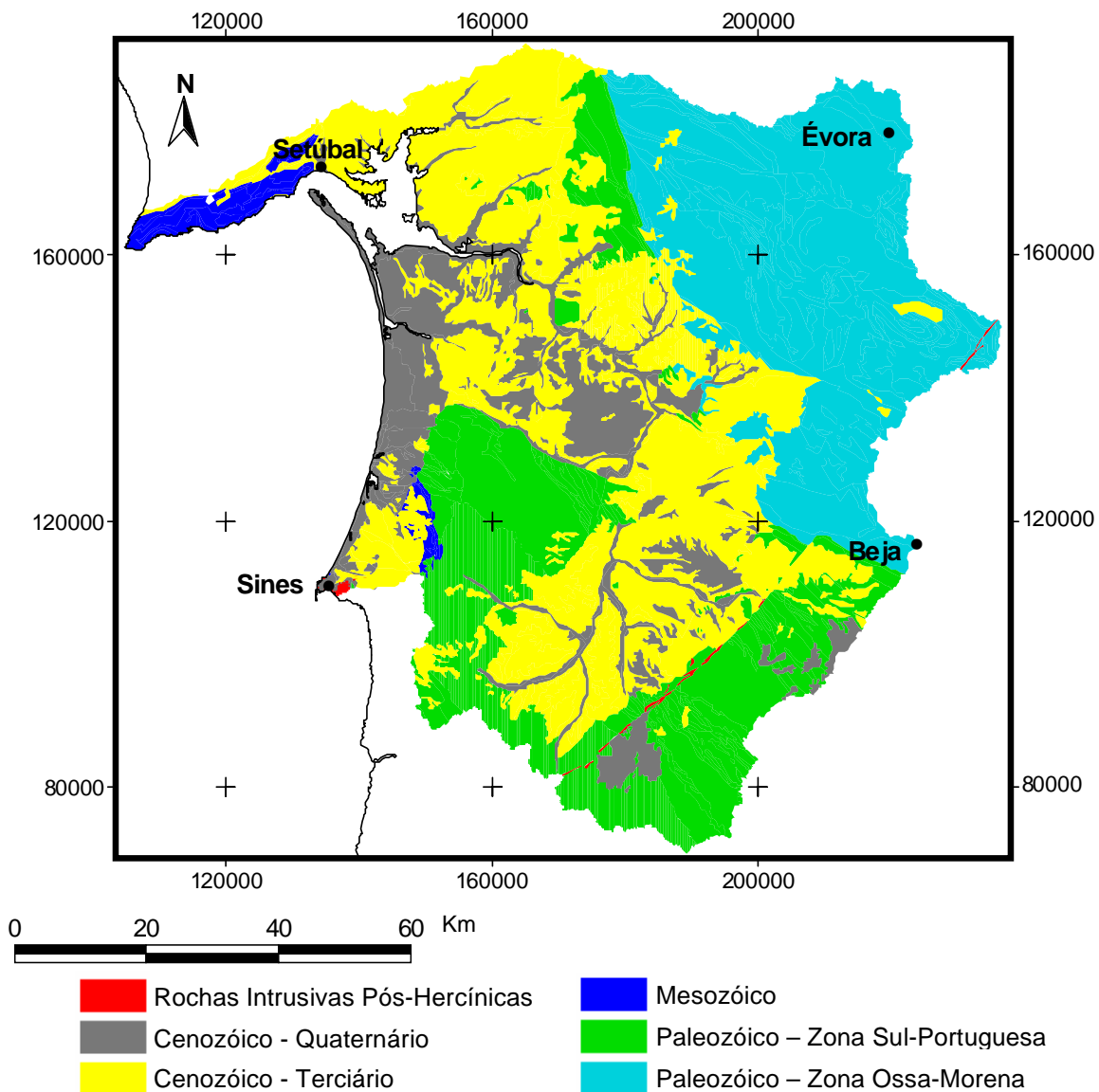


Figura 2.4 – Principais unidades cronoestratigráficas presentes nas bacias de drenagem envolvidas à área de estudo. Adaptado de Carvalho (1992).

Pimentel (1997) sumaria as principais litologias do Paleozóico sob o ponto de vista de potenciais fontes de alimentação da bacia do Sado. Segundo este autor, os afloramentos da Zona Sul-Portuguesa são essencialmente de natureza xisto-grauváquica, pouco resistentes à alteração química e física, originando materiais essencialmente de natureza micácea e argilosa. A ocorrência de veios de quartzo de exsudação associados a fases de deformação tardias dos xistos constitui uma fonte de clastos quártzicos. Pimentel (1997) também salienta algumas litologias que

considera de carácter importante devido à sua resistência à alteração ou à sua composição específica: quartzitos resistentes, jaspes e chertes, filões quartzo-carbonatados (Zona Sul-Portuguesa) e gneisses félsicos, pórfiros riódacíticos, rochas básicas e ultrabásicas granulares, rochas ácidas e intermédias granulares e feldspatos (Zona de Ossa-Morena).

As litologias de idade Mesozóica afloram em pequena extensão e apenas nas serras da Arrábida e de Grândola, sendo fundamentalmente constituídas por calcários, margas, dolomitos e calcários dolomíticos.

Na extremidade sul do troço litoral situa-se o complexo anelar sub-vulcânico de Sines (figura 2.5). O complexo de Sines formou-se no Mesozóico, mais especificamente no Cretácico Superior. Apresenta semelhanças com outros dois complexos sub-vulcânicos, Monchique e Sintra, de origem aproximadamente contemporânea. Estes maciços estão em relação provável com a grande fractura linear de direcção NNW-SSE, na intersecção das linhas de fractura este-oeste do Mediterrâneo (Oliveira 1984).

A oriente, o complexo de Sines está quase totalmente coberto por depósitos cenozóicos, o que reduz a zona de observação a uma estreita faixa litoral. No entanto, a prospecção geofísica permite precisar a forma elíptica do complexo cujo eixo maior se orienta na direcção oeste-este, formando uma área de cerca de 5 por 2,3 km (Inverno *et al.* 1993). Através de perfis de reflexão sísmica e amostragem de rochas da

plataforma continental, a ocidente do cabo de Sines, verifica-se que o maciço se prolonga para ocidente, totalizando uma área de 12 por 3,5 km. A parte emersa é

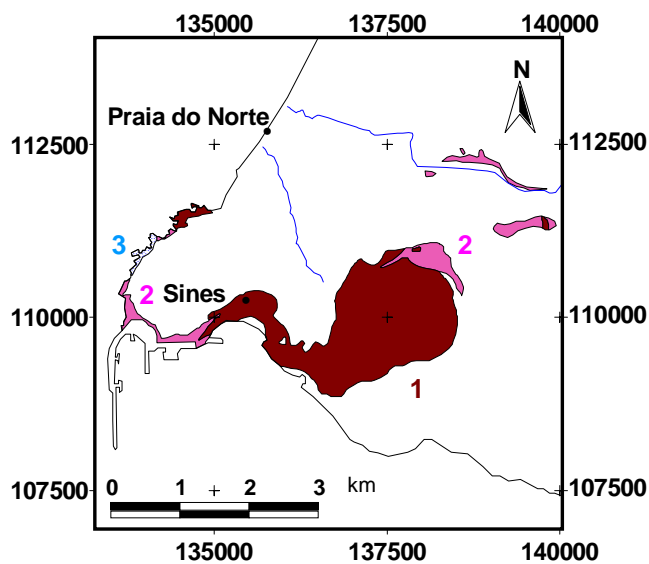


Figura 2.5 – Geologia do Complexo de Sines: **1**- Gabros e dioritos; **2** – Sienitos e microsienitos; **3** – Brechas eruptivas. (Adaptado de Inverno *et al.* (1993).

constituída por rochas granulares, gabro-dioritos envolvendo sienitos posteriores, os quais são cortados por brechas eruptivas. A norte e em contacto com este complexo encontram-se calcários do jurássico (indiferenciado) metamorizados pelo contacto com o referido complexo. Dependentes do maciço e dispostos tanto nele como nas formações encaixantes ocorrem numerosos filões (Inverno *et al.* 1993).

As litologias Cenozóicas encontram-se um pouco por toda a área continental, estando especialmente representadas na zona noroeste da bacia hidrográfica do rio Sado (ocupando 47 % da superfície desta bacia), bem como por todo o litoral adjacente à área de estudo. No seu conjunto o Cenozóico é constituído essencialmente por argilas, areias, arenitos, cascalheiras, grés e calcários no Terciário, e no Quaternário por terraços, cascalheiras, aluviões, dunas e areias de praia.

Segundo Pimentel (1997), os terrenos do Terciário consistem em depósitos terrígenos, os quais resultaram essencialmente do transporte e deposição dos terrenos Paleozóicos.

Para além dos depósitos atrás referidos, no Cenozóico incluem-se os do Quaternário correspondentes aos terraços fluviais do rio Sado e seus afluentes principais, bem como todo o conjunto de areias dunares e depósitos Holocénicos.

Os sedimentos da plataforma continental, adjacente à área de estudo, são dominados pela classe das areias. Magalhães (1999) indica que a escassa variabilidade granulométrica destes sedimentos deve estar provavelmente relacionada com a inexistência actual de rios importantes, com a regularidade de pendor (excepção na zona do canhão de Setúbal e na embocadura do rio Sado) e exposição à ondulação da plataforma. A fracção grosseira é dominada pela componente biogénica; enquanto os terrígenos estão aparentemente relacionados com o rio Sado. As partículas de quartzo constituem a classe dominante na areia. Segundo Magalhães (1999), foram encontrados, ao largo de Sines, os valores mais elevados de glauconite na areia dos sedimentos de toda a plataforma.

### 2.1.2. Área de estudo

O troço litoral da área de estudo é constituído por praias de sedimentos não consolidados. Estes sedimentos são essencialmente siliciosos com alguma componente carbonatada, especialmente na zona norte do troço litoral. Na zona sul deste troço (praia do Norte em Sines) ocorrem, de forma descontínua, afloramentos rochosos do Jurássico Médio - Batoniano (figura 2.6). Estes são denominados “Calcários do Rodeado” e consistem em calcários calciclásticos, oolíticos e microcristalinos, e escassos dolomitos, em intercalações descontínuas (Inverno *et al.* 1993).



Figura 2.6 – Afloramentos do Jurássico na Praia do Norte (Sines).

Segundo Quevauviller (1987), Gomes (1992) e Gama (2005) as arribas presentes na zona central da área de estudo revelam sequências sedimentares essencialmente detríticas do Miocénico (areias silto-argilosas, argilas, calcoarenitos lumachélicos e calcários) e do Plio-Plistocénico (areias finas a grosseiras, com níveis de cascalheiras, argilas e crostas ferruginosas).

## 2.2. Geomorfologia da área de estudo

O troço litoral em estudo pode ser dividido em sectores, com base nas suas características geomorfológicas (Quevauviller 1987, Gomes 1992).

Quevauviller (1987) individualizou o troço litoral em 4 sectores distintos. Gomes (1992) subdividiu alguns dos sectores propostos por aquele autor, reconhecendo um total de 7 (figura 2.7).

No presente trabalho, de acordo com a descrição mais pormenorizada de Gomes (1992), descrevem-se os sete sectores, com base no tipo e organização do sistema dunar e na fisiografia geral da linha de costa.

No sector 1, correspondente ao extremo norte da península de Tróia, existem dunas baixas organizadas em 4 a 5 cordões dunares. A largura máxima da península é de 1500 m, formando as dunas mais antigas e de maior cota o limite oriental da península.

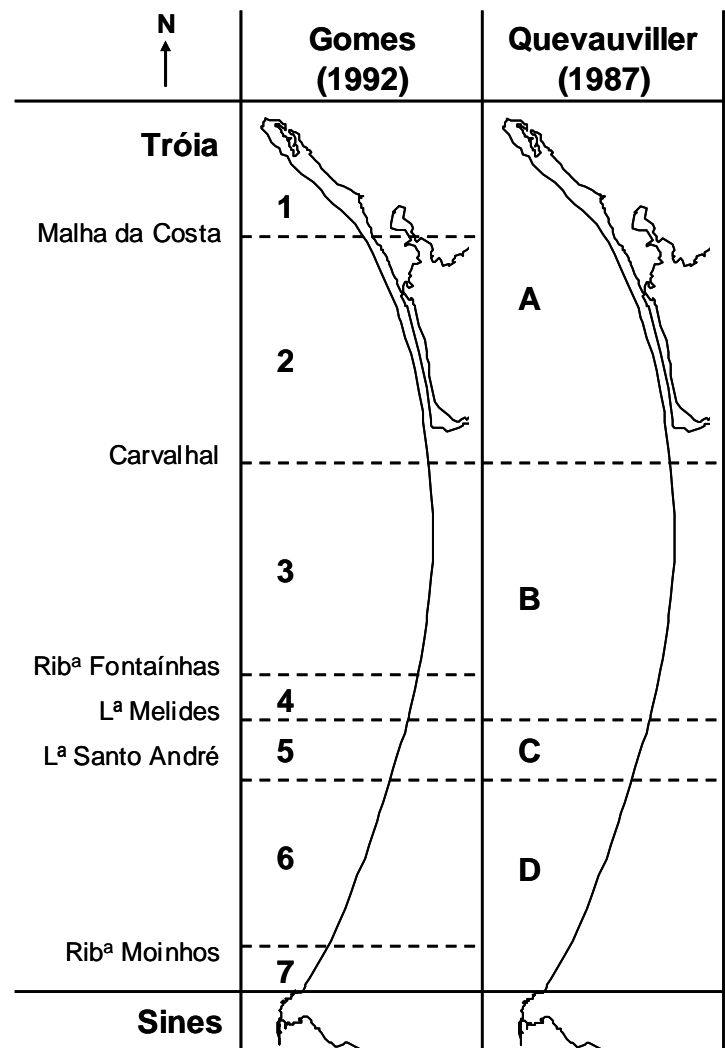


Figura 2.7 – Divisão da área de estudo em sectores proposta por Gomes (1992) e Quevauviller (1987) tendo por base as características morfológicas.

Este sector é o mais perturbado pela actividade antrópica, devido à presença da urbanização da Torralta, a norte, e da urbanização Sol-Tróia. Nas proximidades desta última, com uma extensão de quase 2 km, a praia é mais estreita,

evidenciando uma escarpa dunar, que denuncia uma zona de erosão acentuada, talhada em dunas já estabilizadas (Gomes 1992).

O sector 2 engloba a restante parte da península de Tróia, terminando na praia do Carvalho (fig. 2.7). Possui 2 a 3 alinhamentos de cristas de duna, deixando de se evidenciar dois dos definidos no sector 1. As dunas de maior envergadura, correspondentes à primeira fase de acumulação eólica, situam-se a cotas que frequentemente ultrapassam os 20 m, encontrando-se, em alguns locais, cortadas por corredores eólicos que indicam transporte transversal em ambos os sentidos. As dunas terminam bruscamente nos depósitos aluvionares do rio Sado, Vala Real e Vala do Juncal a norte e, a sul da praia do Carvalho, no alinhamento Lagoa Travessa – Lagoa Formosa (Gomes 1992).

Para sul deste sector e até à praia da Aberta Nova, localiza-se o sector 3, no qual se evidencia uma arriba profundamente ravinada de tons alaranjados e avermelhados.

A arriba torna-se mais imponente de norte para sul, chegando a atingir os 60 m (Gomes 1992, Gama 2005) e denota acentuada erosão sub-aérea, testemunhada pelos cones de dejeção existentes no contacto com a praia (figura 2.8).



Segundo Gomes (1992), a morfologia Figura 2.8 – Praia da Galé (sector 3).

do sistema dunar apresenta uma acentuada mudança, onde predominam as dunas parabólicas e longitudinais (com direcção predominante NNW-SSE), revelando uma maior maturidade do sistema.

A base da arriba é acompanhada em alguns locais por dunas embrionárias. Onde não existe duna embrionária, a arriba ou os cones de dejeção contactam directamente com a praia de reduzida largura (40 a 50 m) (figura 2.8).

Entre a praia da Aberta Nova e a Lagoa de Melides, Gomes (1992) definiu o sector 4 (fig. 2.7), o qual se caracteriza pela existência de arribas baixas, cobertas por dunas

antigas que, por vezes, se encontram ligadas às dunas embrionárias actuais, as quais ocorrem segundo um alinhamento que ocupa o topo da alta praia.

Segundo Gomes (1992), a linha de costa do sector 5, entre a barra da Lagoa de Melides e a praia do Monte Velho, está ocupada por um sistema de dunas de baixo perfil, fixadas por vegetação, e acompanhadas por um alinhamento de dunas embrionárias no limite com a praia. O sistema de dunas interno caracteriza-se pela existência de dunas longitudinais e parabólicas isoladas, com orientações NNW-SSE. De acordo com o mesmo autor, a Lagoa de Melides marca um limite bem definido entre a zona norte, com arribas, e a zona sul onde estas deixam de existir em contacto com a praia. Neste sector, o desenvolvimento do sistema dunar actual, para o interior, é influenciado pela dinâmica das barreiras que protegem as lagoas de Santo André e de Melides.

O sector 6 encontra-se limitado entre a praia do Monte Velho e a praia do Outeiro (a norte da ribeira de Moinhos) e inclui as dunas frontais de cotas mais elevadas do arco Tróia-Sines, atingindo mais de 40 m de altura. As dunas cobrem o Plio-Plistocénico, ao qual se deve parte da sua altura (Gomes 1992). Para o interior definem uma zona depressionária, por vezes ocupada por zonas húmidas (Lagoa do Barbaroxa de Baixo, Lagoa do Barbaroxa do Meio, Lagoa do Barbaroxa de Cima e Lagoa da Sancha. Neste sector a praia tem características claramente reflectivas, associada a um alinhamento de dunas embrionárias no limite superior da praia.

O sector 7 abrange a zona entre a praia do Outeiro e o maciço de Sines (Gomes, 1992) (figura 2.7). Neste sector voltam a estar presentes as arribas Plio-Plistocénicas que aumentam de altura para sul. As dunas antigas, constituídas essencialmente por morfologias longitudinais, cobrem quase toda a zona do cabo de Sines, embora bastante degradadas, pelo desenvolvimento industrial e urbanístico da região.

Para todo o troço em estudo, e segundo Quevauviller (1987) e Gomes (1992), os declives da face de praia parecem aumentar de norte para sul e a praia apresenta-se reflectiva ao longo de todo o troço. Gama (2005), utilizando o sistema de classificação de Wright & Short (1984), classifica as praias como sendo do tipo intermédio, em particular do subtipo denominado por "*Transverse bar and rip*" (Barra



transversal e correntes de retorno). A única excepção assinalada por esta autora é a das praias do sector 7, as quais apresentam características reflectivas. Apesar destas conclusões, Gama refere que a aplicação de outro método de classificação (limites de Masselink & Hegge (1995) para o índice de Dean ( $w$ )) resulta na classificação como reflectivas de todas as praias por ela estudadas nesse troço.

### 2.3. Climatologia

As condições meteorológicas predominantes em Portugal Continental são condicionadas, essencialmente, por factores permanentes, tais como a latitude (região de transição entre a zona dos Anticiclones subtropicais e a zona das Depressões subpolares do Hemisfério Norte), a orografia, a influência do oceano Atlântico e a continentalidade. Junto à costa, a estes factores acresce a influência da orientação dominante da linha de costa (IM, 2004).

Segundo Lautensach (1987), no contexto ibérico, o clima português é caracterizado pela pequena diferença de temperaturas entre o norte e o sul, tanto no Verão como no Inverno, e por possuir um Verão moderadamente quente e um Inverno pouco rigoroso, com aumento das características extremas em direcção ao interior. Junto ao litoral observa-se uma fraca amplitude anual das temperaturas, um período seco no pino do Verão e uma diminuição rápida da humidade relativa no Verão, em direcção ao interior, sendo esta bastante elevada no litoral.

A localização do país associada ao regime de vento na costa origina fenómenos de afloramento costeiro (*upwelling*), caracterizado pela subida de águas frias junto à costa, que condicionam o clima da região.

#### 2.3.1. Vento

O vento sopra moderado de N ou NNW (regime de nortada) na faixa costeira de Portugal Continental, em especial durante o Verão (IM 2004). Na costa ocidental o rumo mais frequente é N ou NW, geralmente com velocidade média inferior a

13 km/h de madrugada e de cerca de 20 a 30 km/h durante a tarde. Contudo, verifica-se a ocorrência de ventos superiores a 41 km/h; os ventos mais fortes são geralmente de SW, podendo atingir valores superiores a 52 km/h. Os ventos de terra (do quadrante E) normalmente não excedem os 30 km/h de velocidade.

Na tabela 2.1 encontram-se resumidas as frequências de ocorrência e a velocidade média do vento, para o período compreendido entre 1971 e 1990 na estação meteorológica de Sines.

Neto (1999) apresenta registos de velocidade e rumos do vento de uma estação em Comporta. Segundo o autor, o somatório dos rumos SW, WSW e SSW representam 21,4 % do total das observações, enquanto que o somatório dos rumos NNE, N e NNW representam 29,7 %. Estes valores diferem claramente da tendência geral do litoral ocidental de Portugal, a qual se traduz em rumos essencialmente de NW e N (tabela 2.1). De acordo com o mesmo autor, o factor que provoca as principais modificações ao rumo dos ventos é a presença da serra da Arrábida, uma vez que a norte desta elevação os rumos sofrem uma rotação para W, SW ou mesmo para S. Esta rotação é o factor responsável pelas diferenças entre os registos de Comporta e os do resto da zona costeira do país.

Tabela 2.1 – Quadro resumo da frequência (F) e da velocidade média (V) para cada rumo do vento na estação meteorológica de Sines, entre 1971 e 1990 (IM 2004).

|            | Frequência F (%) e Velocidade Média V (km/h) para cada rumo |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       | Veloc. |
|------------|---|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|--------|
|            | N   |      | NE   |      | E   |      | SE   |      | S    |      | SW   |      | W    |      | NW   |      | Calma | Média  |
|            | F   | V    | F    | V    | F   | V    | F    | V    | F    | V    | F    | V    | F    | V    | F    | V    | C     | (km/h) |
| Janeiro    | 22,1  | 20,2 | 11,5 | 14,9 | 8,4 | 12,0 | 14,2 | 12,7 | 12,4 | 17,6 | 9,2  | 22,6 | 6,4  | 18,7 | 11,2 | 23,2 | 4,6   | 16,6   |
| Fevereiro  | 26,7  | 21,0 | 7,7  | 13,5 | 6,8 | 12,9 | 8,7  | 15,5 | 14,9 | 18,8 | 9,0  | 22,4 | 8,6  | 21,9 | 15,1 | 22,7 | 2,5   | 18,6   |
| Março      | 23,6  | 20,7 | 6,5  | 14,2 | 4,9 | 12,9 | 9,2  | 13,2 | 11,3 | 15,5 | 9,1  | 18,0 | 8,7  | 17,1 | 24,0 | 21,5 | 2,7   | 18,0   |
| Abril      | 25,5  | 18,6 | 4,8  | 15,3 | 4,0 | 14,7 | 5,3  | 14,1 | 9,4  | 16,9 | 8,2  | 18,9 | 12,2 | 14,8 | 29,1 | 19,9 | 1,4   | 17,8   |
| Maio       | 26,6  | 17,3 | 3,2  | 15,0 | 1,3 | 15,6 | 0,6  | 7,3  | 7,6  | 17,9 | 10,0 | 16,1 | 9,8  | 14,6 | 39,7 | 20,6 | 1,3   | 18,3   |
| Junho      | 25,1  | 14,8 | 1,6  | 9,1  | 0,3 | 11,3 | 1,6  | 11,8 | 10,2 | 11,7 | 10,2 | 13,3 | 9,8  | 11,2 | 40,0 | 18,9 | 1,4   | 15,7   |
| Julho      | 26,9  | 14,4 | 1,8  | 14,0 | 0,6 | 12,9 | 1,0  | 8,9  | 7,3  | 9,9  | 7,1  | 10,9 | 6,7  | 10,0 | 46,5 | 18,6 | 2,1   | 15,1   |
| Agosto     | 28,9  | 13,6 | 3,5  | 9,8  | 0,7 | 8,8  | 0,8  | 11,8 | 8,2  | 10,7 | 6,0  | 9,7  | 5,4  | 9,0  | 43,1 | 17,9 | 3,3   | 14,8   |
| Setembro   | 29,7  | 12,6 | 5,4  | 10,9 | 0,9 | 5,9  | 3,7  | 11,7 | 14,1 | 12,0 | 9,1  | 11,5 | 5,7  | 9,2  | 27,3 | 14,7 | 4,0   | 12,6   |
| Outubro    | 29,8  | 15,8 | 7,6  | 11,1 | 2,7 | 10,7 | 7,0  | 11,0 | 16,7 | 14,9 | 5,4  | 15,8 | 7,0  | 13,8 | 19,3 | 18,2 | 4,5   | 14,6   |
| Novembro   | 27,2  | 17,3 | 9,9  | 12,5 | 6,8 | 11,3 | 13,3 | 11,6 | 14,2 | 16,8 | 6,7  | 17,8 | 5,2  | 21,9 | 11,9 | 18,1 | 4,8   | 15,9   |
| Dezembro   | 21,7  | 18,6 | 11,9 | 13,4 | 7,9 | 12,4 | 14,3 | 13,0 | 13,2 | 19,8 | 9,5  | 23,6 | 9,2  | 23,0 | 8,9  | 21,7 | 3,5   | 17,3   |
| <b>Ano</b> | 26,1  | 16,9 | 6,3  | 13,1 | 3,8 | 12,3 | 6,7  | 12,7 | 11,6 | 15,5 | 8,3  | 17,1 | 7,9  | 15,6 | 26,3 | 19,2 | 3,0   | 16,3   |

Na região sul, a influência da serra da Arrábida já não se faz sentir. Gama (1996) indica que a direcção dos ventos anuais, registados na estação de Sines, é do quadrante NW e N, com os de SW apenas a intervirem no período de Inverno (situação idêntica aos valores gerais da costa ocidental).

### 2.3.2. Pluviosidade

A pluviosidade é um factor de importância relativa para o presente estudo. Embora não exerça uma influência directa na praia pode interferir, indirectamente, de duas formas distintas: no transporte sedimentar efectuado pelo rio Sado e pelas ribeiras adjacentes à praia na zona sul do sector (figura 2.2) e/ou na quantidade de material removido e transportado directamente das arribas para a praia (figura 2.9).

No primeiro caso, a bacia hidrográfica do rio Sado ao drenar um maior volume de água, erode e transporta uma maior quantidade de sedimentos, que tenderão a alimentar as correntes de deriva litoral quando os mesmos chegam à desembocadura do estuário do Sado.



Figura 2.9 – Marcas de escorrência numa arriba da praia da Galé.

As ribeiras adjacentes às praias podem fornecer directamente sedimentos provenientes da serra de Grândola, os quais em condições de baixa precipitação não chegariam à praia. Uma maior precipitação particularmente forte pode condicionar a composição mineralógica dos sedimentos da praia adjacentes às arribas, através do enriquecimento em minerais provenientes dessas formações; estes materiais podem posteriormente serem transportados pela deriva litoral.

A frequência e a quantidade média anual de precipitação na costa decresce de norte para sul (IM 2004). No interior, estes valores são mais baixos do que no litoral (IM

2005). Os valores médios mensais da precipitação atingem máximos nos meses de Janeiro e Dezembro e mínimos em Julho e Agosto (figura 2.10).

## 2.4. Oceanografia

Em Portugal continental o regime de marés é semi-diurno e varia entre 3,4 m (amplitude máxima em marés vivas) e 0,7 m (amplitude mínima em marés mortas). O nível médio da maré corresponde aos 2 m acima do zero hidrográfico (Gama 1996).

Entre 1971 e 1980, os registos apresentados por Quevauviller (1988), indicam que a direcção predominante de aproximação das ondas vindas de águas profundas é de NW (75 %), representando as direcções de W 20 % e as de SW apenas 2 %. O período de rebentação das ondas é de 6 segundos no Verão e de 10 segundos no Inverno.

Segundo o resumo do clima de agitação marítima (Costa & Cardoso (1994) *in* Gama (1996)), o qual abrange os registos obtidos pelo ondógrafo ao largo de Sines entre Setembro de 1986 e Julho de 1993, os valores relativos a direcções de aproximação das ondas não são muito diferentes dos anteriores: 80 % de NW, 16,4 % de W e 2,9 % de SW.

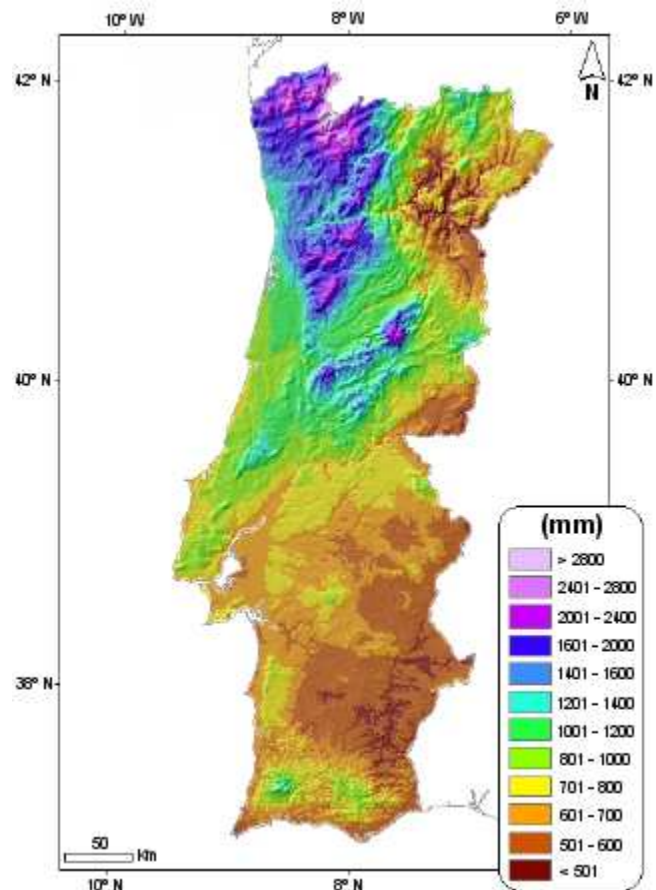


Figura 2.10 – Valores médios da precipitação média anual em Portugal Continental entre 1961 e 1990 (Adaptado de IM 2005).

Os valores obtidos a partir da bibliografia estão de acordo com os cedidos pelo Instituto Hidrográfico para o ondógrafo de Sines no período compreendido entre 1992 e 1999 (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 – Quadro resumo da direcção predominante de aproximação das ondas no período compreendido entre 1992 e 1999 (Dados cedidos pelo Instituto Hidrográfico).

| Ano   | Direcção predominante de aproximação das ondas (%) |      |      |      |      |      |       |       |
|-------|--|------|------|------|------|------|-------|-------|
|       | N  | NE   | E    | SE   | S    | SW   | W     | NW    |
| 1992  | 0,00   | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,23 | 1,31 | 19,05 | 79,41 |
| 1993  | 0,16   | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,37 | 3,78 | 15,02 | 80,67 |
| 1994  | 0,00   | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,95 | 14,40 | 84,64 |
| 1995  | 0,00   | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,33 | 2,79 | 25,74 | 71,14 |
| 1996  | 0,00   | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,05 | 2,86 | 27,21 | 69,88 |
| 1997  | 0,08   | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,08 | 2,63 | 34,77 | 62,43 |
| 1998  | 0,07   | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,04 | 1,92 | 20,04 | 77,90 |
| 1999  | 0,15   | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,80 | 16,90 | 82,11 |
| Média | 0,06   | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,14 | 2,13 | 21,64 | 76,02 |

Como se pode observar na tabela 2.2, a direcção de aproximação das ondas foi de 76 % de NW, 22 % de W e 2 % de SW. Os valores são válidos para a parte sul do troço litoral em estudo, perto do local onde foram registados. À medida que a distância a Sines aumenta, em direcção a norte, o efeito de “sombra” do cabo Espichel vai-se fazendo sentir cada vez mais, provocando uma rotação da ondulação de noroeste de modo a que esta chegue paralela à costa. Na extremidade da península de Tróia é mesmo possível que essa rotação atinja direcções de sudoeste (Quevauviller 1987).

A altura significativa da ondulação atingiu um máximo de 7,69 m, sendo em média 1,65 m (tabela 2.3). Os meses com condições mais energéticas foram Novembro, Dezembro e Janeiro (tabela 2.4). Através da análise dos valores de altura significativa ( $H_s$ ), pode-se identificar os períodos de temporal. Esta identificação é importante, visto que é nestes períodos que ocorre uma maior remobilização dos sedimentos da praia e da plataforma.

Os períodos de temporal, considerados neste trabalho, são definidos por uma altura significativa superior a 5 m (Pires & Carvalho 1987 *in* Gama 2005); no entanto, outros

autores (Costa *et al.* 2001) consideram um valor superior a 4,5 m para a caracterização das condições de temporal.

Tabela 2.3 – Altura significativa da ondulação (Hs) entre 1992 e 1999.

| Ano   | Hs média |
|-------|----------|
| 1992  | 1,70     |
| 1993  | 1,67     |
| 1994  | 1,44     |
| 1995  | 1,62     |
| 1996  | 1,62     |
| 1997  | 1,71     |
| 1998  | 1,67     |
| 1999  | 1,67     |
| Média | 1,65     |

Tabela 2.4 – Altura significativa da ondulação (Hs) por mês entre 1992 e 1999.

| Mês       | Hs média |
|-----------|----------|
| Janeiro   | 2,18     |
| Fevereiro | 1,84     |
| Março     | 1,78     |
| Abril     | 1,81     |
| Mai       | 1,51     |
| Junho     | 1,20     |
| Julho     | 1,17     |
| Agosto    | 1,14     |
| Setembro  | 1,46     |
| Outubro   | 1,66     |
| Novembro  | 2,06     |
| Dezembro  | 2,32     |

Para o período em análise (1992 a 1999) ocorreu um maior número de registos de temporal nos meses de Janeiro, Fevereiro e Novembro (tabela 2.5). Os registos com altura significativa (Hs) superior a 5 m perfizeram 120 (0,69%) num total de 17338 registos válidos. Na tabela 2.6 encontra-se registado o número de dias em que ocorreu pelo menos um registo superior a 5 m no período em estudo.

Tabela 2.5 – Número de registos com alturas significativas de valor superior a 5 m entre 1992 e 1999.

| Mês       | Frequência | Percentagem |
|-----------|------------|-------------|
| Janeiro   | 25         | 20,83       |
| Fevereiro | 22         | 18,33       |
| Março     | 6          | 5,00        |
| Abril     | 5          | 4,17        |
| Mai       | 2          | 1,67        |
| Junho     | 0          | 0,00        |
| Julho     | 0          | 0,00        |
| Agosto    | 0          | 0,00        |
| Setembro  | 0          | 0,00        |
| Outubro   | 16         | 13,33       |
| Novembro  | 29         | 24,17       |
| Dezembro  | 15         | 12,50       |
| Total     | 120        | 100         |

Tabela 2.6 – Número de dias em que ocorreu pelo menos um registo de altura significativa superior a 5 m entre 1992 e 1999.

| Mês       | Frequência | Percentagem |
|-----------|------------|-------------|
| Janeiro   | 10         | 24,39       |
| Fevereiro | 8          | 19,51       |
| Março     | 2          | 4,88        |
| Abril     | 2          | 4,88        |
| Mai       | 2          | 4,88        |
| Junho     | 0          | 0,00        |
| Julho     | 0          | 0,00        |
| Agosto    | 0          | 0,00        |
| Setembro  | 0          | 0,00        |
| Outubro   | 4          | 9,76        |
| Novembro  | 8          | 19,51       |
| Dezembro  | 5          | 12,20       |
| Total     | 41         | 100         |

O número de dias em que ocorreu pelo menos um registo com altura significativa superior a 5 m foi de 41 (1,81 %) num total de 2261.

O mês que precedeu a amostragem foi caracterizado por uma direcção predominante da ondulação de NW, verificando-se também alguma ondulação de oeste. A altura significativa média foi de 1,62 m, tendo atingido um máximo de 3,89 m.

Durante o período de amostragem, a direcção predominante de ondulação foi de NW e a altura significativa média de 3,17 m. No dia 10 de Dezembro de 1998 (segundo e último dia de campanha) a altura significativa atingiu os 4,97 m.

## 3. Métodos

### 3.1. Amostragem

O presente trabalho tem por base uma amostragem previamente existente (daqui em diante designada por primeira fase de amostragem), realizada por tarefeiros ao serviço da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, a qual englobou os sedimentos de praia e de duna do troço litoral entre Tróia e Sines. Foi através desta amostragem que se procedeu à caracterização granulométrica e à determinação da composição em minerais pesados nos sedimentos.

Foi ainda realizada pelo autor uma segunda campanha de amostragem, na qual foram amostrados sedimentos das arribas, adjacentes às praias em estudo, assim como sedimentos da praia Vasco da Gama em Sines. A segunda campanha teve como objectivo identificar possíveis contribuições mineralógicas provenientes quer das arribas, quer do maciço de Sines.

#### 3.1.1. Primeira fase de amostragem

A informação relativa ao modo como foi executada a amostragem foi obtida através do estudo realizado por Gama (2005).

A amostragem decorreu nos dias 7 e 10 de Dezembro de 1998. Iniciou-se a 1700 m a norte dos afloramentos do maciço sub-vulcânico de Sines (junto à foz da ribeira de Moinhos) e estendeu-se até ao cais de Tróia (desembocadura do rio Sado), perfazendo um total de 126 perfis de amostragem, distando entre si cerca de 500 m. Em cada perfil foram registadas as coordenadas UTM em *datum* WGS84 com um GPS, as quais foram posteriormente transformadas em coordenadas rectangulares, *datum* 73 (coordenadas militares). As coordenadas encontram-se na tabela A1.1 do anexo 1.

Os perfis seleccionados e utilizados no presente trabalho, encontram-se representados na figura 3.1. Como se pode observar existe uma diferença



significativa entre o número de perfis na zona da península de Tróia e no restante troço litoral. Esta diferença deve-se ao aumento da área de estudo até Sines, que inicialmente estava confinada à península de Tróia. Assim, optou-se por não utilizar uma rede de amostragem tão densa como a que foi utilizada na península de Tróia.

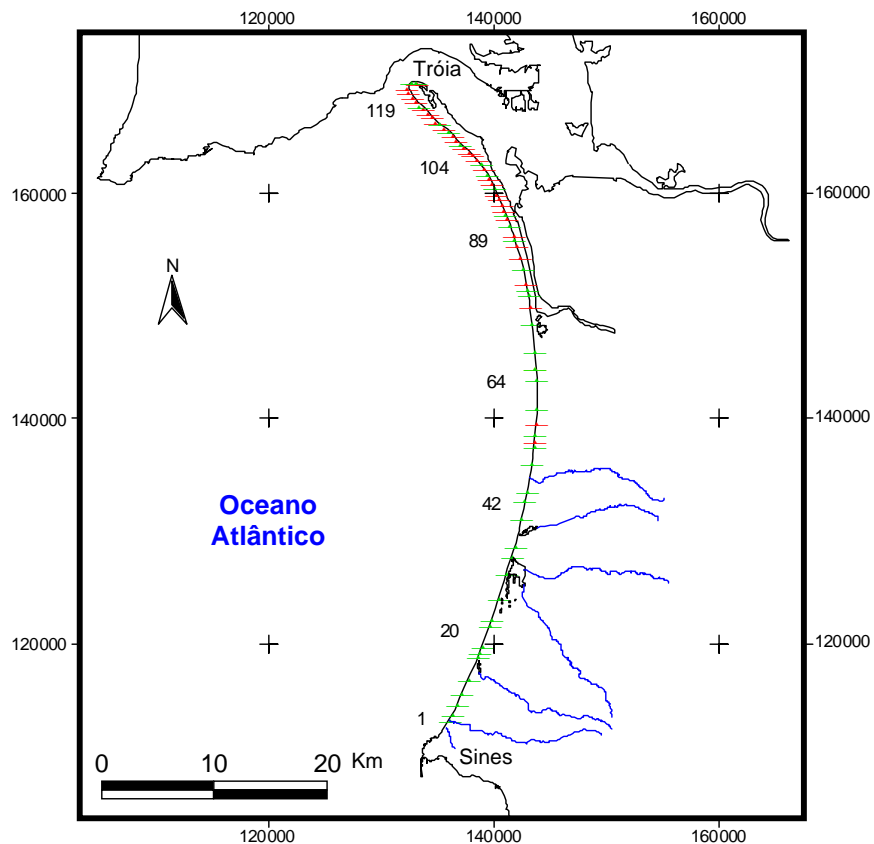


Figura 3.1 – Localização dos perfis utilizados no presente trabalho. Os números ao longo da linha de costa referem-se ao número do perfil. A vermelho encontram-se representados os perfis em que apenas foi efectuada a análise granulométrica, a verde os perfis em que foram efectuadas a análise granulométrica e a análise de minerais pesados.

Em cada perfil foram colhidas 3 amostras, com as seguintes designações: Face de praia, Berma e Duna (figura 3.2). As amostras denominadas por “Face de praia” foram colhidas no ponto médio entre marés, também conhecido por ponto de referência de Bascom (1951), enquanto as da berma foram colhidas a meio da mesma (Tomás 1995).



Figura 3.2 – Perfil de praia com indicação da localização da face de praia, berma e arriba.

A colheita das amostras teve em conta a profundidade a que o sedimento foi amostrado, atingindo apenas os primeiros cinco milímetros, para que fossem colhidos apenas os últimos episódios de swash (Mason & Folk 1958, Veeraya & Varadachari 1975, Macpherson & Lewis 1978, Tomás 1995, Abuodha 2003).

Uma terceira amostra foi colhida no limite da alta praia, tendo como objectivo amostrar da forma mais representativa possível o material que possa estar a ser fornecido a esta, constituindo uma provável fonte sedimentar.

Uma vez que o limite da alta praia é variável ao longo do troço em estudo, os sedimentos amostrados representam diferentes estruturas. Assim, nos perfis de praia que confrontam com dunas costeiras foram colhidos sedimentos da face voltada ao vento dominante, da duna embrionária ou da duna primária. Nos perfis limitados por arribas, a amostra representa os sedimentos dos cones de dejectão presentes na base das arribas (figura 3.3). Embora a amostra não represente unicamente sedimentos de duna, optou-se por manter a designação de 'duna' adoptada pelos colectores.

O número total de amostras consideradas para o presente trabalho foi de 184. Destas, 62 correspondem a amostras de face de praia, 69 a amostras de berma e 53 a amostras de duna.

A análise granulométrica foi efectuada em todos os perfis, num total de 72, enquanto que o estudo dos minerais pesados apenas foi efectuada em 40 perfis (figura 3.3).



Figura 3.3 – Cones de dejeção presentes na base das arribas na praia da Galé, junto ao local de colheita da amostra A8.

#### 3.1.2. Segunda fase de amostragem

Esta campanha decorreu entre 14 e 16 de Junho de 2004 e teve como objectivos o reconhecimento da área de estudo e a colheita de 11 amostras (figura 3.4).

Das amostras, 10 foram colhidas nas arribas que limitam a praia, com o objectivo de caracterizar quer a nível granulométrico quer a nível de teor em minerais pesados o material que possa ser fornecido à praia.

Também foi colhida 1 amostra na face de praia da praia Vasco da Gama, em Sines (A28) (figura 2.3), com a finalidade de confirmar a contribuição mineralógica proveniente do maciço de Sines. Uma descrição mais detalhada de cada local de colheita das amostras encontra-se na tabela A1.2 do anexo 1.

A colheita das amostras nas arribas foi efectuada com material não contaminante e de forma a representar toda a face exposta da arriba. Nos locais em que existiam diferenças evidentes nas propriedades físicas foram colhidas duas amostras diferentes. A figura 3.5 exemplifica um desses casos, no qual são observadas duas zonas, de diferente litologia, separadas pela superfície assinalada com a letra C. A

vermelho (A) está assinalada a zona de colheita da amostra A19 e a azul (B) a zona de colheita da amostra A20.

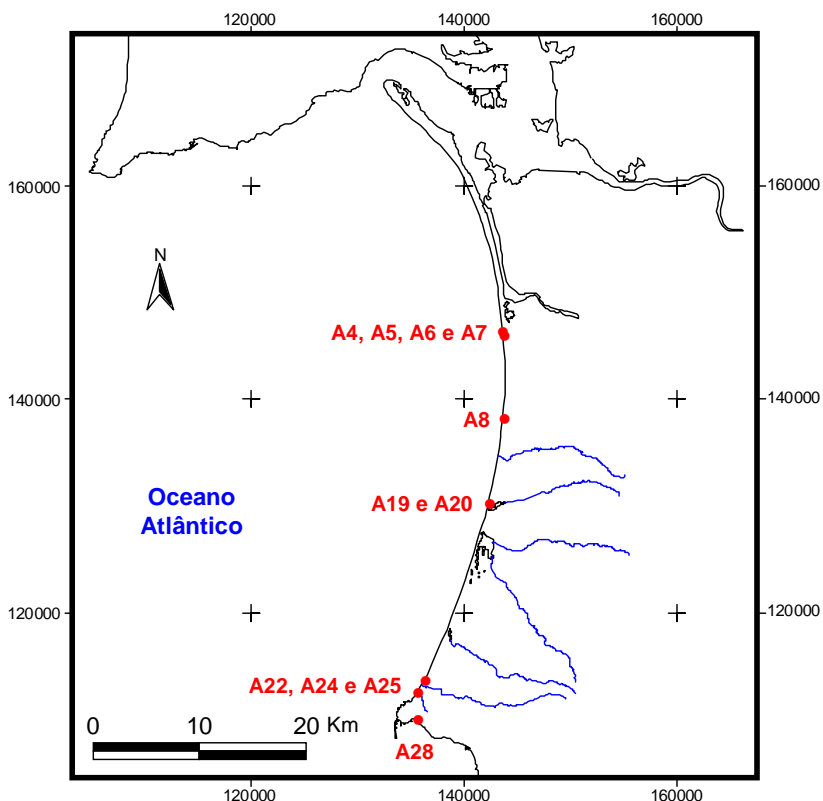


Figura 3.4 – Localização das amostras (a vermelho) colhidas na segunda campanha.

A amostra de face de praia (praia Vasco da Gama) foi colhida respeitando os pressupostos referidos na primeira fase de amostragem.

### 3.2. Análise Textural

No laboratório as amostras foram secas numa estufa e pesadas de modo a obter-se o peso total.

Numa primeira fase, as amostras foram peneiradas por via húmida, utilizando um peneiro ASTM (American Standards for Testing Materials) com uma malha de abertura de 63  $\mu\text{m}$  (4  $\phi$ ). Para facilitar a desagregação de possíveis agregados, a

amostra foi submetida a ultra-sons em dois períodos de 1 minuto cada. Após seca e pesada, a fracção fina ( $< 63 \mu\text{m}$ ) foi guardada para ser usada em trabalhos posteriores.

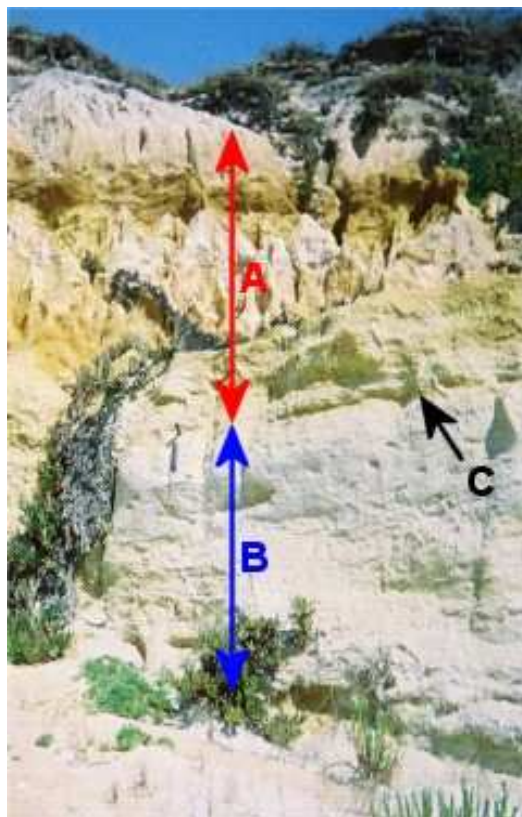


Figura 3.5 – Fotografia de uma arriba na qual são observadas duas zonas distintas (Superior – A; Inferior – B) separadas pela superfície assinalada pela letra C.

A fracção grosseira foi quarteada manualmente de modo a obter cerca de 100 gramas de sedimento (Moiola & Weiser 1968, Abuodha 2003).

Cada sub-amostra foi peneirada, utilizando-se para o efeito um agitador mecânico, durante um período de 10 minutos (Tomás 1995). Foi utilizada uma série de peneiros (ASTM) com uma malha de abertura decrescente de  $\frac{1}{2}$  em  $\frac{1}{2} \phi$  (Duane 1964, Asseez 1972, Veerayya & Varadachari 1975), iniciando-se em  $-2 \phi$  e terminando em  $3,5 \phi$ ,

possuindo de seguida um fundo para recolher a fracção compreendida entre 3,5 e 4  $\phi$  (figura 3.6).



Figura 3.6 – Agitador mecânico e parte da série de peneiros (ASTM) utilizados na separação granulométrica.

Os pesos das fracções retidas em cada peneiro foram introduzidos no programa Gradistat, que consiste numa macro de Microsoft<sup>®</sup> Excel<sup>®</sup> (Blott & Pye 2001) (figura 3.7), através do qual foram obtidos alguns parâmetros texturais (diâmetro médio, calibragem (ou selecção), assimetria e curtose) de Folk & Ward (1957) pelo método logarítmico.

Os parâmetros texturais obtidos foram automaticamente relacionados pelo programa a termos descritivos. Na tabela 3.1 encontram-se representados os referidos termos e as respectivas fórmulas utilizadas para o cálculo (Blott & Pye (2001)).



Uma vez que não foi possível garantir a normalidade das distribuições de valores (testada com o teste W de Shapiro-Wilk) foi utilizado o teste estatístico de Kolmogorov-Smirnov para avaliar se as diferenças entre os parâmetros texturais das três unidades são significativas.

| SIEVING ERROR: 0,0%   |                   |               | <b>SAMPLE STATISTICS</b>                  |                     |             |                   |
|---|-------------------|---------------|---|---------------------|-------------|-------------------|
| SAMPLE IDENTITY: <b>P9P</b>                                 |                   |               | ANALYST & DATE: Paulo Miranda, 08-01-2004 |                     |             |                   |
| SAMPLE TYPE: Bimodal, Moderately Sorted                     |                   |               | TEXTURAL GROUP: Slightly Gravelly Sand    |                     |             |                   |
| SEDIMENT NAME: Slightly Very Fine Gravelly Very Coarse Sand |                   |               |   |                     |             |                   |
|   | $\mu\text{m}$     | $\phi$        | GRAIN SIZE DISTRIBUTION                   |                     |             |                   |
| MODE 1:   | 1700,0            | -0,743        | GRAVEL: 3,4%                              | COARSE SAND: 12,4%  |             |                   |
| MODE 2:   | 427,5             | 1,247         | SAND: 96,6%                               | MEDIUM SAND: 19,7%  |             |                   |
| MODE 3:   |                   |               | MUD: 0,0%                                 | FINE SAND: 3,2%     |             |                   |
| D <sub>10</sub> :   | 321,6             | -0,897        |   | V FINE SAND: 0,0%   |             |                   |
| MEDIAN or D <sub>50</sub> :                                 | 1191,7            | -0,253        | V COARSE GRAVEL: 0,0%                     | V COARSE SILT: 0,0% |             |                   |
| D <sub>90</sub> :   | 1862,2            | 1,637         | COARSE GRAVEL: 0,0%                       | COARSE SILT: 0,0%   |             |                   |
| (D <sub>90</sub> / D <sub>10</sub> ):                       | 5,791             | -1,825        | MEDIUM GRAVEL: 0,0%                       | MEDIUM SILT: 0,0%   |             |                   |
| (D <sub>90</sub> - D <sub>10</sub> ):                       | 1540,6            | 2,534         | FINE GRAVEL: 0,0%                         | FINE SILT: 0,0%     |             |                   |
| (D <sub>75</sub> / D <sub>25</sub> ):                       | 2,824             | -1,258        | V FINE GRAVEL: 3,4%                       | V FINE SILT: 0,0%   |             |                   |
| (D <sub>75</sub> - D <sub>25</sub> ):                       | 1023,0            | 1,498         | V COARSE SAND: 61,4%                      | CLAY: 0,0%          |             |                   |
|   | METHOD OF MOMENTS |               |   | FOLK & WARD METHOD  |             |                   |
|   | Arithmetic        | Geometric     | Logarithmic                               | Geometric           | Logarithmic | Description       |
|   | $\mu\text{m}$     | $\mu\text{m}$ | $\phi$                                    | $\mu\text{m}$       | $\phi$      |                   |
| MEAN ( $\bar{x}$ ):   | 1153,3            | 951,6         | 0,072                                     | 938,2               | 0,092       | Coarse Sand       |
| SORTING ( $\sigma$ ):                                       | 578,3             | 1,932         | 0,950                                     | 1,959               | 0,970       | Moderately Sorted |
| SKEWNESS ( $S_k$ ):   | 0,007             | -0,825        | 0,825                                     | -0,491              | 0,491       | Very Fine Skewed  |
| KURTOSIS ( $K$ ):   | 2,377             | 2,451         | 2,451                                     | 0,787               | 0,787       | Platykurtic       |

Figura 3.7 – Exemplo de resultados obtidos através do programa Gradistat.

### 3.3. Minerais Pesados

O estudo da composição em minerais pesados constou de quatro fases: separação granulométrica, separação dos minerais pesados dos leves, montagem em lâmina delgada e, por último, observação ao microscópio e respectiva contagem.

Tabela 3.1 – Fórmulas utilizadas para o cálculo dos parâmetros texturais e respectiva terminologia descritiva (Blott &amp; Pye 2001).

| Diâmetro médio*  |                                  |                  |               |
|--|----------------------------------|------------------|---------------|
| $M_z = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3}$  |                                  |                  |               |
| Cascalho   | Muito fino                       | 2 a 4 mm         | - 1 a - 2 phi |
| Areia  | Muito grosseira                  | 1 a 2 mm         | 0 a - 1 phi   |
|  | Grosseira                        | 0,5 a 1 mm       | 1 a 0 phi     |
|  | Média                            | 0,250 a 0,5 mm   | 2 a 1 phi     |
|  | Fina                             | 0,125 a 0,250 mm | 3 a 2 phi     |
|  | Muito fina                       | 0,063 a 0,125 mm | 4 a 3 phi     |
| *Apenas são apresentadas as classes identificadas no presente trabalho   |                                  |                  |               |
| Calibragem   |                                  |                  |               |
| $\sigma_1 = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6,6}$  |                                  |                  |               |
|  | Muito bem calibrada              | < 0,35           |               |
|  | Bem calibrada                    | 0,35 – 0,50      |               |
|  | Moderadamente bem calibrada      | 0,50 – 0,70      |               |
|  | Moderadamente calibrada          | 0,70 – 1,00      |               |
|  | Mal calibrada                    | 1,00 – 2,00      |               |
|  | Muito mal calibrada              | 2,00 – 4,00      |               |
|  | Extremamente mal calibrada       | > 4,00           |               |
| Assimetria   |                                  |                  |               |
| $Sk_1 = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$ |                                  |                  |               |
|  | Muito finamente assimétrica      | + 1,0 a +0,3     |               |
|  | Finamente assimétrica            | + 0,3 a + 0,1    |               |
|  | Simétrica                        | + 0,1 a - 0,1    |               |
|  | Grosseiramente assimétrica       | - 0,1 a - 0,3    |               |
|  | Muito grosseiramente assimétrica | - 0,3 a - 1,0    |               |
| Curtose  |                                  |                  |               |
| $K_G = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2,44(\phi_{75} - \phi_{25})}$   |                                  |                  |               |
|  | Muito platicurtica               | < 0,67           |               |
|  | Platicurtica                     | 0,67 – 0,90      |               |
|  | Mesocurtica                      | 0,90 – 1,11      |               |
|  | Leptocurtica                     | 1,11 – 1,50      |               |
|  | Muito Leptocurtica               | 1,50 – 3,00      |               |
|  | Extremamente Leptocurtica        | > 3,00           |               |

A fracção > 63 µm (4 φ) foi quarteada até se obter uma quantidade que garantisse material suficiente para posteriormente montar as lâminas delgadas. A amostra



assim obtida foi sujeita a separação granulométrica de procedimento idêntico ao ponto anterior (3.2.), excepto no que respeita à série de peneiros (ASTM). Esta possuía uma malha de abertura decrescente de 1 em 1  $\phi$ . As fracções  $>1 \phi$  foram rejeitadas por apresentarem grãos com um diâmetro superior ao da torneira dos funis de decantação. Assim foram consideradas as fracções 1-2  $\phi$ , 2-3  $\phi$  e 3-4  $\phi$ .

Para cada uma das fracções efectuou-se a montagem ilustrada na figura, de forma a proceder à separação dos minerais pesados pela técnica dos líquidos densos (figura 3.8). O líquido denso utilizado foi o SPT (Politungstato de Sódio), o qual possui uma densidade de  $2,82 \text{ g/cm}^3$  (figura 3.9).



Figura 3.8 – Montagem experimental utilizada na separação de minerais pesados.

Todas as fracções, após separação, foram lavadas e secas. Destas, seleccionaram-se as fracções de 12 amostras de berma de praia, distribuídas pelo troço em estudo, e procedeu-se à sua pesagem com o objectivo de determinar a variação da quantidade de minerais pesados em relação aos leves. As fracções pesadas foram utilizadas na preparação de lâminas delgadas.

As fracções pesadas foram, ainda, submetidas a ataque por ácido clorídrico a 10% de forma a eliminar os bioclastos presentes. Quando necessário, as fracções foram quarteadas, utilizando um quarteador tipo micro-splitter, de modo a obter uma quantidade suficiente de material para montar uma lâmina. Foram experimentados

três meios de montagem: Bálsamo do Canadá, Eukitt e a cola da marca Araldit (figura 3.10).

Após se verificar que a utilização da Araldit não permitia a preparação de lâminas boas para observação optou-se por utilizar apenas a Eukitt e o bálsamo do Canadá. As lâminas delgadas foram observadas ao microscópio óptico de luz polarizada, com a finalidade de identificar os minerais pesados e proceder à sua contagem.



Figura 3.9 – Frasco de Politungstato de sódio (SPT) e densímetro.

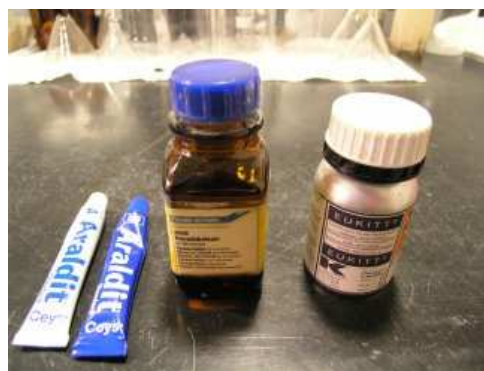


Figura 3.10 – Meios de montagem experimentados para proceder à montagem das lâminas delgadas: Araldit, Bálsamo do Canadá e Eukitt.

Segundo Galehouse (1969), a análise mineralógica quantitativa das preparações resulta numa percentagem ou numa frequência numéricas. Os valores em percentagem numérica são obtidos quando todos (*Fleet Method*) ou parte dos grãos (*Ribbon Method*), de uma área representativa da lâmina, são contados. Os valores em frequência numérica são obtidos quando apenas os grãos que interceptam os fios do retículo são contados, sendo esta metodologia designada por *Line Method*.

A metodologia utilizada para o processo de contagem assemelha-se ao *Ribbon Method* (Galehouse 1969). Em cada lâmina foram desenhadas linhas paralelas que

delimitam uma área dentro do campo de visão do microscópio óptico. Dentro desta área todos os grãos foram contados.

Para facilitar o processo de contagem foi desenvolvido um software (linguagem Delphi® - Object Pascal®), o qual permite o registo de cada observação, apresentando no final um ficheiro com as contagens registadas o qual pode ser importado para uma folha de cálculo do Microsoft® Excel®.

Com o objectivo de encontrar associações mineralógicas foram realizadas várias análises de componentes principais (ACP) partindo de diferentes matrizes de dados.

## 4. Análise Textural

### 4.1. Caracterização geral dos parâmetros texturais

Os sedimentos colhidos na primeira campanha de amostragem (amostras de duna e de praia) apresentam um diâmetro cujo valor médio é de 0,788  $\phi$ , classe das areias grosseiras, variando entre -0,660  $\phi$  (areia muito grosseira) e 2,117  $\phi$  (areia fina) (tabela 4.1). A maioria das amostras (~92 %) distribui-se pelas classes da areia grosseira (~55 %) e da areia média (~36 %) (tabela 4.2).

Tabela 4.1 – Caracterização geral dos parâmetros texturais.

|                | Média | Desvio padrão | Mínimo | Máximo |
|----------------|-------|---------------|--------|--------|
| Diâmetro médio | 0,788 | 0,573         | -0,660 | 2,117  |
| Calibragem     | 0,561 | 0,145         | 0,344  | 0,996  |
| Assimetria     | 0,046 | 0,186         | -0,358 | 0,554  |
| Curtose        | 1,019 | 0,180         | 0,660  | 1,769  |

O valor médio de calibragem é de 0,561  $\phi$  (moderadamente bem calibrada), com valores mínimos e máximos de 0,344  $\phi$  (muito bem calibrada) e 0,996  $\phi$  (moderadamente calibrada), respectivamente. A maioria dos valores encontra-se distribuída pelas classes moderadamente bem calibradas (~47 %) e bem calibradas (~39 %) (tabela 4.2).

As amostras apresentam um valor médio de assimetria de 0,046 (simétrica), variando entre -0,358 (assimetria muito negativa) e 0,554 (assimetria muito positiva), sendo a maioria simétricas (~52 %).

Relativamente aos valores de curtose, o conjunto de amostras apresenta uma média de 1,019 (mesocúrtica), variando entre 0,660 (muito platicúrtica) e 1,769 (muito leptocúrtica). Também para este parâmetro a maioria das amostras centram-se numa única classe, a classe mesocúrtica (~64 %) (tabela 4.2).

De todos os parâmetros texturais, o diâmetro médio é o que apresenta uma maior dispersão dos valores à média, enquanto que a calibragem é o que apresenta uma menor dispersão (tabela 4.1).

Tabela 4.2 – Frequência dos parâmetros texturais para as amostras da primeira campanha de amostragem.

## a) Diâmetro médio

| <b>Classe</b>         | <b>Frequência</b> | <b>%</b> |
|-----------------------|-------------------|----------|
| Areia muito grosseira | 11                | 5,98     |
| Areia grosseira       | 102               | 55,43    |
| Areia média           | 68                | 36,96    |
| Areia fina            | 3                 | 1,63     |

## b) Calibragem

| <b>Classe</b>               | <b>Frequência</b> | <b>%</b> |
|-----------------------------|-------------------|----------|
| Muito bem calibrada         | 1                 | 0,54     |
| Bem calibrada               | 71                | 38,59    |
| Moderadamente bem calibrada | 86                | 46,74    |
| Moderadamente calibrada     | 26                | 14,13    |

## c) Assimetria

| <b>Classe</b>             | <b>Frequência</b> | <b>%</b> |
|---------------------------|-------------------|----------|
| Assimetria muito negativa | 1                 | 0,54     |
| Assimetria negativa       | 34                | 18,48    |
| Simétrica                 | 95                | 51,63    |
| Assimetria positiva       | 34                | 18,48    |
| Assimetria muito positiva | 20                | 10,87    |

## d) Curtose

| <b>Classe</b>      | <b>Frequência</b> | <b>%</b> |
|--------------------|-------------------|----------|
| Muito leptocurtica | 6                 | 3,26     |
| Leptocurtica       | 24                | 13,04    |
| Mesocurtica        | 118               | 64,13    |
| Platicurtica       | 35                | 19,02    |
| Muito platicurtica | 1                 | 0,54     |

Para os sedimentos de arriba, colhidos na segunda campanha de amostragem, não foi possível calcular os valores dos parâmetros texturais (figura 2.3). Esta impossibilidade deve-se à indeterminação da distribuição de mais de 5 % do peso da amostra contida na fracção < 63  $\mu\text{m}$ , o que segundo Blott & Pye (2001) torna significativos os erros nos parâmetros de Folk & Ward (1957) (tabela 4.3). Na realidade, a distribuição da fracção < 63  $\mu\text{m}$  foi determinada, mas utilizando um método diferente ao empregue para a fracção >63  $\mu\text{m}$  (laser e crivagem, respectivamente). Assim não foi possível reunir os dados resultantes dos dois métodos, uma vez que descrevem aspectos diferentes de tamanho do grão e são influenciados diferentemente por variações da forma do grão e da densidade. No

entanto, as distribuições granulométricas, individualmente, podem ser descritas e interpretadas.

Na tabela 4.4 encontram-se representados os valores percentuais do peso de cada classe para a fracção maior que 63  $\mu\text{m}$ .

Na tabela estão assinalados, a cinzento-escuro, os valores correspondentes às modas principais de cada amostra e, a cinzento-claro, os valores das modas secundárias.

Como se pode observar as amostras das arribas que se localizam mais a sul (A22, A24 e A25) possuem, de uma forma geral, uma percentagem de areia fina mais elevada do que as arribas

Tabela 4.3 – Percentagem da fracção menor que 63  $\mu\text{m}$  para as amostras da segunda campanha de amostragem.

| Amostra | % (Peso) |
|---------|----------|
| A4      | 10,10    |
| A5      | 6,05     |
| A6      | 9,71     |
| A7      | 7,55     |
| A8      | 8,23     |
| A19     | 11,07    |
| A20     | 11,73    |
| A22     | 9,97     |
| A24     | 21,98    |
| A25     | 8,76     |
| A28     | 0,13     |

localizadas a norte, representando valores modais da amostra. No caso da amostra A24, a percentagem de areia fina constitui mesmo a moda principal, sendo nas restantes uma moda secundária. No entanto, é de salientar que a amostra mais fina localiza-se aproximadamente no centro do arco litoral (A20) (figura 2.2), com uma moda principal na classe da areia muito fina.

Em relação ao número de modas, verifica-se que existe um maior número de amostras com várias modas, do que unimodais. As amostras A4, A5, A6, A20 e A22 são bimodais e a A25 possui três modas (trimodal).

A amostra A28 apresenta o comportamento idêntico às restantes amostras de face de praia, com uma moda na classe da areia média.

#### 4.2. Análise longitudinal das unidades morfológicas

A análise longitudinal teve por base a interpretação de dois tipos de gráficos: (1) variação dos valores dos parâmetros texturais em função da distância à desembocadura do estuário do rio Sado (extremo norte); (2) correlação entre pares de parâmetros texturais.

Tabela 4.4 – Percentagem de cada classe granulométrica (fracção superior a 63  $\mu\text{m}$ ) nas amostras de arriba e da praia Vasco da Gama; cinzento escuro – moda principal; cinzento claro – modas secundárias.

| Diâmetro do crivo |      | Arribas      |              |              |              |              |              |
|-------------------|------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| $\phi$            | mm   | A4           | A5           | A6           | A7           | A8           | A19          |
| -2,0              | 4000 | 12,34        | 6,05         | 10,36        | 5,92         | 0,21         | 0,00         |
| -1,5              | 2800 | 5,69         | 4,13         | 7,60         | 6,46         | 2,67         | 0,09         |
| -1,0              | 2000 | 7,49         | 7,83         | 13,54        | 9,12         | 13,28        | 0,39         |
| -0,5              | 1400 | 13,23        | 16,90        | 18,31        | 16,56        | <b>29,01</b> | 2,26         |
| 0,0               | 1000 | <b>18,14</b> | <b>27,72</b> | <b>21,33</b> | <b>19,42</b> | 24,00        | 6,39         |
| 0,5               | 710  | 17,67        | 18,80        | 11,75        | 18,31        | 12,50        | 11,59        |
| 1,0               | 500  | 12,20        | 10,12        | 6,18         | 11,52        | 9,82         | <b>39,16</b> |
| 1,5               | 355  | 4,32         | 3,34         | 3,21         | 4,67         | 3,34         | 26,72        |
| 2,0               | 250  | 3,45         | 2,06         | 2,34         | 3,30         | 2,20         | 5,71         |
| 2,5               | 180  | 1,71         | 1,04         | 1,52         | 1,72         | 1,21         | 4,32         |
| 3,0               | 125  | 1,34         | 0,79         | 1,29         | 1,17         | 0,68         | 1,49         |
| 3,5               | 90   | 1,08         | 0,53         | 0,98         | 0,85         | 0,47         | 0,83         |
| 4,0               | 63   | 1,34         | 0,68         | 1,60         | 0,98         | 0,62         | 1,06         |

| Diâmetro do crivo |      | Arribas      |              |              |              | Face de praia |
|-------------------|------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| $\phi$            | mm   | A20          | A22          | A24          | A25          | A28           |
| -2,0              | 4000 | 0,00         | 2,37         | 0,05         | <b>19,11</b> | 0,00          |
| -1,5              | 2800 | 0,10         | 0,94         | 0,01         | 2,72         | 0,00          |
| -1,0              | 2000 | 0,66         | 2,98         | 0,02         | 4,15         | 0,04          |
| -0,5              | 1400 | 2,36         | 8,98         | 0,10         | 10,56        | 0,02          |
| 0,0               | 1000 | 4,50         | <b>18,93</b> | 0,38         | 17,36        | 0,03          |
| 0,5               | 710  | 4,36         | 13,67        | 0,71         | 14,27        | 0,13          |
| 1,0               | 500  | 6,34         | 7,64         | 0,72         | 9,71         | 2,72          |
| 1,5               | 355  | 7,29         | 3,86         | 0,67         | 4,30         | 43,24         |
| 2,0               | 250  | 10,66        | 9,63         | 4,50         | 4,41         | <b>48,59</b>  |
| 2,5               | 180  | 11,98        | 16,09        | <b>54,96</b> | 6,17         | 4,62          |
| 3,0               | 125  | 20,42        | 12,90        | 34,07        | 6,14         | 0,54          |
| 3,5               | 90   | <b>22,13</b> | 1,23         | 2,70         | 0,71         | 0,05          |
| 4,0               | 63   | 9,21         | 0,77         | 1,11         | 0,37         | 0,02          |

#### 4.2.1. Areias da face de praia

Na figura 4.1 estão representados os gráficos de variação longitudinal, relativos aos parâmetros texturais da face de praia.

Através da observação da figura 4.1.a, é possível verificar que as areias com uma granulometria mais fina encontram-se a norte (Península de Tróia) enquanto que as areias mais grosseiras encontram-se, essencialmente, a sul. Uma observação mais atenta permite ainda subdividir esta distribuição longitudinal em 3 zonas: setentrional, central e meridional.

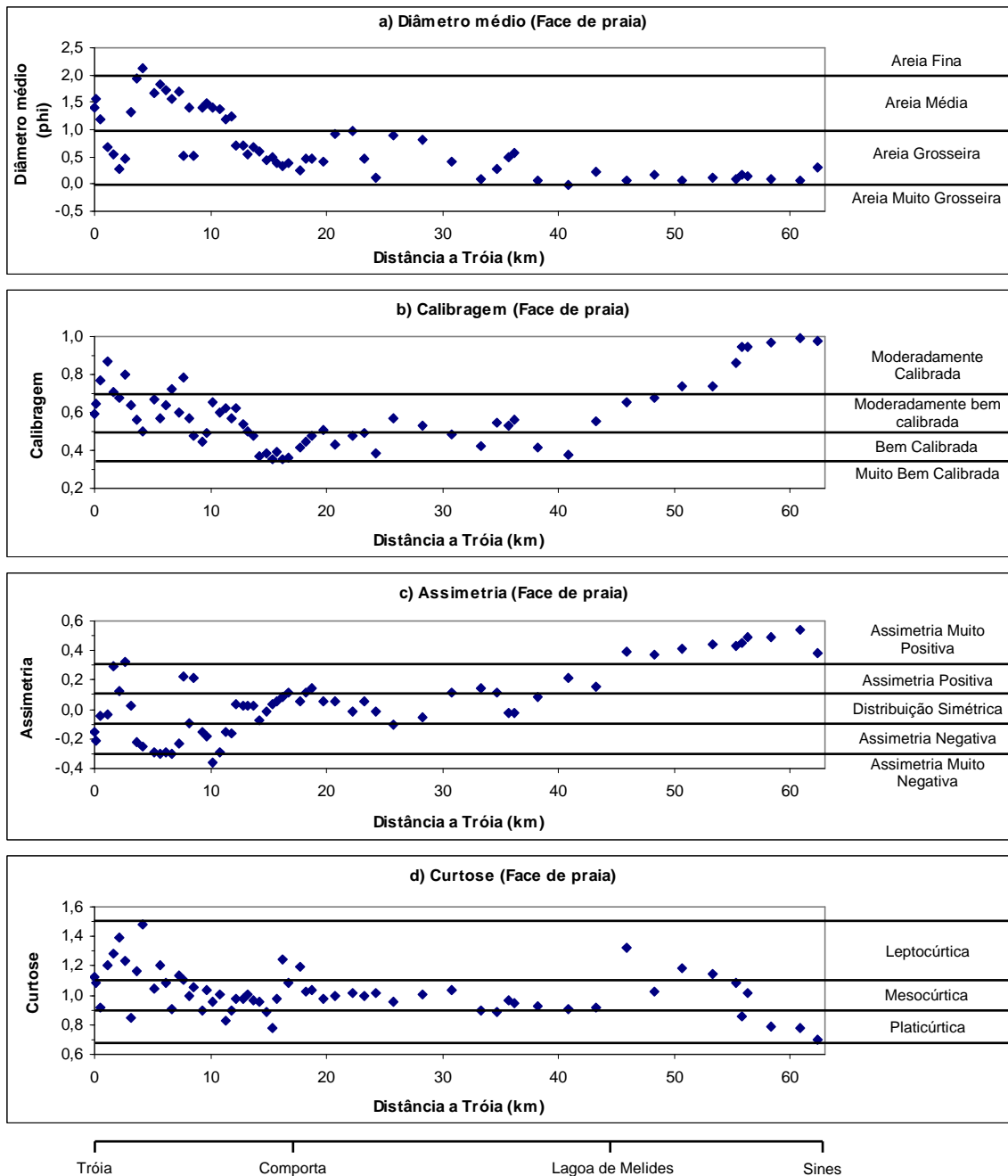


Figura 4.1 – Variação longitudinal dos parâmetros texturais ao longo do trecho litoral para amostras da face de praia.

A zona setentrional corresponde à Península de Tróia (0 a 17 km) e apresenta um aumento contínuo do diâmetro médio de norte para sul, excepto nos quatro primeiros quilómetros, variando entre a areia fina até à areia grosseira.



Nos primeiros 4 km verifica-se um comportamento diferente ao da restante Península de Tróia. Numa curta distância, ocorre uma variação aparentemente contínua entre valores de  $1,5 \phi$ , os quais gradualmente tornam-se mais grosseiros ( $0,5 \phi$  aos 2 km) e, posteriormente, mais finos ( $2,0 \phi$  aos 4 km).

Na zona central (18 a 36 km) não existe uma tendência definida na variação do diâmetro médio, sendo o espectro de valores mais reduzido do que na zona setentrional e representado unicamente por areias grosseiras.

Na zona meridional (38 a 63 Km) não existe variação longitudinal significativa do diâmetro médio, estando este quase exclusivamente representado pela classe das areias grosseiras, com valores muito próximos a  $0 \phi$ .

Na figura 4.1.b é possível observar que as areias apresentam uma tendência para serem mais bem calibradas na zona central (entre os 14 e os 41 km) do que na restante área de estudo. As amostras pior calibradas localizam-se na extremidade sul do troço litoral, enquanto que as melhor calibradas encontram-se na área da praia da Comporta.

A assimetria tende a variar de negativa, a norte, a positiva, a sul (figura 4.1.c) e a curtose não apresenta uma tendência definida, a não ser nas amostras localizadas na zona central, as quais apresentam uma uniformidade na classe mesocúrtica (figura 4.1.d).

O limite entre os sectores setentrional e central localiza-se, aproximadamente, aos 17 Km na praia da Comporta. Este pode ser facilmente observado na figura 4.1, principalmente através da variação do diâmetro médio e do grau de selecção do sedimento.

O limite entre o sector central e o meridional não é fácil de observar no gráfico de variação do diâmetro médio. Contudo, é perceptível nos gráficos de variação longitudinal da calibragem, da assimetria e da curtose.

Para facilitar a definição destes limites foram construídos gráficos de correlação interparamétrica, dos quais estão representados na figura 4.2 os que melhor permitem essa percepção (os restantes encontram-se na figura A2.1 do anexo 2).

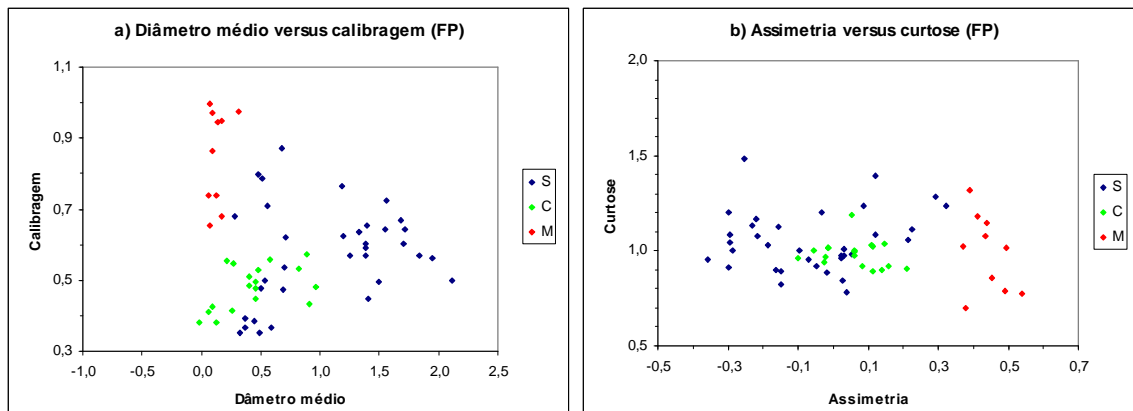


Figura 4.2 – Correlação entre os parâmetros texturais para amostras da face de praia (FP). S – Sector setentrional, C – Sector central e M – Sector meridional.

Quer a figura 4.2.a, quer a 4.2.b permitem individualizar claramente o sector meridional entre os 46 e os 63 Km (Sines), sendo a calibragem e a assimetria os parâmetros responsáveis por esta definição. Os sectores, central e setentrional, não são passíveis de separação, podendo apenas ser observado que as amostras do sector central apresentam uma dispersão mais reduzida do que as do sector setentrional.

Em conclusão, a distinção entre os sectores setentrional e central é feita principalmente pelo diâmetro médio e pela calibragem, enquanto que a individualização entre o sector central e o sector meridional pode ser feita pela calibragem e pela assimetria da distribuição granulométrica.

#### 4.2.2. Areias da berma

Na figura 4.3.a pode observar-se que as amostras mais finas encontram-se a norte e as mais grosseiras a sul do troço costeiro. O comportamento do diâmetro médio nos primeiros 17 km é caracterizado por uma variação contínua de norte para sul entre a areia fina e a areia grosseira. Entre os 18 e os 36 km, o diâmetro médio mantém-se na classe das areias grosseiras e, no restante troço, ocorre de novo um aumento deste parâmetro, variando de areia grosseira a areia muito grosseira.

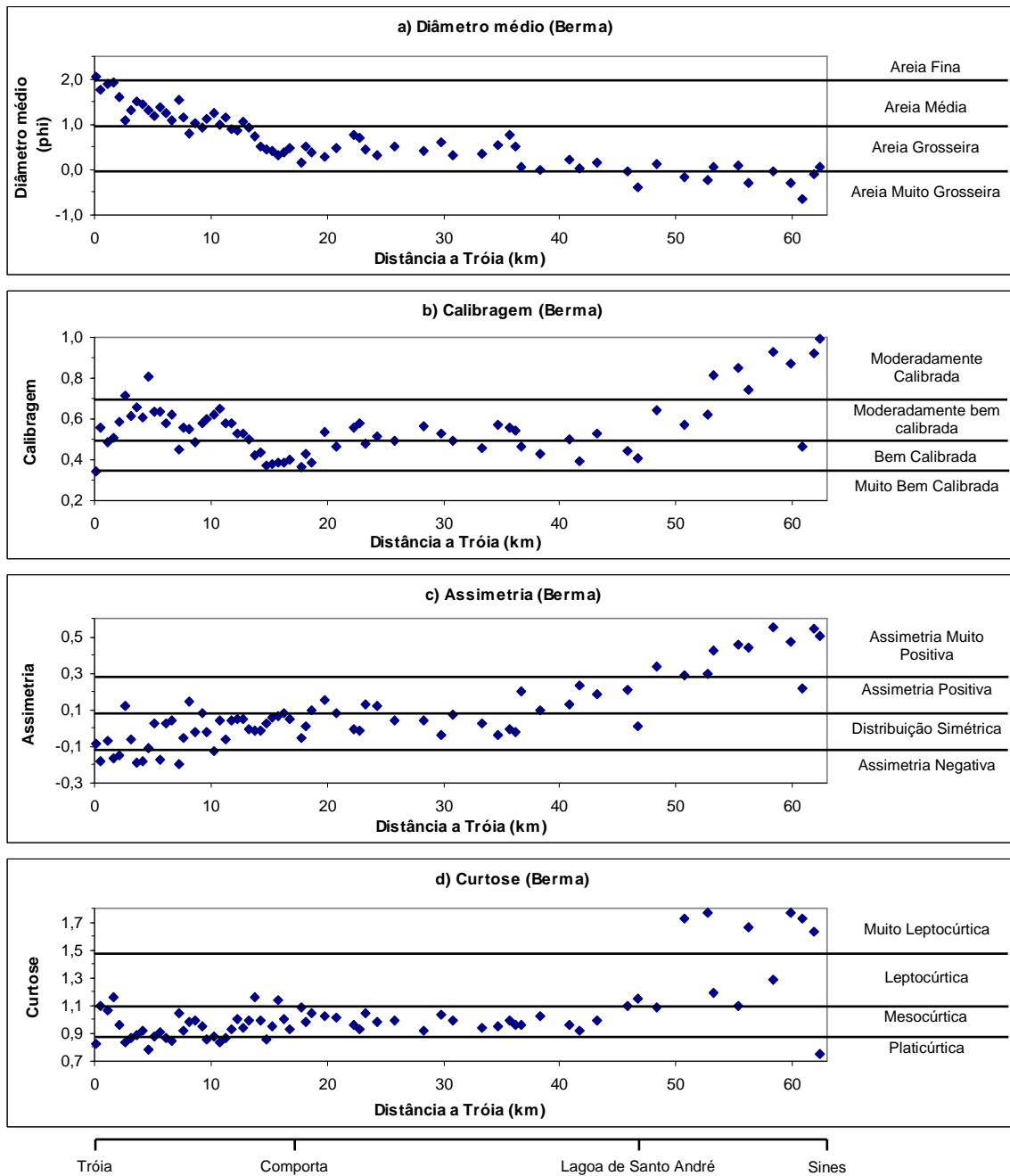


Figura 4.3 – Variação longitudinal dos parâmetros texturais ao longo do troço litoral para as amostras da berma.

Exceptuando os últimos 16 km (junto a Sines) os valores de calibragem mantêm-se praticamente nas classes das areias bem calibradas e moderadamente bem calibradas (figura 4.3.b). As areias mais bem calibradas encontram-se na zona da praia da Comporta, e as de pior selecção na zona meridional.

A assimetria (figura 4.3.c) apresenta uma transição de valores negativos na zona setentrional para valores positivos na zona meridional. Esta transição não ocorre uniformemente podendo ser considerados três domínios: um na zona setentrional em que a assimetria varia de valores negativos até valores próximos de zero, um segundo na zona central, em que os valores mantêm-se em torno de zero (amostras aproximadamente simétricas) e um terceiro, na zona meridional, em que a assimetria varia de valores próximos de zero para valores positivos.

Em relação à curtose (figura 4.3.d), as distribuições granulométricas tendem a apresentar valores mais baixos a norte da península de Tróia (algumas amostras são platicúrticas), aumentando em direcção a sul para valores correspondentes à classe mesocúrtica. Entre o fim da península e o quilómetro 50, os valores de curtose mantêm-se na classe mesocúrtica. A partir daí e até ao fim do troço litoral, estes valores não apresentam uma tendência definida, podendo ser encontrados valores leptocúrticos, mesocúrticos e platicúrticos.

A análise da variação longitudinal dos quatro parâmetros texturais permite agrupar as amostras de berma em três sectores, coincidentes com os definidos para a face da praia: setentrional (0 e os 17 km), central (18 a 47 km) e meridional (48 a 63 km). Os limites destes grupos não são totalmente perceptíveis apenas pela observação dos gráficos da figura 4.3, tornando-se mais evidentes quando se recorre aos gráficos de correlação interparamétrica (figura 4.4 e A2.2 do anexo 2).

Na figura 4.4.a observa-se uma separação completa entre as amostras do sector meridional e as restantes. Também é possível identificar os grupos de amostras dos sectores central e meridional, embora não ocorra uma separação completa.

Na correlação assimetria *versus* curtose (figura 4.4.b) é também possível individualizar o sector meridional dos restantes, mas não é clara a individualização do sector central do setentrional. Apenas se observa que a dispersão dos valores do sector central é menor que a do sector meridional.

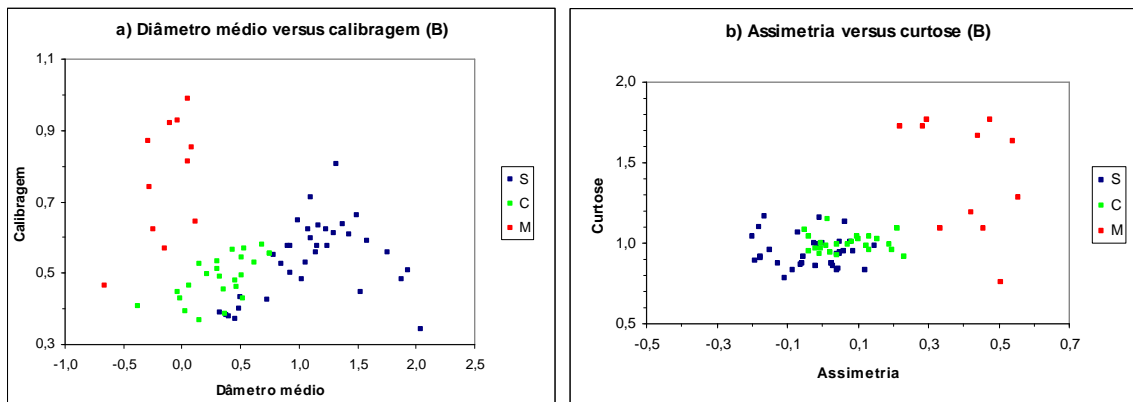


Figura 4.4 – Correlação existente entre os parâmetros texturais para as amostras da berma (B). S – Sector setentrional, C – Sector central e M – Sector meridional.

#### 4.2.3. Areias da duna

Na figura 4.5. estão representados os gráficos da variação longitudinal dos parâmetros texturais para areias de duna.

Os valores de diâmetro médio (figura 4.5.a) apresentam um ligeiro incremento ao longo da Península de Tróia, mantendo-se na classe das areias grosseiras nas zonas central e meridional.

Os valores de calibragem situam-se em torno de 0,5 (valor de fronteira entre a classe das areias bem calibradas e moderadamente bem calibradas) desde Tróia até cerca dos 35 km. Deste ponto, e em direcção a sul, as areias tornam-se pior calibradas, apresentando valores quase exclusivamente pertencentes à classe das areias moderadamente bem calibradas.

Os valores de assimetria (figura 4.5.c) distribuem-se por várias classes, existindo apenas uma uniformização na zona central, onde são tendencialmente simétricos. Os valores de curtose são mais baixos na zona setentrional (algumas amostras platicúrticas) do que nas zonas central e meridional onde ocorrem algumas amostras leptocúrticas.

Após a análise da variação longitudinal dos quatro parâmetros texturais é possível diferenciar três áreas. De forma a delimitar essas áreas, construíram-se gráficos de correlação interparamétrica (figura 4.6 e A2.3 do anexo 2).

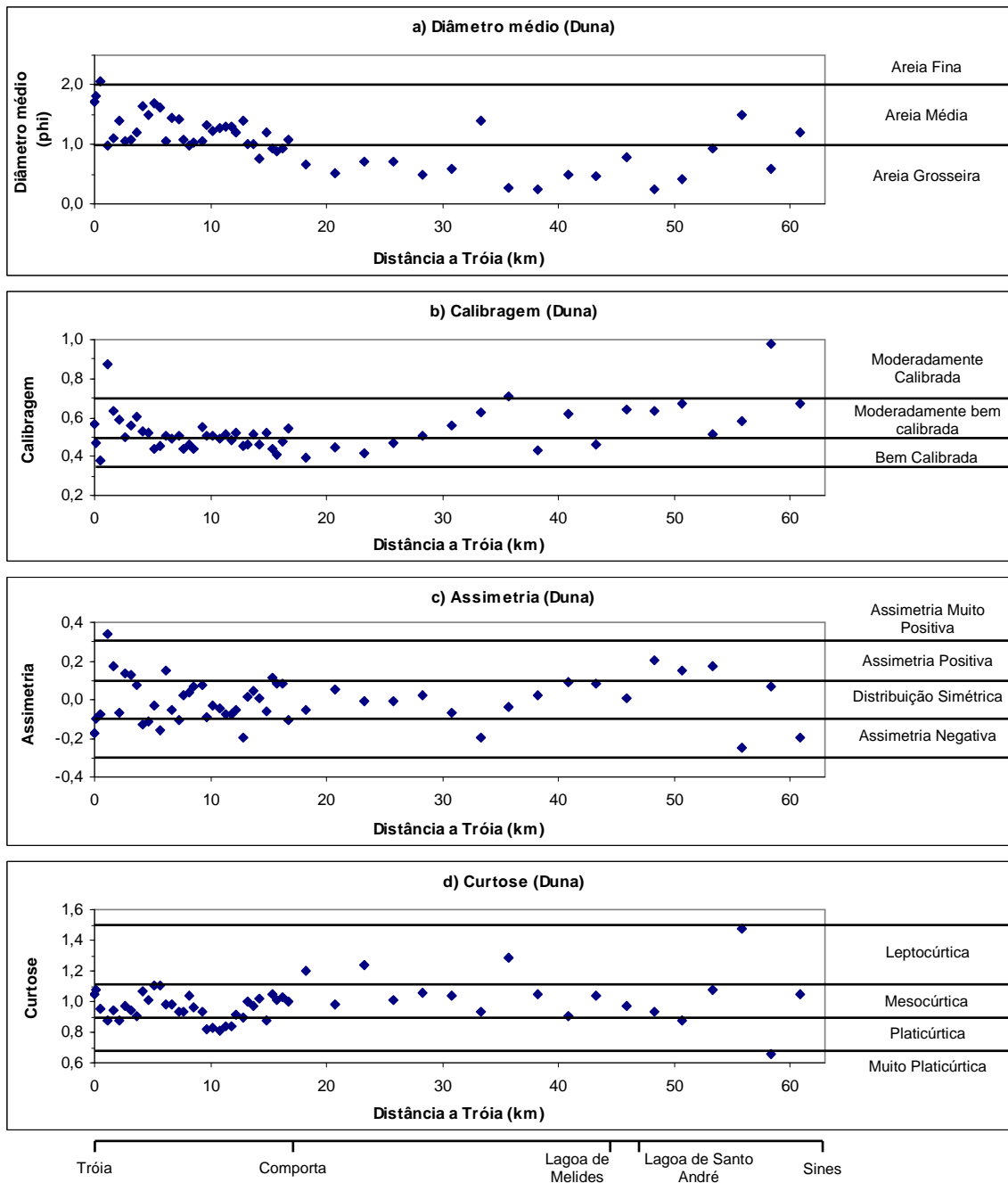


Figura 4.5 – Variação longitudinal dos parâmetros texturais para amostras da duna.

Através da observação da figura 4.6.a é possível individualizar o sector setentrional do central. O parâmetro diferenciador é o diâmetro médio, cujo valor de separação é aproximadamente de  $0,75 \phi$ . Na figura 4.6.b é possível observar o mesmo efeito do diâmetro médio, mas para além disso existe uma relação estreita entre a variação

deste parâmetro com a curtose nas amostras da península de Tróia (sector setentrional). As amostras estão aparentemente distribuídas de uma forma aleatória, existindo uma correlação entre o diâmetro médio e a curtose, a qual é negativa para um diâmetro médio inferior a 1,26  $\phi$  (amostras mais grosseiras) e positiva para um diâmetro médio superior a 1,26  $\phi$  (amostras mais finas).

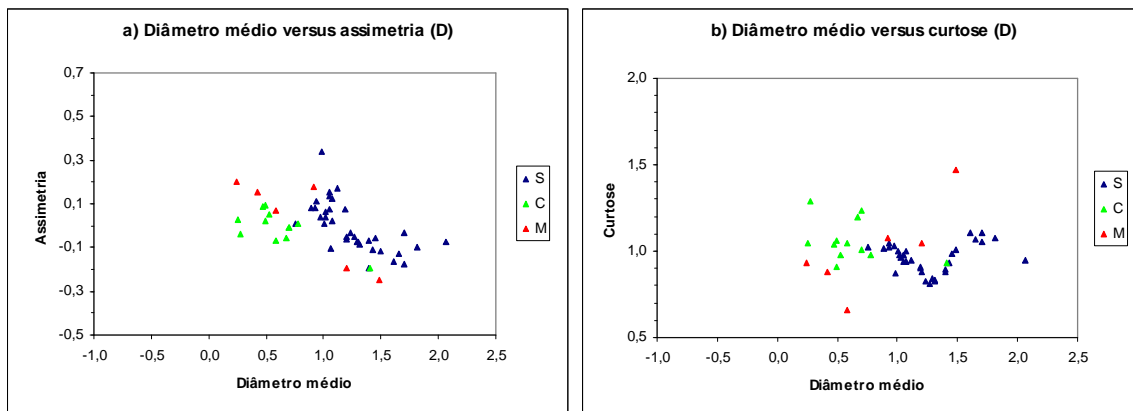


Figura 4.6 – Correlação existente entre os parâmetros texturais para amostras da duna (D). S – Sector setentrional, C – Sector central e M – Sector meridional.

#### 4.2.4. Variação longitudinal na península de Tróia

Como já foi referido na metodologia, a malha de amostragem na península de Tróia é mais densa que a malha do restante troço litoral. Este facto, aliado à grande heterogeneidade de valores dos parâmetros texturais, permitiu delimitar subsectores considerando amostras de face de praia e berma.

Para amostras de face de praia, através da observação dos gráficos de variação longitudinal delimitaram-se três subsectores: um primeiro correspondente ao extremo norte da península de Tróia (N1), dos 0 (zero) aos 3,6 km; um segundo correspondente à parte central da península de Tróia (N2), dos 4,2 aos 11,8 km; e por último um terceiro correspondente à extremidade sul da península de Tróia (N3), dos 12,2 aos 16,7 km.

Esta subdivisão torna-se evidente ao observar os gráficos de correlação dos parâmetros granulométricos (figura 4.7 e figura A2.4 do anexo 2).

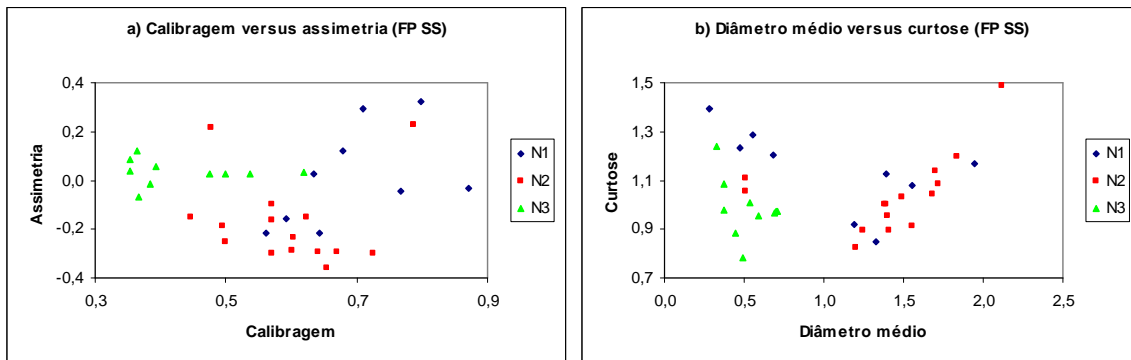


Figura 4.7 – Correlação existente entre os parâmetros texturais para amostras da face de praia (FP) localizadas na Península de Tróia. N1 – Extremidade norte da Península de Tróia, N2 – Parte central da Península de Tróia e N3 – Extremidade sul da Península de Tróia.

Na figura 4.7.a é possível observar uma boa separação entre os subsectores. O parâmetro que permite individualizar o subsector N2 dos restantes é a assimetria, enquanto que o parâmetro que permite separar o subsector N1 do N3 é a calibragem. Na figura 4.7.b observa-se que o diâmetro médio permite uma clara divisão entre as amostras do subsector N2 das do subsector N3. As amostras do subsector N1 com diâmetro médio idêntico ao do N3 conseguem-se separar deste, por apresentarem valores mais elevados de curtose.

Para amostras de berma é igualmente possível delimitar três subsectores, embora com limites diferentes dos anteriormente estabelecidos. O primeiro corresponde ao extremo norte da península de Tróia (N1), dos 0 (zero) aos 2,1 km; o segundo corresponde à parte central da península de Tróia (N2), dos 2,7 aos 13,2 km; e o terceiro corresponde à extremidade sul da península de Tróia (N3), dos 13,8 aos 16,7 km (figura 4.8 e figura A2.5 do anexo 2).

Observando a figura 4.8.a, é possível diferenciar perfeitamente os três subsectores. O diâmetro médio permite a separação de todos, enquanto que a assimetria apenas permite distinguir entre o subsector N1 e o N3. Na figura 4.8.b a calibragem permite diferenciar os subsectores N2 e N3.

Para amostras de duna não foi possível subdividir o sector setentrional.



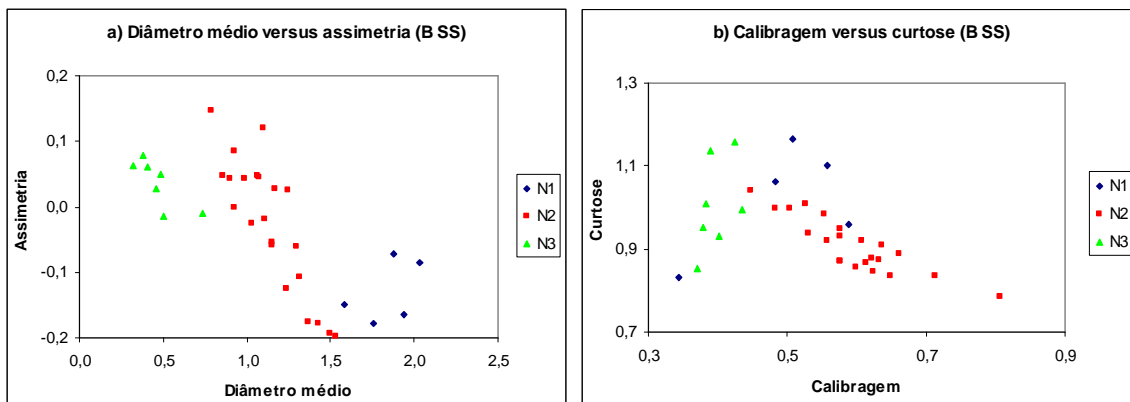


Figura 4.8 – Correlação entre os parâmetros texturais para amostras da berma (B) da Península de Tróia. N1 – Extremidade norte da Península de Tróia, N2 – Parte central da Península de Tróia e N3 – Extremidade sul da Península de Tróia.

#### 4.2.5. Comparação e interpretação das variações longitudinais

Através das variações longitudinais dos parâmetros texturais foi possível identificar três sectores (figura 4.9).

O sector setentrional corresponde, para as três unidades morfológicas, à península de Tróia, a qual se estende desde Tróia (aos 0 km) até Comporta (aos 17 km).

O sector central apresenta uma área de abrangência um pouco maior para o conjunto de amostras da berma do que para o conjunto da face de praia. Este inicia-se após o fim da península de Tróia, terminando, aos 43 Km e aos 47 km para a face de praia e para a berma, respectivamente. Para as amostras de duna, o limite norte também se localiza no fim da península de Tróia, mas o limite sul não se encontra muito bem definido, situando-se entre o limite sul das amostras de face de praia e o limite sul das amostras de berma.

O sector meridional, em todas as unidades morfológicas, corresponde ao troço restante.

Em trabalhos anteriores, efectuados por outros autores, também são propostas subdivisões baseadas em vários critérios. Quevauviller (1986a) e Gomes (1992) subdividiam o troço litoral com base na morfologia dunar e na presença de arribas; Gama (2005) tomou em consideração a variação longitudinal dos parâmetros texturais.

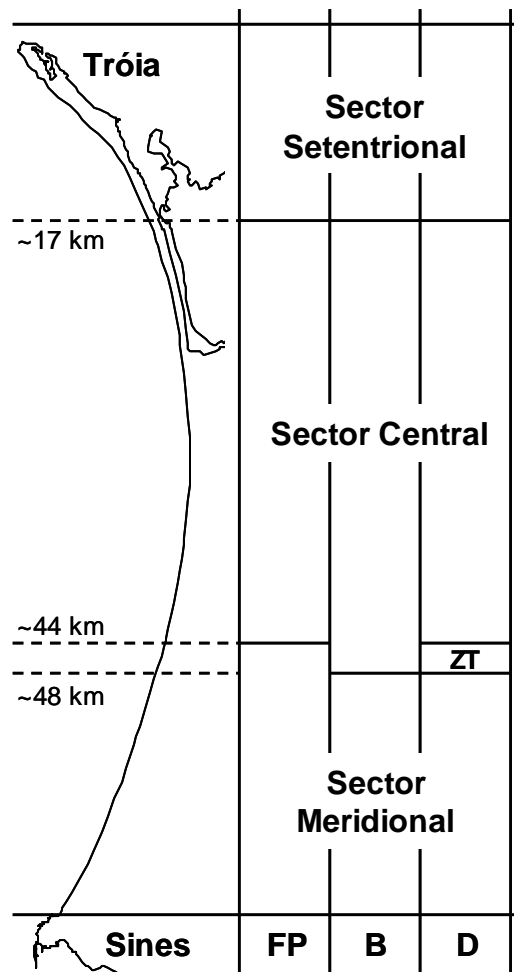


Figura 4.9 – Sectores considerados no presente troço litoral Tróia-Sines. FP – Face de praia; B – Berma; D – Duna; ZT – Zona de transição.

A figura 4.10 apresenta a comparação entre as divisões de outros autores com as propostas no presente trabalho. Como é possível observar, não existe uniformidade no número de sectores considerados, bem como dos seus limites.

A divisão proposta com base na análise textural não coincide com a separação entre o sector setentrional e o central. A divergência pode ser atribuída ao facto de Gama (2005) ter utilizado o teor em carbonatos e não usou o parâmetro da curtose. Para além deste facto, Gama (2005) utilizou curvas de ajuste de médias móveis de 6 elementos o que, por si só, interfere nos limites.

É de notar que existe uma divisão comum a todos os esquemas apresentados. Esta localiza-se na zona da Lagoa de Melides e marca a transição entre as praias com

arribas bem desenvolvidas, a norte, e as limitadas por dunas quase sempre consolidadas, a sul.

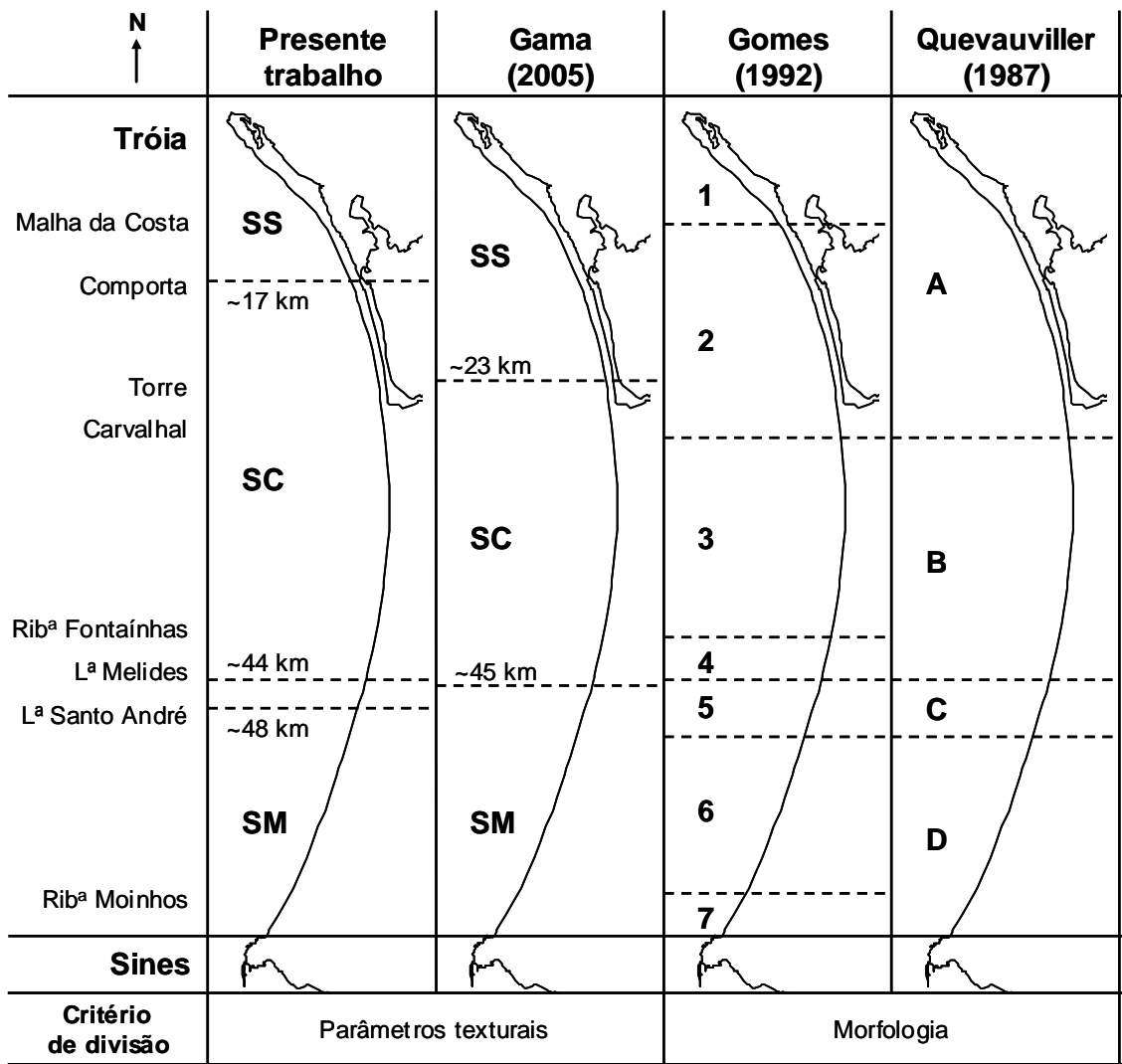


Figura 4.10 – Esquema comparativo entre as subdivisões do troço litoral Tróia-Sines, propostas por vários autores e as definidas no presente trabalho. SS – Sector setentrional; SC – Sector central; SM – Sector meridional.

As amostras da face de praia e da berma permitem definir três subsectores na península de Tróia. A variação dos valores de diâmetro médio parece ser o principal factor responsável por esta subdivisão, embora a calibragem e a assimetria também sejam importantes (figura 4.11).

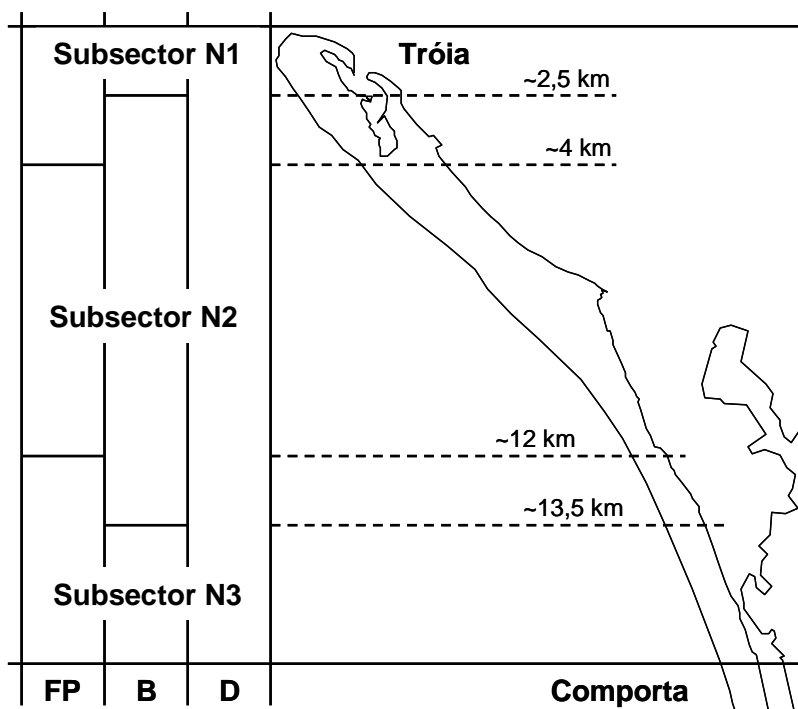


Figura 4.11 – Subsectores presentes no sector setentrional baseados nos parâmetros texturais. FP – Face de praia; B – Berma; D – Duna.

Quevauviller (1987), Gomes (1992) e Gama (2005) também verificam a mesma variação dos valores do diâmetro médio.

Para explicar a variação da granulometria Komar (1976) enumera três factores principais pelos quais a praia é controlada: a fonte sedimentar, a energia da ondulação e o declive da praia.

Quevauviller (1987) justifica a tendência de aumento do grão neste sector com o facto deste troço estar parcialmente abrigado da ondulação pelo cabo Espichel, o que provoca uma diminuição de energia para norte. Esta tendência e respectiva justificação também foram apontadas por Teixeira (1990) para o troço litoral do Arco da Caparica.

Komar (1976) apresenta alguns exemplos semelhantes noutras regiões do globo, indicando que esta tendência se deve à dissipação de energia da ondulação nas proximidades dos cabos, aumentando progressivamente na direcção oposta à da proveniência da ondulação predominante, à medida que se perde o efeito de sombra

do cabo. Transpondo para a área de estudo, visto a ondulação predominante (70 a 80 %) vir de noroeste (Costa, *et al.* 2001) e a direcção da linha de costa ser aproximadamente norte-sul, o efeito de abrigo é observado a sul do cabo Espichel, estendendo-se pelo sector setentrional e central (figura 4.12).

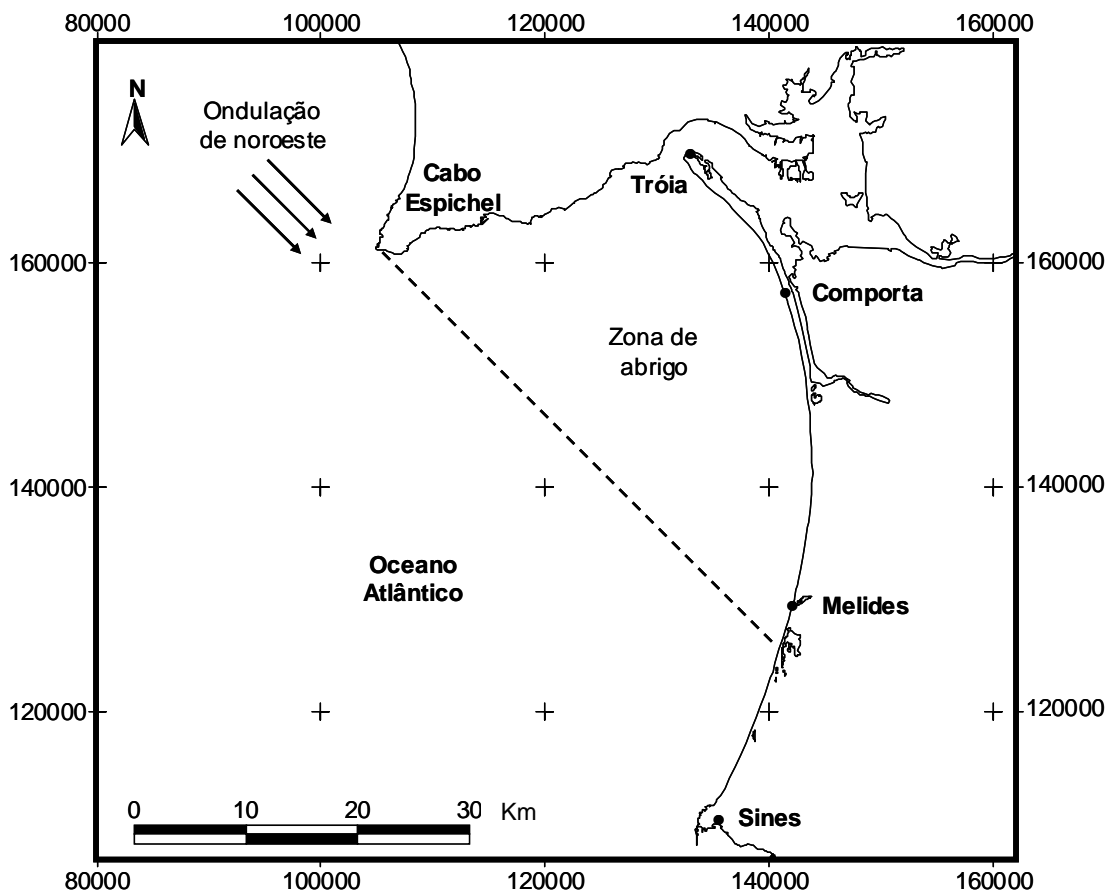


Figura 4.12 – Zona de abrigo à ondulação predominante de noroeste.

O comportamento singular dos parâmetros texturais da face de praia (Figura 4.1) no subsector N1, pode dever-se à presença dos bancos de areia localizados no delta de vazante do estuário do Sado. Estes podem interferir directamente com a energia e direcção da ondulação que chega à praia, assim como podem fornecer sedimentos com características diferentes. Gomes *et al.* (1990) e Gama (2005) consideram esta possibilidade, indicando que os bancos de areia constituem uma fonte sedimentar para a península de Tróia.

Para além deste comportamento no extremo norte, também pode ser observado um outro na zona de Comporta, visível em alguns dos gráficos de variação longitudinal da face de praia e da berma (figuras 4.1 e 4.3). Embora sem justificação aparente, as areias apresentam-se nesta zona, mais grosseiras e melhor calibradas do que nas zonas adjacentes. O mesmo é encontrado por Gama (2005), a qual também não encontra justificação aparente para esta singularidade. No entanto, a localização do canhão de Setúbal próximo de Comporta pode justificar o aumento do tamanho de grão na praia, uma vez que constitui um sumidouro de sedimentos finos (Komar 1976, Gama 2005).

Em relação ao sector meridional, a existência dos valores mais altos de calibragem, de assimetrias positivas e de distribuições platicúrticas leva a supor a existência de mais do que uma fonte sedimentar activa neste troço litoral.

### **4.3. Análise transversal das unidades morfológicas**

A análise textural para além de permitir fazer uma interpretação longitudinal, permite também uma interpretação transversal, comparando as três unidades morfológicas estudadas.

Para além da comparação global entre as diferentes unidades morfológicas, neste subcapítulo serão apresentados os valores dos parâmetros texturais por unidade e o resultado do teste estatístico de Kolmogorov-Smirnov.

#### **4.3.1. Caracterização e comparação global entre unidades morfológicas**

Comparando as variações longitudinais de cada parâmetro textural é possível verificar que não existem diferenças gerais entre as unidades morfológicas estudadas (figura 4.13). No entanto, é possível verificar que existem diferenças locais, o que leva a supor que as variações longitudinais se sobrepõem às transversais.

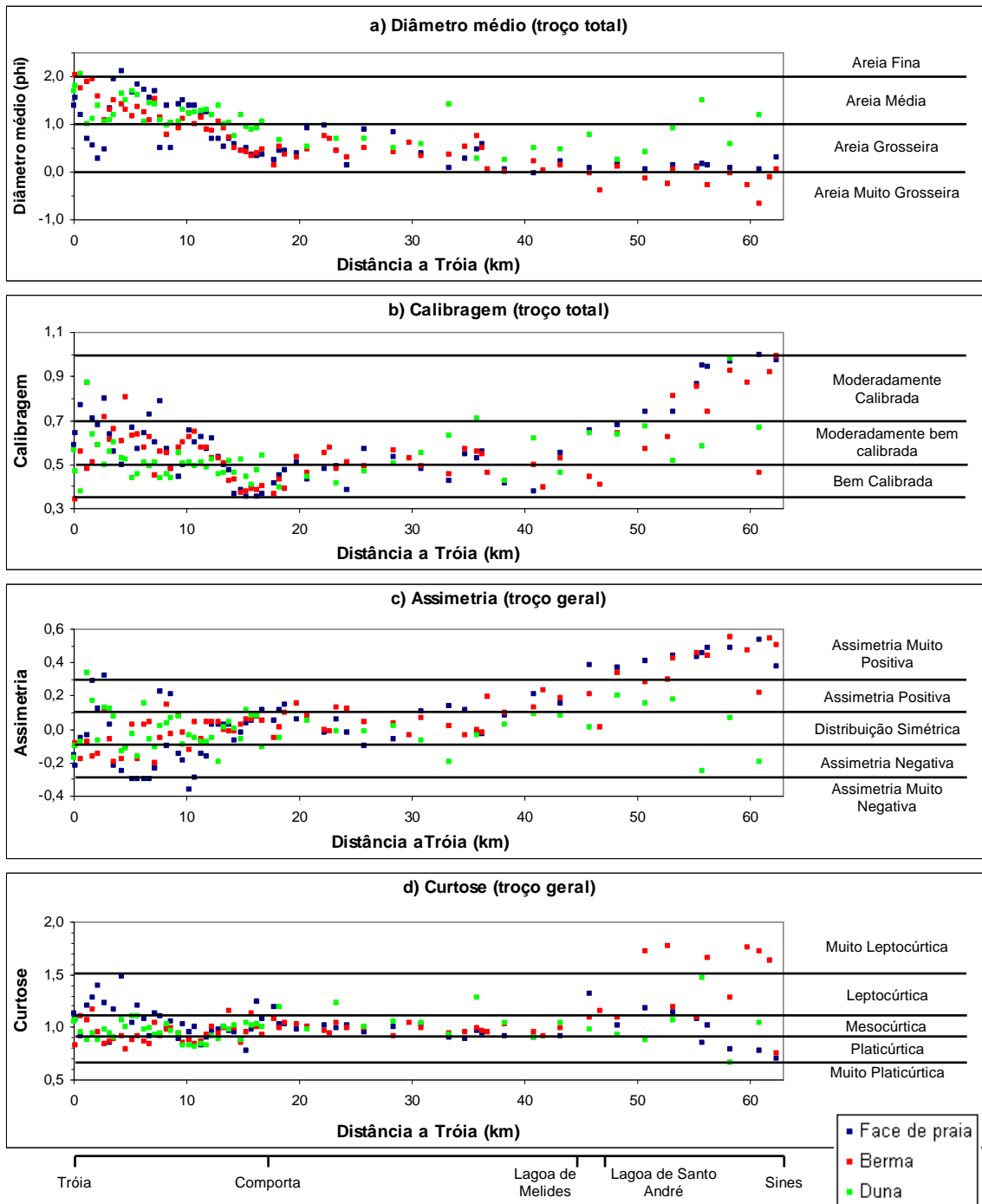


Figura 4.13 – Comparação transversal da variação longitudinal dos parâmetros texturais ao longo do troço litoral.

Na tabela 4.5 é possível observar que a média dos diâmetros médios é mais baixa nas amostras de berma (areias grosseiras) e mais elevada em amostras de duna

(areias médias), situando-se a média das amostras de face de praia próxima das amostras de berma (areias grosseiras). Do conjunto total de amostras o valor mais grosseiro foi encontrado na berma (areia muito grosseira), enquanto que o valor mais fino foi encontrado na face de praia (areia fina). A berma é a unidade que apresenta o maior valor de desvio padrão, enquanto que a duna é a unidade que apresenta uma maior uniformidade dos diâmetros médios.

Tabela 4.5 – Caracterização geral dos parâmetros texturais por unidade morfológica. FP - Face de praia, B - Berma, D - Duna, DP - Desvio padrão, Min - Mínimo, Max - Máximo.

a) Diâmetro médio

|    | Média | DP    | Min    | Max   |
|----|-------|-------|--------|-------|
| FP | 0,724 | 0,578 | -0,014 | 2,117 |
| B  | 0,640 | 0,608 | -0,660 | 2,036 |
| D  | 1,055 | 0,419 | 0,248  | 2,062 |

b) Calibragem

|    | Média | DP    | Min   | Max   |
|----|-------|-------|-------|-------|
| FP | 0,591 | 0,169 | 0,352 | 0,996 |
| B  | 0,557 | 0,142 | 0,344 | 0,990 |
| D  | 0,531 | 0,110 | 0,380 | 0,977 |

c) Assimetria

|    | Média  | DP    | Min    | Max   |
|----|--------|-------|--------|-------|
| FP | 0,053  | 0,230 | -0,358 | 0,540 |
| B  | 0,076  | 0,181 | -0,198 | 0,554 |
| D  | -0,002 | 0,117 | -0,249 | 0,339 |

d) Curtose

|    | Média | DP    | Min   | Max   |
|----|-------|-------|-------|-------|
| FP | 1,021 | 0,149 | 0,702 | 1,485 |
| B  | 1,041 | 0,231 | 0,757 | 1,769 |
| D  | 0,987 | 0,128 | 0,660 | 1,472 |

Relativamente aos valores de calibragem, o valor médio para as três unidades pertence à classe das areias moderadamente bem calibradas. O valor mínimo deste parâmetro pertence a uma amostra da berma (areia muito bem calibrada) e o valor máximo a uma amostra de face de praia (areia moderadamente calibrada).

O valor de dispersão da calibragem é menor para as amostras de duna e o maior para amostras de face de praia. Assim parece haver uma correspondência entre a diminuição da dispersão e a diminuição da calibragem no sentido da face de praia para a duna.

Todas as unidades morfológicas apresentam um valor médio de assimetria ajustada às distribuições simétricas, sendo as areias de duna as que apresentam o valor mais próximo de zero. As areias com assimetria mais negativa caracterizam a face de praia (assimetria muito negativa), enquanto as areias com assimetria mais positiva encontram-se na berma (assimetria muito positiva).

Todas as unidades apresentam um valor médio de curtose adaptada ao tipo mesocúrtico. A distribuição com a curva mais leptocúrtica corresponde à berma



(muito leptocúrtica) e a distribuição mais platicúrtica pertence à duna (muito platicúrtica). Tal como para os outros parâmetros, a dispersão dos valores de curtose é menor na duna, mas neste caso é o maior para a berma.

As amostras de duna são aquelas que apresentam, para os quatro parâmetros texturais, o valor mais baixo de desvio padrão, ou seja uma menor dispersão.

Para verificar se as diferenças entre os vários parâmetros texturais são significativas foi efectuado o teste estatístico não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov (tabela 4.6). O diâmetro médio é significativamente diferente entre a face de praia e a duna e entre a berma e a duna ( $p < 0,001$ ). A calibragem é significativamente diferente entre a face de praia e a duna ( $p < 0,05$ ). A diferença entre os valores de assimetria da berma e da duna também pode ser considerada importante ( $p < 0,10$ ).

As unidades que apresentam uma maior diferença entre si são a face de praia e a duna, seguindo-se a berma da duna.

Tabela 4.6 – Resultados do teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov para a comparação dos diferentes parâmetros texturais entre unidades morfológicas diferentes (FP – Face de praia; B – Berma; D – Duna).

| Parâmetro textural | p - level   |             |            |
|--------------------|-------------|-------------|------------|
|                    | FP / D      | B / D       | FP / B     |
| Diâmetro médio     | $p < 0,001$ | $p < 0,001$ | $p > 0,10$ |
| Calibragem         | $p < 0,05$  | $p > 0,10$  | $p > 0,10$ |
| Assimetria         | $p > 0,10$  | $p < 0,10$  | $p > 0,10$ |
| Curtose            | $p > 0,10$  | $p > 0,10$  | $p > 0,10$ |

Não existe nenhum parâmetro que permita distinguir entre a face de praia e a berma. Nenhuma das correlações (figura 4.14 e figura A2.6 do anexo 2) permite individualizar as unidades morfológicas, possibilitando apenas identificar que a duna é a unidade que apresenta valores com menor variabilidade. Na figura 4.14.a é possível observar que existe uma correlação negativa entre o diâmetro médio e a assimetria nas três unidades, sendo mais evidente na face de praia e na berma.

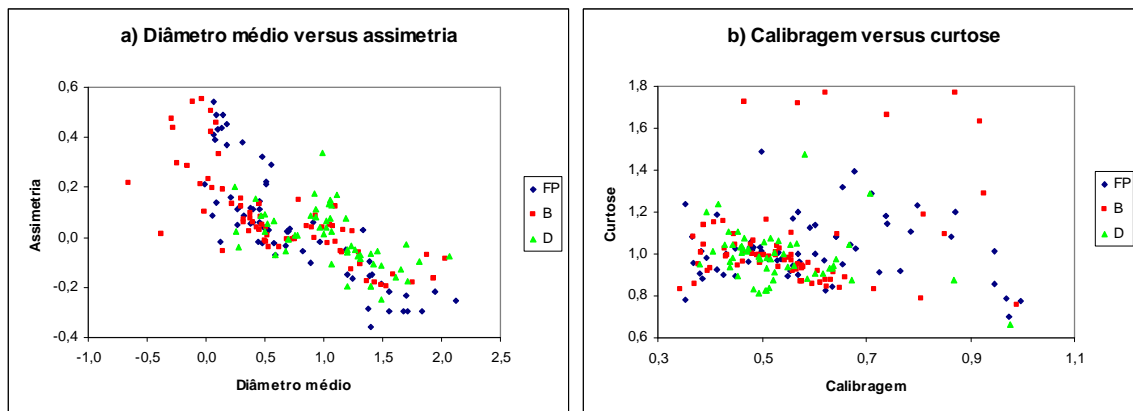


Figura 4.14 – Correlações interparamétricas transversais para o troço Tróia – Sines. FP – Face de praia; B – Berma; D – Duna.

A partir da figura 4.13, é possível verificar que a análise transversal poderá ser mais robusta se for efectuada por sectores. Assim, foram considerados os sectores anteriormente delimitados aquando da análise longitudinal.

#### 4.3.2. Sector setentrional

A média, o desvio padrão, o valor mínimo e o valor máximo dos vários parâmetros texturais obtidos para cada unidade morfológica encontram-se representados na tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Caracterização geral dos parâmetros texturais por unidade morfológica para o sector setentrional. FP - Face de praia, B - Berma, D - Duna, DP - Desvio padrão, Min - Valor mínimo, Max - Valor máximo.

##### a) Diâmetro médio

|    | Média | DP    | Min   | Max   |
|----|-------|-------|-------|-------|
| FP | 1,052 | 0,553 | 0,286 | 2,117 |
| B  | 1,105 | 0,449 | 0,321 | 2,036 |
| D  | 1,248 | 0,297 | 0,751 | 2,062 |

##### b) Calibragem

|    | Média | DP    | Min   | Max   |
|----|-------|-------|-------|-------|
| FP | 0,574 | 0,136 | 0,352 | 0,870 |
| B  | 0,539 | 0,108 | 0,344 | 0,806 |
| D  | 0,509 | 0,083 | 0,380 | 0,870 |

##### c) Assimetria

|    | Média  | DP    | Min    | Max   |
|----|--------|-------|--------|-------|
| FP | -0,064 | 0,183 | -0,358 | 0,322 |
| B  | -0,028 | 0,098 | -0,198 | 0,148 |
| D  | -0,006 | 0,114 | -0,196 | 0,339 |

##### d) Curtose

|    | Média | DP    | Min   | Max   |
|----|-------|-------|-------|-------|
| FP | 1,051 | 0,159 | 0,782 | 1,485 |
| B  | 0,946 | 0,098 | 0,786 | 1,166 |
| D  | 0,958 | 0,082 | 0,811 | 1,107 |

Da face de praia para a duna, o diâmetro médio diminui, as areias tornam-se mais bem calibradas (moderadamente bem calibradas) e os valores de assimetria tendem

a aproximarem-se de zero (as distribuições tornam-se mais simétricas). Quanto aos valores de curtose (sempre mesocúrticos), os mais elevados encontram-se na face de praia e os mais baixos na berma.

O desvio padrão diminui da face de praia para a duna (excepto para a assimetria), correspondendo a uma diminuição de variabilidade no mesmo sentido.

As significâncias das diferenças entre cada parâmetro textural foram calculadas pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (tabela 4.8).

Tabela 4.8 – Resultados do teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov para a comparação dos diferentes parâmetros texturais entre as unidades morfológicas do sector setentrional (FP – Face de praia; B – Berma; D – Duna).

| Parâmetro textural | p - level |           |          |
|--------------------|-----------|-----------|----------|
|                    | FP / D    | B / D     | FP / B   |
| Diâmetro médio     | p < 0,001 | p < 0,10  | p > 0,10 |
| Calibragem         | p < 0,001 | p < 0,025 | p > 0,10 |
| Assimetria         | p < 0,05  | p > 0,10  | p > 0,10 |
| Curtose            | p < 0,05  | p > 0,10  | p < 0,05 |

Observa-se uma diferença significativa entre a face de praia e a duna para todos os parâmetros texturais (p < 0,001 para o diâmetro médio e a calibragem e p < 0,05 para a assimetria e a curtose). Também são significativas as diferenças entre a berma e a duna para a calibragem (p < 0,025) e entre a face de praia e a berma para a curtose (p < 0,05).

Os gráficos de correlação interparamétrica não permitiram distinguir tendências claras entre as diferentes unidades (figura 4.15 e A2.7 do anexo 2).

Na figura 4.15.a é visível a mesma correlação entre a assimetria e o diâmetro médio, também verificada para a totalidade do troço litoral (figura 4.14.a). Na figura 4.15.b observa-se a correlação em torno dos 1,26  $\phi$  já evidenciada no ponto 4.2.3. para amostras de duna.

#### 4.3.3. Subsectores da península de Tróia

Como acabou de ser observado, No sector setentrional apenas foi possível distinguir de uma forma clara a face de praia da duna. No entanto, visto este sector apresentar

uma grande variabilidade de valores para alguns dos parâmetros texturais, optou-se por proceder a comparações tendo em conta os subsectores anteriormente definidos. Para amostras de duna, como não foi possível definir subsectores, considerou-se a totalidade das amostras do sector setentrional para se proceder à comparação.

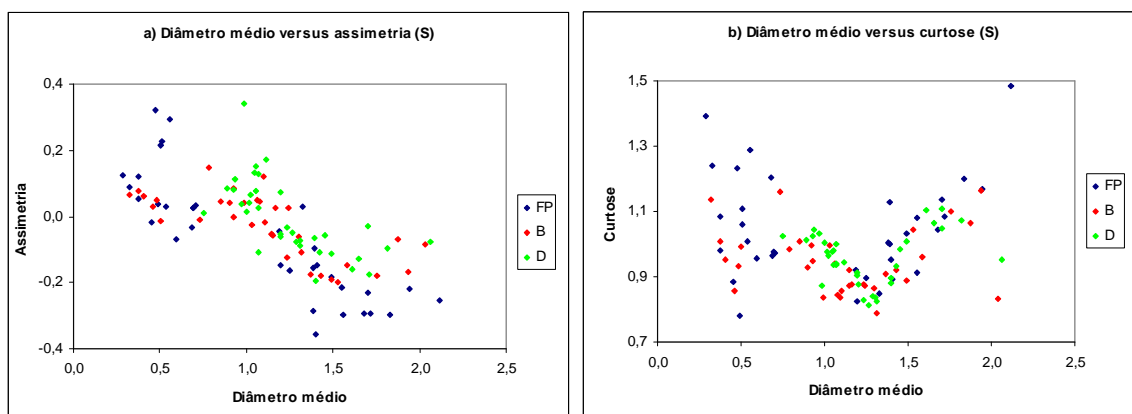


Figura 4.15 – Correlações interparamétricas para amostras do sector setentrional (S). FP – Face de praia; B – Berma; D – Duna.

Nas tabelas 4.9, 4.10 e 4.11 é possível observar que o diâmetro médio embora varie de classe granulométrica longitudinalmente não varia transversalmente, ou seja, dentro de um mesmo subsector todas as unidades morfológicas apresentam um diâmetro médio pertencente à mesma classe. Contudo, ao se efectuar o teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov verificou-se que o diâmetro médio permite em todos os subsectores diferenciar pelo menos um par de unidades morfológicas ( $p < 0,025$ ).

Os valores de calibragem permitem sempre diferenciar dois pares de unidades morfológicas ( $p < 0,025$ ). O valor médio mais elevado encontra-se na face de praia para os subsectores N1 e N2 e na duna para o subsector N3.

No subsector N1 o valor médio da assimetria pertence à classe das distribuições aproximadamente simétricas para areias de face de praia e pertence à classe das distribuições com assimetria negativa para areias de berma. No subsector N2 este parâmetro apresenta-se de forma inversa (Face de praia – assimetria negativa; e berma – aproximadamente simétrico). No subsector N3 o valor médio de assimetria

pertence à classe das distribuições aproximadamente simétricas para as três unidades. A assimetria apenas permite distinguir entre unidades morfológicas no subsector N1 e N2 com de  $p < 0,05$ .

Tabela 4.9 – Caracterização da média de cada parâmetro textural por unidade morfológica e resultados do teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov (KS) para a comparação dos diferentes parâmetros texturais entre as unidades morfológicas do subsector N1 (FP – Face de praia; B – Berma; D – Duna).

| Parâmetro textural | Valor médio do parâmetro |        |        | p – level (KS) |             |             |
|--------------------|--------------------------|--------|--------|----------------|-------------|-------------|
|                    | FP                       | B      | D      | FP / D         | B / D       | FP / B      |
| Diâmetro médio     | 1,045                    | 1,837  | 1,248  | $p > 0,10$     | $p < 0,005$ | $p < 0,025$ |
| Calibragem         | 0,695                    | 0,496  | 0,509  | $p < 0,001$    | $p > 0,10$  | $p < 0,025$ |
| Assimeria          | 0,010                    | -0,130 | -0,006 | $p > 0,10$     | $p < 0,05$  | $p > 0,10$  |
| Curtose            | 1,140                    | 1,024  | 0,958  | $p < 0,005$    | $p > 0,10$  | $p > 0,10$  |

Tabela 4.10 – Caracterização da média de cada parâmetro textural por unidade morfológica e resultados do teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov (KS) para a comparação dos diferentes parâmetros texturais entre as unidades morfológicas do subsector N2 (FP – Face de praia; B – Berma; D – Duna).

| Parâmetro textural | Valor médio do parâmetro |        |        | p – level (KS) |             |             |
|--------------------|--------------------------|--------|--------|----------------|-------------|-------------|
|                    | FP                       | B      | D      | FP / D         | B / D       | FP / B      |
| Diâmetro médio     | 1,409                    | 1,142  | 1,248  | $p < 0,10$     | $p > 0,10$  | $p < 0,005$ |
| Calibragem         | 0,596                    | 0,594  | 0,509  | $p < 0,001$    | $p < 0,001$ | $p > 0,10$  |
| Assimeria          | -0,174                   | -0,026 | -0,006 | $p < 0,001$    | $p > 0,10$  | $p < 0,005$ |
| Curtose            | 1,042                    | 0,909  | 0,958  | $p > 0,10$     | $p < 0,10$  | $p < 0,01$  |

Tabela 4.11 – Caracterização da média de cada parâmetro textural por unidade morfológica e resultados do teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov (KS) para a comparação dos diferentes parâmetros texturais entre as unidades morfológicas do subsector N3 (FP – Face de praia; B – Berma; D – Duna).

| Parâmetro textural | Valor médio do parâmetro |       |        | p – level (KS) |             |            |
|--------------------|--------------------------|-------|--------|----------------|-------------|------------|
|                    | FP                       | B     | D      | FP / D         | B / D       | FP / B     |
| Diâmetro médio     | 0,524                    | 0,468 | 1,248  | $p < 0,001$    | $p < 0,001$ | $p > 0,10$ |
| Calibragem         | 0,435                    | 0,397 | 0,509  | $p < 0,025$    | $p < 0,001$ | $p > 0,10$ |
| Assimeria          | 0,032                    | 0,037 | -0,006 | $p < 0,10$     | $p < 0,10$  | $p > 0,10$ |
| Curtose            | 0,984                    | 1,005 | 0,958  | $p > 0,10$     | $p > 0,10$  | $p > 0,10$ |

Os valores de curtose, com excepção da face de praia no subsector N1, pertencem à classe das distribuições mesocúrticas. Na realidade este é o parâmetro que permite

distinguir menos pares de unidades morfológicas (apenas face de praia da duna para o subsector N1 e face de praia da berma para o subsector N2).

Para a comparação transversal dos diferentes subsectores também foram utilizados os gráficos de correlação interparamétrica, contudo a sua utilização apenas permitiu distinguir a face de praia das restantes unidades no subsector N1 e a duna das restantes unidades no subsector N3 (figura 4.16 e A2.8, A2.9 e A2.10 do anexo 2).

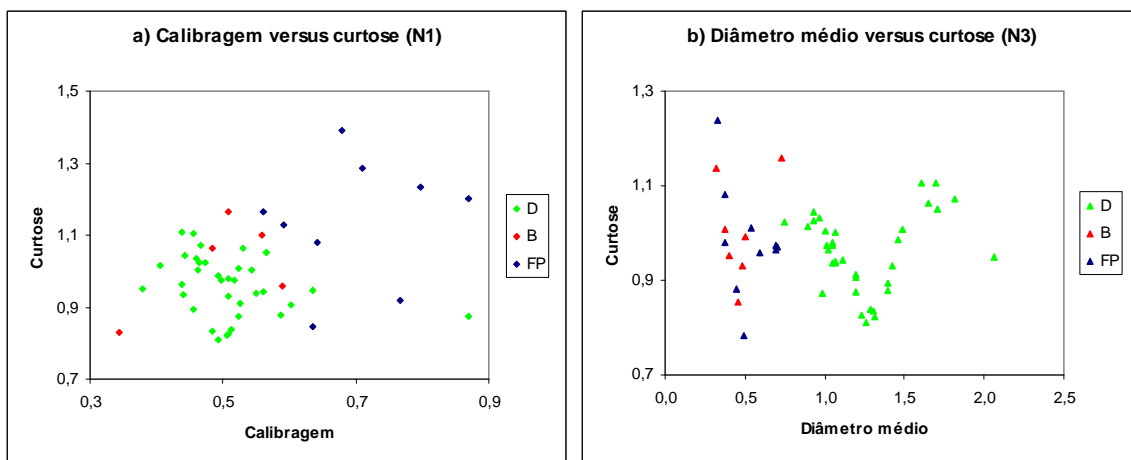


Figura 4.16 – Correlações interparamétricas para amostras das diferentes unidades morfológicas nos subsectores: a) N1 e b) N3. As amostras de duna (D) consideradas em cada gráfico são de todo o sector setentrional.

#### 4.3.4. Sector central

Na tabela 4.12 encontram-se representados os valores descritivos dos parâmetros texturais para o sector central.

As areias tornam-se menos calibradas, da face de praia (bem calibradas) para a duna (moderadamente bem calibradas), aumentando o valor da curtose no mesmo sentido.

O desvio padrão é mais elevado na duna, para o diâmetro médio, calibragem e curtose, e na berma para a assimetria.

Na tabela 4.13 estão representados os resultados obtidos aplicando o teste de Kolmogorov-Smirnov.

Tabela 4.12 – Parâmetros texturais por unidade morfológica para o sector central. FP - Face de praia, B - Berma, D - Duna, DP - Desvio padrão, Min - Valor mínimo, Max - Valor máximo.

## a) Diâmetro médio

|    | Média | DP    | Min    | Max   |
|----|-------|-------|--------|-------|
| FP | 0,433 | 0,302 | -0,014 | 0,968 |
| B  | 0,335 | 0,276 | -0,376 | 0,752 |
| D  | 0,599 | 0,307 | 0,254  | 1,405 |

## b) Calibragem

|    | Média | DP    | Min   | Max   |
|----|-------|-------|-------|-------|
| FP | 0,480 | 0,062 | 0,379 | 0,572 |
| B  | 0,486 | 0,063 | 0,368 | 0,579 |
| D  | 0,512 | 0,102 | 0,394 | 0,708 |

## c) Assimetria

|    | Média  | DP    | Min    | Max   |
|----|--------|-------|--------|-------|
| FP | 0,060  | 0,084 | -0,101 | 0,212 |
| B  | 0,070  | 0,086 | -0,052 | 0,231 |
| D  | -0,008 | 0,082 | -0,197 | 0,092 |

## d) Curtose

|    | Média | DP    | Min   | Max   |
|----|-------|-------|-------|-------|
| FP | 0,983 | 0,070 | 0,891 | 1,190 |
| B  | 0,999 | 0,057 | 0,917 | 1,152 |
| D  | 1,067 | 0,122 | 0,908 | 1,287 |

Tabela 4.13 – Comparação dos diferentes parâmetros texturais entre as unidades morfológicas do sector central (FP – Face de praia; B – Berma; D – Duna).

| Parâmetro textural | p - level   |            |            |
|--------------------|-------------|------------|------------|
|                    | FP / D      | B / D      | FP / B     |
| Diâmetro médio     | $p < 0,10$  | $p < 0,10$ | $p > 0,10$ |
| Calibragem         | $p > 0,10$  | $p > 0,10$ | $p > 0,10$ |
| Assimetria         | $p > 0,10$  | $p > 0,10$ | $p > 0,10$ |
| Curtose            | $p < 0,025$ | $p > 0,10$ | $p > 0,10$ |

Como é possível observar, apenas a curtose apresenta diferenças significativas entre face de praia e duna com um  $p < 0,025$ .

As correlações interparamétricas não revelaram nenhuma ocorrência significativa, a não ser a correlação entre o diâmetro médio e a assimetria também verificada no respectivo gráfico de correlação para todo o presente sector (4.3.1.) (figura A2.11 do anexo 2).

#### 4.3.5. Sector meridional

Neste sector, a unidade granulometricamente mais grosseira é a berma, areias muito grosseiras, e a mais fina é a duna, areias grosseiras (tabela 4.14). As areias são mais bem calibradas na duna do que na face de praia. As distribuições da face de praia possuem assimetria muito negativa, enquanto que as distribuições da duna apresentam-se, em geral, aproximadamente simétricas. As distribuições da berma

possuem valores de assimetria muito idênticos às da face de praia. Relativamente à curtose, as distribuições da berma são leptocúrticas, enquanto que as da face de praia e da duna apresentam-se como mesocúrticas.

Tabela 4.14 – Parâmetros texturais por unidade morfológica para o sector meridional. FP - Face de praia, B - Berma, D - Duna, DP - Desvio padrão, Min - Valor mínimo, Max - Valor máximo.

a) Diâmetro médio

|    | Média  | DP    | Min    | Max   |
|----|--------|-------|--------|-------|
| FP | 0,133  | 0,076 | 0,061  | 0,315 |
| B  | -0,133 | 0,229 | -0,660 | 0,115 |
| D  | 0,811  | 0,479 | 0,248  | 1,490 |

b) Calibragem

|    | Média | DP    | Min   | Max   |
|----|-------|-------|-------|-------|
| FP | 0,851 | 0,134 | 0,655 | 0,996 |
| B  | 0,765 | 0,169 | 0,465 | 0,990 |
| D  | 0,675 | 0,159 | 0,516 | 0,977 |

c) Assimetria

|    | Média | DP    | Min    | Max   |
|----|-------|-------|--------|-------|
| FP | 0,440 | 0,055 | 0,372  | 0,540 |
| B  | 0,412 | 0,112 | 0,219  | 0,554 |
| D  | 0,025 | 0,198 | -0,249 | 0,200 |

d) Curtose

|    | Média | DP    | Min   | Max   |
|----|-------|-------|-------|-------|
| FP | 0,989 | 0,202 | 0,702 | 1,319 |
| B  | 1,427 | 0,354 | 0,757 | 1,769 |
| D  | 1,010 | 0,270 | 0,660 | 1,472 |

O teste de Kolmogorov-Smirnov permitiu identificar diferenças entre as três unidades (tabela 4.15). Na figura 4.17 (A2.12 do anexo 2) são representados os gráficos de correlação interparamétrica para o presente sector.

Tabela 4.15 – Comparação dos diferentes parâmetros texturais entre as unidades morfológicas do sector meridional (FP – Face de praia; B – Berma; D – Duna).

| Parâmetro textural | p - level |           |           |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|
|                    | FP / D    | B / D     | FP / B    |
| Diâmetro médio     | p < 0,005 | p < 0,001 | p < 0,005 |
| Calibragem         | p < 0,05  | p > 0,10  | p > 0,10  |
| Assimetria         | p < 0,005 | p < 0,001 | p > 0,10  |
| Curtose            | p > 0,10  | p < 0,05  | p < 0,05  |

Nas figuras 4.17.a e 4.17.b é possível observar que o diâmetro médio e a assimetria distinguem com clareza as três unidades. Neste sector não é observada a correlação negativa entre o diâmetro médio e a assimetria, tal como acontecia nos sectores setentrional e central.



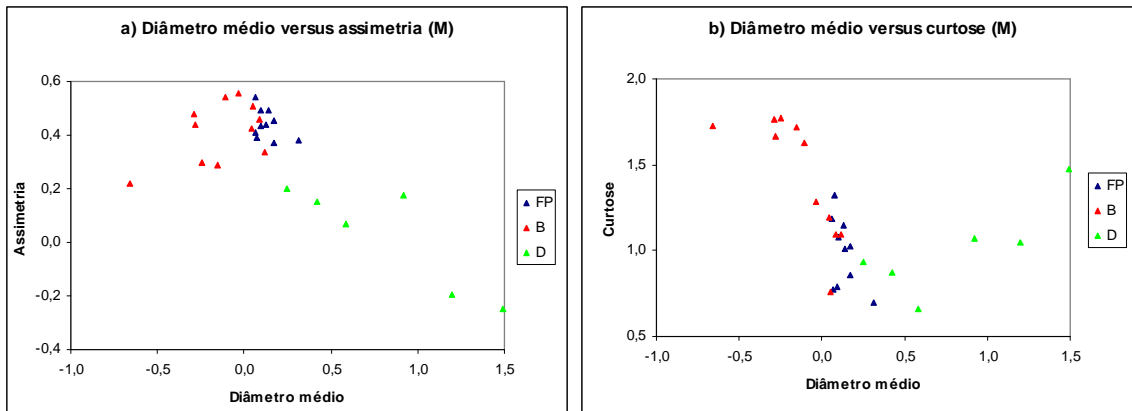


Figura 4.17 – Correlações interparamétricas para amostras do sector meridional (M). FP – Face de praia; B – Berma; D – Duna.

#### 4.3.6. Comparação e interpretação das variações transversais

Desde há muito que a sensibilidade ambiental dos parâmetros texturais tem sido discutida; uns autores demonstram diferenças nos valores dos parâmetros ou gráficos de correlação interparamétrica capazes de separar grupos de amostras e, outros, desvalorizam as diferenças encontradas através de exemplos contrários.

Nestes estudos têm sido comparados sedimentos de diversos ambientes, desde rios, dunas interiores, praias e dunas costeiras e planícies de maré, entre outros. Para o presente estudo interessam, especificamente, os que incidem sobre praias e dunas costeiras.

De entre os autores que determinaram a existência de sensibilidade ambiental destacam-se Mason & Folk (1958), os quais concluem que um gráfico de assimetria *versus* curtose diferencia praias de dunas costeiras. Friedman (1961) demonstrou que a representação do diâmetro médio *versus* assimetria distingue praias de dunas costeiras, correspondendo, na generalidade, a assimetria positiva a areias de duna e a assimetria negativa às areias de praia. Duane (1964) refere que quando os processos que condicionam a dispersão dos sedimentos são contínuos, tal como acontece nas praias, estes tendem a ter assimetria negativa. Este autor refere, ainda, que quando os processos só são activos parte do tempo, os sedimentos não apresentam uma tendência dominante de assimetria negativa ou positiva, sendo o

local caracterizado por diferenças locais de sinal. Hails (1967) por sua vez associa a assimetria positiva a areias de duna e a assimetria negativa a areias de praia. Como último exemplo da sensibilidade ambiental, Abuodha (2003) encontra uma diminuição do diâmetro médio no sentido praia - duna.

No entanto, outros autores dizem que os parâmetros texturais não apresentam sensibilidade ambiental, pelo menos entre a praia e a duna. É o exemplo de Shepard & Young (1961) e Moiola & Weiser (1968). Mais recentemente, Bittencourt (1992) afirmou que não é característica distintiva a assimetria negativa na praia, tendo obtido nas praias que estudou valores simétricos.

Em relação ao presente trabalho foram encontradas algumas diferenças nas variações transversais. De uma forma geral, as areias de duna são mais finas e tendem a ser melhor calibradas do que as areias de praia, o que está de acordo com os estudos efectuados por diversos autores (Abuodha 2003). Entre as amostras de praia (face de praia e berma) não foram encontradas diferenças significativas.

No entanto, ao comparar as unidades morfológicas por sectores verificou-se que o sector central apresenta, para a calibragem, uma tendência oposta à tendência geral. Estes valores são facilmente explicados visto que nesta zona a praia é limitada por arribas. Os sedimentos destas, com características polimodais, são constantemente desagregados e transportados por escorrência até aos cones de dejectão situados na base. Com a acção da ondulação em períodos de temporal, os sedimentos dos cones de dejectão são colocados em circulação sendo redistribuídos pela praia. Para além disso, o mar pode mesmo atingir a base das arribas, retirando directamente material.

Após um evento de temporal a praia recupera e a ondulação proporciona uma selecção dos grãos depositados. Os mais finos são facilmente remobilizados e transportados novamente em direcção ao mar pelo movimento de ressaca (Friedman 1979, Short 1999).

O sector meridional foi o que apresentou maiores diferenças significativas dos parâmetros entre as unidades morfológicas.

Dentro do sector setentrional, os subsectores que apresentaram mais diferenças significativas entre parâmetros texturais foram o N1 e o N2.

Ao dividir o sector setentrional em subsectores foi possível verificar que as diferenças entre unidades morfológicas variam consideravelmente de subsector para subsector. Por exemplo no subsector N2 é possível diferenciar a face de praia da berma em três parâmetros. No subsector N3 apenas é possível diferenciar as unidades de praia da duna.

A divisão da análise textural em sectores e subsectores mostrou-se extremamente importante, pois permitiu compensar parte da sobreposição da variação longitudinal à variação transversal, evidenciando a influência das arribas na textura dos sedimentos do sector central.

#### **4.4. Análise de populações**

A curva de frequências de uma população granulométrica (sedimentos unimodais) segue uma curva log-normal (Udden 1914 *in* Spencer 1963). Quando esta situação não se verifica pode dever-se a uma de duas situações: à presença de uma mistura de populações, mesmo que não seja evidente a existência de várias modas (Folk & Ward 1957, Spencer 1963, Komar 1976); ou à presença de uma única população, à qual foi retirada parte do sedimento projectado numa das suas caudas (Komar 1976). Nas curvas de frequências das amostras, do presente trabalho, é possível observar que ao longo do troço litoral estão presentes diferentes populações, as quais são denunciadas pela ocorrência de algumas amostras claramente bimodais e pelo desvio das curvas de frequência a uma curva normal.

Neste trabalho não foram realizadas análises composicionais das fracções leves (fracções cujos grãos possuem uma densidade inferior a  $2,82 \text{ g/cm}^3$ ). No entanto, a simples observação das fracções granulométricas mais grosseiras permitiu distinguir a existência ou não de bioclastos.

#### 4.4.1. Areias da face de praia

As curvas de frequência das areias de face de praia, ao longo do troço estudado, apresentam três tipos diferentes de distribuição.

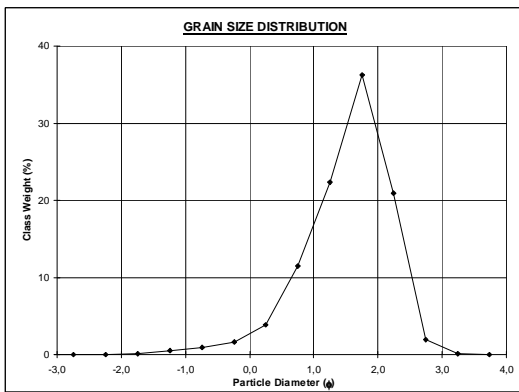
O sector setentrional possui essencialmente duas populações de grãos: uma terrígena mais fina (predominante) e uma bioclástica mais grosseira. Esta última provoca um incremento na componente grosseira das curvas de frequência e a sua expressão diminui geograficamente de Tróia (figura 4.18.a) para Comporta (figura 4.18.b). A única excepção encontra-se entre os 1,6 e os 3,1 km, em que as curvas de frequências mostram a presença de duas modas, e cuja observação directa de cada fracção permite detectar três populações. A moda mais fina é constituída em exclusivo por uma população terrígena, enquanto a moda mais grosseira corresponde a uma mistura de populações de natureza bioclástica e terrígena (figura 4.18.c).

Na zona central ocorre apenas uma população terrígena. Esta apresenta uma moda quase sempre constante, variando entre os 0,25 e os 0,75  $\phi$ . No entanto, as caudas das curvas de frequência apresentam algumas variações: em algumas amostras a cauda dos 'grosseiros' apresenta um incremento de peso, enquanto que noutras parece ser a cauda dos 'finos' (figura 4.18.d).

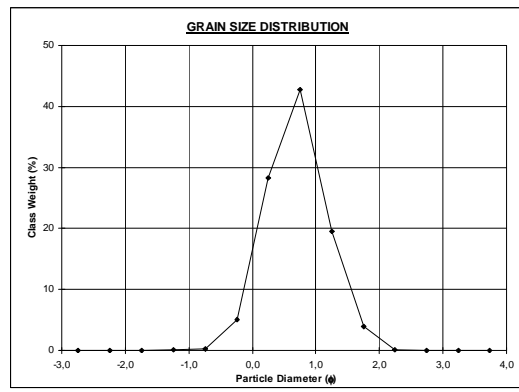
Na zona meridional ocorrem duas populações terrígenas: uma principal que, em continuidade com a população presente na zona central, se mantém ao longo de toda a zona; e uma secundária, mais fina, a qual surge na zona de Melides, detectada por um incremento na cauda dos finos (figura 4.18.e), que se prolonga e aumenta de expressão até Sines, onde nos últimos 8 km ocorrem algumas amostras bimodais (figura 4.18.f).

#### 4.4.2. Areias da berma

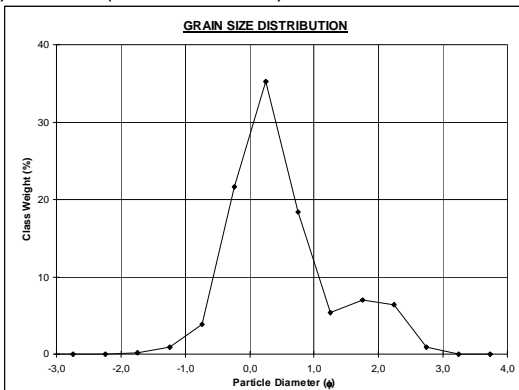
A análise de populações nas amostras de berma é muito semelhante à efectuada para a face de praia.



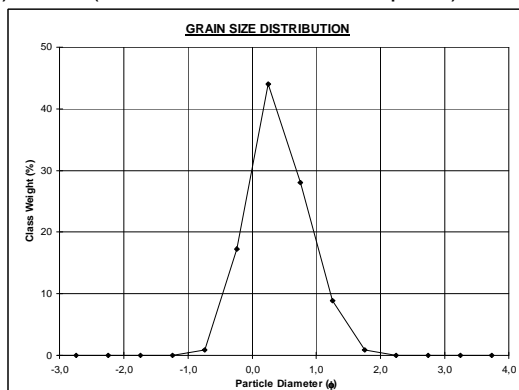
a) P125P (0,2 km - Tróia)



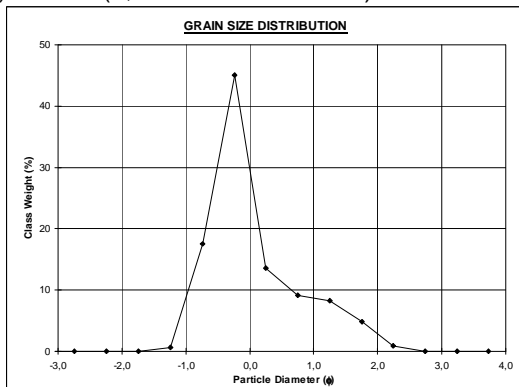
b) P98P (13,8 km - Norte da Comporta)



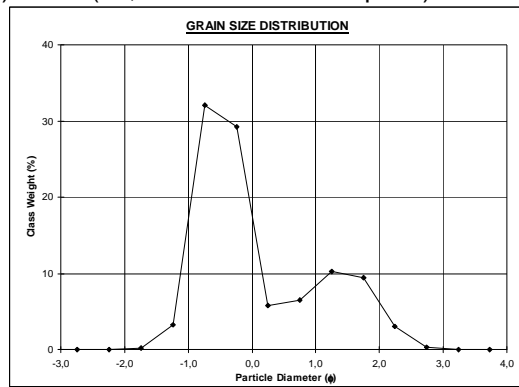
c) P120P (2,7 km - Sul de Tróia)



d) P64P (30,8 km - Praia da Raposa)



e) P24P (50,7 km - Sul da Lagoa de S<sup>to</sup> André)

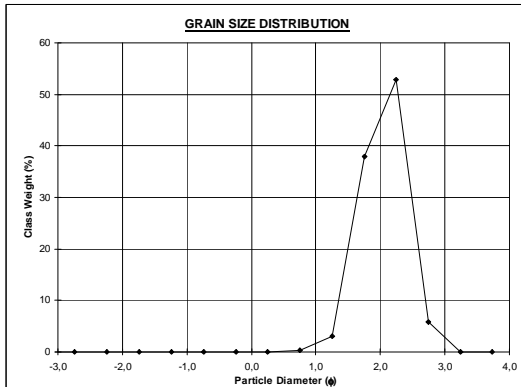


f) P9P (58,3 km - Sul da Lagoa da Sancha)

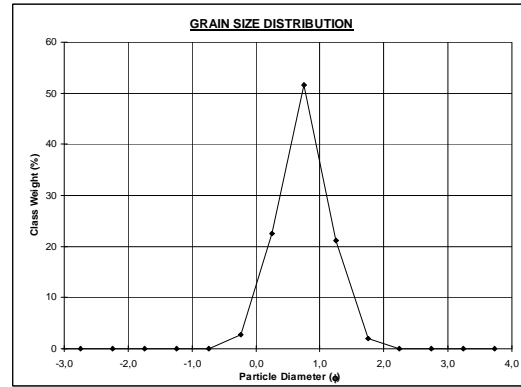
Figura 4.18 – Curvas de frequência de algumas amostras da face de praia (obtidas no Gradistat).

A zona setentrional é igualmente constituída por duas populações de grãos, uma terrígena (principal) mais fina e uma bioclástica (secundária) mais grosseira. A população bioclástica tende a diminuir de Tróia (figura 4.19.a) para Comporta (figura 4.19.b). Tal como na face de praia a ocorrência de algumas amostras bimodais

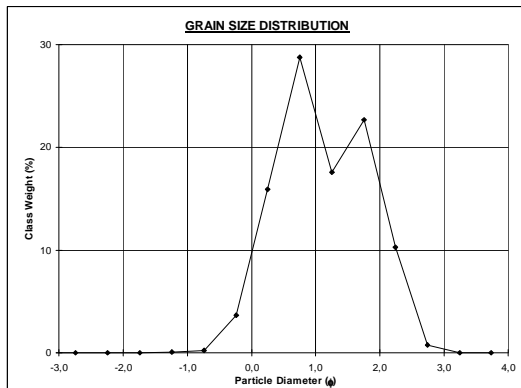
parece estar associada à presença de uma terceira população constituída por grãos terrígenos, que apenas está representada em algumas amostras.



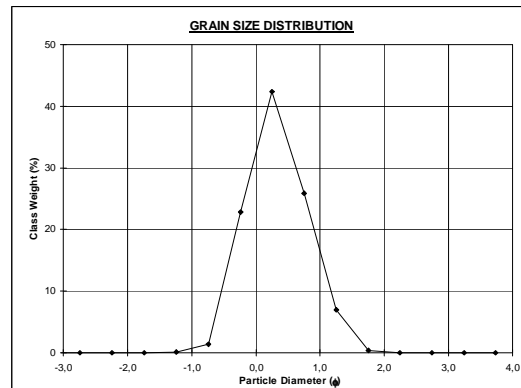
a) P125B (0,2 km - Tróia)



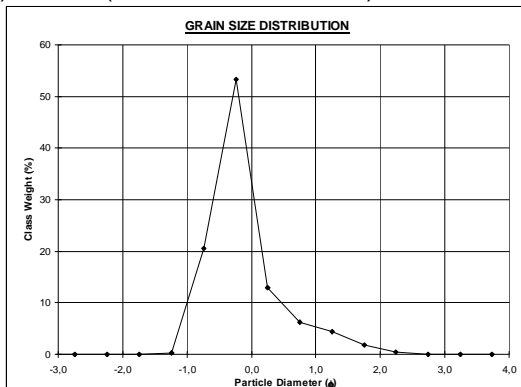
b) P98B (13,8 km - Norte da Comporta)



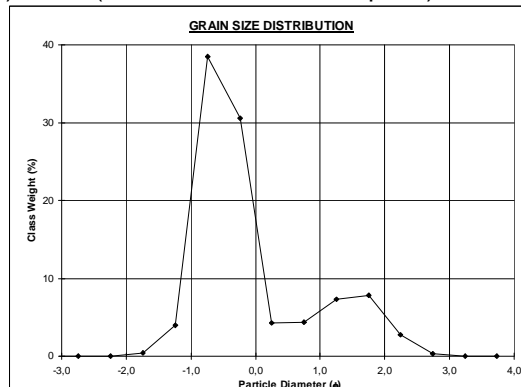
c) P120B (2,7 km - Sul de Tróia)



d) P64B (30,8 km - Praia da Raposa)



e) P24B (50,7 km - Sul da Lagoa de Santo André)



f) P9B (58,3 km - Sul da Lagoa da Sancha)

Figura 4.19 – Curvas de frequência de algumas amostras da berma (obtidas no Gradistat).

A zona central é constituída por uma única população terrígena. Esta apresenta uma moda cujo valor é próxima a  $0 \phi$ . As curvas de frequência apresentam-se por vezes ligeiramente assimétricas, quer positiva quer negativamente (figura 4.19.d).

A zona meridional integra duas populações terrígenas. Uma mais grosseira, em continuidade com a da zona central, e uma mais fina, a qual surge na zona de Melides (figura 4.19.e) e aumenta de expressão até Sines. Nos últimos 8 km ocorrem algumas amostras bimodais (figura 4.19.f).

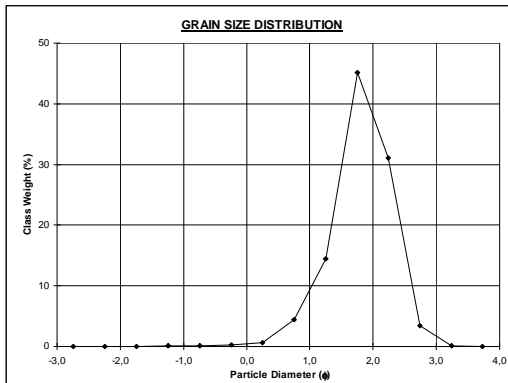
#### 4.4.3. Areias da duna

As areias de duna apresentam quase sempre uma única população terrígena (figura 4.20.a,b,d,e) cuja moda é variável ao longo de todo o troço (entre  $2,5$  e  $0 \phi$ ).

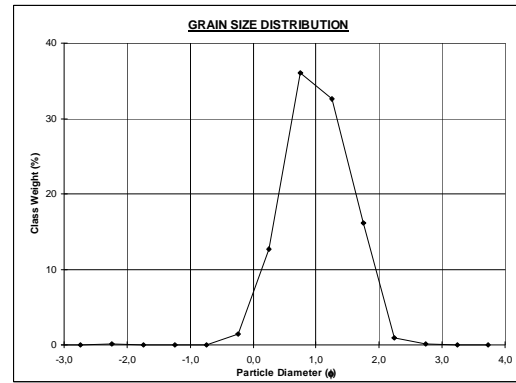
As excepções a esta distribuição unimodal são: no extremo norte da área de estudo, em que ocorre uma amostra bimodal (figura 4.20.c), e no extremo sul, em que as três últimas amostras apresentam duas populações terrígenas (figura 4.20.f). Na península de Tróia aparecem poucos bioclastos e em apenas algumas amostras, não sendo por isso considerados como uma população.

#### 4.4.4. Areias da arriba

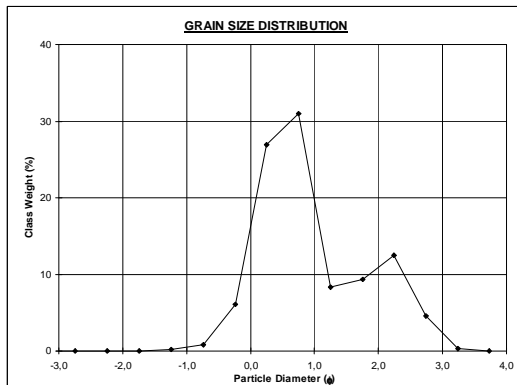
As amostras de arriba apresentam uma grande variabilidade granulométrica dentro da classe textural das areias. As populações constituintes abrangem uma gama de valores que varia entre o cascalho fino ( $-2,25 \phi$ ) e a areia muito fina ( $3,25 \phi$ ). As arribas tanto apresentam amostras unimodais (por exemplo A4 e A24 – figura 4.21.a e b), amostras bimodais (A22 – figura 4.21.c), bem como amostras trimodais (A25 – figura 4.21.d).



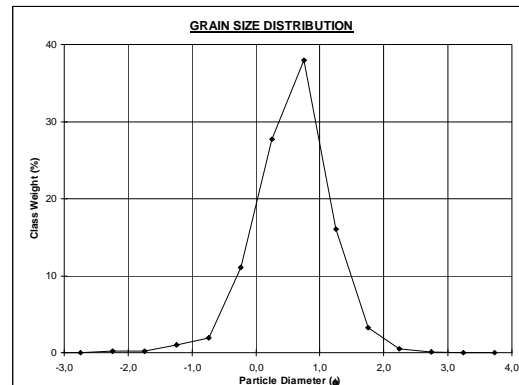
a) P125D (0,2 km - Tróia)



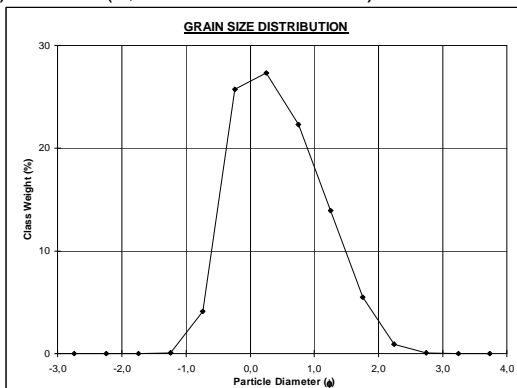
b) P98D (13,8 km - Norte da Comporta)



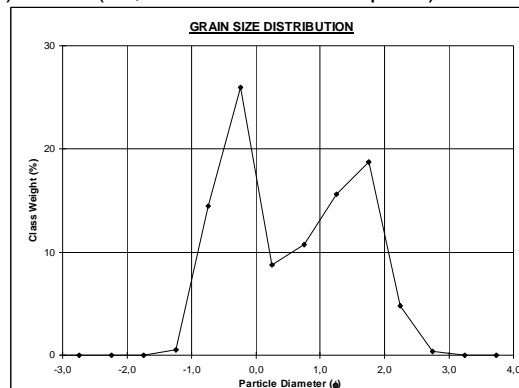
c) P123D (1,2 km - Sul de Tróia)



d) P64D (30,8 km - Praia da Raposa)



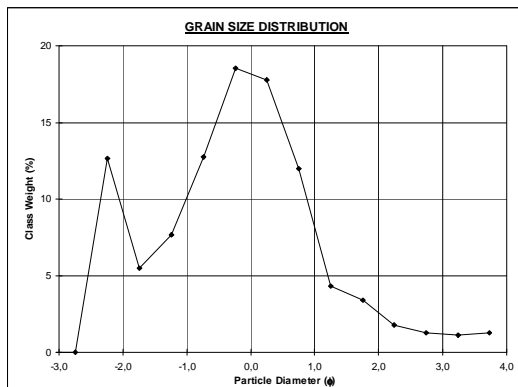
e) P24D (50,7 km - Sul da Lagoa de Santo André)



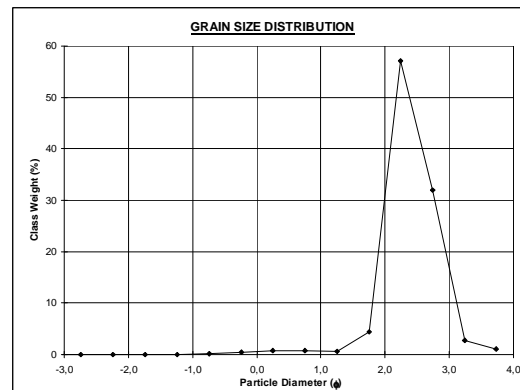
f) P9D (58,3 km - Sul da Lagoa da Sancha)

Figura 4.20 – Curvas de frequência de algumas amostras da duna (obtidas no Gradistat).

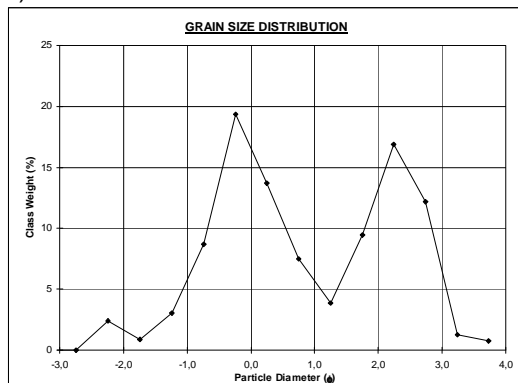




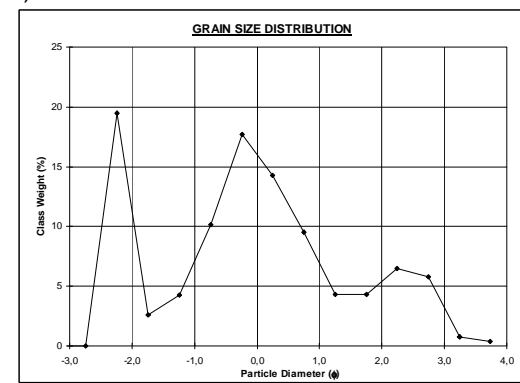
a) A4



b) A24



c) A22



d) A25

Figura 4.21 – Curvas de frequência de algumas amostras de arriba (obtidas no Gradistat).

#### 4.4.5. Variação transversal de populações

Na zona setentrional, a ocorrência de amostras bimodais é comum às três unidades morfológicas estudadas. O mesmo não se passa com a população bioclástica, a qual apenas está presente nas amostras de face de praia e berma, estando sempre presente na zona dos sedimentos grosseiros das curvas de frequências. A principal diferença, verifica-se na área de abrangência em que ocorre a variabilidade do valor da moda, a qual é maior nas amostras de praia do que nas amostras de duna.

Na zona central, todas as unidades morfológicas (face de praia, berma e duna) caracterizam-se por uma única população cuja moda varia entre 0,25 e 0,75  $\phi$ . As amostras de arribas apresentam um espectro granulométrico maior do que as da praia; estas amostras possuem populações cuja moda é mais grosseira e mais fina do que qualquer uma das modas de praia e duna.

Na zona meridional, nas amostras de praia ocorrem sempre duas populações terrígenas; na duna estão presentes duas populações apenas no extremo sul, mais finas do que as correspondentes na praia.

As arribas no extremo sul apresentam várias populações granulométricas, cuja moda mais fina é de 2,25  $\phi$ , a qual é menor que qualquer uma das modas encontradas nas praias ou dunas desta zona.

#### **4.5. Discussão da Análise Textural**

Antes de proceder a qualquer interpretação dos dados obtidos através da análise textural, torna-se necessário discutir a sua validade, nomeadamente da campanha de amostragem.

A campanha de amostragem através da qual estes dados foram obtidos apresenta alguns pontos passíveis de discussão: por um lado, as amostras correspondem apenas aos primeiros 5 milímetros, representando apenas os ciclos mais recentes do processo de deposição; por outro lado, apenas é amostrado um único momento num sistema dinâmico como é o de uma praia.

Aparentemente, esta campanha parece não ser representativa, no entanto, Gama (2005) afirma que é possível verificar a sua representatividade. Esta autora procedeu a uma monitorização mensal (durante 28 meses) de 5 perfis distribuídos pelos 60 km do troço litoral. Ao analisar os parâmetros granulométricos obtidos para cada um dos locais de amostragem verificou que não existiam diferenças significativas.

Deste modo, é possível utilizar os dados obtidos nas interpretações de dinâmica deste troço litoral.

Uma das primeiras observações que podem ser retiradas da análise granulométrica é a sobreposição das variações longitudinais sobre as transversais (tabelas 4.6, 4.8, 4.13 e 4.15).

As primeiras são controladas essencialmente pela variação da energia da ondulação. Esta tem o seu mínimo junto a Tróia aumentando progressivamente para sul à

medida que o efeito de abrigo do cabo Espichel deixa de se fazer sentir (Quevauviller 1987). As segundas são controladas essencialmente pelas fontes locais de sedimentos, tais como as arribas ou as ribeiras litorais. No entanto, é preciso ter em atenção que a amostragem da praia apenas compreende dois pontos por cada perfil, o que pode dificultar a sua detecção.

Ao ampliar a escala de observação é possível verificar que nos sectores meridional e setentrional esta sobreposição perde importância, sendo possível observar um maior número de diferenças significativas entre unidades morfológicas. Especificamente para o sector meridional é provável que as variações longitudinais não se façam sentir, uma vez que o efeito de abrigo terá uma expressão muito reduzida ou mesmo inexistente (figura 4.12).

Outro dos pontos de destaque é a identificação de fontes sedimentares na área de estudo. As arribas são talvez as mais evidentes, tendo sido identificadas por vários autores.

A sua influência no sector central é evidenciada pela observação directa de acentuada erosão sub-aérea testemunhada pela presença de cones de dejectão existentes no contacto com a praia (Gomes 1992). Esta erosão origina taxas de recuo com valores entre 0,1 a 0,2 m/ano apresentando um máximo de 0,5 m/ano na praia da Galé (Marques 2000).

Segundo Gama (2005), o material resultante desta erosão é de elevada compatibilidade granulométrica com a energia do meio. Assim, a acção da ondulação promove a remoção do material fino e a permanência de areias grosseiras e muito grosseiras na praia, mesmo em períodos de temporal (Gama 2005). Nestes períodos, as praias sofrerem remobilizações significativas de areia (83 % de taxa de remoção do perfil de praia emersa), e ao decorrer a recuperação da praia só são depositados os sedimentos que estão em equilíbrio com a dinâmica local.

No sector meridional, a alteração da textura dos sedimentos leva a supor a existência de outra fonte sedimentar. Esta revela-se devido à presença de uma população de areia fina, responsável pela alteração da calibragem, assimetria e curtose e pela

estabilização do diâmetro médio, que de outra forma continuaria a aumentar em direcção a sul.

A população de areia fina começa a revelar-se como um pequeno incremento na cauda das distribuições granulométricas na zona das lagunas, aumentando de expressão em direcção a sul.

Torna-se assim evidente a existência de uma fonte sedimentar capaz de fornecer areia fina à praia em quantidade, de tal forma que a acção da ondulação não é suficiente para remover toda a areia da classe granulométrica em desequilíbrio dinâmico.

Esta fonte terá de estar localizada nos últimos 8 km, onde a população de areia fina tem a sua expressão máxima (detectável a clara bimodalidade das areias – figuras 4.18.f, 4.19.f e 4.20.f), uma vez que o cabo de Sines representa uma barreira no que respeita ao transporte sedimentar litoral (Luz *et al.* 2004, Pombo *et al.* 2004). É nesta zona que se localizam arribas com capacidade de fornecer areia fina à praia e que segundo Gama (2005) apresentam erosão considerável.

Para além das arribas, as ribeiras e as lagunas litorais também podem ser consideradas possíveis fontes sedimentares. Neste sentido, Jesus *et al.* (2005) encontram a assinatura geoquímica da Lagoa de Santo André nos sedimentos finos (<63 µm) das praias adjacentes ao corpo lagunar. Contudo, em termos texturais não existem evidências que levem à sua inclusão como fontes sedimentares. A ausência de contributo sedimentar destas lagunas e ribeiras pode dever-se à rara comunicação destas com o mar, apenas existindo em períodos de chuva intensa ou no caso da Lagoa de Santo André após a abertura artificial anual (Matos 1992).

Também é possível considerar como fonte sedimentar as comunidades de bivalves existentes no sector setentrional. Segundo Andrade & Ferreira (2001) as valvas destes organismos depositam-se na praia em quantidades suficientes para alterar a cor do sedimento. Estes bioclastos são muito abundantes na zona de Tróia (100% nas classes mais grosseiras da distribuição granulométrica) e diminuem de expressão até Comporta. Este facto também é comprovado pelas percentagens de

carbonatos determinados por Gama (2005) que atingem um máximo de 17% no extremo norte e um mínimo de 3% em Comporta.

Esta variação é acompanhada de uma passagem de assimetrias negativas para sedimentos com curvas de distribuição simétricas, o que leva a colocar a hipótese de a população de bioclastos ser uma das causas possíveis da assimetria negativa.

Por último, apesar do rio Sado parecer constituir uma fonte sedimentar, provavelmente não será muito importante uma vez que a quantidade de sedimento transportado pelo rio é reduzida (Vale *et al.* 1993).

Em suma, a partir da análise destas fontes sedimentares é possível verificar que no sector meridional, os sedimentos parecem deslocar-se para norte. No entanto, esta deslocação pode não ser mais do que o resultado da mera redistribuição sedimentar que ocorre de uma forma mais acentuada aquando dos períodos de temporal de sudoeste. Segundo Fernandes (1984), estes temporais provocam neste local uma movimentação apreciável de areias de mais de 200 m<sup>3</sup> por cada metro longitudinal de praia e por evento. Assim, assumir que esta deslocação sedimentar em direcção a norte resulta de uma corrente de deriva litoral permanente parece ser excessivo.

Também é possível verificar que, apesar de a fracção fina (<63 µm) estar presente nos sedimentos de arriba, atingindo em alguns casos mais de 10 %, nas praias adjacentes foi totalmente removida pela acção da energia da ondulação. Contudo, no sector meridional esta acção não é suficiente para a remoção da população de areia fina.

## 5. Minerais Pesados

As expressões 'minerais pesados' ou 'fracção pesada', utilizadas neste trabalho, referem-se a minerais cuja densidade é superior a  $\sim 2,8 \text{ g/cm}^3$ . Consequentemente, a fracção cuja densidade é inferior a este valor designa-se por 'minerais leves' ou 'fracção leve'.

Os minerais pesados encontram-se em rochas ígneas e metamórficas, sendo na maioria dos casos minerais acessórios. Deste modo, são quase sempre pouco abundantes nos sedimentos detríticos, exceptuando-se quando estão muito próximo da fonte, quando se encontram depositados em *placers* ou então quando são minerais mais resistentes a alterações mecânicas e químicas.

O facto de serem minerais pouco abundantes torna o seu estudo importante, uma vez que podem permitir determinar a proveniência do sedimento em que estão incorporados. Deste modo, através da sua identificação podem-se determinar associações mineralógicas, as quais podem representar associações semelhantes presentes na área fonte. Quanto mais longe o depósito estiver da fonte mais estas associações mineralógicas se vão desvanecendo, devido ao desgaste dos minerais menos resistentes.

### 5.1. Avaliação da fracção pesada

Durante o procedimento para obter a fracção pesada das várias amostras, não foi considerada a determinação da percentagem de minerais pesados no total da amostra. Após a percepção da importância de conhecer a sua representatividade, foram utilizadas 12 amostras de berma nas quais se procedeu à pesagem da fracção pesada.

Na tabela 5.1 encontram-se representados os resultados obtidos para a percentagem de peso da fracção de minerais pesados (média, valor máximo, valor mínimo e desvio padrão).

Tabela 5.1 – Percentagem da fracção de minerais pesados em relação ao total de terrígenos.

|            | N  | Média | Mínimo | Máximo | Desvio padrão |
|------------|----|-------|--------|--------|---------------|
| Total      | 21 | 0,67  | 0,05   | 3,54   | 0,98          |
| 1a2 $\phi$ | 12 | 0,17  | 0,05   | 0,64   | 0,17          |
| 2a3 $\phi$ | 9  | 1,34  | 0,21   | 3,54   | 1,22          |

A média da percentagem de peso da fracção pesada é de 0,67 %, o que mostra o quão baixa é a percentagem de minerais pesados nas fracções estudadas. A fracção 1 a 2  $\phi$  apresenta uma média inferior (0,17 %) à da fracção 2 a 3  $\phi$  (1,34 %).

A percentagem de peso de minerais pesados da fracção 2 a 3  $\phi$  não inclui as amostras P52, P42 e P32 (entre os 36,7 e os 46,8 km) porque a fracção total é extremamente reduzida não sendo possível a sua separação e quantificação.

Na figura 5.1, encontra-se representada a variação longitudinal da percentagem de peso da fracção pesada para a areia média (1 a 2  $\phi$ ) e para a areia fina (2 a 3  $\phi$ ).

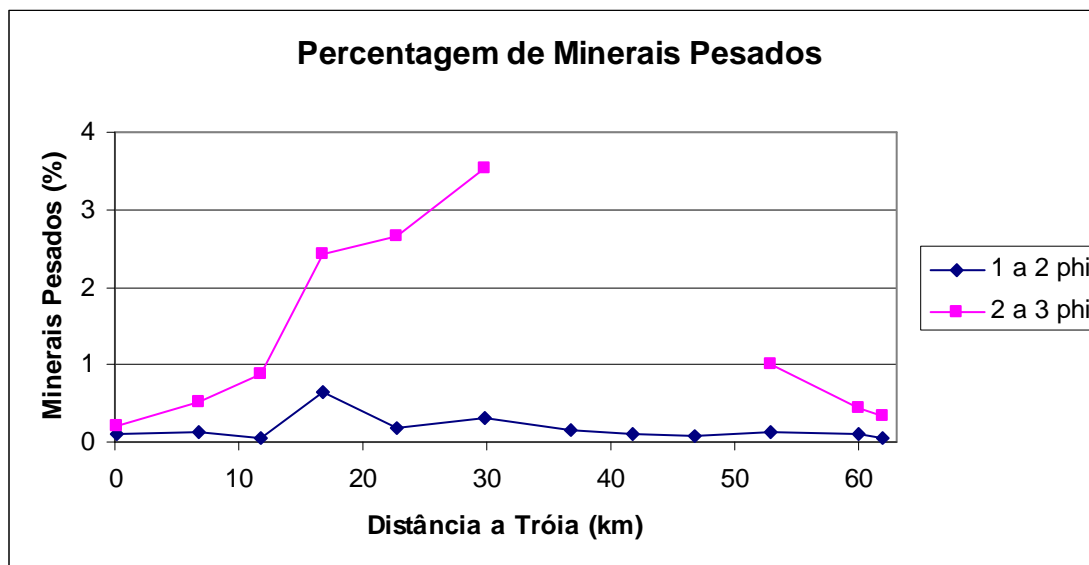


Figura 5.1 – Variação longitudinal da percentagem de peso da fracção pesada.

A percentagem de peso de minerais pesados da fracção 1 a 2  $\phi$  varia uniformemente ao longo do troço litoral. A percentagem para a fracção 2 a 3  $\phi$ , parece aumentar na zona central do troço litoral, no entanto é necessário ter em atenção que nesta

fracção existem menos três amostras, o que aliado ao facto de existirem poucas amostras torna difícil a interpretação destes valores.

## 5.2. Espécies de minerais pesados

Foram identificadas e contadas 16 espécies transparentes de minerais pesados, para além de minerais opacos, alterados (alterites) e não identificados (tabela 5.2).

Tabela 5.2 – Caracterização geral dos minerais pesados (%). DP – Desvio padrão. N<sup>o</sup> total = 108

|                   | Média | Mínimo | Máximo | DP    |
|-------------------|-------|--------|--------|-------|
| Opacos            | 19,18 | 0,00   | 75,00  | 12,69 |
| Alterites         | 11,45 | 0,00   | 30,33  | 6,10  |
| Não Identificados | 1,53  | 0,00   | 7,33   | 1,28  |
| Turmalina         | 24,80 | 0,00   | 55,33  | 14,09 |
| Estaurolite       | 3,25  | 0,00   | 15,67  | 3,28  |
| Andaluzite        | 8,72  | 0,00   | 25,33  | 5,00  |
| Silimanite        | 1,30  | 0,00   | 8,00   | 1,22  |
| Distena           | 0,51  | 0,00   | 3,33   | 0,57  |
| Biotite           | 6,77  | 0,00   | 35,67  | 7,27  |
| Moscovite         | 16,31 | 0,00   | 91,00  | 19,68 |
| Anfíbola          | 3,69  | 0,00   | 48,33  | 6,09  |
| Piroxena          | 1,62  | 0,00   | 21,33  | 2,96  |
| Epídoto           | 0,16  | 0,00   | 1,82   | 0,28  |
| Rútilo            | 0,07  | 0,00   | 0,67   | 0,18  |
| Apatite           | 0,34  | 0,00   | 3,33   | 0,61  |
| Zircão            | 0,08  | 0,00   | 0,94   | 0,18  |
| Broquite          | 0,02  | 0,00   | 1,00   | 0,11  |
| Granada           | 0,15  | 0,00   | 1,33   | 0,28  |
| Olivina           | 0,03  | 0,00   | 0,67   | 0,10  |

As principais espécies de minerais pesados transparentes são: turmalina (tur), estaurolite (est), andaluzite (and), silimanite (sil), distena (dis), biotite (bio), moscovite (mos), anfíbola (anf) e piroxena (px).

Para além destas, foram identificadas mais 7 espécies minerais: epídoto, rútilo, apatite, zircão, broquite, granada e olivina. Estas não foram consideradas para este estudo, devido à sua baixa representatividade (percentagem de ocorrência inferior a 0,5 %), o que iria constituir um obstáculo à interpretação da informação das principais espécies minerais.

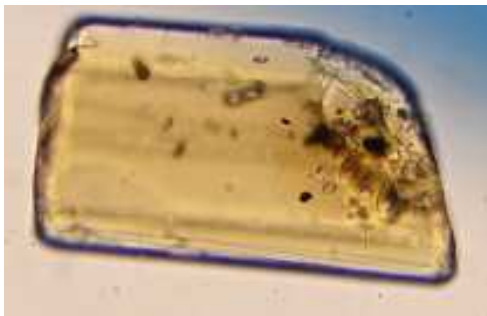


Os minerais opacos e alterados também foram contados, apresentando uma grande representatividade (~31 %).

Os minerais com uma maior variabilidade de ocorrência são a moscovite e a turmalina, com um desvio padrão de ~19,7 e ~14,1 %, respectivamente. Para cada mineral existe pelo menos uma observação em que não foi detectado, pertencendo a ocorrência máxima à moscovite com 91,0 %.

### 5.2.1. Turmalina

Os grãos de turmalina apresentam, ao microscópio óptico de luz polarizada, um acentuado pleocroísmo, variando essencialmente entre o castanho escuro e o incolor (figura 5.2).



a) P80B 2 a 3  $\phi$



b) P80B 2 a 3  $\phi$



c) P114P 2 a 3  $\phi$



d) P114P 2 a 3  $\phi$

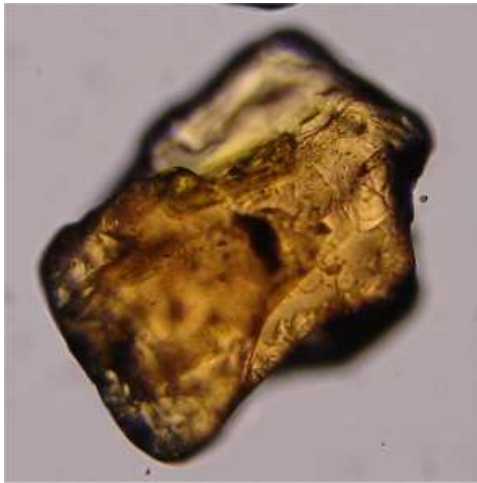
Figura 5.2 – Turmalinas: a) e b) Visível o pleocroísmo no mesmo grão – forma prismática; c) Grão prismático com os bordos arredondados; d) Grão com variação de cor (azul e castanha).

Por vezes, a cor da turmalina é tão escura que poderá ser confundida com um mineral opaco, mas ao introduzir o compensador a cor revela-se nos bordos do grão. Em casos mais raros, o pleocroísmo varia entre o azul escuro ou cinzento e o incolor. A forma varia desde grãos quase prismáticos a grãos que se apresentam bastante arredondados, sendo por vezes esféricos. Para além destas características, a extinção recta, o carácter uniaxial, o relevo relativamente elevado e a birrefringência média permitiram a sua fácil identificação.

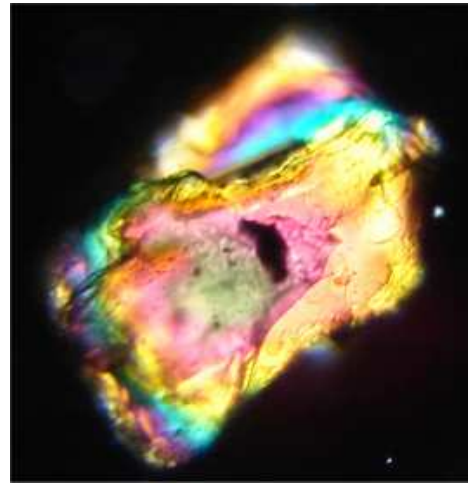
#### 5.2.2. Estaurolite

As estaurolites observadas apresentam um pleocroísmo que varia de incolor a amarelo dourado / acastanhado. Os grãos possuem formas prismáticas com os bordos arredondados a formas quase redondas. As cores de polarização apresentam um bandeado muito característico, atingindo a segunda e terceira ordem (figura 5.3). Foram encontrados desde grãos quase prismáticos, geralmente com os bordos arredondados, a grãos quase redondos.

Estas características juntamente com a extinção recta, relevo elevado e figuras biaxiais permitiram a identificação deste mineral.



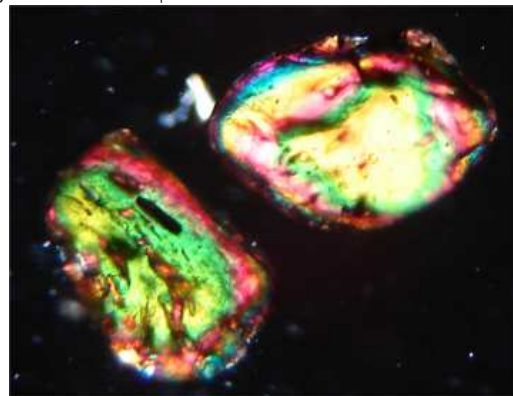
a) P66B 2 a 3  $\phi$



b) P66B 2 a 3  $\phi$



c) 114P 2 a 3  $\phi$



d) 114P 2 a 3  $\phi$

Figura 5.3 – Estaurolites: a) e c) em nicóis paralelos; b) e d) em nicóis cruzados.

### 5.2.3. Andaluzite

A andaluzite encontra-se em geral sob a forma de grãos quase esféricos, podendo também ocorrer mais raramente sob a forma de grãos prismáticos arredondados nos bordos (figura 5.4). Os grãos apresentam com frequência pleocroísmo muito característico, cujas cores variam entre o incolor e os tons de rosa (figuras 5.4.a e b). Quando é possível observar, o alongamento é negativo e a extinção recta. Em alguns grãos surgem inclusões negras dispersas ou acumuladas sob a forma de cruz - quiastolite (figura 5.4.d).

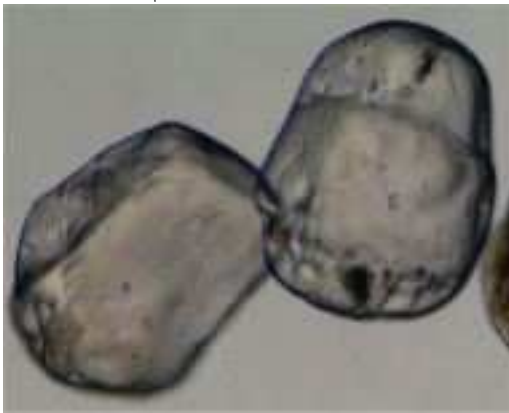
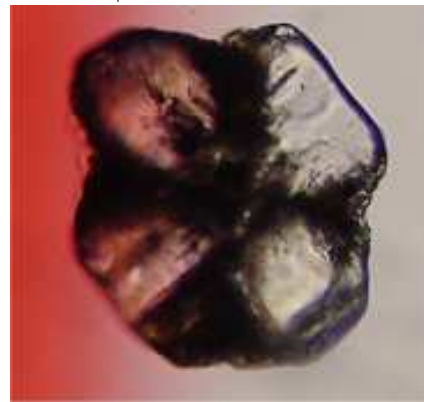
a) P80B 2 a 3  $\phi$ b) P80B 2 a 3  $\phi$ c) P84P 1 a 2  $\phi$ d) P34P 1 a 2  $\phi$ 

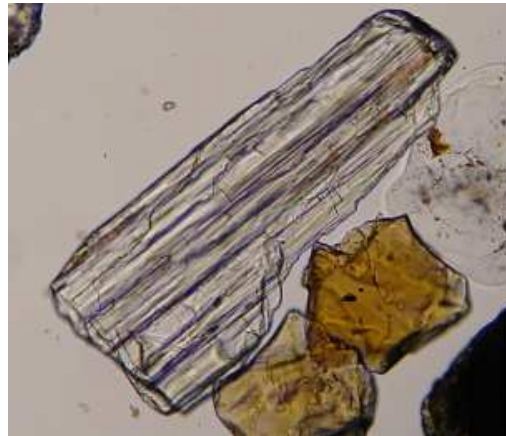
Figura 5.4 – Andaluzites: a) e b) andaluzite prismática e com forte pleocroísmo; c) andaluzites com algum grau de arredondamento; d) variedade de andaluzite – quiasolite.

#### 5.2.4. Silimanite

A silimanite ocorre nestas amostras geralmente sob a forma de longos cristais prismáticos (figura 5.5), sempre incolores, apresentando com frequência aspecto estriado (visível na figura 5.5.b). Em nicóis cruzados mostram cores de polarização de baixa ordem, extinção recta e alongamento positivo.



a) P80B 2 a 3  $\phi$



b) P124P 2 a 3  $\phi$

Figura 5.5 – Silimanites.

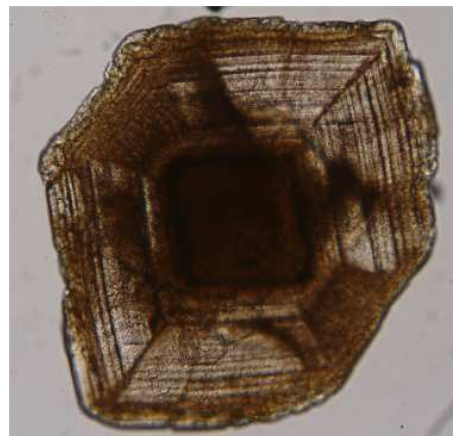
### 5.2.5. Distena

De uma forma geral, os grãos de distena presentes nos sedimentos estudados são incolores, podendo no entanto possuir tons de azul. Neste último caso, apresentam pleocroísmo a variar entre o incolor a ligeiramente azulado.

O ângulo de extinção é de cerca de  $30^\circ$ , apresenta relevo elevado e alongamento positivo. Para além disso, uma das principais características identificativas é a presença de planos de clivagem perpendiculares normalmente bem visíveis à superfície, que podem limitar a forma do grão (figura 5.6). Nos grãos muito rolados, é o reconhecimento destas clivagens que possibilita a sua identificação.



a) P124P 2 a 3  $\phi$

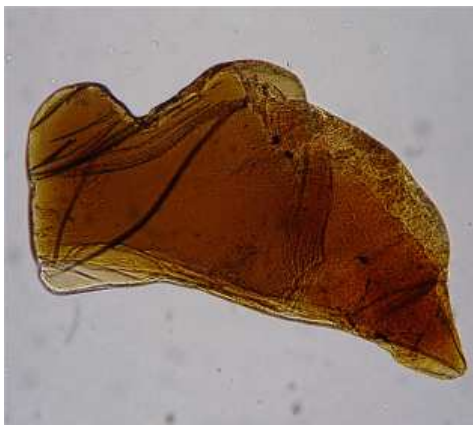


b) A8 1 a 2  $\phi$

Figura 5.6 – Distena: são visíveis as duas direcções de clivagem perpendiculares entre si.

### 5.2.6. Biotite

As biotites apresentam-se sob a forma lamelar, o que associado à sua cor castanha ou castanha amarelada permitiu uma fácil identificação (figura 5.7). Nas espécies mais escuras e espessas pode confundir-se com outros minerais tais como a turmalina. Nestes casos a sua identificação foi possível através da figura de interferência muito característica: biaxial negativa com um pequeno ângulo  $2v$ .



a) A28 2 a 3  $\phi$



b) P124P 2 a 3  $\phi$

Figura 5.7 – Biotite: em ambas as imagens é visível o aspecto lamelar.

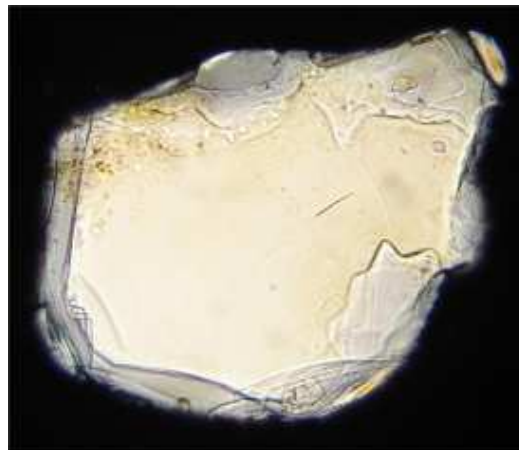
### 5.2.7. Moscovite

A moscovite apresenta-se com forma lamelar e incolor (figura 5.8). A figura de interferência é biaxial negativa apresentando um ângulo  $2v$  maior que o da biotite. Em algumas lâminas, os minerais de moscovite apresentaram-se pouco espessos sendo difícil distingui-los em nicóis paralelos. Contudo, como a moscovite apresenta cores de polarização de primeira ordem (geralmente cinzento claro) foi fácil a sua identificação e contagem.





a) P124P 2 a 3  $\phi$



b) P124P 2 a 3  $\phi$

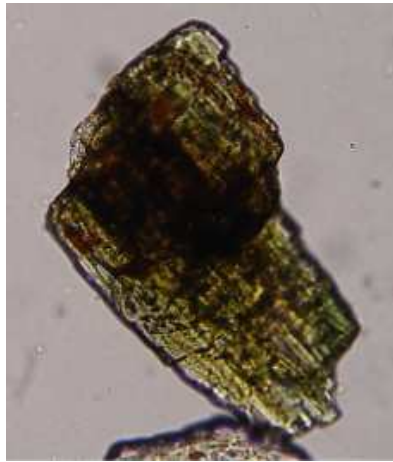
Figura 5.8 – Moscovite: visível o aspecto lamelar em ambas as imagens.

#### 5.2.8. Grupo das anfíbolas

As anfíbolas encontradas nas lâminas estudadas (anfíbolas verdes e castanhas) apresentam aspecto prismático característico. Nas espécies de anfíbola verde são facilmente visíveis as clivagens, enquanto que nas espécies de anfíbola castanha é em geral visível o aspecto tabular (figura 5.9). Ambas as anfíbolas mostram um aspecto característico de recortado nos bordos perpendiculares às direcções de clivagem. Para além destas características, quando visível, as anfíbolas apresentam um ângulo de extinção pequeno, entre 7 e 22°. Dentro destes ângulos as anfíbolas verdes tendem a exibir os valores mais baixos (7 a 16°) e a castanhas os mais altos (16 a 22°). Em ambas variedades a cor de polarização não passa da segunda ordem.

#### 5.2.9. Grupo das piroxenas

As piroxenas mostram-se incolores, com aspecto um pouco 'sujo', apresentando algumas vezes inclusões castanhas (figura 5.10). A forma varia desde grãos prismáticos a elípticos, sendo possível encontrar em alguns deles bordos recortados. As cores de polarização atingem com frequência a 3ª e a 4ª ordem. A extinção é recta nas ortopiroxenas ou oblíqua nas clinopiroxenas (geralmente acima de 40°). Por vezes a piroxena surge associada à anfíbola constituindo grãos poliminerálicos.

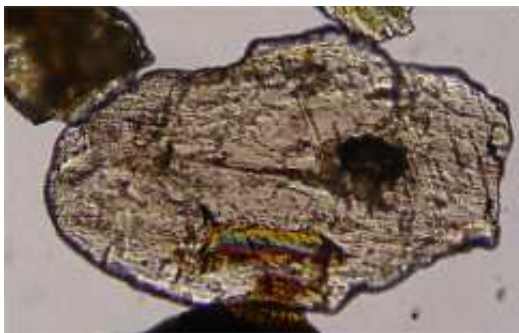


a) A28 2 a 3 φ

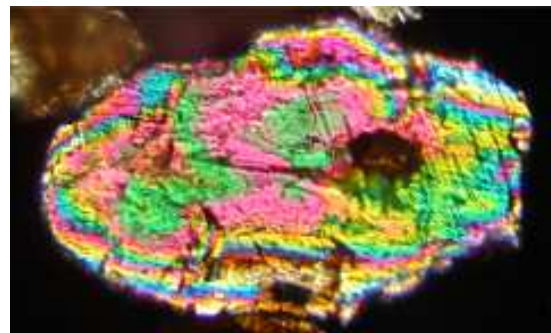


b) A28 2 a 3 φ

Figura 5.9 – Anfíbolos: a) anfíbola verde; b) anfíbola castanha.



a) A28 2 a 3 φ



b) A28 2 a 3 φ

Figura 5.10 – Piroxena: a) nicóis paralelos; b) nicóis cruzados.

### 5.3. Estatística descritiva univariada

Neste ponto são apresentados os resultados da contagem dos minerais pesados transparentes, cuja percentagem de ocorrência média é superior a 0,5 %. Os valores obtidos na contagem foram recalculados, considerando a percentagem de cada mineral relativamente ao número total de minerais (9 minerais) (tabela 5.3).

Como se pode observar, a turmalina é o mineral mais abundante, representando ~38 % das ocorrências. A moscovite constitui ~23 % dos minerais e a andaluzite ~14 %. Os restantes minerais apresentam percentagens inferiores a 10 %. Os minerais que mostram maior variabilidade são a moscovite e a turmalina (24 e 20 %,



respectivamente). Os parâmetros estatísticos foram recalculados para cada uma das duas fracções analisadas (figura 5.11 e tabelas A1.3 e A1.4 do anexo 1). É possível verificar que a fracção 1 a 2  $\phi$  apresenta, em relação à fracção 2 a 3  $\phi$ , uma percentagem de turmalina e de moscovite superior e de andaluzite inferior (diferenças superiores a 5 %).

Tabela 5.3 – Percentagem relativa dos minerais pesados (todas as amostras). DP - Desvio padrão. N<sup>o</sup> total de amostras = 108.

|             | Média | Máximo | DP    |
|-------------|-------|--------|-------|
| Turmalina   | 38,15 | 73,68  | 20,21 |
| Estaurolite | 5,19  | 22,93  | 5,25  |
| Andaluzite  | 13,70 | 37,44  | 8,04  |
| Silimanite  | 2,03  | 12,77  | 1,99  |
| Distena     | 0,81  | 5,32   | 0,90  |
| Biotite     | 9,63  | 43,30  | 9,48  |
| Moscovite   | 22,80 | 91,00  | 23,94 |
| Anfíbolos   | 5,37  | 55,56  | 7,53  |
| Piroxenas   | 2,31  | 27,23  | 3,72  |

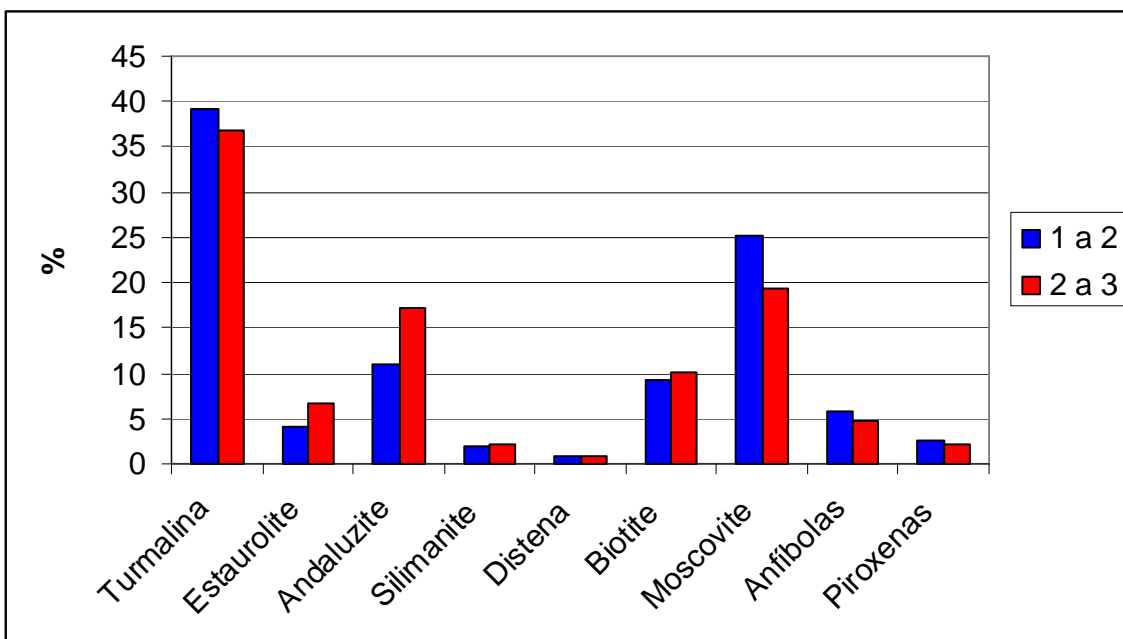


Figura 5.11 – Percentagem relativa dos minerais pesados nas duas fracções estudadas: 1 a 2  $\phi$  (azul) e 2 a 3  $\phi$  (vermelho).

Ao comparar as percentagens de minerais pesados presentes nas diferentes unidades morfológicas (figura 5.12 e tabelas A1.5, A1.6 e A1.7 do anexo1) verifica-se que não existem diferenças entre a face de praia e a berma. Pelo contrário, entre as arribas e a praia existem diferenças consideráveis. As arribas apresentam percentagens de turmalina e andaluzite inferior às encontradas na praia (diferença de médias de pelo menos 20 e 8 %, respectivamente) e uma percentagem de moscovite superior (diferença de médias de pelo menos 35 %). Na tabela 5.4 é possível observar que existe uma heterogeneidade entre arribas, no entanto algumas delas apresentam composições semelhantes.

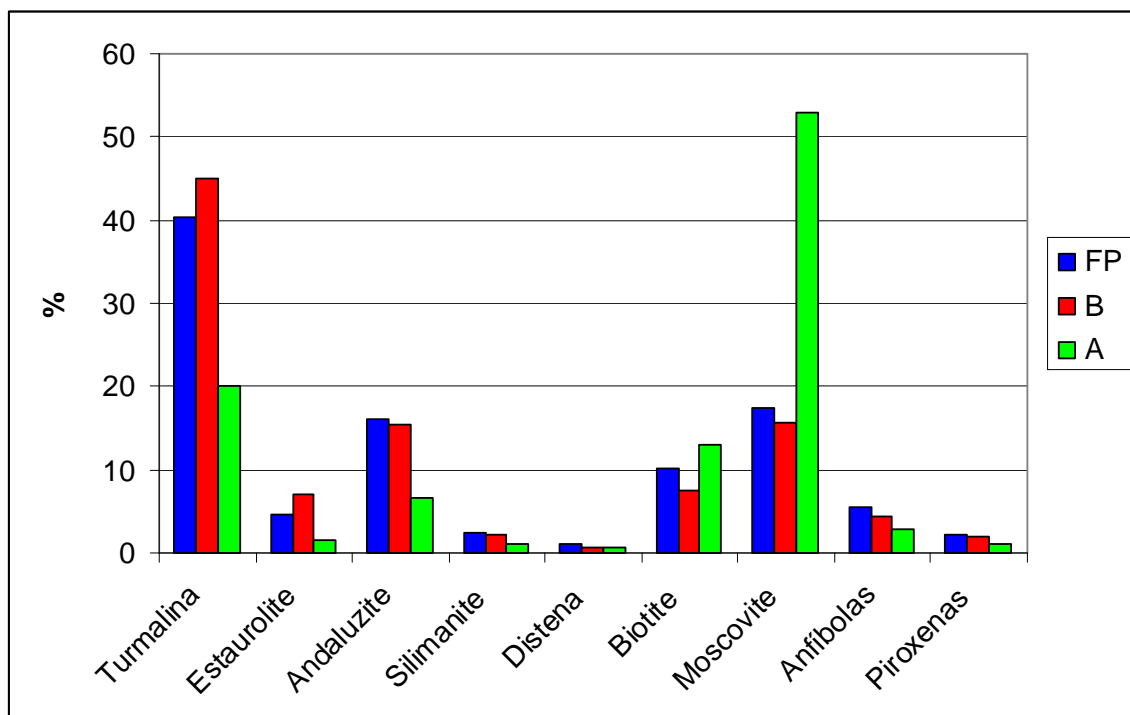


Figura 5.12 – Percentagem relativa dos minerais pesados nas três unidades morfológicas: FP – Face de praia; B – Berma; A – Arriba.

Como pode ser observado, apenas existem cinco minerais pesados principais presentes na amostra A28. As anfíbolos são os minerais maioritários, correspondendo a 51 %, mas as piroxenas e a biotite também se destacam, respectivamente, com 25 e 23 % de ocorrência.

Tabela 5.4 – Percentagem relativa dos minerais pesados para todas as amostras da segunda campanha de amostragem. Os valores de cada amostra referem-se à média dos valores das duas fracções estudadas.

| Mineral     | A4   | A5   | A6   | A7   | A8   | A19  | A20  | A22  | A24  | A25  | A28  |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Turmalina   | 39,5 | 34,5 | 14,9 | 17,4 | 8,4  | 38,3 | 0,3  | 14,0 | 3,1  | 30,7 | 0,6  |
| Estaurolite | 4,3  | 4,1  | 0,9  | 0,8  | 0,4  | 2,5  | 0,0  | 0,4  | 0,0  | 2,6  | 0,0  |
| Andaluzite  | 10,7 | 11,2 | 4,5  | 5,2  | 1,9  | 15,4 | 0,5  | 6,7  | 0,8  | 10,3 | 0,0  |
| Silimanite  | 2,4  | 1,9  | 0,6  | 0,7  | 0,2  | 2,8  | 0,2  | 1,6  | 0,0  | 1,5  | 0,0  |
| Distena     | 0,5  | 1,0  | 0,0  | 0,9  | 1,7  | 0,8  | 0,0  | 0,8  | 0,0  | 0,5  | 0,0  |
| Biotite     | 6,1  | 17,3 | 15,3 | 9,1  | 14,5 | 0,7  | 8,9  | 17,0 | 34,5 | 6,8  | 22,8 |
| Moscovite   | 27,3 | 23,4 | 60,4 | 61,3 | 66,7 | 38,0 | 89,9 | 57,6 | 61,0 | 43,6 | 0,6  |
| Anfíbolos   | 6,5  | 3,8  | 2,9  | 4,1  | 4,1  | 1,2  | 0,0  | 1,0  | 0,4  | 3,8  | 51,0 |
| Piroxenas   | 2,6  | 2,8  | 0,5  | 0,6  | 2,1  | 0,4  | 0,2  | 0,8  | 0,2  | 0,3  | 25,1 |

#### 5.4. Variação longitudinal

Para cada um dos sectores antes definidos, aquando da análise textural (capítulo 4), foram calculados os parâmetros da estatística descritiva univariada. Na tabela 5.5, estão representados os valores médios, em percentagem, de ocorrência de cada mineral por sector.

Tabela 5.5 – Percentagem relativa média de ocorrência dos minerais pesados por sector. S – Setentrional; C – Central; M – Meridional.

|             | S     | C     | M     |
|-------------|-------|-------|-------|
| Turmalina   | 45,04 | 53,83 | 33,53 |
| Estaurolite | 5,34  | 9,94  | 3,64  |
| Andaluzite  | 17,38 | 16,32 | 13,95 |
| Silimanite  | 2,11  | 3,12  | 1,71  |
| Distena     | 0,68  | 1,22  | 0,72  |
| Biotite     | 7,91  | 4,24  | 12,39 |
| Moscovite   | 16,07 | 7,58  | 23,47 |
| Anfíbolos   | 4,02  | 2,97  | 7,07  |
| Piroxenas   | 1,45  | 0,78  | 3,51  |

Existem algumas diferenças entre sectores. A percentagem de turmalina, estaurolite e silimanite é maior no sector central e menor no meridional. Pelo contrário, a biotite, moscovite, anfíbola e piroxena é mais abundante no sector meridional e menos abundante no sector central.

Ao visualizar a variação longitudinal da turmalina (figura 5.13), é possível verificar que as fracções, para as amostras da praia, são ligeiramente diferentes. A fracção

1 a 2  $\phi$  apresenta os valores mais baixos nos sectores setentrional e meridional e os valores mais elevados no sector central. A fracção 2 a 3  $\phi$  apresenta esta mesma tendência mas de uma forma menos distinta. Os valores mais elevados são encontrados na fracção 1 a 2  $\phi$  no sector central.

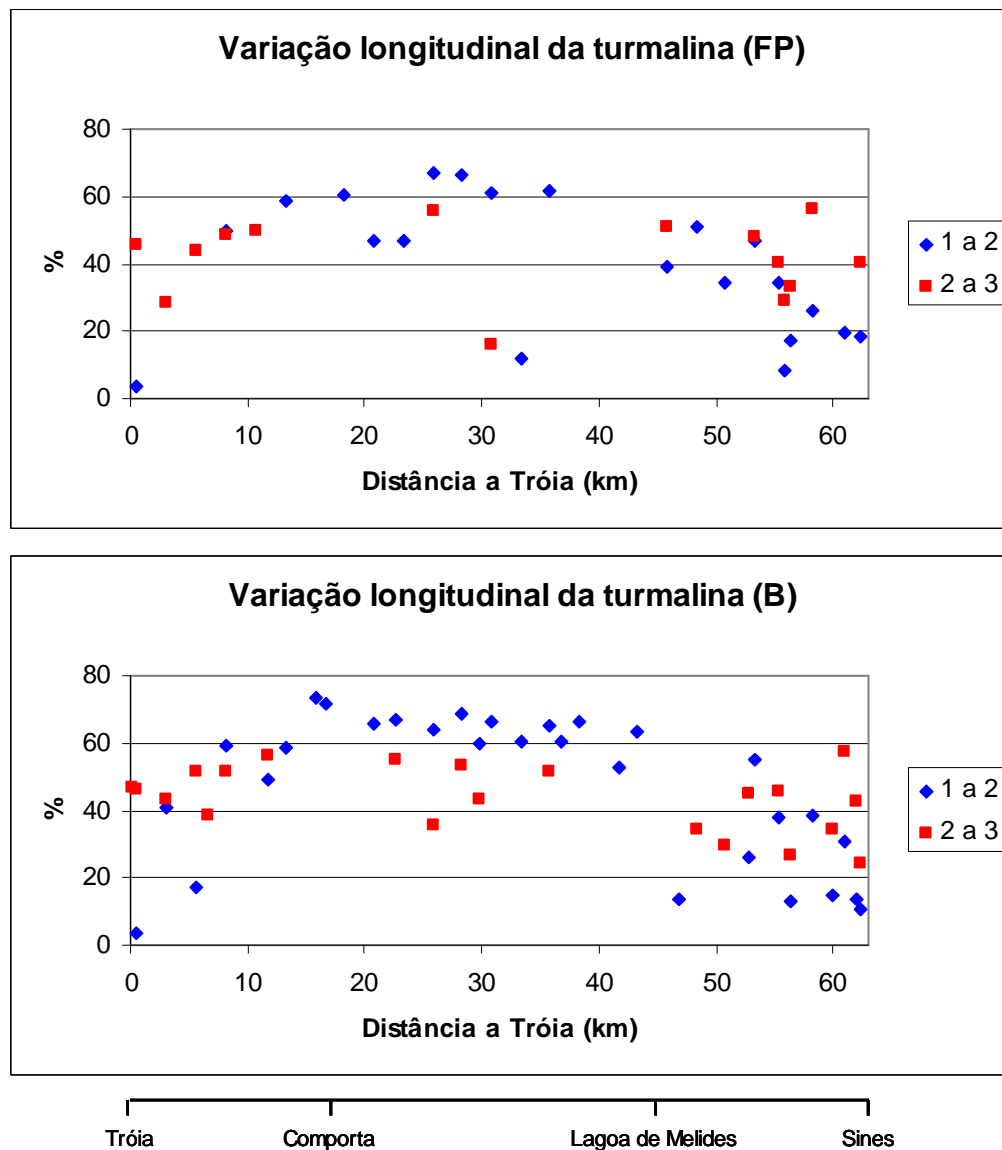


Figura 5.13 – Varição longitudinal da turmalina. FP – Face de praia; B – Berma. A azul estão assinaladas as percentagens da fracção 1 a 2  $\phi$  e a vermelho da fracção 2 a 3  $\phi$ .

A variação longitudinal da estauroлите é diferente entre a face de praia e a berma (figura 5.14). Na face de praia não se observa nenhuma alteração das percentagens ao longo do trecho litoral. No entanto, na berma, as percentagens são mais elevadas no sector central. De uma forma geral, a fracção 2 a 3  $\phi$  mostra percentagens superiores à fracção 1 a 2  $\phi$ .

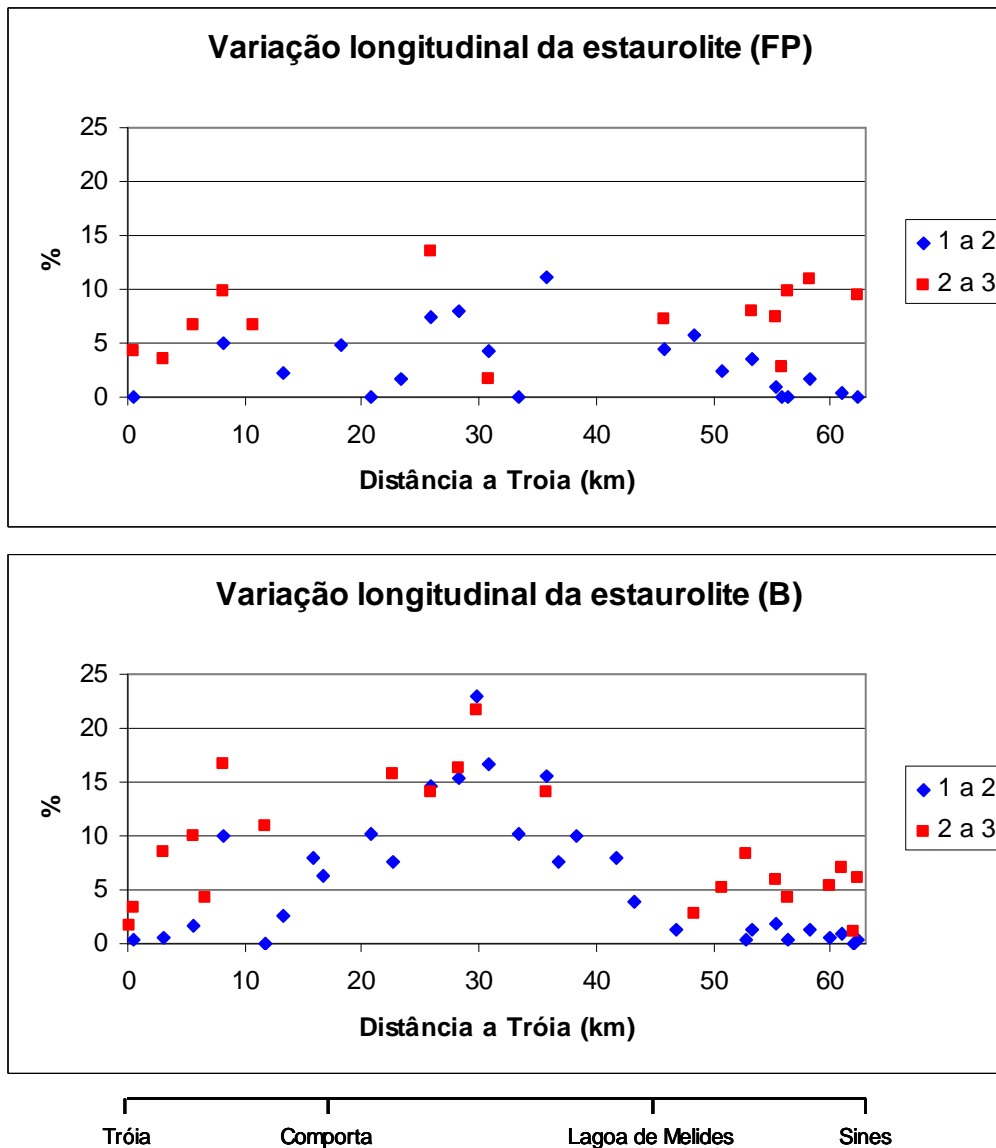


Figura 5.14 – Variação longitudinal da estauroлите. FP – Face de praia; B – Berma. A azul estão assinaladas as percentagens da fracção 1 a 2  $\phi$  e a vermelho da fracção 2 a 3  $\phi$ .

A andaluzite apresenta percentagens ligeiramente mais baixas no sector sul do que nos restantes sectores (figura 5.15), sendo a variação longitudinal similar entre amostras de face de praia e de berma. A fracção 2 a 3  $\phi$  apresenta, de uma forma geral, valores mais elevados do que a fracção 1 a 2  $\phi$ .

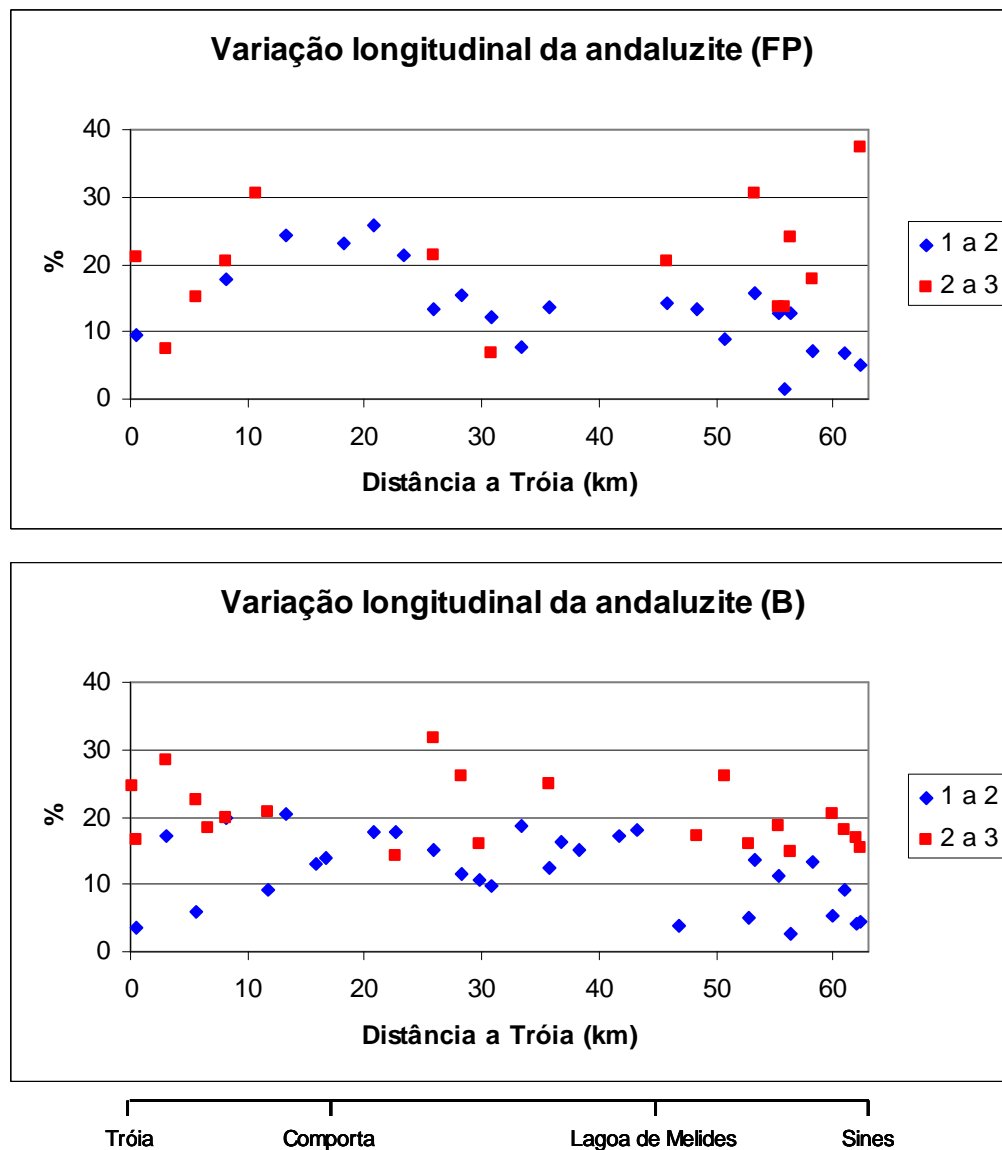


Figura 5.15 – Variação longitudinal da andaluzite. FP – Face de praia; B – Berma. A azul estão assinaladas as percentagens da fracção 1 a 2  $\phi$  e a vermelho da fracção 2 a 3  $\phi$ .

A silimanite ocorre em maior percentagem no sector central e em menor no sector meridional. As duas fracções parecem apresentar um comportamento longitudinal semelhante (figura 5.16).

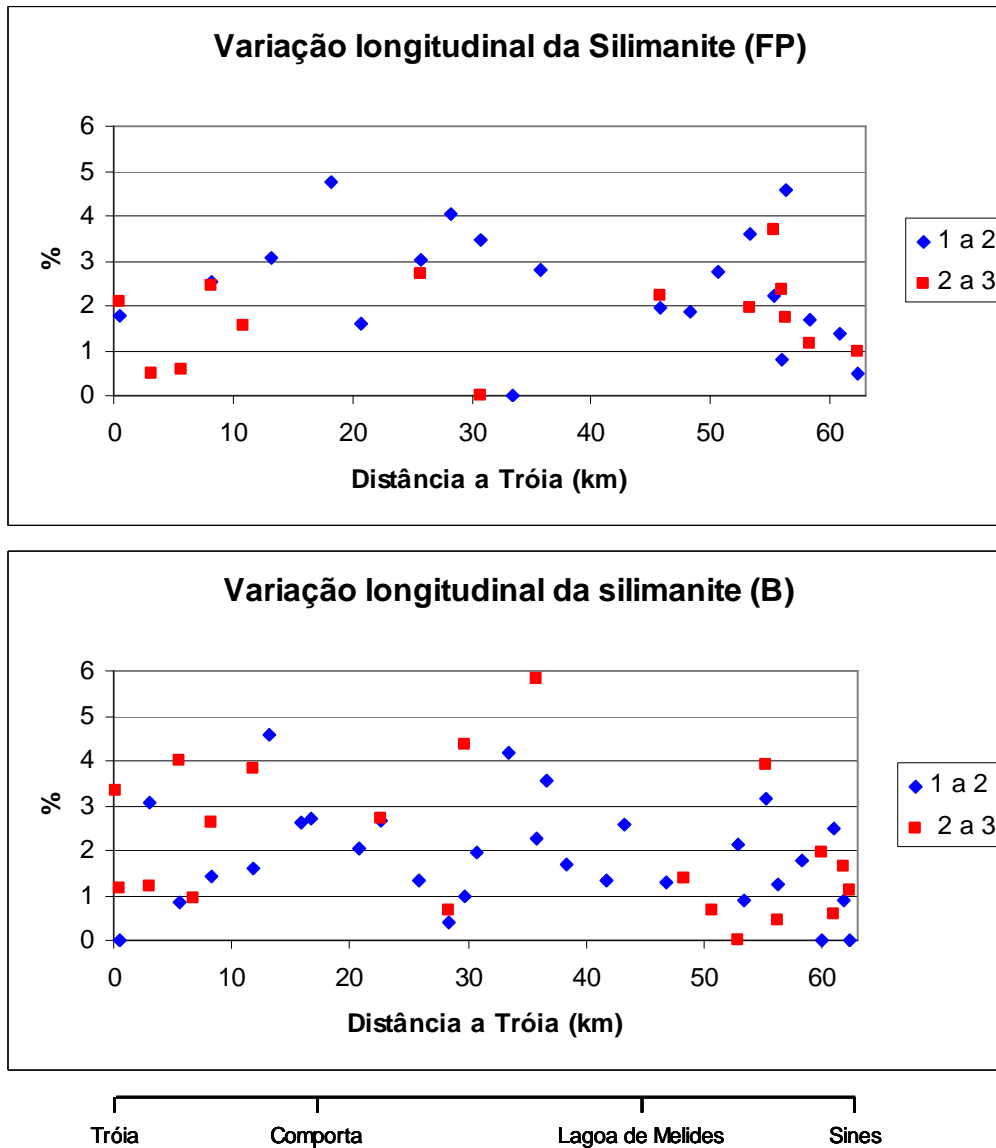


Figura 5.16 – Variação longitudinal da silimanite. FP – Face de praia; B – Berma. A azul estão assinaladas as percentagens da fracção 1 a 2  $\phi$  e a vermelho da fracção 2 a 3  $\phi$ .

A variação longitudinal da distena é bastante uniforme, especialmente na berma (figura 5.17). Não parecem existir diferenças longitudinais das duas fracções

estudadas. É de destacar a existência de diversas amostras em que não foram encontradas distenas. Estas amostras localizam-se especialmente no sector meridional e são da fracção 1 a 2  $\phi$ .

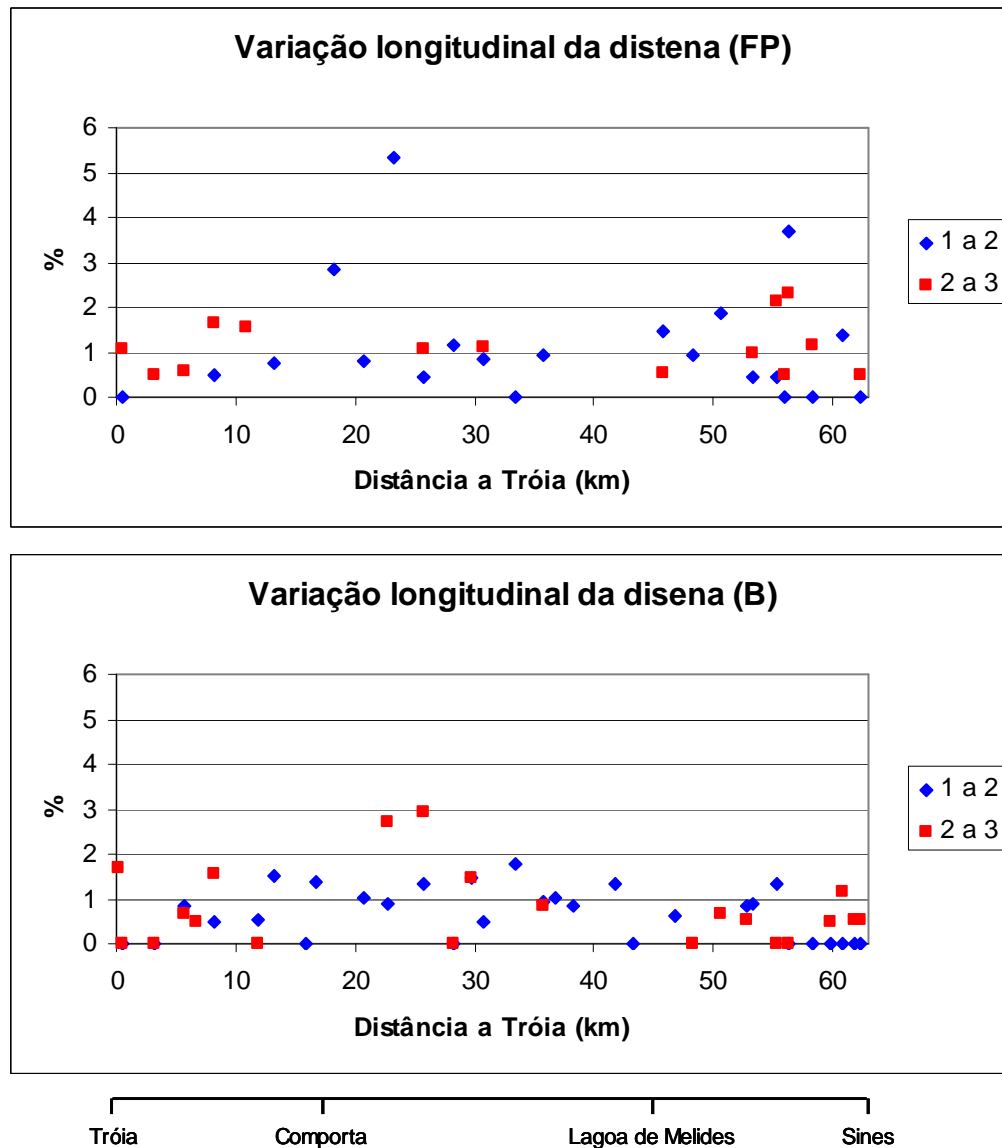


Figura 5.17 – Varição longitudinal da distena. FP – Face de praia; B – Berma. A azul estão assinaladas as percentagens da fracção 1 a 2  $\phi$  e a vermelho da fracção 2 a 3  $\phi$ .

As percentagens de biotite são reduzidas no sector central, aumentando para norte e para sul (figura 5.18). A norte aumenta a partir dos 12 km em direcção a Tróia e, a



sul, a partir dos 40 km em direcção a Sines. No sector central, especialmente na fracção 1 a 2  $\phi$ , existem várias amostras que não apresentam biotite.

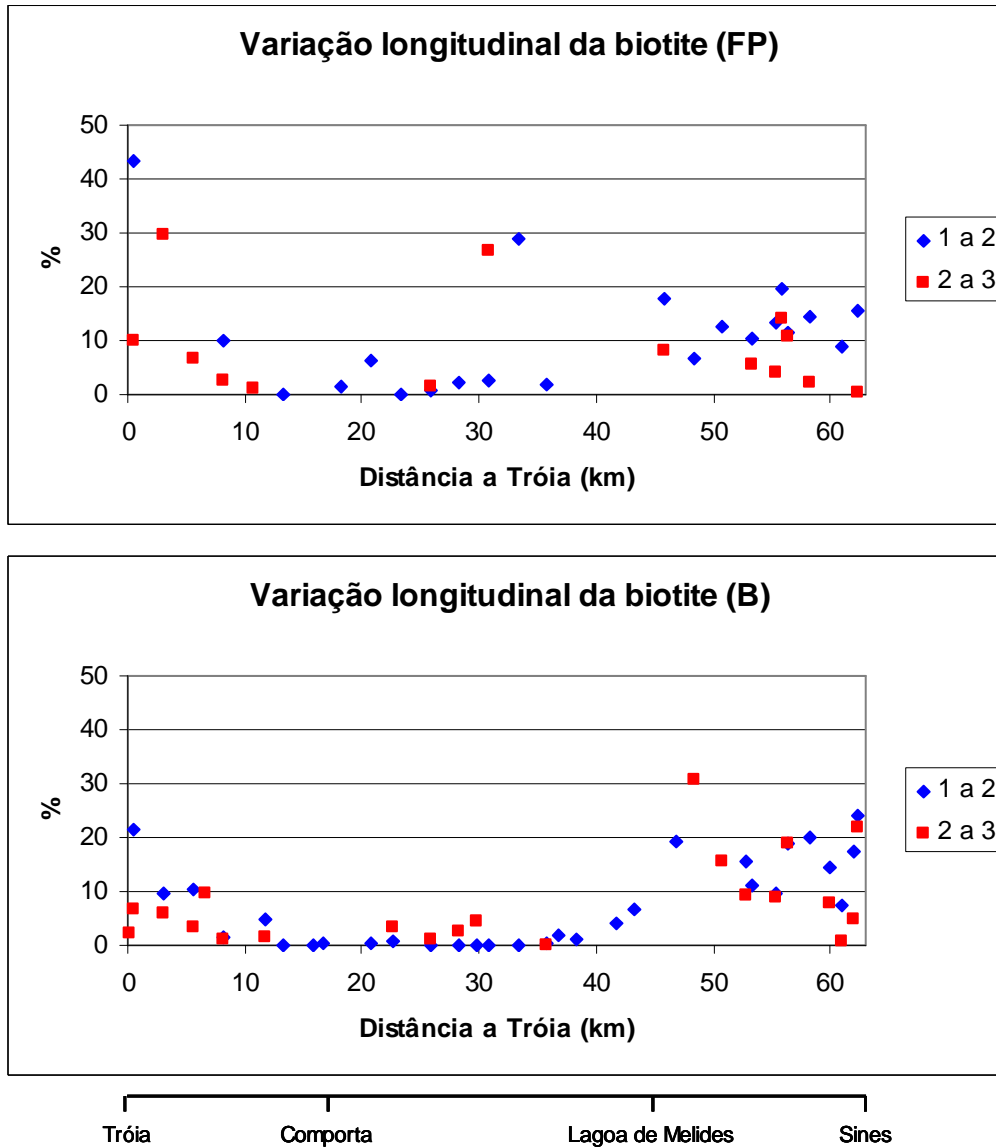


Figura 5.18 – Variação longitudinal da biotite. FP – Face de praia; B – Berma. A azul estão assinaladas as percentagens da fracção 1 a 2  $\phi$  e a vermelho da fracção 2 a 3  $\phi$ .

Tal como a biotite, a moscovite apresenta percentagens reduzidas ou nulas, para as amostras de berma, no sector central (figura 5.19), chegando a atingir os 60 % a norte e a sul da zona de estudo. É também visível que a moscovite existe em maior percentagem na fracção 1 a 2  $\phi$  do que na fracção 2 a 3  $\phi$ .

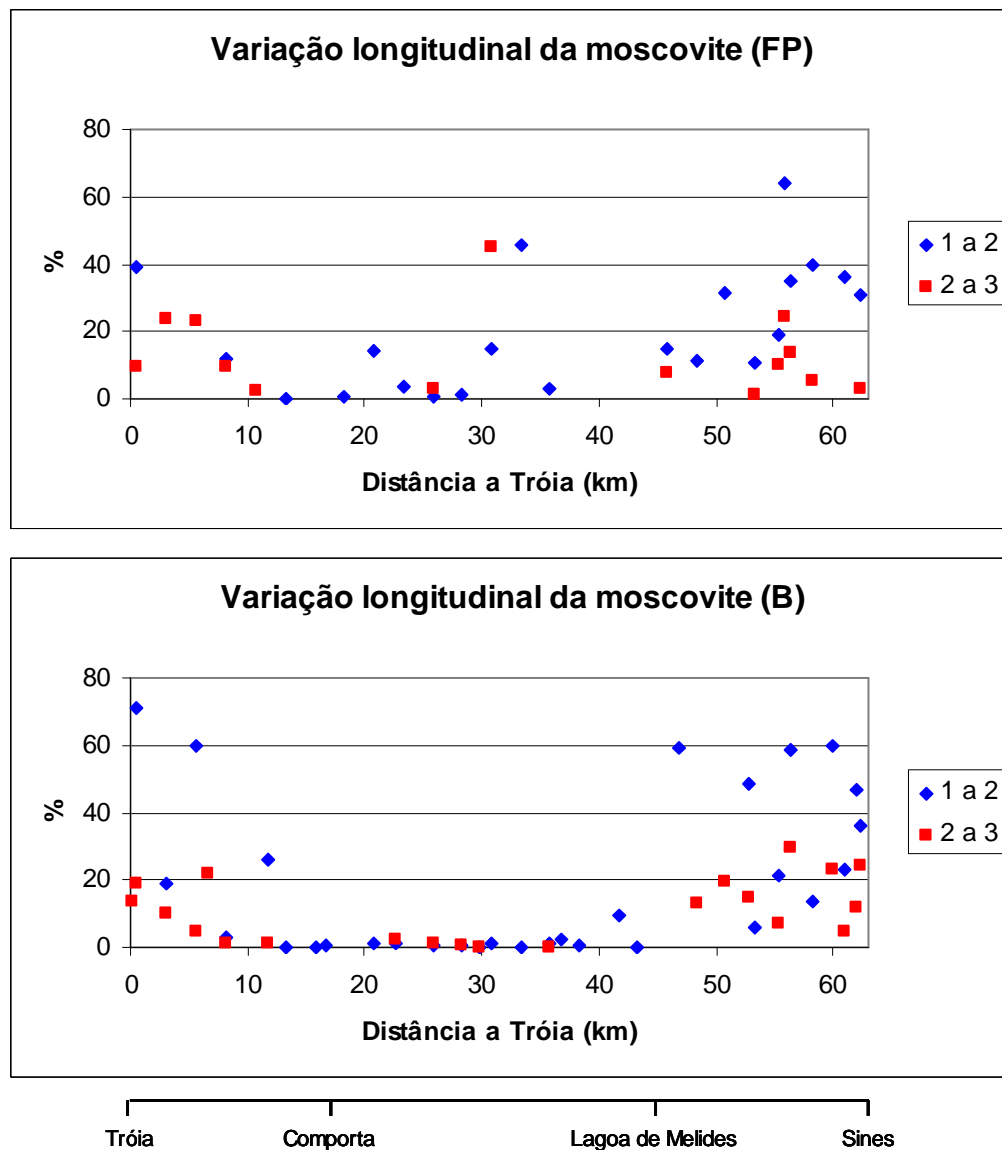


Figura 5.19 – Varição longitudinal da moscovite. FP – Face de praia; B – Berma. A azul estão assinaladas as percentagens da fracção 1 a 2  $\phi$  e a vermelho da fracção 2 a 3  $\phi$ .

As anfíbulas e as piroxenas apresentam uma variação longitudinal muito semelhante entre si (figuras 5.20 e 5.21).

Os sectores setentrional e central apresentam percentagens sempre inferiores a 10 % para as anfíbulas, e 5 % para as piroxenas. No entanto, esta estabilidade de valores não se verifica no sector meridional. A partir dos 50 km a percentagem aumenta significativamente, atingindo os 20 % para as anfíbulas e os 8 % para as piroxenas.

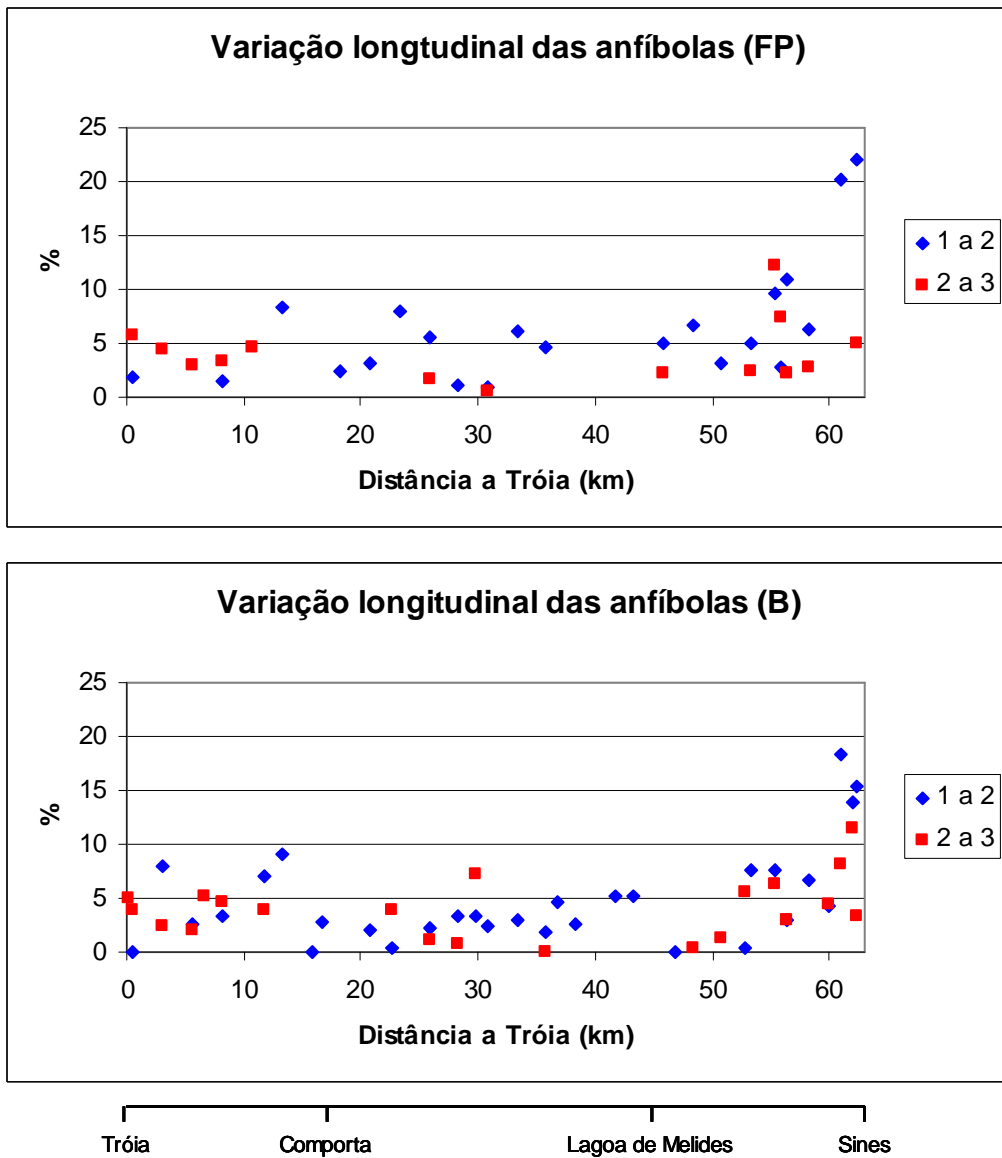


Figura 5.20 – Varição longitudinal das anfíbulas. FP – Face de praia; B – Berma. A azul estão assinaladas as percentagens da fracção 1 a 2  $\phi$  e a vermelho da fracção 2 a 3  $\phi$ .

Ao comparar as variações longitudinais é possível verificar que ao longo de todo o troço as percentagens de anfíbulas são aproximadamente o dobro das de piroxenas.

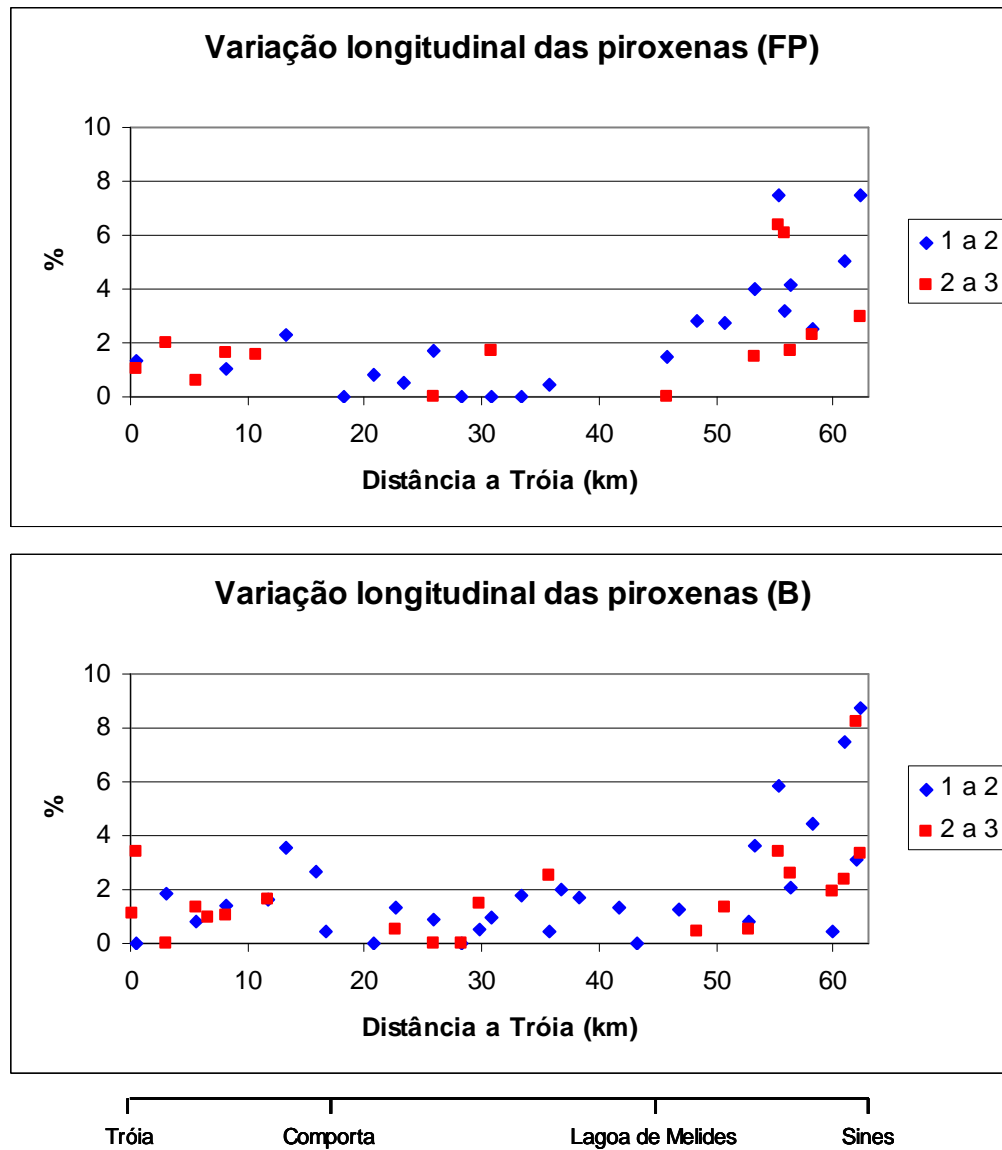


Figura 5.21 – Varição longitudinal das piroxenas. FP – Face de praia; B – Berma. A azul estão assinaladas as percentagens da fracção 1 a 2  $\phi$  e a vermelho da fracção 2 a 3  $\phi$ .

## 5.5. Estatística descritiva multivariada – Análise de componentes principais

### 5.5.1. Definição das matrizes de dados

O conjunto total de dados forma a matriz geral ( $M_{\text{geral}}$ ) e inclui todos os dados obtidos para as nove espécies de minerais pesados transparentes. Os dados foram agrupados por fracções correspondendo a duas matrizes: uma matriz para a fracção 1 a 2  $\phi$  ( $M_{12}$ ) e uma para a fracção 2 a 3  $\phi$  ( $M_{23}$ ). Por fim, os dados foram agrupados pelas três unidades morfológicas consideradas: uma matriz para os dados de face de praia ( $M_{\text{FP}}$ ), outra para os dados de berma ( $M_{\text{B}}$ ) e, por último, uma matriz para os dados de arriba ( $M_{\text{A}}$ ).

### 5.5.2. Determinação dos componentes principais

Utilizando o software Statistica<sup>®</sup> 6.0 definiram-se os componentes principais para cada matriz de dados, os quais resultaram da optimização de correlações lineares entre os vários minerais. Para cada um destes componentes foi calculado o total de variância que cada um consegue explicar (designado por valor próprio).

De todos os componentes obtidos apenas foram considerados os que possuíam um valor próprio superior a um, visto que apresentam um peso maior do que cada uma das variáveis. Estes valores encontram-se representados nas tabelas 5.7, 5.9, 5.11, 5.13, 5.15 e 5.17.

Deste modo, apenas são apresentadas as coordenadas dos componentes que foram considerados principais, ou seja, com um valor próprio superior a um. Estas coordenadas estão representadas nas tabelas 5.8, 5.10, 5.12, 5.14, 5.16 e 5.18 e nas figuras 5.22 a 5.27.

Na interpretação das coordenadas dos componentes principais, visto que o objectivo é identificar grupos de minerais de acordo com afinidades de distribuição, apenas são de considerar os componentes que projectam dois ou mais minerais de forma idêntica ou que evidenciam comportamentos opostos de determinada variável

(Cascalho 2000). Para além disso, os minerais a considerar para formar um grupo deverão possuir coordenadas com um valor absoluto superior a 0,50.

De seguida são apresentadas as análises dos componentes principais agrupados por matriz de dados.

É de considerar nas tabelas apresentadas: vp – valor próprio; var (%) – percentagem da variância explicada; vp (ac) – valor próprio acumulado; var (% ac) – percentagem de variância explicada acumulada; C1, C2 e C3 – vários componentes para cada matriz de dados.

#### Matriz $M_{\text{Geral}}$

Para a matriz  $M_{\text{geral}}$ , os três componentes considerados conseguem explicar ~81 % do total de variância. O componente 1 (C1) explica 46,5 %, o C2 - 21,6 % e o C3 - 13,0 % (tabela 5.6). Na tabela 5.7 e na figura 5.22 encontram-se representadas as coordenadas dos componentes para cada variável.

Tabela 5.6 – Valores próprios, percentagens de variância e respectivos valores acumulados dos componentes obtidos para a matriz  $M_{\text{Geral}}$ .

|    | vp   | var % | vp (ac) | var (% ac) |
|----|------|-------|---------|------------|
| C1 | 4,19 | 46,50 | 4,19    | 46,50      |
| C2 | 1,95 | 21,64 | 6,13    | 68,14      |
| C3 | 1,17 | 13,01 | 7,30    | 81,16      |

Tabela 5.7 – Coordenadas dos componentes principais de cada mineral para a matriz  $M_{\text{Geral}}$ . Estão assinaladas as coordenadas cujo valor absoluto é superior a 0,50.

|     | C1             | C2            | C3             |
|-----|----------------|---------------|----------------|
| Tur | <b>0,8969</b>  | 0,0351        | 0,2758         |
| Est | <b>0,7526</b>  | -0,0269       | 0,3405         |
| And | <b>0,8136</b>  | 0,0256        | 0,0605         |
| Sil | <b>0,6383</b>  | 0,1191        | <b>-0,6039</b> |
| Dis | <b>0,5104</b>  | 0,0984        | <b>-0,7419</b> |
| Bio | <b>-0,7964</b> | -0,0672       | -0,0351        |
| Mos | <b>-0,8081</b> | -0,4550       | -0,2408        |
| Anf | -0,2949        | <b>0,9305</b> | -0,0011        |
| Px  | -0,3321        | <b>0,9186</b> | 0,0349         |

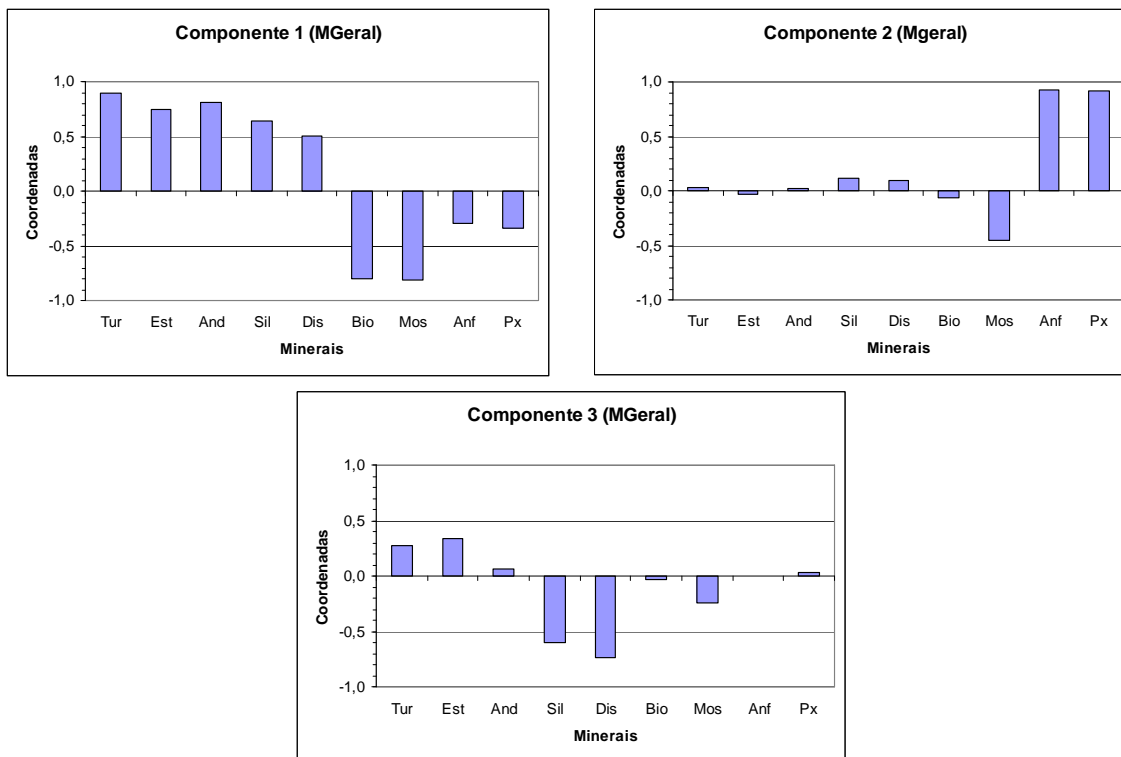


Figura 5.22 – Coordenadas dos 3 componentes principais para a matriz  $M_{Geral}$ .

O C1 apresenta dois conjuntos de variáveis opostos: por um lado a turmalina, estauroilite, andaluzite, silimanite e distena (grupo  $A_G$ ) e, por outro, a biotite e a moscovite (grupo  $B_G$ ). Este componente apenas não agrupa as anfíbulas e as piroxenas.

O C2 é construído com base nas anfíbulas e piroxenas (grupo  $C_G$ ), as quais apresentam uma forte correlação positiva entre si.

O C3 apresenta uma relação entre a silimanite e a distena (grupo  $D_G$ ).

### Matriz $M_{12}$

Os componentes principais explicam para a matriz da fracção 1 a 2  $\phi$  cerca de 84 % do total de variância. O componente 1 explica 47,8 %, o C2 - 21,7 % e o C3 - 14,8 % (tabela 5.8). Na tabela 5.9 e na figura 5.23 encontram-se representadas as coordenadas dos componentes para cada variável.

Tabela 5.8 – Valores próprios, percentagens de variância e respectivos valores acumulados dos componentes obtidos para a matriz  $M_{12}$ .

|    | vp   | var % | vp (ac) | var (% ac) |
|----|------|-------|---------|------------|
| C1 | 4,30 | 47,82 | 4,30    | 47,82      |
| C2 | 1,95 | 21,69 | 6,26    | 69,51      |
| C3 | 1,33 | 14,82 | 7,59    | 84,34      |

Tabela 5.9 – Coordenadas dos componentes principais de cada mineral para a matriz  $M_{12}$ . Estão assinaladas as coordenadas cujo valor absoluto é superior a 0,50.

|     | C1      | C2      | C3      |
|-----|---------|---------|---------|
| Tur | 0,9402  | 0,0016  | 0,2783  |
| Est | 0,6905  | -0,1383 | 0,5084  |
| And | 0,8606  | 0,1309  | -0,0845 |
| Sil | 0,6516  | 0,2571  | -0,5989 |
| Dis | 0,4880  | 0,1845  | -0,7125 |
| Bio | -0,8051 | 0,0409  | -0,0756 |
| Mos | -0,8191 | -0,4320 | -0,2808 |
| Anf | -0,3076 | 0,9140  | 0,1051  |
| Px  | -0,3551 | 0,8899  | 0,1709  |

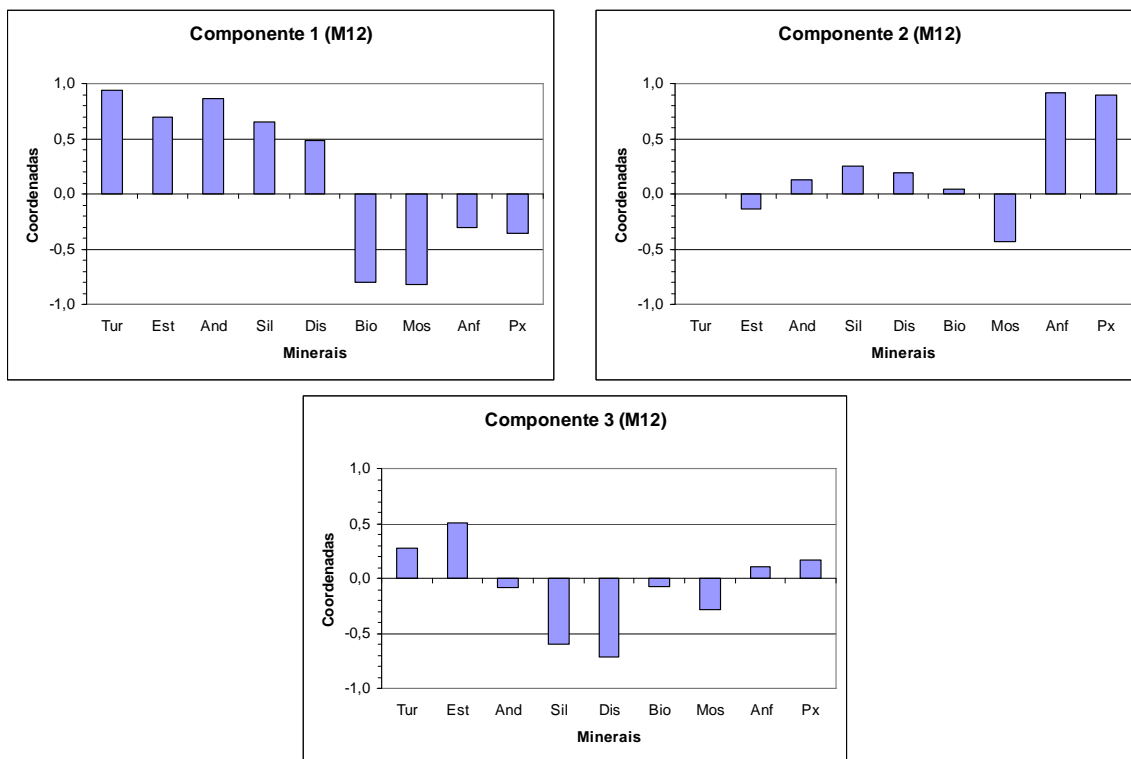


Figura 5.23 – Coordenadas dos 3 componentes principais para a matriz  $M_{12}$ .

Para os três componentes desta matriz existem semelhanças com os da matriz  $M_{\text{geral}}$ .

O C1 apresenta de igual forma a oposição entre duas associações mineralógicas: turmalina, estaurolite, andaluzite e silimanite (grupo  $A_{12}$ ) e, em oposição, a biotite e a



moscovite (grupo B<sub>12</sub>). De notar que a distena deixa de ser incluída no grupo da turmalina.

O C2 é construído também com base nas anfíbulas e piroxenas (grupo C<sub>12</sub>), as quais apresentam uma forte correlação positiva entre si.

O C3 apresenta a relação entre a silimanite e a distena (grupo D<sub>12</sub>), mas para esta matriz encontra como oposição a estaurolite (embora sem um valor muito expressivo).

### Matriz M<sub>23</sub>

Para esta matriz, o C1 explica 48,2 % do total de variância, o C2 - 22,7 % e o C3 - 11,2 %, perfazendo um total de ~82 % (tabela 5.10). As suas coordenadas encontram-se representadas na tabela 5.11 e na figura 5.24.

Tabela 5.10 – Valores próprios, percentagens de variância e respectivos valores acumulados dos componentes obtidos para a matriz M<sub>23</sub>.

|    | vp   | var % | vp (ac) | var (% ac) |
|----|------|-------|---------|------------|
| C1 | 4,34 | 48,24 | 4,34    | 48,24      |
| C2 | 2,04 | 22,66 | 6,38    | 70,90      |
| C3 | 1,01 | 11,19 | 7,39    | 82,09      |

Tabela 5.11 – Coordenadas dos componentes principais de cada mineral para a matriz M<sub>23</sub>. Estão assinaladas as coordenadas cujo valor absoluto é superior a 0,50.

|     | C1             | C2            | C3             |
|-----|----------------|---------------|----------------|
| Tur | <b>0,8874</b>  | 0,0120        | 0,3348         |
| Est | <b>0,8187</b>  | 0,0121        | 0,0005         |
| And | <b>0,8394</b>  | -0,0434       | 0,2471         |
| Sil | <b>0,6298</b>  | -0,0149       | <b>-0,5853</b> |
| Dis | <b>0,5892</b>  | 0,0225        | <b>-0,6599</b> |
| Bio | <b>-0,8134</b> | -0,1423       | -0,0661        |
| Mos | <b>-0,8057</b> | -0,4600       | -0,2156        |
| Anf | -0,2363        | <b>0,9539</b> | -0,0575        |
| Px  | -0,2631        | <b>0,9458</b> | -0,0432        |

Os componentes principais da matriz M<sub>23</sub> apresentam exactamente os mesmos grupos que a M<sub>geral</sub> (neste caso: grupos A<sub>23</sub>, B<sub>23</sub>, C<sub>23</sub> e D<sub>23</sub>). Para esta matriz, quase todas as coordenadas aumentaram o valor absoluto, o que pode indicar que as variáveis são mais importantes na definição dos componentes principais. A proximidade entre os diferentes elementos de cada grupo também aumenta, indicando uma maior correlação entre eles.

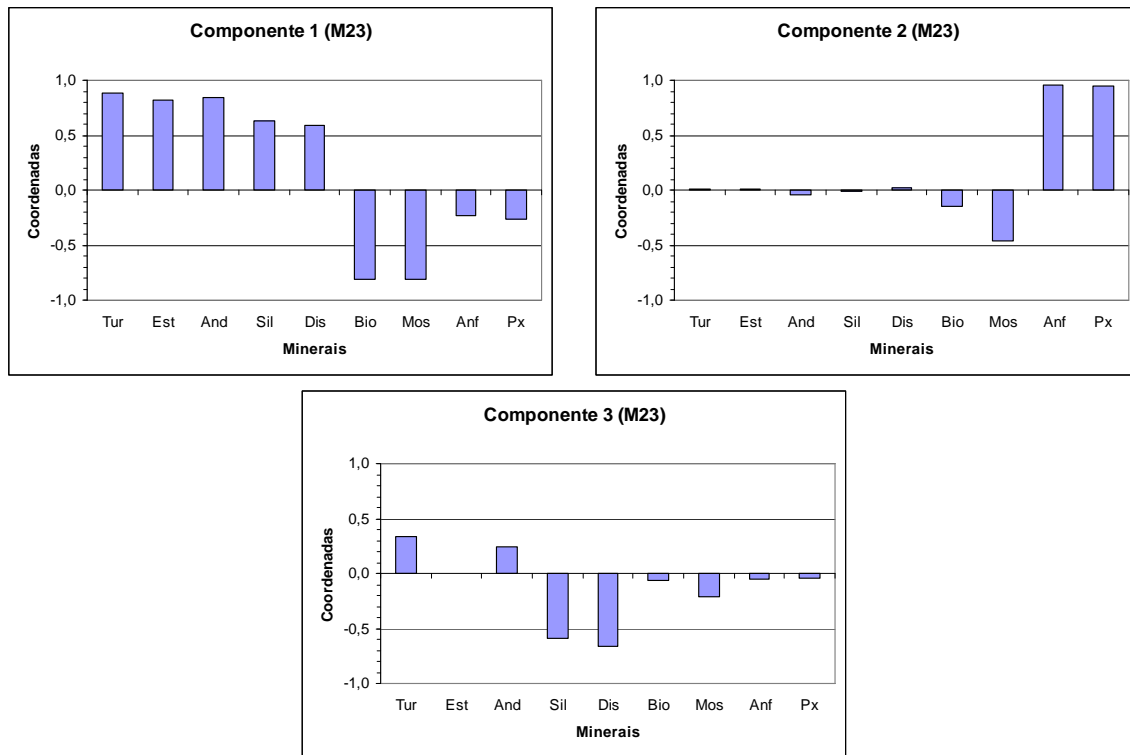


Figura 5.24 – Coordenadas dos 3 componentes principais para a matriz  $M_{23}$ .

### Matriz $M_{FP}$

Os componentes principais explicam para a matriz relativa à face de praia cerca de 83 % do total de variância. O C1 compreende 47,5 %, o C2 - 20,9 % e o C3 - 14,6 % (tabela 5.12). As coordenadas dos três componentes encontram-se representadas na tabela 5.13 e na figura 5.25.

Tabela 5.12 – Valores próprios, percentagens de variância e respectivos valores acumulados dos componentes obtidos para a matriz  $M_{FP}$ .

|    | vp   | var % | vp (ac) | var (% ac) |
|----|------|-------|---------|------------|
| C1 | 4,27 | 47,46 | 4,27    | 47,46      |
| C2 | 1,88 | 20,89 | 6,15    | 68,35      |
| C3 | 1,32 | 14,64 | 7,47    | 82,99      |

Tabela 5.13 – Coordenadas dos componentes principais de cada mineral para a matriz  $M_{FP}$ . Estão assinaladas as coordenadas cujo valor absoluto é superior a 0,50.

|     | C1      | C2      | C3      |
|-----|---------|---------|---------|
| Tur | 0,9050  | -0,0714 | -0,1629 |
| Est | 0,7409  | -0,3374 | -0,2612 |
| And | 0,7716  | -0,0453 | -0,1221 |
| Sil | 0,4636  | 0,6801  | 0,4694  |
| Dis | 0,4043  | 0,6870  | 0,4776  |
| Bio | -0,8207 | -0,2834 | 0,3145  |
| Mos | -0,9202 | -0,0596 | 0,2338  |
| Anf | -0,3983 | 0,6951  | -0,4975 |
| Px  | -0,5007 | 0,5077  | -0,5983 |

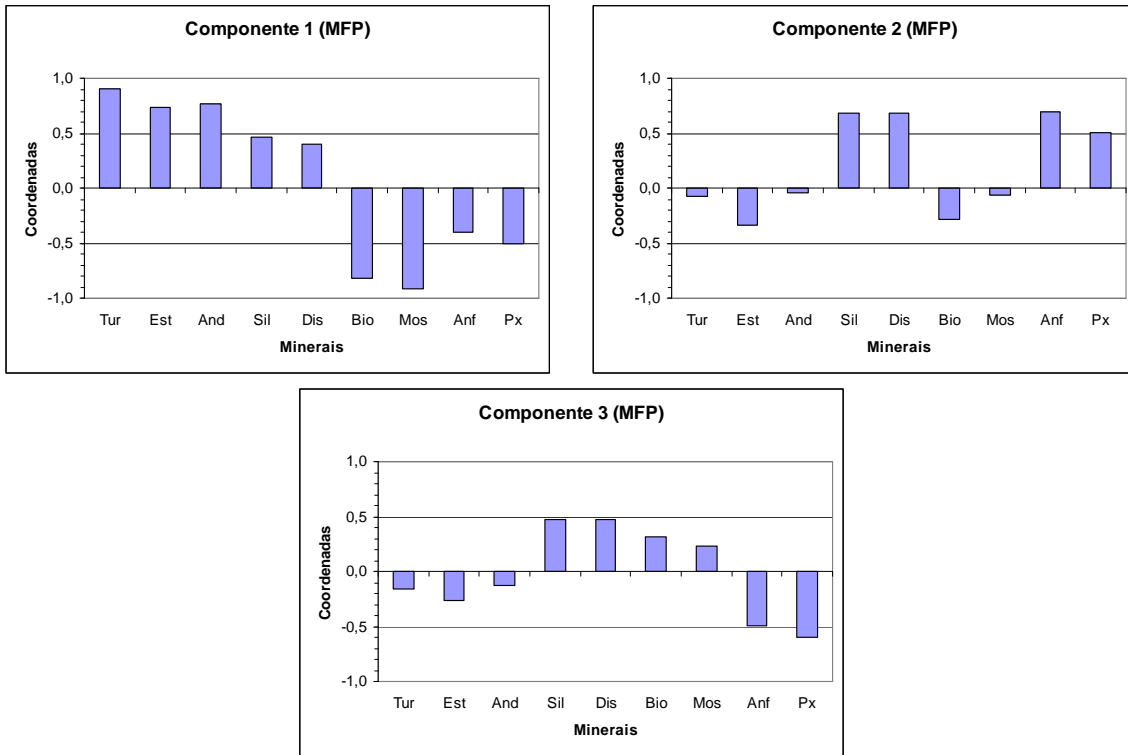


Figura 5.25 – Coordenadas dos 3 componentes principais para a matriz  $M_{FP}$ .

Matriz  $M_B$

Os três componentes para a matriz  $M_B$  relativa à berma compreendem ~78 % do total de variância. O C1 explica 47,4 %, o C2 - 18,3 % e o C3 - 12,5 % (tabela 5.14). As coordenadas encontram-se representadas na tabela 5.15 e na figura 5.26.

Tabela 5.14 – Valores próprios, percentagens de variância e respectivos valores acumulados dos componentes obtidos para a matriz  $M_B$ .

|    | vp   | var % | vp (ac) | var (% ac) |
|----|------|-------|---------|------------|
| C1 | 4,26 | 47,37 | 4,26    | 47,37      |
| C2 | 1,64 | 18,26 | 5,91    | 65,63      |
| C3 | 1,12 | 12,49 | 7,03    | 78,12      |

Tabela 5.15 – Coordenadas dos componentes principais de cada mineral para a matriz  $M_B$ . Estão assinaladas as coordenadas cujo valor absoluto é superior a 0,50.

|     | C1      | C2      | C3      |
|-----|---------|---------|---------|
| Tur | 0,8311  | 0,1349  | -0,4471 |
| Est | 0,7848  | -0,1630 | -0,1494 |
| And | 0,6917  | 0,1107  | 0,1727  |
| Sil | 0,5598  | 0,2405  | 0,6852  |
| Dis | 0,6003  | 0,0883  | 0,5444  |
| Bio | -0,8439 | -0,1889 | 0,1847  |
| Mos | -0,8689 | -0,3152 | 0,2561  |
| Anf | -0,3815 | 0,8393  | -0,0819 |
| Px  | -0,4383 | 0,8251  | -0,0141 |

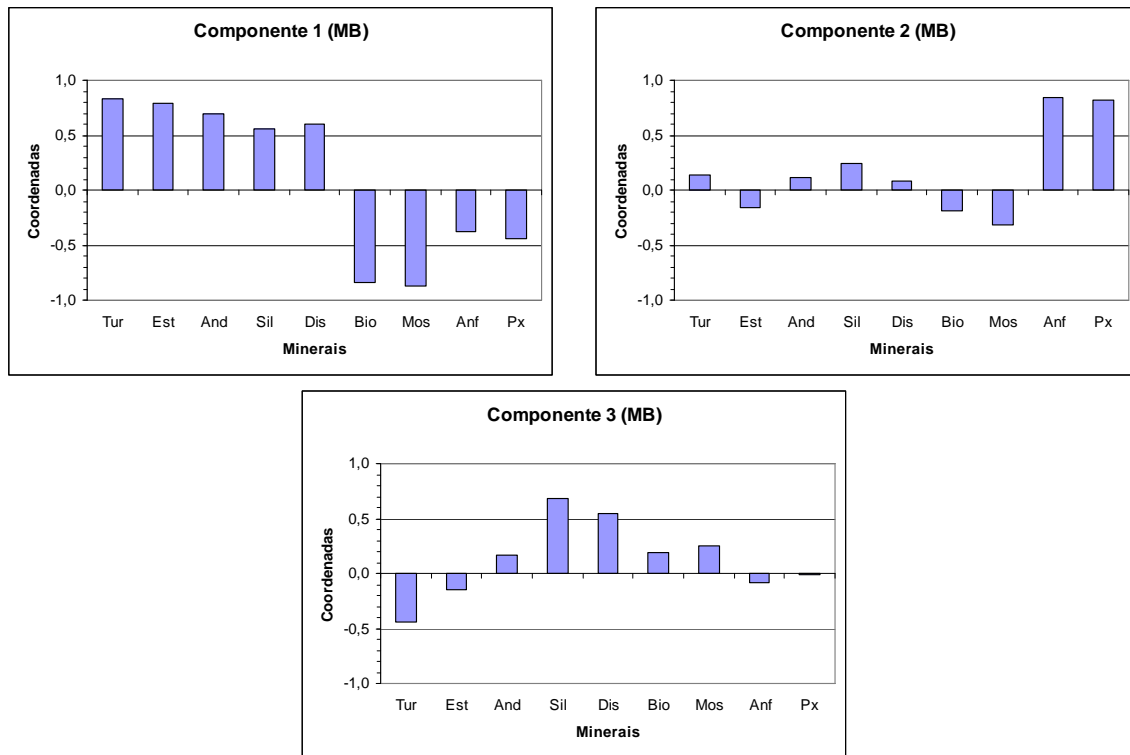


Figura 5.26 – Coordenadas dos 3 componentes principais para a matriz  $M_B$ .

Mais uma vez é possível verificar que os grupos definidos pelos três componentes principais são exactamente iguais aos definidos para a matriz  $M_{\text{Geral}}$  e, conseqüentemente, iguais aos da matriz  $M_{23}$ , correspondendo neste caso aos grupos  $A_B$ ,  $B_B$ ,  $C_B$  e  $D_B$ . Verifica-se que, contrariamente ao que aconteceu na  $M_{23}$ , não existe uma tendência definida de variação dos valores absolutos das coordenadas, nem um aumento da proximidade entre os diferentes elementos de cada grupo.

#### Matriz $M_A$

Os componentes principais para a matriz  $M_A$  (arriba) abrangem cerca de 80 % do total de variância. O C1 explica 60,3 % e o C2 - 20,1 % (tabela 5.16).

O C1 (tabela 5.17 e figura 5.27) apresenta dois conjuntos de variáveis opostos: turmalina, estaurolite, andaluzite, silimanite, anfíbolos e piroxenas com coordenadas negativas (grupo  $A_A$ ) e biotite e moscovite com coordenadas positivas (grupo  $B_A$ ). O C2 tem por base as anfíbolos, piroxenas e a distena (grupo  $C_A$ ).

Tabela 5.16 – Valores próprios, percentagens de variância explicada e respectivos valores acumulados para os componentes obtidos para a matriz  $M_A$ .

|    | vp   | var % | vp (ac) | var (% ac) |
|----|------|-------|---------|------------|
| C1 | 5,43 | 60,33 | 5,43    | 60,33      |
| C2 | 1,81 | 20,11 | 7,24    | 80,44      |

Tabela 5.17 – Coordenadas dos componentes principais de cada mineral para a matriz  $M_A$ . Estão assinaladas as coordenadas cujo valor absoluto é superior a 0,50.

|     | C1      | C2      |
|-----|---------|---------|
| Tur | -0,9612 | 0,1572  |
| Est | -0,8981 | 0,2160  |
| And | -0,8705 | 0,4089  |
| Sil | -0,8239 | 0,4170  |
| Dis | -0,4955 | -0,7069 |
| Bio | 0,5929  | 0,3198  |
| Mos | 0,9045  | -0,2868 |
| Anf | -0,6935 | -0,5235 |
| Px  | -0,6055 | -0,6625 |

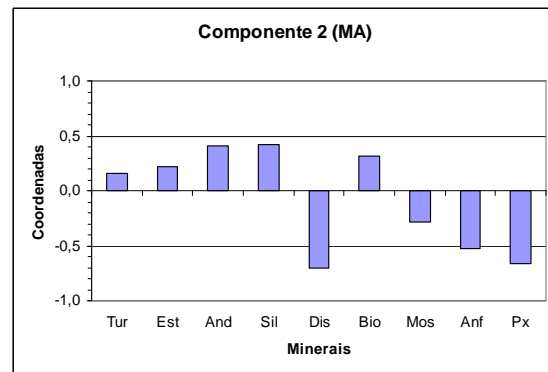
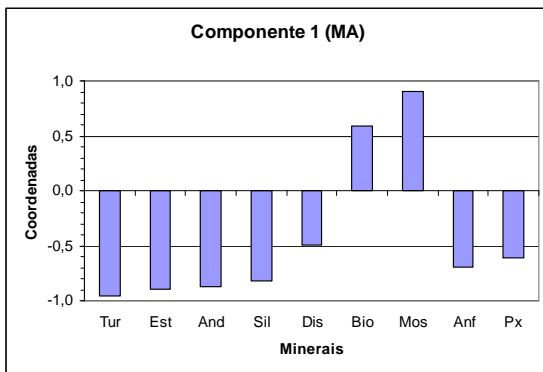


Figura 5.27 – Coordenadas dos 3 componentes principais para a matriz  $M_A$ .

Após a análise de componentes principais é possível definir os seguintes grupos:

- G1 -  $A_A$ : turmalina, estauroлите, andaluzite, silimanite, anfíbolas e piroxenas;
- G2 -  $A_G$ ,  $A_{23}$ ,  $A_B$  : turmalina, estauroлите, andaluzite, silimanite e distena;
- G3 -  $A_{12}$ : turmalina, estauroлите, andaluzite e silimanite;
- G4 -  $A_{FP}$ : turmalina, estauroлите e andaluzite;
- G5 -  $B_G$ ,  $B_{12}$ ,  $B_{23}$ ,  $B_{FP}$ ,  $B_B$  e  $B_A$ : biotite e moscovite;
- G6 -  $C_{FP}$ : anfíbolas, piroxenas, silimanite e distena;
- G7 -  $C_A$ : anfíbolas, piroxenas e distena;
- G8 -  $C_G$ ,  $C_{12}$ ,  $C_{23}$  e  $C_B$ : anfíbolas e piroxenas;
- G9 -  $D_G$ ,  $D_{12}$ ,  $D_{23}$  e  $D_B$ : silimanite e distena.

De uma forma geral, o componente 1 de todas as matrizes permite distinguir duas associações de minerais em oposição uma da outra: A (G1, G2, G3 e G4) apresenta uma base comum de minerais: turmalina, estaurolite e andaluzite; B (G5) é constituída unicamente pela biotite e pela moscovite.

A oposição entre estes dois grupos é facilmente compreendida tendo em conta que os dados são percentagens. Deste modo quando há incremento de algumas das variáveis as outras diminuem. Tal como foi observado no ponto anterior (5.4) a percentagem de micas aumenta nos extremos do litoral, enquanto que a percentagem de turmalina e estaurolite diminui.

Ambas as associações são transversais a todas as matrizes de dados, ou seja, ocorrem independentemente da fracção ou da unidade morfológica.

O componente 2 permite individualizar uma associação C (G6, G7 e G8) constituída sempre pelas anfíbolas e piroxenas, as quais apresentam quase sempre uma forte correlação entre si. Esta correlação pode ser observada nos gráficos de variação longitudinal dos respectivos minerais (figuras 5.20 e 5.21). Ambos apresentam uma percentagem em geral constante até aos 50 km, a partir dos quais aumenta gradualmente em direcção a Sines.

O componente 3, quando considerado, pode individualizar um grupo de minerais (G9) constituído pela silimanite e distena. Esta relação parece estar mais baseada no método de contagem do que propriamente em fenómenos naturais, daí não ser considerada como associação mineralógica. Em amostras com grãos de silimanite e de distena muito arredondados, torna-se quase impossível, ao microscópio óptico de luz polarizada, distingui-los. A andaluzite poder-se-ia confundir com estes dois minerais quando os seus grãos tendem a ser esféricos, mas o facto de apresentar na sua grande maioria pleocroísmo característico permite a sua identificação.

Em suma, consideraram-se três associações mineralógicas:

Associação A – turmalina, estaurolite e andaluzite;

Associação B – biotite e moscovite;

Associação C – anfíbolas e piroxenas.

### 5.6. Interpretação do estudo dos minerais pesados

A variação longitudinal das associações encontra-se representada na figura 5.28, assim como a distribuição das mesmas nos sedimentos de arriba e nos sedimentos da praia Vasco da Gama. Os gráficos circulares das arribas representam a média das associações mineralógicas presentes nas amostras colhidas em cada local.

Tal como foi descrito anteriormente pelos componentes principais, verifica-se a oposição da associação A à associação B nas amostras de praia. A associação A (turmalina, estauroлите e andaluzite) predomina em quase todo o troço litoral, chegando a atingir na zona central valores de ~95 % mas, mostra valores mais baixos nas extremidades do troço (primeiros 10 km junto a Tróia e nos últimos 18 km). Nesses locais a percentagem da associação B (biotite e moscovite) sobe, atingindo em algumas amostras mais de 80 %.

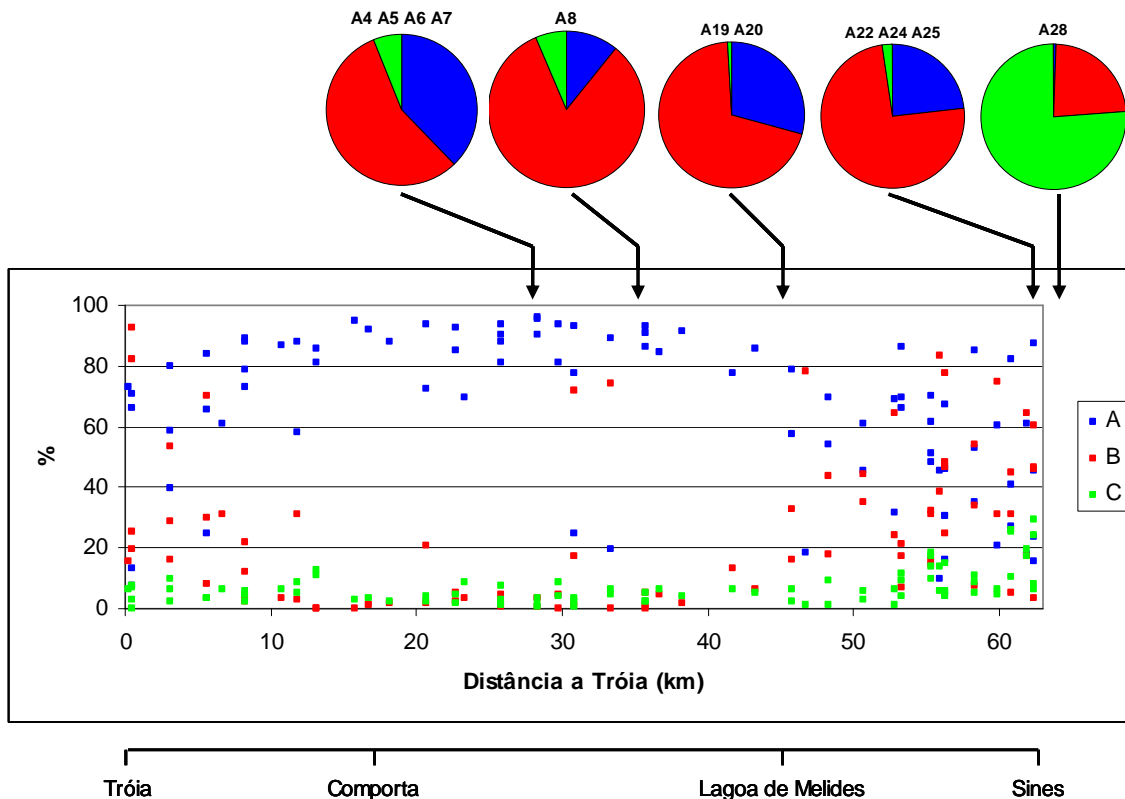


Figura 5.28 – Variação longitudinal das três associações mineralógicas (A, B e C) e sua correlação com a mineralogia das arribas (A4 a A25) e com a mineralogia das areias da praia Vasco da Gama em Sines (A28).

Torna-se assim necessário analisar a proveniência destas associações, bem como interpretar os mecanismos de hidrodinâmica que as controlam.

Uma das possíveis áreas fonte do sedimento para a praia é as arribas litorais, tal como ficou demonstrado no capítulo 4.

Como se pode observar na tabela 5.18, os sedimentos de arriba apresentam algumas diferenças composicionais entre si: nuns predomina a associação A, noutros a associação B. Nas arribas localizadas mais a sul (junto a Sines) é possível encontrar proporções entre as duas associações semelhantes às encontradas nas respectivas praias. No entanto, o mesmo não se verifica no sector central, onde nenhuma arriba apresenta percentagens da associação A (máximo 56,2 %) comparáveis às encontradas na praia (várias amostras com mais de 90 %).

Tabela 5.18 – Percentagem das associações mineralógicas definidas para todas as amostras de arribas. Os valores de cada amostra são a média dos valores das duas fracções estudadas.

| Associação    | A4   | A5   | A6   | A7   | A8   | A19  | A20  | A22  | A24  | A25  |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>A</b>      | 54,5 | 49,8 | 20,2 | 23,4 | 10,7 | 56,2 | 0,8  | 21,1 | 3,9  | 43,6 |
| <b>B</b>      | 33,5 | 40,8 | 75,7 | 70,4 | 81,2 | 38,7 | 98,8 | 74,6 | 95,5 | 50,4 |
| <b>C</b>      | 9,1  | 6,6  | 3,4  | 4,7  | 6,2  | 1,5  | 0,2  | 1,8  | 0,6  | 4,1  |
| <b>Outros</b> | 2,9  | 2,9  | 0,6  | 1,6  | 1,9  | 3,6  | 0,2  | 2,5  | 0,0  | 2,0  |

Esta diferença de valores entre as arribas e as praias do sector central pode ser atribuída aos mecanismos de hidrodinâmica actuantes na praia. Segundo Komar & Wang (1984), estes processos seleccionam os grãos, removendo para a plataforma continental os que apresentam baixa velocidade de sedimentação. É o caso dos grãos de moscovite e biotite da classe das areias, que apresentam velocidades de sedimentação semelhantes às do silte e da argila (Doyle *et al.* 1983). Desta forma as micas (associação B) que são fornecidas pelas arribas são removidas da praia e transportadas para a plataforma interna.

No entanto, como se pode observar na figura 5.28, as micas permanecem nas extremidades do troço litoral. Estes locais, segundo vários autores (Gomes 1992, Marques 2000, Gama 2005), são zona de acumulação, enquanto que o restante sector encontra-se em erosão. Assim parece existir uma correspondência entre a



abundância de micas e as zonas de acumulação. Komar & Wang (1984) justificam esta relação com base na capacidade de remoção de grãos, que é mais efectiva nas zonas em erosão.

Contudo, no sector setentrional não existem arribas capazes de fornecer micas à praia, mas é possível que estas tenham sido transportadas pelas correntes longitudinais de sul para norte (no sector setentrional), identificadas por Quevauviller (1986a), Gomes (1992) e Gama (2005).

Para além disso, a norte, a acção de remoção da ondulação é diminuída devido ao efeito de abrigo causado pelo cabo Espichel e à presença de bancos de areia no extremo norte, o que permite a acumulação das micas.

Outra das possíveis proveniências dos sedimentos de praia é a plataforma interna, uma vez que Gama (2005) refere que existem intensas trocas de sedimentos entre estas duas unidades. No mesmo sentido, os dados mineralógicos de amostras da plataforma interna parecem estar de acordo com os da praia. Pombo *et al.* (2004) analisou a composição em minerais pesados de 4 amostras da plataforma interna, localizadas 2 km a norte de Sines, encontrando como principais constituintes a turmalina (41 %), andaluzite (18 %), biotite (16 %), piroxenas (14 %), anfíbolas (5 %) e estauroлите (4 %). Segundo estes resultados, os minerais pertencentes à associação A corresponderiam a 63 %, os da associação B a 16 % e os da à associação C a 19 %.

Face ao exposto, tudo aponta para que as arribas e a plataforma interna sejam as principais fornecedoras de sedimentos à praia. Nesta, a ondulação exerce o controlo da remoção ou não das micas originando o balanço entre as associações A e B.

A associação C (anfíbolas e piroxenas) apresenta baixas percentagens, no máximo 13 %, durante quase todo o troço litoral. A excepção é nos 10 km mais a sul, onde ocorre um aumento gradual da percentagem, chegando a atingir os 30 % junto a Sines.

Esta associação é claramente originada no complexo sub-vulcânico de Sines, o qual apresenta como constituintes principais da fracção pesada anfíbolos e piroxenas (Pombo *et al.* 2004). Para além disso a amostra A28, correspondente aos sedimentos da Praia Vasco da Gama localizada a sul do complexo, apresenta esta associação típica de minerais pesados.

É possível concluir que o complexo sub-vulcânico de Sines fornece um sinal mineralógico às praias do troço litoral Tróia-Sines, o qual desaparece gradualmente até cerca de 10 km a norte do complexo. Este sinal pode não ser suficiente para indicar um transporte longitudinal activo de sul para norte, presente no sector meridional, visto que se desvanece logo na zona de Melides. A presença desta associação pode ser apenas originada pela remobilização dos sedimentos, aquando dos períodos de temporal, e pela sua posterior redistribuição na praia nos períodos de recuperação.



## 6. Conclusões e Considerações Finais

Os sedimentos presentes no troço litoral Tróia-Sines pertencem, na sua maioria, às classes de areia grosseira e média, são em regra moderadamente bem calibrados a bem calibrados, com assimetria e curtose variadas.

Através das variações longitudinais dos parâmetros texturais foi possível identificar 3 sectores: (1) sector setentrional, de Tróia a Comporta; (2) sector central, de Comporta à Lagoa de Melides / Lagoa de Santo André (consoante a unidade morfológica); e (3) sector meridional, da Lagoa de Melides / Lagoa de Santo André até Sines. Para o sector setentrional uma análise mais aprofundada permitiu identificar subsectores na face de praia e berma.

No troço litoral ocorrem, principalmente, 9 espécies de minerais pesados: turmalina, estauroлите, andaluzite, silimanite, distena, biotite, moscovite, anfíbulas e piroxenas.

Foram reconhecidas três associações mineralógicas: (A) turmalina, estauroлите e andaluzite; (B) biotite e moscovite; e (C) anfíbulas e piroxenas. A associação A é predominante em quase todo o troço litoral, excepto nas amostras dos extremos norte e sul. A associação B, em oposição à associação A, é quase inexistente na zona central sendo abundante nas amostras dos sectores norte e sul. A associação C encontra-se por todo o troço litoral com baixas percentagens de ocorrência (no máximo 13 %); no entanto, na zona sul a sua expressão aumenta nos últimos 10 km em direcção ao complexo sub-vulcânico de Sines (até cerca de 30 %).

Através da interpretação dos dados obtidos pelas duas metodologias realizadas neste estudo, foi possível identificar possíveis fontes sedimentares activas.

No sector setentrional, o efeito de abrigo do cabo Espichel e o delta de vazante do estuário do Sado originam alterações na hidrodinâmica local, a qual é responsável pelo controlo granulométrico destes sedimentos.

A diminuição da energia da ondulação permite a deposição em abundância de partículas com uma baixa velocidade de sedimentação. É o caso das micas (biotite e moscovite) e das conchas de bivalves. As primeiras chegam a constituir mais de

90 % de cada fracção granulométrica (figura 5.28) e as constituem exclusivamente (100 %) as classes granulométricas mais grosseiras no extremo norte deste sector. Neste sector a população bioclástica proveniente de comunidades de bivalves aí existentes (Andrade & Ferreira 2001) representa um importante contributo sedimentar.

No sector central, é também provável que as características dos sedimentos do sector central sejam influenciadas pelo efeito de abrigo do cabo Espichel; contudo estes sedimentos são principalmente dominados pelas contribuições das arribas aí presentes. O forte ravinamento induzido pela erosão sub-aérea e a elevada compatibilidade granulométrica entre os sedimentos de arriba e de praia (Gama 2005) são prova disso. Estes depositam-se nos cones de dejectão presentes na base das arribas e são posteriormente redistribuídos pela praia principalmente nos períodos de temporal.

Em termos de composição da fracção pesada não existe uma relação imediata entre os sedimentos de arriba e os de praia. Os sedimentos de arriba apresentam-se muito enriquecidos em micas (associação B), enquanto que os sedimentos de praia praticamente não as possuem. Contudo, como as micas apresentam uma baixa velocidade de sedimentação (Doyle *et al.* 1983) são facilmente removidas da praia para a plataforma continental (Komar & Wang 1984) concentrando as restantes espécies minerais.

No sector meridional, as possíveis fontes sedimentares são as arribas, localizadas nos últimos 8 km, e o complexo sub-vulcânico de Sines, no extremo sul, que se estende até à plataforma continental interna. As arribas fornecem areias finas à praia e elevada quantidade de micas (algumas apresentam mais de 95 % de micas na fracção pesada – tabela 5.18). Este facto, aliado à circunstância de esta zona ser de acumulação (Gomes 1992, Marques 2000, Gama 2005), permite que uma percentagem considerável de micas possa permanecer na praia, por vezes mais de 70 % - figura 5.28.

O complexo sub-vulcânico de Sines fornece anfíbulas e piroxenas (associação C). Estas, inicialmente passam das rochas do complexo para os sedimentos das praias

encaixadas e da plataforma interna (Pombo *et al.* 2004), sendo posteriormente distribuídas pelas praias adjacentes a este complexo.

No sector meridional, quer a população de areia fina, quer o sinal mineralógico do complexo sub-vulcânico de Sines diminuem de expressão de sul para norte, atenuando-se na zona de Melides.

A comparação entre diferentes unidades morfológicas permitiu diferenciar a praia da duna, no entanto não foi possível distinguir as unidades da praia entre si (face de praia e berma). Esta comparação também permitiu concluir que ao se observar o troço total existe sobreposição das variações longitudinais sobre as transversais. Esta sobreposição perde importância ao se ampliar a escala de observação, sendo possível observar um maior número de diferenças significativas entre unidades morfológicas nos sectores meridional e setentrional.

Na figura 6.1 está esquematizada uma interpretação dos movimentos sedimentares no troço litoral em estudo, considerando o sentido de ondulação predominante de NW e o efeito dos temporais mais rigorosos de SW.

A ondulação é o factor coordenador de todo o movimento sedimentar longitudinal. Esta, predominante de noroeste, sofre uma rotação da direcção de propagação ao passar no cabo Espichel, fazendo-se sentir o seu efeito nos sectores central e setentrional. Neste último a direcção da ondulação pode mesmo atingir direcções de sudoeste (Quevauviller 1987) e originar um sentido de deriva litoral predominante de sul para norte (Gama 2005), tornando a península de Tróia numa zona de acumulação sedimentar.

Ainda neste sector, o rio Sado provavelmente não constitui uma fonte sedimentar muito importante, uma vez que a quantidade de sedimento transportado é reduzida (Vale *et al.* 1993). Segundo estes autores esse reduzido transporte sedimentar traduz-se essencialmente em material fino em suspensão.

No sector central, a ondulação redistribui o sedimento que é constantemente fornecido pela erosão das arribas. Os sedimentos mais finos e as micas, com baixa

velocidade de sedimentação, são retirados da praia e transportados para a plataforma, retornando à praia as areias médias a grosseiras. Neste sector o transporte sedimentar embora ocasional parece ter um sentido preferencial de sul para norte (especialmente durante os períodos de temporal de SW).

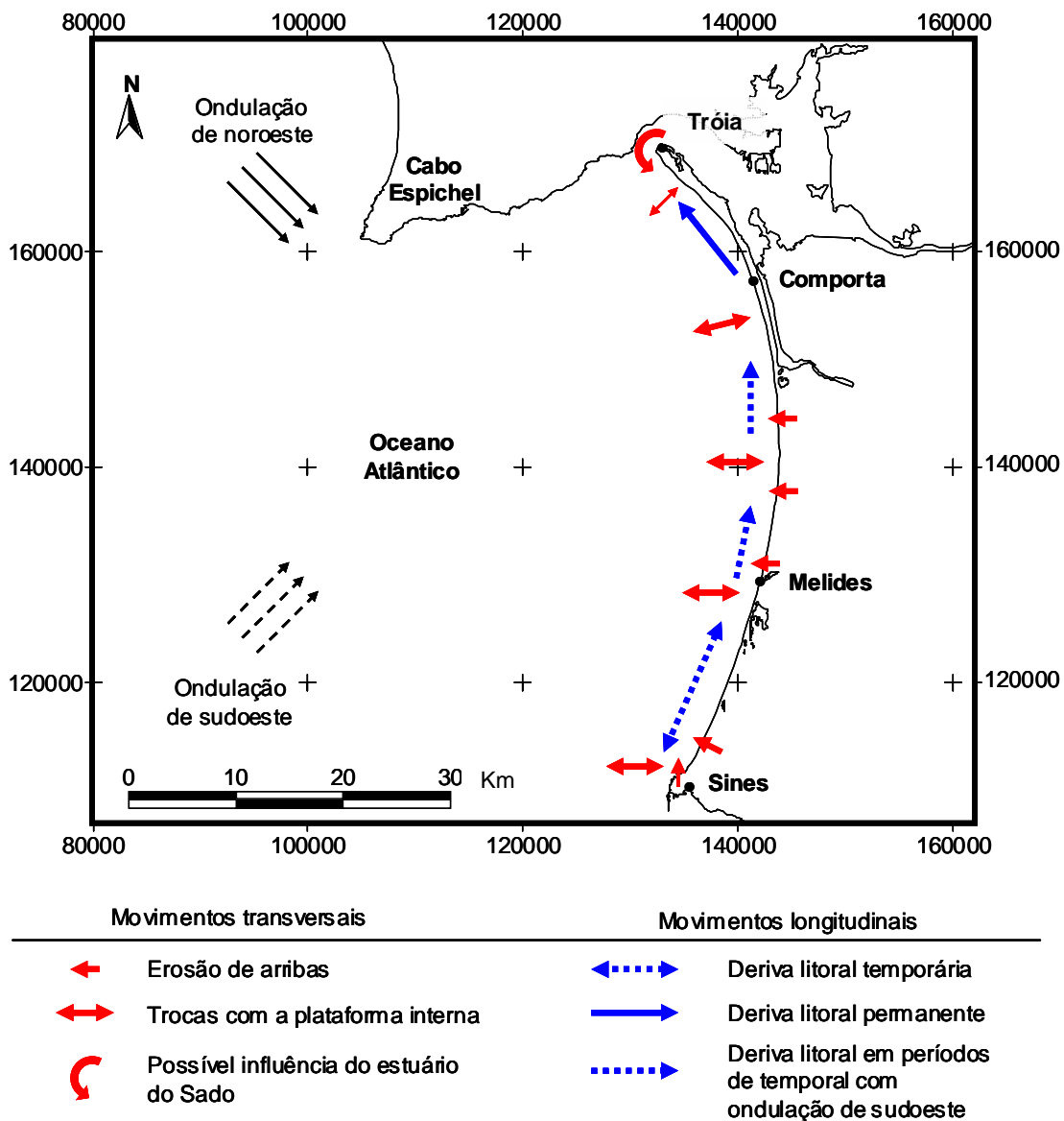


Figura 6.1 – Esquema interpretativo dos movimentos sedimentares no trecho litoral Tróia-Sines.

No sector meridional a ondulação predominante já não sofre rotação. O sedimento aí presente é proveniente das arribas, da plataforma interna e de algumas praias

encaixadas no complexo de Sines. Os trabalhos de Luz *et al.* (2004) e Pombo *et al.* (2004) apontam para que o cabo de Sines se comporte como uma barreira ao transporte sedimentar, não existindo trocas significativas entre as zonas a norte e a sul deste cabo. Assim não existe proveniência sedimentar com origem a sul do cabo. Aquando dos períodos de temporal, provenientes de sudoeste, o sedimento é remobilizado e redistribuído por todo o sector. É nestes períodos que se estabelece, esporadicamente, uma corrente de deriva litoral de sul para norte (Gama 2005).

A presença do canhão submarino de Setúbal poderia levar a supor a sua influência como sumidouro sedimentar, facto referido por Komar (1976) em outros contextos similares; contudo esta hipótese não é passível de ser verificada neste trabalho.

Com base na textura e mineralogia dos sedimentos foi possível identificar várias fontes sedimentares actuais para as praias do troço litoral Tróia-Sines: (1) a plataforma interna; (2) as arribas Mio-Pliocénicas; (3) o complexo sub-vulcânico de Sines; (4) as comunidades de bivalves na península de Tróia; e possivelmente (5) o estuário do Sado.

O movimento sedimentar longitudinal verifica-se na península de Tróia de sul para norte. No restante troço litoral, especialmente no sector meridional, os sedimentos são redistribuídos para norte durante os períodos de temporal de sudoeste.

### **6.1. Considerações finais**

Como considerações finais, registam-se alguns pontos que poderão melhorar, no futuro, um trabalho semelhante ao efectuado:

- Colher mais sedimento por amostra para a separação dos minerais pesados. Desta forma evitar-se-ia despende imenso tempo no processamento de amostras que no final apresentam quantidades insuficientes de minerais pesados;
- Verificar a influência da sazonalidade na alteração dos parâmetros estudados;



- Substituir o líquido denso por um menos viscoso (por exemplo LST – Heteropolitungstato de Lítio), de modo a permitir reduzir o tempo de separação de cada fracção em várias horas;
- Efectuar a análise composicional da fracção leve, permitindo assim conhecer com exactidão a percentagem de bioclastos, terrígenos e as micas retidas nesta fracção que é a predominante;
- Classificar a forma do grão para que de acordo com a sua susceptibilidade ao desgaste se possa determinar se o sedimento é retrabalhado ou fresco, permitindo possivelmente inferir sobre a proximidade da fonte;
- Determinar com precisão a representatividade da fracção pesada no total do sedimento e analisar a sua evolução espacialmente.

## Referências Bibliográficas

Abuodha, J. (2003) – Grain size distribution and composition of modern dune and beach sediments, Malindi Bay coast, Kenya. *Journal of African Earth Sciences*. **36**:41-54.

Andrade, F. & Ferreira, A. (2001) – Ambientes intertidais. *in* Estudo de impacto ambiental da marina e novo cais dos “ferries” do Tróiaresort. Sonae Turismo. Lisboa. pp. 283-225.

Asseez, L. (1972) – Triangular presentation of textural data in the interpretation of depositional environments. *Journal of Sedimentary Petrology*. **42**:729-731.

Bascom, W. (1951) – The relationship between sand size and beach-face slope. *Transactions, American Geophysical Union*. **32**:866-874.

Bittencourt, A. (1992) – A questão da predominância ou não de valores negativos de assimetria das distribuições granulométricas para os depósitos da face de praia – uma polémica revisitada. *Revista Brasileira de Geociências*. **22**:107-111.

Blott, S. & Pye, K. (2001) – Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*. **26**:1237-1248.

Carta Militar à escala 1:25000 – Folhas 434 e 435; 443 a 449; 454 a 460; 464 a 471; 475 a 481; 484 a 490; 494 a 499; 505 a 510; 515a; 516 a 521; 526 a 531; 535 a 539; 544 a 548; 554 e 555 Instituto Geográfico do Exército.

Carvalho, D. (1992) – Carta Geológica de Portugal, escala 1:500000. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Cascalho, J. (2000) – Mineralogia dos sedimentos arenosos da margem continental portuguesa. Tese de doutoramento, Universidade de Lisboa. 400 p.

Costa, M., Silva, R. & Vitorino, J. (2001) – Contribuição para o estudo do clima de agitação marítima na costa portuguesa. *2as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*. Associação Internacional de Navegação. Sines. versão em CD.

Cruces, A., Freitas, M., Araújo, M., Andrade, C. & Ferreira, T. (2004) – Environmental characterisation of the interdunar depression of Lagoa da Sancha (SW Portugal). *Interdisciplinary Symposium on Wetlands, II Reunião Científica da rede CYTED-XVII e 3º SIPRES-Simpósio interdisciplinar sobre processos estuarinos*. p. 24.

Dias, J., Boski, T., Rodrigues, A. & Magalhães, F. (2000) – Coast line evolution in Portugal since the Last Glacial Maximum until present – a synthesis. *Marine Geology*. **170**:177-186.

Doyle, L., Carder, K. & Steward, R. (1983) – The hydraulic equivalence of mica. *Journal of Sedimentary Petrology*. **53**:643-648.

Duane, D. (1964) – Significance of skewness in recent sediments, western Pamlico Sound, North Carolina. *Journal of Sedimentary Petrology*. **34**:864-874.

Fernandes, F. (1984) – Estudo da evolução da Praia do Norte em Sines. *Anais do Instituto Hidrográfico*. Lisboa. **5**:107-110.

Folk, R. & Ward, W. (1957) – Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*. **27**:3-26.

Freitas, M., Santos, A. & Andrade, C. (1995) – A Lagoa de Melides: Características Hidrológicas e Sedimentológicas Gerais. *Memória do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto*. **4**:935-939.

Friedman, G. (1961) – Distinction between dune, beach, and river sands from their textural characteristics. *Journal of Sedimentary Petrology*. **31**:514-529.

Friedman, G. (1979) – Address of the retiring President of the International Association of Sedimentologists: Differences in size distributions of populations of particles among sands of various origins. *Sedimentology*. **26**:3-32.

Galehouse, J. (1969) – Counting grain mounts: number percentage vs. number frequency. *Journal of Sedimentary Petrology*. **39**:812-815.

Gama, C. (1996) – Caracterização do fenómeno da sobrelevação do nível do mar de origem meteorológica em Portugal Continental. Efeito amplificador deste fenómeno sobre as variações volumétricas de sedimentos nas praias da Comporta, São Torpes, Odeceixe e Arrifana. Tese de mestrado, Universidade de Lisboa. 138 p.

Gama, C. (2005) – Dinâmica de Sistemas Sedimentares do Litoral Ocidental Português a Sul do Cabo Espichel. Tese de doutoramento, Universidade de Évora. 359 p.

Gama, C., Ferreira, Ó., Taborda, R. & Dias, J. (1997) – Evaluation of beach erosion and recovery after storm events at the portuguese southwest coast. *2º Simpósio da Margem Continental Ibérico Atlântica*. pp. 217-218.

Gomes, N. (1992) – Dinâmica dunar no arco litoral Tróia-Sines (Portugal). Tese de Mestrado, Universidade de Lisboa. 121 p.

Gomes, N., Andrade, C. & Romariz, C. (1990) – Avaliação do transporte sólido eólico na Península de Tróia. *Geolis*. **4**:1-14.

Hails, J. (1967) – Significance of statistical parameters for distinguishing sedimentary environments in New South Wales, Australia. *Journal of Sedimentary Petrology*. **37**:1059-1069.

Inverno, C., Manuppella, G., Zbyszewski, G., Pais, J. & Ribeiro, M. (1993) – Carta Geológica de Portugal, escala 1:50000, Folha 42C (Santiago do Cacém) e respectiva notícia explicativa. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa. 75 p.

IM (2004) – Caracterização Climática da Costa. Instituto de Meteorologia. Retirado de [www.meteo.pt](http://www.meteo.pt) em 16/08/2005.

IM (2005) – Perfil Climático. Instituto de Meteorologia. Retirado de [www.meteo.pt](http://www.meteo.pt) em 16/08/2005.

Jesus, C., Inácio, M., Ferreira da Silva, E., Oliveira, A. & Rocha, F. (2005) – Enriquecimento de metais em sedimentos de praia (SW Portugal). *Proceedings of “Congresso Brasileiro de Geoquímica X”* (2) versão em CD.

Komar, P. (1976) – *Beach Processes and Sedimentation*. Prentice-Hall, New Jersey. 429 p.

Komar, P. & Wang, C. (1984) – Processes of selective grain transport and the formation of placers on beaches. *Journal of Geology*. **92**:637-655.

Lautensach, H. (1987) – Portugal no contexto ibérico. In: Ribeiro, O. & Lautensach, H. (eds.) *Geografia de Portugal – A posição geográfica e o território* (volume 1). Edições João Sá da Costa, Lisboa, pp. 5-23.

Luz, C., Rodrigues, A., Taborda, R., Oliveira, A., Duarte, J. & Morgado, A. (2004) – The Sines Cape and its influence on the littoral sediment transport (Sines, Portugal). *Journal of Coastal Research*. **SI39** (em publicação).

Macpherson, J. & Lewis, D. (1978) – What are you sampling? *Journal of Sedimentary Petrology*. **48**:1341-1344.

Magalhães, F. (1999) – Os Sedimentos da Plataforma Continental Portuguesa: Contrastes Espaciais, Perspectiva Temporal. Potencialidades Económicas. Tese de doutoramento, Universidade de Lisboa. 289 p.

Marques (2000) – Evolução das Arribas e da Linha de Costa no Arco Litoral Tróia-Sines (Portugal). In: Carvalho, G., Gomes F. & Pinto, T. (eds.) *A Zona Costeira do Alentejo*. Associação Eurocoast - Portugal, Porto, pp. 69-80.

Mason, C. & Folk, R. (1958) – Differentiation of beach, dune, and aeolian flat environments by size analysis, Mustang Island, Texas. *Journal of Sedimentary Petrology*. **28**:211-226.

Masselink, G. & Hegge, B. (1995) – Morphodynamics of meso- and macrotidal beaches: examples from central Queensland, Australia. *Marine Geology*. **129**:1-23

Matos, J., Andrade, C. & Romariz, C. (1992) – Evolução histórica da Laguna de Stº André. *Geolis*. **6**:1-18.

Moiola, R. & Weiser, D. (1968) – Textural parameters: an evaluation. *Journal of Sedimentary Petrology*. **38**:45-53.

Neto, C. (1999) – *A Flora e a Vegetação da Faixa Litoral entre Tróia e Sines*. Lisboa. 107 p.

Oliveira, J. (1984) – Carta Geológica de Portugal, escala 1:200000, Folha 7 e respectiva notícia explicativa. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa. 77 p.

PBH Sado (2000)<sup>2</sup> – Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Sado. Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Piedade, M., Cruces, A., Freitas, M., Araújo, M., Andrade, C. & Munhá, J. (2005) – Caracterização Geoquímica dos sistemas fluvial e lagunar de Santo André (Litoral SW Alentejano). *XIV Semana de Geoquímica / VIII Congresso de Geoquímica dos países de Língua Portuguesa*. **2**:567-570.

Pimentel, N. (1997) – O Terciário da Bacia do Sado: Sedimentologia e Análise Tectono-Sedimentar. Tese de doutoramento, Universidade de Lisboa. 381 p.

Pombo, J., Cascalho, J., Rodrigues, A., Taborda, R. & Oliveira, A. (2004) – The Sines sub-volcanic intrusive complex: imprint on the inner shelf sedimentary cover (Sines, Portugal). *Journal of Coastal Research*. **SI 39** (em publicação).

Quevauviller, P. (1986a) – Etude préliminaire sur la dynamique sédimentaire de la cote de Galé (Portugal). *Journal de Recherche Océanographique* **11**:63-65.

Quevauviller, P. (1986b) – Une relation paleorivage/morphologie de la plate-forme continentale. *Journal de Recherche Océanographique* **11**:54-55.

Quevauviller, P. (1987) – Evolution and Stabilization of Headland-Bay Beaches. *Journal of Shoreline Management*. **3**:269-284.

Quevauviller, P. (1988) – Equilibrium conditions for curved shape bays with application to an ancient coast. *Geo-Marine Letters*. **8**:41-47.

---

<sup>2</sup> Data da última revisão consultada.

Shepard, F. & Young, R. (1961) – Distinguishing between beach and dune sands. *Journal of Sedimentary Petrology*. **31**:196-214.

Short, A. (1999) – *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. John Wiley & Sons, Ltd, Sydney, Australia. 379 p.

Spencer, D. (1963) – The interpretation of grain size distribution curves of clastic sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*. **33**:180-190.

Teixeira, S. (1990) – Dinâmica das praias da península de Setúbal (Portugal). Tese de mestrado. Lisboa. 189 p.

Tomás, J. (1995) – Caracterização Morfológica e Textural do Litoral entre Espinho e Cabo Mondego. Tese de mestrado, Universidade de Lisboa. 195 p.

Vale, C., Cortesão, C., Castro, O. & Ferreira, A. (1993) – Suspended-sediment response to pulses in river flow and semidiurnal and fortnightly tidal variations in a mesotidal estuary. *Marine Chemistry*. **43**:21-1.

Veerayya, M. & Varadachari, V. (1975) – Depositional environments of coastal sediments of Calangute, Goa. *Sedimentary Geology*. **14**:63-74.

Wright, L. & Short, A. (1984) – Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. *Marine Geology*. **56**:93-118.





# **ANEXO 1**



Tabela A1.1 – Coordenadas retangulares, *datum* 73 ponto fictício (coordenadas militares) obtidas em cada perfil amostrado. O perfil P126 localiza-se junto ao cais de Tróia. Os valores da coluna “Distância a Tróia” foram obtidos pela diferença acumulada entre coordenadas consecutivas.

| Perfil | X         | Y         | Distância a Tróia (km) |
|--------|-----------|-----------|------------------------|
| P126   | 133095,71 | 169691,57 | 0,0                    |
| P125   | 132950,05 | 169732,97 | 0,2                    |
| P124   | 132564,83 | 169732,59 | 0,5                    |
| P123   | 132133,38 | 169282,43 | 1,2                    |
| P122   | 132333,66 | 168876,36 | 1,6                    |
| P121   | 132660,13 | 168485,08 | 2,1                    |
| P120   | 132997,31 | 168061,68 | 2,7                    |
| P119   | 133275,71 | 167666,86 | 3,1                    |
| P118   | 133605,05 | 167366,60 | 3,6                    |
| P117   | 134085,94 | 167010,90 | 4,2                    |
| P116   | 134375,76 | 166659,01 | 4,6                    |
| P115   | 134734,16 | 166256,42 | 5,2                    |
| P114   | 135121,94 | 166001,68 | 5,6                    |
| P113   | 135534,82 | 165650,63 | 6,2                    |
| P112   | 135940,27 | 165357,66 | 6,7                    |
| P111   | 136310,63 | 164950,96 | 7,2                    |
| P110   | 136506,24 | 164581,94 | 7,7                    |
| P109   | 136904,15 | 164231,02 | 8,2                    |
| P108   | 137177,48 | 163934,29 | 8,6                    |
| P107   | 137732,26 | 163564,89 | 9,3                    |
| P106   | 137969,16 | 163223,50 | 9,7                    |
| P105   | 138374,63 | 162827,48 | 10,2                   |
| P104   | 138747,36 | 162460,78 | 10,8                   |
| P103   | 139039,73 | 162060,85 | 11,3                   |
| P102   | 139303,61 | 161610,17 | 11,8                   |
| P101   | 139524,97 | 161211,90 | 12,2                   |
| P100   | 139758,36 | 160707,47 | 12,8                   |
| P99    | 139985,67 | 160306,11 | 13,2                   |
| P98    | 140193,49 | 159849,93 | 13,8                   |
| P97    | 140359,44 | 159409,17 | 14,2                   |
| P96    | 140627,77 | 158901,40 | 14,8                   |
| P95    | 140813,49 | 158437,44 | 15,3                   |
| P94    | 140969,53 | 158005,74 | 15,8                   |
| P93    | 141124,14 | 157534,06 | 16,3                   |
| P92    | 141309,93 | 157077,09 | 16,7                   |
| P90    | 141656,24 | 156134,41 | 17,7                   |
| P89    | 141782,12 | 155690,03 | 18,2                   |
| P88    | 141926,57 | 155198,43 | 18,7                   |
| P86    | 142230,29 | 154197,10 | 19,8                   |
| P84    | 142489,67 | 153264,21 | 20,7                   |
| P81    | 142788,26 | 151821,70 | 22,2                   |
| P80    | 142865,60 | 151323,75 | 22,7                   |
| P79    | 142986,63 | 150787,38 | 23,3                   |
| P77    | 143124,34 | 149791,61 | 24,3                   |
| P74    | 143292,36 | 148292,32 | 25,8                   |

|     |           |           |      |
|-----|-----------|-----------|------|
| P69 | 143544,89 | 145776,75 | 28,3 |
| P66 | 143618,97 | 144290,37 | 29,8 |
| P64 | 143693,51 | 143279,19 | 30,8 |
| P59 | 143682,96 | 140767,08 | 33,4 |
| P56 | 143672,02 | 139385,53 | 34,7 |
| P54 | 143561,46 | 138373,11 | 35,8 |
| P53 | 143537,83 | 137878,08 | 36,2 |
| P52 | 143519,10 | 137376,04 | 36,7 |
| P49 | 143302,79 | 135856,34 | 38,3 |
| P44 | 142897,27 | 133364,94 | 40,8 |
| P42 | 142704,12 | 132503,35 | 41,7 |
| P39 | 142405,71 | 130978,43 | 43,3 |
| P34 | 141795,96 | 128469,92 | 45,8 |
| P32 | 141560,52 | 127579,68 | 46,8 |
| P29 | 141096,62 | 126115,36 | 48,3 |
| P24 | 140367,62 | 123796,04 | 50,7 |
| P20 | 139719,55 | 121896,18 | 52,8 |
| P19 | 139567,88 | 121405,35 | 53,3 |
| P15 | 138878,90 | 119512,91 | 55,3 |
| P14 | 138673,96 | 118995,55 | 55,9 |
| P13 | 138520,21 | 118600,80 | 56,3 |
| P9  | 137732,16 | 116704,25 | 58,3 |
| P6  | 137100,89 | 115315,43 | 59,9 |
| P4  | 136682,29 | 114415,89 | 60,9 |
| P2  | 136232,74 | 113521,70 | 61,9 |
| P1  | 136008,91 | 113016,51 | 62,4 |

Tabela A1.2 – Coordenadas rectangulares, *datum* 73 ponto fictício (coordenadas militares) obtidas para cada amostra da segunda campanha.

| Amostras  | X         | Y         | Descrição   |
|-----------|-----------|-----------|---|
| A4 e A5   | 143637,30 | 146137,05 | Arriba: A4 formação superior e A5 formação inferior   |
| A6 e A7   | 143665,64 | 145745,59 | Arriba: A6 formação superior e A7 formação inferior   |
| A8        | 143657,58 | 137953,01 | Arriba  |
| A19 e A20 | 142331,90 | 130040,65 | Arriba: A19 formação superior e A20 formação inferior |
| A22       | 136228,37 | 113374,65 | Arriba  |
| A24 e A25 | 135575,26 | 112325,22 | Arriba: A24 formação inferior e A25 formação superior |
| A28       | 135633,91 | 109815,45 | Face de Praia (adjacente ao complexo de Sines)        |

Tabela A1.3 – Caracterização da percentagem relativa dos minerais pesados considerados relevantes (**fracção 1 a 2 φ**). DP - Desvio padrão. N = 62.

|             | Média | Mínimo | Máximo | DP    |
|-------------|-------|--------|--------|-------|
| Turmalina   | 39,09 | 0,00   | 73,68  | 22,91 |
| Estaurolite | 4,16  | 0,00   | 22,93  | 5,10  |
| Andaluzite  | 11,07 | 0,00   | 25,81  | 6,43  |
| Silimanite  | 2,01  | 0,00   | 12,77  | 1,93  |
| Distena     | 0,83  | 0,00   | 5,32   | 1,00  |
| Biotite     | 9,24  | 0,00   | 43,30  | 9,55  |
| Moscovite   | 25,28 | 0,00   | 91,00  | 25,76 |
| Anfíbulas   | 5,85  | 0,00   | 46,38  | 7,08  |
| Piroxenas   | 2,48  | 0,00   | 27,23  | 3,83  |

Tabela A1.4 – Caracterização da percentagem relativa dos minerais pesados considerados relevantes (**fracção 2 a 3 φ**). DP - Desvio padrão. N = 46.

|             | Média | Mínimo | Máximo | DP    |
|-------------|-------|--------|--------|-------|
| Turmalina   | 36,88 | 0,00   | 57,31  | 16,03 |
| Estaurolite | 6,58  | 0,00   | 21,74  | 5,19  |
| Andaluzite  | 17,25 | 0,00   | 37,44  | 8,68  |
| Silimanite  | 2,06  | 0,00   | 12,28  | 2,09  |
| Distena     | 0,79  | 0,00   | 2,92   | 0,76  |
| Biotite     | 10,16 | 0,00   | 32,68  | 9,45  |
| Moscovite   | 19,46 | 0,00   | 88,78  | 21,06 |
| Anfíbulas   | 4,74  | 0,00   | 55,56  | 8,14  |
| Piroxenas   | 2,07  | 0,00   | 22,99  | 3,60  |

Tabela A1.5 – Caracterização da percentagem relativa dos minerais pesados considerados relevantes (**face de praia**). DP - Desvio padrão. N = 35.

|             | Média | Mínimo | Máximo | DP    |
|-------------|-------|--------|--------|-------|
| Turmalina   | 40,46 | 3,57   | 67,10  | 17,15 |
| Estaurolite | 4,71  | 0,00   | 13,59  | 3,81  |
| Andaluzite  | 16,06 | 1,61   | 37,44  | 8,01  |
| Silimanite  | 2,43  | 0,00   | 12,77  | 2,16  |
| Distena     | 1,13  | 0,00   | 5,32   | 1,10  |
| Biotite     | 10,04 | 0,00   | 43,30  | 9,93  |
| Moscovite   | 17,40 | 0,00   | 63,86  | 16,12 |
| Anfíbulas   | 5,52  | 0,56   | 22,00  | 4,83  |
| Piroxenas   | 2,25  | 0,00   | 7,50   | 2,11  |

Tabela A1.6 – Caracterização da percentagem relativa dos minerais pesados considerados relevantes (**berma**). DP - Desvio padrão. N = 51.

|             | Média | Mínimo | Máximo | DP    |
|-------------|-------|--------|--------|-------|
| Turmalina   | 45,11 | 3,82   | 73,68  | 18,15 |
| Estaurolite | 7,13  | 0,00   | 22,93  | 6,13  |
| Andaluzite  | 15,36 | 2,52   | 31,58  | 6,73  |
| Silimanite  | 2,16  | 0,00   | 12,28  | 1,97  |
| Distena     | 0,70  | 0,00   | 2,92   | 0,71  |
| Biotite     | 7,51  | 0,00   | 30,88  | 7,92  |
| Moscovite   | 15,57 | 0,00   | 70,99  | 19,59 |
| Anfíbolos   | 4,51  | 0,00   | 18,33  | 3,90  |
| Piroxenas   | 1,95  | 0,00   | 8,73   | 2,02  |

Tabela A1.7 – Caracterização da percentagem relativa dos minerais pesados considerados relevantes (**arribas**). DP - Desvio padrão. N = 20.

|             | Média | Mínimo | Máximo | DP    |
|-------------|-------|--------|--------|-------|
| Turmalina   | 20,10 | 0,00   | 51,94  | 16,60 |
| Estaurolite | 1,60  | 0,00   | 4,95   | 1,89  |
| Andaluzite  | 6,72  | 0,00   | 25,25  | 6,46  |
| Silimanite  | 1,20  | 0,00   | 4,95   | 1,50  |
| Distena     | 0,61  | 0,00   | 3,36   | 0,88  |
| Biotite     | 13,03 | 0,37   | 36,39  | 10,95 |
| Moscovite   | 52,92 | 11,88  | 91,00  | 23,51 |
| Anfíbolos   | 2,77  | 0,00   | 8,74   | 2,76  |
| Piroxenas   | 1,04  | 0,00   | 4,85   | 1,47  |

# **ANEXO 2**





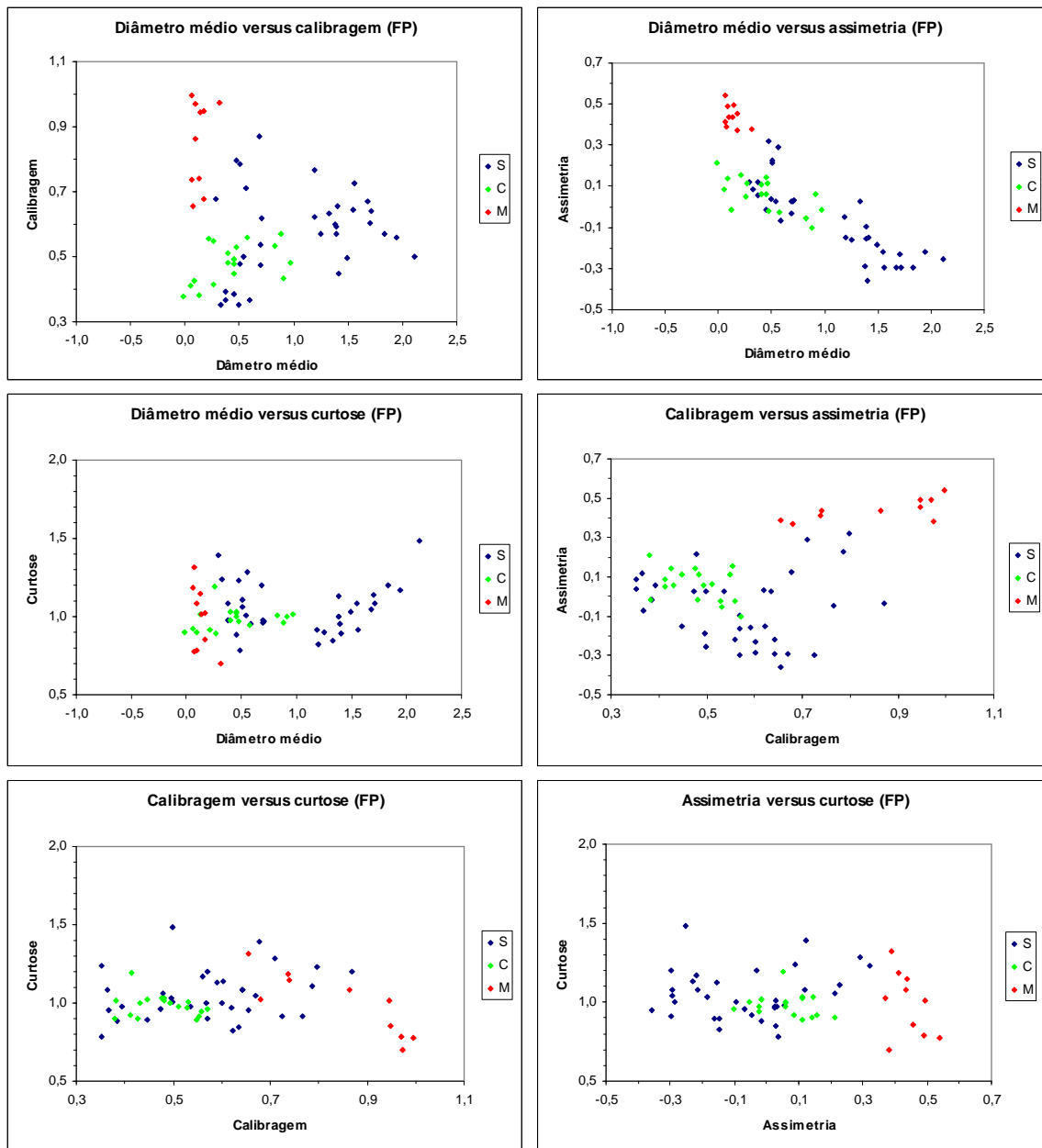


Figura A2.1 – Correlação existente entre os parâmetros texturais para amostras de face de praia (FP). S – Setentrional, C – Central e M – Meridional.

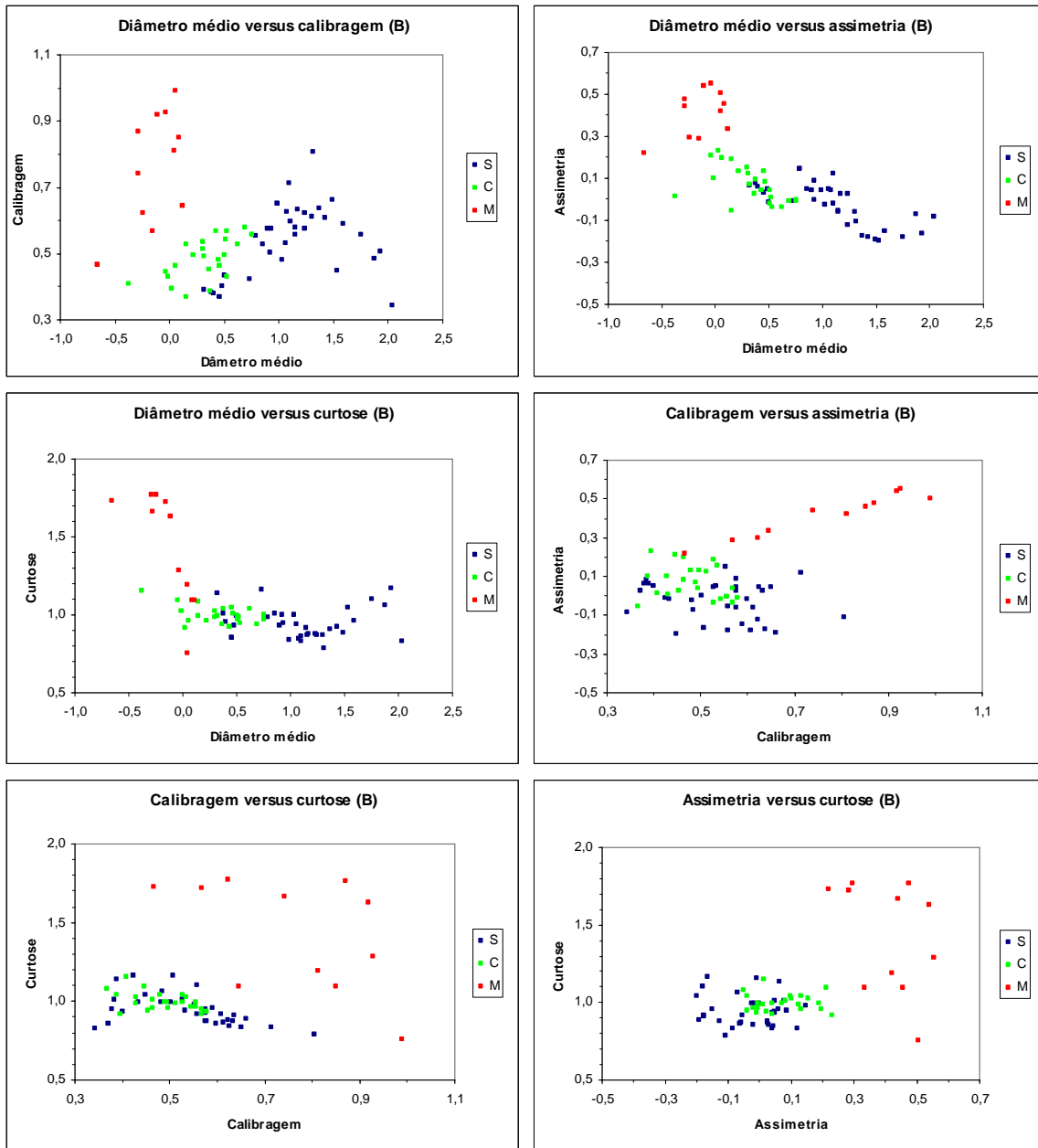


Figura A2.2 – Correlação existente entre os parâmetros texturais para amostras de berma (B). S – Setentrional, C – Central e M – Meridional.

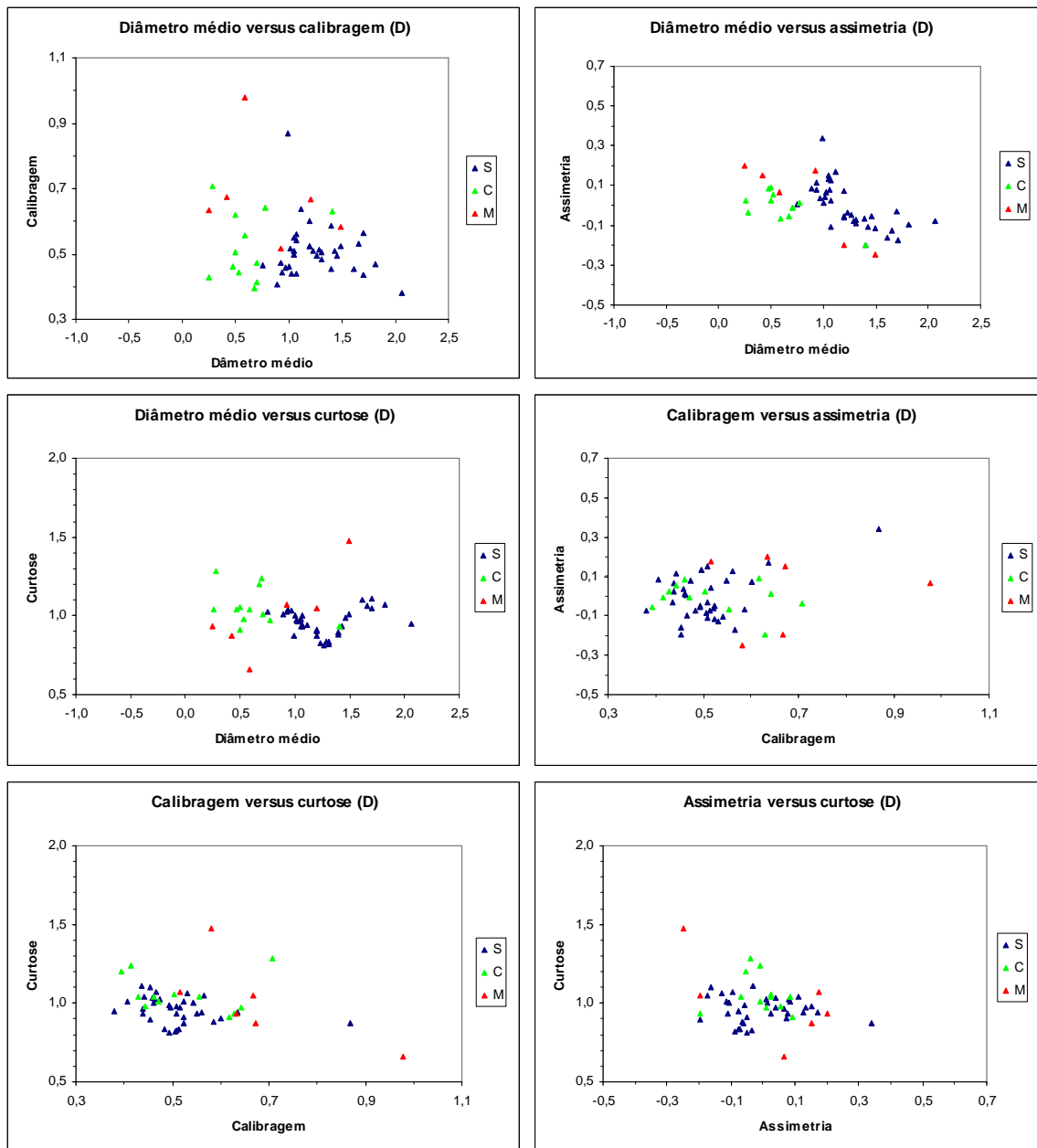


Figura A2.3 – Correlação existente entre os parâmetros texturais para amostras de duna (D). S – Setentrional, C – Central e M – Meridional.

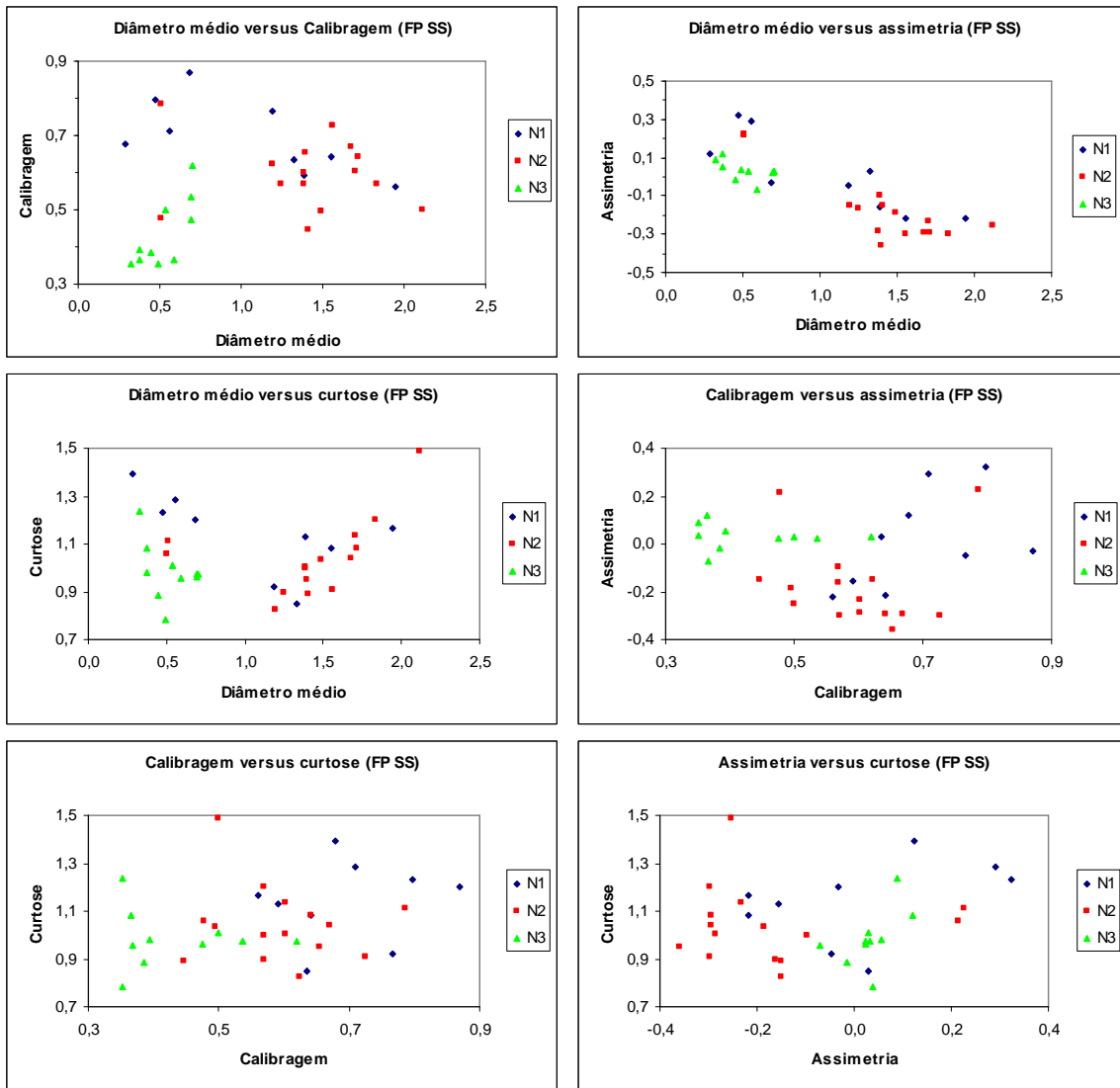


Figura A2.4 – Correlação existente entre os parâmetros texturais para amostras de face de praia (FP) localizadas na Península de Tróia. N1 – Extremidade norte da Península de Tróia, N2 – Parte central da Península de Tróia e N3 – Extremidade sul da Península de Tróia.

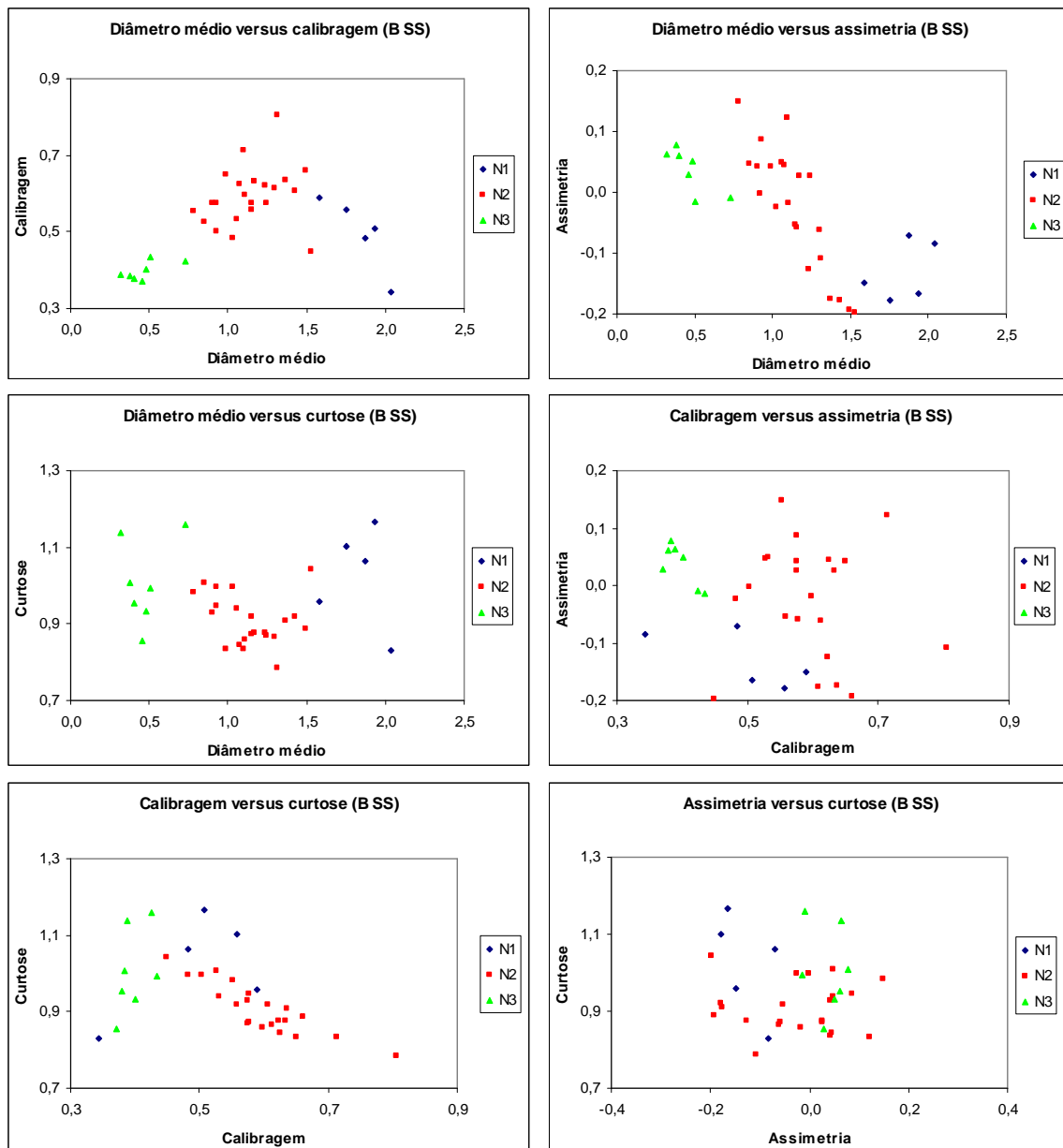


Figura A2.5 – Correlação existente entre os parâmetros texturais para amostras de berma (B) localizadas na Península de Tróia. N1 – Extremidade norte da Península de Tróia, N2 – Parte central da Península de Tróia e N3 – Extremidade sul da Península de Tróia.

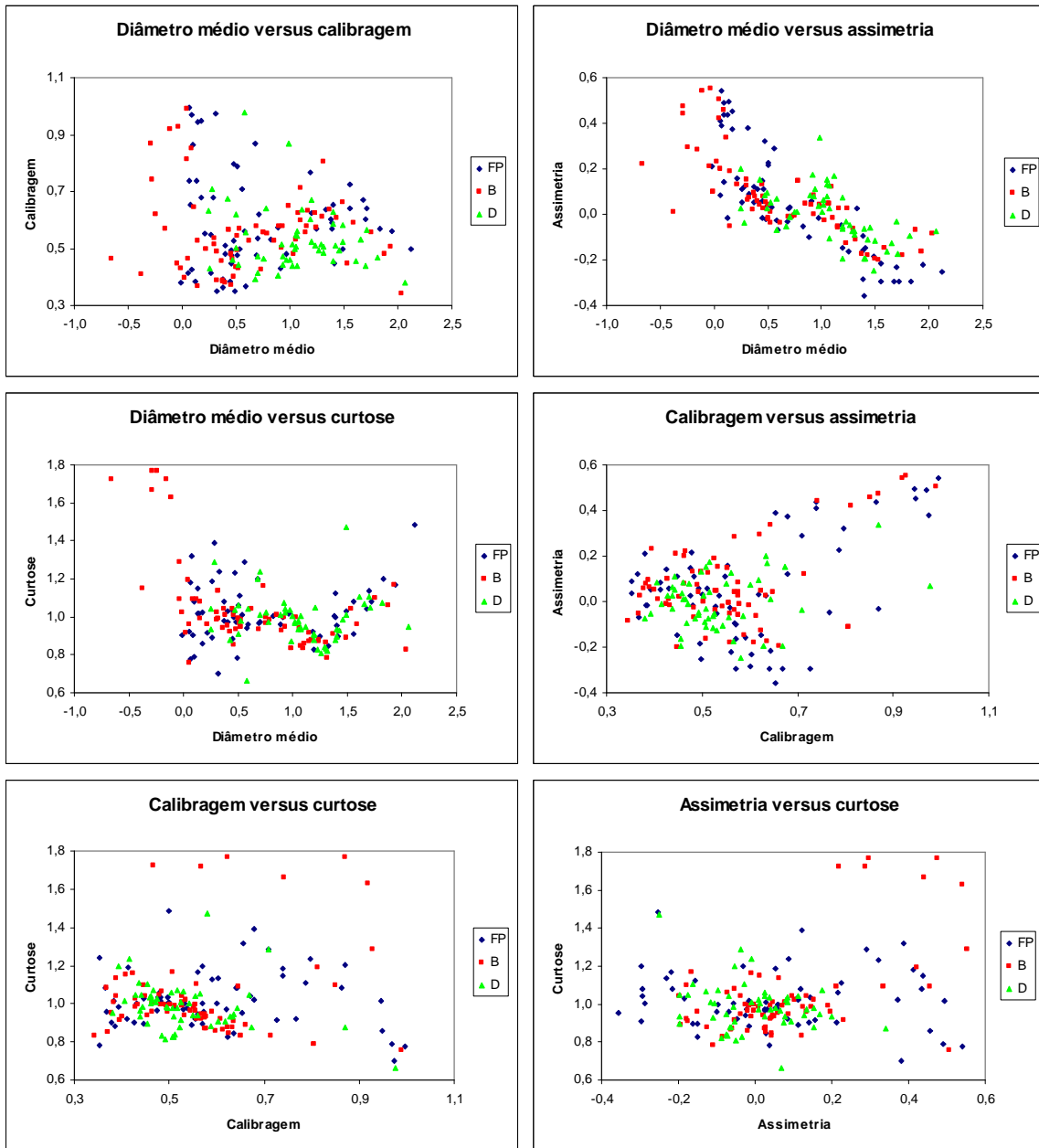


Figura A2.6 – Correlações interparamétricas para o trecho Tróia – Sines. FP – Face de praia; B – Berma; D – Duna.

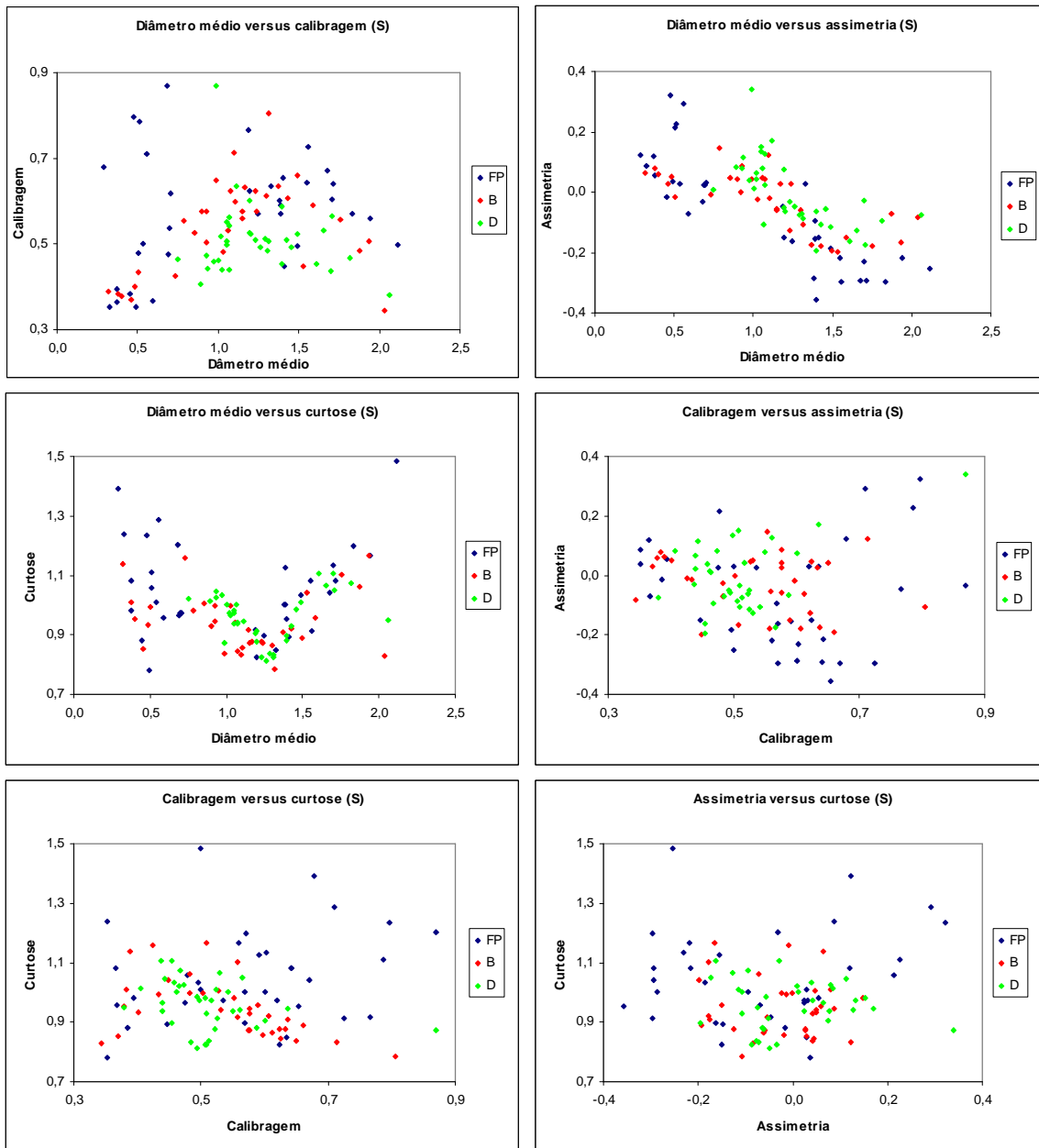


Figura A2.7 – Correlações interparamétricas para amostras do sector setentrional (S). FP – Face de praia; B – Berma; D – Duna.



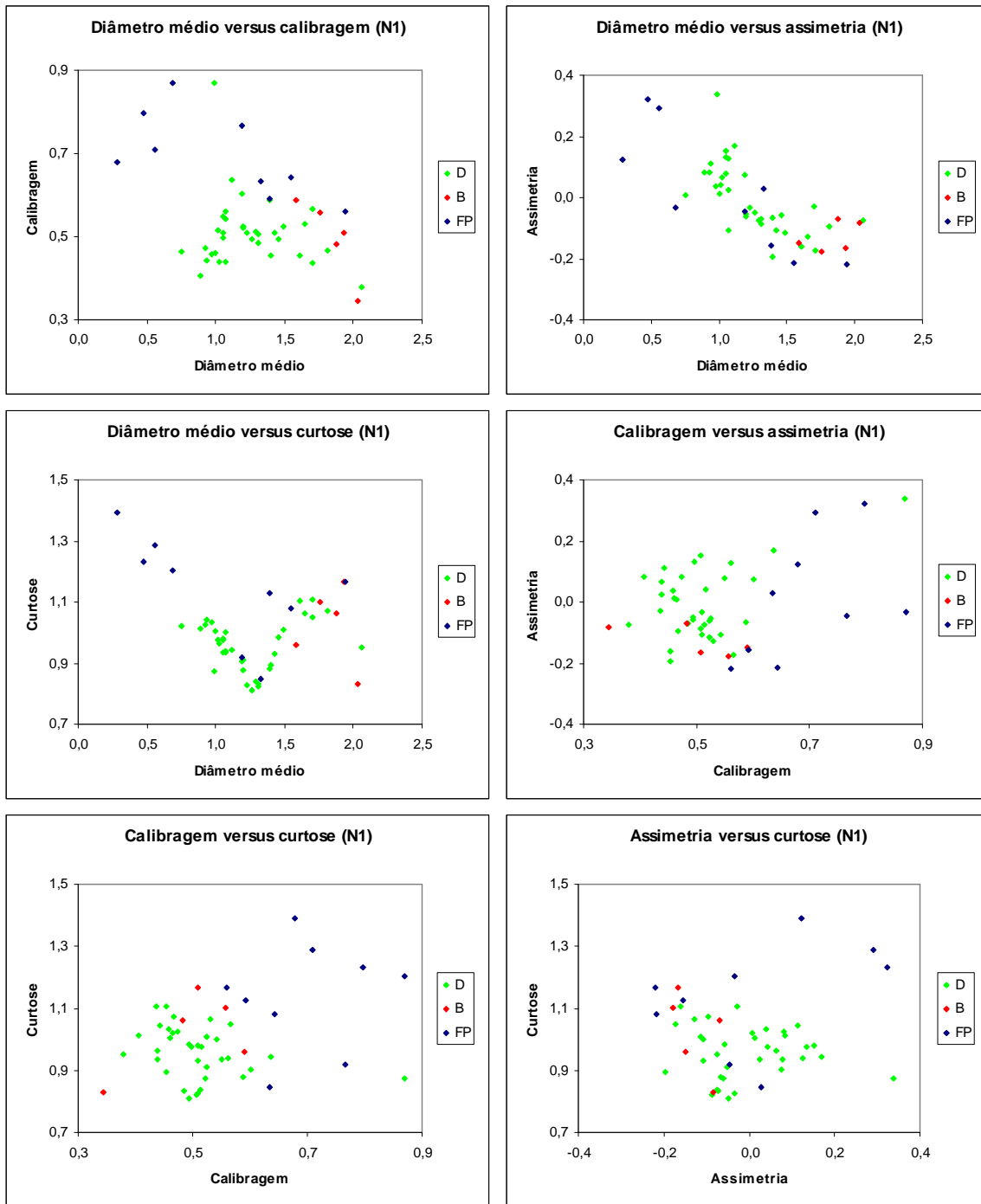


Figura A2.8 – Correlações interparamétricas para amostras das diferentes unidades morfológicas no subsector N1. As amostras de duna (D) consideradas em cada gráfico são de todo o sector setentrional.

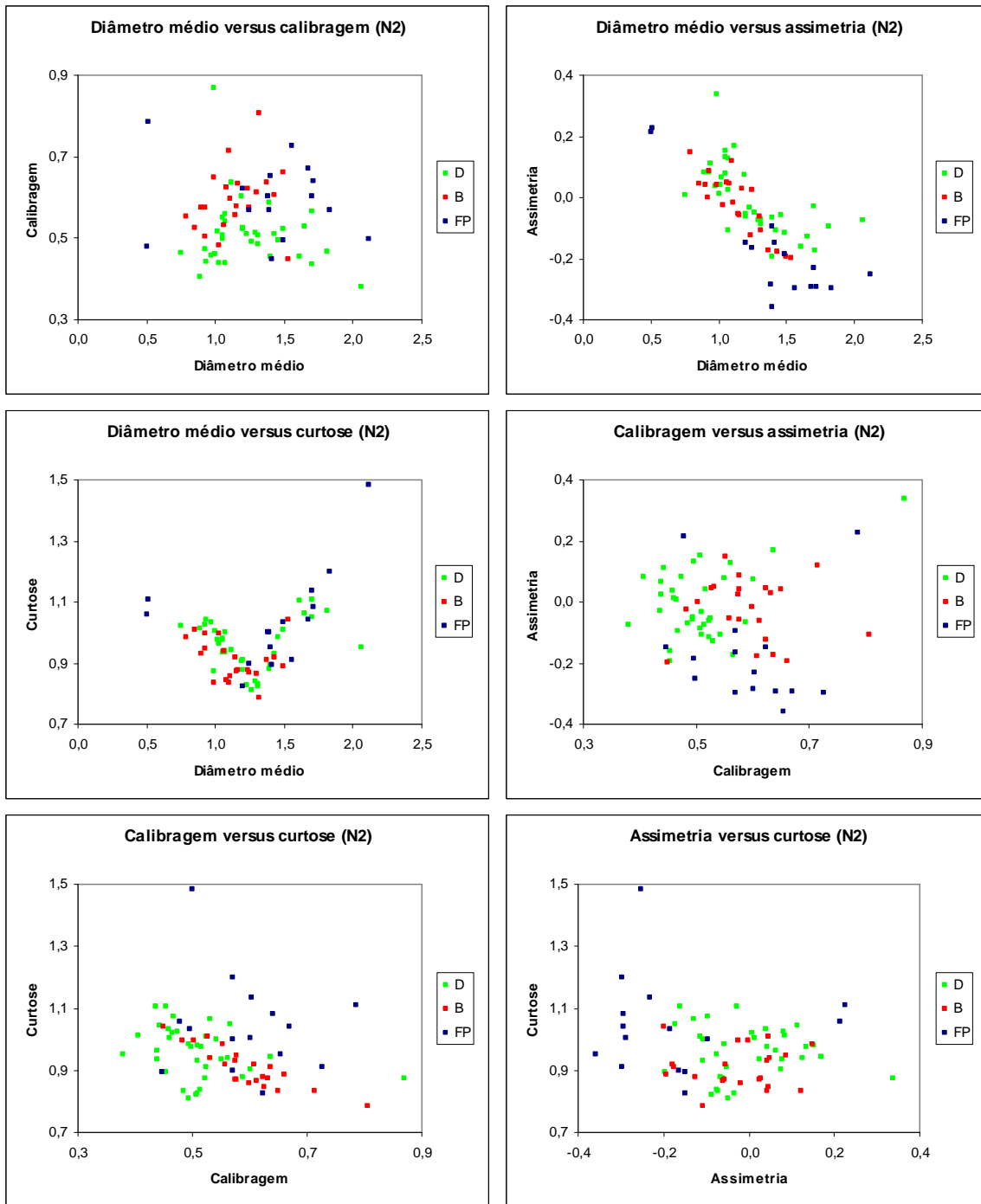


Figura A2.9 – Correlações interparamétricas para amostras das diferentes unidades morfológicas no subsector N2. As amostras de duna (D) consideradas em cada gráfico são de todo o sector setentrional.

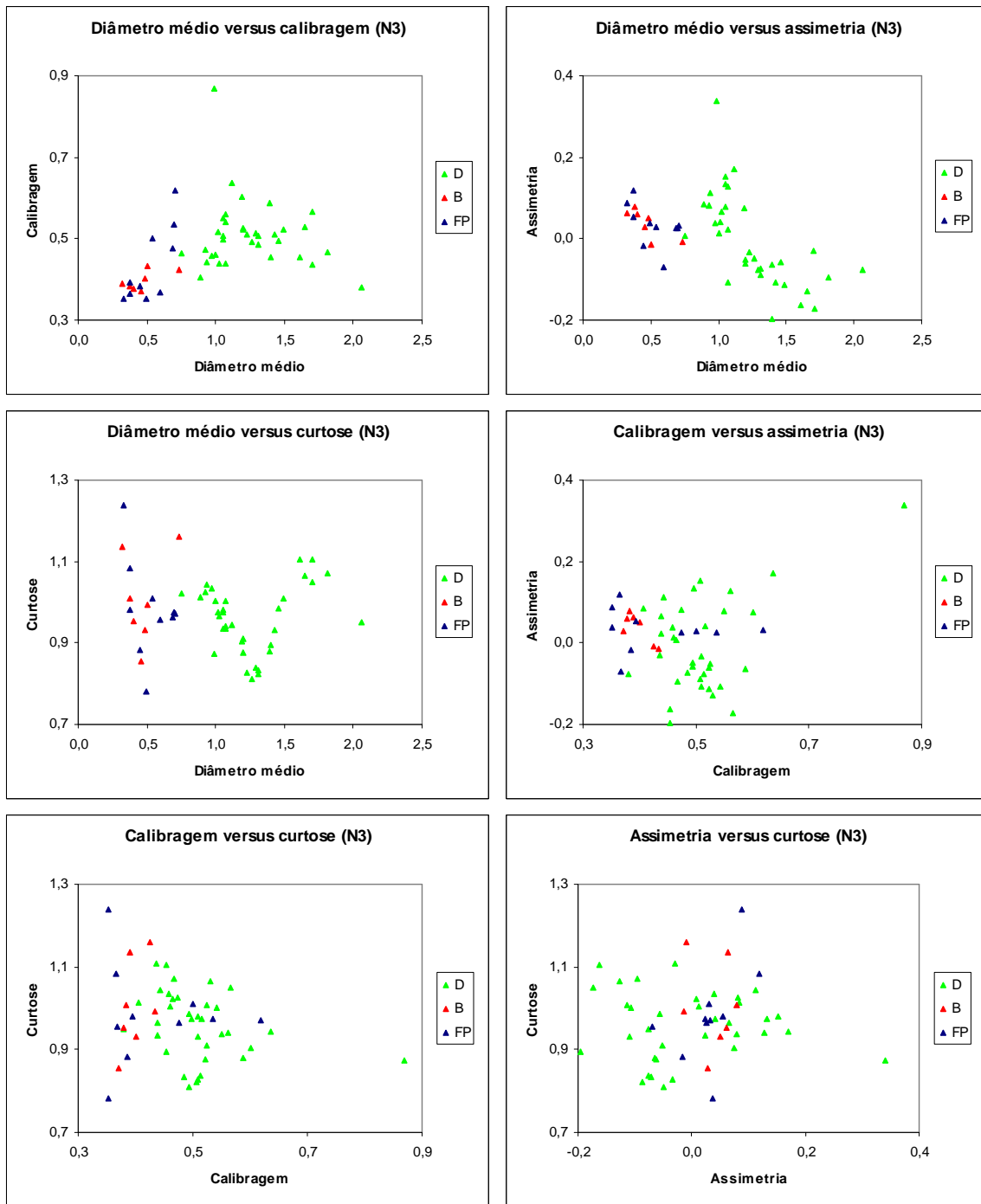


Figura A2.10 – Correlações interparamétricas para amostras das diferentes unidades morfológicas no subsector N3. As amostras de duna (D) consideradas em cada gráfico são de todo o sector setentrional.

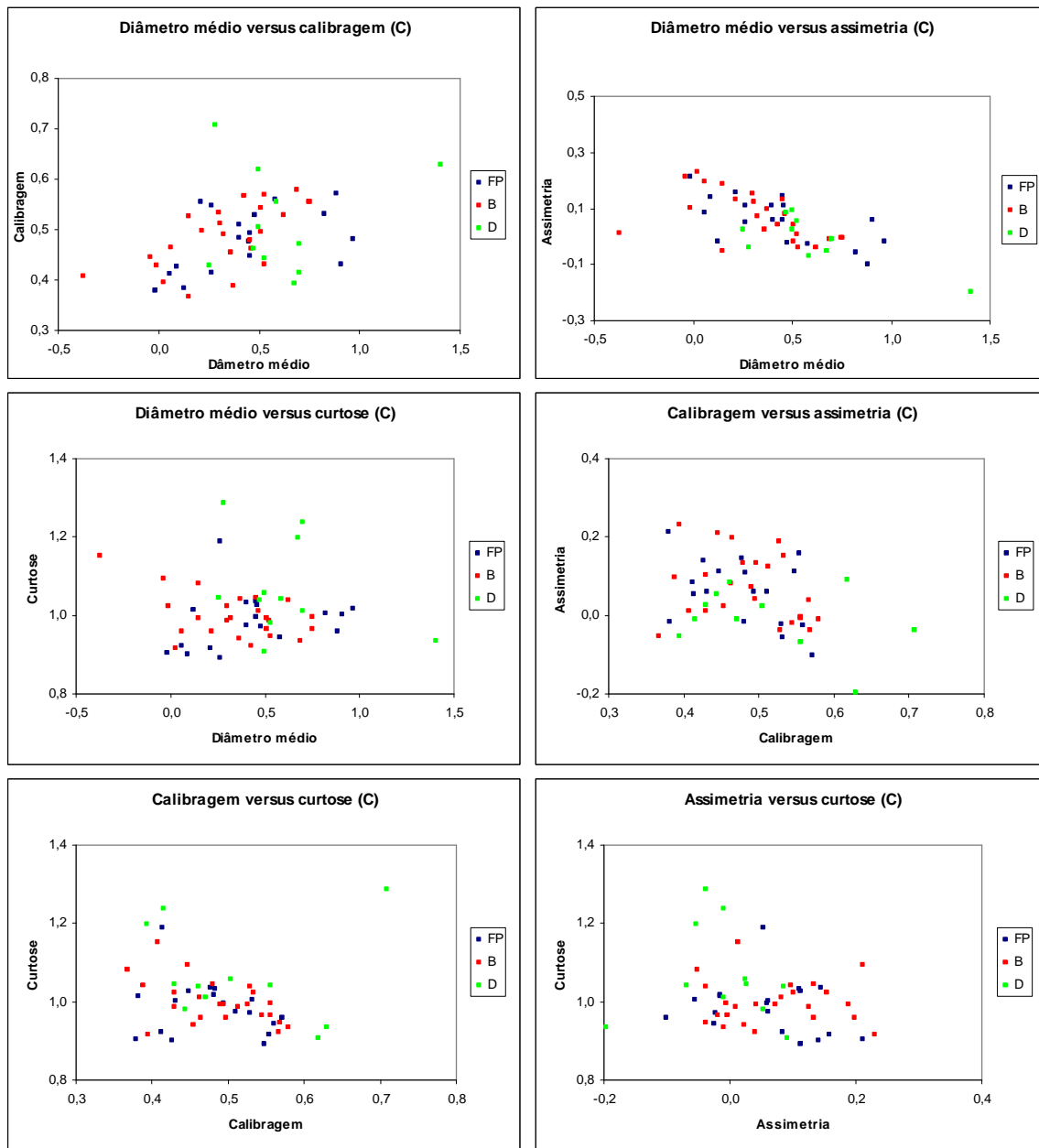


Figura A2.11 – Correlações interparamétricas para amostras do sector central (C). FP – Face de praia; B – Berma; D – Duna.

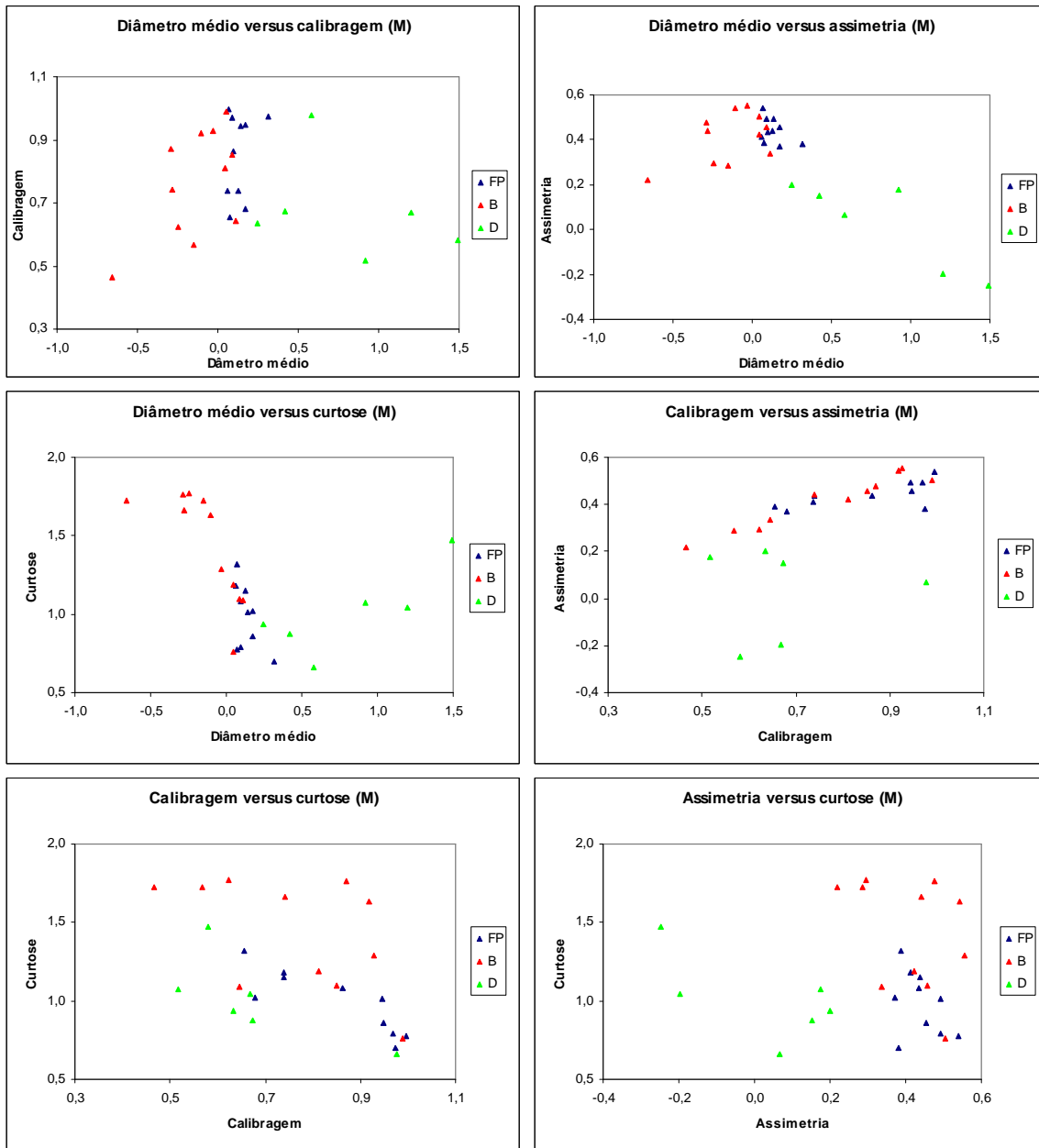


Figura A2.12 – Correlações interparamétricas para amostras do sector meridional (M). FP – Face de praia; B – Berma; D – Duna.